

임해지역의 개발이 기상장에 미치는 영향예측

이 상 득 · 문 태 룡
목포대학교 환경공학과
(2006년 6월 7일 접수; 2006년 10월 12일 채택)

Numerical Simulation of Effect on Atmospheric Flow Field by Development of Coastal Area

Sang-Deug Lee and Tae-Ryong Mun

*Department of Environmental Engineering, Mokpo National University, Jeonnam 534-729, Korea
(Manuscript received 7 June, 2006; accepted 12 October, 2006)*

The present study applied an atmospheric flow field model in Gwangyang-Bay which can predict local sea/land breezes formed in a complex terrain for the development of a model that can predict short term concentration of air pollution. Estimated values from the conduct of the atmospheric flow field were used to evaluate and compare with observation data of the meteorological stations in Yeosu and the Yeosu airport, and the effect of micrometeorology of surround region by the coastal area reclamation was predicted by using the estimated values. Simulation results, a nighttime is appeared plainly land breezes of the Gwangyang-bay direction according to a mountain wind that formed in the Mt. of Baekwooun, Mt. of Youngchui. Land winds is formed clockwise circulation in the north, clockwise reverse direction in the south with Gwangyang-bay as the center.

Compared with model and observation value, Temperature is tend to appeared some highly simulation value in the night, observation value in the daytime in two sites all, but it is well accorded generally, the pattern of one period can know very the similarity. And also, wind speed and wind direction is some appeared the error of observation value and calculation results in crossing time of the land wind and sea land, it can see that reproducibility is generally good, is very appeared the change land wind in the nighttime, the change of sea wind in the daytime.

And also, according to change of the utilization coefficient of soil before and after development with Gwangyang-Bay area as the center, Temperature after development was high $0.55 \sim 0.67^{\circ}\text{C}$ in the 14 hours, also was tend to appear lowly $0.10 \sim 0.22^{\circ}\text{C}$ in the 02 hours, the change of u, v component is comparatively tend to reduced sea wind and land wind, it is affected ascending air current and frictional power of the earth surface according to inequality heating of the generation of earth surface.

Key Words : Numerical Modeling, Sea/land breezes, Atmospheric environment, Development of Coastal area, Gwangyang-Bay region

1. 서 론

남해바다에 접해있는 광양만권역은 대규모 산업 단지 및 도시지역을 중심으로 산업화와 도시화 과정에서 형성되는 인위적인 오염원으로 말미암아 지역

적인 대기오염현상이 사회적인 이슈로 크게 부각되고 있다. 대기오염현상은 배출된 오염물질의 난류·확산, 수송, 화학반응 및 침적현상 등에 의해 결정되고 있으나, 특히 이 지역의 대기질 악화는 지형적인 특성에 의해 발생하는 국지순환계에 지배되기 때문에 국지순환계를 정확하게 파악하는 것이 매우 중요하다.

또한, 여수산단 확장에 따른 산업시설의 입주와

Corresponding Author : Sang-Deug Lee, Department of Environmental Engineering, Mokpo National University, Jeonnam 534-729, Korea
Phone: +82-61-450-2484
E-mail: leesang@mokpo.ac.kr

광양항 컨테이너 터미널 개발사업 등이 현재 진행 또는 계획 중에 있으며, 이러한 대규모 개발은 기존의 발생원과 함께 발생원이 위치하고 있는 지역뿐만 아니라 지형적인 영향에 의해 발생하는 해륙풍과 산곡풍 등의 국지순환계에 의해 주변지역으로 수송된다. 측면에서 매우 중요한 의미를 내포하고 있다.

Ohara et al.¹⁾는 도시에 대한 고농도 오염 mechanism의 해명을 목적으로 동경 중심부에서 실시한 야의 관측을 실시하여, 육풍 전선의 흐름 구조를 규명함과 동시에 육풍의 통과시 대기오염물질이 매우 높게 나타나는 것과 임해 도시는 해륙풍에 의한 영향과 함께 배후 지형에 영향을 받아 고농도 현상이 빈번히 출현할 수 있다는 점을 제안하였다. 또한, 대상지역의 지형 및 지리적 특성에 따라 대기오염에 관한 연구도 이루어지고 있다²⁾. 이상득 등³⁾은 Nesting 방법을 이용하여 광양만권의 이류 및 확산 수치모의를 실시하여 대기 유동장을 재현하였으며, 이화운 등⁴⁾은 복잡한 해안지역에서 상세한 지형고도 자료 이용에 따른 대기 유동장의 영향에 관한 수치 모의를 실시하여 지형고도에 따른 대기 유동장의 변화를 고찰하였다. 김영성과 오현선⁵⁾은 여수지역의 대기확산 수치모의를 실시하여 지형과 일사에 의한 일변화를 모사 하였으나, 복잡한 지형을 고려하기에는 다소 아쉬움이 남아 있다.

기존의 연구에서와 같이, 최근 우리나라에서는 정확한 대기질 예측을 위해 대상지역의 세부 지형을 고려한 수치모델에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있으나, 광양만권과 같이 복잡한 지형으로 형성된 지역에서 형성되는 대기 유동장을 재현하기에는 다소 무리가 있다고 사료된다.

본 연구에서는 광양만권역의 복잡한 지형을 고려한 수치모의를 실시하여, 계산값과 관측값을 비교·검토하였다. 또한, 대규모 임해지역 개발에 따른 주변의 대기 유동장에 미치는 영향을 수치모의 하였다.

2. 기상장 모델

2.1. 기초 방정식

모델에 사용한 기초방정식은 운동량 보존식, 온위 방정식, 수분 보존식, 연속 방정식 및 정수역학 방정식으로 구성되어 있으며, 광양만의 복잡한 지형을 고려하기 위한 z^* 좌표계를 사용하였다.

