

국지풍모델을 이용한 광양만권의 이류 확산 수치모의 Numerical Simulation of Advection and Diffusion using the Local Wind Model in Kwangyang Bay, Korea

이 상 득* · 김 인 기 · 近藤 明¹⁾

목포대학교 환경공학과, ¹⁾日本 大阪대학 공학부 환경공학과

(2001년 7월 2일 접수, 2001년 12월 31일 채택)

Sang-Deug Lee*, In-Gi Kim and Akira Kondo¹⁾

Dep. of Environmental Eng. Mokpo National University,

¹⁾Dep. of Environmental Eng. Graduate School of Engineering, Osaka University

(Received 2 July 2001; accepted 31 December 2001)

Abstract

A three-dimensional numerical model which involved the nesting method was developed to reproduce the wind circulation of Kwangyang Bay area which comprises complicated mountains and sea topograph. The calculated results indicated geographical effects of Kwangyang Bay area, sea/land breezes and mount-valley wind which are local circular winds. We also noticed that the northern inland area of Kwangyang Bay formed the very complex wind systems under the influence of such geographic effects when a land breeze was not formed. A good agreement was found between predicted and observed values of temperature. In addition, the calculated results of the wind direction and the wind velocity are in accord with the observed values. They showed only a slight difference in between predicted and the observed values, when the sea breeze and the land breeze are changing.

Key words : Kwangyang Bay, numerical simulation, sea/land breezes, nesting

1. 서 론

광양만권은 약 80만명의 인구와 약 18만대의 자동차 및 여천공단, 순천공단, 광양공단, 광양 제철소, 하동 하력발전처 등에서 배출되는 대기오염물질이 다른 지역보다 많이 배출되고 있으며, 울촌공단과 여천공단의 확장단지들 비롯하여 광양컨테이너 부두 등이 신·증설되고 있다.

하지만, 이 지역은 지금까지 대기오염에 대한 인식과 적절한 관리의 미비로 인하여 장기간의 오염물질이 누적되어 공단지역의 대기환경과 지역주민들의 생활에 영향을 미치고 있다. 또한, 앞으로 주변 공단이 신·증설되어 가동될 경우 이보다 더 많은 오염물질이 배출될 것으로 예상되므로, 이에 대한 대기환경오염과 광화학스모그, 유해가스 등의 복합적인 환경문제가 발생될 것으로 예상된다.

이러한 문제점을 해결하기 위해서는 연료의 대체, 방지시설의 확충 및 관계명령의 강화에 의한 저감대책이 중요하며, 대기오염 확산모델을 이용한 대

* Corresponding author
Tel : (061) 450-2484, E-mail : leesang@chungkye.mokpo.ac.kr

기오염농도 예측도 광양만권의 장래 대기질 관리측면에서 매우 중요하다. 지금까지, 광양만권의 대기확산에 사용되어 온 대기확산 모델은 유풍시에는 가우시안 풀류, 무풍시에는 가우시안 퍼프식을 기초로 하는 확산 방정식을 사용하므로써, 지형과 광화학반응 및 대기오염물질의 단기적인 예측을 할 수 없는 커다란 단점을 가지고 있었다. 따라서, 대기 중에 거의 반응이 없는 황산화물(SO_x) 및 부유성물질(TSP)인 1차 대기오염물질을 대상으로 모델이 수행되어 왔다. 김유근 등(1996)은 국지풍모델을 이용한 이류 확산의 수치모의를 부산연안역에 시도하였으며, 이상득 등은 Nesting 방법(1994)을, 이상득과 김종오(1998)는 도시 Canopy를 고려하여 大阪地域の 해륙풍을 재현하였다. 또한, 임희창 등(1996)은 언덕지형을 지나는 유동에 대한 연구를 수행하여, 언덕 특성과 유동 특성간의 상관관계를 규명하고, 기존 모델의 결과와 비교하였다. 김영성과 오현선(2000)은 여수지역의 대기확산 수치모사를 실시하여 지형에 의한 영향과 일사에 의한 일변화를 모사하였으나, 모델과 관측값과의 비교·검토에 아쉬움이 있다. 이와 같이 최근 우리나라에서는 대기질 예측의 모사에 지형적인 영향을 반영하기 위하여, 수치모델을 이용한 연구가 활발하게 진행되고 있으나, 복잡한 지형에 대한 연구는 시작 단계이다. 광양만권의 기상장 모델의 개발은 이 지역의 대기환경 악화를 예방하기 위해서도 매우 중요하다. 특히, 대기오염물질은 대기의 유동(기상)을 따라 흐르는 추적자라고 할 수 있기 때문에 대기 중의 오염물질의 거동을 연구·조사하기 이전에 대상지역에 대한 오염물질의 배출량과 광화학반응 및 지형 특성에 의해 형성되는 국지순환풍을 재현할 수 있는 모델개발이 선행

순환을 예측할 수 있는 기상장 모델을 광양만권에 적용하였으며, 여수기상대 및 여수공항에서 관측한 자료와 비교·검토하였다.

2. 기상장모델

2.1 기초 방정식

모델에 사용한 기초방정식은 운동량 보존식, 온도 방정식, 수분 보존식, 연속 방정식 및 정수역학 방정식으로 구성되어 있다. 또한, 본 연구에서는 광양만권의 복잡한 지형의 영향을 고려하기 위하여 지형의 변화를 잘 나타내는 z*좌표계를 사용하였다.

