

김해에서 관측한 접지역전층의 특성에 관한 연구

박 종 길 · 원 경 미

인제대학교 환경학과
(1994년 5월 30일 접수)

A Study on the Characteristics of Inversion Layer Observed at Kimhae

Jong-Kil Park and Gyeong-Mee Won

*Dept. of Environmental Sciences, College of Natural Science,
Inje University, Kimhae 621-749, Korea
(Manuscript received 30 May 1994)*

Abstract

The field observation was carried out to investigate the characteristics of surface inversion layer at Kimhae using the feild observed data and upper layer meteorological data during 4-5 February 1993.

The results of the study can be summarized as follows :

The maximum height of surface inversion layer observed at Kimhae is 194m and the height of upper level inversion layer ranges from 200m to 300m. The surface weather elements was influenced the formation of surface inversion layer.

According to the pasquill stability and time variation of temperature with height, both the surface heating from insolation and the disturbance of upper level of inversion layer was influenced the disappearance of inversion layer. And the stability of surface temperature inversion layer generally belongs to the class of F, that of upper level temperature inversion layer commonly to the class of E.

Key Words : surface inversion layer, inversion intensity, pasquill stability, surface heating, disturbance

1. 서 론

역전층에 관한 연구는 하층 대기의 상태를 파악 함으로서 대기 오염물질의 분산 및 수송과 전달과 정을 알아보기 위한 것이다. 일주일에 4000여명의 사망자를 초래한 London Smog는 전세계에 적지

않은 충격을 주었으며(Bonacica, 1953), 그 원인은 다량의 대기 오염물질의 배출과 기온 역전층의 형성으로 오염물질의 확산을 저지하였기 때문이다. 이로써 기온 역전층은 대기 오염물질의 확산을 저지하는 중요한 기상학적 요소임이 지적되었다. 특히 고연돌에서 오염물질이 접지역전층내에 배

출되었을 경우, 지상부근의 오염물질의 농도에는 직접적으로 영향을 미치지 않으나, 일출 이후 일사에 의한 지표의 가열로 역전층이 파괴되면서 공중에 농축되었던 오염물질이 지상으로 침강하면서 지표부근에 고농도 오염을 유발하게 된다. 기온 역전층은 그와 같은 점에서 상당히 중요하며 그에 대한 지식은 산업입지의 선정, 도시계획의 정책이나 대기환경영향평가를 준비함에 있어 매우 유용하다(중앙기상대, 1981; 문승의 외, 1984; Lui, 1990).

역전층에 관한 최초의 연구로는 Hosler(1961)가 미국내에서 하층(167m이하)의 접지역전층의 발생빈도를 각 계절별로 조사하여 기상학적 특징에 따라 7개의 권으로 분류하였고, Yoshino(1968)는 일본내에서 발생하는 야간 접지역전층의 특성을 조사하기도 하였다. 또한 Kawamoto와 Ishizaka(1968)는 극동 지역의 radiosonde 자료를 사용하여 접지역전의 평균고도를 추론하였으나 사용된 자료의 양은 적었다.

역전의 계절적 변화에 관한 연구도 많았는데, Honda와 Fujita(1986)는 동지나 해상의 9년치 radiosonde 자료를 사용하여 700~900mb사이에 발생하는 공중 역전층을 조사하여 그 통계적인 특성을 밝혔으며, 800~900mb사이의 역전층 발생빈도는 10월에서 이듬해 4월동안 거의 변화가 없고, 역전층의 기온감률(-1.0~2.0°C/100m)도 계절적인 변화가 없다고 지적하였다. 그의 역전층의 계절성에 관한 연구로는 Gutnick(1958), Hastenath(1966), Morgan과 Borenstein(1977), Katsoulis *et al.*(1988) 등이 연구한 바 있다.

역전층의 형성 mechanism과 구조에 관한 연구로는鈴木(1977)가 역전의 발달과정과 일몰이후의 역전의 전형적인 구조를 나타내었으며, Kondo *et al.*(1978)은 대기중에서 난류가 탁월해지는 임계 Richardson수가 0.1~0.4 범위에 있는 것을 나타내었고, 그것을 경계로 접지역전층의 성격이 달라진다고 하였다. Yorisaki *et al.*(1982)은 한후기 기상 관측탑에서 관측한 접지역전층의 특성에서 역전강도의 변화와 풍속 및 정미복사와의 관계를 고찰하여 임계풍속 3 m/s 이상에서는 강한 접지역전층의 출현빈도가 감소하고, 풍속이 작은 경우 역전

의 강도와 정미복사는 상관이 큼을 밝혔으며 甲斐(1983)는 강한 접지역전층의 형성시 기온과 풍속의 파동현상이 탁월하다고 하였다. 또한 Garret and Physick(1985)은 호주의 내륙 관측지점에서 야간에 해풍이 도달하여 역전층이 생성되었음을 나타내고 있다. 이와같이 접지역전층은 지표의 복사냉각과 해풍과 같은 중력파의 유입 등 다양한 mechanism을 갖고 있다.

