

## 분지내의 야간 접지역전층 변화와 관련된 기상요소에 대한 연구

진 병 화\* · 황 수 진  
\*남산고등학교 · 부산대학교 지구과학교육과  
(1998년 2월 10일 접수)

### Relations Between the Nocturnal Inversion Layer and Some Meteorological Elements in the Basin

Byong-Hwa Jin\* and Soo-Jin Hwang  
\*Namsan High School, Pusan 609-340, Korea  
Dept. of Earth Science Education, Pusan National Univ., Pusan 609-735, Korea  
(Manuscript received 10 February 1998)

Meteorological measurements were carried out in the basin of Cheong-Kwan located Yang-San near Pusan city, from Oct. 30 to Nov. 1, 1988. According to the measured data, we verified the close relationship between the variation of nocturnal inversion layer and the meteorological elements. The nocturnal inversion layer by radiative cooling in this site extends up to 130 meters or so. And the nocturnal jet appears just above or at the top of the inversion layer, and the stronger of the prevailing wind blows, and the lower of the jet level appears. Some meteorological features such as heating, cooling etc., began to change in or in the slightly higher level of the inversion layer, when they are formed, reinforced and disappeared. And the air in the basin preserves its character because it is not affected by local scale air flow.

Key words : Nocturnal inversion layer, nocturnal jet, local climate

#### 1. 서 론

산골짜기나 분지에서는 야간에 복사냉각이 활발하여 냉기류, 냉기호, 접지역전층, 온난대 등이 형성된다. 분지 내에서 접지역전층으로 인한 냉기류 생성에 관해서는 Cross(1950), Geiger(1965), Coulman(1978 a, b) 등이 연구한 바 있으며, 산곡 내의 기상 요소의 특성을 관측을 통하여 연구한 것으로는 Thompson(1967), Horst와 Doran(1986), White와 Mckee(1978 a, b) 등이 있다.

산지가 많은 우리나라에는 그만큼 분지가 많기 때문에 복사냉각과 기류의 정체로 인하여 국지적 냉해 및 오염이 심하게 발생할 가능성이 있는 곳이 많다. 뿐만 아니라 분지 내의 국지풍은 경 항공기의 저고도 비행에 필수적으로 고려해야할 기상 요소이므로 이에 대한 관측과 연구도 매우 중요하다.

분지 내에서의 기상 요소의 변화는 국지성이 강하므로 여러 지역에서 관측 등을 통한 연구가 수행되어야 한다. 우리나라의 분지 내의 기상에 관한 연구는 아직 초보 단계에 있다고 본다. 분지 내의 접지역전층에 관련된 연구는 황수진(1989)의 야간 접지역전층의 시간 변화, 오윤택(1992)의 합천군 적중면 분지 지역에서의 접지역전층의 시간 변화, 임상진 등(1996)의 금정산 풍하측 저고도 강풍 현상에 관한 관측 등이 있고, 전병일 등

(1996)은 고리에서 해양의 영향으로 인한 역전층 파괴의 시간 지연 현상에 대해서 관측한 바 있다.

이 들의 연구는 접지역전층의 시간 변화와 이에 수반된 기상 요소의 변화를 포괄적으로 설명하고 있다. 그러나 역전층 고도 및 강도의 시간 변화에 수반된 기상 요소의 수직적인 변동, 냉기류의 생성과 야간 제트와의 관계에 대해서는 보고하지 않고 있다.

본 연구는 부산 근교의 정관 분지의 야간 접지역전층의 고도 변화 및 이와 관련된 기상 요소들의 수직적 변화를 관측을 통하여 분석함으로써 산업 시설의 입지 조건 선정, 농작물 냉해 방지, 저고도 비행 등에 도움을 주고자 한다.

