

## PB11) 해풍지연이 고농도오존 현상에 미치는 영향에 관한 수치모의 Modeling the Effects of Late Sea Breeze on High Ozone Phenomenon

오인보 · 김유근 · 황미경  
부산대학교 대기과학과

### 1. 서 론

일반적으로 도시/국지규모의 기상조건은 오존의 광화학 생성과 고농도현상을 이해하는데 중요한 인자이다. 특히 연안 대도시의 경우, 대기오염물질의 축적과 수송에 큰 영향을 미치는 해륙풍 순환과정이 오존의 시·공간적 분포 특성을 결정짓는 중요한 역할을 한다. 해륙풍의 반전에 따른 오존의 약한 풍속은 오후 오존농도 상승에 기여하게 되며, 해풍유입은 오존 및 전구물질의 단거리 수송을 유발하여 풍하측 오존축적에 관여한다(Cheng, 2002; Liu *et al.*, 2002). 아울러 해륙풍에 의한 오염물질의 재순환 과정 역시, 연안지역 오존오염 현상에 영향을 주게 된다. 이는 연안에 인접한 도시에서 방출되었던 오염물질이 육풍에 의해 인근 해안지역으로 수송되었다가, 해풍의 발달로 다시 내륙지역으로 유입되는 현상으로 고농도오존 발생 가능성을 한층 높이게 됨을 여러 선행연구에서 제시된 바 있다(Hurley and Manins, 1995; Tov *et al.*, 1997). 이러한 해륙풍 순환과정과 관련한 여러 역학적 효과와 더불어 해풍 약화 또는 지연으로 인한 주간 풍속 약화 현상은 도시 오존오염현상에 매우 중요한 역할을 할 수 있다. 해풍의 강도와 지연은 종관기상조건과 밀접히 관련하여 나타나게 되는데 Cheng(2002)과 Ma and Lyons(2003)의 연구에서 확인된다. 사실, 상기 언급한 해풍과 관련한 오존오염 연구는 그동안 국외에서 활발히 진행되어 왔으나, 국내에서는 관측자료의 한계로 인해 해풍의 생성 유무와 관련한 고농도오존 현상 고찰 연구 정도가 발표되었다. 국내 대부분의 주요도시가 연안과 가까이 위치하고 해륙풍 순환과정이 지역고유의 환경특성을 반영한다고 볼 때, 이에 대한 연구의 필요성은 매우 크다.

본 연구에서는 해륙풍의 순환과정과 함께 해풍 지연으로 유발되는 연안도시지역의 오존오염현상을 사례일을 대상으로 보다 상세히 분석하는 것이 목적이다. 대상지역은 우리나라 최대 연안도시인 부산지역을 하였으며, UAM-V 모델링을 통해 현상을 진단하였다.

### 2. UAM-V 모델링

UAM-V(The Variable grid Urban Airshed Model) 3차원 다중격자 광화학모델로서 도시지역 오존오염현상을 평가할 수 있다. 본 연구에서는 2001년 8월 24일을 중심으로 5일간(22~16일) 모델을 수행하였으며, 초기 24시간은 오염물질의 이류 및 확산이 충분히 이루어지도록 하는 초기적용 시간으로 처리하였다. 모델링 영역은 부산을 중심으로 한 100 km×100 km(34.75°-35.65° N, 128.51°-128.61° E)를 영역으로 모델링 격자는 총 50×50개로 구성되며 간격은 2 km로 하였다. 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 MRF-PBL 옵션을 사용하였다. 배출량 입력자료의 경우 부산광역시(2002)에서 대기환경개선 실천계획 수립을 위해 산출한 자료를 사용하였다. 초기조건은 경우 대상영역에 위치한 대기오염 측정소의 NO<sub>2</sub>, CO, O<sub>3</sub>자료를 바탕으로 하여 내·외삽하여 자료를 생성시켰으며, 상부과 측면 경계조건은 측정을 통한 실측농도를 입력하는 것이 바람직하나 측정자료의 부족으로 SAI(1996)에서 제공하는 수치와 인근 지역의 지상 오염물질 농도자료, 연직 오존농도 자료(부산광역시, 2002) 등을 참조하여 계산하였다.