(1) 운동량 보존식

$$\begin{aligned} \frac{DU}{Dt} = & f_c V - C_p \theta \frac{\partial \Pi}{\partial x} + g \frac{z^* - s}{s} \frac{\partial z_G}{\partial x} \\ & + \frac{\partial}{\partial x} \left(K_H \frac{\partial U}{\partial x} + K_H G_2 \frac{\partial U}{\partial z^*} \right) \\ & + G_2 \frac{\partial}{\partial z^*} \left(K_H \frac{\partial U}{\partial x} + K_H G_2 \frac{\partial U}{\partial z^*} \right) \\ & + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_H \frac{\partial U}{\partial y} + K_H G_2 \frac{\partial U}{\partial z^*} \right) \\ & + G_2 \frac{\partial}{\partial z^*} \left(K_H \frac{\partial U}{\partial y} + K_H G_2 \frac{\partial U}{\partial z^*} \right) \\ & + \frac{1}{G_1} \frac{\partial}{\partial z^*} \left(K_v \frac{\partial U}{\partial z^*} \right) \end{aligned} \quad (1)$$

$$\frac{DV}{Dt} = -f_c U - C_p \theta \frac{\partial \Pi}{\partial y} + g \frac{z^* - s}{s} \frac{\partial z_G}{\partial y}$$

(2) 온위 방정식

$$\begin{aligned} \frac{D\theta}{Dt} = & \frac{\partial}{\partial x} \left(K_H \frac{\partial \theta}{\partial x} + K_H G_2 \frac{\partial \theta}{\partial z^*} \right) \\ & + G_2 \frac{\partial}{\partial z^*} \left(K_H \frac{\partial \theta}{\partial x} + K_H G_2 \frac{\partial \theta}{\partial z^*} \right) \\ & + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_H \frac{\partial \theta}{\partial y} + K_H G_2 \frac{\partial \theta}{\partial z^*} \right) \\ & + G_2 \frac{\partial}{\partial z^*} \left(K_H \frac{\partial \theta}{\partial y} + K_H G_2 \frac{\partial \theta}{\partial z^*} \right) \\ & + \frac{1}{G_1} \frac{\partial}{\partial z^*} \left(K_v \frac{\partial \theta}{\partial z^*} \right) \end{aligned} \quad (3)$$

(3) 비습방정식

$$\begin{aligned} \frac{DQ_v}{Dt} = & \frac{\partial}{\partial x} \left(K_H \frac{\partial Q_v}{\partial x} + K_H G_2 \frac{\partial Q_v}{\partial z^*} \right) \\ & + G_2 \frac{\partial}{\partial z^*} \left(K_H \frac{\partial Q_v}{\partial x} + K_H G_2 \frac{\partial Q_v}{\partial z^*} \right) \\ & + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_H \frac{\partial Q_v}{\partial y} + K_H G_2 \frac{\partial Q_v}{\partial z^*} \right) \\ & + G_2 \frac{\partial}{\partial z^*} \left(K_H \frac{\partial Q_v}{\partial y} + K_H G_2 \frac{\partial Q_v}{\partial z^*} \right) \\ & + \frac{1}{G_1} \frac{\partial}{\partial z^*} \left(K_v \frac{\partial Q_v}{\partial z^*} \right) \end{aligned} \quad (4)$$

(4) 연속방정식

$$\begin{aligned} \frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial y} + \frac{\partial W^*}{\partial z^*} \\ - \frac{1}{s-z_G} \left(U \frac{\partial z_G}{\partial x} + V \frac{\partial z_G}{\partial y} \right) = 0 \end{aligned} \quad (5)$$

(5) 정수역확방정식

$$\frac{\partial \Pi}{\partial z^*} = - \frac{1}{G_1} \frac{g}{C_p \theta} \quad (6)$$

여기에서,

$$\Pi = \left(\frac{P}{P_0} \right)^{Rd/C_p} \quad (7)$$

$$\theta = T \Pi \quad (8)$$

$$f_c = 2\Omega \sin \psi \quad (9)$$

$$W^* = \frac{\bar{s}}{s-z_G} W + \frac{z^* - \bar{s}}{s-z_G} \left(U \frac{\partial z_G}{\partial x} + V \frac{\partial z_G}{\partial y} \right) \quad (10)$$

$$z^* = s \frac{z-z_G}{s-z_G} \quad (11)$$

$$\frac{1}{G_1} = \frac{s}{s-s_G} \quad (12)$$

$$G_2 = \frac{z^* - s}{s-z_G} \frac{\partial z_G}{\partial x} \quad (13)$$

$$G_3 = \frac{z^* - s}{s-z_G} \frac{\partial z_G}{\partial y} \quad (14)$$

또한, x, y, z 는 z^* 좌표계, u, v, w 는 x, y, z 방향의 속도 성분, w^* 는 z^* 좌표계에 대한 연직방향의 속도 성분, t 는 시간, θ 는 온위, Q_v 는 비습, T 는 대기온도, R_d 는 건조공기의 기체상수, C_p 는 정압비열, P 는 압력, P_0 는 표준압력, f 는 Coriolis 매개변수, Ω 는 지구의 회전각속도, ψ 는 위도, g 는 중력가속도, K_H 는 수평방향의 확산계수, s 는 계산영역의 고도, z_G 는 표고를 각각 나타낸 것이다.

