

해석학적모형을 이용한 하계 대구지방의 열적저기압 형성에 관한 연구

김 해 동 · 정 우 식*
계명대학교 환경학부 · 부산대학교 대기과학과
(2002년 8월 19일 접수; 2002년 10월 8일 채택)

On the Thermal Low-pressure Onset using Analytical Model around Daegu in Summer

Hae-Dong Kim and Woo-Sik Jung*
Faculty of Environmental Studies, Keimyung University, Daegu 704-701, Korea
*Dept. of Atmospheric Sciences, Pusan National University, Busan 609-735, Korea
(Manuscript received 19 August, 2002; accepted 8 October, 2002)

The growth and extent of the local pressure field at any point is of primary importance as it supplies the driving force for the local wind circulation which causes a medium-range transport of air pollutants. The local pressure field is produced by the variation of temperature in the lower layers of the atmosphere, and is called the thermal wave. The thermal wave is influenced by the difference in the diurnal variations between two regions with different surface condition, for example land and sea. This difference produces the land- and sea-breeze phenomenon, and brings corresponding variations in the form of the thermal wave.

Daytime temperature over the inland area (Daegu) was higher than that of the coastal area (Busan). The temperature difference reached about 5~6°C in the late afternoon(30-31 May 1999). The low pressure system of Daegu was most fully developed at the time.

In this study, we investigated the possibility of thermal low onset around Daegu in summer with an analytical model. The topography effect was neglected in the model. We could predict a thermal low-pressure of about 3.4hPa at Daegu with wide flat land surface, when the inland area is about 6K warmer than the coastal area temperature. The pressure decrease is somewhat less than the observed value(4~5hPa).

Key words : Thermal wave, Thermal low-pressure, Medium-range transport, Sea-breeze

1. 서 론

전세계적으로 공단지역과 대도시들은 연안지역에 형성되는 것이 일반적이다. 우리 나라 남부지역의 경우에도 대표적인 항구도시이자 여러 공단지역을 포함하고 있는 부산을 비롯하여 거대한 공업지역인 울산지역, 포항제철이 위치한 포항과 광양만을 중심으로 형성되어 있는 여천지역 등이 모두 연안지역에 형성되어 있다. 일본의 경우에도 수도권 동경, 대표적 공업지대인 요코하마 그리고 제2의 도시인 오사카 등이 모두 연안지역에 위치하고 있다. 따라

서 주요 1차 대기오염물질은 이들 연안지역에서 발생하여 종관규모의 일반풍 혹은 해륙풍과 같은 국지풍에 의해 내륙지역으로 운반되어 대기오염 배출과 직접적 관련이 없는 내륙지역에 고농도의 대기오염을 유발할 수 있다. 1차 대기오염물질이 내륙지역으로 운반되어지는 과정에서 2차 대기오염 물질이 생성되어 오후 늦은 시간에 내륙에 높은 광화학적 옥시던트 농도를 유발하기도 한다. 그러한 예로서 다음과 같은 보고가 있다.

Kurita 등은 특별관측자료를 분석하여, 하계에 산업시설이나 인구밀집지역과 상당히 떨어져 있는 일본의 내륙지역에서 고농도의 광화학적 옥시던트(Oxidants, O_x)가 종종 나타남을 보고한 바 있다.¹⁾ 예로서, 대기오염물질 배출원에서 약 160km 떨어진

Corresponding Author : Hae-Dong Kim, Faculty of Environmental Studies, Keimyung University, Daegu 704-701, Korea
Phone : +82-53-580-5930
E-mail : khd@kmu.ac.kr

산악지역인 우에다와 나가노지역에서 1979년에 일본에서 7번째로 높은 120ppb 이상의 옥시던트 농도가 기록되었다. 더욱이 이 지역에서는 일최고 광화학 옥시던트 농도가 낮보다 야간에 높게 나타나는데, 대개 일몰 후인 저녁 7시경에 나타났다. 이는 질소산화물 등의 1차 오염물질이 국지풍에 실려 내륙으로 이동하는 도중에 광화학 반응을 받아 2차 오염물질을 유발하면서 이들 지역에 도달한 결과이다.

연안지역에 위치한 발생원에서 방출된 오염물질이 기류에 실려, 멀리 떨어진 내륙지역에 고농도 대기오염을 유발한 예가 미국의 캘리포니아에서도 보고된 바 있다.^{2,3)} 그들은 이러한 현상을 중규모의 고기압 하에서 해풍의 수송과정으로 설명하였다.

