

연구노트

대기환경영향평가를 위한 대구광역시 상인동  
달비골의 봄철 기상관측 사례분석

박종길 · 정우식\* · 황수진\*\* · 윤일희\*\*\* · 박길운\* · 김신호\*\*\*\* · 김석철\*

인제대학교 환경공학부/대기환경정보연구센터, \*인제대학교 대기환경정보공학과/대기환경정보연구센터  
\*\*부산대학교 과학교육학부, \*\*\*경북대학교 과학교육학부, \*\*\*\*기상청/인제대학교 대기환경정보공학과  
(2008년 5월 19일 접수; 2008년 7월 16일 수정; 2008년 7월 16일 채택)

A Case Study on the Meteorological Observation in Spring  
for the Atmospheric Environment Impact Assessment at  
Sangin-dong Dalbi Valley, Daegu

Jong-Kil Park, Woo-Sik Jung\*, Soo-Jin Hwang\*\*, Ill-Hee Yoon\*\*\*,  
Gil-Un Park\*, Sin-Ho Kim\*\*\*\* and Seok-Cheol Kim\*

*School of Environmental Sciences Engineering, Atmospheric Environment Information  
Research Center, Inje University, Gimhae 621-749, Korea*

*\*Department of Atmospheric Environment Information Engineering, Graduate school, Atmospheric Environment  
Information Research Center, Inje University, Gimhae 621-749, Korea*

*\*\*Department of Earth Science, Pusan National University, San-30 Jangjeon-dong Kuemjung, Busan 609-735, Korea*

*\*\*\*Department of Earth Science Education, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea*

*\*\*\*\*Korea Meteorological Administration, Department of Atmospheric Environment Information Engineering,  
Graduate school, Inje University, Gimhae 621-749, Korea*

(Manuscript received 19 May, 2008; revised 16 July, 2008; accepted 16 July, 2008)

Abstract

This study aims to produce fundamental database for Environment Impact Assessment by monitoring vertical structure of the atmosphere due to the mountain valley wind in spring season. For this, we observed surface and upper meteorological elements in Sangin-dong, Daegu using the rawinsonde and automatic weather system(AWS). In Sangin-dong, the weather condition was largely affected by mountains when compared to city center. The air temperature was low during the night time and day break, and similar to that of city center during the day time. Relative humidity also showed similar trend; high during the night time and day break and similar to that of city center during the day time. Solar radiation was higher than the city, and the daily maximum temperature was observed later than the city. The synoptic wind during the measurement period was west wind. But during the day time, the west wind was joined by the prevailing wind to become stronger than the night time. During the night time and daybreak, the impact of mountain wind lowered the overall temperature, showing strong geographical influence. The vertical structure of the atmosphere in Dalbi valley, Sangin-dong had a sharp change in air temperature, relative humidity, potential temperature and equivalent potential temperature when measured at the upper part of the mixing layer height. The mixing depth was formed at maximum 1896m above the ground, and in the night time, the inversion layer was formed by radiational cooling and cold mountain wind.

**Key Words**: Atmospheric environment impact assessment, Vertical meteorological observation, Rawinsonde, Mountain valley wind, Mixing depth

## 1. 서론

산업화 이후 인구의 도시 집중으로 인해 도시화 현상이 나타났고, 급속한 도시화가 진행되는 과정에서 많은 환경 문제가 노출되기도 하였다. 또한 산업 발달의 필요와 국민소득 향상에 따른 자동차의 증가는 도로 건설을 촉진시키는 기폭제가 되었다. 이후 전국적인 도로 건설이 이루어져 2004년 말 기준으로 우리나라 도로의 총 연장은 100,278 km이고 도로율은 1.01 정도<sup>1)</sup>이지만 여전히 인구가 집중되어 있는 도시에 더 많은 도로가 필요하다. 또한 도시는 출퇴근 시간의 첨두시 일시적인 교통수요의 증가, 그리고 다른 변수에 의한 지·정체 요인 등이 겹쳐 도로율이 아무리 높다하여도 대도시의 경우 교통정체가 해소되지 않고 있다<sup>2)</sup>. 따라서 지속적인 도로 건설은 교통난을 해소하기 위한 주요 대안으로 선택되고 있다. 도로의 증가는 생태계 파괴, 대기질 악화, 소음 및 대기환경의 변화 등 환경에 크고 작은 영향을 미치지만, 도로는 산업의 활동 및 경제 성장에 따라 필연적으로 계속 만들어질 수밖에 없다. 그렇기 때문에 도로 건설 계획 시에 정말 개발이 필요한지, 다른 대안은 없는지, 환경영향에 대한 문제가 검토되었는지 사전에 충분한 논의가 선행되어야 할 것이다. 이는 무조건적인 이득만을 위한 개발로 인해 파괴된 환경은 돌이킬 수 없는 결과를 낼 수도 있기 때문이다.

대구 앞산 터널 건설도 대구시의 주요 도로의 정체를 해소하기 위한 방안으로 제시되었는데, 이 건설 사업에 의한 환경영향정도를 알아보는 사전 환경영향평가는 매우 중요하며 이를 위해 무엇보다 기상자료와 배출량자료와 같은 입력자료의 정확성이 우선 되어야 한다.

대구시는 남쪽과 북쪽에 앞산과 팔공산이 위치하고 해발고도가 수 백 m에 이르는 산들이 동서로 놓여 있는 전형적인 분지형 도시로 일반류가 약할 경우 산곡풍과 같은 국지풍 순환이 잘 발달할 수 있는 지형적인 특성을 갖고 있는데, 수치모의를 통해 산곡풍의 바람통로를 파악하고 여름철 야간에 유출되는 산풍의 양을 정량적으로 평가하기도 하였다<sup>3)</sup>. 특히 대구시 달비골은 앞산에 위치한 계곡으로 야간에 형성된 산풍이 서쪽에서 유입되는 대기오염물

질을 차단하여 대기환경을 개선하는 효과가 있음을 하계 관측을 통해 밝히기도 하였다<sup>4)</sup>. 하지만 이러한 연구는 도시주변의 산지에서 형성되는 청정 냉기류를 도심에 유입시켜 도시열섬을 완화하고 도시환기 기능을 높여 대기질을 개선하려는 관점에서 관련 현상이 잘 나타날 수 있는 이동성 고기압하에서 측정 분석을 시도한 것<sup>5~8)</sup>이나, 도심의 주요 도로 정체를 해소하기 위하여 산중턱에 터널을 뚫어 도로를 건설하여 교통량이 증가함에 따른 주거지역의 대기질의 영향을 살펴보고자 기상관측을 시도한 바는 없었다. 또한 대구지역에 전년에 걸쳐 나타나는 서풍계열의 바람이 강한 날에 이루어진 기상관측은 처음 시도되었다.

따라서 본 연구에서는 하계를 제외한 전 계절에 잘 나타나는 서풍계열의 바람이 우세한 날에 대구시 상인동 지역의 지상 및 상층 기상관측을 수행하여 기상특성을 분석하고 국지풍의 일환인 산곡풍 순환을 고려한 대기 연직 구조를 밝혀 도로건설로 인한 환경영향평가를 위한 기초자료를 생산·제시하고자 한다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 관측 개요

대구광역시 4차 순환도로 가운데 상인-범물간 터널공사구간은 Fig. 1과 같으며 터널 개통으로 늘어나는 교통량에 의해 발생하는 대기오염물질이 지역의 국지풍에 의해 인근 마을에 미치는 영향을 알아

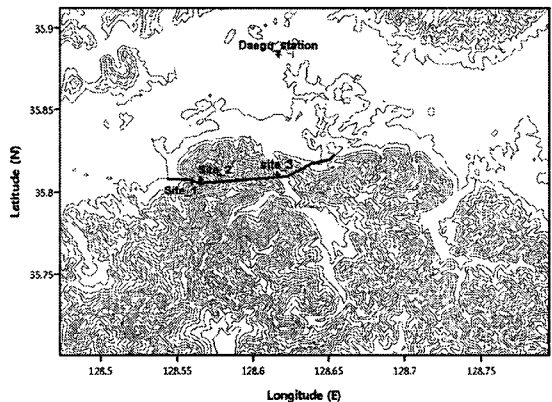


Fig. 1. Topography near the road construction plot and observation site.

