한국대기환경학회지 제 19 권 제 1 호
J. KOSAE Vol. 19, No. 1 (2003) pp. 13~23
Journal of Korean Society for Atmospheric Environment

국지순환풍 모델을 이용한 광양만권 대기오염물질의 수치모델링

Numerical Modeling of Pollutants using Local Wind Model in Gwangyang Bay, Korea

이 상 득
목포대학교 환경공학과

(2001년 12월 17일 접수, 2002년 12월 9일 채택)

Sang-Deug Lee
Dept. of Environmental Eng. Mokpo National University

(Received 17 December 2001, accepted 9 December 2002)

Abstract

A local wind model and a three dimensional local environmental model including advection, diffusion, deposition, and photochemical reactions were performed at Gwangyang Bay, Korea, to predict air flow and air pollutants concentrations. A large grid was used, and nesting method was employed for small grid calculation. From the meterological module simulation, we were able to reproduce local wind characteristics such as sea/land winds and mountain/valley winds simulation at Gwangyang Bay. In addition, the concentration module showed high concentration regions at Yosu industrial complex, Gwangyang steel company, and Container anchor. It was also seen that air pollutants were dispersed by sea/land winds. A comparison between the measurement and the prediction of sulfur dioxide and nitric oxide, which are relatively low-reacted pollutants, was performed. However, the measured nitrogen dioxide and ozone concentrations were higher than the simulated ones. Particularly, ozone concentration between 8 a.m. and 8 p.m. agreed well, but the measured ozone during the rest of time were generally higher.

Key words : Numerical Modeling, Sea/land breezes, Air quality, Pollutants, Gwangyang Bay

1. 서 론

광양만권에 대한 대기오염물질의 고농도 오염현상이 출현하는 메카니즘은 아직 해명해야 할 분야가 매우 많다. 일반적으로, 야간의 약한 바람과 맑은 날에 발달하는 접지 역전층에 의해 고농도 1차 오염물질이 출현하게 된다. 또한, 광양만권과 같은 폐쇄적인 연안지역에서는 해륙풍 순환에 의해 대기오염물질이 축적되는 경우가 많이 발생한다. 특히, 광양만권과 같이 다량의 발생원이 밀집되어 있는 폐쇄적인 연안지역의 대기오염물질 고농도 현상에 대

* Corresponding author
Tel : +82-(0)61-450-2484, E-mail : leesang@mokpo.ac.kr

한 충분한 규명이 이루져 있지 않으며, 장래 대기질 보전에 대한 대책도 미비한 실정이다.

이와 같은 현상에 대한 메카니즘을 규명하기 위해서는 특수한 지형에 의해 발생되는 국지순환풍의 특성, 대기오염물질의 측정, 발생원에 대한 발생량 산정 및 모델링을 통한 종합적인 연구가 필요하다. 김유근 등(1996)은 부산지역을 대상으로 규제기준 대기오염물질 배출량을 산정하여 대기보전대책을 수립하였으며, 오존의 원인물질인 질소산화물과 휘발성유기화합물에 대한 연구도 활발하게 진행되고 있다. 또한, 효율적인 대기질의 관리정책 수립을 위해 수치모델을 이용한 연구가 실시되고 있으며, 임해지역의 해륙풍에 대한 수치모의 및 대도시의 오존농도 예측에 대한 연구도 꾸준하게 진행되고 있다. 수치모델에 의한 국지순환과 대기오염농도와의 연구는 광화학 옥시단트를 중심으로 Ikeda (1977), Hara (1997)가 있으며, 특히 Hara는 국지기상 모델과 간략화한 광화학반응 모델을 이용하여 여름철의 오존농도에 대한 수치모의를 실시하였다. 이화운 (1999)은 연안 도시지역에서 대기오염의 3차원 수치예측 모델링을 실시하였으며, 이종범 (2001)은 US EPS에서 개발된 Model-3/CMAQ (Community Multi-scale Air Quality)을 우리나라 수도권지역에 적용하였다.

이와 같은 논문은 대기오염물질의 농도에 영향을 미치는 지형적인 영향, 고농도 대기오염물질을 발생시키는 국지순환풍에 대한 시간적, 공간적인 분포를 나타내는데 다소 어려움을 나타내고 있다.

따라서, 본 논문에서는 광양만권의 복잡한 지형에서 형성되는 해륙풍과 배출 특성, 광화학반응 및 침적과정을 고려한 3차원 광화학 대기오염 모델에 의한 수치모의를 실시하였다. 또한, 광양만권의 대기측정망의 관측자료와 비교·평가하여 모델의 재현성을 평가하였다.

2. 대기질예측모델의 구성

2.1 대기 유동장모델

광양만권역의 질소산화물 (NO_x)을 수치모의하기 위한 지역대기환경모델은 대기의 유동을 나타내는 기상장 모델과 광화학반응 모델로 구성되어 있다. 기상장 모델은 운동량 보존식, 온위 방정식, 수분 보존식, 연속 방정식 및 정수역학 방정식을 사용하고 있으며, 또한 이 지역의 복잡한 지형의 영향을 고려하기 위하여 지형의 변화를 잘 나타내는 z*좌표계를 이용하였다. 연직방향의 확산계수는 대기경계층을 지상 50 m까지를 대기 접지층, 그 위를 Ekman층으로 분리하여 각각 다른 모델을 사용하였다. 대기접지층에서의 운동량과 열에 대한 플럭스 및 확산계수는 Monin-Obukhov의 상사이론을 풍속 및 온위의 연직분포에 적용한 Businger (1971) 모델을 적용하였으며, 에크만층에는 대기상태에 따른 난류효과를 잘 표현하는 Yamada (1974)의 Closure 2.5 model를 사용하여 난류확산계수를 산출하였다. 또한, 지표면의 열수지 방정식은 지표면을 덮고 있는 식생의 정도를 매개변수한 J.W. Deardorff (1978)의 식생모델을 수정하여 사용하였다. 대기유동장에 대한 자세한 내용은 이상득 등(2001)의 연구에 잘 나타나 있다.