Stephan 등은 평탄한 저지대에서 산지로 둘러싸인 분지 내로 수렴되는 기류에 실려 운반되는 대기오염물질의 이류과정을 이해하기 위하여 2차원 수치실험을 수행하였는데, 그들은 이러한 기류의 수렴과정은 상층에 형성된 수평온도구배에 많은 영향을 받고 있음을 지적하였다.³⁾ Kuwagata 등은 연안지역과 내륙산지 지역에서 관측된 기상자료를 이용하여 복잡지형상에서 대기-지표면간의 열수지를 파악할 수 있는 해석방법을 제안한 바 있다.^{4,5)} 그들은 이 연구에서 한낮의 하층대기 승온량은 국지순환에 의한 국지적 이류량에 크게 좌우되는데, 이러한 승온량에 비례하여 지상기압의 저하가 유발되어 승온량이 큰 내륙지역을 중심으로 열적저기압이 형성될 수 있음을 밝혔다. Kimura와 Kuwagata는 관측결과를 바탕으로 수치실험을 수행하여 분지지형과 평야지역에서의 지형적 차이에 따른 국지순환계의 형성이 오염물질의 수송에 주요 원인을 지적하였으며,⁶⁾ Bossert는 오염된 공기의 상층이동에 대한 기상조건과 지형의 영향에 대하여 논의하였다.⁷⁾

우리 나라에서도 이 등이 울산을 포함한 연안지역에서 방출된 대기오염물질이 내륙에 위치한 분지형 도시인 대구로 유입될 가능성을 3차원 수치실험으로 제시한 바 있다.⁸⁾

동계 및 야간의 지면냉각은 지상기압의 상승을 유발하여 소위 키가 작은 고기압을 형성한다. 반면에 하계 및 낮 동안에는 강한 지면가열효과에 따른 대기경계층의 승온에 수반되어 지상기압이 저하하여 열적 저기압이 발생하는데, 이것이 대기오염물질의 운반을 담당하는 국지순환에 중요한 역할을 담당하는 것으로 널리 알려져 있다.⁹⁻¹¹⁾ 즉, 열적 저기압은 낮동안에 광역에 걸친 국지풍의 발달과 밀접히 관련되어 있기 때문에 국지풍에 의한 대기

오염 물질의 장거리 수송등을 해명하기 위한 많은 연구가 활발히 수행되고 있는 것이다. 이와 같은 열적 고·저기압은 전세계 어디에서나 발생할 수 있다. 그 예로 티벳고원의 기압장 일변화가 그 좋은 예이다. 하지만 우리 나라나 일본과 같이 상대적으로 평탄한 지형조건에 놓여있는 경우는 티벳고원은 달리 낮 동안에 상공에서 현저한 기압상승이 생기지는 않는데, 이는 주로 중부내륙지역에 지형의 연직·수평규모가 티벳고원에 비해 작기 때문이다.¹²⁾

본 연구의 목적은 우리 나라의 대표적 분지지역인 대구에서 하계 여름철에 지면가열로 열적 저기압이 발생하여 연안지역으로부터의 수렴류를 유발하고, 주변 도시로부터 대기오염물질을 유입할 가능성을 평가하는 것이다. 이를 위해 3차원적 수치모델 대신에 간단한 해석학적 모델과 해안지역의 도시인 부산과 대구의 기상관측치를 이용하여, 열적 저기압 발생 가능성과 강도를 평가하고자 하였으며, 아울러 하계의 맑은 날에 오후 늦은 시간대에 피크치를 보이는 대구지역의 광화학 옥시던트 농도가 장거리 수송과정으로 유발될 수 있는지에 대한 가능성도 평가하고자 한다.

2. 자료 및 연구방법

2.1. 자료

본 연구에서는 해석학적 모델을 이용하여, 내륙 분지지역인 대구와 연안지역간의 지표 승온량 차이로 열적 저기압이 발생하여 남동부에 위치한 연안 공업지역에서 방출된 대기오염물질의 중거리 수송의 가능성을 확인하기 위하여 국지풍인 해륙풍이 발생하기 쉬운 날의 기상관측 자료를 이용하였다. 구체적인 날짜는, 고기압의 영향을 받아 구름이 거의 없어 일조시간과 일사량이 많아 지면가열에 의한 일최고기온이 높았던 1999년 5월 30일과 31일로 하였다. 이날 부산지방기상청과 대구지방기상대에서 관측된 기상자료가 분석에 이용되었다. Fig. 1에 선정된 이틀간의 지상 중관일기도를 나타내었다.

2.2. 연구방법

본 연구에서는 Kuwagata에 의해 제안된 해석학적 모델을 채택하였는데,¹²⁾ 그 이론적 대강은 다음과 같다. Fig. 2에 이른 아침과 낮 동안의 기온연직 분포의 모식도를 나타내었다. 낮 동안에 발달하는 혼합층의 두께를 h , 이른 아침 냉기층의 기온감율을 Γ_c , 낮 동안 혼합층의 기온감율을 Γ_a , 기본장의 기온감율을 Γ_0 로 둔다($\Gamma_a, \Gamma_0, \Gamma_c \equiv -dT/dz$, $\Gamma_c < \Gamma_0 < \Gamma_a$). 또 이른 아침 및 낮 동안의 지상 기압을 P_0, P_1 로 하고, 혼합층 상단에서의 기압