보기 위하여 기상관측(지상 및 상층 관측)을 실시하였다. Fig. 1에 나타내었듯이 대구광역시 달서구 상인동 계곡 내 두 지점(site 1, site 2 지점)과 수성구 파동에 한 지점(site 3 지점)에서 자동기상관측장비(Automatic Weather Station, AWS)를 활용하여 기상관측을 실시하였으며 site 1 지점에서는 Vaisalla사의 rawinsonde에 의한 상층 대기관측도 병행하여 실시하였다.

site 1과 2 지점은 지형이 깔때기 모양으로 형성된 계곡 내에 위치하고 있으며 site 2 지점이 site 1지점보다 산정 방향으로 40 m 정도 더 높으며 인근에 저수지가 위치하고 있다. 이에 비해 site 3 지점은 반대편 산사면 아래쪽에 위치하고 있다. 또한 site 1 지점은 주변에 청소년 수련관, 약수터, 컨테이너, 공사장 등이 위치하고 있어 주민과 차량의 이동에 따른 영향을 최소화하기 위하여 청소년 수련관 옥상에 AWS를 설치하여 상층 대기관측이 이루어지는 기간 동안 지상관측을 실시하였다. 다른 두 지점의 AWS도 주변 지형지물의 영향을 최소화 할 수 있는 장소에 설치하여 관측하였다.

AWS 관측은 2006년 3월 14일 16:00부터 16일 09:00까지 10분 간격으로 관측하였으며, 상층기상 관측은 기상청의 관측 시간대와 맞추기 위해 3시간 간격으로 실시하였다(Table 1).

지상기상관측에 사용된 AWS는 기온, 습도, 풍향, 풍속의 4가지 기상요소를 관측하였고, site 1 지점에

**Table 1.** A schedule of upper meteorological observation

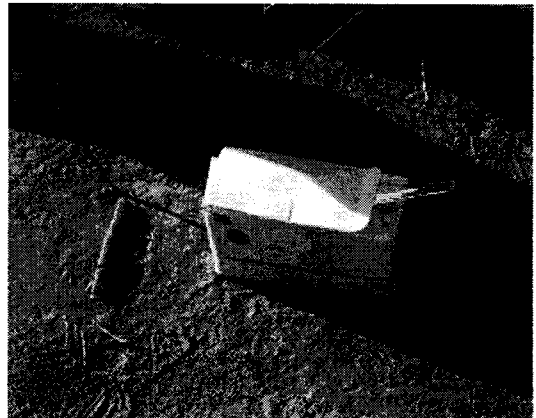
Day	Launching time
3/14	12:00
	15:00
	18:00
	21:00
	03:00
3/15	06:00
	09:00
	12:00
	15:00
	18:00
3/16	21:00
	24:00
	06:00
	09:00

서는 일사량을 추가로 관측하였다. 또한 세 지점의 AWS 자료와 더불어 인근에 있는 대구기상대 관측 자료도 함께 분석하였다.

상층대기관측에 사용한 rawinsonde system의 구성은 Fig. 2와 같다. Fig. 2(a)는 sonde 를 부양하는 풍선으로 신축성이 있고 상승한 후에도 구형을 이룰 수 있도록 천연고무 재질로 이루어져 있으며, Fig. 2(b)는 Vaisalla사의 RS80 radiosonde 로 기온, 습도, 기압, 풍향, 풍속을 측정할 수 있다.



(a)



(b)

**Fig. 2.** The photo of (a) balloon and (b) radiosonde of the rawinsonde system for the vertical meteorological observation.

## 2.2. 기상요소 산출

일 최고 혼합고를 포함한 여러 기상요소들의 값들을 다음과 같은 기본 식들을 이용하여 구하였다. 여기서 온도의 경우 대문자(T)로 표기하면 절대온도 K이고 소문자(t)로 표기하면 섭씨온도 °C이다. 포화수증기압  $e_s$ (mb)는 물이나 얼음이 각각 주위의 수증기와 평형을 이루는 경우의 수증기압이며 온도에 따라 변하고, 산출식은 다음과 같다.

$$e_s = 6.1078 \exp \frac{19.8t}{273+t} \approx 6.1 \exp 0.073t \quad (1)$$

여기서 t는 기온이다. 수증기압 e(mb)은 수증기분자가 가하는 압력으로 어떤 용적의 공기 중에 포함되어 있는 수증기량을 수증기압으로 표시하며, 산출식은 다음과 같다.

$$e = \text{상대습도} \times \frac{e_s}{100} \quad (2)$$

혼합비 w(kg/kg)는 습윤공기 안의 수증기량과 나머지 건조공기량과의 비를 나타내는 무차원량이며

$$w = \frac{0.622e}{p-e} \quad (3)$$

식(3)을 이용하여 구한다<sup>9)</sup>. 여기서 p는 해당 고도에서의 기압이다.

습한 공기를 냉각시켜 가면 공기 중의 수증기는 어느 온도에서 응결하기 시작하여 이슬을 맺는데, 이때의 온도가 이슬점온도  $t_d$ 이고 다음과 같이 구한다.

$$t_d = 273 \frac{\ln e - \ln 6.11}{19.8 - (\ln e - \ln 6.11)} \approx 13.7 \ln \frac{e}{6.1} \quad (4)$$

공기가 상승하다가 어느 고도가 되면 응결하기 시작하는데 이 고도를 상승응결고도라 하며 이 고도에서의 온도를  $t_L$ 이라 하고, 다음의 식을 이용하여 구한다.

$$t_L = t_d - (0.001296t_d + 0.1963)(t - t_d) \quad (5)$$

위에서 구한 여러 값들을 이용하여 혼합고를 산정하기 위한 온위와 상당온위를 구한다<sup>9)</sup>. 온위  $\theta$  (K)는 공기를 단열적으로 압력이 1000 mb가 될 때까지 압축하였을 때의 온도를 말하며, 건조단열변화를 하는 공기덩이의 온위는 보존된다. 수직적으

로 혼합이 잘되는 혼합층에서는 고도에 따라 온위가 일정하다.

$$\theta = T \left( \frac{p_0}{p} \right)^{\frac{R}{C_p}} \quad (6)$$

여기서 T는 기온,  $p_0$ 와 p는 각각 지표에서의 기압과 각 고도에서의 기압을 나타낸다. R은 기체상수이며,  $C_p$ 는 공기의 정압비열이다. 상당온위  $\theta_e$  (K)는 공기를 압력이 1000 mb가 될 때까지 단열압축하였을 때의 상당온도를 말하며, 온위가 높을수록, 절대습도가 높을수록 크게 된다.

$$\theta_e = \theta \exp \left( \frac{Lw_s}{C_p T_L} \right) \quad (7)$$

여기서  $L, w_s, T_L$ 은 각각 잠열, 상승응결고도에서의 포화 혼합비, 상승응결고도에서의 기온이다. 이 밖에 중요한 기상요소로서 가온도  $T_v$ 가 있는데 습윤공기를 같은 압력과 밀도의 건조공기로 바꾸어 놓았을 때의 그 건조공기가 가져야 할 온도이다. 수증기는 건조공기보다 가벼우므로 가온도는 습윤공기 자체의 온도보다 높다. 가온도를 산출하는 식은 아래와 같다.

$$T_v = T(1 + 0.61w) \quad (8)$$

## 2.3. 혼합고 산정 방법

본 연구에서는 혼합고를 산정하기 위하여 Holzworth 방법을 이용하였다. 이 방법은 1972년에 Holzworth가 제시한 이후, 미국환경보호청(EPA)에서 대기질 평가에 필요한 혼합고 산정의 표준방식으로 채택하고 있다<sup>10)</sup>.

Holzworth 방식을 이용한 혼합고의 산정은 지상온위보다도 온위가 높아지는 최고고도로 정의된다. 즉, 앞서 계산된 온위  $\theta$ 가 지상온위  $\theta_{\text{surface}}$ 보다 커질 때까지 계속하여 위의 고도로 올라가면서 두 값을 비교하는 과정을 반복한다.  $\theta$ 가  $\theta_{\text{surface}}$ 보다 커지면 혼합고는 마지막에 비교한 두 고도 사이에 위치하게 되는데, 이 마지막 두 고도 사이에서 geopotential height와  $\theta$ 를 이용하여 직선적인 내삽을 통해 혼합고도(해면기준)를 찾게 된다. 이 때 계산된 해면기준 혼합고도에서 지상관측지점 해발고도를 빼면 그 지역의 혼합고가 된다<sup>10)</sup>.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 관측일 일기 현황

관측일의 기상상태를 알아보기 위해 2006년 3월 14일 0000 UTC부터 16일 0000 UTC까지의 지상일기도를 Fig. 3에 나타내었다. 그림을 보면 14일 0000 UTC에 우리나라는 시베리아의 찬 대륙성 고기압이