2.2 대기오염물질의 이류확산 모델

대기질의 예측모델은 연속방정식에 기초를 두고, 이류, 확산현상을 해석하기 위하여 z*좌표계를 이용한 이류, 확산 기초식은 식 (1)과 같다.

$$\begin{aligned}\frac{\partial c_i}{\partial t} &= u\frac{\partial c_i}{\partial x} - v\frac{\partial c_i}{\partial y} - w^*\frac{\partial c_i}{\partial z^*} \\ &+ \frac{1}{G_1}\frac{\partial}{\partial z^*}\left(K_v\frac{\partial c_i}{\partial z^*}\right) + \frac{\partial}{\partial x}\left(K_H^{(c)}G_2\frac{\partial c_i}{\partial z^*}\right) \\ &+ G_2\frac{\partial}{\partial x}\left(K_H^{(c)}\frac{\partial c_i}{\partial x} + K_H^{(c)}G_2\frac{\partial c_i}{\partial z^*}\right) \\ &+ \frac{\partial}{\partial y}\left(K_H^{(c)}\frac{\partial c_i}{\partial y} + K_H^{(c)}G_3\frac{\partial c_i}{\partial z^*}\right) \\ &+ G_3\frac{\partial}{\partial y}\left(K_H^{(c)}\frac{\partial c_i}{\partial y} + K_H^{(c)}G_3\frac{\partial c_i}{\partial z^*}\right) + Q_i + R_i \quad (1)\end{aligned}$$

여기에서, c는 오염물질의 농도, i는 오염물질의 종류, u, v, w*는 x, y, z*방향의 바람장 성분, $K_v^{(c)}$와 $K_H^{(c)}$는 오염물질의 수직·수평방향의 확산계수, 그리고 Q_i와 R_i는 배출량과 반응에 의한 생성·소멸항을 각각 나타낸 것이다. 또한, 지형을 고려한 z*좌표계는 $1/G_1 = \frac{s}{s-z_G}$, $G_2 = \frac{z^*-s}{s-z_G}\frac{\partial z_G}{\partial x}$, $G_3 = \frac{z^*-s}{s-z_G}\frac{\partial z_G}{\partial y}$ 이며, s는 계산영역의 고도[m], z_G는 표고[m]를 각각

나타낸다.

2.3 광화학반응 모델

대기오염물질의 농도예측은 이류·확산, 침작 등의 여러 가지 과정을 고려하여야 하며, 그 중에서도 특히 해명해야 할 과정이 광화학 반응에 의한 오존의 생성과정이다. 광화학 과정은 대기 중에서 여러 가지 물질이 태양광선과 온도에 의해 복잡하게 화학반응을 일으키면서 새로운 물질을 생성한다. 본 연구에서는 대기질의 광화학 반응을 잘 묘사하고 있는 CBM-IV (Carbon Bond Mechanism (1988) 모델을 사용하여 광양만권역의 질소산화물의 시간·공간적인 분포를 나타내었다.

광화학반응 모델은 미국의 S.A.I (System Application International)에서 개발한 것이며, 대류권의 광화학반응에 중요한 역할을 하고 있는 탄소원자를 몇 개의 공통그룹으로 분류한 모델이다. CBM-IV는 다양한 비메탄탄화수소(NMHC)를 탄소결합 형태에 따라 4종류의 그룹으로 탄소 환산하고 개개의 반응 화학종에 의한 반응속도의 차이를 동일한 기준으로 취급한 것이다. 무기물 화학종은 오존(O_X), 질소산화물(NO_X), 라디칼(HO_X)과 같은 무기물 화학종이다. 또한, 환경대기 중에 특수하게 취급되고 있는 유기물 화학종은 포름알데히드(FORM), 에틸렌(ETH)과 자연계에서 배출되는 이소푸렌(ISOP)으로 나타낼 수 있다. 탄소결합법에 의해 나타내는 유기물 화학종은 단일결합인 PAR (파라핀), 이중결합인 OLE (올레핀), 알데히드기를 갖는 ALD2 (알데히드)의 3개의 물질이다. 또한, 7개의 분자구조를 갖는 유기물 화학종은 TOL (톨루엔)과 8개의 탄소 분자구조를 갖는 XYL (크실렌)이 있다. 모델은 33개의 화학종과 81개의 반응식으로 구성되어 있다. 표 1은 CBM-IV모델의 반응성 물질을 나타낸 것이다.

Table 1. Chemical species in the CBM-IV.

Chemical species	Name
NO	Nitric oxide
NO_2	Nitrogen dioxide
NO_3	Nitrogen Trioxide
N_2O_5	Dinitrogen pentoxide
HONO	Nitrous acid
HNO_3	Nitric acid
PNA	Peroxynitric acid (H_2ONO_2)
O1D	Oxygen atom (singlet)
O	Oxygen atom (triplet)
OH	Hydroxyl radical
H_2O	Water
O_3	Ozone
HO_2	Hydroperoxy radical
H_2O_2	Hydrogen peroxide
CO	Carbon monoxide
FORM	Formaldehyde ($CH_2=O$)
ALD_2	Weight aldehyde (RCHO, R>H)
C_2O_3	Peroxyacyl radical
PAN	Peroxyacyl nitrate ($CH_3C(O)O_2NO_2$)
PAR	Paraffinic carbon bond (C-C)
ROR	Secondary organic ooosy radical
OLE	Olefinic carbon bond (C=C)
ETH	Ethene ($CH_2=CH_2$)
TOL	Toluene ($C_6H_5-CH_3$)
CRES	Cresol and highter molecular weight phenols
TO_2	Toluene-hydroxyl radical adduct
CRO	Methylphenoxy radicals
OPEN	Aromatic ring fragment acid
XYL	Xylene ($C_6H_6-(CH_3)_2$)
MGLY	Methyl glyoxal ($CH_3C(O)C(O)H$)
ISOP	Isoprene
XO_2	NO- to - NO_2 operation
XO_2N	NO- to - NO_3 operation

