

## 광양만권 질소산화물(NOx)의 수치모의

이 상 득 · 유 지 영  
목포대학교 환경공학과  
(2001년 11월 25일 접수; 2002년 9월 11일 채택)

### Numerical Simulation of NO<sub>x</sub> Concentration in Gwangyang Bay, Korea

Sang-Deug Lee and Ji-Young You  
Dept. of Environmental Eng. Mokpo National University, Chonnam 534-729, Korea  
(Manuscript received 25 November, 2001; accepted 11 September, 2002)

A three-dimensional photochemical air pollution model considered advection, dispersion, photochemical reactions, and precipitation processes was developed. The calculated results of meteorological observation clearly exhibited geographical effects of Gwangyang Bay, in which land and sea breezes, mount-valley winds and local circular winds occurred. The observed results of daytime NO<sub>x</sub> concentrations were slightly higher than the calculated NO<sub>x</sub> concentrations in Yosu industrial complex, Gwangyang iron mill, and container yard. Eventually, the calculated NO<sub>x</sub> results generally agreed well with the observed ones.

Key words : Numerical simulation, NO<sub>x</sub>, sea/land breezes, Air quality

#### 1. 서 론

광양만권은 약 100만명의 인구와 약18만대의 자동차 및 여수공단, 순천공단, 광양공단, 광양 제철소, 하동 하력발전처 등에서 배출되는 대기오염물질이 다른 지역보다 많이 배출되고 있는 지역이다. 일반적으로 광양만권의 대기질은 각 공장에서 배출되는 오염물질의 배출량과 기상조건 및 광화학반응에 따라 고농도 질소산화물이 출현한다.

지금까지, 광양만권 질소산화물의 이류·확산을 규명하기 위해 사용된 모델은 장기적인 착지농도를 나타내는 가우시안 플룸과 퍼프식을 기초로 방정식의 해를 구하는 가우시안 모델이 주로 사용되어 왔으나, 이 모델은 대기오염물질의 광화학반응과 지형적인 요인에 의해 형성되는 국지적인기상을 고려할 수 없는 단점으로 화학 반응성이 작은 황산화물과 장기적인 오염물질의 착지농도를 산출하는데 수행되어 왔다. 그러나, 광양만권과 같이 중화학공단과 컨테이너 부두 및 다양한 배출원에서 복합적인

배출량에 대한 오염물질의 이류, 확산 그리고 광화학반응을 고려한 대기오염물질의 수치모의 하기에 다소 어려움이 있다. 따라서, 질소산화물 농도의 거동을 해명하기 위해서는 기상조건과 국지기상과의 관계를 해명하는 수치모델링이 필요하다.

최근, 수치모델에는 원경미<sup>1)</sup> 등이 부산의 지형적 특성을 고려하여 O<sub>3</sub>의 건성 침적속도 시뮬레이션 및 연안 도시지역에서 대기오염의 3차원 수치예측 모델링<sup>2)</sup>을 실시하였으며, 이상득<sup>5)</sup>은 도시규모의 대기오염 농도를 수치모의하였다. 또한, 수치모델에 의한 국지적인 순환과 대기오염농도의 연구는 광화학 옥시단트를 중심으로 Wakamatsu,<sup>4)</sup> 동계의 고농도 NO<sub>2</sub> 오염의 수치 Simulation에 의한 해석에는 Uno<sup>5)</sup>가 있으며, 특히 Uno는 국지적인 기상모델과 수송·반응모델을 이용하여 겨울철의 NO<sub>2</sub>농도에 대한 수치모의를 실시하였다. 이와 같은 연구는 질소산화물 농도에 영향을 미치는 지형적인 영향과 이류, 확산 과정과 여름철의 고농도 질소산화물의 생성 및 반응을 나타내는 광화학반응에 대해 다소 어려움을 내포하고 있다.

따라서, 본 논문에서는 국지적인 기상모델과 대기오염물질의 이류·확산 및 광화학반응을 고려한 모델을 개발하여 광양만권의 질소산화물 농도에 대

Corresponding Author : Sang-Deug Lee, Dept. of Environmental Eng. Mokpo National University, Chonnam 534-729, Korea  
Phone : +82-55-751-5323  
E-mail : mokpo2484@hanmir.com

한 이류·확산의 기본적인 동태 파악과 시간적·공간적인 분포를 수치모의 하였다.

## 2. 대기질예측모델의 구성

### 2.1. 대기 유동장모델

광양만권역의 질소산화물(NO<sub>x</sub>)을 수치모의 하기 위한 지역대기환경모델은 대기의 유동을 나타내는 기상장 모델과 광화학반응 모델로 구성되어 있다. 기상장 모델은 운동량 보존식, 온도 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 대기 경계층을 지상 50m까지를 대기 접지층, 그 위를 Ekman층으로 분리하여 각각 다른 모델을 추구하였다. 대기 접지층에서의 운동량과 열에 대한 플릭스 및 확산계수는 Monin-Obukhov의 상사이론을 풍속 및 온위의 연직분포에 적용한 Businger<sup>6)</sup> 모델을 적용하였으며, 에크만층에는 대기상태에 따른 난류효과를 잘 표현하는 Yamada<sup>7)</sup>의 Closure model 2.5을 사용하여 난류확산계수를 산출하였다. 또한, 지표면의 열수지 방정식은 지표면을 덮고 있는 식생의 정도를 매개변수한 Deardorf<sup>8)</sup>의 식생모델을 수정하여 사용하였다. 대기유동장에 대한 자세한 내용은 이상득 등<sup>9)</sup>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.