#### 2. 관측 및 연구 방법

본 연구는 1988년 10월 30일부터 11월 1일까지 경상남도 양산군 정관면 내의 정관초등학교 운동장(해발 50 m)에서 관측한 자료를 이용하였다. Fig. 1에서 나타낸 바와 같이 관측 장소는 동서 방향으로 골짜기가 형성되어 있으며, 고도가 500 m 내외의 산들이 둘러싸인 분지 지형을 이루고 있다. 관측은 미국 Atmospheric Instrument Research Co.의 Tethersonde와 ADAS-3B형을 사용하였다. 관측 요소는 고도에 따른 기압, 건구 온도, 습구 온도, 풍향, 풍속 등이다. 총 19회를 관측하였

Table 1. Running contents of tethersonde system

run No.	date	running time (LST)	duration (min.)	measured elements
1	Oct. 31 1988	18:46-18:57	11	pressure, dry-bulb
2	Oct. 31 1988	22:49-23:03	14	temperature, wet-bulb
3	Nov. 1 1988	01:15-01:28	13	temperature, wind
4	Nov. 1 1988	05:15-05:25	10	direction, wind speed
5	Nov. 1 1988	08:12-08:21	9	

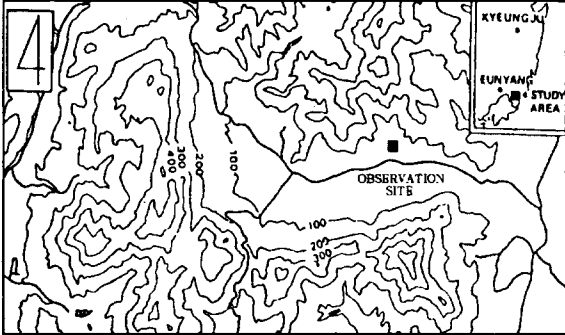


Fig. 1. Geographical map around the observation site.

으나 본 연구에 사용된 것은 안정된 관측이 행하여진 10월 31일에서 11월 1일 사이 야간의 5회 관측 자료이다(Table 1). 정관 분지 내의 공기 성질을 파악하기 위한 상대습도, 절대습도는 관측한 건구온도, 습구온도를 다음 (1) ~ (5) 식에 대입하여 구하였다(Atmospheric Instrument Research Co., 1986).

$$e_w = 6.1078 \exp[17.265 T_w / (237.3 + T_w)] \quad (1)$$

$$D_p = T_D - T_w \quad (2)$$

$$e_s = 6.1078 \exp[17.265 T_D / (237.3 + T_D)] \quad (3)$$

$$e = e_w + [(-0.00066 - 7.59 \times 10^{-7} T_w) p D_p] \quad (4)$$

$$RH = 100 (e / e_s) \quad (5)$$

여기서  $e_w$ 는 습구온도에서의 포화수증기압이며,  $T_D, T_w, D_p$ 는 각각 건구온도, 습구온도, 포차,  $e, e_s, p, RH$ 는 각각 수증기압, 포화수증기압, 기압, 상대습도이다. 혼합비( $w$ ), 포화혼합비( $w_s$ ), 공기의 밀도는 각각 다음과 같이 구할 수 있다.

$$w_s = 0.622 e_s / p \quad (6)$$

$$w = w_s RH \quad (7)$$

$$\rho = 0.34838 \times (\rho / T_s) \quad (8)$$

여기서  $T_s$ 는 가온도 항이며 혼합비 항으로 표현된다. 그리고 운위( $\theta$ )와 절대습도( $e_A$ )는 각각 다음과 같이 구하였다.

$$\theta = T (p_0 / p)^{0.286} \quad (9)$$

$$w = 622 \times e / (p - 0.378 \times e) \quad (10)$$

$$e_A = \rho \times w \quad (11)$$

(9) 식에서  $p_0$ 는 1,000 hPa이다.

3. 관측 결과 분석

기상 요소의 관측은 tethersonde를 상승 또는 하강시

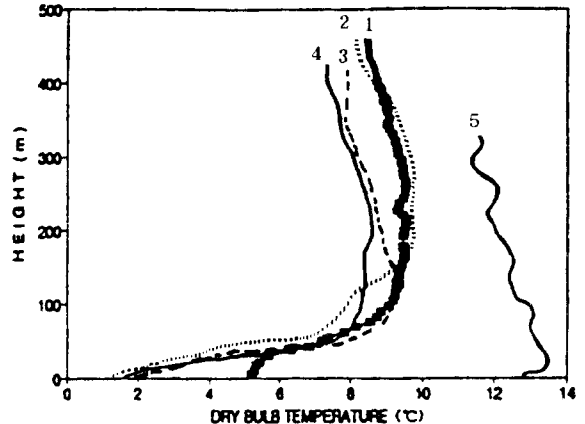


Fig. 2. Variation of dry-bulb temperature profiles for five runs, from Oct. 31 to Nov. 1, 1988.