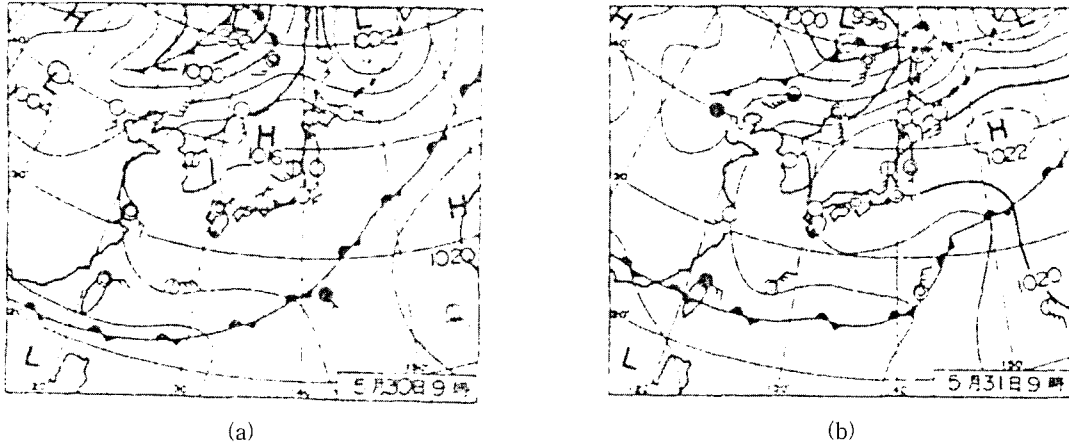


Fig. 1. Synoptic weather charts at 0900LST on 30, 31 May 1999.

은 시간에 관계없이 일정하다고 가정한다. 각 고도 z 에서 이른 아침부터 낮 동안의 공기밀도 변화를 $\Delta\rho(z)$, 기온의 변화를 $\Delta T(z)$ 라 하면

$$\Delta\rho = (d\rho/dT) \cdot \Delta T \quad (1)$$

윗식에 있어, $\rho = P/(RT)$ 의 관계를 사용했다. 식(1)에서, 이른 아침부터 일중에 걸친 지상기압의 저하량 $\Delta P_s (\equiv P_0 - P_1)$ 는 다음과 같이 된다.

$$\begin{aligned} \Delta P_s &= - \int_0^h \Delta\rho g dz \\ &= \frac{g}{R} \frac{P_0}{T_0^2} h \overline{\Delta T} \\ &= \frac{g}{R} \frac{P_0}{T_0^2} \frac{\Gamma_d - \Gamma_c}{2} h^2 \end{aligned} \quad (2)$$

여기서 $\overline{\Delta T} (= (\Gamma_d - \Gamma_c)h/2)$ 는 고도 $z = 0 \sim h$ 간의 ΔT 의 평균치이다. 식(2) 중의 $h \overline{\Delta T}$ 는 Fig. 2에서 삼각형 abd로 이루어진 삼각형의 면적을 나타낸다.

또 식 (2)를, 다음과 같이 바꾸어 쓸 수도 있다.

$$\begin{aligned} \Delta P_s &= \frac{g}{R} \frac{P_0}{T_0^2} \frac{\Gamma_0 - \Gamma_c}{2} h^2 + \frac{g}{R} \frac{P_0}{T_0^2} \frac{\Gamma_d - \Gamma_0}{2} h^2 \\ &\equiv \Delta P_{s,H} + \Delta P_{s,L} \end{aligned} \quad (3)$$

여기서 $\Delta P_{s,H}$ 와 $\Delta P_{s,L}$ 은 각각 이른 아침의 열적 고기압 및 일중(오후)의 열적 저기압 형성에 기여하는 기압변화량을 나타내는데, 각각 그림중의 삼각형 acd 및 삼각형 bcd의 면적에 비례한다. 다음에, 대기의 승온량과 지상기압 저하량과의 관계를 조사해 보자. 이른 아침부터 낮 동안에 걸친 대

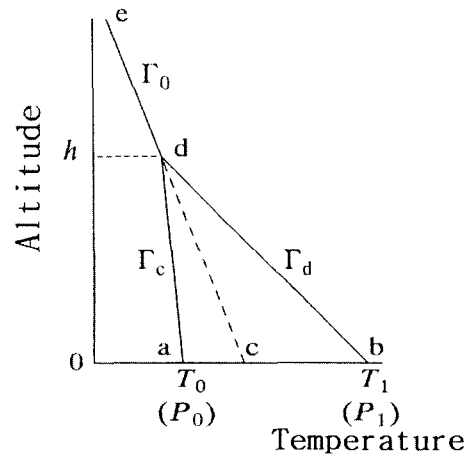


Fig. 2. Schematic representation of the temperature profile during daytime. The line ade represents T-profile of early morning. The line bde is T-profile in the afternoon. Γ_d , Γ_0 , Γ_c represent temperature lapse rates (After Kuwagata, T., 1994).

기의 승온량 Q_s 는 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$Q_s = \left(\int_0^h c_p \rho \Delta T dz \right) / \Delta t \quad (4)$$

$$\begin{aligned} &\approx c_p \rho_0 h \overline{\Delta T} / \Delta t \\ &= \frac{1}{\Delta t} \frac{c_p P_0}{RT_0} \frac{\Gamma_d - \Gamma_c}{2} h^2 \end{aligned} \quad (5)$$

단, c_p 는 공기의 정압비열, $\rho_0 \equiv P_0/(RT_0)$, Δt 는 이른 아침과 한낮간의 시간차를 의미한다. 따라서, 식 (2)와 식 (5)로부터

$$\Delta P_s = \frac{g}{c_p T_0} Q_s \Delta t \quad (6)$$

즉, 지상기압의 저하량 ΔP_s (Pa)은 대기의 승온량 Q_s (W/m^2)에 비례한다.

