

연안부근 복잡지형의 대기유동장 수치실험 II
- 부산광역시지역에 대한 국지순환모형의 적용 -

A Numerical Experiments on the Atmospheric Circulation
over a Complex Terrain around Coastal Area. Part II :
An Application of Local Circulation Model to the Pusan
Metropolitan Area

이 화 운 · 김 유 근 · 정 우 식

부산대학교 대기과학과

(1999년 7월 28일 접수, 2000년 11월 13일 채택)

Hwa-Woon Lee, Yoo-Keun Kim and Woo-Sik Jung
Department of Atmospheric Sciences, Pusan National University
(Received 28 July 1999; accepted 13 November 1999)

Abstract

Since Pusan metropolitan area where is composed complex terrain is connected to sea, the sea-land breeze circulation and the mountain-valley circulation are apt to form.

A regional scale circulation system is formed at a region which has complex terrain because of curves of it and affect to the dispersion and advection of air pollutants.

LCM, Local Circulation Model, which a propriety was verified described that sea breeze and valley wind at the daytime and land breeze and mountain wind at the nighttime were well developed over the Pusan metropolitan area.

Next, for the investigation of accuracy of simulated results, an observed value at Kae-Kum and Su-Young on the Pusan metropolitan area were compared with it at those points. From the comparison of the temperature and horizontal velocity between the results of LCM and an observed values, they have a similar trend of a diurnal variation.

For the prediction of dispersion and transportation of air pollutants, the wind field should be calculated with high accuracy. A numerical simulation using LCM can provide more accuracy results around Pusan metropolitan area.

Key words : LCM, complex terrain, sea-land breeze, mountain-valley wind

1. 서 론

해안을 끼고 있는 연안도시지역의 경우, 대표적인

국지순환계인 해륙풍계에 상당한 영향을 받으며 (Kawamura, 1979) 복잡한 지형을 끼고 있는 연안도시지역인 경우에는 지형에 의해 발생하는 국지적 대기순환계를 형성하게 된다. 따라서 이러한 지역에

서의 대기오염물질의 수송과 확산은 이들 국지순환계에 상당한 영향을 받는다. Kurida 등(1990)은 동경지역에서 배출된 오존이 해풍과 국지순환계에 따라 고지대의 내륙으로 장거리 수송되는 것을 확인하였으며 Kimura 등(1993)은 이러한 관측결과를 바탕으로 수치모의를 통하여 분지지형과 평야지역에서의 지형적인 차이에 따른 국지순환계의 형성이 장거리 수송의 주요 원인이라는 것을 논의하였다. Bossert(1997)는 오염된 공기의 상층이동에 대해 기상조건과 지형의 영향을 논의하였다. 이와 같이 대기오염물질의 확산과 수송을 정확히 분석하고 예측하기 위해서는 충분한 관측소의 설치와 관측자료의 수집이 필요하지만 이것은 여러 가지 요인에 의해 지극히 제한적일 수밖에 없다. 그렇지만 복잡한 지형을 이루고 있는 지역이나 해안을 끼고 있는 연안도시지역의 경우 지형적 입지조건에 의해 형성되는 각각의 국지순환계의 영향을 직접적으로 받기 때문에 넓은 지역을 대표하는 관측소의 자료만으로 정확한 분석이나 예측을 하기에는 한계가 있다. 이러한 한계를 극복하기 위해서 대기유동장을 정확히 표현할 수 있는 중규모 수치모형이 우선적으로 필요하다. 이러한 대기유동장을 나타내기 위한 수치모형이 Kikuchi(1975), Atkinson(1981) 그리고 Pielke(1984) 등에 의해 개발되고 연구되었다.

Kikuchi 등(1981)은 산을 포함하고 있는 Kanto 평원을 대상으로 3차원 국지순환계를 수치모의 하였으며 이화운(1987)은 일본 오사카 지역에서의 국지순환계를 묘사할 수 있는 모형을 개발하여 대기오염농도 분포를 분석, 예측하였다.