(1) 운동량 보존식

$$\frac{DU}{Dt} = f_c V - C_p \theta \frac{\partial \Pi}{\partial x} + g \frac{z^* - s}{s} \frac{\partial z_G}{\partial x} + D(U) \quad (1)$$

$$\frac{DV}{Dt} = -f_c U - C_p \theta \frac{\partial \Pi}{\partial y} + g \frac{z^* - s}{s} \frac{\partial z_G}{\partial y} + D(V) \quad (2)$$

(2) 온위 방정식

$$\frac{D\theta}{Dt} = D(\theta) \quad (3)$$

(3) 비습 방정식

$$\frac{DQ_v}{Dt} = D(Q) \quad (4)$$

(4) 연속 방정식

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

(5) 정수역학 방정식

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

여기에서,

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

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

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

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

$$D(\cdot) = \frac{\partial}{\partial x} \left(K_H \frac{\partial}{\partial x} + K_H G_2 \frac{\partial}{\partial z^*} \right) + G_2 \frac{\partial}{\partial z^*} \left(K_H \frac{\partial}{\partial x} + K_H G_2 \frac{\partial}{\partial z^*} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_H \frac{\partial}{\partial y} + K_H G_2 \frac{\partial}{\partial z^*} \right) + G_2 \frac{\partial}{\partial z^*} \left(K_H \frac{\partial}{\partial y} + K_H G_2 \frac{\partial}{\partial z^*} \right) + \frac{1}{G_1} \frac{\partial}{\partial z^*} \left(K_v \frac{\partial}{\partial z^*} \right) \quad (11)$$

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

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

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

또한, x, y, z 는 z^* 좌표계, u, v, w 는 x, y, z 방향의 속도성분, w^* 는 z^* 좌표계에 대한 연직방향의 속도성분, t 는 시간, θ 는 온위, Q_v 는 비습, T 는 대기 온도, R_d 는 건조공기의 기체상수, C_p 는 정압비열, P 는 압력, P_0 는 표준압력, f_c 는 Coriolis 매개변수, Ω 는 지구의 회전각속도, ψ 는 위도, g 는 중력가속도, K_H 는 수평방향의 확산계수, s 는 계산영역의 고도,

z_C 는 표고를 각각 나타낸 것이다.

2.2. 연직방향의 확산계수

본 연구에서는 50m까지를 접지층, 그 상층을 Ekman 층으로 분류하여 각각 서로 다른 모델을 적용하였다. 접지층에서의 수송 저항은 Monin-Obukhov의 상사이론에 기초한 Businger et al.6)의 무차원 풍속, 온위 표현식을 이용하여 운동량과 열의 flux를 나타내었으며, Ekman 층에서는 Yamada7)의 Closure Model을 이용하여 난류확산계수를 표현하였다.

2.2.1. 접지층의 연직방향확산계수

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

$$\Phi_m(\zeta) = \frac{kz}{u^*} \frac{\partial U}{\partial z} \quad (15)$$

$$\Phi_h(\zeta) = \frac{kz}{\theta^*} \frac{\partial \theta}{\partial z} \quad (16)$$

$$u(z) - u(z_0) = \frac{u^*}{k} [\Phi_m(\frac{z}{L}) - \Phi_m(\frac{z_0}{L})] \quad (17)$$

$$\theta(z) - \theta(z_0) = \frac{\theta^*}{k} [\Phi_h(\frac{z}{L}) - \Phi_h(\frac{z_0}{L})] \quad (18)$$

$$u^* = \frac{ku(z)}{\Psi_m(\frac{z}{L}) - \Psi_m(\frac{z_0}{L})} \quad (19)$$

$$\theta^* = \frac{k(\theta(z) - \theta_C)}{\Psi_h(\frac{z}{L}) - \Psi_h(\frac{z_0}{L}) + 0.0962(\frac{u^* z_0}{v})^{0.45}} \quad (20)$$

$$\Phi_m = \begin{cases} 1.14(1 - 13.1\zeta)^{-1/4} & (\zeta \leq 0) \\ 1.14(1 + 4.1\zeta)^{-1/4} & (\zeta > 0) \end{cases} \quad (21)$$

$$\Phi_h = \begin{cases} 0.84(1 - 7.9\zeta)^{-1/2} & (\zeta \leq 0) \\ 1.14(0.74 + 4.1\zeta) & (\zeta > 0) \end{cases} \quad (22)$$

$$K_{=ku \cdot \frac{z}{\Phi_m} v}^{(m)} \quad (23)$$

$$K_{=ku \cdot \frac{z}{\Phi_h} v}^{(\theta)} \quad (24)$$

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.

2.2.2. Ekman층의 연직방향의 확산계수

Ekman층의 연직방향의 난류확산계수는 Yamada7)의 Closure model에 의해 다음과 같이 구할 수 있다.

$$q^2 = B_1 l^2 [(\frac{\partial u}{\partial z})^2 + (\frac{\partial v}{\partial z})^2] (1 - R_{ij}) S_M \quad (25)$$

$$\overline{w^2} = [\frac{1}{3} - 2\frac{A_1}{B_1} - 6\frac{A_1}{B_1}(1 - \frac{2}{3}C_2) R_{if}] q^2 \quad (26)$$

$$-\overline{u'w'} = lq S_M \frac{\partial u}{\partial z} \quad (27)$$

$$-\overline{w'\theta'} = lq S_H \frac{\partial \theta}{\partial z} \quad (28)$$

$$-\overline{u'\theta'} = -3A_2 l^2 (S_M + S_H) \frac{\partial \theta}{\partial z} \frac{\partial u}{\partial z} \quad (29)$$

$$\overline{\theta^2} = B_2 l^2 S_H [(\frac{\partial \theta}{\partial z})^2] \quad (30)$$

$$S_M = C_M \frac{(R_{ife} - R_{if})(R_{fl} - R_{if})}{(1 - R_{if})(R_{f2} - R_{if})} \quad (31)$$

$$S_H = C_H \frac{(R_{ife} - R_{if})}{(1 - R_{if})} \quad (32)$$

$$K_{=ql S_M v}^{(m)} \quad (33)$$

$$K_{=ql S_M v}^{(\theta)} \quad (34)$$

2.3. 초기조건 및 경계조건

2.3.1. Coarse Meso scale(CMG)

2.3.1.1. 초기조건

○ 풍속 : 전 영역에서 $u = v = w^* = 0$ (35)

○ 온위 :

$$\theta = \theta_{sea} + \Gamma \left\{ \frac{z^* [s - z_C(x,y)]}{s} + z_C(x,y) \right\} \quad (36)$$

여기에서, Γ 는 온위의 연직방향의 기울기를 나타낸다.