3. 계산영역 및 계산조건

3.1 계산영역

계산영역은 전라남도와 경상남도를 포함한 대규모 영역(Coarse Mesh Grid; CMG)과 광양만권을 중심으로 하는 작은 규모(Fine Mesh Grid; FMG)의 영역으로 구성되어 있다. CMG는 광양만을 중심으로 순천만, 순천시 및 경상남도의 하동, 남해, 진주를 포함하고 있으며 (수평방향 90×90 km, Mesh 간격: 1 km), 북부에는 지리산, 남부에는 남해안으로 산지와 해안으로 둘러 쌓여 있는 지역이다. 또한, FMG의 계산영역은 광양만 (동경 127°27′00″~127°52′00″, 북위 34°42′30″~35°03′30″)을 중심으로 여수시, 광양시, 순천시의 대부분과 경상남도 하동군과 남해군의 일부가 포함되어 있으며 (수평방향 40×40 km, mesh 간격: 0.5 km), 북부에는 백운산, 남부에는 광양만과 순천만으로 형성된 지역이다. 연직방향의 계산영역은 CMG 및 FMG가 같은 15층 (5,000 m)의 Mesh로 구성되어 있으며, 지표면에 가까울수록 Mesh 간격을 좁게 하여 면오염원과 선오염원에 대한 영향을 최대한 반영하였다. 그림 1은 전남과 경

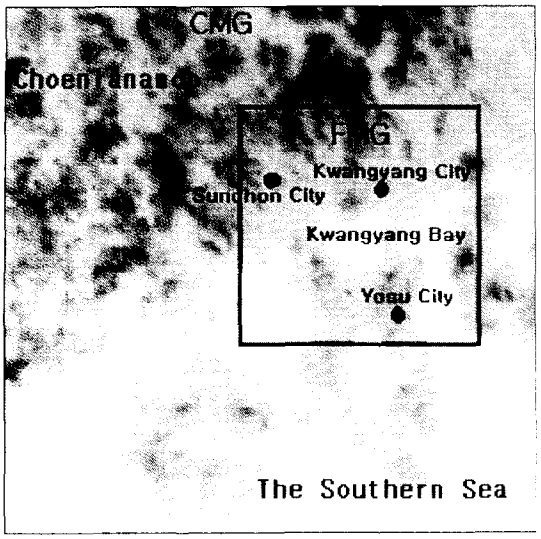


Fig. 1. Simulated region of CMG.

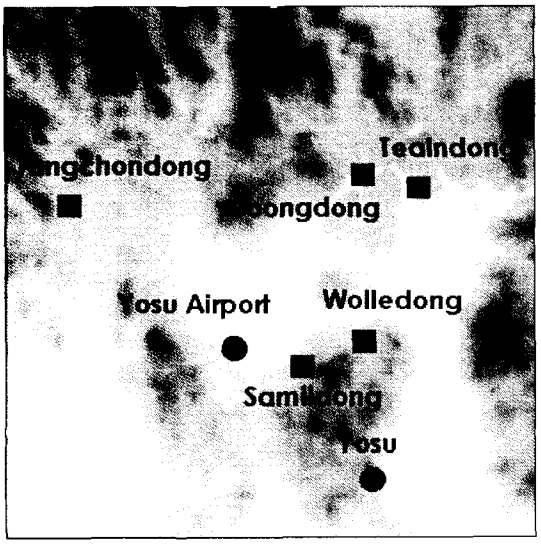


Fig. 2. Simulated region of FMG.

남이 포함되어 있는 CMG영역이며, 그림 2는 광양만권을 중심으로 하는 FMG의 영역을 각각 나타낸 것이다. 그림 내의 점은 광양만권의 대기질 측정지점을 각각 나타낸 것이며, 모델의 계산결과와 비교검토하는데 사용하였다.

3. 2 계산조건

3. 2. 1 초기조건

표 2는 각 화학물질의 초기 농도를 나타낸 것이며, 연직방향 144.5 m를 기준으로 상층과 하층의 초기농도를 일정한 값을 부여하였다.

3. 2. 2 경계조건

(1) 지표면의 경계조건

식 (2)와 같이 연직방향의 1차원 확산방정식을 풀어서 해를 얻었다.

$$\frac{\partial c_i}{\partial t} = \left(\frac{s}{s - z_G}\right)^2 \frac{\partial}{\partial z^*}\left(K_V^{(c)} \frac{\partial c_i}{\partial z^*}\right) + R_i + q_i \qquad (2)$$

여기에서, 지표면의 확산계수는 Catesian 좌표계에서 식 (1)과 같이 z*좌표계로 변환하여 사용하였다.

$$\frac{\partial}{\partial z}\left(K_V^{(c)} \frac{\partial c_i}{\partial z^*}\right) = \left[\frac{\left(K_V^{(c)} \frac{\partial c_2}{\partial z}\right) - v_g C_1}{\partial z}\right] \qquad (3)$$

여기에서, v_g는 침착속도, q_i는 지상 배출원에 의한 배출율을 각각 나타낸 것이다.

Table 2. The initial concentration [ppm].

Species	0 (m) ~ 144.5 (m)	144.5 (m) ~
NO	0.015	0.002
NO_2	0.015	0.002
O_3	0.020	0.020
OLE	0.0021440	0.001072
PAR	0.04690	0.02345
TOL	0.000150	0.00015
XYL	0.000081250	0.00008125
HCHO	0.00140	0.0007
ALD_2	0.00060	0.0003
ETH	0.0064655	0.0032327
CRES	0.10000E-05	0.10000E-05
MGLY	0.10000E-05	0.10000E-05
OPEN	0.10000E-05	0.10000E-05
PNA	0.10000E-05	0.10000E-05
NXOY	0.10000E-08	0.10000E-05
PAN	0.10000E-05	0.10000E-05
CO	0.20	0.10
HONO	0.10000E-05	0.10000E-05
H_2O_2	0.10000E-05	0.10000E-05
HNO_3	0.10000E-05	0.10000E-05
MEOH	0.10000E-05	0.10000E-05
ETOH	0.10000E-05	0.10000E-05
ISOP	0.10000E-05	0.10000E-05
SO_2	0.010	0.010

(2) 상단의 경계조건

$$c = \text{constant}\ (= \text{초기값}) \tag{4}$$

(3) 측면의 경계조건

유입, 유출측은 농도 변화가 없이 동일하게 하였다.

