

## A-8 부산지역에서의 UAM(Urban Airshed Model)의 적용과 민감도 분석

김유근, 이화운, 김영주\*

부산대학교 대기과학과

### 1. 서론

도시가 점점 광역화, 산업화됨에 따라 도시 내 인간활동은 증가되어 인해 대량의 대기오염물질들이 대기 중으로 배출되고 있다. 이러한 대기 중에서는 다양한 물리, 화학 조건하에서 여러 가지 화학반응들이 일어나고 있으며 특히, 대기오염현상 중에는 각종 다양한 화학반응이 포함되어 있다. 이들 반응은 극히 복잡하여 각종의 소 반응들이 연쇄적으로 일어나고 반응 중간생성물 중에는 극히 단수명이거나 불안정한 화합물 등이 포함되어 있다. 이러한 복잡한 대기질을 효율적으로 관리하기 위해서는 대기 중에 방출되는 오염물질이 주변 환경에 미치는 영향을 정확히 예측하는 것이 매우 중요하다.

본 연구에서는 이러한 효율적인 대기질 관리를 위해, 미국 EPA에서 제시하고 있는 광화학 수치 모델인 UAM(Urban Airshed Model)을 이용하여 부산지역에 적용함으로써 이차 오염물질인 오존과 기타 오염물질을 모사하고 동시에 여러 가지 민감도 분석을 수행하여 효율적인 대기질 관리를 위한 방안을 제시하고자 한다.

### 2. 연구 방법

#### 1) UAM의 개요

UAM 모델은 도시규모의 지역을 대상으로 하는 오일러안(Eulerian) 대기확산 모델로 대기오염물질의 바람에 의한 이동 및 난류에 의한 확산과정을 포함하며, 오염물질의 화학반응과 제거과정 등 물리·화학적 메카니즘을 모사할 수 있는 3차원 광화학 격자모델(three-dimensional photochemical grid model)이다.

UAM은 대기확산이나 연속방정식에 그 기초를 두고 있다. 기본 모사 시간은 8-72시간이며, 수평으로 2~5km, 수직으로 지상위로 2km까지 4~6 layers으로 분해되어 수행되어진다.

일반적으로 UAM은 도시지역에서 여름에는 오존농도를 계산하는데 모사되어지고, 겨울에는 화학반응이 없는 모사, 예를 들어 CO농도를 모사하는데 이용되어진다.

UAM의 지배방정식은 다음과 같다.

$$\frac{\partial c_i}{\partial t} = - \frac{\partial (uc_i)}{\partial x} - \frac{\partial (vc_i)}{\partial y} - \frac{\partial (wc_i)}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial x} [K_H \frac{\partial c_i}{\partial x}] + \frac{\partial}{\partial y} [K_H \frac{\partial c_i}{\partial y}] + \frac{\partial}{\partial z} [K_V \frac{\partial c_i}{\partial z}] + S_i + R_i + L_i$$

여기서,  $c_i$ 는 3차원공간  $(x, y, z)$ 의 한 지점에서  $i$  물질의 농도를 말하며,  $t$ 는 시간,  $u, v, w$ 는  $x, y, z$  방향의 풍속,  $K_H, K_V$ 는 수평, 연직방향의 확산계수,  $S_i$ 는  $i$  오염물질의 배출항,  $R_i$ 는 물질  $i$ 의 화학반응항,  $L_i$ 는 지표면에서의 물질  $i$ 의 제거항을 의미한다.

## 2) 대상영역과 기간

부산을 중앙으로 수평영역은 동서로 동해안의 일부와 마산, 창원지역을 포함하고, 남북으로는 울산지역과 남해안의 일부를 포함하는 영역으로, 전체 크기는  $112 \times 136$  km(TM좌표로 155~267, 112~248)이며 모델을 수행하기 위하여 수평간격을 4km로 설정하였다. 그러므로 총 격자는  $28 \times 34$  개로 구성되며 수직층은 5층(혼합층 하부 2층, 상부 3층)으로 구성되어 있다. 대상 기간은 부산에서 고농도 오존일(1시간 평균농도 120ppb 이상인 날)이 발생한 1996년 8월 9일을 기준으로 전후 8월 8일부터 8월 10일까지를 대상기간으로 설정하였다.

## 3) 입력자료의 구성

UAM을 구성하는 입력자료로는 크게 모사제어, 화학 반응을 제어, 초기·경계치 설정, 기상입력자료, 배출량 자료로 구성되며 모두 13개의 입력자료를 이용하여 모사하는 구조로 되어 있다.

## 3. 결과

### 1) 배출량

배출량 산정은 해당 영역에 대해서 점, 선, 면 오염원과 특히 VOC의 경우는 정유사, 저유소, 주유소, 세탁소 등에서 배출되는 양을 첨가하였다.