○ 비습 :

$$q_w = q_g + \Gamma_q \left\{ \frac{z^* [s - z_C(x,y)]}{s} + z_C(x,y) \right\} \quad (37)$$

여기에서, q_s 는 지표면의 초기비습, Γ_q 는 비습의 연직방향의 기울기를 각각 나타낸다.

○ 압력 : 표고 0의 값을 1기압으로 가정하고, 온위의 초기분포를 이용하여 정수역학 방정식에 의해 계산영역 상단의 압력을 구한다.

$$C_p \theta \frac{\partial \Pi}{\partial x} = f v_g \quad (38)$$

$$C_p \theta \frac{\partial \Pi}{\partial y} = -f v_g \quad (39)$$

위 식의 관계가 성립함으로써, 상단의 압력 Π 의 값을 결정할 수 있다. 이 값으로부터 재차 정수역학 방정식을 이용하여 전 영역의 Π 의 값을 산정한다.

2.3.1.2. 경계조건

○ 측면의 경계조건

- 유입조건

$$\frac{\partial \psi}{\partial n} = 0 \quad (40)$$

여기에서, n 은 경계의 법선방향, ψ 는 전체 변수를 각각 나타낸다.

- 유출조건

$$\frac{\partial V_n}{\partial t} + c \frac{\partial V_n}{\partial n} = 0 \quad (41)$$

여기에서 c 는 eddy의 위상속도를 나타내며, 그 밖의 변수에 대해서는 내부 2점간의 선형외삽을 이용하였다.

$$C_{bound} = 2C_{bound-1} - C_{bound-2} \quad (42)$$

○ 상층면의 경계조건

$$\frac{\partial \psi}{\partial t} = 0 \quad (43)$$

여기에서, ψ 는 변수전체를 나타낸다.

2.3.2. Fine Mesh scale(FMG)

본 연구의 대상지역인 광양만은 영역이 수십 km로 복잡하고 좁으며, 이와 같은 규모의 풍계는 중관 규모 기상장의 영향을 받는다. 따라서, 중관규모의 바람장을 먼저 계산하고, 그 결과를 작은 영역(FMG; fine mesh grid)인 광양만권의 경계조건으로 설정하여 계산하는 Nesting 방법을 사용하였다.

3. 계산영역

본 연구의 계산영역은 크게 2가지로 나눌 수 있다. 전라남도과 경상남도를 포함한 대규모 영역(Coarse Mesh Grid ; CMG)과 광양만권을 중심으로 하는 작은 규모(Fine Mesh Grid ; FMG)⁹⁾로 구성되어 있다. CMG는 광양만을 중심으로 순천만, 순천시 및 경상남도의 하동, 남해, 진주를 포함하고 있으며, 수평방향 100km×100km(mesh 간격: 1km × 1km)이다. 또한, FMG의 계산영역은 전라남도의 광양만을 중심으로 여수시, 광양시, 순천시의 대부분과 경상남도 하동군과 남해군의 일부가 포함되어 있으며, 수평방향 40km×40km(mesh 간격: 0.5km × 0.5km)로 영역으로 구성되어 있다. 연직방향의 계산영역은 CMG와 FMG와 같은 16층으로 8, 8, 8, 8, 48, 129, 210, 219, 290, 371, 452, 532, 613, 694, 774, 855m의 Mesh 간격으로 지표면 부근에 가까울수록 Mesh 간격을 좁게 하여 지표면의 영향을 최대한 반영하였다. Fig. 1은 전남과 경남이 포함되어 있는 CMG 영역이며, Fig. 2은 광양만권을 중심으로 하는 FMG

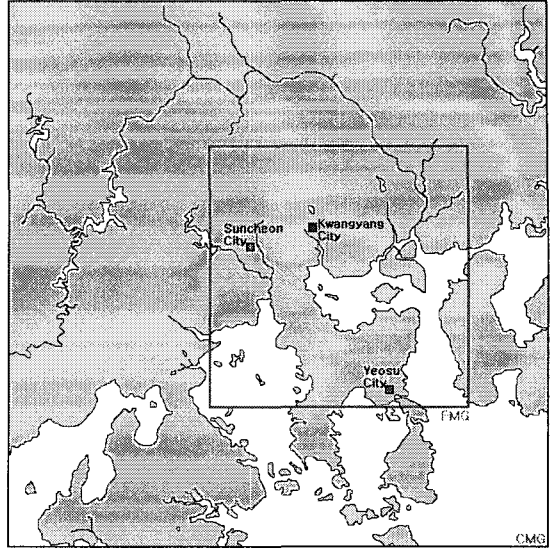


Fig. 1. Calculation domain for CMG.

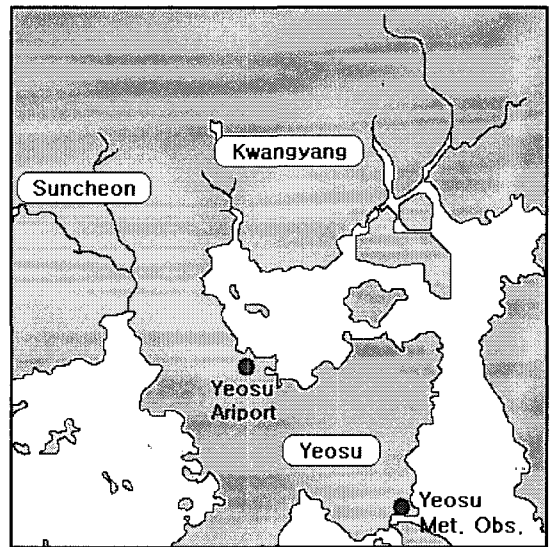


Fig. 2. Calculation domain for FMG(The city marked square black, A circle black are Yosu meteorological administration, Yosu airport station, respectively).

영역을 각각 나타내고 있다. Fig. 2. 내의 점은 광양만권의 기상관측점인 여수 기상대와 여수공항을 각각 나타낸 것이며, 모델의 계산결과와 비교·검토하는데 사용하였다.