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

여기에서,  $c_i$ 는 오염물질의 농도,  $i$ 는 오염물질의 종류,  $u, v, w^*$ 는  $x, y, z^*$ 방향의 속도성분,  $K_v^{(o)}$ 와  $K_H^{(o)}$ 는 오염물질의 수직·수평방향의 확산계수, 그리고  $Q_i$ 와  $R_i$ 는 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,  $s$ 는 계산영역의 고도[m],  $z_G$ 는 표고[m]를 각각 나타낸다.

### 2.3. 광화학반응 모델

대기오염물질의 농도예측은 이류·확산, 침착 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 모델을 사용하여 광양만권역의 질소산화물의 시간·공간적인 분포를 나타내었다.

광화학반응 모델은 미국의 S.A.I(System Application International)에서 개발한 CBM-IV(Carbon Bond Mechanism<sup>10)</sup>)이며, 대류권의 광화학반응에 중요한 역할을 하고 있는 탄소원자를 몇 개의 공통그룹으로 분류한 모델이다. CBM-IV는 다양한 비메탄 탄화수소(NMHC)를 탄소결합 형태에 따라 4종류의 그룹으로 탄소 환산하고 개개의 반응 화학종에 의한 반응속도의 차이를 동일한 기준으로 취급한 것이다. 무기물 화학종은 오존(O<sub>3</sub>), 질소산화물(NO<sub>x</sub>), 라디칼(HO<sub>x</sub>)과 같은 무기물 화학종이다. 또한, 환경대기 중에 특수하게 취급되고 있는 유기물 화학종은 포름알데히드(FORM), 에틸렌(ETH)과 자연계에서 배출되는 이소프렌(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. Table 1은 CBM-IV 모델의 반응성 물질을 나타낸 것이다.

## 3. 계산영역 및 계산조건

### 3.1. 계산영역

본 연구의 계산영역은 전라남도의 광양만을 중심으로 여수시, 광양시, 순천시의 대부분과 경상남도 하동군과 남해군의 일부가 포함되어 있으며, 수평방향 40km×40km(mesh 간격: 0.5km)로 구성되어 있다. 연직방향의 계산영역은 15층으로 구성되어 있으며, 지표면에 가까울수록 Mesh 간격을 좁게 하여 먼오염원과 선오염원의 영향을 최대한 반영하였다. Fig. 1은 대상영역을 나타낸 것이며, 그림 내의 점은 광양만권의 대기질 상시관측지점을 나타낸 것이다.

Table 1. Chemical species in the CBM-IV

Representation	Species Name
NO	Nitric oxide
NO <sub>2</sub>	Nitrogen dioxide
NO <sub>3</sub>	Nitrogen Trioxide
N <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Dinitrogen pentoxide
HONO	Nitrous acid
HNO <sub>3</sub>	Nitric acid
PNA	Peroxynitric acid(H <sub>2</sub> ONO <sub>2</sub> )
O <sup>1</sup> D	Oxygen atom(singlet)
O	Oxygen atom(triplet)
OH	Hydroxyl radical
H <sub>2</sub> O	Water
O <sub>3</sub>	Ozone
HO <sub>2</sub>	Hydroperoxy radical
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Hydrogen peroxide
CO	Carbon monoxide
FORM	Formaldehyde(CH <sub>2</sub> =O)
ALD <sub>2</sub>	Weight aldehyde(RCHO, R>H)
C <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Peroxyacyl radical
PAN	Peroxyacyl nitrate(CH <sub>3</sub> C(O)O <sub>2</sub> NO <sub>2</sub> )
PAR	Paraffinic carbon bond(C-C)
ROR	Secondary organic oosy radical
OLE	Olefinic carbon bond(C=C)
ETH	Ethene(CH <sub>2</sub> =CH <sub>2</sub> )
TOL	Toluene(C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> -CH <sub>3</sub> )
CRÉS	Cresol and higher molecular weight phenols
TO <sub>2</sub>	Toluene-hydroxyl radical adduct
CRO	Methylphenoxy radicals
OPEN	Aromatic ring fragment acid
XYL	Xylene(C <sub>6</sub> H <sub>4</sub> -(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> )
MGLY	Methyl glyoxal(CH <sub>3</sub> C(O)C(O)H)
ISOP	Isoprene
XO <sub>2</sub>	NO - to - NO <sub>2</sub> operation
XO <sub>2</sub> N	NO - to - NO <sub>3</sub> operation

3.2. 계산조건

3.2.1. 초기조건

Table 2는 각 화학물질의 초기 농도를 나타낸 것이며, 연직방향 150m 상공까지 일정한 값을 부여하였다.

