

3B2) 서울지역 국지풍일의 도심배출에 의한 풍하측 오존증가량 추정 Estimate of urban contributions to elevated ozone levels in downwind area of Seoul for local wind days

오인보·김유근
부산대학교 대기과학과

1. 서 론

도시/국지규모에서의 풍하측 오존농도 상승은 도심 및 인근지역 배출원 환경과 함께 국지풍 (local wind)에 의해 크게 좌우된다. 즉 도심배출에 의한 오존의 광화학 생성과 국지풍에 따른 단거리수송 및 국지적 축적 효과가 결부되어 풍하측 고농도가 나타나게 되는 것이다. 기존 여러 연구에서 도시의 경우 지속적인 NOx 배출의 영향으로 오존농도가 상승하지 못하는 반면 (NOx titration), 상대적으로 배출원이 적은 풍하측지역은 오존 및 전구물질의 수송과 축적을 통해 고농도가 나타남을 밝히고 있다 (McKendry, 1993; Wang et al., 2001). 서울지역 역시 국지풍이 뚜렷이 나타나는 날 도심배출의 수송으로 인해 풍하측인 동부지역에 고농도가 나타남을 몇몇 연구에서 제시하고 있다 (김유근 등, 2002; 오인보와 김유근, 2002; 김영성, 2000). 본 연구에서는 서울지역 국지풍일의 도심배출에 의한 풍하측 오존농도 상승효과를 보다 정량적으로 평가하기 위해, 국지풍이 풍상, 도심, 풍하측의 오존 농도변화에 미치는 영향과 이에 따른 풍상측과 풍하측의 농도차이를 분석하고자 한다. 이러한 연구는 도시의 전구물질 배출과 광화학 생성된 오존이 국지풍의 영향으로 풍하측 오존농도 상승에 미치는 정도를 간접적으로 평가할 수 있으며, 도시 및 동부 외각 지역의 오존오염제어에 있어 중요한 지표가 될 수 있다.

2. 연구 방법

본 연구에서 사용한 오존자료는 서울지역 내 풍상(화곡), 도심(광화문), 풍하지점(방이)과 인근 서울 외각 지역인 구리시 수택지점의 오존 측정망에서 측정된 것이며, 기상자료는 지형의 영향이 적으며 도심내 기류의 유입을 잘 파악할 수 있는 김포공항의 AWS자료를 사용하였다. 연구기간은 3년 간 (1998년~2000년)으로 하였으며 대부분의 고농도오존이 발생하는 오존월 (5월~9월)로 한정하였다. 또한 분석의 신뢰성을 위해 모든 자료는 일 중(1시간 기준) 75%이상 측정된 날의 자료만을 사용하였다.

우선 국지풍일의 선정을 위해 풍향, 풍속, 강수, 운량자료를 사용하여 기준을 설정하였다. 풍향, 풍속의 경우 낮 동안 (1000~1500 LST) 주 풍향이 서풍계열(SW, W, NW)이며 평균풍속이 1.5 ms^{-1} 이상 5 ms^{-1} 미만 (대기정체조건이 아니며 종관장의 영향이 약한 날)으로 하였으며, 새벽 (0300~0800 LST)의 경우 육풍의 존재로 볼 수 있는 평균 2 ms^{-1} 이하의 풍속조건으로 한정하였다 (풍향의 경우 약한 풍속으로 인해 본 연구에서는 제한을 두지 않음). 또한 뚜렷한 국지풍일의 선정을 위해 강수가 있는 날과 운량이 9이상인 날은 제외하였다. 이렇게 선정된 국지풍일을 바탕으로 도심배출에 의한 풍하측 오존증가량 추정을 위해 본 연구에서는 Delta-ozone (ΔO_3) 분석을 수행하였는데, 풍상측 (화곡지점)과 풍하측 (방이, 수택지점)과의 일최고 농도차이를 ΔO_3 로 정의하였다. ΔO_3 을 이용한 분석은 국외 몇몇 연구에서 풍하측 오존농도 상승에 미치는 도시의 영향을 평가하기 위해 사용된 바 있다 (Aneja et al, 2000; John and Chameides, 1997).

3. 결 과

3.1 국지풍일의 오존농도 특성

본 연구에서 선정된 기준을 통해 오존월 동안 국지풍일 (LD)과 국지풍이 나타나지 않은 날 (ND)을 분류한 결과 각각 75일과 306일로 전체의 20%가 LD로 분류되었으며, 6월이 전체 LD 중 23일 (32%)로 가장 높은 분포를 나타냈었다. LD와 ND의 서울지역 세 지점 (화곡, 광화문, 방이) 평균 오존 통계량을 비교한 결과 LD 일 때 모든 수치가 높게 나타났는데, 평균농도는 3.5 ppb, 일 최고 1시간 평균 농도는 19 ppb 일최고 8시간 평균농도는 12.3 ppb 만큼 ND와 차이를 보였다. 특히 가장 높은 오존농도가 나타나는 6월의 경우 3년간 6월 고농도 사례 (1시간 기준 100 ppb 초과)의 70%가 LD에 발생할 정도로 고농도 오존발생과 국지풍과의 관계가 밀접함을 알 수 있었다.