4. 계산결과

4.1. 해륙풍에 대한 수치모의

본 논문에서는 광양만권의 대기오염현상과 밀접

한 관계가 있는 해륙풍을 대상으로 수치모의를 수행하였다. 일반적으로 해륙풍이 출현하는 날은 지형적 영향으로 형성되는 국지순환풍인 해륙풍이 발달하게 된다. 해륙풍이 부는 날은 풍속이 약하므로 배출원에서 배출된 오염물질이 지역에 따라 정체현상이 나타나는 경향이 있다. 이러한 경우 대기오염물질의 이류 및 확산에 직접적인 영향을 미치는 것은 국지순환풍인 해륙풍이라 할 수 있다. 광양만권역은 여수산단과 광양시 사이와 여수시 남쪽에는 바다로 매우 복잡한 지형을 형성하고 있기 때문에 국지순환풍인 해륙풍 순환의 영향을 직접적으로 받는다. 배출원 강도가 큰 여수산단의 남쪽에는 영취산과 북쪽에는 백운산 및 지리산의 끝자락으로 비교적 높은 지형으로 형성되어 산곡순환풍의 영향도 비교적 탁월하게 출현하고 있다고 사료된다. 또한 동쪽은 남해바다와 연결되어 있으며, 순천시에 접한 서쪽지역은 비교적 낮은 구릉지대로 이루어져 있다. 복잡하게 형성된 지형적인 영향으로 말미암아 대기 유동장은 복잡, 다양하게 발생되므로 연구의 결과는 이 지역에서 발생하는 고농도 오염현상에 대한 대책을 세우는데 기초적인 자료로 활용할 수 있을 것이다.

본 논문에서는 늦은 봄철과 여름철에 출현빈도가 높은 해륙풍 일을 대상으로 수치모의를 실행하였으며, 계산결과는 종관규모 영역인 CMG의 계산결과와는 생략하였으며, 본 논문의 대상지역인 광양만권에 대한 계산결과를 나타내었다.

Fig. 3은 광양만권(FMG)의 대기 유동장의 계산결과를 4시간 간격으로 각각 나타낸 것이며, 02시와 06시에서 백운산과 남해도에서 발생하는 산풍에 의해 북쪽에서 광양만 방향인 남쪽으로 육풍의 존재가 뚜렷하게 나타나고 있다. 또한, 영취산의 영향으로 남쪽에서 광양만 방향인 북쪽으로 육풍, 서쪽에서는 광양만 방향으로 동풍이 약하게 불고 있다. 육풍은 광양만을 중심으로 바람의 오른쪽으로 작용하는 전향력에 의해 시계방향으로 전향하고 있다. 광양만에 접해있는 여수산단, 광양제철소 및 하동 화력발전처에서 배출되는 오염물질이 육풍을 따라 광양만권으로 이동하여 야간의 고농도 대기오염현상이 나타나는 것을 잘 설명해 주고 있다. 10시가 되면서 동쪽에서 서쪽으로 바람이 형성되고 있으며, 특히, 북부 내륙지방의 높은 지역을 휘어 감는 바람에 의해 비교적 낮은 구릉 지대인 순천지역에서는 북서풍으로 전환되는 경향을 나타내고 있다. 또한, 여수산단지역에서는 육풍에서 해풍으로 전환과정에서 시계 반대방향으로 형성되고 있다. 14시에는 전지역에서 남풍계열의 해풍이 균일하게 형성되며, 18시에는 해풍이 남동방향으로 전환되고 있다. 20시부터

해풍에서 육풍으로 전환되며, 대규모 매립공사가 진행되고 있는 울촌지역에서 광양만으로 부는 육풍이 탁월하게 나타나고 있다. 이상의 광양만권 수치모의를 통해 지역 특유의 지형에 의해 발생하는 국지순환풍인 해륙풍을 상세하게 재현하였다.

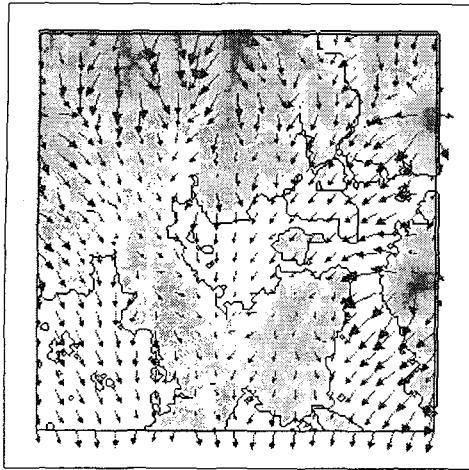
본 연구는 국지순환풍이 자주 출현하는 해륙풍이 부는 특정일을 대상으로 하였으며, 이는 지표면의 부등열에 의해 발생되기 때문에, 바람이 비교적 약하고 대기환기 효과가 크지 않아 예측하기 어려운 대기오염 현상이 발생하기 쉽다. 또한, 울촌산단의 조성, 여수산단의 확장 및 광양 컨테이너 부두와 같이 대규모 해양 매립이 진행되는 곳에서는 지표면의 마찰에 의해 풍속이 약해져서 대기오염물질의 거동에 영향을 미치는 경향이 있다.

4.2. 계산결과와 관측값의 비교

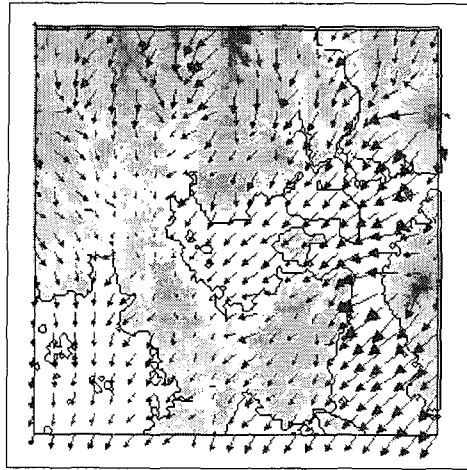
광양만권의 상세한 대기 유동장을 살펴보기 위해 실시한 수치모의 계산결과와 관측값과의 비교를 통해 모델의 재현성(신뢰성)을 알아 보았다. 여기에서 광양만권의 전형적인 해륙풍이 부는 특정일을 대상으로 수치모의를 실시하였으며, 관측지점은 여수기상대와 여수공항 자료이며, 2001년부터 2004년까지 5~9월의 데이터 중에서 해륙풍이 나타나기 쉬운 기상조건인¹⁰⁾ 일 최대 온도가 300K 이상, 일평균 풍속 4 m/s 이하, 일일 강수량이 0mm인 날을 선택하여 계산결과와 비교하였다.