그러나 우리나라의 경우 역전층을 이용한 남한 중부지역의 저공층 대기의 확산능을 조사(김성삼, 1967)하거나, 중앙기상대(1981)가 공업단지 조성시 오염물질의 확산 과정을 예측하기 위해 아산만 등지를 대상으로 저공층의 연직방향 기온분포를 조사한 적이 있으며, 황수진(1989)이 Tethersonde를 사용하여 양산 정관지방의 접지역전층의 생성과 소멸에 관한 연구가 있을 뿐, 공단조성에 의한 접지역전층의 오염물질의 거동이나 역전층의 영향, 지역에 따라 다양한 mechanism을 갖고 있는 접지역전층의 형성요인에 대해 체계적인 연구가 거의 없는 실정이다.

따라서 본 연구는 최근 신홍 주택지와 공업단지가 형성되고 있는 김해지방의 안동과 삼방동 일대의 대기 경계층의 특성을 장기적으로 관측 조사함으로써, 공단이 조성된 후의 대기 오염물질의 확산에 중요한 요소가 될 기온 역전층의 구조 및 특성과 비교할 수 있는 기초자료와 기후변화 모델에 제시할 자료를 생산하고자 한다.

2. 관측개요 및 연구방법

2.1 관측개요

김해지방의 동계 접지역전층의 특성을 파악하기 위하여 경상남도 김해시 삼방동 삼방국민학교(35°15'40"N, 128°54'20"E, 해발 29.3m)에서 1993년 2월 3일부터 5일까지 지상 및 상층관측을 실시하였는데, Fig.1에서 보듯이 관측 장소는 북동쪽으로 해발 630m 고도의 신어산과 북서쪽은 고도 323m의 분성산이 있고, 남동으로는 380m의 돛대산으로 둘러싸인 조그만 분지상태이며 남서쪽으로 안동공

단과 낙동강이 자리하고 있어, 낮동안 공단에서 배출되어진 오염물질들이 해풍의 영향으로 분지내에 갇혀 있다가 밤이 되면 접지역전층에 의해 더욱 정체되어져 심각한 대기오염현상을 유발할 수 있는 곳이라 볼 수 있다.

관측기기는 미국 Atmospheric Instrument Research Co.에서 개발한 ADAS-3B (Atmospheric Data Analysis System-3B)형과 tethersonde-3A형을 사용하여 상층 대기환경(기압, 풍향, 풍속, 건습구 온도, 상대습도)을 관측하였고, 지상은 Campbell Scientific, Inc.의 CR10을 이용한 Data Logger System으로 지상에서의 각종 기상요소(기온, 상대습도, 풍향, 풍속, 일사, 지면온도)를 측정·기록하고 상층 자료와 함께 IBM-PC에 연결하여 분석하였다.

관측 기간은 지상의 경우 1993년 2월 3일 오후 2시 50분에서 5일 오전 10시까지 10분간격으로 연속 관측을 실시하였고, 상층은 4일 오전 7시 30분

에서 5일 오전 9시 50분까지 28회의 상승 또는 하강하면서 관측을 실시하였다. 비교분석에 사용된 관측 기간은 지상과 상층자료가 중복되는 기간으로 하였다.

2.2 연구방법

접지역전층의 시간에 따른 변화특성을 알아보기 위하여 관측한 tethersonde의 자료는 Table 1과 같으며 상승과 하강의 회수가 각각 14회로 모두 28회 였다. 그리고 비양시간은 대체로 10여분으로 동일 시간대의 자료로 보아도 무방할 것으로 생각되어 비양 시작 시간대의 값으로 처리하였으며, 역전층고도 H를 아래 두 조건중 어느 하나를 만족하는 최저고도로서 정의하였다(Kondo *et al.*, 1991).

(조건1) 처음으로 $T_{i+1} - T_i \leq 0$ 되는 최저고도

(조건2) 처음으로

$$\frac{T_{i+1} - T_i}{Z_{i+1} - Z_i} \leq 0.02 \text{ } ^\circ\text{C/m,}$$

$$\frac{(T_{i+1}-T_i) - (T_i-T_{i-1})}{1/2((Z_{i+1}-Z_i) - (Z_i-Z_{i-1}))} \leq -0.03 \text{ } ^\circ\text{C/m}$$

되는 최저고도

여기서 첨자 i 는 고도를 나타낸다(i 값이 증가할 수록 상층고도이다). (조건1)은 완만하게 온도구배가 변할 경우의 판정조건이며, (조건2)는 어느 고도에서 온도구배가 급변할 경우의 판정조건이다.

역전층의 강도와 기온역전층을 비교하기 위해 30m 간격으로 일정하게 11개층(L1 - L11)으로 나누어 자료를 추출하여 비교·분석하였다.

3. 관측결과 및 토의

3.1 지상 기상요소

지상 관측은 관측일의 접지역전의 특성을 알아보기 위하여 하루전인 2월 3일 14시 50분 부터 관측을 시작하여 5일 10시까지 관측하였으며 각 기

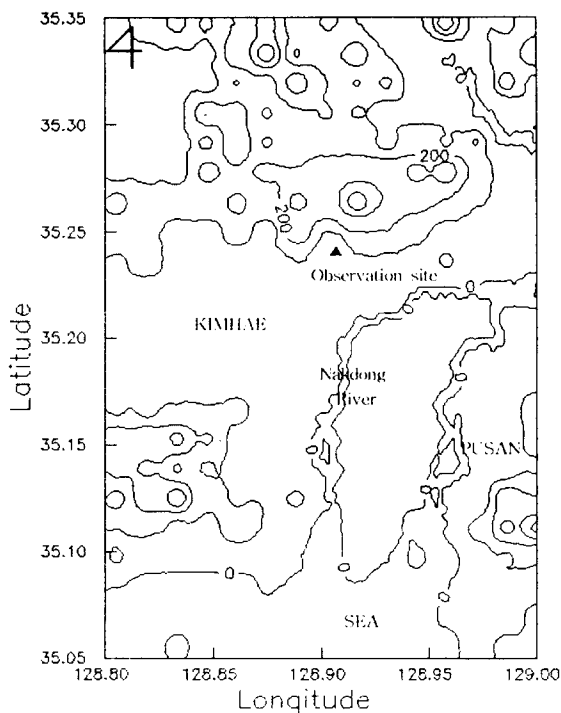


Fig. 1. Geographical map around the observation site.

