

행한 후 얻은 추적물질의 농도이다. 이 추적물질은 위에서 기술한 바와 같이 초기조건과 경계조건을 1ppm으로 고정시킨 추적물질로 boundary flux를 제거할 수 있도록 적절히 설계된 경계조건을 이용하였다. 그림1과 2에 의하면 초기에 1ppm이던 추적물질의 농도는 24시간후 균일하던 초기 농도 1ppm을 유지하지 못하고 최고농도가 각각 2.416ppm, 13.635ppm으로 나타나는 등 24시간동안 수백% 이상의 오차가 발생하였다. 이러한 오차는 기상장 자체가 질량 보존을 만족할지라도 기상모델과 대기오염 모델에서 사용하는 적분 시간간격의 차이로 인하여 연속방정식의 경향항의 분포가 상이한 점, 기상모델과 대기오염 모델에서의 유한차분법의 차이, 기상 데이터를 대기오염 수치모의의 매 이류단계로 내삽하는 과정에서 발생하는 Mass Inconsistency에 기인한 것으로 나타났다. 또한 비정역학 모델의 경우 식(2)와 같이 공기 밀도를 연속방정식으로부터 직접 예단적으로 계산하지 않고, 기압과 같은 다른 열역학 변수를 예단적으로 계산한 후 이상기체 상태방정식 등을 이용하여 공기 밀도를 진단적으로 산출하기 때문에 연속방정식을 엄격히 만족시키지 못하고 식(4)와 같이 수치오차에 가까운 Mass Inconsistency가 발생한다.

$$\frac{\partial \rho I}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{J} \vec{V}) = Q_\rho \quad \dots\dots\dots (4)$$

이러한 Mass Inconsistency는 식(5)와 같은 대기오염 모델의 기본 방정식을 밀도의 단위(kg/m³)를 지니고 있는 대기오염 농도 c가 아닌 오염물질과 공기의 혼합비의 형태인 무차원 단위 $q = \frac{c}{\rho}$ (단위 ppm)로 표현하면 식(6)과 같다.

$$\frac{\partial c I}{\partial t} + \nabla \cdot (c \vec{J} \vec{V}) = 0 \quad \dots\dots\dots (5)$$

$$\frac{\partial q}{\partial t} + \vec{V} \cdot \nabla q = -\frac{q}{\rho} \left\{ \frac{\partial \rho I}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{J} \vec{V}) \right\} \quad \dots\dots\dots (6)$$

즉, 생성 및 소멸항이 없고 확산을 고려하지 않은 경우의 대기오염 농도 방정식은 위와 같다. 따라서 기상장이 연속방정식을 완벽하게 만족시키지 못하고 식(4)과 같이 잔여항, Q_ρ가 있다면, 이는

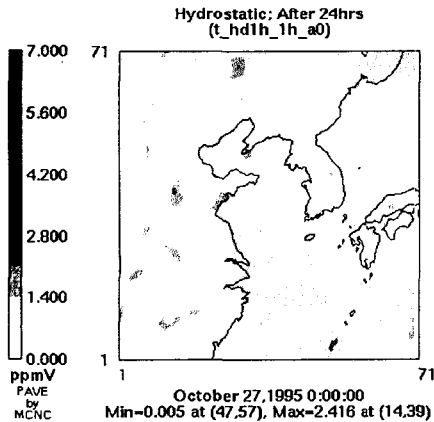


Fig. 1. Trace species concentration computed with the output of hydrostatic version of MM5 after 24 hours integration.

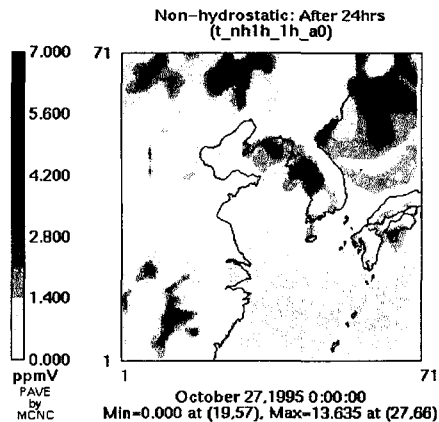


Fig. 2. Same as Fig. 1 except nonhydrostatic version of MM5.

대기오염 모델에서 인위적인 생성항의 역할을 하게 된다. 결과적으로 혼합비 형태의 대기오염 농도 q와 Mass Inconsistency Q_ρ의 관계는 다음의 식(7)과 같이 시간에 따라 지수함수적으로 증가하는 관계로 표현된다.

$$q(t) = q(0) \exp\left(-\frac{Q_e}{\rho} \cdot t\right) \dots\dots\dots (7)$$

즉, 저기압의 생성·발달 및 소멸을 상세히 기술하여 보다 정확하게 기상을 예측하는 것을 주목적으로 하여 기상모델을 사용할 때에는 수치오차로 간주할 수 있는 Mass Inconsistency일지라도 대기오염 수치모의에서는 식(7)에서 보는 바와 같이 지수함수적으로 증가하여 24시간동안 대기오염 농도장에 최고 1000%이상의 오차를 유발한다. 따라서 대기오염 수치모의를 위한 기상장은 보다 엄격한 의미의 Mass Consistency가 요구된다고 할 수 있다.

참 고 문 헌

Environ International Corporation, 1998, *User's guide; Comprehensive Air Quality Model with Extensions(CAMx) version 2.00.*

Skamarock, W. C., J. B. Klemp and J. Dudhia, 1998, Next generation(WRF) model development: Examples from 2D moist prototypes, p77-p82, *The Eighth PSU/NCAR Mesoscale Model Users' Workshop, 15-16 June 1998, Boulder, Colorado.*

Byun, D. W. and J. K. S. Ching, 1999, Science algorithms of the EPA Models-3 Community Multiscale Air Quality(CMAQ) Modeling system, US EPA.

Dudhia, J., 1993, A nonhydrostatic version of the Penn State-NCAR Mesoscale Model: Validation tests and simulation of an Atlantic cyclone and cold front., *Mon. Wea. Rev.*, 121, 1493-1513.