Fig. 4는 여수 기상대와 여수공항에서 관측한 값과 계산값의 시간별 온도변화를 각각 나타낸 것이다. 두 지점에서 야간에는 계산값, 주간에는 관측값이 약간 높게 나타나는 경향이 있으나, 일반적으로 잘 일치하고 있으며, 일주기의 패턴은 두 지점 모두 매우 유사하다는 것을 알 수 있다.

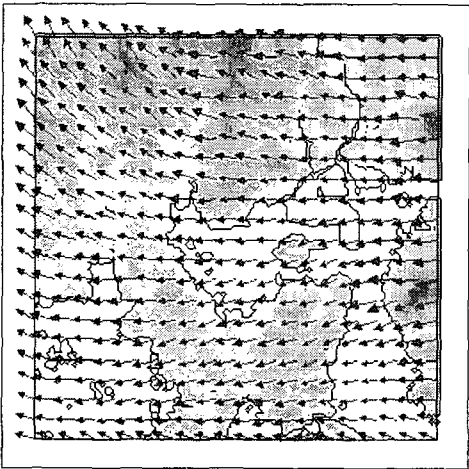
Fig. 5는 여수 기상대와 여수공항에서 관측한 풍향·풍속과 계산결과와의 일주기를 각각 나타낸 것이다. 세로축의 (+)는 해풍을, (-)는 육풍을 각각 나타내고 있다. 계산결과를 보면 해풍과 육풍이 교차되는 시간대에서 관측값과 계산결과가 다소 오차를 보이고 있으며, 계산값이 관측값에 비해 과대평가된 부분은 있으나 밤에는 육풍, 낮에는 해풍의 변화가 잘 표현되어 있어 재현성이 비교적 양호하다고 볼 수 있다. 이러한 현상은 광양만권이 크고 작은 산과 바다로 형성되어 있어 지형에 따라 대기 유동장이 형성되기 때문으로 볼 수 있다. 계산결과와 관측값과의 오차를 줄이기 위해서는 보다 많은 기상 관측지점을 설치하여 정확한 기상자료에 의한 비교·평가가 필요하다. 이와 같이 본 논문에서 광양만권에 적용된 기상장 모델 계산결과, 광양만권의 대기 유동을 잘 재현하였으며, 이 모델을 이용하여



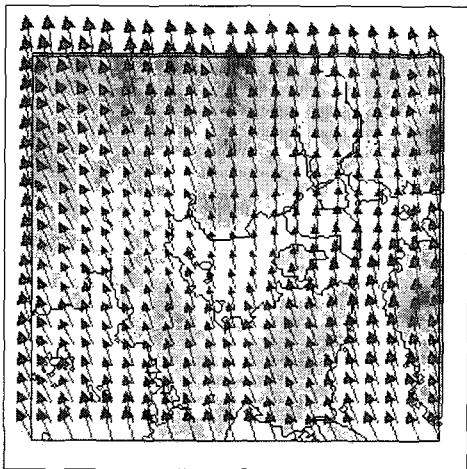
02 : 00



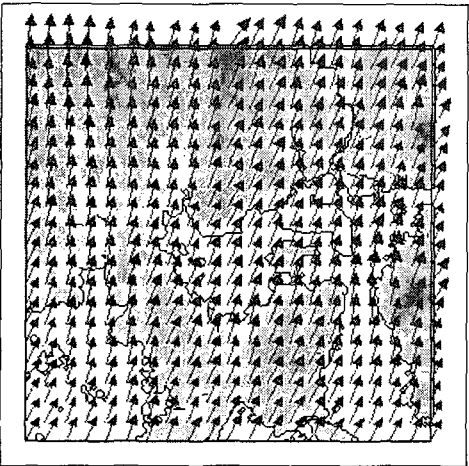
06 : 00



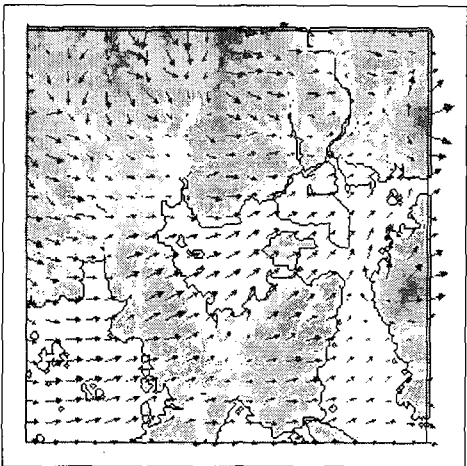
10 : 00



14 : 00



18 : 00



22 : 00

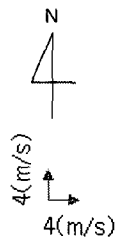


Fig. 3. Distributions of simulated diurnal wind fields for fine domain.

임해지역의 개발이 기상장에 미치는 영향예측

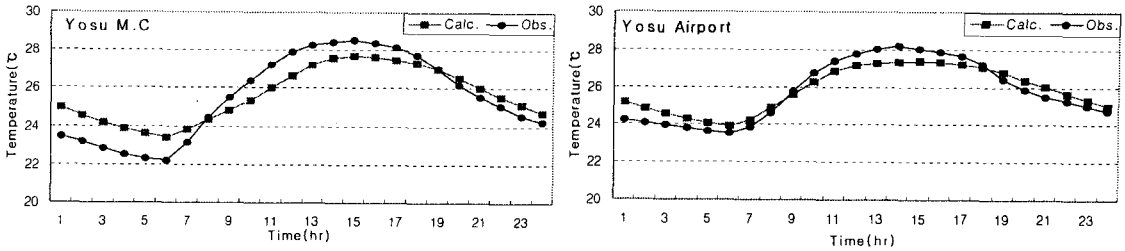


Fig. 4. Diurnal variations of temperature from observation and calculation.