부산지역은 우리 나라의 대표적인 대규모 연안도시지역이자 내륙으로는 금정산과 가지산줄기를 따라 저지대에 시가지와 주거지가 형성되어 있는 지역이다. 이러한 지리적 특성은 연안에 접해 있음으로 해서 형성되는 대표적인 국지순환계인 해륙풍계의 영향을 나타낼 수 있고, 또한 내륙에 형성되어 있는 산줄기를 따라 또 다른 국지순환계인 산곡풍계를 형성하여 복합적인 국지순환계의 특성을 나타낼 수 있다. 이러한 지역적 특성은 장은숙(1997)의 연구에서 부산광역시지역의 경우, 맑은 날 해안부근에서의 해풍의 형성과 더불어 부산내륙지역에서의 산줄기를 중심으로 곡풍이 함께 형성이 된다는 것을 나타낸 바 있다. 따라서 본 연구에서는 연안복잡지

역인 부산광역시지역을 대상으로, 타당성을 검증한 국지순환모형을 이용하여 세밀한 국지순환계의 형성과 그에 대한 영향을 고찰하였다.

2. 국지순환모형

본 연구에서 사용한 모형의 기초방정식과 격자계는 Kikuchi 등(1981)이 개발하여 Kimura와 Arakawa(1983)가 개선한 것으로 지형좌표계를 고려한 Boussinesq 정역학 방정식계를 채택하고 있다.

모형에서 사용한 운동방정식은

$$\begin{aligned} \frac{\partial hu}{\partial t} + \frac{\partial huu}{\partial x} &= \frac{\partial huv}{\partial y} + \frac{\partial huw^*}{\partial z^*} \\ &= -h\Theta \frac{\partial \Pi'}{\partial x} + h \frac{z_T}{z_T - z_G} \frac{\partial z_G}{\partial y} \frac{\partial \Pi'}{\partial z^*} + \frac{\partial}{\partial x} \left(hK_H \frac{\partial v}{\partial x} \right) \\ &\quad + \frac{\partial}{\partial y} \left(hK_H \frac{\partial v}{\partial y} \right) + \frac{z_T^2}{h} \frac{\partial}{\partial z^*} \left(K_v \frac{\partial v}{\partial z^*} \right) \end{aligned} \quad (1)$$

으로 나타낼 수 있으며 연속방정식은

$$\frac{\partial hu}{\partial x} + \frac{\partial hv}{\partial y} + \frac{\partial hw^*}{\partial z^*} = 0 \quad (2)$$

이고, 열역학 방정식은

$$\begin{aligned} \frac{\partial h\theta'}{\partial t} + \frac{\partial h\theta'u}{\partial x} + \frac{\partial h\theta'v}{\partial y} + \frac{\partial h\theta'w^*}{\partial z^*} \\ = \frac{\partial}{\partial x} \left(hK_H \frac{\partial \theta'}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(hK_H \frac{\partial \theta'}{\partial y} \right) + \frac{z_T^2}{h} \frac{\partial}{\partial z^*} \left(K_v \frac{\partial \theta'}{\partial z^*} \right) \end{aligned} \quad (3)$$

으로 나타낼 수 있다. 정역학 근사는

$$\frac{\partial \Pi'}{\partial z^*} = \frac{h}{z_T} \frac{g\theta'}{\Theta^2} \quad (4)$$

로 표현할 수 있다. 여기서,

$$z^* = z_T \frac{z - z_G}{h}, \quad h = z_T - z_G$$

로 정의되는데 z_T 와 z_G 는 모형 상면의 고도와 지형의 고도를 나타낸다.

3. 계산영역과 경계조건

본 연구에서 사용한 대상영역은 부산광역시를 중

Pusan Coastal Area

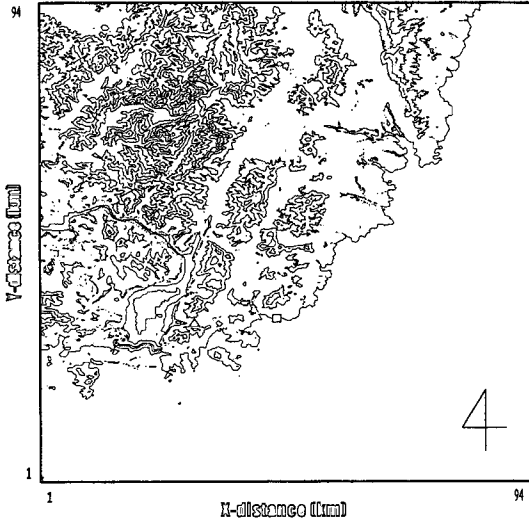


Fig. 1. Distribution of a complex terrain around Pusan Coastal Area (it is calculation region for LCM and interval of contour is 200 m). □, △ represents Su-Young and Kae-Kum, respectively.