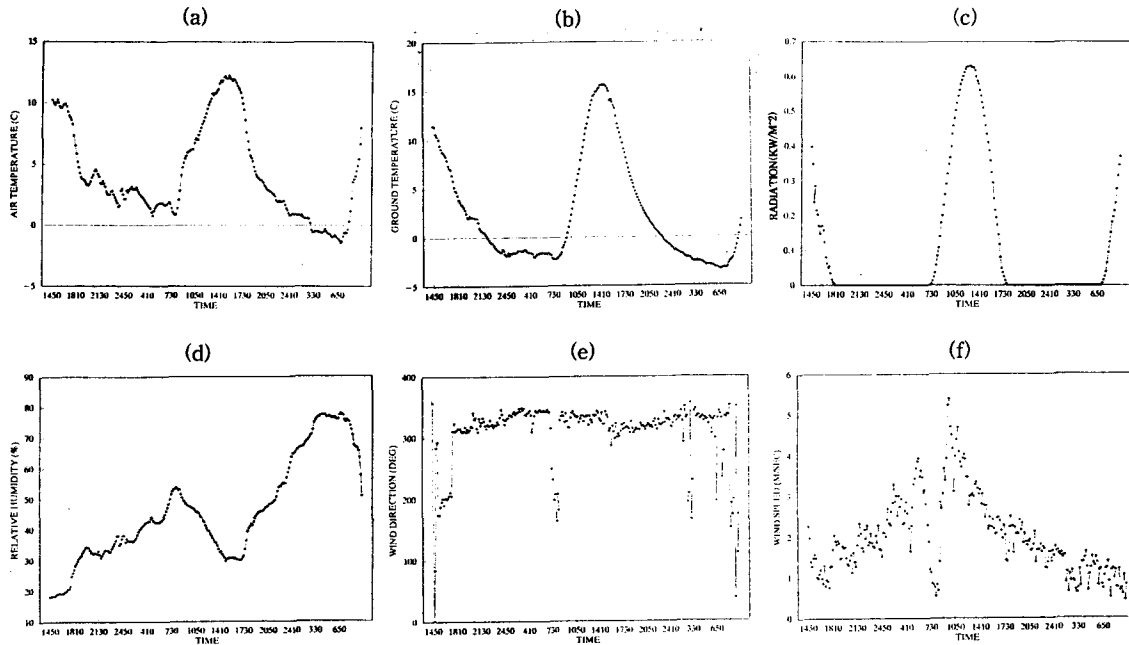


Fig. 2. Variation of the (a) air temperature, (b) ground temperature, (c) radiation, (d) relative humidity, (e) wind direction, and (f) wind speed for 3-5 February, 1993

상요소는 Fig.2와 같다.

기온은 2월 4일 15시 30분에 12.07°C로 최고기온을 나타내었으나, 그 이후 복사냉각에 의해 급격히 감소함으로써 역전층 형성에 기여하였으며, 2월 5일 최저기온은 7시 10분에 -1.46°C로 야간 복사냉각에 의해 전날보다 더욱 낮았으나, 일출(7시 19분)이후 급격히 증가하여 기온역전층이 해소될 수 있었다.

지면온도는 대체로 기온과 비슷한 양상을 보였으나, 4일 14시 40분에 최고온도 15.62°C로 관측되었으며, 최저온도는 5일 7시에 -3.36°C였다. 따라서 지온의 최고온도는 기온보다 50분 빨리 나타났고, 최저온도는 기온보다 10분전에 나타나 시간 지연현상이 최고기온에 이르는 시간보다 짧아졌다.

그리고 지면에 도달하는 일사량도 기온·지온과 비슷한 분포를 나타내었으며, 2월 4일 12시 50분에 0.632KW/m²로 가장 크게 나타나 최고기온에 이르는 시간보다 2시간 40분이나 빨랐으며, 2월 5일 7시 30분 이후에 양의 값을 가져 일출시

간과 조금 차이가 있었다. 이는 분지로 둘러싸인 지형의 영향으로 생각된다.

상대습도는 기온분포와 반대양상을 나타내었으며, 접지역전의 형성시기인 일몰시각에 급격히 증가하였고, 일출전인 7시에는 78%로 가장 높게 관측되었다. 그리고 이날 8시 40분까지는 70%이상의 높은 습도가 접지층에 존재했으며 그 이후 급격히 하강하였다.

관측일의 바람은 4일 16시에서 다음날 02시까지는 NW풍이 우세하였고, 풍속은 2월 4일 10시에 최대 5.4m/s였다. 그 이후 감소하여 2.5~1.5m/s로 약하게 불었다. 2월 5일 새벽 3시경에 풍향 변화가 있었으나 NW 계열이 우세하였고, 8시 50분이후 0.5~1.0m/s의 약한 SW~SE풍으로 전환되어 기온역전층 해소에 영향을 주었다.