키면서 관측하기 때문에 특정 고도에서의 관측치는 얻을 수 없고, 관측되는 고도는 항상 가변적이다. 먼저 관측한 그대로의 건구온도, 풍향, 풍속을 분석하였고, 다음으로 관측치를 이용하여 계산한 상대습도, 절대습도, 운위를 분석하였다.

3.1 건구온도

Fig. 2에서 보는 바와 같이 1차 관측에서 100 m까지  $0.45 \times 10^{-2} \text{ } ^\circ\text{C m}^{-1}$ 의 큰 기온 증가를 보인 가운데 역전층이 형성되었다. 100 m에서 260 m 고도까지는 거의 등온층을 보이다가 그 이상 고도에서는  $-0.054 \times 10^{-2} \text{ } ^\circ\text{C m}^{-1}$ 로 적게 감소하였다. 2차 관측에서는 접지역전층이 130 m로 약간 더 깊어졌고, 온도도  $0.53 \times 10^{-2} \text{ } ^\circ\text{C m}^{-1}$ 로 더 크게 증가하였다. 130 m에서 300 m 고도까지는 거의 등온층을 보이고 그 이상 고도에서는  $-0.054 \times 10^{-2} \text{ } ^\circ\text{C m}^{-1}$ 로 1차 관측과 같은 비율로 감소하였다. 심야인 3차 관측에서는 접지역전층이 다시 100 m로 두께는 약간 더 얇아졌지만, 기온 증가율은  $0.75 \times 10^{-2} \text{ } ^\circ\text{C m}^{-1}$ 로 더 강화되었다. 그리고 등온층이 아주 얇아진 가운데 420 m 고도까지는  $-0.04 \times 10^{-2} \text{ } ^\circ\text{C m}^{-1}$ 로 가장 적게 감소하였다. 4차 관측에서는 접지역전층이 다시 70 m로 더 낮아진 반면, 기온 증가율이 3차보다 약간 더 증가되었다. 70 m에서 240 m까지는 거의 등온 구조를 보이고 그 이상 고도에서 감소하는 경향을 보였다. 일출 이후인 5차 관측에서는 접지역전층이 완전히 소산되고 불안정한 구조를 보였다.

따라서 일몰 후에서 다음날 일출 전까지 접지역전층의 높이는 100 - 130 - 100 - 70 m로 증가 후 감소하지만 역전의 강도는 더 강해지고, 등온층 고도는 260 -

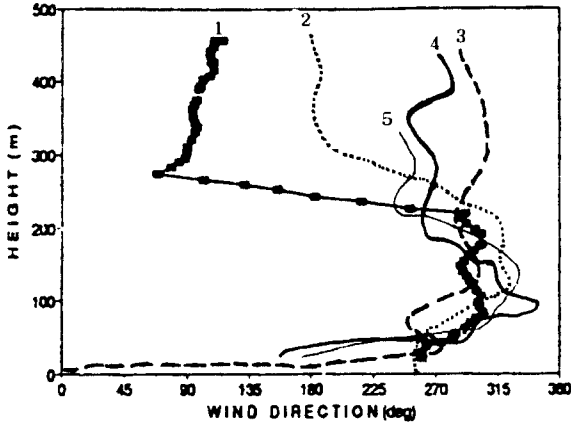


Fig. 3. Same as Fig. 2, but for wind directions.

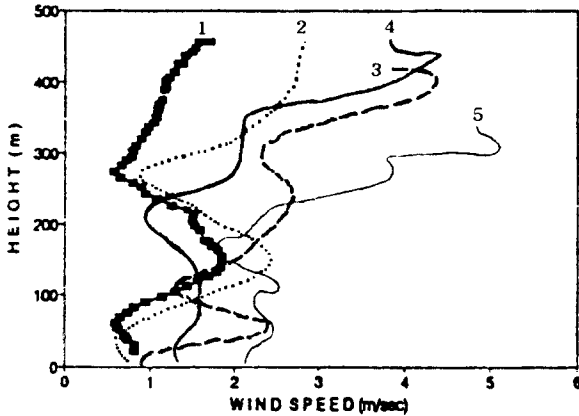


Fig. 4. Same as Fig. 2, but for wind speeds.

