

PB6) 연안 도시지역 해륙풍순환이 오존분포에 미치는 영향에 관한 수치모의

Modeling the effects of land-sea breeze circulation on ozone distribution in coastal urban area.

황미경 · 김유근 · 오인보
부산대학교 대기과학과

1. 서 론

연안도시의 경우 해양 배경농도의 영향과 내륙과 비교해 강한 풍속조건이 형성됨으로 오존농도의 일 변화 폭이 적으며 야간에 농도상승 현상이 빈번히 나타난다. 또한 일반적으로 여름철 주로 발생하는 해풍에 의해 고농도를 경험하게 되는데, 이는 해풍역전으로 인한 연직혼합의 억제와 (Lu and Turco, 1994) 해풍전선의 이동 (McElroy and Smith, 1991), 해풍의 내륙침투 시 생기는 Fumigation 효과 (Entwistle, *et al.*, 1997; Zhang *et al.*, 1998) 등으로 설명되어 진다. 아울러 해륙풍순환으로 생기는 오존의 대기정체현상은 오후의 오존의 광화학 생성과 축적에 기여하게 되며 (Liu *et al.*, 1994), 해풍 발달 시에는 오존 및 전구물질이 내륙 수송되어 풍하측 지역에 고농도가 나타나게 된다 (Zhang *et al.*, 1998). 이와 같이 해륙풍순환이 존재하는 연안도시지역의 국지기상 조건은 도시 내 배출원 분포와 함께 오존의 공간적 분포 및 고농도 발생에 중요한 역할을 한다고 볼 수 있다. 따라서 해륙풍 순환에 의한 오존 및 전구물질의 거동을 이해하고 상호간의 관계를 보다 정확히 이해할 필요가 있다. 본 연구에서는 국내 최대의 연안도시인 부산지역을 대상으로 해륙풍순환이 오존의 공간적 분포에 미치는 영향과 국지적 고농도현상을 광화학 모델링을 통해 연구하였다.

2. 모델링 방법

본 연구에서 사용된 광화학 수치모델은 현재 미국과 유럽지역에서 도시지역 오존오염평가를 위해 폭 넓게 활용되고 있는 UAM-V (The Variable grid Urban Airshed Model)이다. 모델링 기간은 고농도 오존일이자 해륙풍 순환이 뚜렷이 나타난 2000년 8월 12일을 중심으로 3일간 (11~13일)으로 선정하였으며, UAM 수행 시 초기 24시간은 오염물질의 이류 및 확산이 충분히 이루어지도록 하는 초기적용 시간으로 처리하였다. 모델링 영역은 부산을 중심으로 한 100km × 100km (34.75 - 35.65° N, 128.51 - 128.61° E)를 영역으로 오염물질의 유입, 유출에 따른 모델링 오차를 최소화하고, 상호 영향을 포함하기 위해 울산지역과 경남 마산·창원이 포함되었다. 모델링 격자는 총 50 × 50개로 구성되며 간격은 2km로 하였다.

UAM-V의 기상입력자료는 중규모 모델 MM5로부터 얻어진 매 시간 기상자료 (기온, 바람장, 습도, 고도별 기압, 연직 확산계수)로 구성되며, MM5 모델 수행 시 하층대기의 수치모의 정확성 향상을 위해 대기경계층 내의 물리과정을 보다 상세히 모사할 수 있는 MRF-PBL 옵션을 사용하였다.

배출량 입력자료의 경우 부산광역시(2002)에서 부산광역시 대기환경개선 실천계획 수립을 위해 산출한 자료를 사용하였다. 초기조건인 경우 대상영역에 위치한 대기오염 측정소의 NO₂, CO, O₃자료를 바탕으로 하여 내·외삽하여 부족한 초기치 자료를 생성시켰으며, 상부과 측면 경계조건은 측정을 통한 실측농도를 입력하는 것이 바람직하나 측정자료의 부족으로 SAI (1996)에서 제공하는 수치와 인근 지역의 기상 오염물질 농도자료, 상층관측 오존농도 자료 (부산광역시, 2002) 등을 참조하여 계산하였다.

3. 결과 및 고찰

3. 1 사례일의 기상조건 및 오존농도 현황

본 연구의 사례일인 2000년 8월 12일은 부산지역 4곳의 대기질 측정소에서 환경기준을 초과한 오존오염일이다. 대부분의 측정소에서 야간에 매우 낮은 농도를 나타내다가 주간 농도가 급상승했음을 그림 1에서 알 수 있다. 기상조건인 경우 당해 가장 높은 일 최고 기온과 함께 해륙풍 순환이 나타났으며, 오존의 대기정체 현상이 뚜렷함을 알 수 있다 (그림 2).

