

도시 규모의 대기오염 농도 예측

Simulation of Atmospheric Pollutants Concentration in the Urban Scale

이 상 득 · 정 일 현
목포대학교 공과대학 환경공학과
(1996년 11월 5일 접수, 1997년 4월 2일 채택)

Sang-Deug Lee, Il-Hyun Chung
Department of Environmental Engineering, Mokpo National University
(Received 5 November 1996; accepted 2 April 1997)

Abstract

To predict the effects of air pollutant in the coastal region, we have developed the air pollutant model, the reaction model and the deposition of NO, NO₂, and O₃. And the numerical model of air pollutant concentration employed the nested technique to calculate with the higher resolution for the area. The nested technique uses two grid systems, one for the large scale calculating region with the coarse mesh grid (CMG) and the other for the small scale region with the fine grid (FMG). In other to prove the validity of the simulation model the calculations were conducted for the present situation. The results of them reasonably agree with the observed data and proved the validity of the model.

Key words : numerical model, urban scale, sea and land breezes, air pollutant concentration

1. 서 론

도시 대기 중에 배출된 대기오염물질의 이류 및 확산 현상은 지표부근의 기상조건과 지형의 영향을 강하게 받아 복잡하게 변화한다. 한편, 대기오염 예측 model로서 일반적으로 널리 사용되고 있는 정규형 plume model은 평지, 기상조건이 정상상태로 가정하여 도출된 model이다.

그러나, 최근 공업의 발달과 도시간 수송의 효율화를 위해 대부분의 도시는 해안지역뿐만 아니라 산간지역까지 개발이 진행되고 있다. 이러한 개발에 따른 환경영향 평가를 실시하기 위한 종래의 model를 그대로 사용한다는 것은 약간의 문제점이 있다고 본다. 대산지역의 지형과 기상에 적합한 예측 model의 개발이 필요하다. 특

히, 임해지역의 대부분의 도시는 그 배후에 산지로 둘러싸여 있어서, 바람이 약하게 불고 맑게 갠 야간에 자주 발생하는 해륙풍 순환에 의해 고농도 현상이 자주 나타난다. Ohara (Ohara *et al.*, 1989)는 도시에 대한 고농도 오염 mechanism의 해명을 목적으로 東京 도심부에서 실시한 야외 관측을 실시한 결과, 육풍 전선의 흐름 구조를 규명함과 동시에 육풍의 통과시 대기오염물질이 매우 높게 나타나는 것을 알았다. 또한, 임해 도시는 해륙풍에 의한 영향과 함께 배후 지형에 영향을 받아 고농도의 출현이 빈번하다는 것을 알았다.

본 논문에서는 수치 simulation에 의한 방법으로 해륙풍 순환과 지형의 영향을 받고 있는 임해도시의 대기오염물질 농도에 대해 알아 보았다. 실행한 수치 model은 도시 규모(수십 km²)로 계산 영역이 좁아 경제조건이 설정이 어렵고, 대규모 scale의 기류, 대기오염물질

및 지형의 영향을 받기 때문에 도시 영역만의 계산으로는 精度 높은 계산이 불가능하다. 그래서, 중규모 (meso scale) 영역의 계산값을 도시 규모 (urban scale)의 측면 경계조건으로 설정하여 도시 scale 영역을 계산하는 nesting의 수법이 필요하게 되었다. 따라서, meso scale의 오염물질 거동에 대한 model (meso scale model)과 도시 규모의 오염물질 거동에 대한 model (urban scale model)로 구성되어 있으며, 또한 양 model은 기류장을 계산하는 대기 경계층 model과 대기오염물질을 예측하는 대기오염물질 model로 되어 있다. 대기 경계층 model은 운동 방정식, 연속 방정식, 온도 보존식, 습도 보존식, 정수역학 방정식으로 되어 있으며, 좌표계는 복잡한 도시 지형을 잘 표현할 수 있는 z^* 좌표계를 사용하고 있다. 또한, 연직방향의 난류 확산계수는 접지 경계층에서 Businger (Businger, *et al.*, 1971)의 상사치로부터 설정하고, 대기 경계층은 Mellor and Yamada의 Level 2 Model (Mellor, *et al.*, 1974)을 이용하고 있다. 지표면에서의 온도와 습도는 토지 이용에 따른 열수지 방정식을 풀어서 정하였다. 또한, 대기 오염물질은 도시 대기질에 막대한 영향을 미치고 있는 SO_2 와 NO , NO_2 에 주목하여 NO_x 와 potential ozone (PO)이 배출로부터 비교적 단시간에 보존된다는 가정하에서, PO와 NO , NO_2 , O_3 의 화학적 평형식을 연립하여 해를 구하였다. 그리고, 개발한 model을 임해 도시인 大阪市에 적용하여, 해륙풍의 대기오염물질 관측값과 model의 계산결과와 비교 검토하였다.

2. 예측 Model

2.1 대기오염물질의 이류 확산 Model

기상장에 대한 대기오염물질의 이류, 확산현상을 해석하기 위하여 z^* 좌표계를 이용한 이류, 확산 기초식을 식 (1)과 같이 나타내었다.