300 - (100) - 240 m로 변화하여 역전층 고도 변화와 그 상부 등온층의 두께 변화는 거의 비례 관계에 있다. 오윤택(1992)이 적중 분지에서 하계에 관측한 것과 비교해 보면 시간 경과에 따른 역전층의 고도 변화 경향은 일치하지만 그 고도는 본 연구의 정관 분지가 더 낮게 나타났다.

### 3.2 풍향 및 풍속

Fig. 3과 Fig. 4는 각각 시간별 풍향 및 풍속 변화를 나타낸 것이다. 1차 관측에서 지표에서 고도가 높아질수록 풍향이 시계방향 변화(veering) - 풍향 일정(constant) - 반시계방향 변화(backing) - veering으로 변화하였고, 최대 풍속은 역전층 고도 100 m보다 조금 높은 130 m에서 나타나 풍향이 Ekman 나선 방향으로 나타나는 최대 고도와 역전층 고도가 일치하였다. 2차 관측에서는 저고도에서 veering이 더 뚜렷한 가운데 1차 관측 결과와 유사하였다. 최대 풍속은 역전층 고도 최상부인 130 m 부근에서 1차 관측보다 증가된 2.4 m s<sup>-1</sup>를 기록하였다. 3차 관측에서 풍향 변화는 약간의 변동이 있지만 지표에서 100 m 부근까지 veering으로 나타났고, 그 이상에서 일정하였다. 4차 관측에서 풍향은 130 m까지는 veering, 그 이상 250 m 고도까지는 backing 내지는 일정하게 유지되었다. 저고도 풍속은

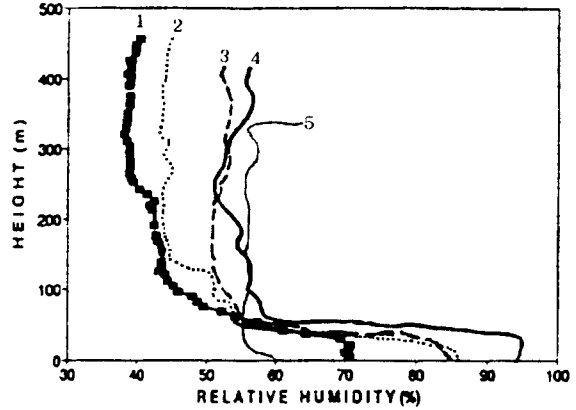


Fig. 5. Same as Fig. 2, but for relative humidities.

작게 나타났고, 400 m 이상의 고도에서 3차 관측과 마찬가지로 강풍이 나타났다. 5차 관측에서는 지표 부근의 풍속은 이전 시간보다 증가되었지만 야간 제트(nocturnal jet)가 나타나지 않았다. 이것은 일출 이후 수직적 난류 혼합의 결과로 해석된다. 최저 풍속은 170 m 고도에서 나타났으며 상층의 일반풍은 가장 강하게 나타났다. 풍향은 150 m 정도까지는 veering, 200 m까지는 backing이 나타났다.

이상의 결과에서 상층의 일반풍이 강할수록 야간 제트가 역전층 고도 부근에서 강하게 나타나는 경향이 있으며, 최대풍은 역전층 고도와 대체로 일치하였다. 그리고 풍향 변화가 veering이 나타나는 최대 고도에서 최대 풍속이 나타남을 알 수 있었다. 오윤택(1992)의 관측에서는 풍향 변화가 뚜렷하게 나타나지 않았고, 임상진 등(1996)이 금정산 풍하측에서 지표면 부근의 풍향이 기본적으로 관측된 것에 비하면 정관의 풍향 변화는 매우 특이하다.