해당 물질은 NO, NO<sub>2</sub>, CO, SO<sub>2</sub>, TSP, 및 THC이다. VOC 물질은 THC 배출에 대한 각 VOC 물질에 대한 분할 계수를 이용하여 TOL, XYL, PAR, OLE, ISOP, MEOH, ALD2, ETH, ETOH, FORM 등 10가지 물질에 대한 배출량을 산정하였다.

### 2) 바람장

DWM(Diagnostic Wind Model, Dauglas *et al.*, 1990)을 이용하여 모사기간(1996.8.8-8.10)동안에 바람장을 적용시켰다. DWM은 진단 모델로서 Terrain-parallel 연직 좌표계를 사용하며, 지상 및 상층에서 측정된 바람자료를 내삽(interpolation)과정을 거쳐 시간별로 정해진 영역에서 3차원 격자내의 바람( $u, v, w$ )을 계산한다.

### 3) 부산지역에서의 적용

부산지역에서의 현황 O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>를 관측치와 비교하여 Time series(Fig. 1~2)로 나타내고, 공간적인 분포를 살펴본다.

## 4. 민감도 분석

### 1) 초기·경계치

모델을 수행함에 있어 초기·경계치는 영향력이 큰 요소로 정확한 입력이 중요하다. 초기·경계치는 오염물질의 관측치를 이용하는 것이 가장 바람직한 방법이지만, 실제적으로 VOC 같은 경우는 관측치가 없다. UAM에서는 ROM(Regional Oxidants Model)라는 중규모적인 모델의 결과를 이용하여 초기·경계치를 결정하는 방법을 제안하고 있으나 이 방법은 계산과정이 많이 복잡할 뿐 아니라, 컴퓨터 수행 시간을 연장시키는 단점이 있다. 이러한 여러 가지 문제로 본 연구에서는 초기·경계치를 Morris *et al.* 에 의해 수행된 값을 사용했으므로 이 값이 본 연구에 어떠한 영향력을 끼칠 것인가를 민감도 분석으로 설명하고자 한다(Fig. 3~5).

### 2) 혼합고

혼합고는 모델을 수행함에 있어서 중요한 요소이다. 혼합고의 변화가 오염물질에 어떠한 영향을 끼칠 것인가를 분석한다.

### 3) Radiation factor

Radiation factor는 입력 자료중 Meteorological Scalar 중에 들어가는 요소로 NO<sub>2</sub> 광분해율을 나타낸다. 이 값은 O<sub>3</sub>에 직접적인 영향을 주고 있는데, 이것은 UAM이 일사량에 크게 의존하고 있음을 나타낸다.

### 4) VOC

VOC 배출량을 조절하여 실험한 결과로 효율적인 O<sub>3</sub> 저감 방안을 제시하고자 한다.

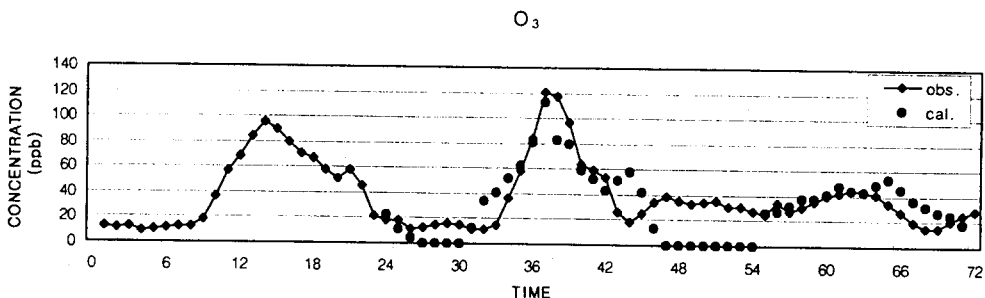


Fig. 1. Comparison of observed and calculated O<sub>3</sub> concentration at the UAM layer 1 for August 8-10, 1996 at Pusan.

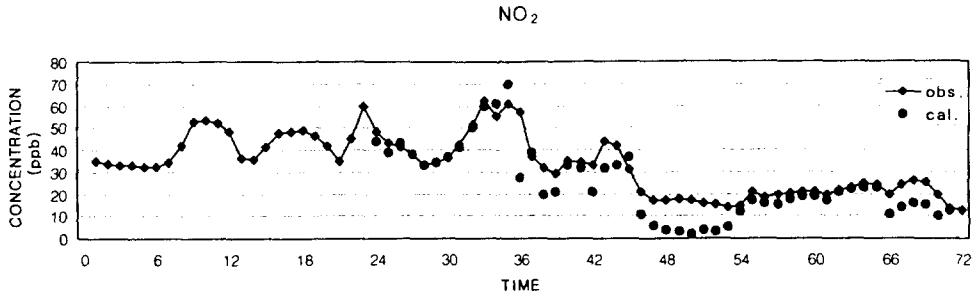


Fig. 2. Comparison of observed and calculated NO<sub>2</sub> concentration at the UAM layer 1 for August 8-10, 1996 at Pusan.