따라서 지상에서 관측한 각종 기상요소는 기온역전층의 생성과 소멸에 영향을 줄 수 있었다고 생각된다.

Table 1. Ascending and Descending Time

Run No.	Time	Interval	Run No.	Time	Interval
U010730	1993.2.4.0730-0750	20 min	D082112	2112-2124	12 min
D010750	0750-0810	20	U092400	2.5.0000-0008	8
U020910	0910-0920	10	D092408	0008-0016	8
D020920	0920-0930	10	U100300	0300-0312	12
U031200	1200-1220	20	D100312	0312-0324	12
D031220	1220-1240	20	U110500	0500-0512	12
U041500	1500-1510	10	D110512	0512-0524	12
D041510	1510-1520	10	U120610	0610-0626	16
U051600	1600-1610	10	D120626	0626-0642	16
D051610	1610-1620	10	U130700	0700-0712	12
U061700	1700-1712	12	D130712	0712-0724	12
D061712	1712-1724	12	U140900	0900-0910	10
D071811	1811-1822	11	U150935	0935-0950	15
U082100	2100-2112	12	D150950	0950-1005	15

3.2 기온 역전층의 구조 및 특징

3.2.1 기온의 수직분포

기온의 수직분포는 Fig.3에 기온역전층이 형성되어지는 시간대(Fig.3a)인 16시, 17시, 18시 11분과 역전층이 형성되어 지속되는 시간대(Fig.3b)인 21시, 24시, 3시 및 소멸되는 시간대(Fig.3c)인 5시, 7시, 9시, 9시 50분으로 나타내었다. 기온역전층이 형성되어지는 시간대의 변화를 보면, 16시와 17시 사이에는 거의 기온차가 없고 낮동안 활발하던 대류의 영향이 남아 대류혼합층의 발달이 지속되고 있으나, 18시 11분에는 안정층이 뚜렷해지면서 158m까지 역전층이 형성되었다. 역전층고도 이후로는 낮시간의 대류의 영향이 다소 남아 등온이 거나 고도에 따라 불안정한 분포를 보이고 있다.

기온역전층이 형성되어 지속되는 시간대(Fig.3b)에서는 지표부근의 온도가 점차로 내려가고 있고 전형적인 기온역전층의 형태를 잘 보여주고 있다. 각 시간별로는 기온역전층의 변화경향을 보면, 21시경에 178m까지 역전층고도가 확장되었고, 222m와 309m사이에는 기온이 0.22℃/100m로 증가하는 상부안정층이 나타났다. 24시에는 전층에 걸쳐 기온이 전시간에 비해 다소 감소하였으며, 기온역전층의 하부 고도는 140m로 다소 낮아졌고 기온은 2.93℃/100m로 증가하였다. 그리고 그 상부는 약

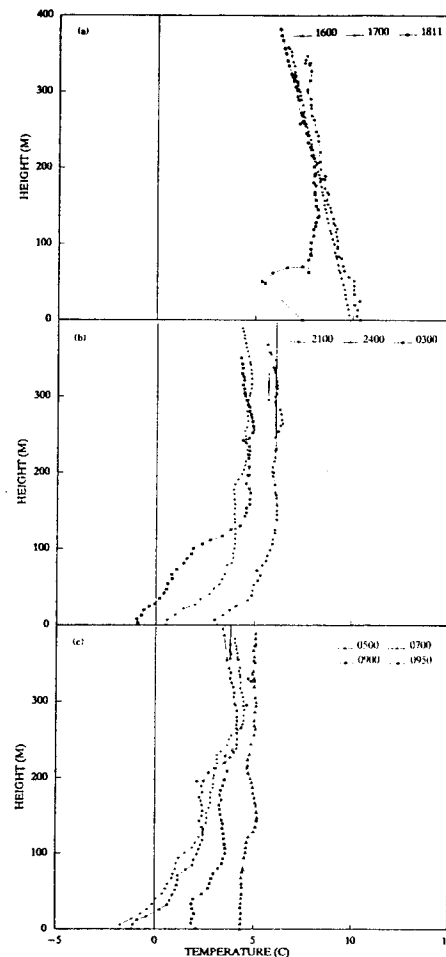


Fig. 3. The profiles of air temperature at each run.

간 불안정하였으며, 198m에서 344m까지는 $0.61^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 씩 증가하는 강한 상부역전층이 존재하였다. 이는 21시 이후 상층의 차가운 공기의 유입에 의한 상부역전층으로 볼 수 있다. 5일 3시 자료에서는 194m까지 기온역전층이 확장되어 가장 높게 나타났으며, 기온도 $3.26^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 로 증가하는 강한 안정을 나타내었다. 그리고 상부역전층의 하부고도는 명확하지 않았으나 277m까지 안정층이 나타났다.