3. 2 해풍순환의 구조와 오존분포 변화

그림 1은 사례일 수치모의된 바람과 오존농도의 수평분포이다. 0007 LST의 경우 도시 전역에 NOx

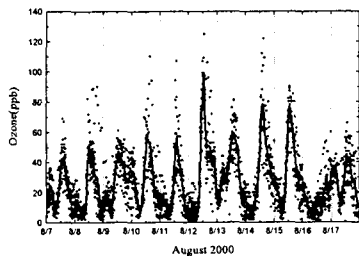


Fig. 1. The hourly time series of ozone concentrations from the monitoring sites in the Busan (9 sites) from 7 to 17 August in 2000. Shaded circles denotes the measurement at individual sites. Thick line denotes the hourly mean concentrations.

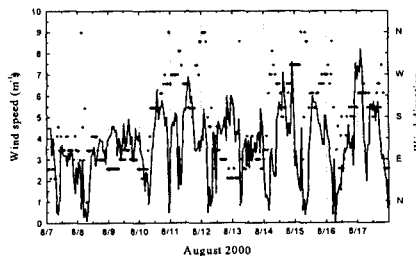


Fig. 2. The hourly time series of temperature, wind direction, wind speed observed Busan weather stations from 7 to 17 August in 2000. Crosshair and thin line denotes wind directions and wind speed, respectively.

적정효과에 의해 20 ppb 이하의 저농도역이 형성되었으며, 육풍에 의해 인근 연안까지 영향을 미침을 알 수 있다. 1300 LST의 경우 일사량의 증가, 기온상승에 따라 오존전구물질 배출원이 풍부한 도시중심으로 오존농도 상승이 나타났으며, 해풍유입에 따라 연안지역과 도심 풍하측지역에 고농도 현상을 볼 수 있다. 아울러 주·야간의 뚜렷한 오존의 연직분포가 나타났으며, 해풍유입에 따른 대기경계층 구조 변화가 오존의 거동에 영향을 미침을 알 수 있었다. 결과적으로 해륙풍 순환에 의해 오존 및 전구물질이 공간적으로 수송·확산됨을 볼 수 있었으며, 국지적으로 고농도를 유발시키는 중요 기상조건임을 확인할 수 있었다.

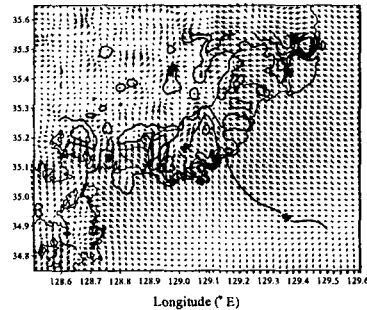
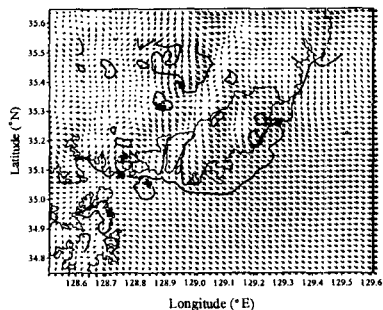


Fig. 3. Horizontal distributions of the simulated winds from MMS and ozone concentrations from UAM-V at 0700 LST (left) and 1300LST (right) on 12 August 2000.

참고 문헌

Entwistle J., K. Weston, R. Singles and R. Burgess (1997) The magnitude and extent of elevated ozone concentrations around the coasts of the British isles, *Atmospheric Environment*, 31(13), 1925-1932.

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, *Atmospheric Environment*, 28(1), 159-173.

Lu R. and R. P. Turco (1994) Air pollutant transport in a coastal environment. Part I: two-dimensional simulations of sea-breeze and mountain effects, *Journal of The Atmospheric Sciences*, 51(15), 2285-2308.

McElroy J. L. and T. B. Smith (1991) Lidar Descriptions of mixing-layer thickness characteristics in a complex terrain/coastal environment. *Journal of Applied Meteorology* 30, 585-597.

Zhang J., S.T. Rao and S. M. Daggupaty (1998) Meteorological processes and ozone exceedances in the Northeastern United States during the 12-16 July 1995 Episode, *Journal of Applied Meteorology*, 37, 776-789.