화남지방으로 남하하여 셀(cell)을 이루고 있는 고기압의 영향을 받아 맑고 다소 추운 날씨를 나타내고 있으며 북서풍내지 북풍이 우세함을 알 수 있다 (Fig. 3(a) 참조). 1200 UTC에는 북단주의 기압골이 강화되면서 화남의 찬 고기압이 이동성 고기압으로 변질되었고, 이 이동성 고기압이 동진함으로써 우

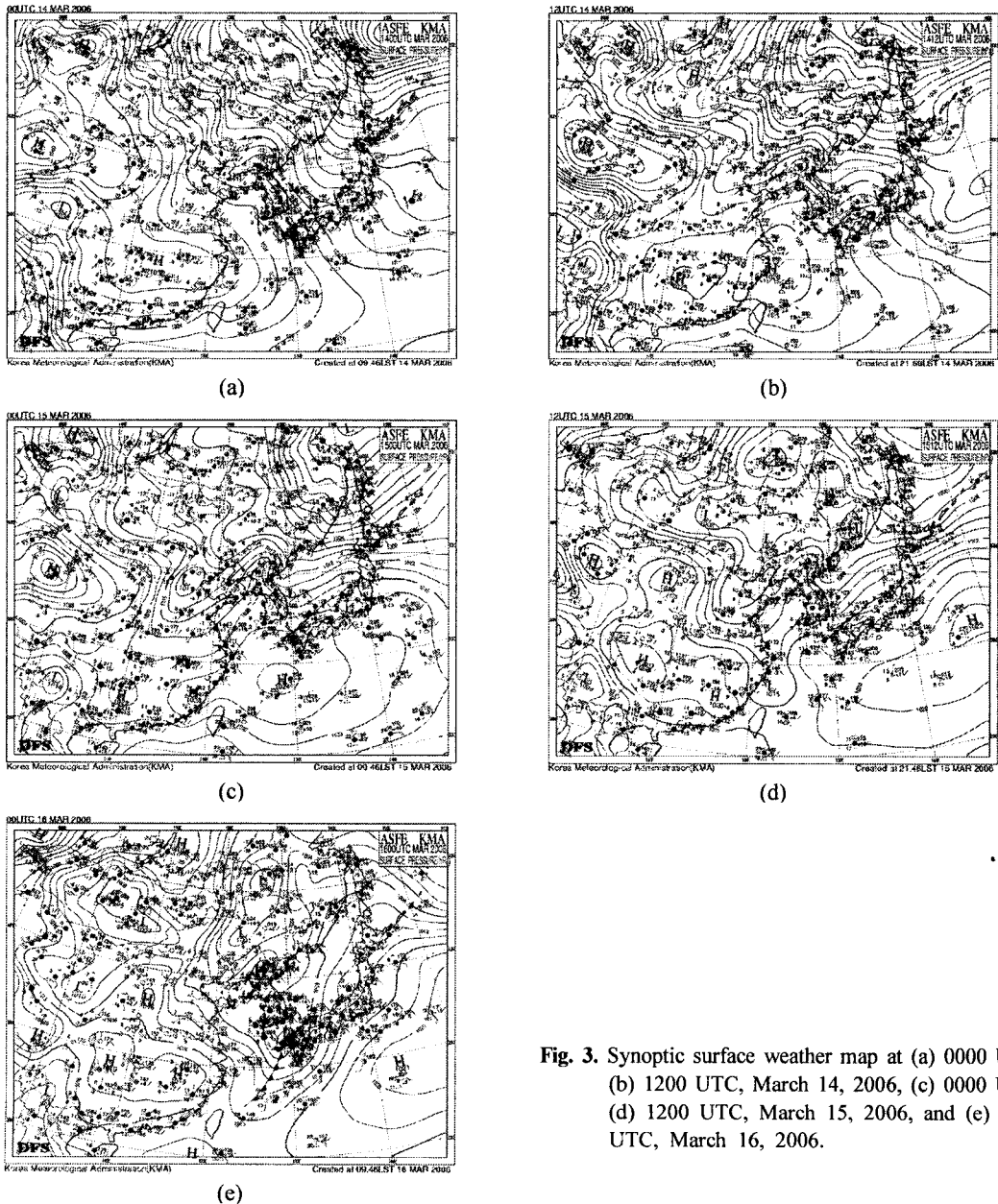


Fig. 3. Synoptic surface weather map at (a) 0000 UTC, (b) 1200 UTC, March 14, 2006, (c) 0000 UTC, (d) 1200 UTC, March 15, 2006, and (e) 0000 UTC, March 16, 2006.

리나라는 대체로 맑은 날이 지속될 수 있었으며, 북서풍내지 남서풍이 우세하였다. 주간에는 약하나 국지풍의 영향을 받겠으며 야간에는 종관바람의 영향으로 다소 강한 바람이 불었음을 알 수 있다(Fig. 3(b) 참조). 15일 0000 UTC에는 북만주의 기압골이 강화되면서 화북지방과 발해만 부근에서 저기압으로 발달하였고 이 저기압의 영향으로 우리나라에 영향을 주고 있던 이동성 고기압은 남쪽 해상으로 남하하였고, 바람은 주간에도 남서풍내지 북서풍이 다소 강하였다(Fig. 3(c) 참조). 1200 UTC에 화북지방의 저기압이 남하함에 따라 우리나라는 전 지역이 저기압 영향권에 들었으며, 16일 0000 UTC에 우리나라 남쪽 해상에 전선을 동반한 저기압으로 발달하여 대구를 포함한 우리나라 전 지역에 비가 내렸음을 알 수 있다.

따라서 3월 14일부터 행해진 봄철 기상관측은 우리나라 봄철에 나타나는 전형적인 날씨 형태로 국지풍이 강한 날은 아니었으며, 짧은 시간동안 약한 국지풍과 강한 종관바람장의 영향을 순차적으로 받게 되었고 기압골의 발달로 강수까지 이어졌음을 알 수 있다.

### 3.2. 부지 기상특성

도로건설에 따른 환경에의 영향을 파악하기 위해서는 사업부지의 정확한 국지 기상현황을 조사하여

야 하며 이를 위해 사업부지내에 AWS를 설치하고 실시간으로 관측된 주요 기상요소 관측 값을 이용, 사업부지에서의 국지 기상 특성을 분석하였다. 관측 및 분석이 행해진 주요 기상요소는 기온, 상대습도, 풍향, 풍속, 일사량이고 분석대상기간은 2006년 3월 14일 1500 LST에서 2006년 3월 16일 0700 LST 까지 3일간이며, 부지에서 관측된 요소를 인근에 있는 대구기상대의 동일시간대 자료와 비교하여 도심과 외곽 산지지역의 국지기상 특성을 살펴보았다.

#### 3.2.1. 기온

Fig. 4는 관측기간 동안에 4지점(대구 기상대 포함)에서 관측된 기온 자료를 시계열로 나타낸 것이다. 그림을 살펴보면 주간에는 기온이 상승하고 야간에는 하강하는 일변화를 잘 나타내고 있으며 새벽 시간대의 기온이 가장 낮아  $-3^{\circ}\text{C}$ 까지 나타났고 낮에는  $14.5^{\circ}\text{C}$ 까지 상승하였으며 15일 2100 LST 이후에는 날씨가 흐려져 더 이상의 뚜렷한 기온 하강은 없었다.

지점별로는 세 관측지점에서의 기온에 비해 대구 기상대에서의 기온이 대체로 높게 나타나고 있으며, 각 지점 야간의 기온차가 주간에 비해 더 큰 폭으로 나타나고 있다. 이와 같은 결과는 AWS가 설치된 지점의 환경적 차이에 의한 것으로 대구 기상대 지점은 대구 시내에 위치하여 도시 인공열의 영향

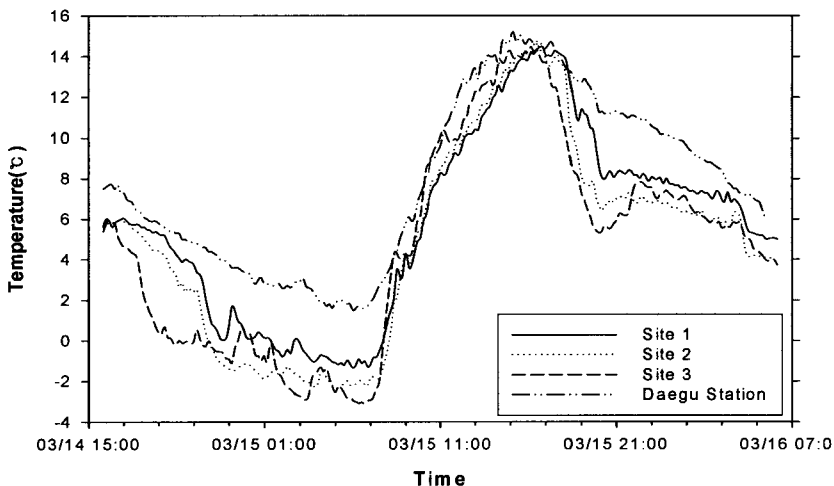


Fig. 4. Time series of air temperature observed each site for the period from 1500LST March 15 to 0700LST March 16, 2006.