즉 식(2)의 적분범위를 바꿈으로써, 고도 $z = 0 \sim h$ 내 임의 고도에서의 기압저하량을 계산할 수 있는데, 지상고도 z 지점에서의 기압저하량 $\Delta P(z)$ 는 다음과 같이 된다.

$$\begin{aligned} \Delta P(z) &= \frac{g}{R} \frac{P_0}{T_0^2} \frac{\Gamma_0 - \Gamma_c}{2} (h-z)^2 + \frac{g}{R} \frac{P_0}{T_0^2} (h-z)^2 \\ &= \Delta P_H(z) + \Delta P_L(z) \end{aligned} \quad (7)$$

이렇게 얻어지는 $\Delta P_H(z)$ 와 $\Delta P_L(z)$ 가, 각각 열적 고기압 및 열적 저기압의 형성에 기여하는 기압 변화량이다.

Fig. 3에 내륙과 연안의 평야부분의 기온 연직분포의 일변화 차이를 모식적으로 나타내었다. Fig. 3(a)는 연안지역과 내륙지역(분지)간에 해발고도가 같은 경우, Fig. 3(b)는 내륙지역의 해발고도 쪽이 연안보다 높은 경우에 대응한다. 여기서는 기온감률 Γ_0 로 표현되는 기본장의 기온분포는 연안과 내륙에서 같고, 기본장의 기압분포도 수평방향으로 균질한 것으로 가정한다.

처음에 연안지역과 내륙지역(분지)간의 해발고도가 같은 경우를 생각한다(그림(a)). 식(7)로부터, 지상고도에서의 열적 고·저기압의 강도(연안과 내륙의 기압차)는 다음과 같이 된다.

$$\text{열적 고기압의 강도} \propto C - A$$

$$\text{열적 저기압의 강도} \propto D - B$$

기호 A~D는 기온 연직분포에 있어, 각각 그림중에 표시된 삼각형의 면적을 나타내고 있다. 즉, 이 경우, 열적 고기압과 저기압 강도의 합은 연안지역과 내륙지역간의 대기승온량의 차((C+D)-(A+B))에 비례한다. 연안지역과 해안지역에서 승온량에 차가 발생하는 것은, 국지순환에 수반된 수평방향의 열수송이 원인이다. 내륙지역(분지)에서는斜面상승풍의 보상류에 의한 따뜻한 공기의 침강으로 승온량이 증가하고, 연안지역에서는 해풍에 의해 승온량이 억제되는데, 양자를 비교해보면 내륙지역의 승온량이 증가되는 효과가 더 크다.

다음에, 내륙지역의 해발고도가 연안지역에 비해 높은 경우를 생각한다(그림(b)). 일반적으로 지역별 해발고도는 내륙 쪽이 연안 쪽보다 높기 때문에 이 모형이 현실에 보다 가깝다. 이 경우, 해발고도 $z^+ = z_{LAND}$ 에 있어서 열적 고·저기압의 강도(연

안과 내륙의 기압차)는

$$\text{열적 고기압의 강도} \propto C - A' > C - A$$

$$\text{열적 저기압의 강도} \propto D - B' > D - B$$

이 경우가, 연안지역과 내륙지역간의 해발고도가 같은 경우에 비해, 열적 고·저기압에 수반된 기압차가 크게 된다. 이처럼 내륙과 연안의 고도차는, 열적 고·저기압을 강화하는 효과를 갖는다.¹¹⁾

본 연구에서는, 내륙분지인 대구와 비교대상의 연안지역인 부산간에 해발고도의 차이가 작고, 문제를 단순화하기 위하여 연안지역과 내륙지역간의 해발고도가 같은 모형을 채택하였다.

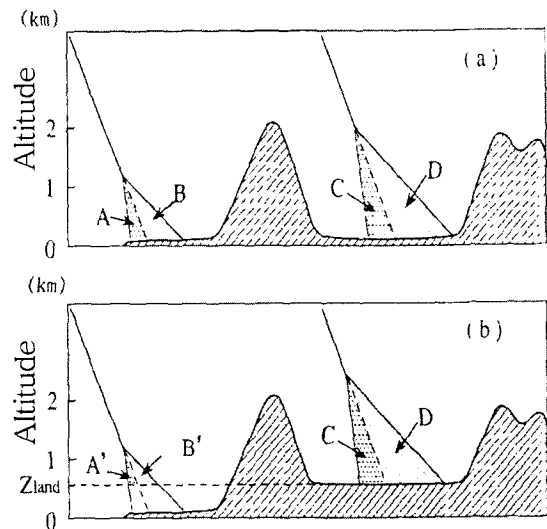


Fig. 3. Schematic representation of the diurnal variation of T-profiles in the inland and coastal regions. (a) Two regions are the same altitude, (b) the altitude of inland is higher than that of coastal region. Symbols A~D, A', B' are area of triangles, respectively.