심으로 그 주변지역과 울산광역시 일부지역을 포함하고 있으며 부산광역시 지역의 대기순환계에 큰 영향을 미치는 고지대인 가지산 일대를 포함하는 지역으로(그림 1) x, y 수평방향으로는 격자간격 1km로 하여 각각 94격자점을 사용하였고 연직방향으로는

40개 층으로 나누어 지표부근에서는 최소 5m 간격에서 상층으로 갈수록 넓어지도록 두었다.

측면경계조건으로는 Orlandi (1976)의 복사경계조건을 사용하였다. 측면경계에서 생성되는 계산오차를 억제하기 위해 수평확산계수는 경계로 갈수록 지속적으로 증가시켰다. 하지만 최대값은 모형 중앙부에서의 값의 10배를 초과하지는 않도록 하였는데, 이는 지나치게 큰 값은 다시 계산을 불안정하게 할 수 있기 때문이다. 상면경계조건으로는 저층에서 형성되어 상층으로 진행하는 내부중력파를 반사하지 않고 효과적으로 흡수할 수 있는 Klemp와 Durran (1983) 이 사용한 복사조건을 사용하였다.

지표면 온도는 force-restore 방법 (Bhumralker, 1975)을 이용하여 구하였는데, 다음의 식으로 나타낸다.

$$\frac{\partial \theta_0}{\partial t} = \frac{1}{C_1} (S + R_L - H - LE) - \frac{1}{C_2} (\theta_0 - \theta_1) \quad (5)$$

여기서, θ_0 는 지표면 온도이고, S, R_L , H, LE는 각각 태양복사, 하향 장파복사, 현열속, 잠열속을 나타낸다. 그리고 θ_1 는 평균지표토양온도이고 $S_1 = \sqrt{k c / 2 \omega}$, $C_2 = 1 / \omega$ 로 주어지고 $\omega = 2\pi / 24$ hrs, k 와 c 는 토양의 열전도도와 열용량을 나타낸다.

초기조건으로는 봄철 부산연안지역의 평균해수면 온도인 13.5°C를 고려하였으며 부산지방 5월의 평균투과도인 0.675와 5월의 평균적위를 고려하였다.

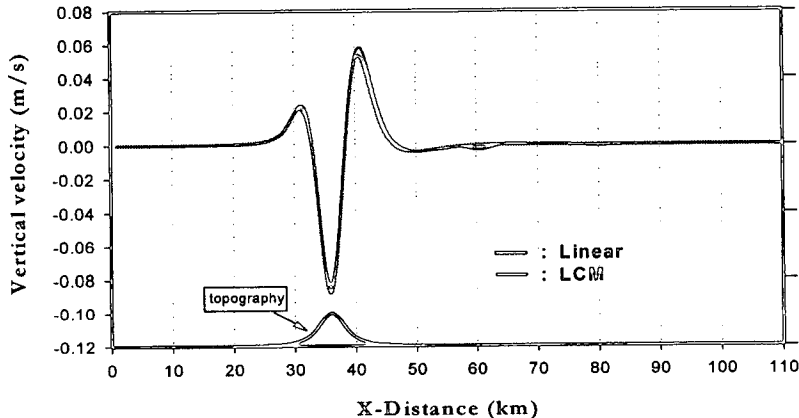


Fig. 2. Comparison of a result of the linear theory with numerical simulation (Lee et al., 1999).