$$\frac{\partial c}{\partial x} = \frac{\partial c}{\partial y} = 0 \tag{5}$$

3.3 계산방법

광양만권의 대기 유동장을 1일의 시간 scale로 계산할 경우에 경계조건의 설정에 대한 문제와 해안부근의 해륙풍 순환을 계산하는 경우에는 영역의 경계점에서 유입과 유출이 시간과 함께 변하기 때문에 경계 설정이 매우 어렵다. 이러한 문제를 해결하기 위해 본 논문에서는 광양만권을 포함한 대규모 영역에 대한 계산을 실시하여 그 계산결과를 광양만권역의 경계조건으로 사용하는 Nesting 방법을 도입하였으며, Clark and Rarley (1984)의 삽입식을 사용하였다. 본 논문의 계산결과는 광양만권역의 계산결과만을 제시하였다. 계산방법은 대기 유동장을 모사하는 기상장 모델과 대기오염물의 이류·확산 과정과 침적과정 및 광화학반응을 수치모의하는 농도장 모델을 결합하여 대기오염물질에 대한 농도를 계산하였다. 또한, 대기오염물질의 계산 대상일은 대기오염 현상과 밀접한 관계가 있는 해륙풍이 발생하기 쉬운 8월의 어느 특정일을 설정하였다.

4. 오염물질 배출량

광양만권의 대기오염물질에 대한 농도를 수치모의하기 위하여 황산화물, 질소산화물 및 탄화수소(HC)에 대한 발생원별 발생량을 산정하였다. 황산화물과 질소산화물에 대한 발생량은 인구, 여천공단, 광양제철소, 하동화력발전처, 순천공단과 같은 고정 배출원과 자동차, 선박, 철도차량에서 배출되는 이동배출원으로 분리하여 산정하였다. 또한, 탄화수소의 배출량은 도료, 세탁소 및 주유소 등에서 배출되는 배출원을 추가하여 산출하였다.

본 연구에 사용된 자료는 각 시, 군의 통계연보(2000)와 교통량조사 조사표(2000), 철도운행 조사표(2000), 마을(동)별 인구현황(2000)으로 1999년을 기준으로 하였다. 그리고 구하기 어려운 배출원 자료는 광양만권역 종합환경영향조사사업(1998)을 참고하였다. 표 3은 광양만권의 질소산화물, 탄수화물 및 황산화물에 대한 배출량을 나타낸 것이며, 그림 3은 모델에 사용한 배출원별 배출량의 시간적인 해상도를 각각 나타낸 것이다.

Table 3. Total emissions in calculation domain [kg/year].

Pollutant / Emission factor	NO_x	HC	SO_2
Point sources	31,438,122	2,647,711	69,058,480
Area sources	800,877.95	22,205.9	2,693,066.9
Airplane	50,062.56	121,122.57	0.81
Railroad	273,640	68,405	42,289.2
Motor vehicle	3,475,051	951,269	225,829.79
Small road	467,348	127,933.1	30,371.1
Ship sources	825,990	94,120	10,237,390
Car repair center	–	20,696	–
Architecture constructio	–	766,340	–
Laundry shop	–	238,111	–
Gasoline service stations	–	256,846	–
Total	37,331,092	5,314,145	82,287,427

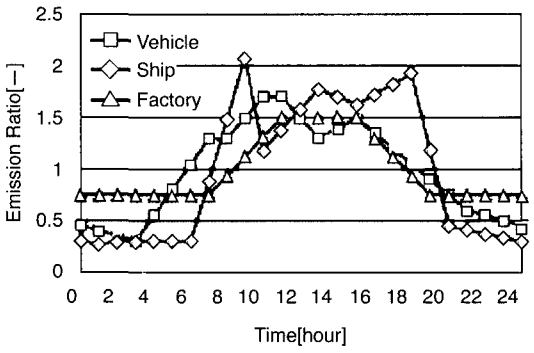


Fig. 3. Diurnal variation in emissions for Ship, Factory and Vehicle.

5. 계산결과

5.1 기상장의 계산결과와 관측값과의 비교

5.1.1 기상장의 계산결과

대기유동장의 시간대별 계산결과를 그림 4에 각

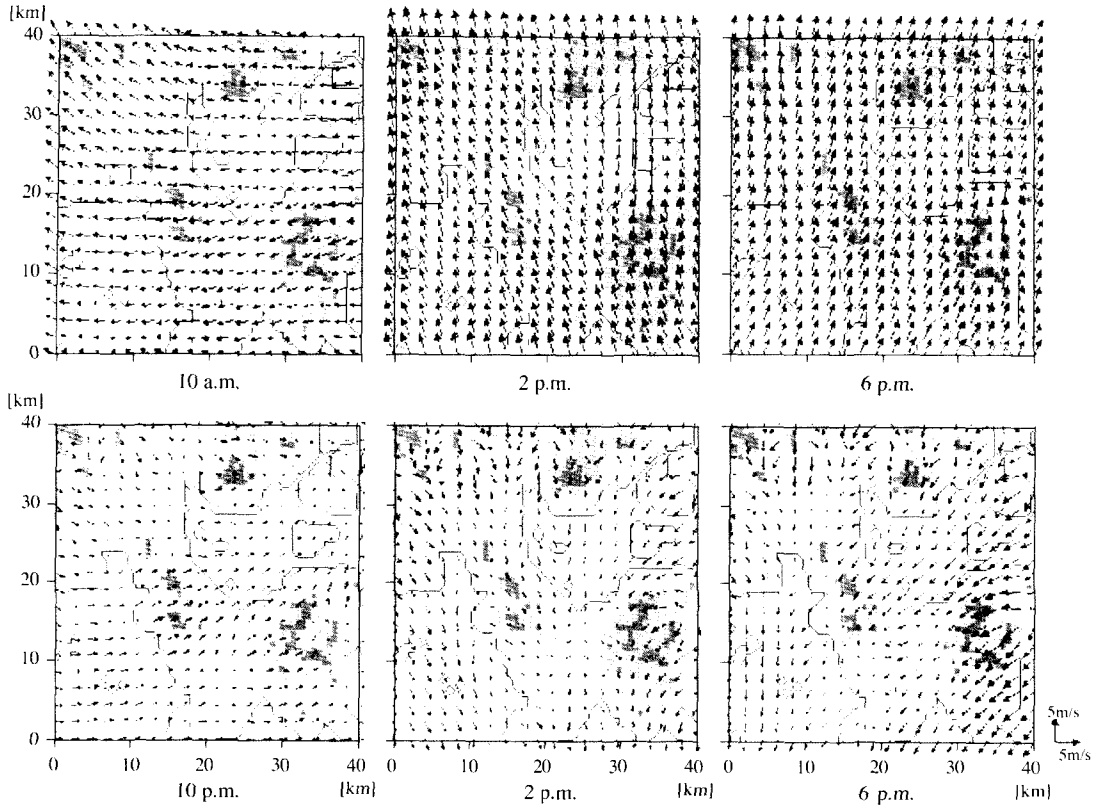


Fig. 4. Horizontal wind fields at z* = 12 m in the fine mesh grid.