### 3.3 상대습도

Fig. 5는 상대습도 변화를 나타낸 것이다. 1차에서 4차 관측까지는 모두 역전층 고도 이상에서 시간 경과에 따라 상대습도가 40 ~ 60 %의 범위에서 거의 일정하게 유지되고 있는데 반하여 역전층 내에서는 시간이 지날수록 상대습도가 증가하였다. 이것은 밤이 깊어지고, 지표에 가까울수록 복사 냉각이 더 심하기 때문에 나타나는 결과이다. 그러나 5차 관측에서는 상대습도가 56 % 정도에서 수직적으로 거의 일정한 분포를 보이는데, 이것은 일사에 의하여 연직 혼합이 발생했기 때문이다.

### 3.4 절대습도

Fig. 6에 제시한 바와 같이 정관 분지에서 절대습도의 연직 구조는 세 층으로 구분되었다. 즉 상부에서 하부로 내려올수록 절대습도가 거의 일정한 층, 급격히 증가하는 층, 약간 감소하는 층으로 나누어진다. 1차 관측에서 4차 관측으로 갈수록 130 m, 50 m, 70 m, 70 m 이하의 고도에서 절대습도가 급격히 증가하였으며, 절대습도가 최대인 각 고도에서 지표로 내려오면 약간 감소하

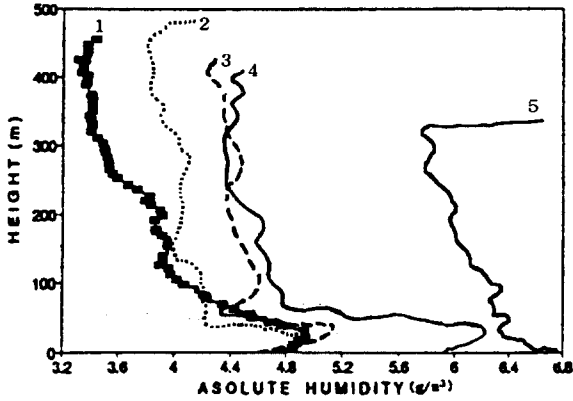


Fig. 6. Same as Fig. 2, but for absolute humidities.

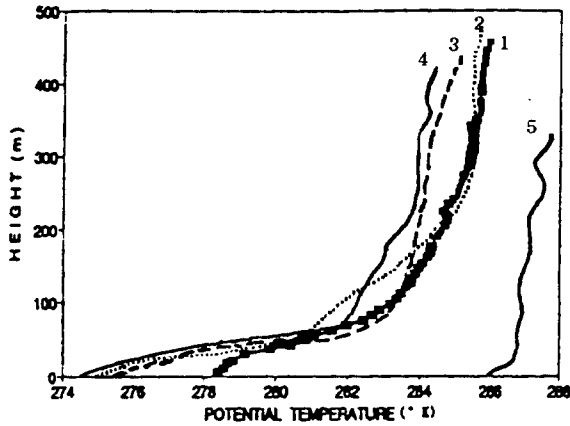


Fig. 7. Same as Fig. 2, but for potential temperatures.

여 4.96g m<sup>-3</sup> ~ 6.3g m<sup>-3</sup>의 범위를 유지하였다. 그러나 5차 관측에서는 연직 혼합으로 인하여 5.8g m<sup>-3</sup> ~ 6.75g m<sup>-3</sup>의 범위 내에 있었다.

### 3.5 은 위

온위는 Fig. 7에 제시한 바와 같이 지표에서 상층으로 갈수록 강한 안정, 약한 안정, 중립의 경향을 나타내었다. 1차에서 4차 관측까지의 강한 안정층은 지표에서 100 m, 130 m, 100 m, 70 m까지로 각각 나타나 건구온도의 역전층 고도와 일치하였다. 약한 안정층은 각각 270 m, 300 m, 400 m, 370 m까지 나타나며, 그 이상은 모두 중립 상태를 보였다. 그러나 5차 관측치는 전층이 바람과 일사에 의한 연직 혼합의 영향으로 거의 중립 상태를 나타내었다.