이 기온에 반영되어 나타났기 때문이고 다른 세 지점은 산의 계곡이나 산사면의 아래에 위치하여 야간 복사냉각과 산풍의 영향으로 도심과 기온차가 다소 크게 나타난 것으로 생각된다. 또한 시간에 따라 산사면에 나타나는 일사의 차폐효과도 관련이 있을 것으로 생각된다. 15일 오후에 나타난 기온 하강도 기상대에서보다 나머지 지점에서 더 이른 시간에 급격하게 떨어지는 것은 이러한 효과를 잘 반영해주고 있음을 알 수 있다.

동일한 산사면 가운데 계곡 입구에 위치한 site 1 지점에 비해 계곡 중간 저수지인근의 site 2 지점의 기온이 주간에는 높게 야간에는 더 낮게 나타나서 고지대의 지형효과가 잘 반영되고 있음을 알 수 있으며, 반대편 산사면에 있는 site 3 지점에서도 같은 결과를 나타내었다.

따라서 부지의 일 기온 변화는 도심의 영향보다는 산의 효과에 의한 영향이 다소 크게 나타나 도심에 비해 야간과 새벽에는 기온이 더 낮게 나타나고, 주간에는 도심의 영향으로 도심과 유사한 기온분포 특성을 나타내어 상인동 달비골 계곡은 일교차가 비교적 큼을 알 수 있다.

### 3.2.2. 상대습도

Fig. 5는 관측 기간 동안 상대습도의 시계열분포를 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 상대습도의 분포는 기온의 상승과 함께 높아지는 혼합고(뒤

에 제시)로 인해 주간에 비교적 낮게 나타나고(15%) 야간에는 기온하강과 대기안정도 증가로 인해 주간과 반대로 증가(70%)하는 전형적인 일변화를 잘 나타내고 있으며 강수가 있는 시기에는 80% 이상의 높은 상대습도를 나타내었다.

지점별로 살펴보면 기온과 반대로 기상대 지점의 상대습도가 가장 낮게 나타났으며, 나머지 지점의 상대습도 분포도 기온분포에 따라 높고 낮음을 나타내었는데 기온이 낮게 관측된 site 3 지점에서 상대습도는 가장 높게 나타났다. 이는 산의 효과에 의해 더 낮아진 기온에 따라 포화수증기압이 감소하여 상대습도가 높아졌기 때문으로 판단된다.

따라서 부지의 상대습도 역시 산의 효과에 의해 도심에 비해 야간과 새벽에는 습도가 높게 나타났으며 주간에는 도심보다 높거나(site 3) 큰 차이가 없음(site 1, 2)을 알 수 있다. 이는 기온과 같이 주간에는 도시 인공열의 영향을 받아 고지대의 효과가 다소 둔화됨을 나타낸다고 할 수 있다.

### 3.2.3. 일사

Fig. 6은 대구 상인동 site 1과 대구기상대에서 관측되어진 일사량의 시계열 분포를 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 14일 오후에 감소하던 일사는 일몰 후인 1700 LST 무렵에는 0이 되었다가 일출 후인 15일 0630 LST부터 다시 증가하기 시작하여 15일 1240 LST에 최대값(291.2 MJ/m<sup>2</sup>)이 관측되었

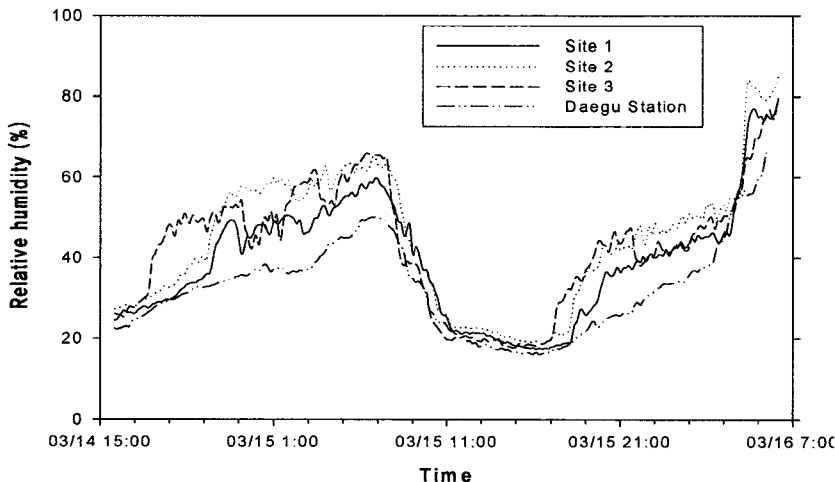


Fig. 5. Time series of relative humidity observed each site for the period from 1500LST March 15 to 0700LST March 16, 2006.

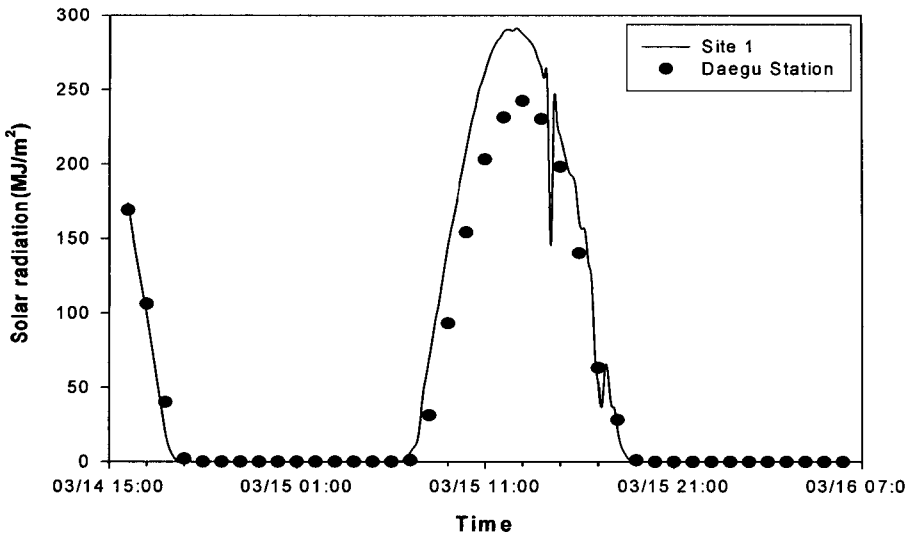


Fig. 6. Time series of solar radiation observed each site for the period from 1500LST March 15 to 0700LST March 16, 2006.

다. 이날 최고기온은 1600 LST경에 14.5℃를 나타내어 최대 일사량과 최고기온이 3시간 이상의 lag 현상을 나타내고 있음을 알 수 있었다.

한편 도심에 있는 대구 기상대의 경우 일 최고 기온이 나타난 시각은 15일 1520 LST로 15.2℃ 이었으며 일사량이 최대(242 MJ/m<sup>2</sup>)로 나타난 시각은 1300 LST 경으로 산사면에 위치한 site 1이 도심에 비해 lag 현상이 다소 길게 나타남을 확인 할 수 있었다.

3.2.4. 바람

관측 기간 동안의 바람장미를 Figs. 7-9에 나타내었다. 풍향은 16방위로 구분하였고 풍속은 보퍼트 풍력 등급에 의한 구분을 참고하여 0(calm)-7등급

까지 8단계로 구분하였다.

site 1과 2는 남동풍에서 동풍사이의 바람이 가장 우세하였으며 서풍과 남서풍의 빈도도 높게 나타났다(Fig. 7 참조). 이에 비해 site 3은 북풍계열의 바람이 다소 우세할 뿐이었으며, 대구 시내에 위치한 기상대 바람은 관측 기간 내내 서풍과 북서풍이 강하게 나타나 종관분석에서도 언급하였듯이 서풍계통의 종관바람이 우세하였음을 알 수 있다. 각 지점별로 지형조건에 따른 산풍의 경우는 site 1, 2의 동풍이 산풍에 해당하며, site 3은 서풍계열이 산풍으로 볼 수 있다.