한편 기온역전층이 소멸되는 시간대(Fig.3(c))에서는 5시에 상부역전층이 뚜렷하게 나타나고 있으며 기온역전층의 고도는 전 시간대보다 낮아져 152m가 되었다. 7시경에는 두 역전층의 구분없이 309m까지 안정하게 나타났으며 기온은 $2.18^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 로 증가하였다. 9시에는 일사로 가열된 지표면의 복사에 의하여 54m까지는 역전층이 해소되어 불안정해졌으며 상부고도 120~184m에도 안정층이 파괴되면서 두 역전층이 다시 구분되었다. 9시 50분에는 접지 및 이류역전이 모두 해소되어 대체적으로 전층에서는 대류가 활발해짐을 알 수 있다.

따라서 관측기간 동안 김해지방은 기온역전층이 새벽 3시에 194m로 가장 높았으며 일사에 의한 지표면의 가열에 의해 해소되었으며, 차가운 공기의 이류에 의해 상부에 형성된 역전층은 대체로 200~300m정도였으며, 차츰 중립 내지 불안정층으로 바뀌면서 역전층이 해소되는 특징을 나타내었다.

3.2.2 바람의 수직분포

Fig.4는 풍향·풍속을 고도 10m단위로 330m까지 추출하여 도시한 것으로 대류가 활발한 주간에는 NW풍 계열이 우세하게 나타났으며, 1993년 2월 4일 17시 10분에는 상하층 모두 $4\text{m}/\text{sec}$ 전후의 바람이 불었으나, 역전이 형성되었던 21시에는 하부 기온역전층 고도까지 풍속이 $1.5\text{m}/\text{sec}$ 정도로 약하였다. 특히, 상부 기온역전층과의 사이 고도에서는 $0.5\text{m}/\text{sec}$ 로 더 약하였고 이 시각 이후 상부에서는 NW풍이 강하여 차가운 한기의 유입을 볼

수 있었다. 5일 7시 이후에는 상부고도에서 풍속이 약해져 더 이상의 한기 유입을 볼 수 없었고 기온역전층이 해소되는 5일 9시에는 지면에 접한 하부 기온역전층의 상부와 상부 기온역전층의 하부에서 풍속이 증가하여 역전층의 상부에서도 역전의 파괴에 영향을 주었다고 생각되며 그 이후는 상부 기온역전층과 하부 기온역전층이 모두 해소되었다.

따라서 역전층의 형성과 소멸시에는 풍속의 영향이 컸음을 알 수 있으며, 특히 소멸시에는 하부 기온역전층의 상부에서 풍속이 증가하였다.

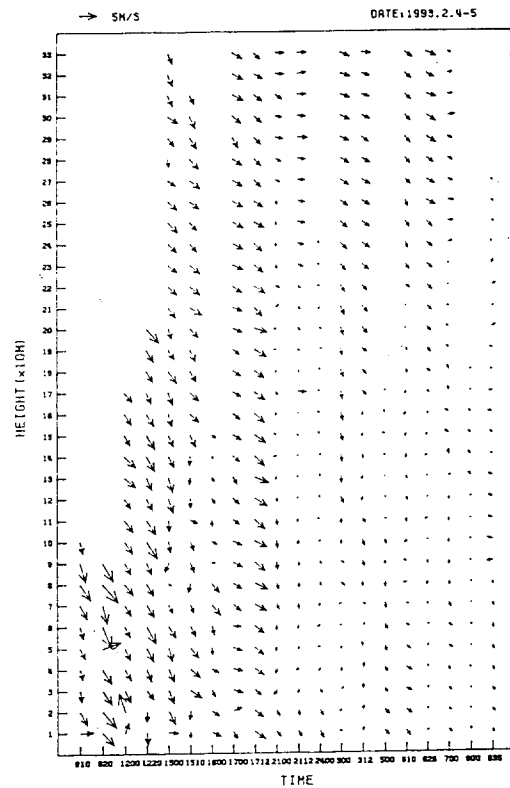


Fig. 4. Vertical distribution of wind at Kimhae during the 3-4 February, 1993.

3.2.3 상대습도의 수직분포

상대습도의 고도별 분포(Fig.5)를 보면 2월 4일 16시와 17시 관측에서는 전층이 40~45%로 변화가 거의 없었으나 역전이 형성되기 시작하는 18시 11

분 관측에서는 습도가 지표부근에서 60%까지 증가하였다.

21시에는 역전층고도인 178m에서는 45%이고, 감률은 6%/100m이다. 상부역전이 형성된 222m에서 309m까지도 습도가 평균 45%였으며 2.6%/100m의 감률을 보이고 있다. 24시의 관측에서는 21시에 비해 전층의 상대습도가 다소 증가하였으며 지표가 66%, 140m에서는 51%였으며, 13%/100m로 감소하였다. 상부 기온역전이 존재하는 198m에서 344m까지는 56%에서 52%로 3%/100m

의 감률을 나타내어 상부 기온역전층과 하부 기온역전층이 구분되어질 수 있음을 보여주고 있다. 5일 3시에는 역전층 내부인 지표근처에서 높은값이 측정되었으며 역전층고도의 상부로 갈수록 감소한다. 5시 관측에서는 지표면이 75%로 습도가 최대로 증가하였으며, 역전층고도인 152m에서는 59%로서 역전층 내부에서의 습도 감률은 12%/100m였다.

일출과 더불어 습도는 전반적으로 감소하며 9시 관측에서는 하부 기온역전층의 base인 54m에서는 69%이고 top인 120m에서는 56%였으며, 9시 50분에는 상하부 기온역전층이 모두 해소되어 전층이 43%에서 52%사이에 분포하고 있다.