3.2 ΔO_3 분석

국지풍일의 도심배출에 의한 풍하측 오존증가량 추정을 위해 ΔO_3 분석을 수행하였다. 기간은 국지풍 빈도가 가장 많으며 년 중 고농도 발생횟수가 가장 많이 나타나는 6월을 대상으로 하였다. 표 1은 풍상측(화곡), 도심(광화문), 풍하측(방이)지역의 오존통계량을 나타낸 것으로 LD와 ND 모두 도심에 낮은 농도와 풍하측 고농도 현상을 볼 수 있으며, 특히 LD에 풍하측 방이지역의 일최고 오존농도가 크게 상승함을(ND와 비교해 33%증가) 뚜렷이 알 수 있다. 여기서 LD에 ΔO_3 값은 약 13 ppb가 나타나 ND와 비교해 약 5 ppb정도 높은 수치를 나타냈으며, 이는 풍하측 농도상승에 있어 도심배출의 영향으로 볼 수 있다. 서울 동부 외곽에 위치한 구리시 수택지점의 경우 보다 큰 ΔO_3 값(23 ppb)을 나타내었으며, 그림 1에서 알 수 있듯이 화곡지점과 비교해 일최고농도의 발생시간이 약 2시간정도 늦게 나타나며 늦은 오후의 농도상승을 알 수 있다. 물론 본 연구에서 선정한 화곡지점이 도시의 영향을 배제할 수 없는 지점으로 볼 때 (ΔO_3 분석에 최적의 풍상측이 아님) 실제로 도심 오염물질 배출에 의한 풍하측 오존농도 상승은 더욱 높을 가능성이 크다.

Table 1. Summary of ozone statistics for Hwagok, Kwanghwamun and Banyi site for LD (local wind days) and ND (none-LD) on June, 1998-2000.

Case	Statistics	Location		
		Hwagok (upwind)	Kwanghwamun (city center)	Bany (downwind)
ND (50 days)	Daily mean	24.3 (8.77)	17.8 (10.10)	28.6 (10.67)
	Average daily range	47.5	47.7	55.2
	Daily max. 1-h	53.5 (20.22)	49.9 (16.90)	61.2 (27.01)
	No. of days >100ppb	1	3	2
	Daily max. 8-h	41.2 (19.38)	34.5 (22.10)	49.2 (18.22)
	No. of days >60ppb	9	6	13
LD (23 days)	Average ozone	27.1 (8.31)	23.7 (6.11)	29.5 (8.74)
	Average daily range	69.3	72.6	84.9
	Daily max 1-h	75.2 (23.25)	74.9 (16.02)	88.1 (21.41)
	No. of days >100ppb	3	1	5
	Daily max 8-h	55.3 (14.62)	51.5 (21.39)	63.9 (17.46)
	No. of days >60ppb	5	4	10

Values in table are given in ppb and () denote 1 sigma S.D

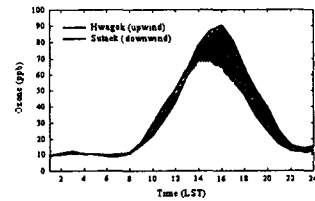


Fig. 1. Comparison between Hwagok and Sutaek for diurnal ozone variations for LD on June, 1998-2000. The oblique lines in plot denote estimate of the contributions to elevated ozone levels at sutaek made by local winds over Seoul.

참 고 문 헌

- 김영성 (2000) 우리나라 오존농도 변화 추이와 주요인자, 한국대기환경학회지, 16(6), 607-623.
- 김유근, 문윤섭, 오인보, 황미경 (2002) 서울 및 부산지역에서 기온과 국지풍이 지표고농도 오존발생에 미치는 영향, 한국기상학회지, 38(4), 319-331.
- 오인보, 김유근 (2002) 한반도 주요 대도시지역의 지표오존 특성: 추세, 일변화, 월변화, 수평분포, 한국대기환경학회지, 18(4), 53-264.
- Aneja, V.P., A.A. Adams, and S.P. Arya (2000) An observational based analysis of ozone trends and production for urban area in North Carolina, *Chemosphere-Global Change Science* 2(2000) 157-165.
- John, J.C.ST. and W.L. Chameides (1997) Climatology of ozone exceedences in the Atlanta metropolitan area: 1-hour vs 8-hour standard and the role of plume recirculation air pollution episode, *Environ. Sci. Technol.*, 31, 2797-2804.
- Mckendry, I.G. (1993) Ground-level ozone in Montreal, Canada, *Atmos. Environ.*, 35, 3217-3228.
- Wang, T., Y.Y. Wu, T.F. Cheung, and K.S. Lam (2001) A study of surface ozone and the relation to complex wind flow in Hong Kong, *Atmos. Environ.*, 35, 3203-3215.