3.2.2. 경계조건

(1) 지표면의 경계조건

식 (2)와 같이 연직방향의 1차원 확산방정식을

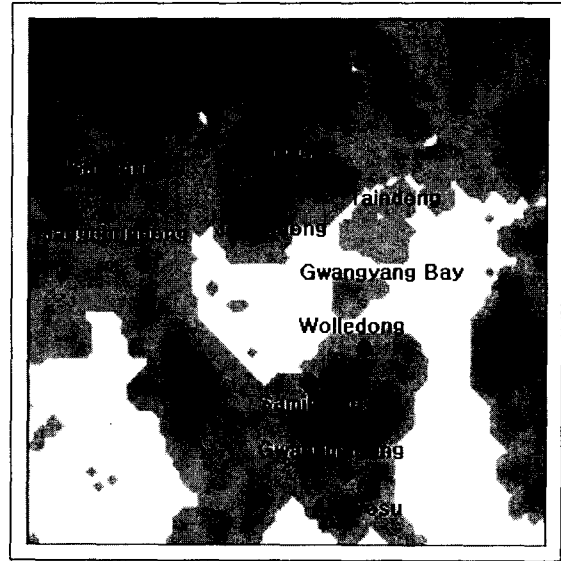


Fig. 1. Simulated region of the Gwangyang Bay.

풀어서 해를 얻었다.

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

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

$$\frac{\partial}{\partial z} \left( K_V^{(c)} \frac{\partial c_i}{\partial z^*} \right) = \left( \frac{K_V^{(c)} \left( \frac{\partial c_i}{\partial z} \right) - v_g c_i}{\partial z} \right) \quad (3)$$

여기에서,  $v_g$ 는 침착속도,  $q_i$ 는 지상 배출원에 의한 배출율을 각각 나타낸 것이다.

(2) 상단의 경계조건

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

(3) 측면의 경계조건

유입, 유출측은 농도 변화가 없이 동일하게 하였다.

$$\frac{\partial c}{\partial x} = \frac{\partial c}{\partial y} = 0 \quad (5)$$

3.3. 계산방법

광양만권의 대기 유동장을 1일 시간 scale로 계산할 경우에 경계조건의 설정에 대한 문제와 해안 부근의 해륙풍 순환을 계산하는 경우에는 영역의 경계점에서 유입과 유출이 시간과 함께 변화기 때문에 경계 설정이 매우 어렵다. 이러한 문제를 해결하기 위해 본 논문에서는 광양만권을 포함한 대규모 영역에 대한 계산을 실시하여 그 계산결과를 광양만권역의 경계조건으로 사용하는 Nesting 방법

Table 2. The initial concentration [ppm]

SPECIES	0(m)~144.5(m)	144.5(m)~
NO	0.015	0.002
NO <sub>2</sub>	0.015	0.002
O <sub>3</sub>	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 <sub>2</sub>	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 <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	0.10000E-05	0.10000E-05
HNO <sub>3</sub>	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 <sub>2</sub>	0.010	0.010

을 도입하였으며, Clark와 Rarley<sup>11)</sup>의 삽입식을 사용하였다. 본 논문의 계산결과는 광양만권역의 계산결과만을 제시하였다.

계산방법은 대기 유동장을 모사하는 기상장 모델과 대기오염물의 이류·확산과정과 침적과정 및 광화학반응을 수치모의하는 농도장 모델을 결합하여 질소산화물의 농도를 계산하였다. 또한, 계산 대상일은 질소산화물의 고농도 현상과 밀접한 관계가 있는 해륙풍이 발생하기 쉬운 날에 대한 계산을 실시하였다.

#### 4. 오염물질의 배출량

광양만권의 질소산화물(NOx) 농도를 수치모의하기 위하여 광화학반응과 직접적인 관계가 있는 질소산화물 및 탄화수소(HC)에 대한 발생원별 발생량을 산정하였다. 질소산화물에 대한 발생원은 인구, 여천공단, 광양제철소, 하동화력발전처, 순천공단과 같은 고정 배출원과 자동차, 선박, 철도차량에서 배출되는 이동배출원으로 분리하여 산정하였다. 또한, 탄화수소의 배출량은 질소산화물의 배출원에 도로, 세탁소 및 주유소 등에서 배출되는 배출원을

Table 3. Total emissions from domain[kg/year]

Emission factor	Pollutant	
	NOx	HC
Point Sources	31,438,122	2,647,711
Area Sources	800,877.95	22,205.9
Airplane	50,062.56	121,122.57
Railroad	273,640	68,405
Motor Vehicle	3,475,051	951,269
Small road	467,348	127,933.1
Ship sources	825,990	94,120
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

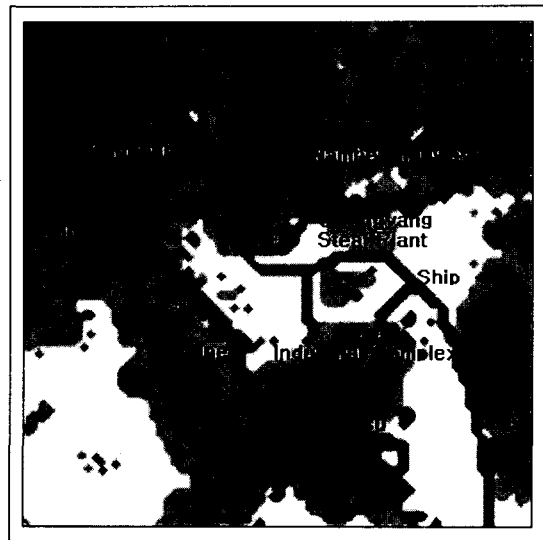


Fig. 2. Emission distribution for NOx.