주간과 야간에 바람이 어떤 형태로 나타나는지를

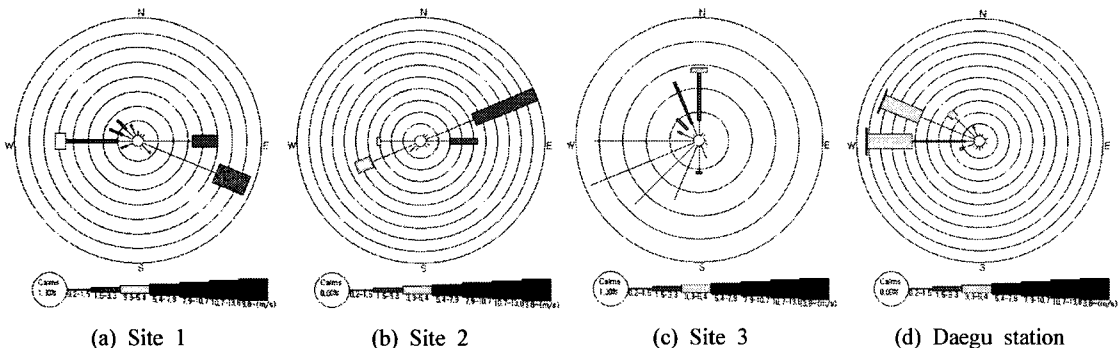


Fig. 7. Windrose at each site for the period from 1500LST March 15 to 0700LST March 16, 2006.



알아보기 위해 주간과 야간의 바람장미를 나타내었다(Fig. 8, 9 참조). 데이터의 구분은 일사가 관측된 시간은 낮으로, 일사가 없었던 시간은 밤으로 하였다.

Fig. 8은 관측 기간내 주간의 바람장미를 나타낸 것이다. site 1과 2 및 대구 기상대 지점에서는 주로 서풍계열의 풍향이 우세한 반면에 site 3에서는 북풍계열의 풍향이 우세하게 나타나고 있다. 이날은 종관 기상장의 영향으로 서풍계열의 풍향이 우세하지만 site 3은 양쪽에 자리 잡은 산에 의해 바람방향이 바뀌어 나타난 것으로 생각된다.

Fig. 9는 야간의 바람장미를 나타낸 것으로 site 1, 2는 주간과 달리 동풍계열의 풍향이 주를 이루며 site 3은 서풍과 남서풍이, 대구기상대 지점은 서풍과 서북서풍이 가장 우세하게 나타났다. 풍속의 경우 site 1과 2의 경우 주간이 야간보다 풍속이 더 강하게 나타났고, site 3의 경우 주·야간 모두 1등급의 빈도수가 많으나 주간에는 우세한 북풍계열이

대체로 강하게 불었다. 대구 기상대 지점은 주·야간 모두 2등급 풍속의 빈도가 가장 많았으며 3등급 풍속도 자주 관측되었다.

따라서 관측 기간 내에 야간과 새벽녘과 같은 일부 기간에는 산곡풍의 영향을 받았다고 할 수 있으나 그 외 기간에는 종관 바람장에 의한 바람이 강하게 나타났으며, 기상대 지점을 제외한 나머지 세 지점에서는 전체적으로 주간이 야간보다 바람이 다소 강하게 부는 경향을 보였는데 이는 주변 지형조건에 의한 풍향이 일반 종관 바람과 겹쳐 다소 강하게 나타났으며 야간에는 종관 바람과 풍향이 반대로 나타나 상쇄되어 줄어들었음을 알 수 있다. 본 관측 기간 동안에는 산곡풍이 강하게 발달한 경우가 아니었으며, 산의 영향으로 도심에 비해 풍속은 약하게 나타났음을 알 수 있다.

Figs. 10, 11은 관측 기간 동안 풍향과 풍속의 시계열분포를 나타낸 것으로 대구시 기상대 지점은

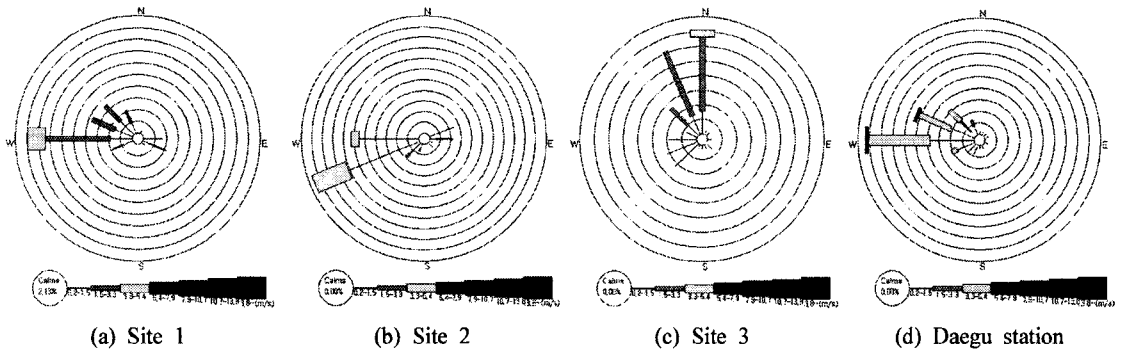


Fig. 8. Windrose each site for the daytime from 1500LST March 15 to 0700LST March 16, 2006.

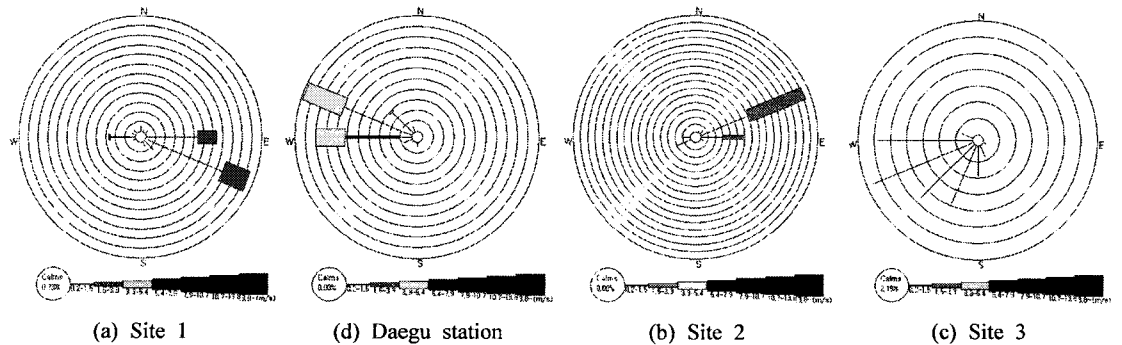


Fig. 9. Windrose each site for the nighttime from 1500LST March 15 to 0700LST March 16, 2006.

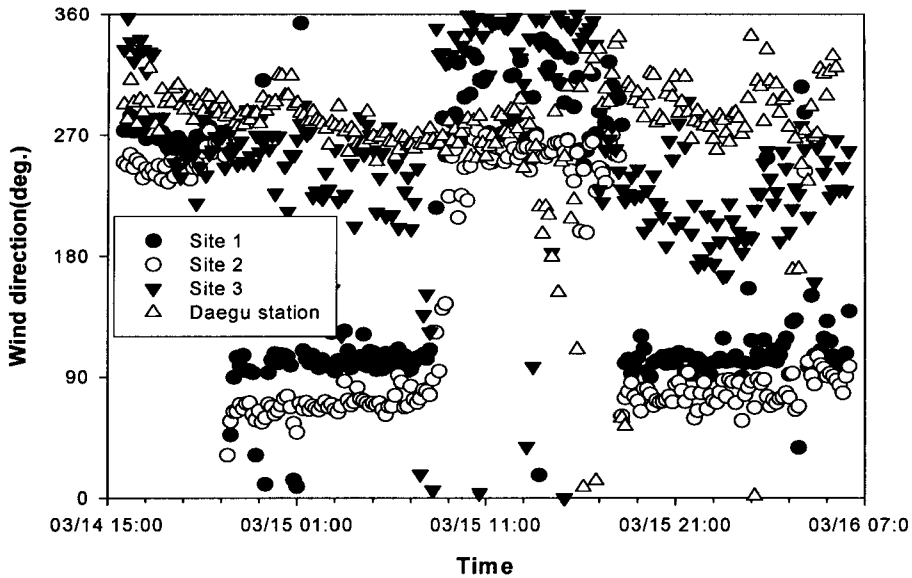


Fig. 10. Time series of wind direction observed each site for the period from 1500LST March 15 to 0700LST March 16, 2006.