2.2 지표면의 열수지 모델

본 모델에서는 지표면의 온위 및 습도의 경계조건을 설정하기 위하여 식생을 고려한 지표면 열수지 모델을 이용하였다. 이 모델은 식생에 의한 지표면을 덮고 있는 식생의 정도를 매개변수화하여 지표면의 온도 및 수분량을 나타내는 모델이다. Deardorff (1978)의 식생모델을 기초로 하여 수정한 모델을 사용하였다. 식생 정상에서의 열수지식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} S_h \downarrow + R_h \downarrow - S_h \uparrow - R_h \uparrow - (S_g \downarrow + R_g \downarrow - S_g \uparrow - R_g \uparrow) \\ = H_h - H_g + Lw(E_h + E_g) \end{aligned} \quad (15)$$

여기에서, H 는 현열 플럭스, Lw 는 물의 증발잠열, LwE 는 잠열 플럭스, R 는 장파복사, S 는 태양의 단파복사, 그리고 첨자 g 와 h 는 지표면과 식생 정상에서의 값을 나타내며, 화살표는 플럭스의 방향을 각각 나타낸 것이다.

또한, 지면에서의 열수지식은 지면을 향하는 열의 플럭스를 G 라 하면,

$$-G = H_g + L_w E_g - (1 - \alpha_g) S_g \downarrow + R_g \uparrow - R_g \downarrow \quad (16)$$

여기에서, α_g 는 지표면의 알베도, H_g 는 지표면에서의 현열 플러스, E_g 는 증발율을 각각 나타낸 것이며, 아래 식으로 구한다.

$$H_g = \rho C_p C_{H_g} u_{af} (T_g - T_{af}) \quad (17)$$

$$E_g = \rho C_{H_g} u_{af} (q_g - q_{af}) \quad (18)$$

여기에서, C_{H_g} 는 식생층 내의 지면에 대한 열·수분 수송계수, ρ 는 공기밀도, C_p 는 정압비열, u_{af} 는 식생층 내의 평균풍속, T_g 는 식생층 내의 지면온도, T_{af} 는 식생층 내의 평균온도, q_g 는 식생층 내의 지면습도, q_{af} 는 식생층 내의 평균습도를 각각 나타낸다.

2.3 연직방향의 확산계수

본 연구에서는 50 m까지를 접지층, 그 상층을 Ekman 층으로 분류하여 각각 다른 모델을 적용하였다. 접지층에서는 Monin-Obukhov의 상사이론에 기초한 Businger *et al.* (1971)의 무차원 풍속, 온위 표현식을 이용하여 운동량과 열의 flux를 나타내었으며, Ekman 층에서는 Yamada (1974)의 Closure Model 2를 이용하여 난류확산계수를 표현하였다.

2.3.1 접지층의 연직방향확산계수

풍속 및 온위의 기울기를 나타낸 보편함수에 의해 운동량과 연직방향의 확산계수를 아래와 같이 나타내었다.

$$\Phi_m(\zeta) = \frac{kz}{u^*} \frac{\partial U}{\partial z} \quad (19)$$

$$\Phi_h(\zeta) = \frac{kz}{\theta^*} \frac{\partial \theta}{\partial z} \quad (20)$$

접지층에서는 flux가 일정하다고 가정할 수 있기 때문에, 식 (20)와 식 (21)을 z_0/L 에서 z/L 까지 적분하면 식 (22)과 식 (23)을 얻을 수 있다.

$$u(z) - u(z_0) = \frac{u^*}{k} \left[\Phi_m \left(\frac{z}{L} \right) - \Phi_m \left(\frac{z_0}{L} \right) \right] \quad (21)$$

$$\theta(z) - \theta(z_0) = \frac{u^*}{k} \left[\Phi_h \left(\frac{z}{L} \right) - \Phi_h \left(\frac{z_0}{L} \right) \right] \quad (22)$$

여기에서, Φ_m 은 무차원 풍속profile, Φ_h 는 무차원 온

위profile, ζ 는 안정도 매개변수, z_0 는 지표면의 조도, L 은 Monin-Obukhov의 길이를 각각 나타낸다.

$$u^* = \frac{ku(z)}{\Psi_m \left(\frac{z}{L} \right) - \Psi_m \left(\frac{z_0}{L} \right)} \quad (23)$$

$$\theta^* = \frac{k(\theta(z) - \theta(z_0))}{\Psi_h \left(\frac{z}{L} \right) - \Psi_h \left(\frac{z_0}{L} \right) + 0.0962 \left(\frac{u^* z_0}{v} \right)^{0.45}} \quad (24)$$

$$\Phi_m = 1.14 (1 - 13.1\zeta)^{-1/4} \quad (\zeta \leq 0) \\ 1.14 (1 + 4.1\zeta)^{-1/4} \quad (\zeta > 0) \quad (25)$$

$$\Phi_h = 0.84 (1 - 7.9\zeta)^{-1/2} \quad (\zeta \leq 0) \\ 1.14 (0.74 + 4.1\zeta) \quad (\zeta > 0) \quad (26)$$

$$K_v^{(m)} = ku^* \frac{z}{\Phi_m} \quad (27)$$

$$K_v^{(\theta)} = ku^* \frac{z}{\Phi_h} \quad (28)$$

여기에서, u^* 는 마찰속도, θ^* 는 마찰온위, k 는 von Karman 상수, $U = (u^2 + v^2)^{1/2}$, $\zeta = z/L$ 을 각각 나타낸다.