각 나타내었다. 오전 10시에는 남해도에서 광양만 방향으로 풍계가 형성되고, 오후 2시에는 해풍의 방향이 남남동 방향에서 북북서 방향의 순천시 방향으로 활발하게 진행되고 있으며, 최대 풍속은 4 m/s 정도이다. 또한, 오후 10시에는 해풍의 방향 이 남남서에서 북북동 방향으로 전환되어 해풍이 불고 있다. 오전 2시에는 해풍이 육풍으로 전환되어 주변의 내륙지방에서 광양만을 향해 육풍이 형성되고 있으며, 특히 북부 내륙지방의 고산지역에서는 산을 휘어 감는 바람이 형성되고 있다. 일반적으로, 육풍이 형성되는 시기의 광양만 북부내륙지역은 지형적인 영향으로 매우 복잡한 풍계가 형성되고 있다.

5. 1. 2 계산결과와 관측값의 비교

본 연구에서 해륙풍이 발생하는 기상조건은 堤(1988)의 해석해를 참고하였으며, 일평균풍속이 대상기간의 일평균풍속보다 작은 경우, 기온 일교차이

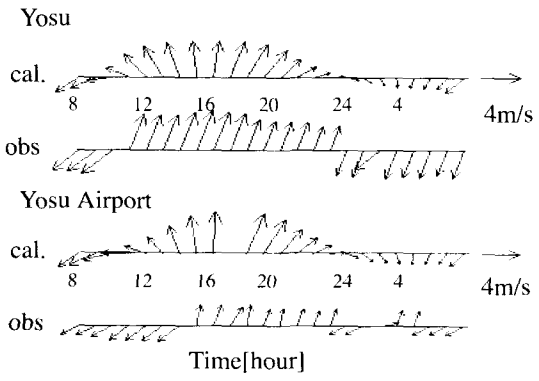


Fig. 5. Diurnal variation in wind vectors at Yosu and Yosu Airport.

가 대상기간의 평균 일교차이보다 큰 경우, 일평균 일사량이 대상기간의 일평균 일사량의 평균이상인

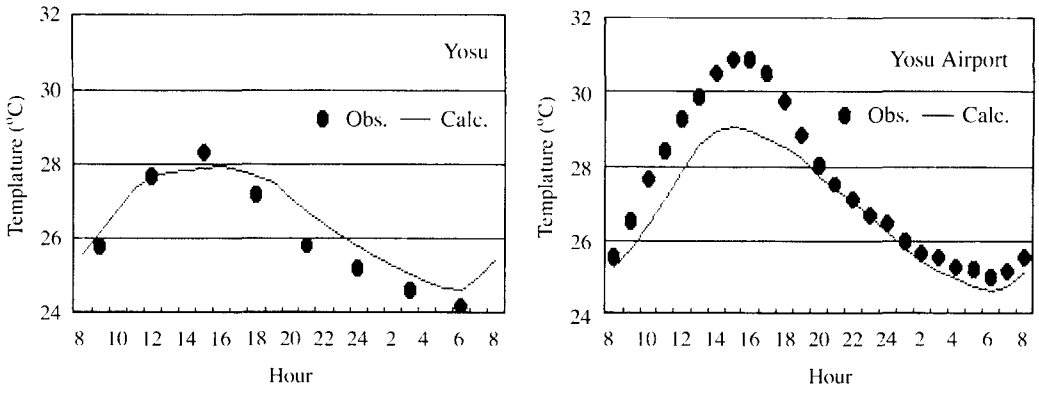
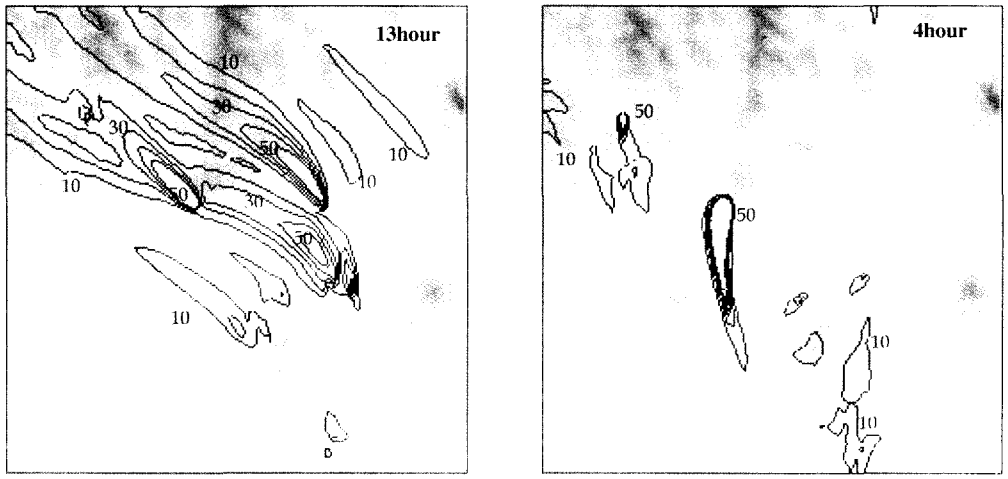


Fig. 6. Diurnal variation in temperature at Yosu and Yosu Airport.



(a) 13 : 00 LST (b) 04 : 00 LST

Fig. 7. Concentration distribution of calculated O_3.