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

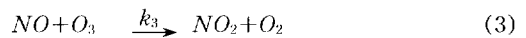
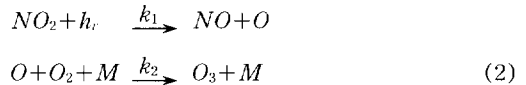
여기에서, i 는 오염물질의 종류 ($i=1, 2, 3 : SO_2, NO, NO_2$), c 는 염물질의 농도, $K_H^{(c)}$ 는 염물질농도의 수평방향 확산계수, 그리고 $K_H^{(c)}$ 는 오염물질농도의 수직방향 확산계수를 나타낸다.

$$\frac{1}{G_1} = \frac{s}{s - z_G}, \quad G_2 = \frac{z^* - s}{s - z_G} \frac{\partial z_G}{\partial x}, \quad G_3 = \frac{z^* - s}{s - z_G} \frac{\partial z_G}{\partial y},$$

또한 s 는 계산영역의 고도 [m], z_G 는 표고 [m]를 나타내고 있다.

2.2 SO_2, NO, NO_2 의 반응 확산 Model

일반적으로 발생원에서 대기 중에 배출된 NO_x 의 대부분은 NO 이고, NO_2 는 소량이다. 이 물질은 반응성이 풍부하며, 비교적 단시간에 화학적 반응을 하고, 그 농도비가 초기 상태에서 변화한다. 이 변화는 보통 NO_2 가 증가하는 방향에 따라 진행된다. 따라서, NO 가 산화하여 NO_2 가 되는 것이 정설로 알려져 있으며, 대기 중의 ozone에 의해 식 (2)와 같이 반응한다.



여기에서, k_1, k_2, k_3 는 반응계수를 나타낸다.

木村 (1983)는 NO 의 산화에 대해 반응 (2)와 (3)을 이용하여 산소 원자에 準定常 近似 model를 적용한 반응 확산 방정식을 제안하였다. 이 model은 NO_x 배출에서 비교적 단시간에서는 NO_x 와 potential ozone (PO)이 근사적으로 불활성 gas와 같이 자유스럽게 반응하기 때문에 NO_x 에서 NO_2 에의 변환에 관여하고 있다.

이 model은 NO_x 와 PO의 보존을 나타내는 식 (4), (5)와

$$\begin{aligned} [NO_x] = & [NO] + [NO_2] \\ = & [NO_x]_D + [NO_x]_B \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} [PO] = & [O_3] + [NO_2] \\ = & (1 - \alpha)[NO_x]_D + [O_3]_B + [NO_2]_B \end{aligned} \quad (5)$$

$[NO]$, $[NO_2]$, $[O_3]$ 의 반응평형을 나타내는 식 (6)을

$$[O_3] = \beta_0 \frac{[NO_2]}{[NO]}, \quad \beta_0 = \frac{k_1}{k_3} \quad (6)$$

연립하여 해를 구하는 방법으로,

$$[NO_2] = S/2 - \sqrt{S^2/4 - [NO_x][PO]}$$

$$S = [NO_x] + [PO] + \beta_0 \quad (7)$$

식 (7)에 의해 NO₂ 농도를 구할 수 있다.

여기에서, [NO_x]₀는 NO_x의 초기농도, [NO_x]_B는 NO_x의 background 농도, [NO₂]_B는 NO₂의 background 농도, 그리고 [O₃]_B는 O₃의 background 농도를 나타낸다. 또한, NO, O₃ 농도도 식 (8), (9)에 의해 차례로 구할 수 있다.

$$[NO] = [NO_x] - [NO_2] \quad (8)$$

$$[O_3] = \beta_0 \frac{[NO_2]}{[NO]} \quad (9)$$

따라서, NO_x의 계산값을 알고, NO_x, NO₂, O₃의 background 농도 및 β₀를 설정하면 NO₂ 농도를 구할 수 있다.

2.3 건성침착 Model

2.3.1 기초 방정식

일반적으로 건성침착 현상을 model화 할 경우 침착속도와 침착저항을 기초로 한다. 침착속도와 침착저항 식을 식 (10), (11)과 같이 나타낼 수 있다.

$$v_k = \frac{F_d}{p(z_h) - p(0)} \quad (10)$$

$$r = \frac{1}{v_k} \quad (11)$$

여기에서, F_d는 침착 flux, p(0)는 침착면에서 gas의 농도, p(z_h)는 고도 z_h에서 gas의 농도, r는 침착저항, 그리고 v_k는 침착속도를 나타낸다. 또한, 침착 flux와 침착저항 및 gas 농도의 관계를 식 (12)와 같이 나타낼 수 있다.

$$F_d = \frac{p(z_h) - p(0)}{r} \quad (12)$$

결국, 식 (12)에서 gas 농도의 차이와 침착저항을 이용하면 간단하게 침착 flux를 구할 수 있다.