### 4. 고정 고도의 기상 요소 변화

매 회의 관측마다 관측치가 얻어지는 고도가 다르다. 즉 고정 고도에서의 기상 요소 변화는 관측되지 않는다. 고정된 고도에서의 기상 요소의 시간 변화량을 구하기 위하여 자료를 재처리하였다. 먼저 관측치를 Surfer-Grid와 Grapher Program을 이용하여 고도에 따른 관측치를 최적 다항식을 구하고, 지표에서 500 m 고도까

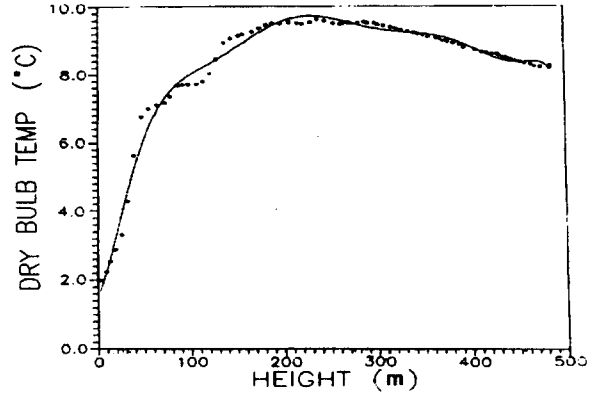


Fig. 8. Best fit line using surfer and grapher program.

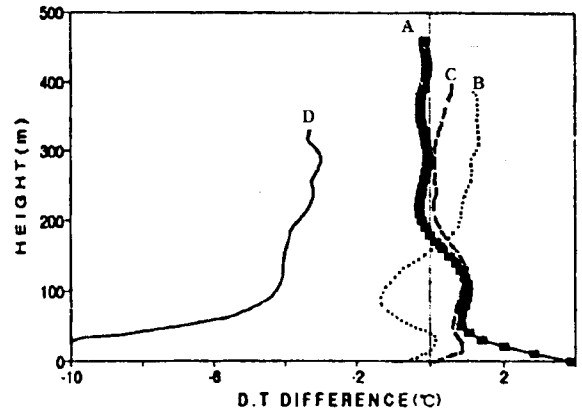


Fig. 9. Time variation of difference of dry-bulb temperature profile. (A: first value minus second value, B: second value minus third value, C: third value minus fourth value, D: fourth value minus fifth value)

지 10 m 간격으로 분할하여 계산하면 각 고도에서의 건구온도, 온위, 상대습도, 절대습도, 풍향, 풍속을 구할 수 있다. Fig. 8은 고도별 건구온도의 최적선을 예로 나타낸 것이다. 두 번째로 시간 별 역전층 두께의 변화와 기상 요소 변화의 관련성을 알아보기 위하여 건구온도, 온위, 상대습도, 절대습도를 전 회의 관측치에서 다음 회의 관측치를 뺀 차를 이용하여 조사하였다.

### 4.1 건구온도

Fig. 9는 건구온도의 시간 변화를 나타낸 것이다. A는 1차 관측 자료에서 2차 자료를 뺀 차이이다. 175 m 이상 고도에서 작은양의 가열이 있지만, 175 m 이하 고도에서는 냉각이 시작된 상태에 있다. 역전층 고도가 두꺼워지는 100 m에서 130 m 고도에서는 냉각 상태가 약 1°C 정도로 일정하지만 지표에 가까운 50 m 이하에서는 급격한 냉각이 있었음을 알 수 있다. 2차 자료와 3차 자료 사이의 차이인 B는 고도 150 m 이상에서는 0.5~1.5°C 정도의 범위에서 냉각되지만 150 m 이하에서는 가열이 있었고, 역전층 고도인 100 m 부근에서 -1.5°C

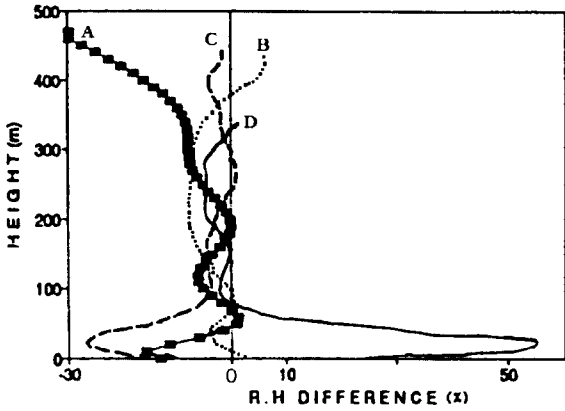


Fig. 10. Same as Fig. 9, but for relative humidity.