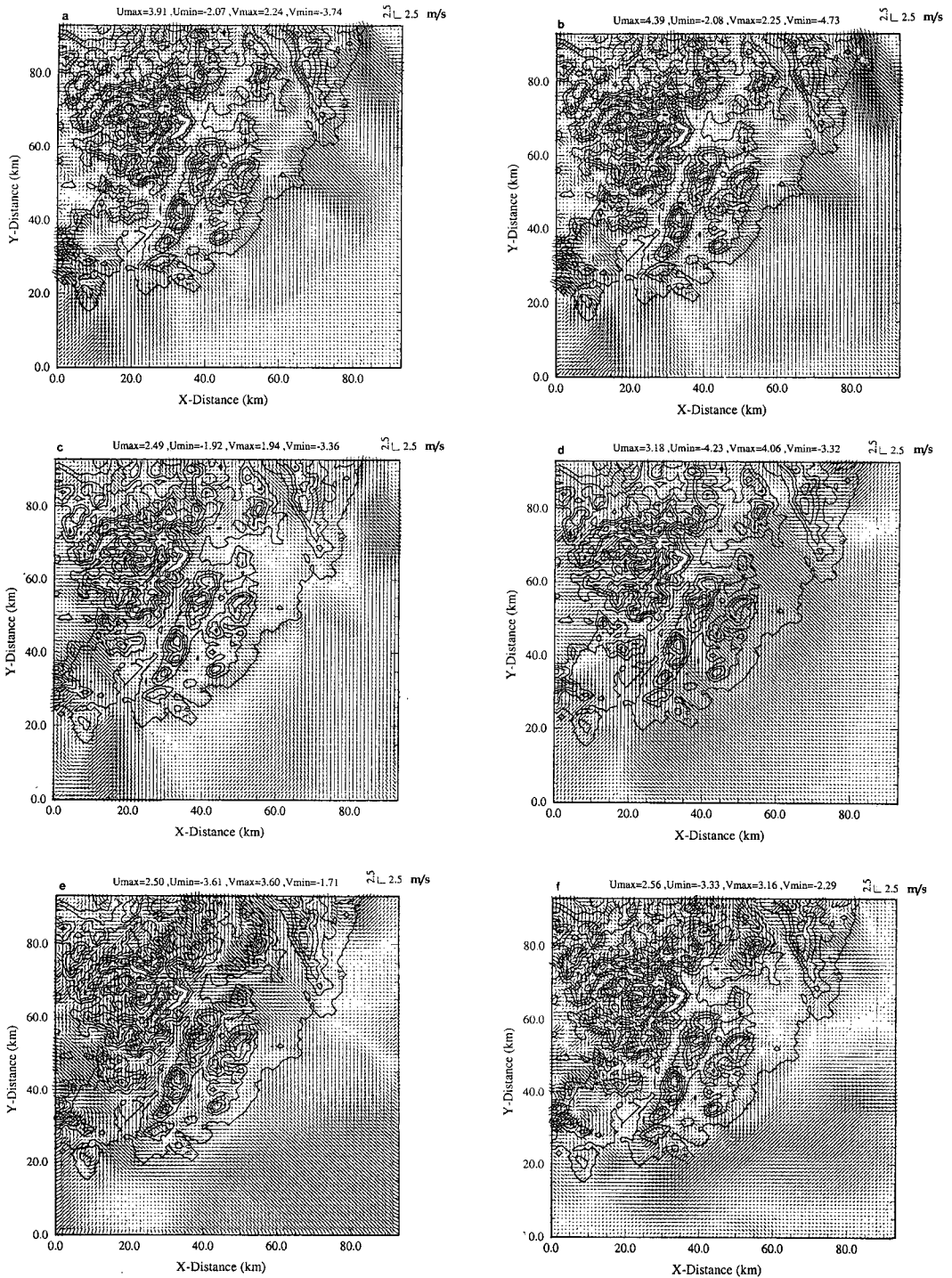


Fig. 3. Distribution of the horizontal wind field at $z^* = 5$ m at Pusan Coastal area (a) 0200 LST, (b) 0600 LST, (c) 1000 LST, (d) 1400 LST, (E) 1800 LST and (f) 2200 LST.

4. 대기유동장 수치모의

4.1 수치모의 결과

선형이론의 해석해와 비교를 통하여 타당성을 검증한 국지순환모형을 사용하여 실제 부산광역지역의 지형과 입지조건을 고려하여 대기유동장을 수치모의 하였다. 이에 앞서 이화운 등(1999)의 연구에서는 본 연구에서 사용한 모형의 타당성을 검증한 바 있는데, 그림 2는 중형의 단순지형에 대해 1km 상층에서의 연속속도성분을 나타낸 것으로 그림에서 보는 바와 같이 선형의 결과와 비선형인 국지순환모형의 결과가 아주 좋은 일치를 보이고 있다. 이는 대기유동장을 수치모의 하는데 있어서 본 연구에서 사용한 국지순환모형을 적용하는 것이 타당성이 있음을 제시하고 있다.