3. 결과

Table. 1에 내륙 연안지역(부산)과 내륙지역(대구)의 하계 승온량 Q_s 를 식(5)로 계산하여 제시하였다. 계산에 사용한 낮 동안의 혼합층 두께는, 민경덕 등에 의해 관측된, 경북지역 대기혼합층 발달의 계절 및 지역적 자료¹³⁾를 참조로 하였다. 그들은 내륙지역인 청송지역의 봄철 혼합고 약 2,100m, 해안지역인 울진의 봄철 혼합고를 1,500m로 제시하였다. 이를 이용해서, 내륙지역인 대구지역의 대기혼합층 고도를 2,000m로, 연안부인 부산의 대기혼합층 고도를 1,400m로 상정하였다. 이는 Kuwagata⁹⁾가 일본 중부지방에 적용한, 연안부의 혼합고 1,250m와 내륙

분지지역의 1950m와 대체로 비슷한 값이다. 아울러 1999년 5월 30~31일에 대구와 부산간의 낮 동안의 기온차이 5~6°C의 차이를 감안하여 Holzworth의 방법¹⁴⁾을 따라서 대기혼합고 차이를 추정하여도 대체로 합리적인 값으로 평가되었다. 여기서 ΔP_s 는 지상기압 강하량, $\Delta P_{600}, \dots, \Delta P_{2000}$ 은 각각 해발고도 600~2000m 면의 기압강하량을 나타낸다. 계산 과정에 필요한 각 파라메타 값은 다음과 같이 주어졌다.

$c_p = 1.01 \times 10^3 J / (kg \cdot K)$, $g/R = 0.0341 K/m$, $T_0 = 288K$, $P_0 = 1,000 hPa$, $\Gamma_c = 0.004 K/m$, $\Gamma_d = 0.0098 K/m$ (건조단열감율) 그리고 $\Delta t = 32400 sec$ (9시간)을 사용했다. 여기서 시간간격 9시간은 기온상승시각 대(8시)에서 두 지역간에 기온과 지상기압에 가장 큰 차이가 나타나는 시각(17시)까지의 시간간격이다. 이러한 자료를 바탕으로 하여, 식(5), (6) 및 (7)을 이용하여 구한 기압강하량을 Table. 1에 제시하였다.

Table. 1에 의하면, 연안지역과 내륙지역간의 기압강하량 차는, 지상에서 3.4hPa, 해발 600m에서 2.8hPa, 1200m에서 0.3hPa로 고도에 따라서 감소하여, 해발 2000m에서는 거의 사라진다. 이를 관측사실과 비교하기 위하여, Fig. 4(a)에 1999년 5월 30일과 31일의 부산지방기상청과 대구기상대에서 관측한 해면기압과 기온의 시간별 변화를 나타내었다. 양일간에 걸쳐서 주간에는 특히 1700~1800LST의 오후 늦은 시간대에 내륙지역인 대구에서 연안지역인 부산에 비해 지상기압이 4~5hPa 정도 낮은 값을 보였다. 그런데, 5월 30일과 31일의 아침나절에는 대구와 부산간에 지상기압 차이가 거의 없거나 작았음을 볼 수 있다. 이것으로부터, 내륙지역

인 대구지역에 오후 늦은 시간에 형성되는 지상 기압저하현상은 대규모 종관장에 의한 것이 아니라 주간에는 지면 부등가열에 의해 형성되는 열적 저기압을 짐작할 수 있다. 이를 확인하기 위하여 Fig. 4(b)에 같은 기간에 대하여 지상기온자료를 나타내었다. 여기서 5월 30일과 31일에 걸쳐서 주간에는 두 지역 사이에 기온차이가 크게 형성됨을 볼 수 있는데, 특히 1700~1800LST의 오후 시간대에 연안지역인 부산에 비하여 내륙지역인 대구에서 5~6°C 높음을 확인할 수 있다. 관측된 대구와 부산간의 기압강하량 차이(4~5hPa)에 비하여 이론적으로 계산된 두 지역간의 기압강하량 차이(3.4hPa)가 다소 작았다. 이는 본 연구에서 채택한 해석학적 모형이 지형효과를 반영하고 있지 않다는 점과, 이론모형이 두 지역의 혼합고와 열의 연직분포를 엄밀하게 반영하고 있지는 못한 탓으로 해석된다.