2.3.2 Ekman층의 연직방향의 확산계수

Ekman층의 연직방향 난류확산계수는 Yamada 2 model (1974)에 의해 다음과 같이 해를 구하였다.

$$q^2 = B_1 l^2 \left[\left(\frac{\partial u}{\partial z} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial z} \right)^2 \right] (1 - R_f) S_M \quad (29)$$

$$\overline{w'^2} = \left[\frac{1}{3} - 2 \frac{A_1}{B_1} - 6 \frac{A_1}{B_1} \left(1 - \frac{2}{3} C_2 \right) \frac{R_f}{1 - R_f} \right] q^2 \quad (30)$$

$$-\overline{u'w'} = l_q S_M \frac{\partial u}{\partial z} \quad (31)$$

$$-\overline{w'\theta'} = l_q S_H \frac{\partial u}{\partial z} \quad (32)$$

$$-\overline{u'\theta'} = -3A_2 l^2 (S_M + S_H) \frac{\partial \theta}{\partial z} \frac{\partial u}{\partial z} \quad (33)$$

$$\overline{\theta'^2} = B_2 l^2 S_H \left(\frac{\partial \theta}{\partial z} \right)^2 \quad (34)$$

$$l = \frac{kz}{1 + kz/l_0} \quad (35)$$

$$S_M = C_M \frac{(R_{fc} - R_f)(R_{f1} - R_f)}{(1 - R_f)(R_{f2} - R_f)} \quad (36)$$

$$S_H = C_H \frac{(R_{fc} - R_f)}{(1 - R_f)} \quad (37)$$

운동량, 열 및 비습의 확산계수는

$$K_v^{(m)} = q l S_M \quad (38)$$

$$K_v^{(h)} = K_v^{(q)} q l S_H \quad (39)$$

이다. 여기에서, q 는 속도변동 에너지, l_0 는 q 의 분포를 이용하여 $l_0 = 0.1 \int_0^\infty z q dz / \int_0^\infty q dz$ 이며, R_{fc} 는 임계 Richardson 수, R_f 는 flux Richardson 수, $A_1, A_2, B_1, B_2, C_1, C_2, R_{f1}, R_{f2}$ 및 C_M, C_H 는 상수를 각각 나타낸다.

2.4 계산조건과 Nesting

2.4.1 대규모 영역의 초기조건 (CMG)

$$(1) \text{ 풍속은 } u = v = w^* = 0 \quad (40)$$

로 하였다.

(2) 온위는

$$\theta = \theta_{sea} + \Gamma \left\{ \frac{z^*[s - z_G(x, y)]}{s} + z_G(x, y) \right\} \quad (41)$$

이며, Γ 는 온위의 연직방향 기울기를 나타낸다.

(3) 비습은

$$q_v = q_s + \Gamma_q \left\{ \frac{z^*[s - z_G(x, y)]}{s} + z_G(x, y) \right\} \quad (42)$$

이며, q_s 는 지표면의 초기비습, Γ_q 는 비습의 연직방향 기울기를 나타낸다.

(4) 압력은 표고 0의 값을 1기압으로 가정하고, 온위의 초기분포를 이용하여 정수역학 방정식으로부터 계산영역 상단의 압력을 구하였다.

2.4.2 대규모 영역의 경계조건 (CMG)

(1) 측면의 경계조건

여기에서, n 은 경계의 법선방향, ψ 는 변수를 각각 나타낸다.

• 유출조건

수평풍속의 법선성분은 Klemp and Wilhelmson (1978)의 Radiation Condition을 이용하였다.

$$\frac{\partial V_n}{\partial t} + c \frac{\partial V_n}{\partial n} = 0 \quad (44)$$

여기에서, c 는 eddy의 위상속도를 나타낸다. 또한, 그 밖의 변수에 대해서는 선형외삽을 이용하였다.

$$\psi_{bound} = 2\psi_{bound-1} - \psi_{bound-2} \quad (45)$$

(2) 상면의 경계조건

$$\frac{\partial \psi}{\partial t} = 0 \quad (46)$$

여기에서, ψ 는 변수 전체를 나타낸다.

3. 계산영역

본 연구의 대상지역인 광양만권과 같이 작은 지역(수십 km²)을 1일의 시간 scale로 계산할 경우, 경계조건에 대한 설정이 매우 어렵고, 해안부근의 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 방법을 도입하였다. Nesting 방법은 Clark and Rarley (1984)의 삽입식을 사용하였다. 계산결과는 광양만권역의 계산결과만을 나타내었다. 계산대상일은 지역적인 국지순환풍인 해륙풍이 발생하는 날로 설정하였다.