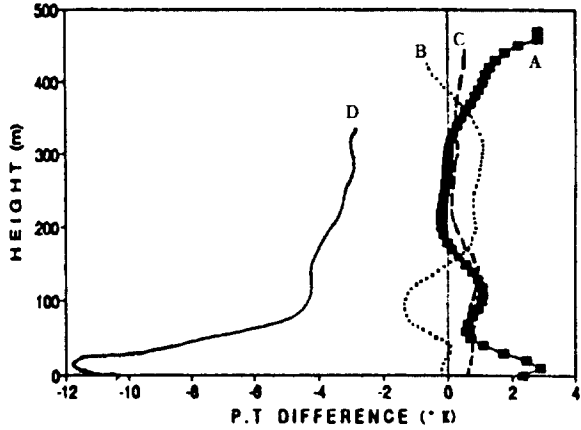


Fig. 12. Same as Fig. 9, but for potential temperature.

근까지 상대습도가 크게 증가하였다.

#### 4.3 절대습도

절대습도는 단위부피의 공기 중의 수증기량을 나타내므로 절대습도의 변화를 분석하면 수증기의 유입이나 유출을 알 수 있다. A에서 역전층 고도인 100 m 이상 고도에서는 전체적으로는 증가하지만 50 m 이하로 내려올수록 감소하였다. B에서는 전체적으로는 증가하였지만 역전층 고도인 130 m 이하에서 지표로 내려올수록 절대습도는 역시 감소하였다. C에서는 역전층이 낮아지기 시작하는 100 m 이하에서 크게 증가하다가 지표에서 증가량이 작았다. D에서는 전반적인 증가량은 많지만 100 m에서 지표로 올수록 증가량이 급격히 작아졌다. 따라서 역전층 고도 이상에서는 절대습도의 변화량이 많아 국지 규모보다 더 큰 흐름이 있음을 알 수 있고, 역전층 이하에서는 절대습도의 변화량이 작은 것으로 보아 분지 내의 공기는 비교적 보존됨을 알 수 있다.

#### 4.4 온 위

공기의 보존성을 알아보기 위하여 시간별 온위 변화량을 조사하였다. A에서 170 m 이상 고도에서는 변화량이 거의 없었지만 그 이하 고도에서는 냉각이 있었고, 역전층 고도가 변화하는 100 m에서는 변화량이 1°C로 일정하게 나타났으며 지표로 내려올수록 냉각이 커졌다. B에서 150 m 이상 고도에서는 냉각이, 그 이하에서는 가열이 있었다. 역전층이 낮아진 100 m에서 -1.5°C로 최대 가열이 있었다. C에서는 200 m 이상에서는 변화가 거의 없었으나, 그 이하에서는 평균 1°C 정도의 냉각이 있었다. D에서는 역시 전체적으로 가열되었고, 100 m 이하 고도에서 가열량이 특히 증가하였다. 따라서 일출로 인하여 역전층이 파괴되는 단계에서는 전 시간의 역전층 고도인 100 m 이하에서 가열량이 많았는데 이것은 냉각이 컸음을 의미한다.

#### 5. 결 론

1988년 10월 30일부터 11월 1일까지 분지 지형인

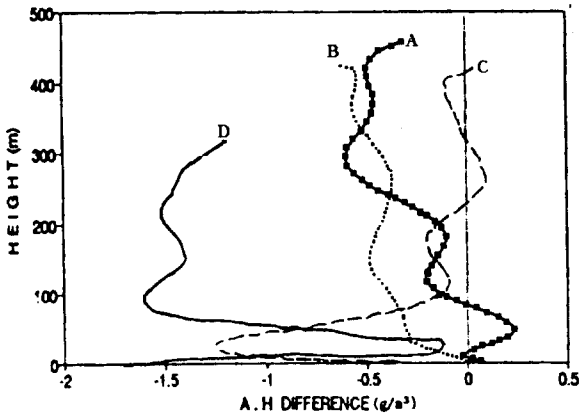


Fig. 11. Same as Fig. 9, but for absolute humidity.