추가하여 산출하였다.

본 연구에 사용된 자료는 각 시 군의 통계연보<sup>12~16)</sup>와 교통량조사 조사표,<sup>17)</sup> 철도운행 조사표,<sup>18)</sup> 마을(동)별 인구현황<sup>12~16)</sup>으로 1999년을 기준으로 하였다. 그리고 구하기 어려운 배출원 자료는 광양만권역 종합환경영향조사사업<sup>19)</sup>을 참고하였다. Table 3은 광양만권의 질소산화물과 탄화수소의 배출량을, Fig 2는 공간적인 분포를 각각 나낸 것이다.

#### 5. 계산결과

##### 5.1. 기상장의 계산결과

대기유동장의 기상계산결과는 6시간 간격( $z^* =$

광양만권 질소산화물(NOx)의 수치모의

12m)으로 Fig. 3에 나타내었다. 14시에는 해풍의 방향이 일반적으로 남남동 방향에서 북북서 방향의 순천시 방향으로 활발하게 진행되고 있으나, 여수 반도의 영향으로 일부는 광양 제철소 부근의 북쪽으로 방향을 바꾸어 불고 있다. 최대 풍속은 4m/s 정도이다. 또한, 20시에는 해풍의 방향이 남남서에서 북북동 방향으로 전환되어 해풍이 불고 며, 북쪽의 지형적인 영향으로 매우 복잡하게 풍계가 형성되고 있다. 02시에는 해풍이 육풍으로 전환되고, 주변의 내륙지방에서 광양만을 향해 육풍이 형성되고 있으며, 특히 북부 내륙지방의 고산지역에서는 산등성에서 골짜기로 풍계가 형성되고 있다. 08시에는 북동방향인 하동과 남해방향에서 광양만을 향

해 육풍이 불고 있다. 이와 같이 광양만의 풍계는 시간과 공간적인 차이를 두고 해풍과 육풍 및 산곡풍이 복잡하게 형성되고 있으며, 특히 시간의 변화와 함께 반시계 방향으로 풍계가 형성되는 특징을 나타내고 있다.

5.2. 질소산화물의 계산결과

일산화질소(NO)와 이산화질소(NO<sub>2</sub>)의 농도에 대한 시간적·공간적인 계산결과( $z^* = 12m$ )를 Fig. 4와 Fig. 5에 각각 나타내었다. 질소산화물의 거동은 발생원의 분포와 지형적인 영향 및 국지적인 순환풍에 의해 영향을 받는다. 따라서, 광양만권의 질소산화물의(NOx) 거동은 기상장의 계산결과에서