계산영역은 전라남도과 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

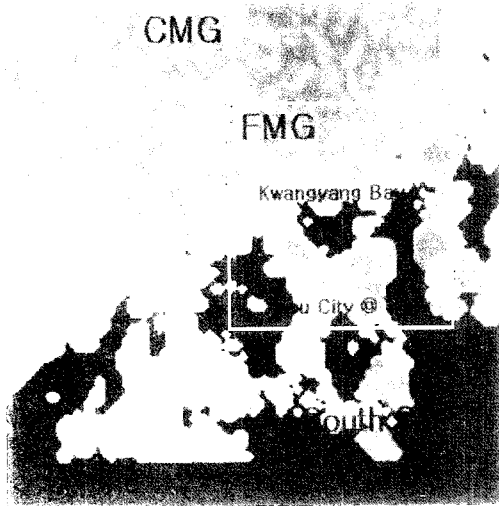


Fig. 1. Simulated region of CMG.

부분과 경상남도 하동군과 남해군의 일부가 포함되어 있으며, 수평방향 40 km × 40 km (mesh 간격: 0.5 km)이다. 연직방향의 계산영역은 CMG 및 FMG가 같은 15층(5 km)의 Mesh로 구성되어 있으며, 지표면에 가까울수록 Mesh 간격을 좁게 하여 지표면의 영향을 최대한 반영하였다. 그림 1은 전남과 경남이 포함되어 있는 CMG 영역이며, 그림 2는 광양만권을 중심으로 하는 FMG의 영역을 각각 나타내고 있다. 그림 내의 점은 광양만권의 기상관측점인 여수 기상대와 여수공항을 각각 나타낸 것이며, 모델의 계산결과와 비교 검토하는데 관측한 자료를 사용하였다.

4. 계산결과

4.1 계산결과

본 연구의 계산결과는 2일간의 계산결과 중에서 2일째의 아침 9시부터 익일 아침 8시까지 계산결과이며, 지표면에서 15개의 Mesh로 구분하여 2번째 Mesh인 12m에서 4시간 간격의 계산결과를 나타내었다. 그림 3은 전라남도와 경상남도 일부지역(CMG)의 기상장 계산결과를 나타낸 것이다. 10시에는 남해도 방향에서 광양시 및 순천시 방향으로 바람이 불고 있으며, 18시에는 순천만에서 광양만 방향으로 풍향이 형성되고 있다. 또한, 22시에는 해풍에서 육풍으로 전환되고 있으며, 02시에는 광양북

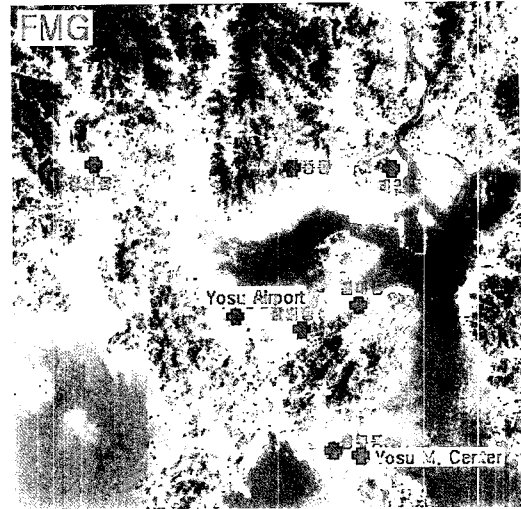


Fig. 2. Simulated region of FMG (환경부).

부지역에서 광양만 방향으로 육풍이 불고 있다. 일반적으로, 육풍이 형성되는 시기의 광양만 북부내륙 지역은 지형적인 영향으로 매우 복잡한 풍계를 형성하고 있다. 그림 4는 광양만권(FMG)의 기상장 계산결과를 타낸 것이다. 10시에는 CMG의 영향을 받아 남해도에서 광양만 방향으로 풍계가 형성되고 있으며, 14시경에 해풍의 최대 풍속(4 m/s)과 함께 발달한 해풍은 광양만의 북부 내륙지방을 향해 활발하게 발달하고 있다. 특히, 북부 내륙지방의 고산지역에서는 산을 휘어 감는 바람이 형성되고 있다는 것을 알 수 있다. 22시경에는 해풍에서 육풍으로 전환되고, 주변의 내륙지방에서 광양만을 향해 육풍이 형성되고 있다.

4.2 계산결과와 관측값의 비교

수치예측모델을 광양만권에 적용하여 관측자료와 계산결과를 비교하여 모델의 재현성(신뢰성)을 검토하였다. 관측점인 여수기상대는 여수시의 구릉지대에 있기 때문에 도시지역보다 온도차가 약간 존재하며, 여수 공항은 평지와 해변가에 근접해 있다. 관측된 자료는 여수기상대와 여수공항의 1997년부터 1999년의 3년간 자료 중에서 해륙풍이 발달하는 6월부터 9월까지 기상조건의 관측자료를 선별하였다.