이를 바탕으로 국지순환모형을 이용하여 부산광역지역의 특성을 상세히 고려하여 이 지역에 대한 실제의 대기유동장을 수치모의 하였다. 대기유동장의 수치모의 결과중 $z^*=5m$ 에서의 수평바람장을

그림 3에 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 0200 LST에서는 야간시간대에 형성된 육풍이 해안선 전반에 걸쳐서 발달하고 있다. 특히 저지대를 중심으로 뚜렷하게 형성된 것을 알 수 있는데, 그림 왼쪽 하단의 낙동강 하구언 지역과 오른쪽 상단 울산지역 부근의 저지대를 중심으로 육지에서 형성된 바람이 밀도류 형태로 빠져나가고 있는 것을 볼 수 있다. 또한 내륙지역에서는 산악지역을 중심으로 골이나 분지지역으로 바람이 향하고 있는 것을 볼 수 있다. 여기서는 제시하지 않았지만 이들 산악지역에서의 발산과 수렴역을 살펴보면 지형의 형태를 따라서 골이나 분지지역에서의 수렴역과, 산 정상을 중심으로 발산역이 아주 뚜렷하게 잘 형성되는 것을 알 수 있었다. 0600 LST의 바람은 0200 LST의 경우보다 더욱 강화된 육풍의 분포를 볼 수 있다. 연구대상지역의 형태를 보아 남동방향으로 바다가 존재하고 있기 때문에 그림상단에 제시한 각각의 바람성분의 최대, 최소값을 보면 0200 LST에 비해 동풍과 남풍의 바람성분이 훨씬 강해진 것을 알 수

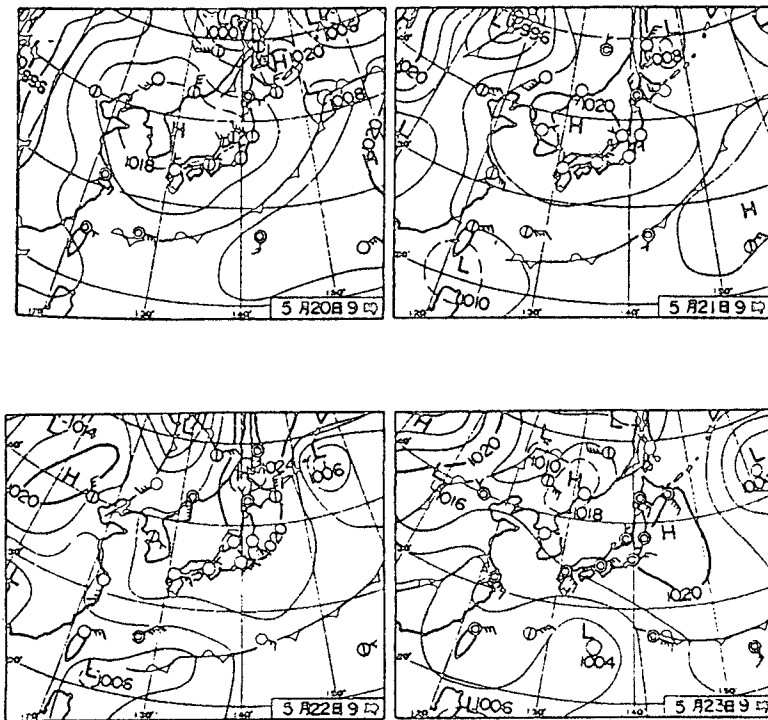


Fig. 4. Surface charts for 0900 LST 20, 21, 22 and 23 May, 1998.

있다. 1000LST의 바람장을 보면 일출과 더불어 지표면온도의 상승에 의해 가열된 육지를 향해 바다에서의 해풍이 불어 들어오는 것을 볼 수 있다. 이때 해풍의 방향을 보면 일출적으로 북서쪽을 향하는 것이 아니라 해안선에 형성된 지형에 따라서 해풍이 불어 들어오는 것을 알 수 있다. 하지만 아직은 해풍이 해안선 부근에서 형성되어 육지를 향해 약하게 불어 들어오고 있다. 육지에서 떨어진 먼바다에서는 아직도 육지에서 불어나간 육풍이 계속적으로 존재하는 것을 볼 수가 있는데 특히, 앞서 언급한 낙동강 하구연이나 울산지역에 있는 저지대를 중심으로 강한 육풍이 계속적으로 형성되어 있다. 내륙지역에서는 새벽 시간대에 형성되어 골이나 분지지역으로 불어나가던 산풍이 이미 지표면 가열의 영향으로 산을 중심으로 곡풍이 형성되어 있다. 1400LST의 바람장에서는 해풍이 상당히 발달하여 내륙 깊숙이 불어 들어간 것을 볼 수 있고 바다에서 불어오는 남풍, 남동풍 계열의 해풍이 육지에서 산을 중심으로 형성된 각각의 국지순환계와 결합하여 더욱더 강화가 되어있다. 비록, 해안 부근의 비교적 낮은 산에서 형성된 곡풍은 강한 해풍의 영향으로 독립된 순환의 형태는 보이지 않지만 가지산 부근에는 아직 해풍이 도달하지 않아서 지형에 따른 곡풍이 뚜렷하게 보이고 있다. 1800LST의 경우에는 태양의 일사가 약해지면서 바다에서 불어오던 해풍이 다소 약화되었지만 아직은 뚜렷하게 나타나고 있다. 비록, 지형의 영향으로 1400LST에서 처럼 뚜렷한 해풍이 나타나지 않지만 내륙 깊숙이 가지산 너머까지 해풍이 도달하여 왼쪽 상단의 일부를 제외하고는 대상영역 전반에 걸쳐 해풍의 영향이 나타나고 있으며 산 부근에서 형성된 국지 순환계의 영향으로 복잡한 바람의 형태를 나타내고 있다. 그리고 대부분 산의 풍상측보다 풍하측에서 강한 바람이 나타나는 것을 볼 수가 있는데, 이는 여러 연구에서도 이러한 현상이 나타나고 있다(R.O. Pitts and T.J. Lyons, 1989, 1990). 2200LST에서는 해안을 중심으로 육풍이 형성되었으며 지형을 따라서 산풍이 형성되어 저지대로 흘러가고 있는 것을 볼 수가 있다.