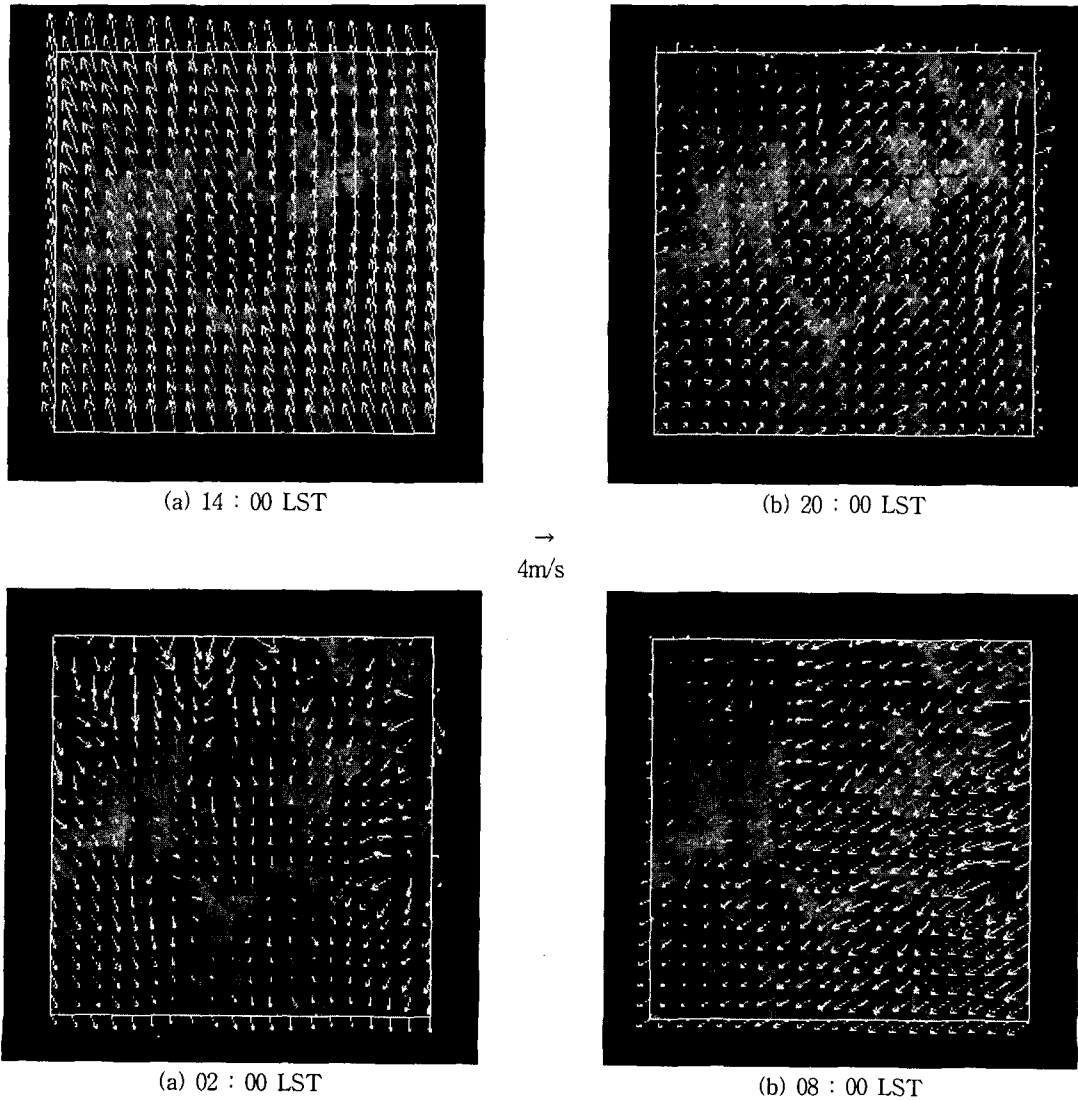


Fig. 3. Horizontal wind fields at  $z^* = 12m$  in the Gwangyang Bay.

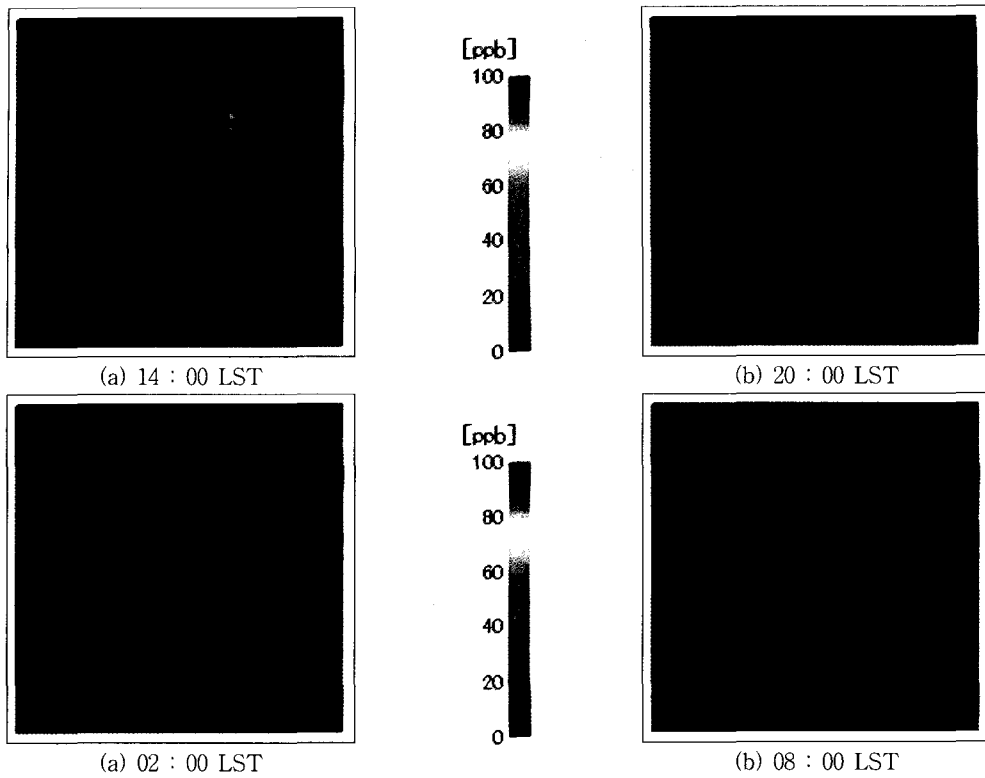


Fig. 4. Concentration distribution of NO simulated from air quality modeling( $z^* = 12$ ).

