

3B4) 울산지역 해륙풍 효과에 따른 고농도 오존 발생 메커니즘 분석

Analysis of High Ozone Concentration with Land-sea Breeze Effect in Ulsan Area

김유근 · 임윤규 · 이소영
부산대학교 대기과학과

1. 서 론

1990년대 이후 급격한 산업화 및 도시화의 영향으로 대도시를 중심으로 심각한 대기오염문제를 야기시키고 있으며, 특히 오존은 인체 및 생태계뿐만 아니라 시정과 일사량을 감소시키고 기후변화에도 영향을 미친다 (WHO, 20008). 특정지역 고농도 오존의 발생과 관련하여 중규모의 기상조건과 더불어 국지적 기상조건 및 배출원 환경의 이해가 중요하다 할 수 있다 (Chan and Chan, 2000).

특히, 해륙풍은 연안지역의 대표적인 국지풍으로 오전의 대기정체 현상과 오후에 고농도 발생에 깊은 관련이 있음을 여러 연구에서 언급하고 있다. Liu et al. (1990, 1994)은 오전중의 약한 풍속과 해륙풍의 전환시기에 나타나는 대기정체 현상이 광화학반응에 효과적이며 오후의 오존농도 축적을 유발하여 지표 고농도가 나타난다고 하였다. 또한 Zhang et al. (1998)은 정체고기압 영향 하에 해풍의 영향이 지형효과와 더불어 발생된 복잡한 국지풍의 작용으로 연안지역 고농도 현상을 유발한다고 하였다. Wang et al. (2001)의 연구에서는 오후의 풍향반전이 존재할 때 발생하는 기류 수렴 현상이 오존농도 상승의 중요한 원인으로 제시되었다. 오인보 등 (2004)은 해풍지역에 따른 대기정체현상의 지속화가 연안지역 오염물질의 축적효과를 가져와 늦은 오후 시간에 내륙지역의 고농도 오존 발생 메커니즘을 수치모델로써 모사한 바 있다.

이와 같이 연안지역의 오존오염현상을 이해하기 위해서는 국지순환에 따른 기류현상을 정확히 이해할 필요가 있으며, 아울러 지역대기의 오존전구물질 상시측정과 배출원 환경의 정확한 파악이 병행되어야 할 것이다. 따라서 본 연구에서는 울산지역에서 빈번히 나타나는 고농도 오존발생의 주요인인 해륙풍 효과에 의한 특성과 비해륙풍일 고농도 오존 발생기작을 기상 및 대기질 관측자료의 비교 뿐만 아니라 3차원 수치모델을 이용하여 발생 메커니즘에 관한 전반적인 차이점을 비교 분석하였다.

2. 자료 및 연구방법

울산지역 고농도 오존발생 메커니즘을 분석하기 위하여 고농도 오존 발생일을 선정하였다. 고농도 오존 발생일은 환경부에서 측정된 울산지역 11개소 대기오염측정소 자료(2000-2004)를 이용하여 8시간 평균농도 60ppb 이상 초과한 날을 고농도일로 선정하였으며, episode day로 선정할 날의 경우 1시간 농도 150 ppb를 초과한 날을 대상으로 하였다. 고농도 오존이 가장 빈번히 나타나는 오존시즌(4-9월)의 바람장 특성을 살펴보기 위해 울산지방기상청 기상관측자료(2000-2004년)를 이용하였다. 해풍일과 비해풍일의 기상요소 차이를 구체적으로 살펴보기 위해 오존발생 빈도가 가장 높은 5월(2000-2004년)을 대상으로 기온 및 바람장미를 분석하였으며, 해풍일의 기류 이동과정에 따른 풍상측, 도심, 풍하측의 농도 변화 특성차이를 비교하였다. 아울러 고농도 발생학적 메커니즘이 다른 해풍일 고농도 오존의 경우(2003. 5. 10)와 비해풍일(2004. 5. 6)의 3차원 기상장에 따른 대기질 농도의 시·공간적 분포를 살펴보기 위해 중규모 기상장 모델인 MM5(Fifth-Generation Penn State/NCAR Mesoscale Model)와 3차원 대기질 모델인 CMAQ(Community Multiscale Air Quality Model)을 이용하였다.