본 연구에서 해륙풍이 발생하는 기상조건은 堤(1988)의 해석해를 참고하였으며, 일평균풍속이 대

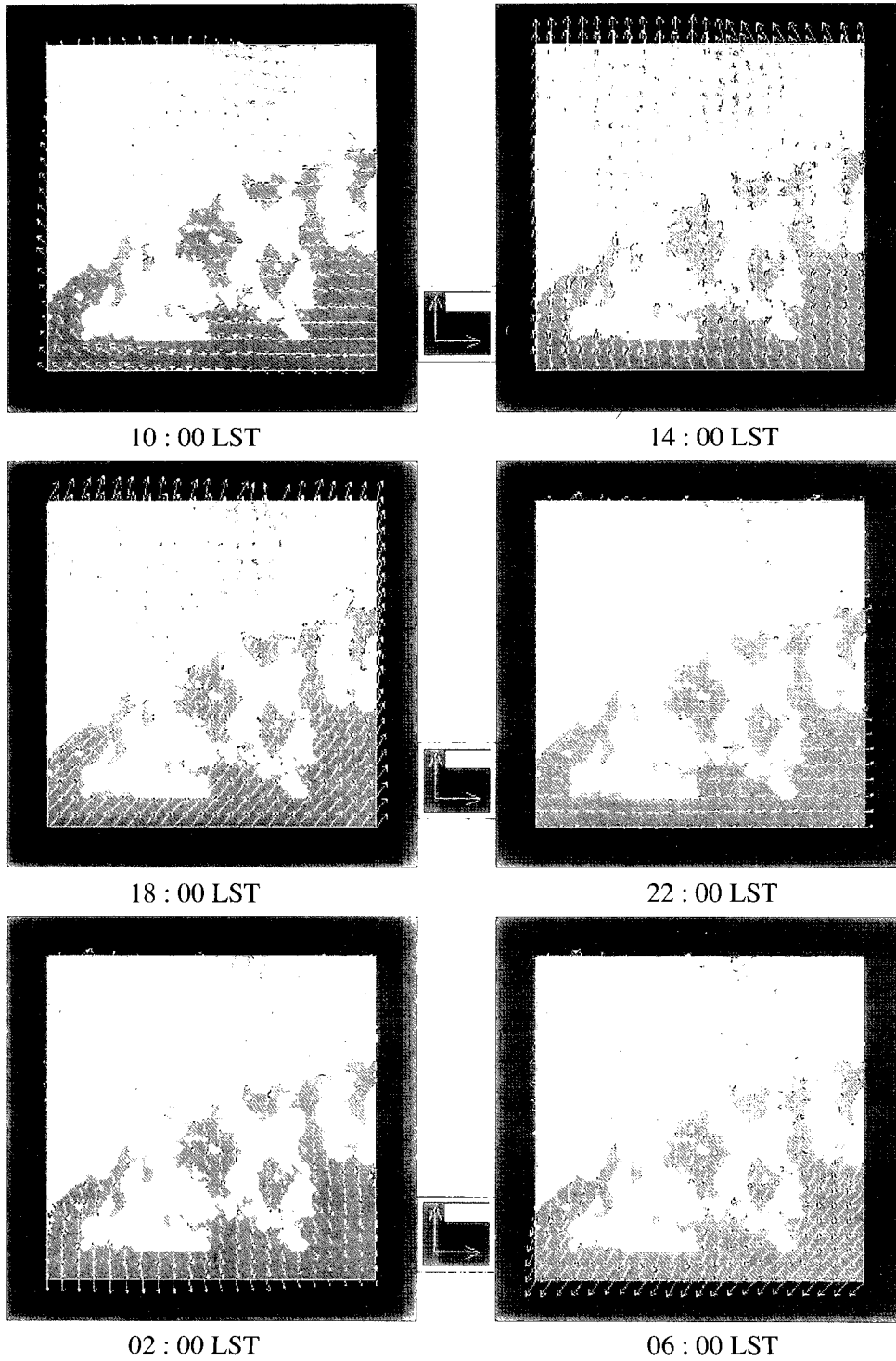


Fig. 3. Simulated results on the CMG region.