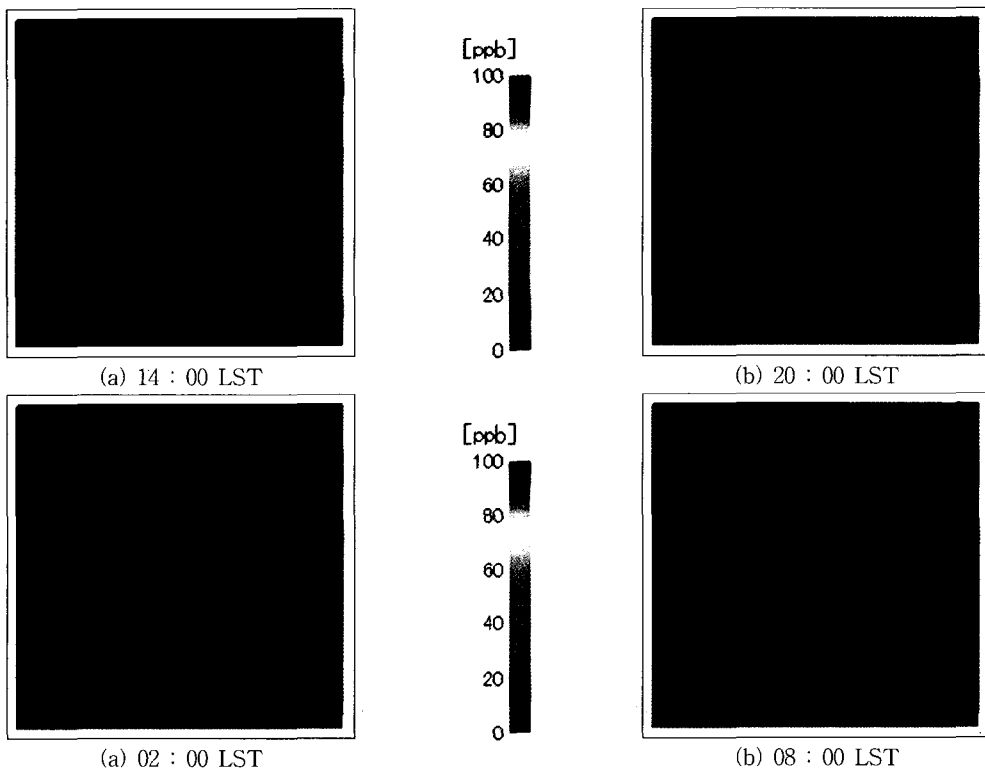


Fig. 5. Concentration distribution of NO<sub>2</sub> simulated from air quality modeling( $z^* = 12$ ).

광양만권 질소산화물(NOx)의 수치모의

알 수 있듯이, 지형적인 원인에 기인한 국지 순환 풍인 해륙풍과 산곡풍의 영향을 받고 있다는 것을 알 수 있다. 또한, 배출강도가 높은 여수공단, 광양제철소 및 컨테이너 부두에서 고농도의 질소산화물이 형성되고 있으며, 광화학반응에 의해 형성된 농도가 광양만권역에 이류·확산되고 있다. Fig. 4는 일산화질소(NO) 농도의 계산결과를 나타낸 것이며, 14시에는 광화학반응에 의해 형성된 일산화질소 농도가 해풍의 영향을 받아 남쪽에서 북서쪽 방향으로 확산되고 있으며, 20시에는 광양제철소 및 자동차에 의한 영향으로 남해고속도로를 중심으로 약한 농도분포를 형성하고 있다. 또한, 육풍이 형성되는 밤시간대에는 여수공단을 비롯한 각 공단의 배출량이 적기 때문에 자동차와 선박에서 배출되는 일산화질소에 의해 남해고속도로와 광양 컨테이너 부두를 중심으로 육풍을 타고 주변지역에 이류·확산되고 있다. 08시에는 여천공단, 광양 제철소의 가동 및 출근시간에 의해 배출되는 일산화질소는 배출강도가 높은 이들 지역을 중심으로 서서히 농도가 높아지고 있다.

또한, Fig. 5는 이산화질소(NO<sub>2</sub>) 농도의 계산결과를 나타낸 것이며, 14시의 농도분포도 일산화질소와 거의 유사한 농도분포를 형성하고 있으며, 20

시에는 광양 제철소 및 남해고속도로를 중심으로 약한 농도분포를 형성하고 있다. 따라서, 이 지역의 이산화질소에 의한 대기질의 영향은 각 공단에서 배출되는 오염물질 뿐만 아니라 이동 발생원에 의한 영향도 무시할 수 없다는 것을 알 수 있다. 또한, 육풍이 형성되는 밤시간대에는 여수공단을 비롯한 각 공단에서 배출되는 배출량이 적기 때문에 자동차와 선박에 의한 이산화질소 농도가 남해고속도로 및 광양 컨테이너 부두를 중심으로 약한 육풍을 타고 광양만지역으로 이류·확산되고 있다.