따라서 역전층이 안정할수록 선행연구와 같이 습도가 높게 나타나며, 습도의 수직구배는 상부 기온역전층보다 하부 기온역전층에서 크게 나타남을 알 수 있다.

3.2.4 기온역전층의 고도별 시간변화

기온역전층 하부에서 기온의 시간변화를 통해 역전의 형성과 소멸시의 mechanism을 이해하고자 Fig.6과 같이 시간별 기온의 변화를 지상 1.5m, 30m, 60m, 90m 고도별로 구분하여 대기 각 층별 미세변화를 나타냈다. 지면온도의 시간변화는 지표부근의 기온변화를 좀 더 세밀히 보기 위해서 참고로 나타낸 것이다. 일출 이후 지표와 대기는 온도차가 있지만 대기 각 층별로 볼때 비슷한 양상으로써 온도차는 거의 없고 낮시간의 대기내 대류현상 등에 의해 고도가 높아질수록 온도가 감소하는 불안정한 대기상태를 나타내고 있다. 17시부터 지온이 1.5m온도보다 감소하기 시작하면서 지표부근의 냉각이 시작되는데 17시 10분과 18시 사이에는 1.5m온도가 4.21°C/hr율로 급하강하는데 반해 90m에서의 온도는 1.26°C/hr율로 완만하게 하강하면서 온도차가 생기기 시작한다. 18시 지표 위 대기에서 기온역전층이 형성되기 시작하여 21시부터는 지표부터 대기까지 뚜렷하게 형성되어 다음날 새벽 7시까지 층별로 강한 기온역전층이 지속되는 것을 볼 수 있다. 7시부터 9시 사이에 대기온도는 처음에는 빠르게 증가되기 시작하여

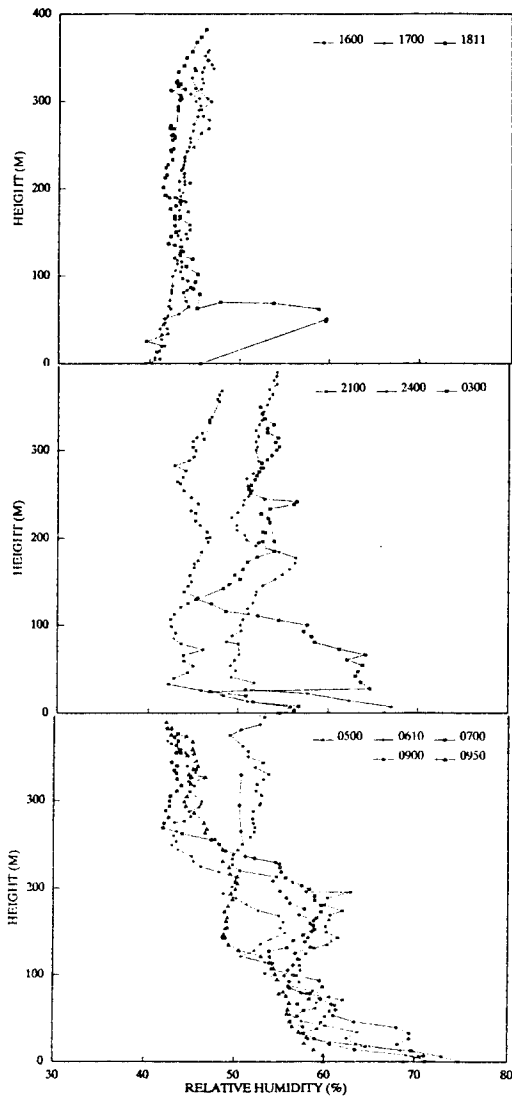


Fig. 5. The profiles of relative humidity at each run.

완만하여지나 1.5m온도는 7시 10분경부터 급상승됨으로써 9시경에 기온역전층이 지표부터 파괴되고 있다. 이 때 승온율을 보면 1.5m에서는 5.042°C/2hr, 90m에서는 2.31°C/2hr로 지표부근의 기온승온이 대기보다 급하게 일어남을 알 수 있다. 또한 그 때의 지면온도의 변화에서 지면온도가 감소하다가 증가되는 때와 일치한다.

따라서 대기경계층에 형성된 기온역전층의 하부에서는 일사에 의한 지면가열로 인해 기온역전층이 해소되어짐을 잘 설명해 주고 있다.

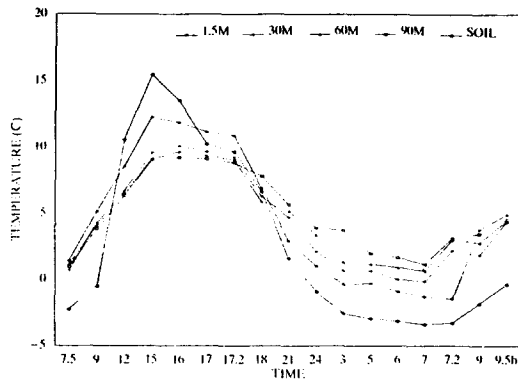


Fig. 6. Time variation of air temperature for 4-5 February, 1993.