경우와 비가 내리지 않는 날로 설정하였다. 그림 5는 여수기상대와 여수공항의 풍속 벡터에 대한 관측값과 계산결과를, 그림 6은 온도를 각각 비교한 것이다. 여수 기상대의 풍속은 야간시간대에 관측값이 계산결과보다 약간 세게 나타나고 있으며, 온도는 잘 일치하고 있다. 또한, 여수 공항은 낮 시간대에 관측값이 약간 높게 나타나고 있으며, 풍속 벡터도 밤시간대에 약간의 오차를 나타내고 있으나, 관측값과 계산결과의 변화하는 경향은 대체적으로 일치하고 있다.

5. 2 농도장의 계산결과와 관측값의 비교

5. 2. 1 농도장의 계산결과

대기오염물질의 거동은 발생원의 분포와 지형적인 영향, 국지 순환풍에 의해 영향을 받으며, 특히 오존은 광화학반응에 의해 생성되는 물질이기 때문에 전구물질인 질소산화물과 탄화수소 배출량 강도 및 햇빛의 세기에 의해 영향을 받는다. 본 논문에서는 해륙풍과 오염물질의 이류 및 광화반응을 고려하여 계산을 실시하였으며, 오존에 대한 계산결과를

그림 7에 나타내었다. 황산화물 및 질소산화물에 대한 계산결과는 오존과 유사하므로 본 논문에서는 생략하였으며, 관측값과 계산결과에 대해 각각 비교 검토하였다.

광양만권의 오존 거동은 질소산화물과 탄화수소의 배출강도가 높은 지역을 중심으로 고농도 오존이 형성되고 있으며, 해풍과 육풍의 영향으로 밤과 낮 시간대의 각각 다른 농도분포를 나타내고 있다. 13시에는 해풍의 영향으로 동쪽에서 서쪽으로 확산되고 있으며, 04시에는 육풍의 영향으로 광양만으로 확산되는 것을 알 수 있다. 광양만권의 오존농도 분포의 특징은 배출원인 여수산단과 광양제철소 및 광양 콘테이너 부두를 중심으로 해풍의 영향으로 광양북부 및 순천시 방향으로 고농도 오존분포가 형성되고 있으며, 또한 광화학 반응에 의해 형성되기 때문에 시간적인 지연현상이 발생되고 있다. 이와 같은 결과는 관측값과의 비교·검토에서도 잘 나타나고 있다. .

5. 2. 2 계산결과와 관측값의 비교

계산결과와 관측자료를 비교하여 모델의 재현성을 검토하였다. 관측된 자료는 광양만권의 대기질 상시 측정망인 상일동(여천공단), 월래동(여천공단), 광무동(여수), 장천동(순천), 중동(광양), 태인동(동광양)의 1997년부터 1999년의 3년간 자료 중에서 해륙풍이 발생하는 기상조건의 이산화황(SO_2), 일산화질소(NO), 이산화질소(NO_2) 및 오존 농도를 선별한 것이다. 본 논문에서 해륙풍이 발생하는 기상조건은 堤(1988)의 해석해를 참고하였으며, 일평균풍속이 대상기간의 일평균풍속보다 작은 경우, 기온일교차이가 대상기간의 평균 일교차이보다 큰 경우, 일평균 일사량이 대상기간의 일평균일 사량의 평균이상인 경우와 비가 내리지 않는 날로 설정하였다.

그림 8은 삼일동, 월래동, 중동 및 태인동의 SO_2 농도의 계산결과와 관측값을 비교한 것이다. 광무동과 장천동의 경우는 본 논문에 비교한 지역과 유사한 농도 분포를 나타내고 있으므로 생략하였다. 여천공단내의 월래동, 삼일동은 낮 시간대에서 관측값이 계산결과보다 약간 높은 농도를 나타내고 있으며, 광양공단 및 광양제철소, 광양 콘테이너 부두 부근에 위치한 태인동과 중동은 계산값과 관측값이 잘 일치하고 있다.

그림 9는 NO 농도에 대한 계산결과와 관측값을

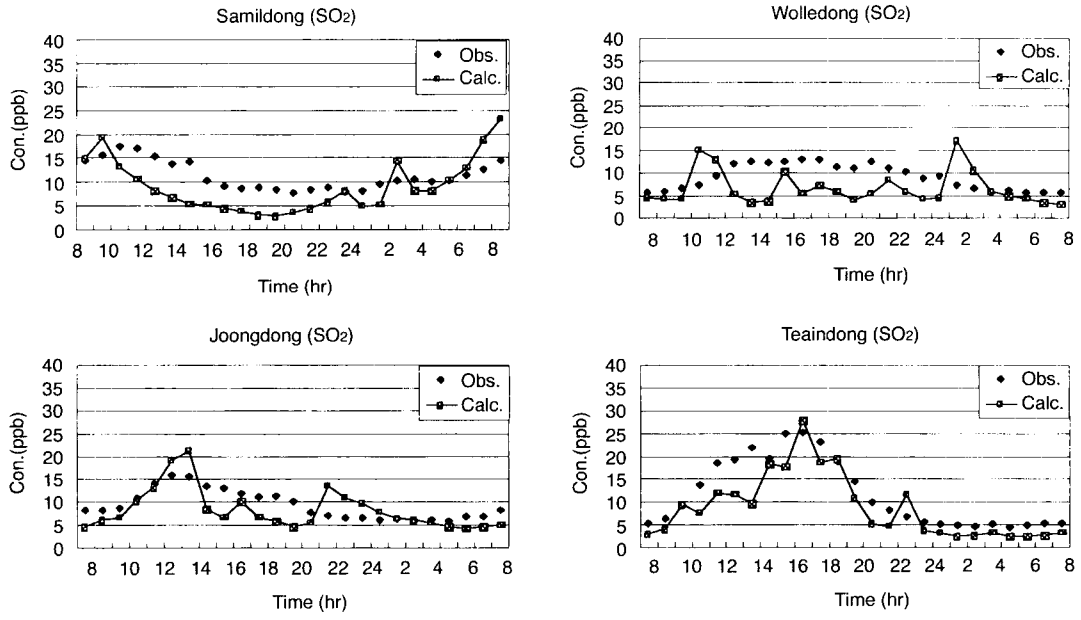


Fig. 8. Variations of the simulated and observed diurnal SO_2 concentration.