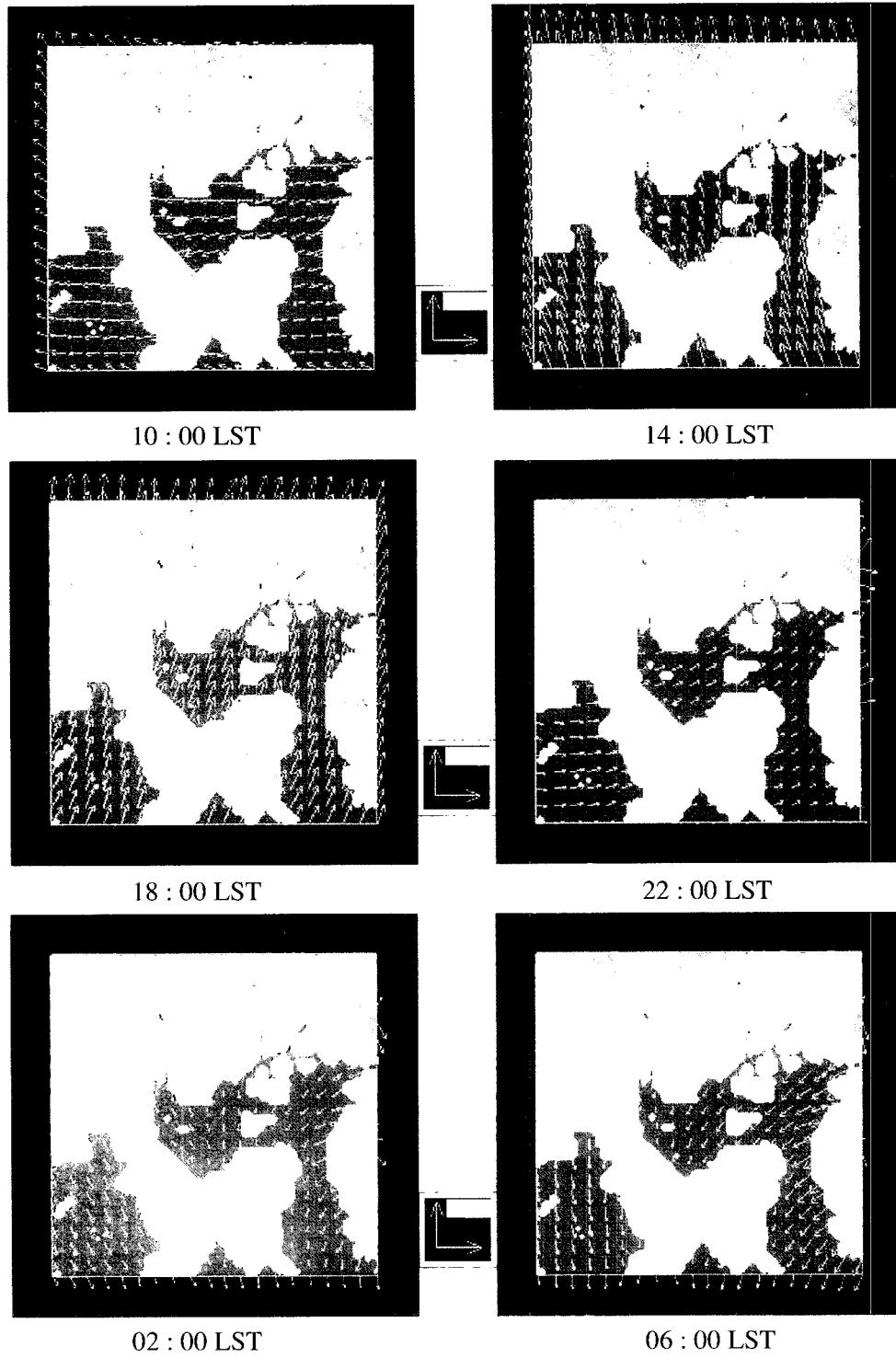


Fig. 4. Simulated results on the FMG region.

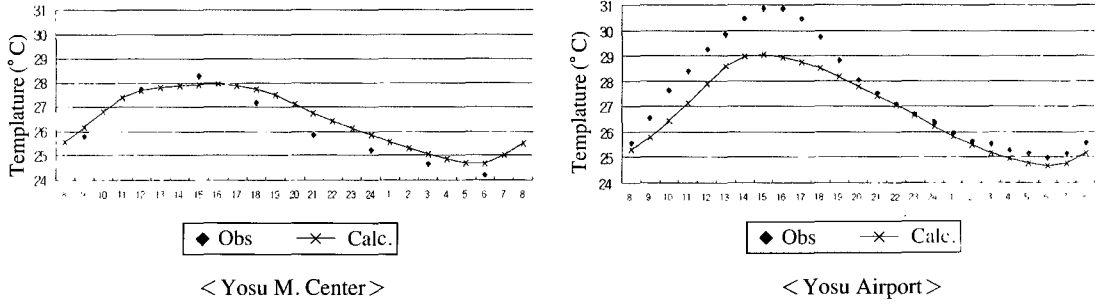


Fig. 5. The diurnal Temperature variations of the simulated and observed.

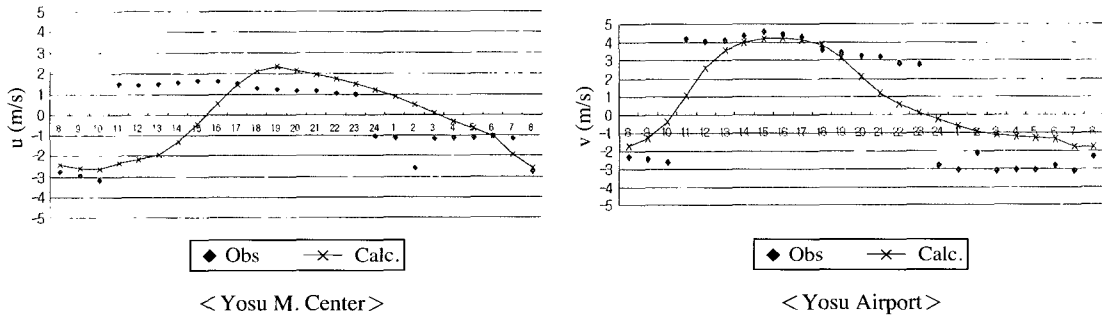


Fig. 6. The diurnal wind velocity (u) variations of the simulated and observed.