이상에서 부산광역시지역을 대상으로 국지순환모형을 사용하여 수치모의한 대기유동장의 결과에서 복잡지형을 포함하는 연안지역의 대기유동을 상세히

잘 나타내는 것을 알 수 있다.

4.2 수치모의 결과의 타당성 검토

국지순환모형을 사용하여 실제의 복잡한 지형에 대해 수치모의한 계산치와 관측치와의 비교를 통해서 국지순환 수치모의의 결과에 대한 유의성을 부여하고자 한다.

1998년 5월중 해륙풍이 뚜렷이 나타난 날 중에서 20, 21, 22, 23일의 4일간을 선정하여 이때의 관측값과 수치모의된 결과를 비교하였다. 이날의 기상상태는 그림 4에 나타난 바와 같이 우리 나라에 걸쳐 고기압이 자리잡아 종관바람장이 약하고 맑은 날로서 육지, 바다간의 온도차에 의한 해륙풍의 발달이 용이한 것으로 볼 수 있다.

그림 5는 비교대상일로 선정된 4일간의 시간별 평균풍속값과 국지순환모형을 사용해 수치모의된 시간별 풍속값을 나타내었고 그림 6은 각각의 시간별 평균기온값을 나타낸 것이다.

그림 5를 보면 개금의 경우에 관측결과에 의하면

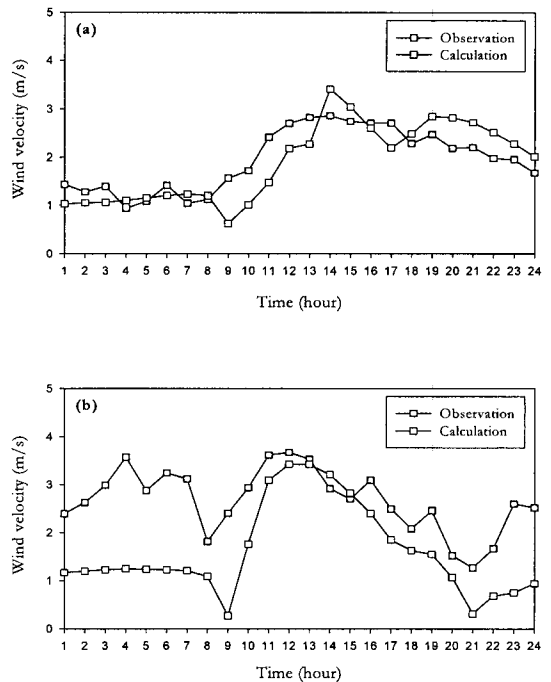


Fig. 5. Comparison of the observed velocity with the calculated velocity at (a) Kae-kum and (b) Su-young.