3. 결 과

그림 1은 오존 고농도 발생빈도가 가장 많은 5월달의 비교농도(a) 분포와 고농도(b) 분포를 나타낸 것

이다. 비교농도 분포에서 알 수 있듯이 울산지역은 대규모 산업시설이 밀집된 해안선 근처인 여천과 부곡에서 비교적 높은 농도를 보이고 있다. 고농도일의 경우 주위 산악으로 둘러싸인 상남과 성남 그리고 농소지역에서 높은 농도값을 나타낸다. 이러한 결과는 울산지역의 오존오염의 경우 해륙풍순환과 밀접한 관련이 있다는 점을 고려해 볼 때, 연안지역의 전구물질들이 해풍의 유입과정에 의해서 내륙으로 수송되어 나타난 것으로 유추할 수 있다. 이것은 오인보(2003)의 서울 및 부산지역의 오존농도 변화에 관한 연구에서도 풍하지역 오존농도 상승의 이유를 풍상측의 배출원에 의한 영향이 해풍 유입과정에서 풍하측으로 수송 및 축적의 효과를 지적인 것에서도 알 수 있다.

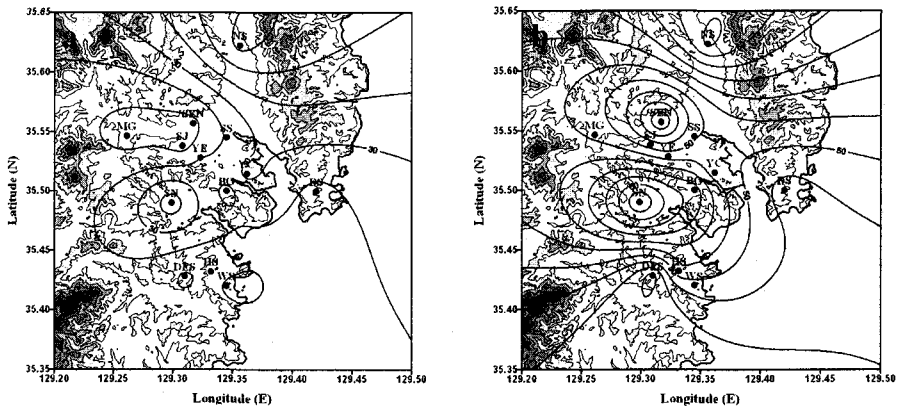


Fig. 1. Horizontal patterns of daily maximum 8-h ozone concentrations on non-ozone episodes (695) (a) and ozone episodes(220) (b) in Ulsan during the ozone season, 2000-2004. Ozone episodes indicate days exceeding 60 ppb at two or more sites.

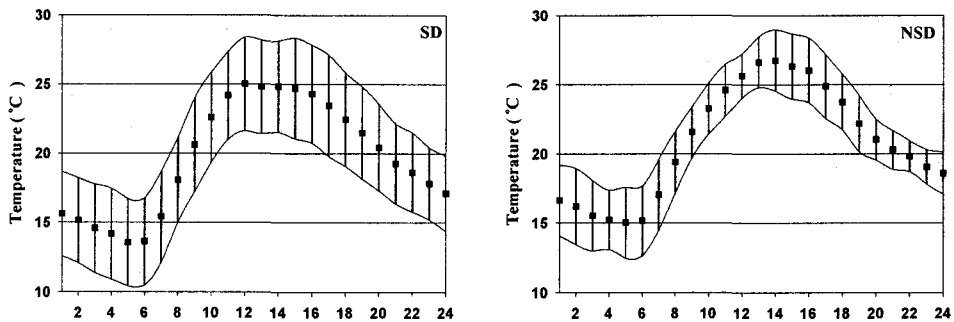


Fig. 2. Diurnal variations of temperature for SD and NSD in May, 2000-2004. The shaded rectangles and vertical bars in plots represent average value and 1 sigma standard deviations, respectively.