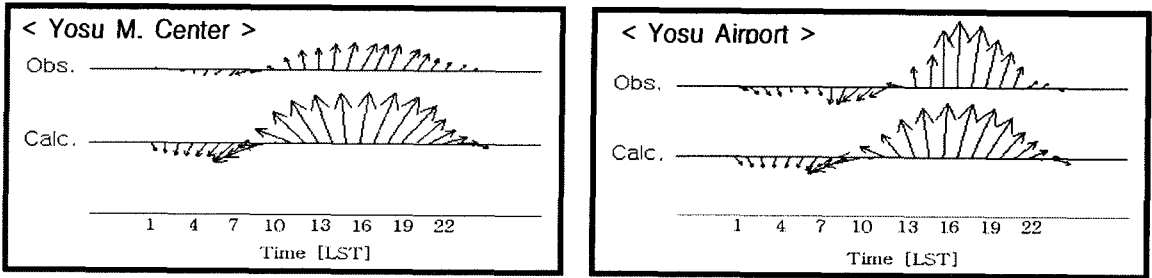


Fig. 5. Diurnal variations of wind speed and direction from observation and calculation.

광양만권의 대규모 개발에 따른 기상장의 변화를 시간별, 공간별로 예측하는데 사용하였다.

4.3. 개발 전·후의 결과 비교

광양만권의 임해지역 개발에 따른 지형의 변화를 Fig. 6에 나타내었으며, 개발전·후의 기온과 풍향, 풍속의 변화를 파악하기 위하여 임의 지점(Point1~8)을 설정하여 계산을 실행하였다. 광양만을 중심으로 개발전과 개발후의 토지 이용율의 변화는 Point 1~4, 그리고 변화되지 않은 점은 Point 5~8이며, 계산결과를 비교하였다.

Fig. 7은 개발전과 개발후 Point 1~8까지 온도의 시간변화를, Fig. 8은 u, v 성분의 시간별 변화를 각각 비교하였다. 토지 이용율이 변화한 지역(Point 1~4)에서 개발후의 온도가 14시에 0.55~0.67°C 상승하였으며, 02시에 0.10~0.22°C 낮아지는 경향을 나타내고 있다. 토지이용도가 변화되지 않은 Point 5~8은 시간별 온도 변화가 거의 없음을 알 수 있다. 이러한 결과를 보면, 임해지역의 대규모개발에 의한 주변지역에 미치는 미기상의 영향이 어느 정도 나타남을 알 수 있다. 또한, u, v성분의 변화 양상을 Fig. 8에 나타낸 것이며, 매립지역에서 발생하는 상승기류와 지표면 마찰력의 영향으로 해풍과 육풍이 약간 약하게 나타나고 있다. 대기오염물질은 대기 유동장을 따르는 추적자이기 때문에 대기 중에 배출되는 배출량과 광화학 반응에 의해 생성과 정보다 해안 매립에 의해 변화되는 미기상 및 지역 특성에 의해 형성되는 국지순환풍을 정확하게 묘사

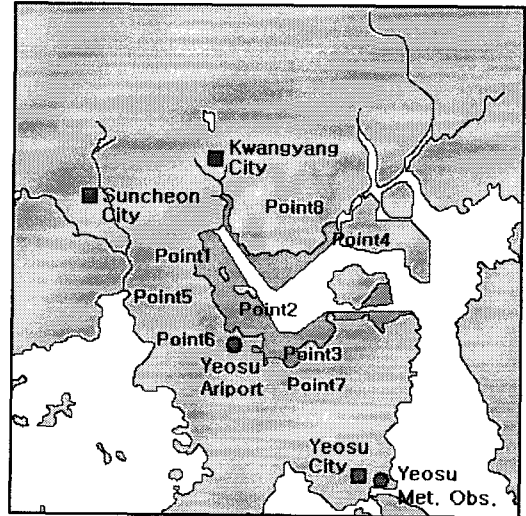


Fig. 6. Simulation result of FMG.

하는 것이 더 중요하다.

5. 결 론

본 논문은 광양만권의 단기적인 대기오염농도를 예측할 수 있는 모델을 개발하기 위해 복잡한 지형에 의해 형성되는 국지순환풍인 해륙풍을 예측할 수 있는 기상장 모델을 광양만에 적용하여 관측자료와 비교·평가 하였으며, 대규모 해안 매립에 의해 주변지역의 미기상에 미치는 영향을 예측하였다.