본 논문에서는 대기의 안정도, gas의 종류, 침착면의 재질, 상태 등 침착 현상을 지배하는 parameter를 고려하였다. 대기 중에서 침착면에 침착하는 과정을 그림 1과 같이 나타내었다. 그 과정은 경계층 내의 난류 확산

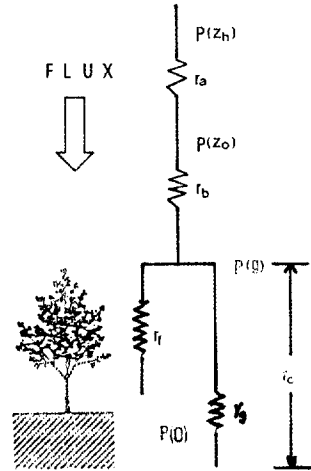


Fig. 1. Deposition process of air pollutant.

에 의한 수송과정, 점성 경계층 내의 분자확산에 의한 수송과정, 지표면에 의한 수송과정의 세가지 과정으로 나눌 수 있다. 또한, 각 수송과정을 표현하는 침착저항을 각각 상공으로부터 난류층 저항 r_a, 점성층 저항 r_b, 표면저항 r_s으로 나타낼 수 있다. 본 논문에서 표면저항 r_s에 대해 식물에 의한 침착 효과를 보다 더 정확하게 표현하기 위하여 지면의 표면저항 r_s과 식물층 표면저항 r_f의 합성저항으로 분리하였다. 각 수송과정의 저항값은 다음과 같이 정의한다.

$$r_a = \frac{p(z_h) - p(z_0)}{F_d} \quad (13)$$

$$r_b = \frac{p(z_0) - p(g)}{F_d} \quad (14)$$

$$r_c = \frac{p(g) - p(0)}{F_d} \quad (15)$$

여기에서, p(g)는 침착면 부근의 gas 농도, p(z₀)는 점성층 하단에서의 gas 농도를 나타낸다. 또한, 각 수송과정의 저항을 합성한 전저항 r은 식 (16)과 같이 나타낼 수 있다.

$$r = r_a + r_b + r_c \quad (16)$$

식 (12)와 식 (16)에서 침착 flux는 다음 식으로 나타낸다.

$$F_d = \frac{p(z_h) - p(0)}{r_a + r_b + r_c} \quad (17)$$

일반적으로 표면저항값은 침착면에서의 gas 농도 $p(0)$ 를 0로 할 때의 값이기 때문에 침착 flux를 구하는 식은 다음 식으로 나타낸다.

$$F_d = \frac{p(z_h)}{r_a + r_b + r_c} \quad (18)$$

즉, 상공의 gas 농도와 각 수송과정의 침착 저항값을 알게 되면, 식 (18)에 의해 침착 flux를 구할 수 있다.

2.3.2 침착 Model

본 논문에서 논하는 침착 model은 식물의 기공저항, 마찰속도, 확산계수를 이용하여 각 수송과정의 침착 저항값과 합성한 전 침착 저항값을 구하기 위하여 사용하였다.

(a) 난류확산에 의한 수송과정

난류확산에 의한 수송과정의 침착 저항인 난류층 저항 r_a 는 식 (19)로 나타낼 수 있다.

$$r_a(z) = \int_{z_0}^z \frac{1}{K_c^{(c)}} dz \quad (19)$$

여기에서, $K_c^{(c)}$ 는 오염물질농도의 연직방향 확산계수 [m^2/s], z 는 표고 [m]를 나타낸다.

식 (19)는 Businger (Businger, *et al.*, 1971)에 의한 확산계수와 보통함수를 이용하여 식 (20)과 같이 나타낼 수 있다.

$$r_a(z) = \frac{[\phi_h(z/L) - \phi_h(z_0/L)]}{\kappa u_*} \quad (20)$$

여기에서, ϕ_h 는 무차원 온도 profile [-], L 은 Monin-Obukhov 난류길이 [m], κ 는 Karman 상수를 나타내고 있다. 또한, 본 논문에서 이용한 무차원 profile은 Yaglom (1977)의 형식을 이용하였다.

(b) 분자확산에 의한 수송과정

점성층 내의 물질 수송에 대한 Stanton number S_t 는 Shaward number ($S_h = k_D z_0 / D$), Schmit number ($S_c = v / D$) 및 조도 Reynold's number ($Re_* = u_* z_* / \nu$)를 사용하여 나타낼 수 있다.

$$S_t = \frac{S_h}{S_c \cdot Re_*} = \frac{(k_D z_0 / D)}{(v / D) \cdot (u_* z_0 / \nu)} = \frac{k_D}{u_*} \quad (21)$$

여기에서, k_D 는 물질 전달율, ν 는 공기의 동점성계수, u_* 는 마찰속도를 나타낸다. 한편, 점성층 내의 gas flux F_d 는 다음 식으로 나타낸다.

$$F_d = k_D [p(z_0) - p(g)] \quad (22)$$

또한, 점성층 저항 r_b 는 정의에 의해 식 (23)과 같이 나타낼 수 있다.

$$r_b = \frac{p(z_0) - p(g)}{F_d} + \frac{1}{k_D} \quad (23)$$

식 (21)과 식 (23)에서 k_D 를 소거하면, 점성층 저항 r_b 는 식 (24)로 나타낼 수 있다.

$$r_b = \frac{1}{S_t \cdot u_*} \quad (24)$$

이상과 같이 점성층 저항은 대상인 gas의 종류와 지표면 상태에 따라 결정된다.