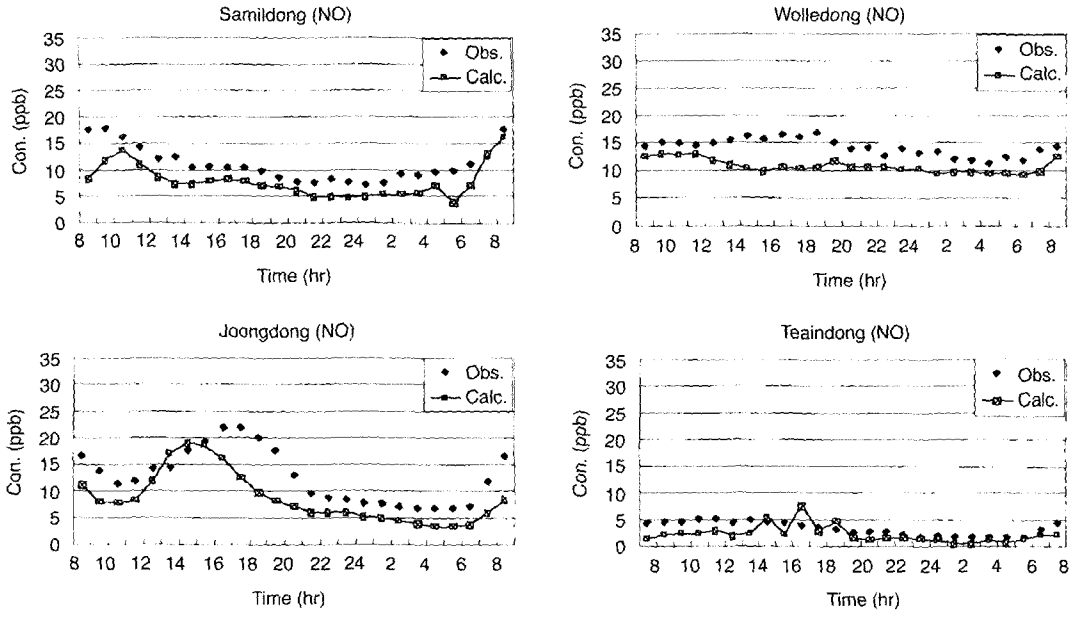


Fig. 9. Variations of the simulated and observed diurnal NO concentration.

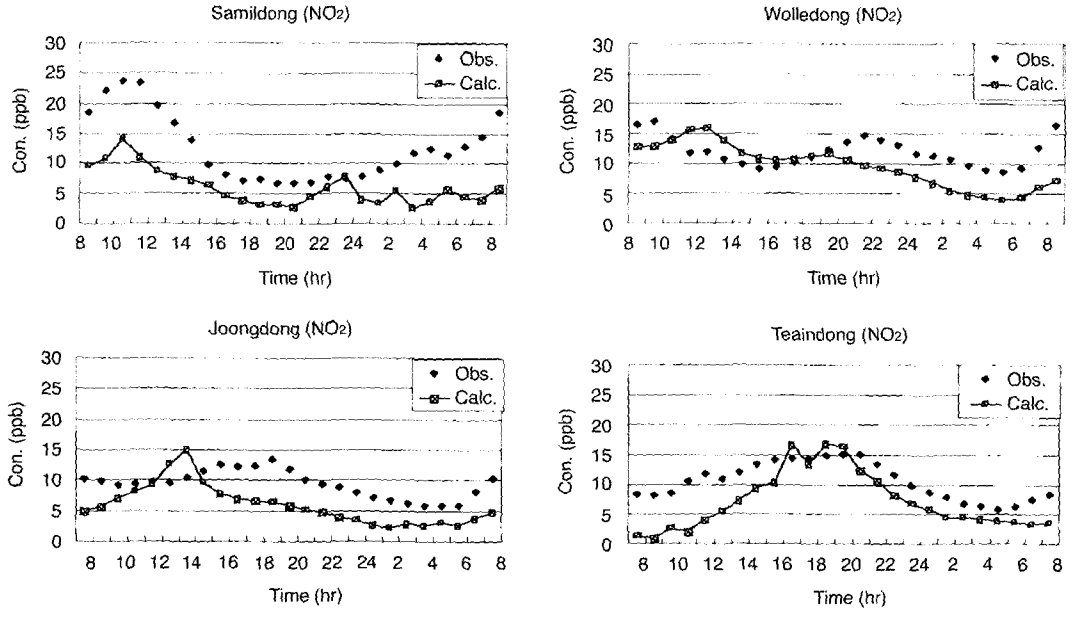


Fig. 10. Variations of the simulated and observed diurnal NO_2 concentration.

비교한 것이며, 일반적으로 관측결과와 계산결과가 모든 관측점에서 잘 일치하고 있다. 또한, 그림 10은 NO_2의 관측값과 계산결과를 비교한 것이며, 일반적으로 계산결과보다 관측값이 높은 농도분포를 나타