계산결과, 야간대에는 백운산, 영취산에서 형성되

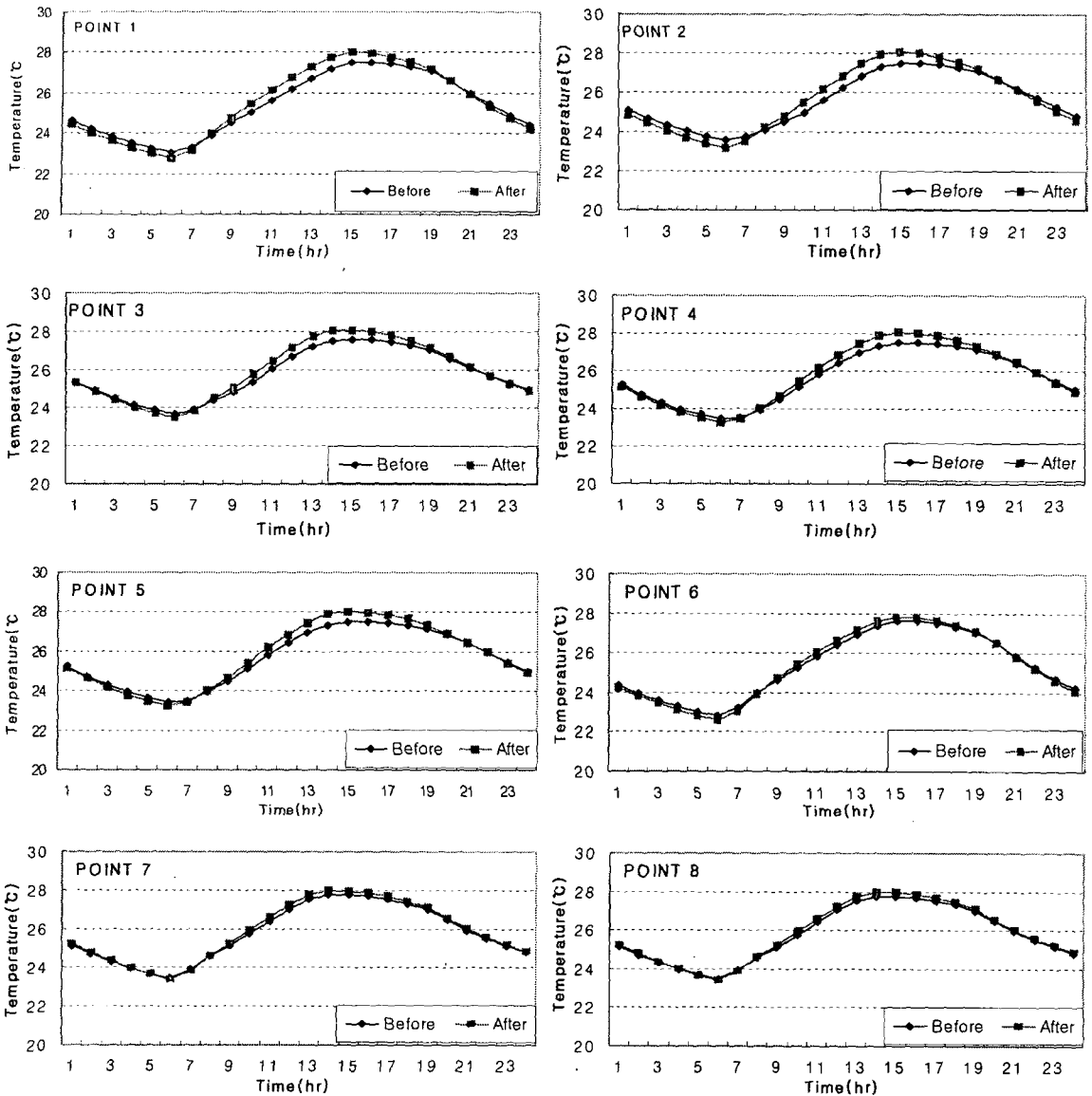


Fig. 7. Comparison of diurnal variations of simulated with before and after development of coastal area temperature change at the points (1~8).

는 산풍을 따라 광양만 방향으로 육풍의 존재가 뚜렷하게 존재하고 있으며, 육풍은 광양만을 중심으로 북쪽에서는 시계방향, 남쪽에서는 시계 반대 방향으로 형성되고 있다. 한편, 주간대에는 해풍이 탁월하여 남풍계열의 바람이 전지역에서 균일하게 형성되고 있으며, 10시에 북부 내륙지방의 지형을 휘어 감는 바람과 비교적 낮은 구릉지대인 순천지역에서는 북서풍으로 전환되는 경향을 나타내고 있다. 14시에는 남풍계열, 18시에는 남동방향으로 해풍이 전환되는 특징을 나타내고 있다. 또한, 육풍에서 해풍으로

전환되는 시각은 아침 8시 전·후이며, 해풍에서 육풍으로 전환되는 시각은 19시 전·후로 비교적 늦은 시각까지 해풍이 존재하고 있으며, 대규모 해안 매립이 진행되고 있는 울촌지역에서 광양만으로 부는 육풍이 탁월하게 나타나고 있다. 광양만에 접해 있는 여수산단, POSCO 광양제철소 및 하동 화력발전처에서 배출되는 오염물질이 해풍과 육풍의 국지 순환에 따라 원거리 수송되지 못하고 광양만을 중심으로 정체되고 있다는 것을 암시하고 있다.