(c) 표면반응에 의한 수송과정

표면에서 침착저항 r_i 는 일반적으로 실측에 의해 구해진 상수를 사용하는 경우가 많다. 그러나, 실측으로 구한 상수는 연구자에 의해 오차가 크고, 특히 식물이 존재하는 경우 기공의 개폐에 따라 큰 차이가 있다. 따라서, 본 연구는 식물에 의한 침착 효과를 보다 정확하게 표현하기 위하여, 식물의 기공저항에 의한 침착저항 r_f 와 지면 침착저항 r_g 의 합성저항 값으로 나타내었다.

$$\frac{1}{r_c} = \frac{1}{r_g} + \sigma_f \frac{1}{r_f} \quad (25)$$

$$\text{여기에서, } r_f = \frac{r_{stoma}}{LA} \cdot \frac{D_{H_2O}}{D_i},$$

$$r_{stoma} = r_c \left[\frac{S_{max} \downarrow}{S_h \downarrow + 0.03 S_{max} \downarrow} + \left(\frac{W_{wilt}}{W_s} \right)^2 \right],$$

r_f 는 식물 잎의 침착저항 [s/m], r_{stoma} 는 잎의 수증기에 대한 기공저항 [s/m], LAI 는 leaf area index [-], D_i 는 물질의 분자확산 계수 [m^2/s], S_{max} 는 태양복사의 최대값 [cal/m^2s], S_h 는 태양의 복사 flux [cal/m^2s], W_{wilt} 는 식물이 시드는 흙 속의 수분량 [m^3/m^3], W_s 는 식물뿌리 부근의 수분량 [m^3/m^3], 그리고 화살표는 flux의 방향을 나타낸다.

3. 계산조건

3.1 경계조건

3.1.1 저면의 경계조건

침착 model에서 침착 flux F_d 를 구하고, 지상 배출원에서 배출되는 오염물질 flux ($-Q_g$)를 합성하여 구하였다.

$$K_r^{(c)} = \frac{\partial c}{\partial z} F_d - Q_{sf} \quad (26)$$

3.1.2 측면의 경계조건

(a) Meso scale model (CMG)

$$\text{유입측: } \frac{\partial c}{\partial x} = \frac{\partial c}{\partial y} = 0 \quad (27)$$

유출측: 경계에 대해 내부의 2점 값에서 선형 외삽하였다.

$$C_{bound} = 2C_{bound-1} - C_{bound-2} \quad (28)$$

(b) Urban scale model (FMG)

본 연구의 대상지역인 大阪市 지역의 scale은 수십 km²로 좁고, 이와 같은 scale의 대기오염은 더욱 더 scale이 큰 synoptic의 영향을 받는다. 그래서, 이와 같은 synoptic의 영향을 받기 때문에, 큰 계산 영역 (CMG; coarse mesh grid)으로, synoptic인 농도를 우선 계산하고, 그 결과를 작은 계산 영역 (FMG: fine mesh grid)의 경계조건으로 설정하여 계산하는 방법을 사용하였다. 또한, FMG 계산결과를 CMG에 대응하는 계산 격자점을 更新하는 two-way nesting 방법을 사용하였다.

3.2 오염물질 배출량

3.2.1 배출원 설정

CMG (meso scale model)과 FMG (urban scale model)에서 대기오염 물질을 예측하기 위하여 사용한 data는 mesh 간격이 (1 km × 1 km)이고, 주야별, 계절별, 배출원별의 data[Nm³/h]로 되어 있다. 이 data

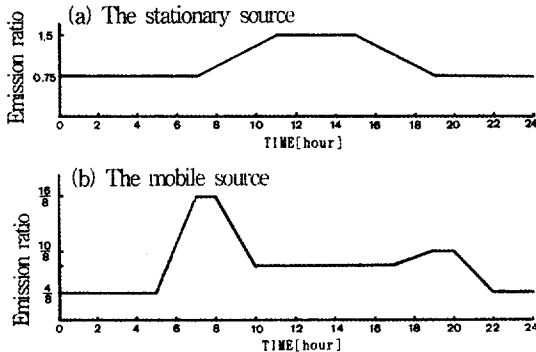
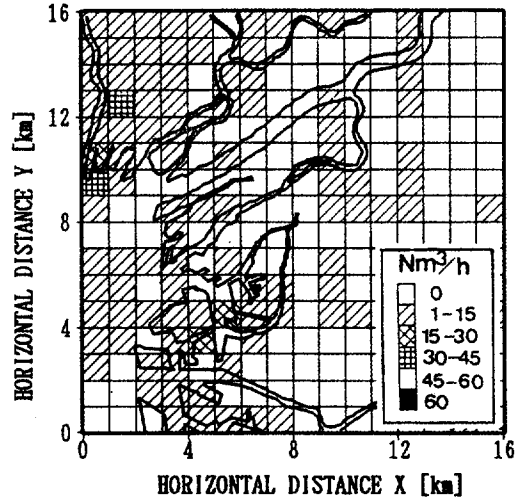


Fig. 2. Time variation of emission amount.

