

## 대기-P1 UAM-V를 이용한 부산지역 고농도 오존사례 수치모의

김유근, 오인보, 황미경\*

부산대학교 대기과학과

### 1. 서론

부산은 우리나라 최남동단에 위치한 연안도시이자 항구도시로 도시화가 급속히 이루어지고 있는 국내 제 2의 대도시이며, 최근 오존농도가 지속적으로 증가하고 있는 추세로 1999년에는 138 ppb의 고농도 발생과 8시간평균 기준농도인 60 ppb를 27회 초과하는 오존오염현상이 일어나 이에 대한 정확한 실태와 원인분석이 요구됨을 부각 시켰다.

일반적으로 연안도시의 경우 내륙도시와는 다르게 여름철 주로 발생하는 국지순환인 해풍에 의해 다수의 고농도오존 발생을 경험하게 된다. 뚜렷한 해륙풍순환으로 생기는 오전의 대기정체현상은 오후의 오존의 광화학 생성과 축적에 기여하게 되며 (Liu et al., 1990; Liu et al., 1994) 해풍의 유입은 인근 내륙으로 오존 및 전구물질을 수송하여 풍하측에 오존농도를 상승시키게 된다 (Zhang et al, 1998). 따라서 연안도시 및 인근지역의 고농도 현상을 이해하기 위해서는 해륙풍 순환으로 인한 도시바람장의 변화와 도시규모의 오존수송 및 배출원 환경을 고려한 수평농도분포의 변동을 파악이 무엇보다도 중요하다 볼 수 있으며, 이를 위해 3차원 관측을 통한 다양한 사례분석과 신뢰성 있는 광화학 수치모델링을 통한 검토가 요구된다.

따라서 본 연구에서는 고농도오존 사례일의 오존의 시·공간적 분포 변화와 고농도 발생원인을 파악하기 위해 보다 상세한 입력자료 구성을 통해 국지순환에 따른 단거리 수송현상을 광화학 수치모델을 통해 진단하였다. 모델은 현재 미국과 유럽지역에서 도시 지역 오존오염평가를 위해 폭 넓게 활용되고 있는 (Scheffe and Morris, 1993) UAM를 이용하였으며 기상장은 MM5를 이용하여 생성시켰다.

### 2. 모델링 방법

#### 2.1 모델의 개요

UAM-V는 도시규모의 지역을 대상으로 하는 3차원 광화학 격자모델로 대기확산과 물질별 연속방정식에 기본을 두었으며 이 방정식은 수치적인 항에서 표현되는 방출, 수송, 확산, 화학반응, 제거과정의 질량보존을 표현하며 기본 방정식은 식 1과 같다.

$$\frac{\partial C_i}{\partial t} = - \frac{\partial(u C_i)}{\partial x} - \frac{\partial(v C_i)}{\partial y} - \frac{\partial(w C_i)}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial x} [K_x \frac{\partial C_i}{\partial x}] + \frac{\partial}{\partial y} [K_y \frac{\partial C_i}{\partial y}] + \frac{\partial}{\partial z} [K_v \frac{\partial C_i}{\partial z}] + S_i + R_i + D_i + W_i \quad (1)$$

여기서  $C_i$  는  $i$  물질의 농도를 나타내며  $u, v, w$ 는  $x, y, z$ 방향의 풍속,  $K_x, K_y, K_z$ 는 수평, 연직방향의 난류확산계수를 의미한다.  $S_i$ 는 배출률,  $R_i$ 는 화학반응에 의한 순생성률,  $D_i$ 는 지표에서 건성침적에 의한 순변화률,  $W_i$ 는 습성침적과정에 의한 순변화률을 각각 나타낸다. 화학반응 메커니즘은 유기화합물의 탄소결합구조를 기초로 화학종을 분류하여 반응 단계를 정리한 CB-IV가 사용되었으며 본 연구에서 습성침적은 고려되지 않았다.

## 2.2 대상 기간과 영역

부산지역에 고농도 오존이 발생한 1999년 7월 17일부터 7월 19일까지 여름철 3일간을 모델링 기간으로 선정하였다. 이 기간동안 부산지역 총 8개 site 평균 일최고 오존농도가 80 ppb를 넘었으며, 4개 site에서는 환경기준인 100 ppb를 초과하는 고농도가 나타났다. 대상영역은 부산을 중심으로 위도 34.75 - 35.65 °N, 경도 128.51 - 128.61 °E의 100 km × 100 km 영역을 기본적인 모델링 대상지역으로 선정하여 2 km × 2 km 해상도로 기본으로 하였다.

## 2.3 입력자료

기상입력자료는 NCEP/NCAR에서 제공하는 6시간 전지구 재분석자료 (GDAS)를 이용하여 중규모 모델 MM5를 실행한 결과를 입력자료로 사용하였으며 연직 50 m로부터 3.5 km까지 8층의 결과만을 UAM-V의 입력자료로 사용하였다. 배출량 입력자료는 면오염원과 점오염원의 NO<sub>x</sub>, CO, THC의 인위적 배출량을 사용하였으며 초기조건은 대상영역에 위치한 대기오염 측정소의 NO<sub>2</sub>, CO, O<sub>3</sub>자료를 바탕으로 하여 내·외삽하여 부족한 초기치의 자료를 생성시켰으며 경계조건은 측정을 통한 실측농도를 입력하는 것이 바람직하나 관측자료의 부족으로 경계면의 농도는 일정한 상수로 취급하였다.