3.3 대기안정도와 기온역전층

3.3.1 온위의 수직분포

대기의 안정도를 나타내는 parameter들은 여러 가지가 있지만, 온위 θ 의 구배로서 아래와 같이 정의할 수 있다.

$$\begin{aligned} \partial \theta / \partial Z > 0 & \quad \text{안정} \\ \partial \theta / \partial Z = 0 & \quad \text{중립} \\ \partial \theta / \partial Z < 0 & \quad \text{불안정} \end{aligned}$$

Fig.7에서 보면, 역전이 형성되기 이전인 16~17시 관측에서는 거의 중립이거나 불안정상태였으나, 역전층이 형성되기 시작하는 18시 11분 관측에서는 지표면에서 역전층고도까지 강한 안정을 나타내고 그 이상에서는 약한 불안정이나 중립상

태를 보이고 있다.

21시에는 역전층의 고도인 178m까지는 2.94K/100m의 증가율로서 강한 안정을 보이고 상부 기온역전층 고도인 222m에서 309m까지는 1.18K/100m로 약한 안정상태를 보였다. 24시에도 지표에서 140m까지 3.90K/100m의 증가율로서 강한 안정을 보이는 반면, 상부 기온역전층은 1.60K/100m의 증가율로 약한 안정을 보였다. 5일 3시에는 기온역전층(0~194m)에서는 4.24K/100m로서 강한 안정을 보였고, 상부 기온역전층은 그 경계가 불분

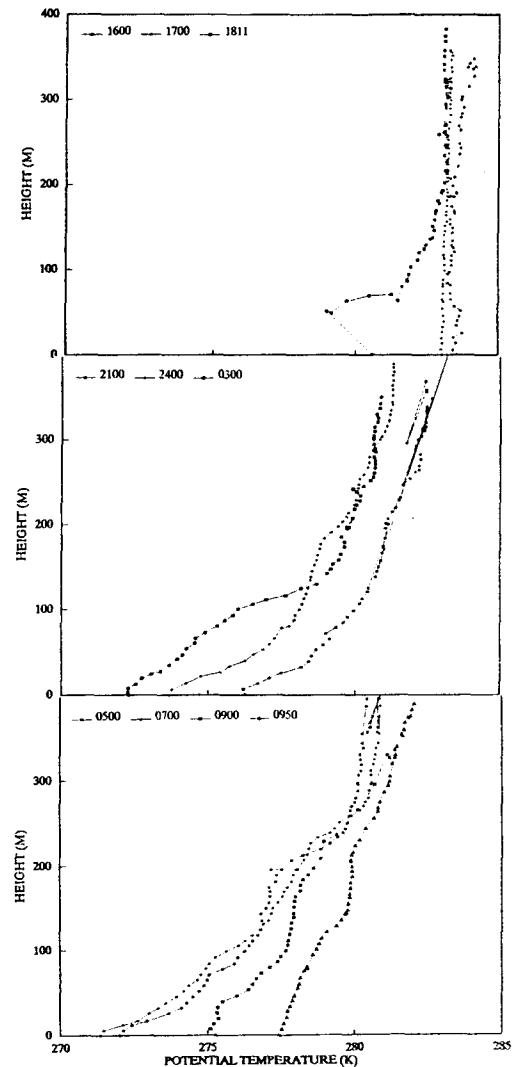


Fig. 7. The profiles of potential temperature at each run.

명하였으나 대체로 277m까지 안정을 나타내었다.

그리고 5시에는 152m고도 까지 3.75K/100m의 증가율로 강한 안정을 나타냈으며, 상부 기온역전층에서도 강한 안정상태를 나타내었다. 7시에는 하부 기온역전층이 보다 확장되어 309m까지 안정층이 존재하였다. 9시 자료에서는 지표면의 가열로 역전층하부 54m까지는 불안정하였으며, 하부역전층(54~120m)에서는 3.54K/100m로서 강한 안정을 보였고, 상부 기온역전층에서는 약한 안정상태를 이루었으나 9시 50분에는 역전이 소멸되어 중립에 가까운 불안정을 보이고 있다.

따라서 온위의 구배에 의한 하부 기온역전층에서는 대체로 강한 안정상태였으며, 상부 기온역전층에서는 5일 5시를 제외하면 대부분 약한 안정상태였다.

Table 2. Pasquill stability classes in terms of vertical temperature difference(ΔT).

Stability class	Range of vertical temperature gradient($^{\circ}\text{C}/100\text{m}$)
A=Very unstable	$\Delta T < -1.9$
B=Moderately unstable	$-1.9 \leq \Delta T < -1.7$
C=Slightly unstable	$-1.7 \leq \Delta T < -1.5$
D=Neutral	$-1.5 \leq \Delta T < -0.5$
E=Slightly stable	$-0.5 \leq \Delta T < 1.5$
F=Moderately stable	$1.5 \leq \Delta T < 4.0$
G=Very stable	$4.0 \leq \Delta T$

3.3.2 역전의 강도와 기온역전층

대기경계층내에 형성된 기온역전층의 mechanism 과 역전층내의 고도별 역전강도의 시간변화를 알아보기 위하여 관측된 결과에 의거하여 30m간격으로 층을 구분하고 Table 2에 제시한 Pasquill의 안정도와 비교하여 diagram을 나타내었다(Table 3).