를 이동 발생원과 고정 발생원으로 분류하여 그림 2 (a), (b)와 같이 시간 변화에 따라 배출된다고 가정하였다. 고정 배출원은 공장, 가정 등이고, 이동 발생원은 자동차, 선박, 항공기 등에서 배출되는 것으로 분류하였다. 그림 3 (a), (b)은 도시 scale model의 SO_x, 그림 4 (a), (b)는 NO_x의 고정, 이동 배출량의 map을 나타내었다.

(a) The stationary emission amount of SO_x



(b) The mobile emission amount of SO_x

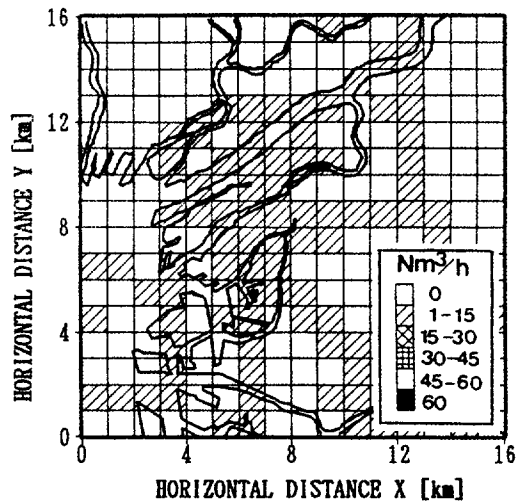
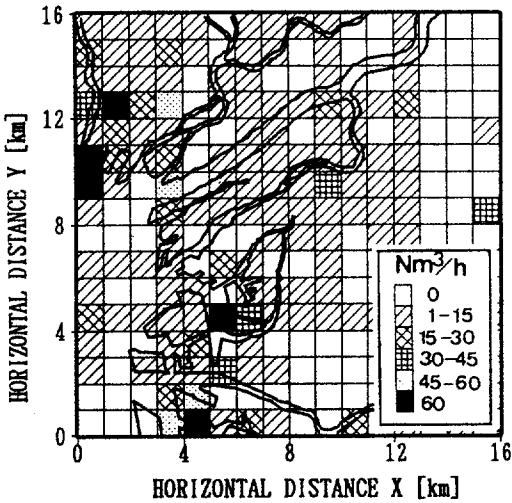


Fig. 3. Emission amount of SO_x.

(a) The stationary emission amount of SO_x



(b) The mobile emission amount of SO_x

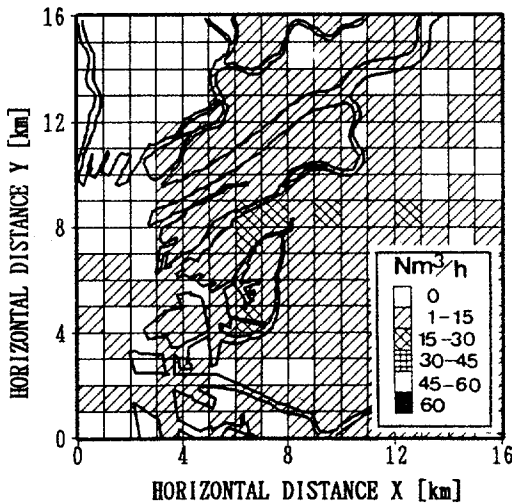


Fig. 4. Emission amount of NO_x.

3.2.2 초기 농도

각 물질의 지표면에서 농도는 일반일의 평균 농도로서 SO₂는 0.01 (ppm), NO_x는 0.05 (ppm)으로 하였다. 연직 분포는 고도 80 m까지는 농도가 일정하다고 가정하고, 그 이상 고도의 계산 영역은 정상에서 농도가 zero가 되도록 일차적으로 감소하게 하였다.

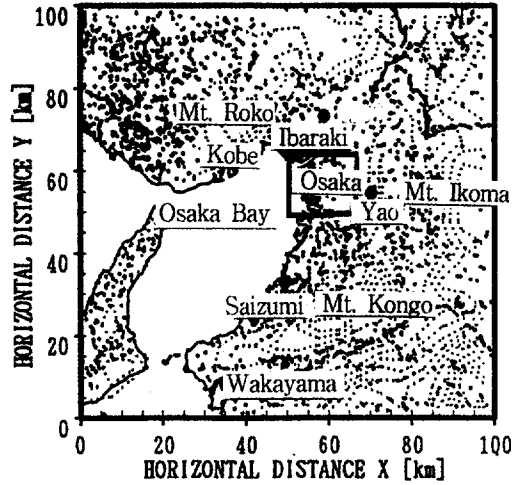


Fig. 5. Calculation region of CMG.