모델의 재현성을 알아 보기 위해 해륙풍이 나타

임해지역의 개발이 기상장에 미치는 영향예측

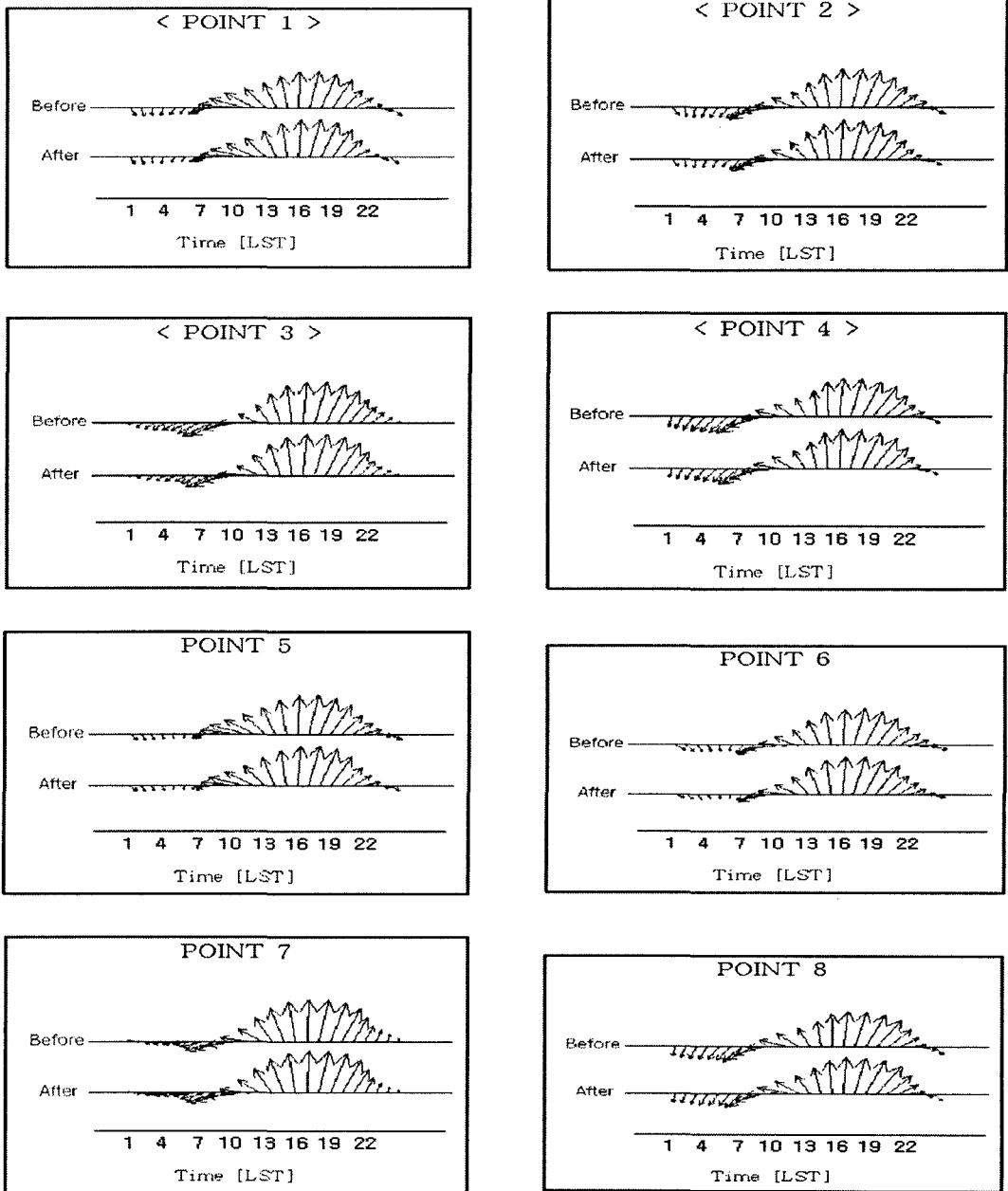


Fig. 8. Comparison of diurnal variations of simulated with before and after development of coastal area wind-vector at the points (1~8).

나기 쉬운 기상조건인 일 최대 온도가 300K 이상, 일평균 풍속 4 m/s 이하, 일일 강수량이 0mm인 날을 선택하여 계산결과와 비교하였다. 비교한 결과, 온도는 두 지점 모두 야간에는 계산값, 주간에는 관측값이 약간 높게 나타나는 경향이 있으나, 일반적으로 잘 일치하고 있으며, 일주기의 패턴은 매우 유

사하다는 것을 알 수 있다. 또한, 풍속과 풍향은 해풍과 육풍이 교차되는 시간대에서 관측값과 계산결과가 다소 오차를 보이고 있으며, 밤에는 육풍, 낮에는 해풍의 변화가 잘 표현되어 있어 재현성이 비교적 양호하다고 볼 수 있다. 이러한 현상은 광양만권이 크고 작은 산과 바다로 형성되어 있어 지형에 따

라 대기 유동장이 형성되기 때문으로 볼 수 있다. 계산결과와 관측값과의 오차를 줄이기 위해서는 보다 많은 기상 관측지점을 설치하여 정확한 기상자료에 의한 비교·평가가 필요하다.

이상과 같이 광양만권의 수치모의를 통해 지역 특유의 지형에 의해 발생하는 국지순환풍인 해륙풍을 상세하게 재현하였으며, 본 모델을 이용하여 광양만권의 대규모 해안매립에 의한 주변에 미치는 미기상의 영향을 살펴 보았다.

광양만을 중심으로 개발전과 개발후의 토지 이용율의 변화에 따라 개발후의 온도가 14시에 0.55~0.67℃ 상승하였으며, 02시에 0.10~0.22℃ 낮아지는 경향을 나타내고 있으며, u, v성분의 변화는 해양매립에 의해 발생지표면의 부등가열에 따라 생성되는 상승기류와 지표면 마찰력의 영향으로 해풍과 육풍이 비교적 감소하는 경향이 있다. 풍속의 감소에 따라 대기환기 효과가 영향을 받아 대기오염물질의 거동이 약해져서 예측하기 어려운 대기오염현상의 발생빈도가 높다는 것을 암시하고 있다.

이상의 연구 결과는 복잡한 해안지역인 광양만권의 대기 기상장의 수치모의 뿐만 아니라, 대기질 모델링의 입력자료로서의 이용에도 중요한 역할을 할 것으로 사료되며, 더 나아가 복잡지형 및 공간지역의 대기 환경 유해물질의 확산예측 및 장기적 제거 환경 대책마련의 기초적 기상장 예측자료로서 긍정적인 기여를 할 것이라 기대된다.

감사의 글

본 논문은 2002학년도 목포대학교 학술연구비 지원에 의하여 연구되었음.

참고 문헌

1) Ohara, T., I. Uno and S. Wakamatsu, 1989, Observed structure of a land breeze head in

the tokyo metropolitan area, J. Appl. Meteorol., 28, 693-704.

- 2) 류찬수, 신유미, 이순환, 2004, 해안지형 복잡성이 중규모 순환장에 미치는 영향에 관한 수치모의, 한국기상학회지, 40(1), 71-86.
- 3) 이상득, 김인기, 近藤 明, 2002, 국지풍모델을 이용한 광양만권의 이류확산 수치모의, 한국대기환경학회지, 18(1), 1-10.
- 4) 이화운, 원혜영, 최현정, 이강열, 2005, 복잡한 해안지역에서 상세한 지형고도 자료이용에 따른 대기 유동장의 영향에 관한 수치모의, 한국대기환경학회지, 21(2), 179-189.
- 5) 김영성, 오현선, 2000, 여수지역 대기확산 수치모의의 -지형의 영향-, 한국대기환경학회지, 16(3), 211-223.
- 6) 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.
- 7) Yamada, T., 1974, Simulation of Nocturnal Drainage Flow by q^2l Turbulence Closure Model, J. Atmos. Sci., 40, 91-106.
- 8) Klemp, J. B. and R. B. Wilhelmson, 1978, The simulation of three-dimension convection storm dynamics, J. Atmos. Sci., 35, 1070-1096.
- 9) Clark, T. L. and R. D. Rarley, 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.
- 10) 梶純一郎, 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.