5.3. 계산결과와 관측값의 비교

계산결과와 관측자료를 비교하여 모델의 재현성을 검토하였다. 관측된 자료는 광양만권의 대기질 상시 측정망인 상일동(여천공단), 월래동(여천공단), 중동(광양), 태인동(동광양)의 1997년부터 1999년의 3년간 자료 중에서 해륙풍이 발생하는 기상조건에서 질소산화물의 농도를 선별한 것이다. 본 연구에서 해륙풍이 발생하는 기상조건은 堤<sup>20)</sup>의 해석해를 참고하였으며, 일평균풍속이 대상기간의 일평균풍속보다 작은 경우, 기온 일교차가 대상기간의 평균 일교차이보다 큰 경우, 일평균 일사량이 대상기간의 일평균일 사량의 평균이상인 경우와 비가 내리지 않는 날로 설정하였다. Fig. 6은 일산화질소

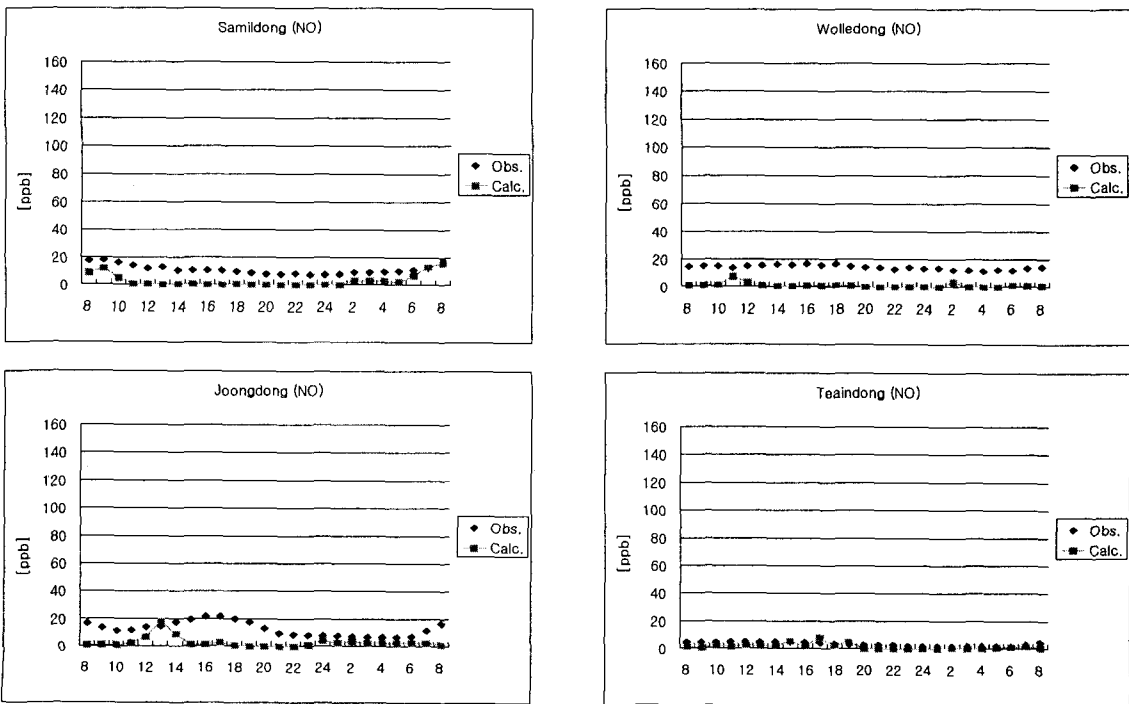


Fig. 6. Variations of the simulated and observed diurnal NO concentration.

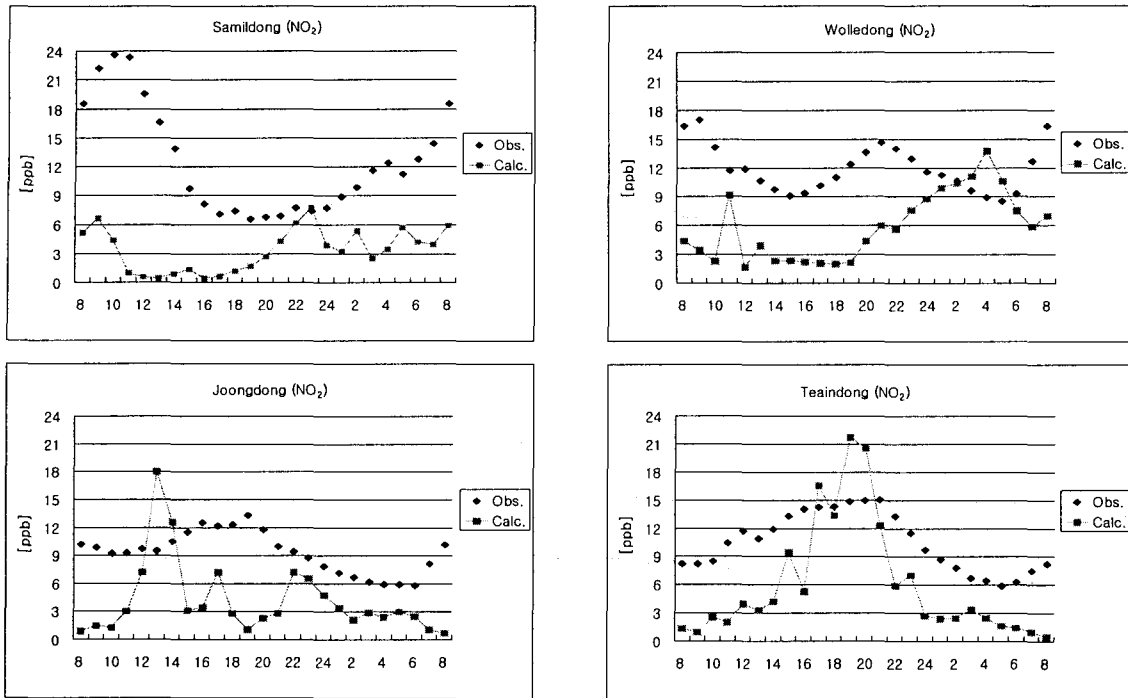


Fig. 7. Variations of the simulated and observed diurnal  $\text{NO}_2$  concentration.