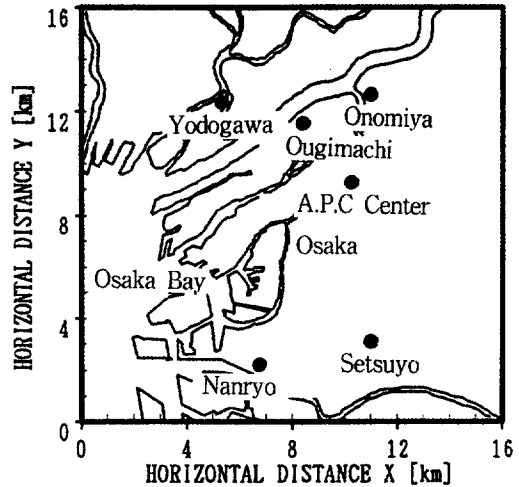


Fig. 6. Calculation region of FMG.

3.3 계산영역

Meso scale model의 계산 영역은 100×100 km² (mesh 간격: 5 km×5 km), 도시 규모 model은 16×16 km² (mesh 간격: 1 km×1 km) 크기의 영역이다. 연직 방향은 양 model이 같은 9층으로 20, 60, 80, 100, 140, 300, 400, 600, 900의 mesh 간격으로 계산영역의 높이는 3,050 m이다. 그림 5에 大阪灣을 대상으로 한 meso scale model (CMG)의 계산영역이며, 그림 중의 작은 四角의 영역이 大阪市를 중심으로

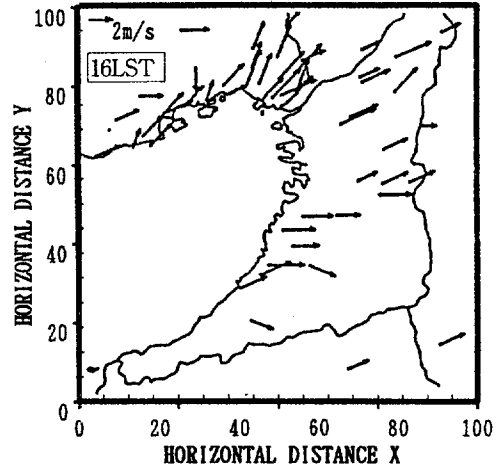
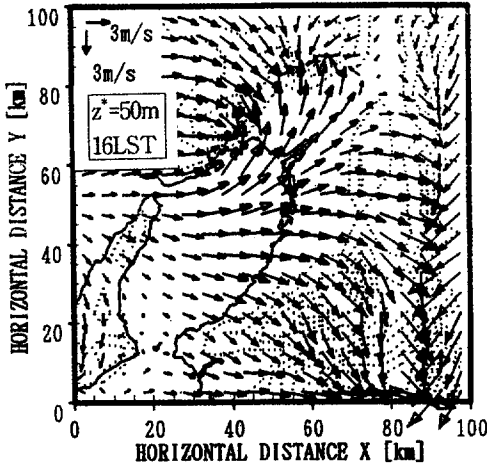


Fig. 7. Comparison of the simulated wind field and the observed one 16 LST.

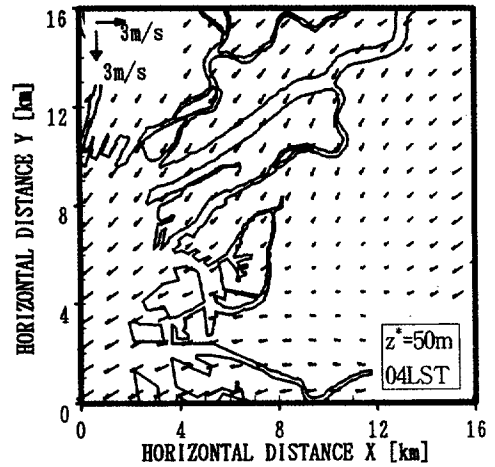
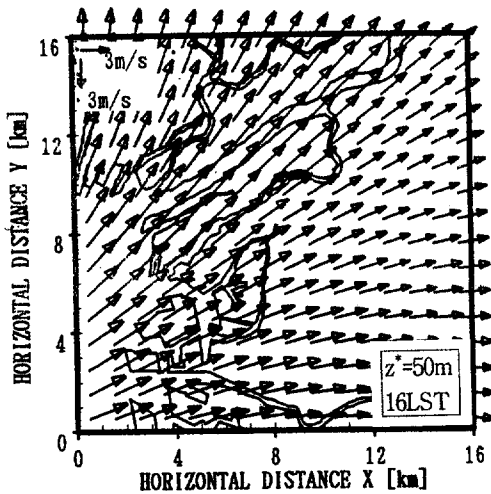


Fig. 8. Simulated results on the FMG region.[wind]

한 도시 규모 model (FMG)의 계산영역이다. 그림 6은 확대한 도시 scale model (FMG)의 계산영역을 나타내고 있다. 그림 5, 6의 점들은 大阪府 및 大阪市の 상시 관측소의 관측점이며, 후에 model의 계산 결과와 이 관측점에서 관측한 data를 이용하여 개발한 model의 타당성을 비교 검토하는데 사용하였다.