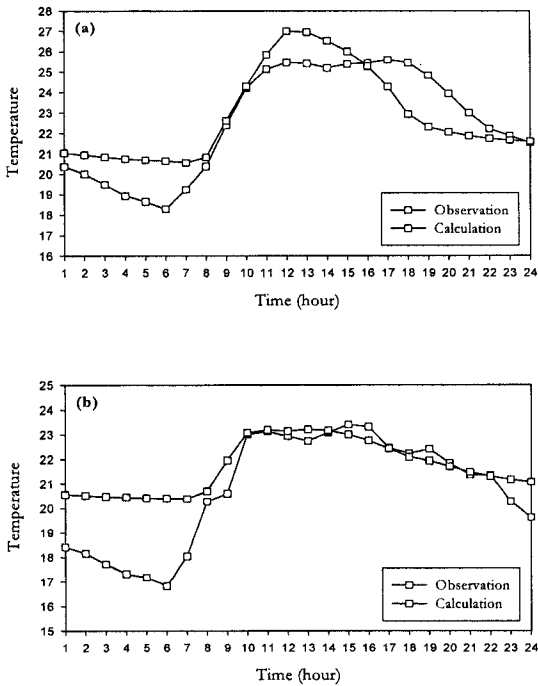


Fig. 6. Comparison of the observed temperatures with the calculated temperatures at (a) Kae-kum and (b) Su-young.

해풍과 육풍의 전환시각이 각각 오전 8~9시경, 오후 17~18시경으로 나타났는데 계산결과에서도 동일시간대 부근으로 풍속의 변화가 나타나는 것을 알 수 있다. 수영의 결과에서도 새벽 시간대에 수치모의된 풍속이 약간 낮게 나타난 것을 제외하고는 대체로 관측치와 계산치가 잘 일치하는 것으로 나타났다. 이와 같이 전반적인 관측결과와 계산결과의 풍속변화를 비교해 볼 때 계산결과는 풍속의 크기와 풍속의 일변화 경향을 관측결과에 유사하게 수치모의하는 것으로 나타났다.

그림 6에서 관측과 계산결과의 기온변화를 보면 풍속의 경우와 마찬가지로 해풍과 육풍의 전환시각 및 전반적인 온도변화 경향이 유사하게 나타났고, 특히 해풍이 부는 시간대에 잘 일치하고 있다.

이상에서 부산광역시지역을 대상으로 국지순환모형을 사용하여 수치모의한 계산치와 관측치를 비교한 결과, 좋은 일치를 보임으로써 이 지역에서의 대기유동장을 수치모의하는데 국지순환모형을 사용하는 것이 유용하다는 것을 보여주었다. 하지만 날씨의

변화에 민감한 대기유동장을 연속적으로 수치모의하기 위하여 비정상모형을 사용하여 지표면의 특성을 상세히 고려하는 등의 지속적인 연구와 여러 경우를 대상으로 한 수치모의결과와 관측결과의 비교가 필요할 것으로 생각된다.

5. 결 론

부산광역시지역은 연안에 접해 있기 때문에 대표적인 국지순환계인 해륙풍의 발생이 용이하고 산자락을 끼고 있는 복잡한 지형을 형성하고 있기 때문에 국지순환계의 형성이 가능하다.

이러한 해륙풍계와 지형적 국지순환계의 복합적인 작용에 의해 부산광역시지역에서 발생하는 대기오염물질의 수송은 복잡 다양할 수 있다. 이에 타당성을 검증한 국지순환모형을 사용하여 부산광역시지역을 대상으로 대기유동장을 수치모의한 결과 다음과 같은 것을 알 수 있었다.

새벽 시간대에 해안부근에서 강한 육풍이 형성되어 바다로 향하는 것을 볼 수 있었는데, 저지대를 따라서 육풍이 강하게 불어나가는 것을 알 수 있었다. 또한 내륙에서는 산을 중심으로 산풍이 형성되어 지형을 따라서 골이나 분지로 흘러가는 것을 볼 수 있었다.

해풍의 시작시간대에서는 해안에 형성된 지형의 굴곡을 따라서 해풍이 발행하는 것을 볼 수 있었고, 이 시간대에 내륙에서는 지형의 굴곡을 따라서 형성된 곡풍이 골이나 분지지역에서 산으로 불어가서 각각의 순환계를 형성하였다. 해풍이 뚜렷하게 나타난 시간대에서는 내륙 깊숙이 불어 들어와 곡풍과 합쳐져 남풍, 남동풍 계열의 바람이 더욱 강화되는 것을 알 수 있었다. 저녁 시간대에는 해풍이 서서히 약해졌으나 내륙 안쪽까지 도달하였고, 일몰에 따른 지표냉각에 의해서 저지대의 골이나 분지에 수렴대가 형성되었다. 이와 같이 부산광역시지역의 경우 복잡지형을 포함하고 연안에 접해 있기 때문에 대표적인 국지순환계인 해륙풍이 뚜렷하게 나타났고 내륙지역에 있는 복잡한 지형의 영향인 산곡풍이 자세히 나타났다.