따라서 해륙풍일과 비해륙풍일의 오존농도의 특성을 살펴보기 위해 해풍유입 경로에 따라서 분석하였다(그림 2). 먼저 해륙풍일과 비해륙풍일은 각각 50과 44일로써 통계적인 결과를 유추하기에 무리가 없는 것으로 판단되었다. 기상인자의 변동요인을 가급적 줄이기 위해 오존 고농도 발생빈도가 가장 높은

5월 달만 고려하였으며, 1시간 최대 80ppb 이상인 날의 평균기온 및 풍계의 특성을 그림 3에 나타내었다. 해륙풍일의 오존농도 변화를 살펴보았을때 비해륙풍일 보다 오존 상승경향이 급격하며, 최대농도가 나타나는 시간도 비해륙풍일에 비해 1시간정도 빠르게 나타나고 있다. 또한 오존농도가 상승하는 0800-1000 LST의 농도편차가 비해륙풍일에 비해서 낮게 나타나고 있어 상대적으로 오존상승 효과가 해륙풍일이 보다 크다는 것을 알 수 있다.

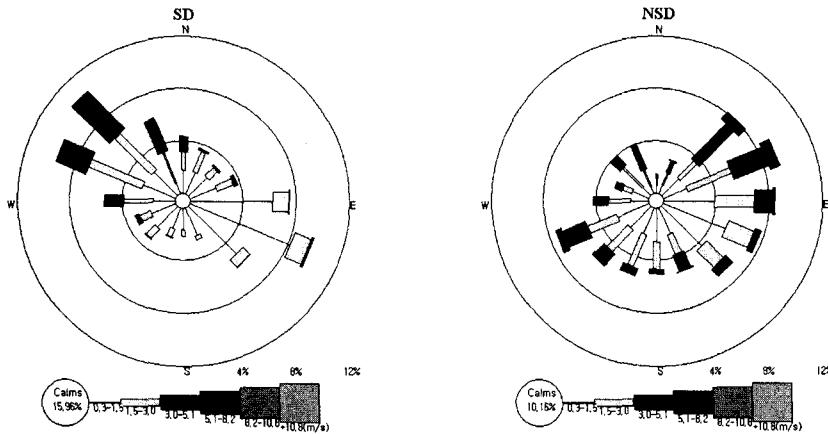


Fig. 3. Wind roses represent wind frequencies for SD and NSD at UWS (Ulsan weather station) during 2000-2004.

참 고 문 헌

- 오인보 (2003) 대도시지역 고농도 오존발생의 기상학적 메카니즘: 관측자료 분석과 수치모델링 연구, 부산대학교 대학원 박사학위논문.
- Chan, C.Y. and L.Y. Chan (2000) The effect of meteorology and air pollution transport on ozone episodes at a subtropical coastal Asian city, Hong Kong. *J. Geophys. Res.*, 105, 20707-20724.
- Gery, M.W., G.Z. Whitten, J.P. Killus and M.C. Dodge (1989) A photochemical kinetics mechanism for urban and regional scale computer modeling, *J. Geophys. Res.*, 94, 12925-12956.
- Liu, C.M., S.C. Liu, and S.H. Chen (1990) A study of Taipei ozone problem, *Atmos. Environ.*, 24(6), 1641-1472.
- Liu, C.M., C.Y. Huang, S.L. Shieh, and C.C. Wu (1994) Important meteorological parameters for ozone episodes experienced in the Taipei basin, *Atmos. Environ.*, 28, 159-173.
- 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.
- World Health Organization, WHO (2000) Guidelines for air quality. Geneva, 1999, 37-41.
- Zhang J., S.T. Rao, and S.M. Daggupaty (1998) Meteorological processes and ozone excesses in the Northeastern United States during the 12-16 July 1995 Episode, *J. Appl. Mete.*, 37, 776-789.