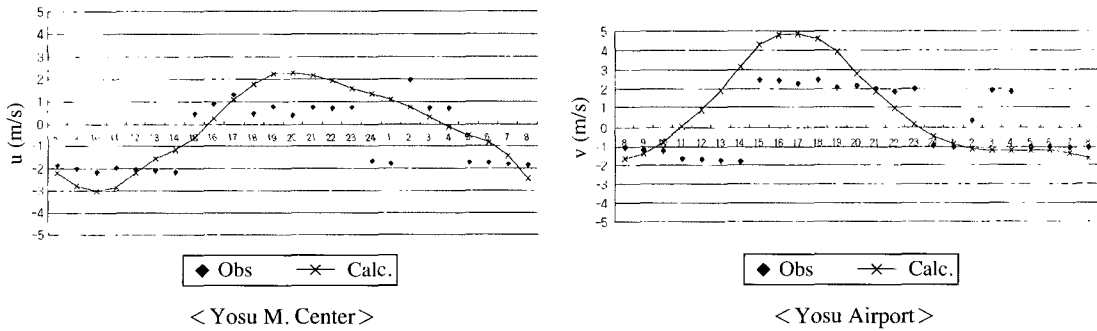


Fig. 7. The diurnal wind velocity (v) variations of the simulated and observed.

상기기간의 일평균풍속보다 작은 경우, 기온 일교차가 대상기간의 평균 일교차보다 큰 경우, 일평균 일사량이 대상기간의 일평균일사량의 평균이상인 경우와 비가 내리지 않는 날로 설정하였다. 그림 5는 여수기상대와 여수공항의 온도, 그림 6은 풍속(u) 그리고 그림 7은 풍속(v)의 계산결과와 관측값

을 각각 비교한 것이다.

여수기상대의 온도 및 u방향의 풍속은 계산결과와 관측값이 잘 일치하고 있으나, v방향의 풍속은 약간의 오차를 나타내고 있다. 여기에서, 풍속 u, v의 세로축(+)은 해풍을, (-)는 육풍을 각각 나타내며, 가로축은 시간을 나타낸다. 또한, 여수공항의 온

도 및 v방향의 풍속은 계산결과와 관측값이 잘 일치하고 있으며, u방향의 풍속은 해풍과 육풍이 교차되는 시간대에서 관측값과 계산결과가 다소 오차를 나타내고 있으나, 그 밖의 다른 시간에서는 대체적으로 일치하고 있다.

이와 같이 개발한 기상장 모델을 광양만권에 적용한 결과, 광양만권의 대기 유동을 잘 묘사하였으며, 이 모델을 이용하여 광양만권의 대규모 개발에 따른 기상장의 시간, 공간적인 변화를 예측할 수 있으며, 기상의 변화에 따른 대기오염물질의 국지적인 수송 및 확산현상도 묘사할 수 있을 것으로 사료된다.

5. 결 론

산악과 해양의 복잡한 지형으로 형성된 광양만의 국지적인 순환을 묘사하기 위하여 Nesting 방법을 도입한 3차원 수치예측 모델을 적용하였다. 모델은 기초방정식계 및 정수역학 방정식으로 구성되어 있으며, 광양만권의 복잡한 지형의 영향을 고려하기 위하여 지형의 변화를 잘 나타내는 z^* 좌표계를 사용하였다. 또한, 지표면의 온도 및 습도를 구하기 위하여 식생모델과 난류확산모델을 적용한 3차원 수치모사를 실시하여 관측자료와 비교하여 모델의 재현성을 검토하였다. 온도의 계산결과는 여수기상대의 관측값과는 잘 일치하고 있으며, 여수공항은 낮 시간대의 13시와 14시에 2도 정도의 관측값이 높게 나타나고 있으나, 변화하는 패턴은 거의 일치하고 있다. 또한, 풍속의 계산결과도 양 관측소 모두 해풍시와 육풍시에는 관측값과 잘 일치하고 있으나, 해풍과 육풍, 육풍과 해풍이 변화하는 시간대에 다소의 오차가 나타나고 있으나, 대체적으로 광양만권의 국지적인 현상을 재현하였다.

감사의 글

본 연구는 환경부지정 전남지역 환경기술개발센

터의 연구비 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

김영성, 오현선 (2000) “여수지역의 대기확산의 수치모사-지형의 영향-”, 한국대기환경학회지, 16 (3), 211-223.

김유근, 이화운, 전병일 (1996) “부산연안에서의 국지풍 모델을 이용한 이류확산 수치모의”, 한국대기보전학회지, 12, 29-49.

이상득, 山口克人, 近藤 明 (1995) “Numerical Modeling of Urban Boundary Layer Flow using Nesting Method”, 대한환경공학회지, 17(3), 225-235.

이상득, 김중오 (1998) “도시 Canopy 층을 고려한 지역 대기환경예측모델”, 대한환경공학회지, 20(3), 317-326.

임희창, 김현구, 이정목, 경남호 (1996) “언덕지형을 지나는 유동에 대한 연구”, 한국대기보전학회지, 12(4), 459-472.

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.

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.

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

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.

Klemp, J.B. and R.B. Wilhelmson (1978) “The simulation of three-dimension convection storm dynamics”, J. Atmos. Sci., 35, 1070-1096.

Yamada, T. (1974) “Simulation of Nocturnal Drainage Flow by q^2l Turbulence Closure Model”, J. Atmos. Sci. 40, 91-106.