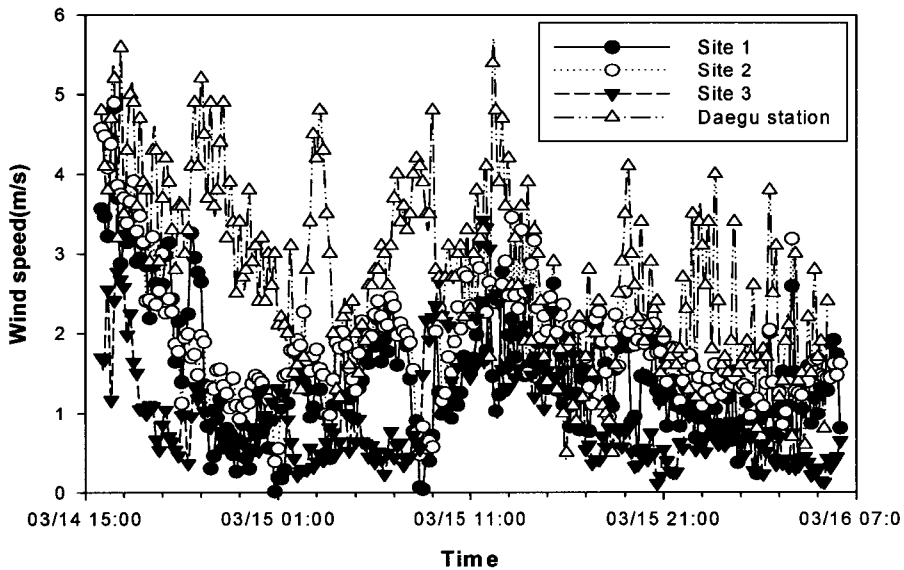


Fig. 11. Time series of wind speed observed each site for the period from 1500LST March 15 to 0700LST March 16, 2006.

관측 기간 내내 중관 바람인 서풍이 우세하게 나타났으나, 계곡에 위치한 site 1과 2는 관측시작 시에는 일반 풍계와 곡풍이 겹쳐 풍속도 다소 높게 나타났으나, 14일 2100 LST 이후 풍속이 약해지면서 15

일 0900 LST까지는 동풍계열의 산풍이 약하게 나타났고, 반대편 산사면에 위치한 site 3은 서풍계열의 산풍이 약하게 나타났다. 15일 주간에는 서풍계열의 일반풍과 약한 곡풍이 합쳐지면서 풍속은 다소

증가하였다. 15일 1800 LST 이후 다시 산풍의 풍계로 바뀌었다.

따라서 본 관측기간동안 부지의 바람은 일반풍의 영향으로 서풍이 우세하게 나타났으나, 야간과 새벽에는 산곡풍 순환에 의한 약한 산풍의 영향을 받는 특성을 나타내고 있다.

### 3.3. 대기 연직 분포

#### 3.3.1. 기온, 상대습도, 온위 및 상당온위의 연직 분포

대구시 상인동 달비골 지역에서의 연직 대기 구조를 살펴보기 위하여 Visalla사의 rawinsonde system을 이용하여 3시간 간격으로 상층대기관측에서 얻어진 기압(hPa), gpm 고도(m), 기온(°C), 상대습도(%), 노점온도(°C), 바람자료를 앞서 제시한 방정식으로 온위와 상당온위를 계산하였다.

Fig. 12(a)-(n)에 기온과 온위, 상당온위, 그리고 상대습도의 4개 변수에 대한 연직 profile을 나타내었는데, 관측을 시작한 3월 14일 1200 LST(Fig. 12(a) 참조)에서 알 수 있듯이 기온과 습도는 고도에 따라 상반된 양상을 보여주고 있으며, 온위와 상당온위의 값은 차이는 있으나, 고도에 따라 증가하는 유사한 형태로 나타내었고, 그 이후 시간대 자료에서도 같은 분포를 보이고 있음을 알 수 있었다.

각 시간대별로 자세히 살펴보면 14일 1600 LST에는 약 1660 m 부근에서 온위와 상당온위는 증가하였으며, 기온과 습도는 감소하는 등 급격한 변화를 나타내어 혼합층의 경계가 명확함을 알 수 있었다. 14일 1800 LST와 2100 LST에도 유사한 분포를 나타내었으며 일몰 후 지표면 복사냉각에 의한 접지역전 현상은 아직 나타나지 않았다. 이는 지상 부근의 바람이 상층의 일반풍과 합류하여 풍속이 강해져 접지역전층을 형성할 수 없었기 때문으로 생각된다.

15일 0300 LST에는 지표 복사냉각의 영향으로 245 m 고도까지 접지역전층이 형성되었다. 0600 LST까지에도 접지역전층이 유지되었으며 전 시각에 비해 약간 고도가 감소한 232 m까지 역전층이 야간 혼합고 역활을 하고 있었다. 15일 0900 LST에는 일출 이후 태양복사에 의한 지표가열로 접지역전층이 해소되었고 지면가열에 의해 혼합층이 246 m까지 발달한 것을 볼 수 있다. 15일 1200 LST에는

1259 m 까지 혼합층 고도가 높아졌으며, 15일 1500 LST에는 혼합층 고도가 1896 m로 가장 높게 나타났다. 이는 일출이후 지속적인 지면가열에 의한 것으로 생각된다.

15일 1800 LST의 연직분포는 일몰에 가까워지면서 14일 오후와 달리 지표면에 접지역전층이 형성되기 시작하여 혼합층 성장을 억제 하였으며, 그 높이는 305 m로 제한되어 나타났다. 2100 LST 분포에서는 전 시간대에 비해 역전층의 고도가 다소 낮아져 220 m 정도로 나타났으나 지표부근을 포함한 대기 하층에서의 기온은 지속적으로 낮아진 것을 알 수 있다. 2300 LST에서도 역전층은 비슷하게 유지되고 있으나 상층에 상대습도가 급격히 증가하여 온난전선을 동반한 저기압이 다가오고 있음을 알 수 있었고 14일과 같이 차가운 산풍의 발달이 지속될 수 없었다. 이후 16일 0600 LST와 0900 LST에서도 상대습도는 전 층이 높게 나타났다.

따라서 상인동 달비골 계곡의 대기 연직구조는 상부 혼합층 고도 부근에서 기온과 상대습도 및 온위, 상당온위가 급격히 변화하였으며, Table 2에 제시하였듯이 최대 1896 m의 혼합층을 형성하였고 야간에는 역전층이 245 m까지 나타났는데, 이는 지표역전과 야간에 형성된 산풍에 의해 발생하였으며, 15일 1800 LST에 나타난 접지역전은 복사냉각에 의한 것으로 상인동 달비골의 지점은 복사냉각과 차가운 산풍에 의해 역전층이 형성되는 특성을 나타내었다.

#### 3.3.2. 고도별 풍향 및 풍속의 변화

대구시 상인동 달비골에서 이루어진 상층기상관측은 모두 14회 이루어졌으며 각 시간대별 상층 바람벡터와 지상부근의 바람장을 자세히 살펴보기 위한 지상 500 m이내의 바람벡터를 각각 Fig. 13과 14에 나타내었다.

3월 14일 1200 LST에는 400 m까지의 하층대기에는 남서풍내지 서풍의 바람이 주로 형성된 반면 상층으로 갈수록 북서풍 계열로 변화하였으며 2000 m 상공에서는 20 m/s 이상의 강한 북서풍이 관측되었다. 하층대기에서 불고 있는 남서풍내지 서풍은 이 지역에 형성되는 국지순환인 곡풍의 방향과 일치하여 곡풍의 존재를 확인할 수 있었으며, 15일 0300 LST까지도 지상을 제외한 상층에는 북서풍이 우세