## 3. 수치모의 결과

오존 농도의 일변화는 오전 중의 저풍속과 rush hours 동안의 출근차량의 NO<sub>x</sub> 배출에 따라 오존의 감소현상이 뚜렷이 나타났으며 오후의 높은 기온과 많은 일사량 그리고 해풍이 유입되면서 1000 LST이후부터 오존농도가 급격히 증가하기 시작하여 1300 - 1400 LST에 최대값을 나타내어 관측 결과를 비교적 정확히 잘 재현함을 보였다. 전반적으로 계산치와 관측치 비교에서 4개 (동삼동, 대연동, 범천동, 연산동) 지점 평균은 3.4 ppb, 최대 값은 14 ppb정도 과소 평가하는 결과를 보였으며, 특히 동삼동 지점의 경우 계산된 일최고 농도가 약 30 ppb정도 과소 평가하는 비교적 큰 오차를 나타내었다. 하지만 4지점 평균 계산치와 관측치 상호간에 0.88 ( $p < 0.01$ )의 높은 상관관을 보여 모델링 결과의 타당성을 알 수 있다.

그리고 대상일의 UAM-V를 통해 수치 모의된 오존농도의 시·공간적 분포 특성을 Fig. 1에 나타내었다. 0500 LST 수치모의 결과 약 20 - 40 ppb 정도의 저농도가 전체적으로 나타났으며, 특징적으로 부산지역의 남동쪽 인근 해안에 20 ppb 이하의 낮은 농도

를 보이는 결과를 나타내었는데, 이는 야간에 생성되는 약한 육풍에 의해 도시 지역 다량의 NO<sub>x</sub>를 포함한 오염된 기체가 인근 해양으로 수송되어 해양지역의 오존감소에 영향을 준 결과임을 수치모의 통해 알 수 있었다. 1400 LST에는 해풍의 영향으로 도심과 풍하측 지역에서 오존의 고농도가 발생함을 알 수 있다. 최고 농도는 부산지역 내 풍하측 지역으로 볼 수 있는 연산동 부근에서 110 ppb 이상의 값을 보였으며 북서방향으로 수 십 km 떨어진 풍하측 지역에 80 - 90 ppb의 높은 농도가 분포하였다.

결과적으로 해풍의 유입으로 오존 전구물질 및 오존이 풍하측으로 수송·확산되어, 국지배출이 많은 도심뿐만 아니라 풍하측에 위치한 도시 인근 외각 지역에도 고농도가 나타남을 알 수 있었다.

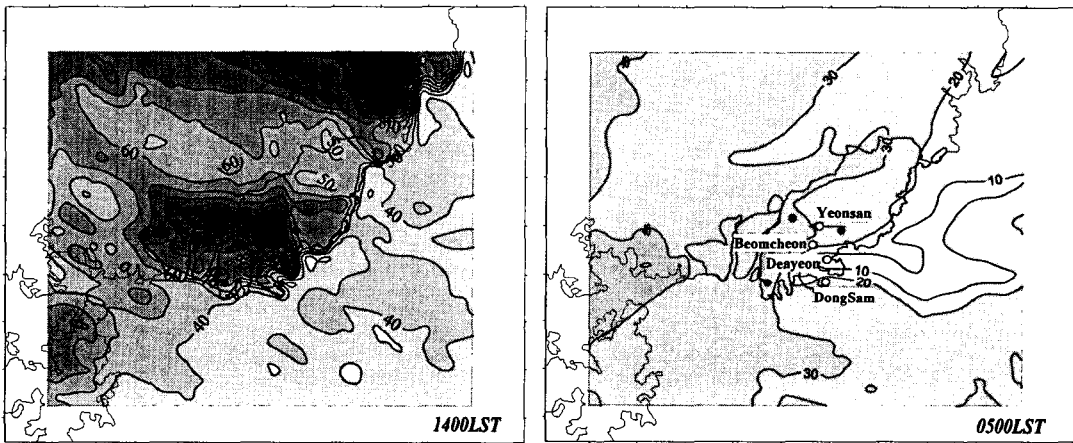


Fig. 1. Horizontal distributions of ozone concentrations by and simulated on 18 July 1999.

#### 참 고 문 헌

- Liu, C.M., S.C. Liu, and S.H. Shen (1990) A study of Taipei ozone problem, *Atmospheric Environment*, 24, 1641-1472.
- Liu C.M., C.Y. Hung, S.L. Shieh, and C.C. Wu (1994) Important meteorological parameters for ozone episodes experienced in the Taipei Basin, *Atmospheric Environment*, 28, 159-173.
- Scheffe, R.D. and Morris, R.E. (1993) A review of the development and application of the urban airshed model, *Atmospheric Environment B*, 27, 23-29.
- 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, *Journal of Applied Meteorology*, 37, 776-789.