4. 계산결과와 관측값과의 비교

계산은 해륙풍이 발달하는 8월의 맑은 날을 대상으로

2일간 계산을 하였다. 그 중 2일째 날의 결과를 계산 결과로 하였다. 계산 결과와 관측값과의 비교는 어떤 특성의 기상 현상(본 연구에서는 해륙풍)의 기상값을 model의 계산에서 구하여, 과거 관측값의 통계량을 비교 검토하는 방법을 택하였다.

해륙풍은 일본의 연안 지역에서 잘 관측되는 현상이며, 그에 대한 통계해석도 다수 검토(江口恒夫, 1977)되고 있다. 본 연구에서는 堤郎(堤純一郎, 1988)의 해석을 참고하여,

- ① 일사량이 해석 기간의 평균값 이상,

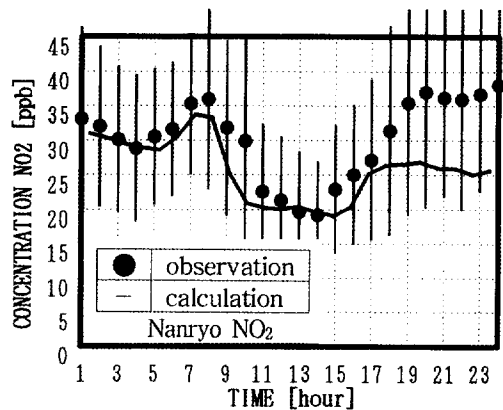
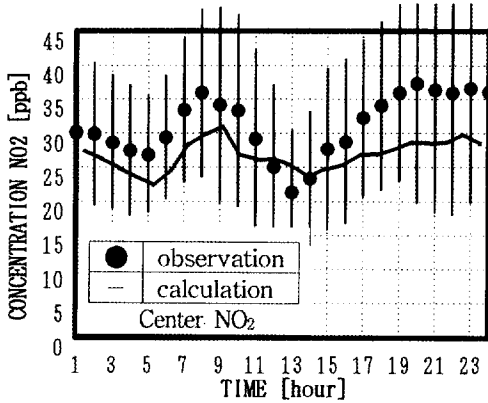
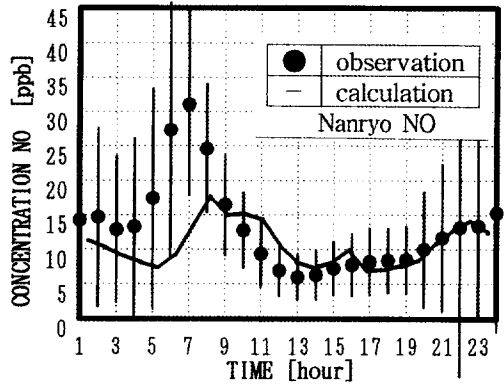
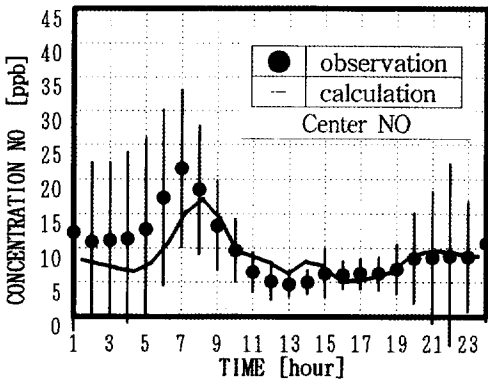
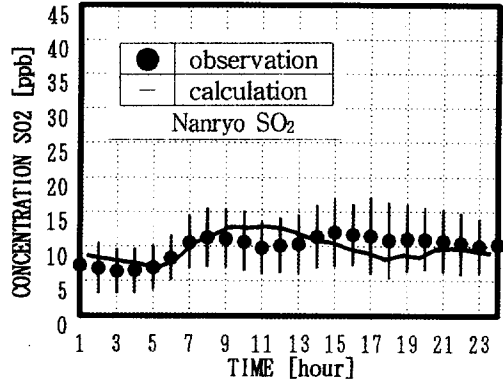
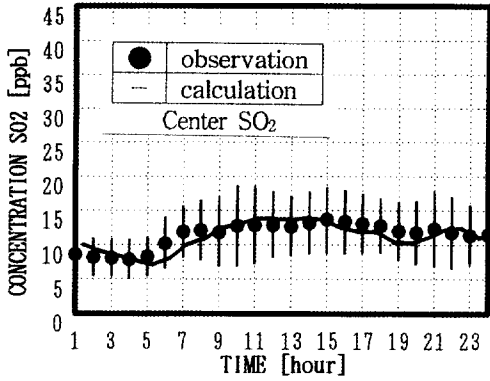


Fig. 9. Comparison of the calculated values the observed at Air Pollution Control Center.