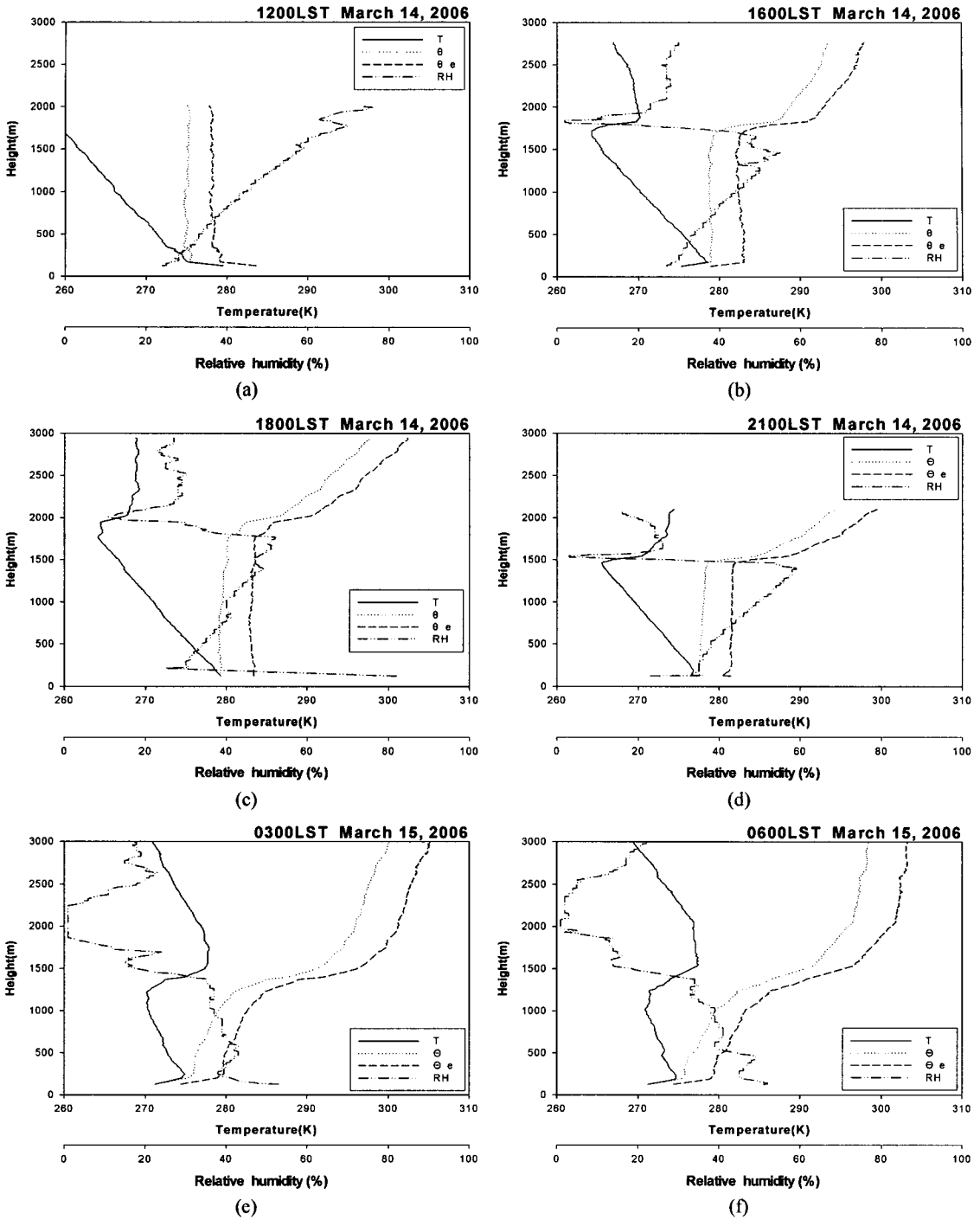


Fig. 12. The vertical profiles of air temperature, relative humidity, potential temperature and equivalent potential temperature during observation period.

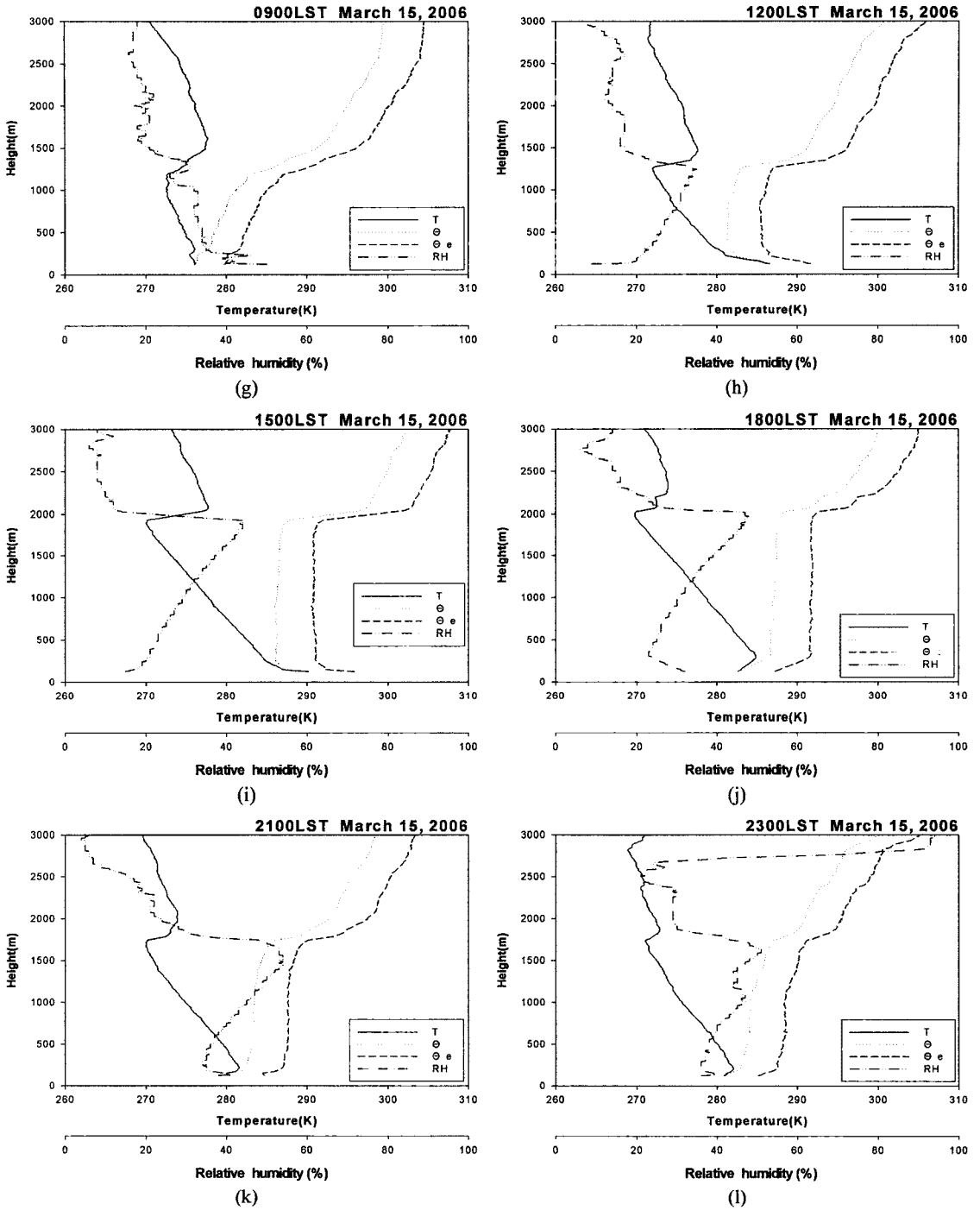


Fig. 12. (Continued)

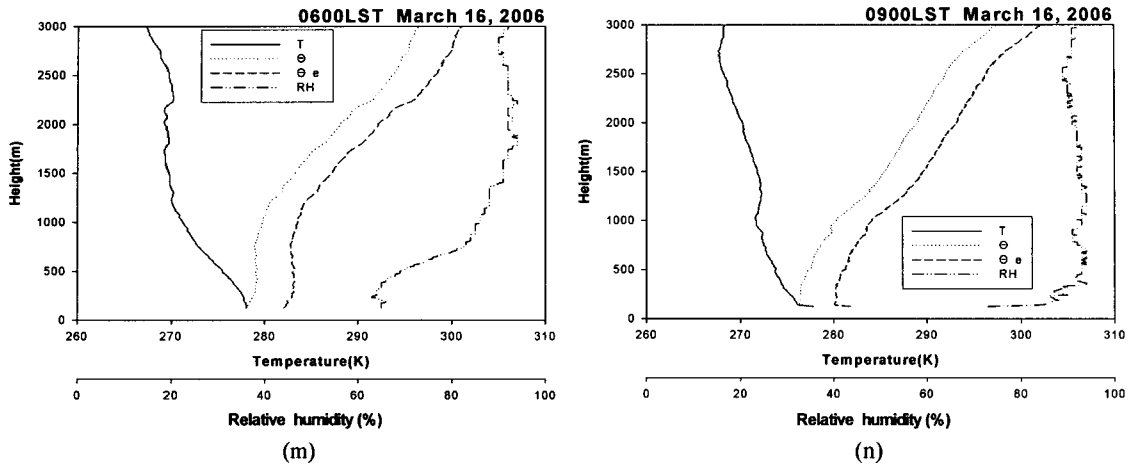


Fig. 12. (Continued)

Table 2. Daily variation of maximum mixing depth at Sangin-dong during observation period

Observation time	Maximum mixing depth(m)	
March 14, 2006	1200LST	1768
	1600LST	1661
	1800LST	1748
	2100LST	1441
March 15, 2006	0300LST	245
	0600LST	232
	0900LST	246
	1200LST	1259
	1500LST	1896
	1800LST	305
March 16, 2006	2100LST	220
	2300LST	227
	0600LST	229
	0900LST	138

하게 나타나 일반풍도 강하게 나타났음을 알 수 있다.