로 최대 가열이 있었다. C에서 200 m 이상 고도에는 변화량이 거의 없었으나 200 m 이하 고도에서 1°C 내외의 냉각이 있었다. D에서는 전체적으로 가열이 발생하였는데, 특히 지표 부근에서 가열량이 큰 것은 5차 관측시 일사에 의한 가열 때문이다. 이상에서 보면 역전층이 변화하는 고도에서 최대 냉각 내지는 최대 가열이 있음을 알 수 있다.

#### 4.2 상대습도

Fig. 10은 상대습도의 변화량을 나타낸 것이다. A에서 전반적으로 증가하였으며 역전층 고도가 높아지는 100~130 m에서는 변화량이 -5 %로 거의 일정한 반면 지표로 내려올수록 복사 냉각으로 인하여 급격히 증가하였다. 이것은 건구온도가 급격히 낮아지는 것과 잘 일치한다. B에서는 전반적으로 증가하는 가운데, 150~350 m 사이에 변화량이 -7 % 정도로 균일하게 나타났지만, 역전층 고도가 낮아지기 이전인 100 m에서 최소 변화가 있었다. C에서는 전반적으로 증가하였지만 역전층이 100 m에서 70 m로 낮아짐에 따라 낮아지기 전 고도인 100 m 이하에서 급격히 증가하였다. 그리고 D에서는 80 m 이상 고도에서는 여전히 증가하지만 그 이하에서는 지표의 가열로 인하여 급격히 감소하였다. 따라서 밤이 깊어질수록 역전층 고도 이하에서 지표 부

경상남도 양산군 정관면 내의 정관초등학교 운동장에서 야간 관측한 자료를 이용하여 야간 접지역전층과 관련된 기상요소의 변화를 분석하였다. 정관 분지의 야간 접지역전층은 최대 130 m 고도까지 생성되었으며 역전층 고도에서 지표로 내려올수록 냉각률 및 가열률이 컸다. 야간 제트는 역전층 고도 부근의 veering이 나타나는 최대 고도에서 나타났으며 일반풍이 강할 때에는 풍속이 다소 증가한 가운데 그 고도는 다소 낮아졌다. 야간 접지역전층이 생성, 강화, 소멸될 때, 가열과 냉각은 역전층 고도의 약간 상부 내지는 역전층 고도에서 시작되었다. 역전층 고도 이상에서는 일반풍의 영향을 받지만 그 이하 분지의 공기는 보존되었다.

## 참 고 문 헌

- 오윤택, 1992, 합천군 적중 지역의 접지역전층에 관한 연구, 부산대학교 교육학석사 학위논문, 50pp.
- 임상진, 서광수, 진병화, 김해동, 황수진, 1996, 금정산 풍하측 저고도의 강풍 현상, 한국환경과학회지, 5(6), 713-718.
- 전병일, 김유근, 이화운, 황수진, 1997, 해풍효과에 의한 저층대기구조 변화의 특성, 한국환경과학회지, 5(4), 441-451.
- 황수진, 1989, 산곡 내의 야간 접지역전층의 생성, 소멸에 관한 연구, 부산대학교 자연과학논문집, 48, 161-197.
- Atmospheric Instrumentation Research Inc., 1986, Atmospheric Data Acquisition System(ADAS) Model AIR-3A, -3B, -3C Operation and Technical Research Manual, G-2 - G-4.
- Coulman C. E., 1978a, Boundary-layer evolution and nocturnal inversion dispersal(Part I), Boundary Layer Met., 4, 471-491.
- Coulman C. E., 1978b, Boundary-layer evolution and nocturnal inversion dispersal(Part II), Boundary Layer Met., 14, 493-513.
- Cross, C. M., 1950, Slope and Valley Wind in the Columbia River Valley, Bulletin American Meteorological Society, 31, 79-85.
- Geiger, R., 1965, The Climate near the ground, Harvard Univ. Press, New York, 549pp.
- Horst, T. W., J. C. Doran, 1986, Nocturnal drainage flow on simple slope, Boundary Layer Met., 34, 263-286.
- Thompson, A. H., 1967, Surface temperature inversion in canyon, J. of Applied Met. 6, 287-296.
- Whiteman C. D., T. B. Mckee, 1982, Breakup of temperature inversions in deep mountain valleys(Part II: Thermodynamic model), J. of Applied Met. 21, 290-300.