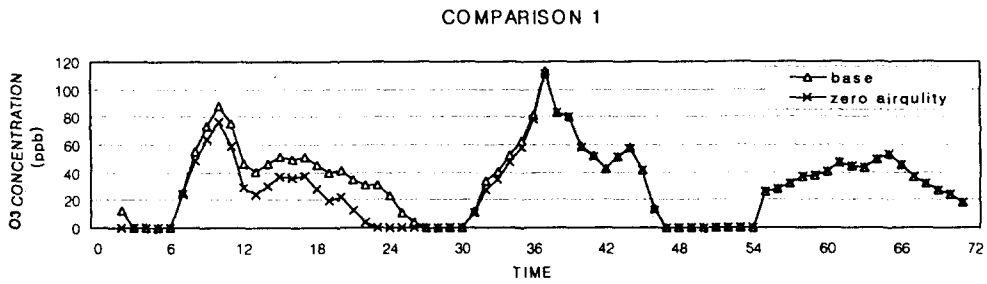


Fig. 3. Comparison of base case and zero airquality condition case O<sub>3</sub> concentration.

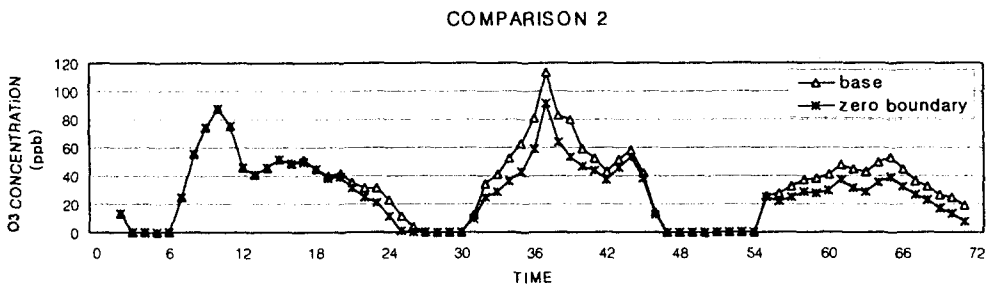


Fig. 4. Comparison of base case and zero boundary condition case O<sub>3</sub> concentration.

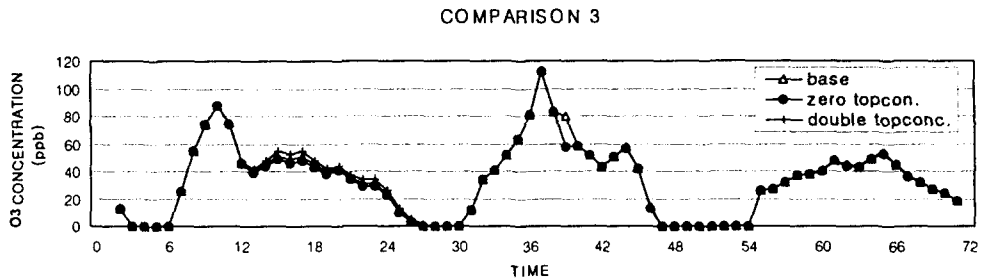


Fig. 5. Comparison of base case and zero top concentration and double top concentration case O<sub>3</sub> concentration.

## 5. 참고 문헌

김용국, 1996, 수도권지역의 광화학 오존 농도 예측에 관한 연구, 강원대학교 박사논문

김유근, 이화운, 전병일, 방종선, 1996, 부산지역에서의 대기오염 물질 배출량 산정에 관한 연구, 한국대기보전학회지, 12(4)

이종범 · 김용국 · 김태우 · 방소영 · 정유정, 1997, 광화학 확산모델 적용을 위한 수도권 지역의 대기오염물질 배출량 산출, 한국대기보전학회지, 13(2)

이화운, 김유근, 원경미, 오은주, 1997, 대기유동장에서 대기오염의 확산과 이동에 관한 수치모의, 한국환경학회지, 6(5)

장영기 · 김동영 · 조규탁, 1995, 먼 및 이동오염원 조사방법 개발 및 지침서에 관한 연구, 환경부, pp.136

Paul A. Solomon, 1995, Regional Photochemical Measurement and modeling Studies : A Summary of the Air & Waste Management Association International Specialty Conference, Air & Waste Management Association

Richard D. Scheffe, 1993, A Review of the Development and Application of the Urban Airshed Model, Atmospheric Environment Vol. 27B, No.1, pp.23-39

SAI, 1990, User's Guide for the Urban Airshed Model(IV) - I ~ IV, System Application, Inc., San Rafael, CA.