(NO) 농도에 대한 계산결과와 관측값을 비교한 것이다. 일반적으로 모든 관측지점에서 계산결과와 일치하고 있으나, 주간에는 관측값이 계산값보다 다소 높은 농도 분포를 나타내고 있다. 또한, Fig. 7은 이산화질소( $\text{NO}_2$ )의 관측값과 계산값을 비교한 것이며, 일반적으로 계산값보다 관측값이 높은 값을 나타내고 있다. 특히, 모든 관측지점에서 주간에는 계산값이 관측값보다 낮게 나타난 것은 배출원 자료, 질소산화물의 생성 및 소멸과정을 나타내는 광화학반응 모델에 기인한 것으로 사료된다. 따라서, 광양만권의 질소산화물에 대한 정확한 수치모델링을 추구하기 위해 배출원별 배출량 산정 및 시간별 배출현황에 대해 계속 연구하고 있다.

## 6. 결 론

3차원 광화학 대기오염 모델을 이용하여 광양만권의 질소산화물 농도를 수치모의하였다. 모델은 오염물질의 이류·확산모델, 광화학반응모델, 침착모델로 구성되어 있으며, 광화학반응모델은 CBM-IV 모델을 사용하였다.

광양만의 질소산화물의 농도는 주간에는 배출강도가 큰 여천공단, 광양제철소 및 컨테이너 부두에, 야간에는 17번 국도 및 남해고속도로를 중심으로 지형적인 특성에 의해 발달되는 국지순환풍과 함께

광양만권역에 이류, 확산되는 과정을 시간적·공간적으로 잘 묘사하였다. 관측값과 계산결과와의 비교에서 일반적으로 일산화질소(NO)는 잘 일치하고 있으나, 이산화질소( $\text{NO}_2$ )는 관측값이 계산값보다 높게 나타나는 경향을 나타내고 있다.

## 감사의 글

이 논문은 목포대학교 학술연구조성비 및 전남지역환경기술개발센터의 지원에 의하여 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

## 참 고 문 헌

- 1) 원경미, 이화운, 1998, 부산의 지형적 특성을 고려한  $\text{O}_3$ 의 건성침적 속도 시뮬레이션, 한국대기환경학회지, 14(5), 421-431.
- 2) 원미경, 이화운, 1999, 연안도시지역에서 대기오염의 3차원 수치예측 모델링, 한국대기환경학회지, 15(5), 625-638.
- 3) 이상득, 정일현, 1997, 도시 규모의 대기오염 농도 예측, 한국대기보전학회지, 13(2), 137-145.
- 4) Wakamatsu, S., I. Uno, and K. L. Schere, 1988, Application of a three-dimensional photochemical smog formation model to the Tokyo metropolitan area, Air pollu. Modeling and its



광양만권 질소산화물(NOx)의 수치모의

- Application VI(ed. H. van Dop), 259-270.
- 5) Uno, I. and S. Wakamatsu, 1994, Analysis of Wintertime High Concentration of NO<sub>2</sub> using a Photochemical Grid Model., J. Japan Soc. Air Pollut. 29(4), 179-95.
  - 6) Businger, J. A. et al., 1971, Flux-profile relationships in the atmospheric surface layer, J. Atmos. Sci., 28, 181-189.
  - 7) Mellor, G. L. and T. Yamada, 1974, A hierarchy of turbulence closure models for planetary boundary layer. J. Atmos. Sci., 31, 1971-1806.
  - 8) Deardorff, J. W., 1978, Efficient Prediction of ground surface temperature and moisture with inclusion of a layer of vegetation, J. Geophys. Res., 83, 1889-1903.
  - 9) 이상득, 김인기, 近藤 明, 2002, 국지풍모델을 이용한 광양만권의 이류확산 수치모의, 한국대기환경학회지, 18(1), 1-10.
  - 10) 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.
  - 11) 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.
  - 12) 여수시, 2000, 여수시 통계연보.
  - 13) 순천시, 2000, 순천시 통계연보
  - 14) 광양시, 2000, 광양시 통계연보
  - 15) 하동군, 2000, 하동군 통계연보
  - 16) 남해군, 2000, 남해군 통계연보
  - 17) 건설교통부, 2000, 도로교통량통계연보
  - 18) 철도청, 2000, 철도통계연보,
  - 19) 환경부, 1998, 광양만권 종합환경영향조사사업
  - 20) 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.