낮 동안에 연안지역과 내륙지역간의 부등가열로 인한 열적 저기압형성을 확인하기 위하여 전국에 위치한 73개 기상대에서 생산되는 해수면 기압자료를 분석하여 일출전후와 오후 6시경의 기압분포를 Fig. 5(a), (b)에 나타내었다. 일출에서 다음날 일출

Table 1. The estimated daytime pressure decrease using the analytical model with the PBL heating rate(Q_s) and the mixed layer height for inland(Daegu) and coastal region (Busan). Q_s : the PBL heating rate, h : the mixed layer height, $\Delta P_s, \Delta P_{600}, \Delta P_{1200}, \Delta P_{2000}$: the pressure decreases at surface, the altitudes of 600, 1200, 2000m

	Q_s (W/m^2)	h (meter)	ΔP_s	ΔP_{600}	ΔP_{1200}	ΔP_{2000}
			(hPa)			
Coastal region (Busan)	173.2	1400	1.8	0.7	0.0	0.0
Inland (Daegu)	477.5	2000	5.2	3.5	0.3	0.0

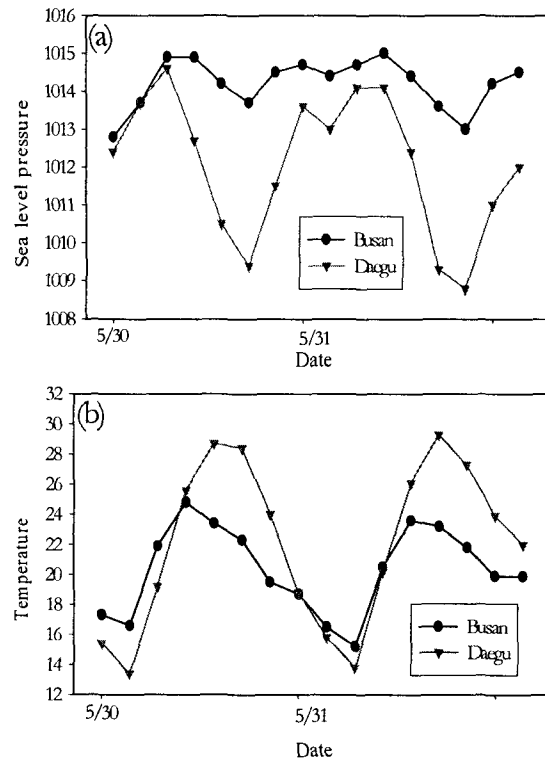


Fig. 4. Diurnal variations of (a) sea level pressure and (b) temperature at Busan and Daegu on 30~31 May.

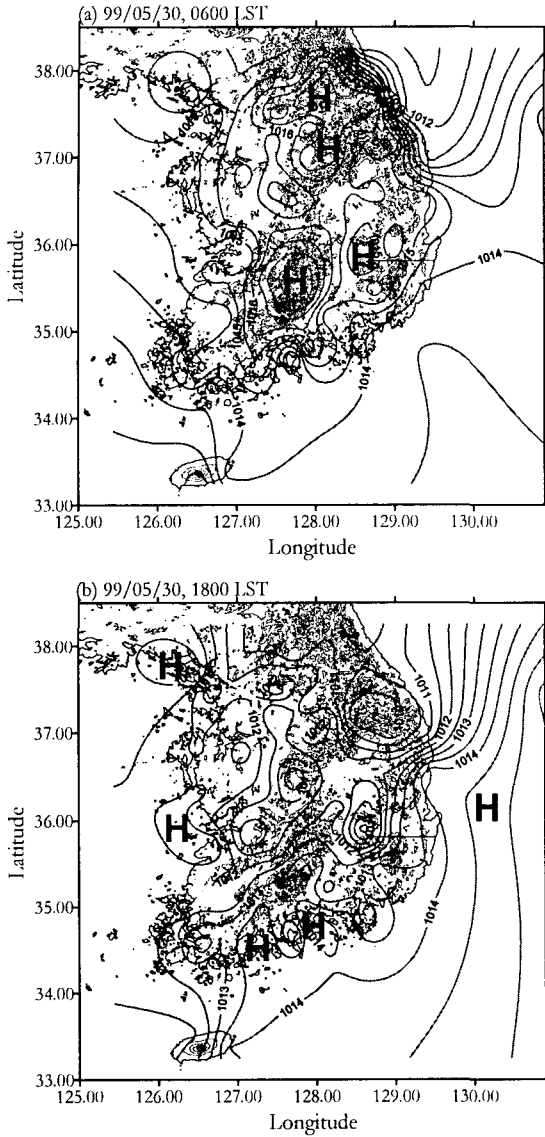


Fig. 5. Distribution of sea level pressure at (a) 0600LST, (b)1800LST on 30 May 1999, respectively.

전까지는 내륙지역의 냉각율이 연안지역보다 크기 때문에, 내륙지역에 열적 고기압이 형성되어 있으며(Fig. 5(a)), 오후 늦은 시간대에는 낮 동안에 지속적인 부등(inhomogeneous) 가열로 내륙지역에 열적 저기압이 형성되어 있음을 확인할 수 있다(Fig. 5(b)). 이러한 열적 고·저기압 형성으로 인한 지상풍의 변화를 조사하기 위하여, 전국의 73개 기상대에서 관측된 지상바람을 Fig. 6(a), (b)에 나타내었다. 오전 6시에는 내륙에 형성된 열적 고기압의 영향으로 바람이 내륙에서 해안을 향함을 볼 수