국지순환모형을 사용하여 수치모의된 바람장에 대한 유의성을 부여하기 위해 우선 부산광역시지역내의 두 지점(개금, 수영)을 선정하여 이곳에서의 평

균풍속, 평균기는 관측값과 모형에 의한 계산값을 비교한 결과, 두 지점 모두에서 관측값과 모형값이 아주 잘 일치하는 것을 알 수 있었다. 풍속의 경우, 해풍과 육풍이 발생하는 시점에서의 풍속변화를 아주 잘 나타내었으며 전반적인 시간대의 바람분포가 유사하게 나타났다. 또한, 기온의 경우 해풍이 시작한 후부터 오후 늦게까지 상당히 잘 일치하는 것을 알 수 있었다. 새벽 시간대에 다소의 차이가 나타난 것을 제외하면 전반적으로 관측값과 좋은 일치를 보였다.

이상에서 상세한 대기유동장 예측에 본 연구에서 사용한 모형이 유용하게 이용될 것으로 사료된다. 아울러 상세한 대기유동장이 필요한 대기오염물질의 확산과 수송을 예측하는데 기여할 것으로 사료된다. 더욱더 상세한 논의를 위해서는 계산시간의 절약을 위하여 적절한 Nesting기법을 사용함과 동시에 국지적인 특성과 초기자료의 정확성과 함께 지표면 특성을 잘 고려할 수 있도록 하고 더불어 많은 관측치와의 비교가 있어야 할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

이화운 (1987) 지역대기환경의 수치예측 모델에 관한 연구, 일본 오사카대학교 박사학위논문.
 이화운, 김유근, 정우식 (1999) 연안부근 복잡지형의 대기유동장 수치모의 I. - 선형이론을 이용한 국지순환모형의 타당성 검토, 한국환경과학회지, 8(5), 555-558.
 장은숙 (1997) 연안도시지역의 기류와 대기오염물질 농도에 측에 관한 수치모의, 부산대학교 박사학위논문.
 Atkinson, B.W. (1981) "Meso-scale Atmospheric Circulation," Academic Press, London, 125-209.
 Bhumralker, C.M. (1975) Numerical experiments on the computation of ground surface temperature in an atmospheric general circulation model. J. Appl. Meteor., 14, 1246-1258.

Bossert, J.E. (1997) An Investigation of Flow Regimes Affecting the Mexico City Region, J. Appl. Meteor., 36, 119-140.
 Kawamura, T. (1979) "Toshi no Taiki-kankyo (Atmospheric Environment in Urban)," Todai Shuppan-kai, 185.
 Kikuchi, Y. (1975) Kairikufu no suchi simulation (Numerical simulation of land and sea breeze), Kisho-Kenkyu Note, 125, 21-49.
 Kikuchi, T., S. Arakawa, F. Kimura, K. Shirasaki, and T. Nagano (1981) Numerical study on the effects of mountains on the land and sea breeze circulation in the Kanto district, J. Meteor. Soc. Japan, 59, 723-737.
 Kimura, F. and S. Arakawa (1983) A numerical experiment of the nocturnal low level jet over the Kanto Plain, J. Meteor. Soc. Japan, 61, 848-861.
 Kimura, F. and Tsuneo Kuwagata (1993) Thermally Induced Wind Passing from Plain to Basin over a Mountain Range, J. Appl. Meteor., 32, 1538-1547.
 Klemp, J.B. and D.R. Durran (1983) An Upper Boundary Condition Permitting Internal Gravity Wave Radiation in Numerical Mesoscale Models, Mon. Wea. Rev., 111, 430-444.
 Kurita, H., H. Ueda, and S. Mitsumoto (1990) Combination of local wind systems under light gradient wind conditions and its contribution to the long-range transport of air pollutants, J. Appl. Meteor., 29, 331-348.
 Orlanski, I. (1976) A simple boundary condition for unbounded hyperbolic flows, J. Comp. Phys., 21, 251-269.
 Pielke, R.A. (1984) "Mesoscale Numerical modeling," Academic Press, Florida, 612.
 Pitts, R.O. and T.J. Lyons (1989) Airflow over a two-dimensional escarpment. I : Observations, Q.J.R. Meteorol. Soc., 115, 965-981.
 Pitts, R.O. and T.J. Lyons (1990) Airflow over a two-dimensional escarpment. II : Hydrostatic flow, Q.J.R. Meteorol. Soc., 116, 363-378.