15일 0600 LST에서는 하층에 동풍계열로 풍계가 바뀌면서 산풍이 부는 것을 확인할 수 있었으며 지상 150-200 m고도까지 동풍계열의 바람이 나타났다. 이러한 현상은 15일 0900 LST까지 지속되었으며 그 이후에는 지상과 상층이 모두 풍향이 바뀌면서 산풍의 순환은 끝이 나고 일반 풍계와 같은 서풍이 다시 강하게 나타났다.

15일 2100 LST이후에는 전날에 비해 산풍이 빨리 나타나 지상 150 m부근까지 산풍인 동풍이 존재하였으며 그 이상의 고도에서는 서풍계열의 바람이 우세하였다. 16일 0600 LST에는 고도에 따른 풍계가 북동풍에서 북풍, 북서풍으로 바뀌는 반전(Backing) 현상이 나타나 저기압의 영향하에 들었음을 나타내고 있다.

따라서 대구시 상인동 달비골 계곡의 상층 바람장은 전형적인 산곡풍 순환을 나타내는 사례는 아니었으나, 관측 기간내의 주간에는 곡풍인 서풍이 종관바람인 서풍과 합류하여 다소 강하게 나타났으며, 야간에는 200 m이내의 고도에서 산풍인 약한 동풍이 새벽까지 지속되어 아침 지상기온을 최저로 떨어뜨리는 등 영향을 주어 선행연구에서 지적하였듯이<sup>3,4)</sup> 하계가 아닌 봄철에도 고도 150-200 m이내에 산곡풍의 영향이 나타나고 있음을 알 수 있었다.

#### 4. 결 론

대구시 상인-범물간 도로공사로 인한 대기환경영향평가를 위해 산을 사이에 두고 양쪽 계곡에 위치한 상인동과 파동지역에 봄철 기상환경과 연직 대기구조를 살펴보고자 하였다. 이를 위하여 상인동에 두 지점, 파동에 한 개 지점을 선정하여 자동기상 관측을 실시하였으며, 상인동 지점에서는 raw-sonde system을 이용하여 연직 대기구조를 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

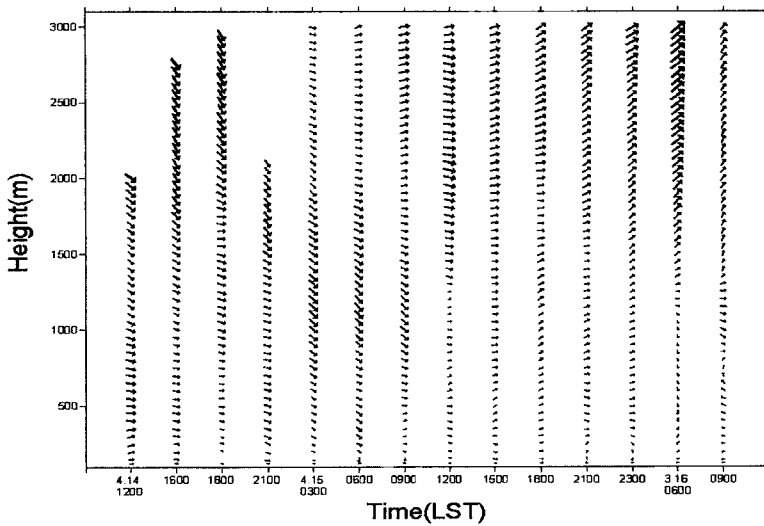


Fig. 13. Distribution of wind vector at each height in Sangin-dong site.

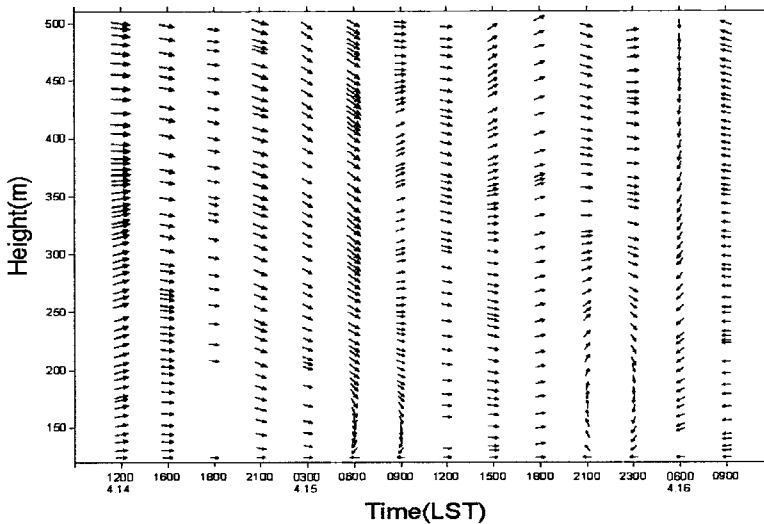


Fig. 14. Distribution of wind vector at height under 500 gpm in Sangin-dong site.

1) 기상관측일은 시베리아의 차가운 고기압이 남하하여 절리된 이동성 고기압의 영향으로 맑고 일중 서풍이 우세하였으나 북만주에서 발달한 저기압의 영향으로 관측 마지막 날에 비가 내리는 우리나라 봄철에 나타나는 전형적인 날씨 형태로 국지풍이 강한 날은 아니었으며, 짧은 시간동안 약한 국지풍과 강한 종관바람장의 영향을 순차적으로 받는다.

2) 상인동 지점의 부지기상특성은 도심의 영향보

다 산에 의한 영향이 다소 크게 나타나 도심에 비해 야간과 새벽에 기온이 더 낮고, 주간에는 도심의 영향으로 도심과 유사한 기온분포를 나타내었으며, 상대습도 역시 도심에 비해 야간과 새벽에 높게 나타났으며 주간에는 도심과 유사한 분포를 나타내었다. 일사량은 도심에 비해 많았으며, 일 최고 기온이 나타나는 시각이 도심에 비해 다소 늦어지는 특성을 나타내었다.

3) 관측기간 내 종관 바람은 서풍이었으나, 주간

에는 곡풍인 서풍이 일반풍과 합류되어 야간보다 다소 강하였으며, 야간과 새벽녘에는 종관바람과 관계없이 산풍의 영향을 받아 기온이 낮아지는 등 지형적인 영향이 크게 나타났다.

4) 상인동 달비골 지역의 대기 연직구조는 상부 혼합층 고도 부근에서 기온과 상대습도 및 온위, 상당온위가 급격히 변화하였으며, 혼합층은 최대 1896 m까지 형성되었고 야간에는 복사냉각과 차가운 산풍에 의해 역전층이 형성되었다.

### 감사의 글

이 연구는 기상청 기상지진기술개발사업(CATER 2006-3303)의 지원으로 수행되었습니다.

### 참고 문헌

- 1) 건설교통부, 2004, 도로현황조사.
- 2) 김정옥, 2003, 민자고속도로 건설추진과 수도권 환경보전, 우리나라 도로정책의 문제점과 개선방향

국민토론회, 도로환경포럼.

- 3) 구현숙, 김해동, 2004, 대구지역의 국지순환풍의 환기경로 및 대기오염수송에 관한 수치모의, 한국지구과학회지, 25(6), 418-427.
- 4) 구현숙, 권병혁, 김해동, 2007, 대구 앞산 달비골의 국지풍 특성에 관한 관측적 연구, 한국환경과학회지, 16(1), 73-79.
- 5) 서울시, 2000, 서울시 기상특성을 고려한 도시계획기법 연구, 275pp.
- 6) 엄정희, 2000, 도시녹지계획을 위한 바람통로 활용방법 연구: 용인시를 대상으로, 석사학위논문, 환경대학원, 서울대학교, 서울.
- 7) 日本環境省 Heat Island 對策手法調査檢討委員會, 2001, 平成 12年度 Heat Island 對策手法に 關する 調査檢討報告書, 230pp.
- 8) Ichinose T., 1999, The climate analysis of Germany - Climate analysis for urban plan, Tenki, 46, 709-715.0.
- 9) 박종길, 이화운, 김유근, 이순환, 1997, 김해지방의 지표경계층내의 열수지 및 안정도 변화에 관한 연구, 한국대기보전학회지, 13(2), 103-113.
- 10) 강태진, 2000, 제주지역에서 관측된 고층기상자료를 활용한 대기혼합고 산정에 관한 연구, 석사학위논문, 산업대학원, 제주대학교, 제주.