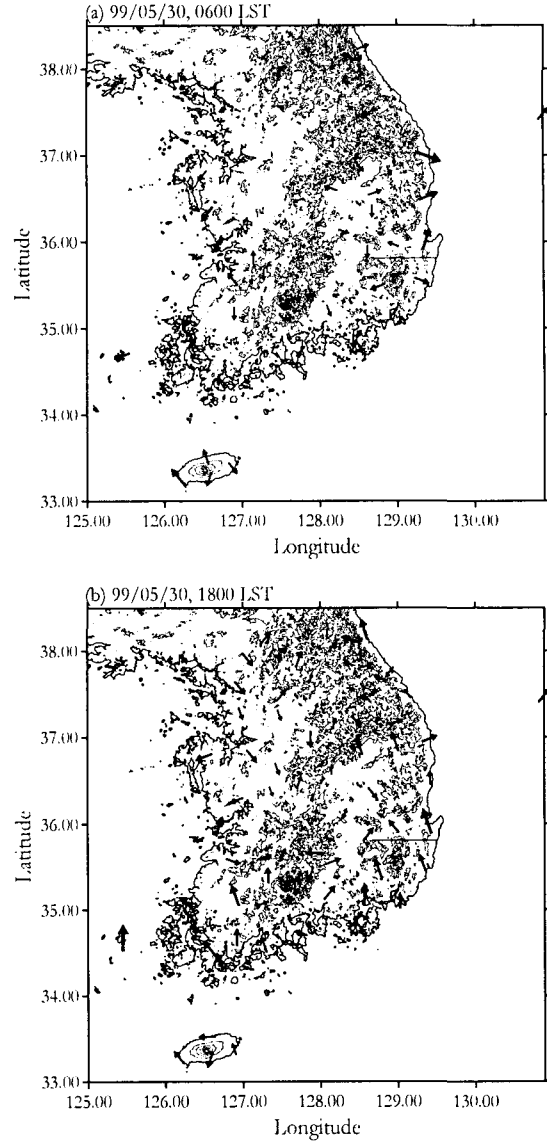


Fig. 6. Same as Fig. 4, except for wind distribution pattern.

있다(Fig. 6(a)). 반면에 오후 6시에는, 연안지역에서 열적 저기압이 형성된 내륙지역을 향해 바람이 불고 있음을 확인할 수 있다(Fig. 6(b)).

4. 결론 및 고찰

열적 저기압은 낮 동안에 형성되는 국지풍의 발달과 밀접히 관계하고 있어 국지풍에 의한 대기오염 물질의 내륙 수송 등을 규명하고자하는 입장에서 연구되고 있다. 특히, 바다로 둘러싸인 내륙산지형의 협소한 지형적 특성을 갖는 영국, 일본 및 한

국의 경우에는 연안공업지역에서 발생된 대기오염 물질이 내륙전역으로 활발히 운반될 수 있다.^{15,16)}

연안 공업도시지역에서 방출된 대기오염물질이 수백 킬로미터 이상 떨어진 내륙지역으로 이동되는 과정에 대해서 유럽과 북미지역에서는 오래 전부터 연구가 활발히 이루어졌다.^{17~20)} 일본에서도 80년대 이후 대기오염물질의 장거리 수송에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있다.^{1,4~6,21)}

우리 나라에서는 대기오염 관측망이 도시의 오염 물질 배출지역에 집중적으로 위치하고, 그 이외의 지역에는 거의 설치되어 있지 않은 탓에 자료분석을 통하여 오염물질의 장거리 수송을 파악하기가 매우 어렵다. 이러한 열악한 연구환경으로 인하여 우리 나라에서는, 중규모 대기순환장 수치시뮬레이션 기법에 의존하여 대기오염물질의 내륙으로의 이동가능성을 제기한 최근에 발표된 소수의 연구논문을 제외하고는 이 분야의 연구가 일천한 실정에 있다.^{8,15)}

이 연구에서는 하계에 고기압 하에서 쾌청하고 일반풍이 약하여 연안지역과 내륙지역간의 부등가열로 국지적인 기압장이 발달하여 연안지역의 대기오염물질을 내륙으로 운반할 수 있는 국지풍의 발달 가능성을 간단한 해석학적 모델을 이용하여 확인할 수 있었다.

해석학적 모델을 이용하여 대구(내륙)와 부산(해안)의 지표면온도와 혼합고 차이를 이용하여 얻은 약 3.4hPa의 기압차이는 두 지역에서 관측된 지상 기압차이를 상당부분 설명할 수 있었다. 이로부터 내륙과 해안이라는 지리적 차이로 존재하는 지상온도차이가 유발하는 국지적 열적 저기압의 존재를 확인할 수 있었다. 그리고 이 열적 저기압으로 유발되는 국지풍(연안에서 내륙으로의 수렴류)이 연안지역에서 배출된 대기오염물질을 낮 동안에 내륙지역으로 운반할 수 있음을 확인할 수 있었다. 향후 대기오염물질의 중규모 이동을 추적할 수 있는 특별 관측을 수행하여, 수치모델로만 추정되고 있는 국지풍 순환에 의한 우리 나라의 대기오염물질 이동 과정이 보다 명확히 규명될 수 있어야 할 것이다.