Fig. 10. Comparison of the calculated values the observed at Nanryo (The vertical line represents the standard deviation).

- ② 기온 일교차가 해석 기간의 평균값 이상,
- ③ 일평균 풍속이 해석 기간의 평균값 이하,
- ④ 하루의 적산 강우량이 0 mm

을 기준으로 ①에서 ④까지 조건을 모두 만족하는 날을 해륙풍일로 정의하였다. 해석 대상의 자료는 大阪府,

大阪市 및 兵庫縣의 상시 관측값을 이용하였다. 해석 기간은 1982년부터 1991년(10년간)의 자료 중, 夏期の 6월~9월의 해륙풍이 부는 날을 선별하였다. 해석의 결과, 약 210일이 해륙풍이 부는 날로 선별되어 온도, 풍향, 풍속을 평균하여 계산 결과(기상장 및 농도장)와 비교·검토하는데 사용하였다. Meso scale model (CMG)로 계산한 기상장의 결과와 관측값과의 비교를 그림 7에 나타내었다. 神戸(Kobe)에서 大阪(Osaka) 南部까지 해안선 부근의 계산 결과와 관측값의 풍향, 풍속은 일치하고 있으며, 六甲山(Mt. Roko)을 휘어 감는 바람이 계산에서 재현되고 있다.

그러나, 金剛山(Mt. Kongo) 남동쪽에서 관측값의 방향이 남서 방향인데 반해, 계산에서는 북동 방향으로 불고 있어, 약간 일치하지 않음을 알 수 있다. 이것은 meso scale model의 남쪽 경계가 높은 산지에 놓여 있기 때문이다. 이와 같은 장소에 경계조건을 설정한다는 것은 약간의 무리가 있다고 본다. 다음은 meso scale model의 계산값을 경계값으로 이용하여 도시 scale model의 계산을 하였다. 그림 8은 $z^*=50$ m에서 大阪市 주변의 16[LST]와 4[LST] 기상장의 결과를 나타내었다. 16[LST]에 해풍이 大阪市 전역에 영향을 미치고 있으며, 최대값이 3~4[m/s]로 불고 있고, 4[LST]에는 육풍이 1~2[m/s]로 불고 있다.

다음은 도시 scale의 대기오염 농도 예측 model의 계산 결과와 大阪府 및 大阪市 상시 관측점의 관측값과 비교 검토하였다. 그 결과, 모든 관측점에서 거의 같은 경향을 나타내고 있으므로, 대표적인 장소로 公害監視 center와 南稜(Nanryo)의 관측점과 비교한 결과만을 나타내었다. 그림 9는 계산값과 公害監視 center (APCC), 그림 10은 계산값과 南稜(Nanryo)와의 SO_2 , NO, NO_2 를 비교하였다(그림에서 실선은 계산값, 점은 관측값의 평균값, 縦線은 표준편차). SO_2 는 광화학 반응과 무관하고, 이류, 확산 및 건성침착에 의해서 농도가 결정되므로 양 관측점의 관측값과 잘 일치하고 있음을 나타내고 있다. 그러나, NO 및 NO_2 는 이류, 확산과 동시에 광화학 반응에 의해 그 농도가 변화는 물질이다. 그래서, 야간에 NO 및 NO_2 가 관측값과 다소 오차가 있음을 알 수 있다. 그 결과, 본 연구에서 사용한 광화학 반응 model에 약간의 문제가 있으며, 보다 정확한 대기오염 예측을 위하여 model의 검토가 필요하다고 생각된다.

5. 결 론

개발한 model을 임해 도시인 大阪市에 적용하여, 해륙풍이 부는 날의 관측값과 비교한 결과, SO_2 는 타당한 결과를 얻었으며, NO, NO_2 는 야간에 관측값보다 약간 낮은 농도를 나타내고 있어 model의 검토를 해야 할 여지가 있으나, 개발한 model로서 해륙풍이 부는 大阪市의 대기오염 농도의 공간적인 pattern과 시간적인 pattern을 재현할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 大阪大學 工學部 環境工學科 山口 研究室의 山口克人 教授, 近藤 明 助手와 함께 수행한 것으로 이에 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

- 江口恒夫(1977) 大阪市の海陸風について, 天氣, 24, 739-746.
- Ohara, T., I. Uno, and S., Wakamatsu(1989) Observational study of high concentration of land breeze front, J. Japan Soc. Air Pollut., 25(1), 66-76.
- Busiger, J.A., Y.I. Wyngaard, and E.F., Bradley(1971) Flux-profile relationship 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 layer. J. Atmos. Sci., 31, 1971-1806.
- Yaglom, A.M.(1977) Comments on wind and temoerature flux-profile relationship. Boundart-Layer Meteor., 11, 89-102.
- Kimura, F.(1978) A reactive diffusion model for NO, NO_2 , and O_3 by an approximation method. J. Japan Society of Air Pollution, 13, 67-75.
- Tsutsumi, J. et al.(1989) Statistical analysis of the sea and breezes component in the summer, Arctitectural Institute of Japan, 389, 28-36.