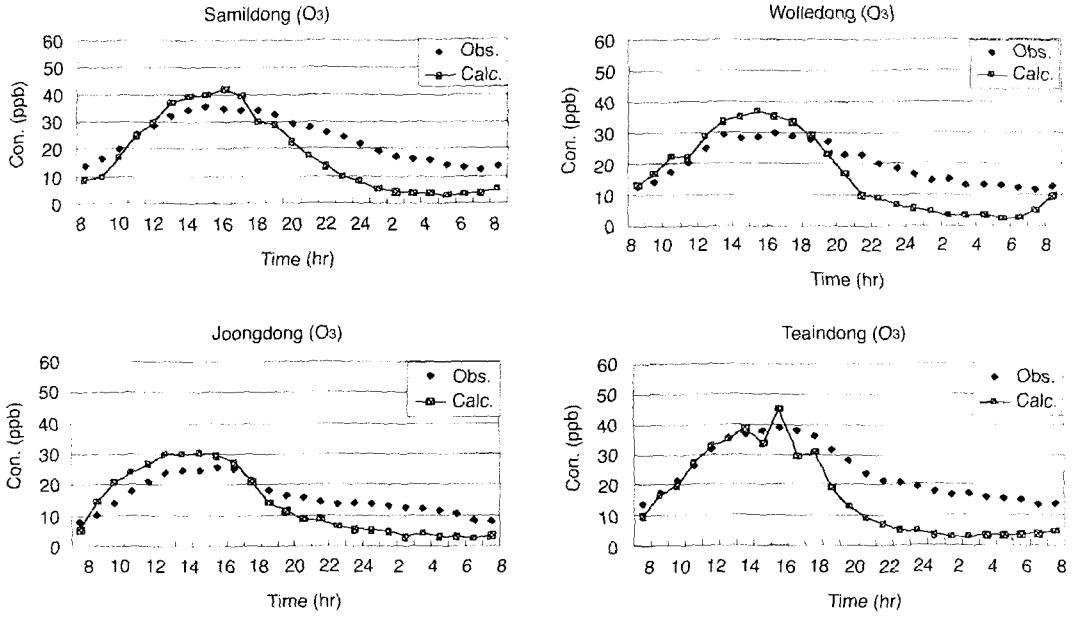


Fig. 11. Variations of the simulated and observed diurnal ozone concentration.

내고 있다. 특히, 삼일동을 제외한 모든 관측점에서 15시 전후로 낮은 농도분포 경향과 22시 전후에 농도가 상승하는 경향을 나타내고 있다. 그림 11은 O_3 농도에 대한 계산결과와 관측값을 비교한 것이며, 관측값의 오존농도가 동쪽의 중동보다 서쪽에 위치한 태인동의 관측값이 높다는 것을 알 수 있다. 관측값과 계산결과는 전체적인 측정점에서 일 중의 아침 8시부터 20시까지는 계산결과와 관측자료가 대체적으로 잘 일치하고 있다. 그러나, 오존이 생성되지 않는 밤시간대인 20시부터 다음 날 6시까지는 계산값보다 관측값이 대체적으로 높은 경향을 나타내고 있다.

6. 결 론

광양만권의 대기오염물질을 모사하기 위해 국지순환풍모델과 농도장모델을 결합한 3차원 지역대기환경모델을 적용하였다. 모델은 대기오염물질의 이류·확산모델, 광화학반응모델, 침착모델로 구성되어 있으며, 광화학반응모델은 대기오염물질의 반응을 잘 나타내는 CBM-IV모델을 사용하였다.

대기유동장의 기상장 계산결과는 해풍이 부는 방향이 남남동 방향에서 북북서 방향의 순천시 방향으로 활발하게 진행되고 있으나, 광양 제철소 부근의 북쪽으로 방향을 바꾸어 불고 있다. 또한, 육풍이 형성되는 시간대에는 주변의 내륙지방에서 광양만을 향해 불고 있으며, 특히 북부 내륙지방의 고산지역에서는 산등성에서 골짜기로 풍계가 형성되고 있다. 이와 같이 광양만의 풍계는 시간과 공간적인 차이를 두고 해풍과 육풍 및 산곡풍이 복잡하게 형성되고 있으며, 특히 시간의 변화와 함께 시계 방향으로 풍계가 형성되는 특징을 나타내고 있다.

광양만권의 대기오염물질의 거동은 기상장의 계산결과에서 살펴본 것과 같이, 지형적인 원인에 기인한 국지 순환풍인 해륙풍과 산곡풍의 영향을 받고 있다. 배출강도가 높은 여천공단, 광양제철소 및 콘테이너 부두에서 배출된 대기오염물질이 광화학반응 및 지형적인 영향에 의해 형성되는 국지순환풍과 함께 복잡한 시간적·공간적인 분포를 형성하고 있다. 또한, 이산화황, 질소산화물은 관측값과 계산결과가 대체적으로 잘 일치하고 있으나, 오존은 계산결과 값이 비교적으로 낮게 표현되고 있다.

감사의 글

본 논문은 전남지역 환경기술개발센터의 지원에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

김유근, 이화운, 전병일 (1996) "부산 연안역에서의 국지풍 모델을 이용한 이류확산 수치모의", 한국대기보전학회지, 12(1), 29-41.

건설교통부, "도로교통량통계연보" (2000).

광양시, "광양시 통계연보" (2000).

남해군, "남해군 통계연보" (2000).

서울시에 맞는 오존 예보시스템 개발 (2001) 서울특별시 보건환경연구원.

순천시, "순천시 통계연보" (2000).

여수시, "여수시 통계연보" (2000).

이상득, 김인기, 近藤 明 (2002) "국지풍모델을 이용한 광양만권의 이류확산 수치모의", 한국대기환경학회지, 18(1), 1-10.

원미경, 이화운 (1999) "연안도시지역에서 대기오염의 3차원 수치예측 모델링", 한국대기환경학회지, 15(5), 625-638.

하동군, "하동군 통계연보" (2000).

환경부, "광양만권 종합환경영향조사사업" (1998).

철도청, "철도통계연보" (2000).

堤純 一郎 (1988) "夏季の海陸風を對象とする氣象データの統計解析, 日本建築學會論文報告集," [389], 28-36.

池田有光他 (1977) "大氣汚染光化學反應構造のモデル化", 大氣汚染光化學會誌, 11, 463-484.

原達己 (1997) "大氣中の高農度オキソタント豫測手法に關する研究", 大阪大學大學院碩士論文.

Businger, J.A., J.C. Wyngaard, and E.F. Bradley (1971) "Flux-profile relationships in the atmospheric surface layer", J. Atmos. Sci., 28, 181-189.

Mellor, G.L. and T. Yamada (1974) "A hierarchy of turbulence closure models for planetary boundary layer", J. Atmos. Sci., 31, 1971-1806.

Deardorff, J.W. (1978) "Efficient Prediction of ground surface temperature and mosture with inclusion of a layer of vegetation", J. Geophys. Res., 83, 1889-1903.

Grey, M.W., G.Z. Whitten, and J.P. Killus (1988) "Development and testing of the CBM-IV for urban and regional modeling", SYSAPP-86/126, System Applications Inc., San Rafael, CA.

Clark, T.L. and R.D. Rarely (1984) "Severe downslope windstorm calculation in two and three spatial dimensions using anelastic interactive grid nesting : A possible mechanism for gustiness," J. Atmos. Sci., 41(3), 329-350.