이는 환경부에서 미국환경청(EPA)의 대기관리법을 모태로 추진하고 있는 “대기오염의 종합관리방안 수립 및 실천계획의 실제적 운영”을 위해서도 매우 중요하다. 왜냐하면, 한 도시의 대기오염농도는 그 지역에서 배출된 물질의 양으로만 결정되는 것이 아니라, 이웃한 도시로부터의 유입량(이류· 확산 효과)에 의해서도 많은 영향을 받기 때문이다. 특히, 최근 대기오염물질로 가장 주목받고 있는 광화학적 오염물질인 지상오존의 관리에 있어서는,

연안지역에서 배출된 오존의 원인물질들이 국지풍에 실려 내륙으로 운반되는 과정에서 많이 생성되는 것으로 알려져 있어,^{1,17,19,21)} 대기오염물질 이동 과정 규명을 위한 연구의 필요성은 매우 절실하다고 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(과제번호 R01-2002-000-00020-0)의 지원금으로 수행되었습니다. 재정지원을 해 주신 한국과학재단 및 기타 관계자 여러분에게 깊은 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

- 1) Kurita, H., K. Sasaki, H. Ueda, H. Muroga, and S. Wakamatsu, 1985, Long-Range Transport of air pollution under light gradient wind conditions, *J. Climate Appl. Meteor.*, 24, 425-434.
- 2) Edinger, J. G., M. H. McCutchan, P. R. Miller, B. C. Ryan, M. J. Schroeder, and J. V. Behar, 1972, Penetration and duration of oxidant air pollution in the south coast air basin of California, *J. Air Pollut. Control Assoc.*, 22, 882-886.
- 3) Carroll, J. J. and R. L. Baskett, 1979, Dependence of air quality in a remote location on local and mesoscale transports : A case study, *J. Appl. Meteor.*, 18, 474-486.
- 4) Kuwagata, T., M. Sumigoka, N. Masuko, and J. Kondo, 1990, The daytime PBL heating process over complex terrain in central Japan under fair and calm weather conditions. Part I: Mesoscale circulation and the PBL heating rate, *J. Meteor. Soc. Japan*, 68, 625-638.
- 5) Kuwagata, M., T. Masuko, N. Sumigoka, and J. Kondo, 1990, The daytime PBL heating process over complex terrain in central Japan under fair and calm weather conditions. Part II: Regional heat budget, convective boundary layer height and surface moisture availability, *J. Meteor. Soc. Japan*, 68, 639-650.
- 6) Kimura, F. and T. Kuwagata, 1993, Thermally induced wind passing from plain to basin over a mountain range, *J. Appl. Meteor.*, 32, 1538-1547.
- 7) Bossert, J. E., 1977, An investigation of flow regimes affecting the Mexico City Region, *J.*

- Appl. Meteor., 36, 119-140.
- 8) 이화운, 김유근, 정우식, 2002, 대기오염물질의 중거리 수송을 야기하는 대기순환계 수치실험, 한국기상학회지, 38, 81-94.
 - 9) Kuwagata, T. and N. Sumigoka, 1991, The daytime PBL heating process over complex terrain in central Japan under fair and calm weather conditions. Part III: Daytime thermal low and nocturnal high, J. Meteor. Soc. Japan, 68, 639-650.
 - 10) Atkinson, B.W., 1981, Meso-scale atmospheric circulations. Academic Press, 495pp.
 - 11) Blumen, W.(ed.), 1990, Atmospheric processes over complex terrain, Meteor. Monographs, Amer. Meteor. Soc., 23, 323pp.
 - 12) 近藤純正, 1994, 水環境の氣象學, 朝倉書店, 348pp.
 - 13) 민경덕, 김상희, 김경익, 권병혁, 1999, 경북지역 대기 혼합층 발달의 계절 및 지역적 특성, 한국기상학회지, 35, 539-548.
 - 14) Holzworth, G. C., 1964, Estimate of mean maximum mixing depths in the contiguous united states, Mon. Wea. Rev., 92, 235-242.
 - 15) 이화운, 정우식, 현명숙, 2002, 경주지역 오존의 고농도현상에 관한 기상학적 분석 I, 한국기상학회지, 38, 59-68.
 - 16) Simpson, J. E., 1994, Sea breeze and local winds, Cambridge University Press, 233pp.
 - 17) Blumenthal, D. L., W. H. White and T. B. Smith, 1978, Anatomy of a Los Angeles smog episode: Pollutant transport in the daytime sea breeze regime. Atmos. Environ., 12, 893-907.
 - 18) Carrol, J. J., and R. L. Baskett, 1979, Dependence of air quality in a remote location on local and mesoscale transports: A case study. J. Appl. Meteor., 18, 474-486.
 - 19) Cox, R. A., A. E. J. Eggleton, R. G. Derwent, J. E. Lovelock and D. H. Pack, 1975: Long-range transport of photochemical ozone in north-western Europe. Nature, 255, 118-121.
 - 20) Edinger, J. G., M. H. McCutchan, P. R. Miller, B. C. Ryan, M. J. Schroeder and J. V. Behar, 1972: Penetration and duration of oxidant air pollution in the south coast air basin of California. J. Air Pollut. Control Assoc., 22, 882-886.
 - 21) 環境科學研究報告, 1988, 沿岸域から内陸域にいたる廣域大氣汚染に關する研究, B307-R11-2, 143pp.