### 3. 결과 및 고찰

사례일인 2001년 8월 24일은 부산지역 1시간과 8시간 기준치를 각각 6개, 8개의 대기질 측정소에서 초과한 고농도오존일이다. 대부분의 측정소에서 rush hour 이후에 농도가 상승하여 늦은 오후 1600 LST에 최고농도를 보였으며, 이후 2000 LST 까지 평균 80 ppb 이상의 고농도가 나타났다(그림 1). 기상조건은 경우 32.8 °C의 높은 일 최고 기온과 함께 해륙풍 순환이 뚜렷이 나타났다. 그림 2에서 특징적으로 1200 LST까지 북풍계열의 바람이 지속됨을 알 수 있는데, 이는 동해에 위치한 약한 저기압 종관류에 의한 결과로, 해풍발달이 지연되고 있음을 보여준다. 1300 LST 이후부터는 풍향이 급변하여 비교적 약한 해풍(3ms<sup>-1</sup> 이하)이 나타나 해풍이 종관류보다 강화되었음을 알 수 있다. 그림 3은 사례일의 MM5

수평바람장을 나타낸 것으로, 1200 LST의 경우 내륙지역에 북풍계열의 바람이 존재하고 있으며, 해안선을 따라 해풍이 점차 발달되고 있음을 확인할 수 있다. 일 최고 오존농도가 나타난 1600 LST는 해풍의 침투가 부산지역 내로 제한되었고, 이러한 해풍의 지연효과는 오존 및 전구물질의 확산을 억제함으로써 늦은 오후의 고농도오존발생에 중요한 역할을 했음을 가늠할 수 있다.

사례일의 UAM-V 수치모의 결과 실제 오존농도의 시·공간적 변화를 비교적 잘 모사하였고, 해륙풍 순환과정과 해풍발달의 지연으로 인한 도심 내 오존축적 현상을 파악할 수 있었다.

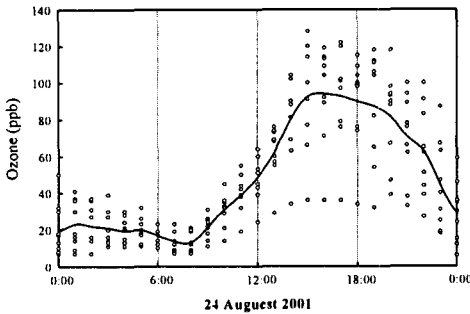


Fig. 1. Diurnal variation of ozone concentrations from the monitoring sites in the Busan (9 sites) on 24 August 2001. Open circles denote the measurement at individual sites. Thick line denotes the hourly mean concentrations.

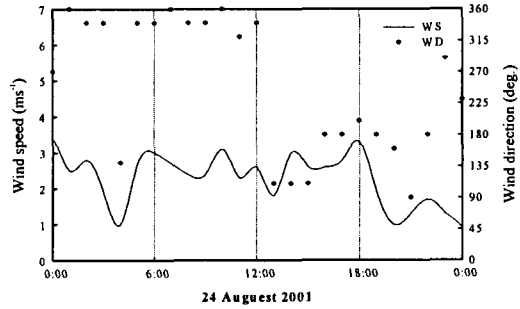


Fig. 2. Diurnal variation of wind direction and wind speed observed at Busan weather station on 24 August 2001. Crosshair and thin line denote wind directions and wind speed, respectively.

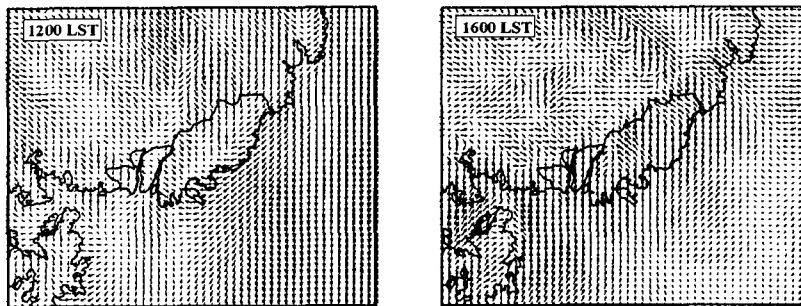


Fig. 3. Horizontal wind fields on the surface obtained from MM5 on 24 August 2001.

### 참 고 문 헌

- Cheng, W.L (2002) Ozone distribution in coastal central Taiwan under sea-breeze conditions, *Atmospheric Environment*, 36, 3445-3459.
- D.A. Tov, M. Peleg, V.Matveev, Y.Mahrer, I.Seter, and M. Luria (1997) Recirculation of polluted air masses over the east Mediterranean coast, *Atmospheric Environment*, 31, 1441-1448.
- Hurley, P.J., P.C. Manins, G. Johnson, M. Azzi (1995) Modelling the winds on days of high ozone in Perth, *Mathl. Comput. Modeling*, 21, 105-110.
- Liu, K.Y, Z. Wang, L.F. Hsiao (2002) A modeling of the sea breeze and its impacts on ozone distribution in northern Taiwan, *Environmental Modeling & Software*, 17, 21-27.
- Ma, Yimin and T.J. Lyons (2003) Recirculation of coastal urban air pollution under a synoptic scale thermal trough in Perth, Western Australia, *Atmospheric Environment*, 37, 443-454.