2월 4일 16시에는 전층에 걸쳐서 대류가 활발하였으며, 17시경에는 최하층을 제외하고 모두 중립상태의 D등급으로 나타났으며, 17시 12분에는 L2가 E등급으로 약한 안정을 보이고 그 상층은 D계급이었다. 일몰(17시 56분)후인 18시 11분에는 최하층인 L1은 F로 중정도의 안정을 보였으며, L2과 L3는 E등급으로서 안정층이 형성되었다. 또한 21시에는 L1이 G등급, L2는 F등급으로서 강한 안정상태이며, 상부 역전의 Top상부인 L10에서는 D계급이었다. 그리고 24시에는 최하층의 풍속이 약간 증가하여 L1에서는 F로 나타났으며, L2가 G로서 강한 안정상태이고, 하부 기온역전층의 상부인 L4는 D계급, 상부 기온역전층에서는 F~E등급으로 나타나 두층의 경계가 나타났다.

5일 3시에는 L1층이 약한 요란으로 중립인 D를 나타냈으나, 기온역전층내에서는 대체로 F계급을 보이고, 상부 기온역전층에서는 D 또는 E계급으로 나타났다. 그리고 5시에는 기온역전층에서는 F

Table 3. Diagram of relation between the inversion intensity and Pasquill stability of each layer(1993. 2. 4-5).

Layer \ Time	L1 1.5- 30m	L2 30- 60m	L3 60- 90m	L4 90- 120m	L5 120- 150m	L6 150- 180m	L7 180- 210m	L8 210- 240m	L9 240- 270m	L10 270- 300m	L11 300- 330m
1600	A	B	C	E	D	D	D	E	D	D	E
1700	A	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D
1712	A	E	D	D	D	D	D	D	D	D	D
1811	F	E	E	D	E	D	D	E	D	D	D
2100	G	F	E	E	E	E	E	E	E	D	E
2400	F	G	F	D	E	E	F	E	E	E	E
0300	D	F	F	F	F	E	E	D	E	E	D
0500	F	F	F	F	E	E	F	G	E	E	D
0610	F	F	F	F	E	E	F	F	E	D	E
0700	F	F	F	F	E	E	E	F	F	E	D
0900	A	F	F	E	D	E	E	E	-	-	-
0950	A	D	E	E	D	E	E	D	E	D	D

등급으로 나타났지만, 상부 기온역전층에서는 E~G등급으로서 다소 강한 안정을 보인다. 또한, 6시 10분에는 L9까지 E~F계급으로 상·하부의 구분이 어려웠으며, 일출 20분전인 7시에는 L10까지 E~F계급으로서 역전층고도와 대체로 일치함을 보이고 있다.

9시에는 일사에 의해 최하층인 L1이 A계급으로 안정층이 해소되었고, L2~L4는 F~E계급으로 기온역전층이 존재하였으며, 두 역전층의 경계 부분인 L5에서는 요란에 의해 D계급으로 중립을 보이다가 상부 기온역전층에서는 E계급으로 안정층이 존재하고 있다. 그리고 9시 50분에는 전층에 걸쳐 안정층이 거의 해소되었다.

따라서 접지층의 역전강도를 Pasquill의 안정도 구분으로 분류한 결과 김해지역의 하부 기온역전층은 L1과 L5층에서 안정도의 큰변화를 볼 수 있는데, L1은 일몰전후로 A에서 F로 급변하는 반면, L5에서는 D에서 E로 약한 변화를 보였으며, 역전층의 해소시에는 지표 부근이 먼저 일사에 의한 가열로 매우 불안정하였고, 상부의 기온역전층에서는 요란에 의해 안정에서 중립으로 역전층 파괴에 영향을 주었다. 또한 하부 기온역전층은 대체로 F에 속하고, 상부 기온역전층은 E계급에 속하였다.

4. 결 론

최근 신흥 주택지와 공업단지가 형성되고 있는 김해지방에서 관측한 기온역전층의 구조 및 특성을 조사 분석한 결과 다음과 같이 요약할 수 있다.

김해지방에서 관측한 기온역전층은 18시 이후 형성되기 시작하여 새벽 3시에 194m로 가장 높았으며, 차가운 공기의 이류에 의해 형성된 상부 기온역전층은 대체로 200~300m정도로 나타났으며 관측일의 지상 기상요소는 접지역전층의 형성에 영향을 줄 수 있었다.

역전층의 형성과 소멸시에는 풍속의 영향이 컸음을 알 수 있으며, 특히 소멸시에는 하부 기온역

전층의 상부에서 풍속이 증가하였고 역전층이 안정할수록 습도가 높고, 습도의 수직구배는 상부 기온역전층보다 하부의 기온역전층에서 높게 나타난다.

접지층의 역전강도를 Pasquill의 안정도 구분으로 분류한 결과 김해지역의 하부 기온역전층은 주로 강한 안정상태인 F계급에 속하고 상부의 기온역전층은 약한 안정상태인 E계급에 속하였다. 역전층의 해소시에는 지표 부근이 먼저 일사에 의한 가열로 매우 불안정하였으며 기온역전층의 고도별 시간변화에서도 잘 나타났다. 또한 상부의 기온역전층에서는 요란에 의해 안정에서 중립으로 역전층 파괴에 영향을 주었다고 생각되며 이를 뒷받침하기 위하여 안정도 및 열수지 등의 정량적 연구가 있어야 할 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

- 김성삼, 1967, 우리나라 중부지구 저공층 대기의 확산능에 관하여, 원자력연구논문집 제 7권(제 1호), 17-24.
- 문승의, 유혜주, 김유근, 1984, 고리지역의 접지역전에 관한 기후환경학적 연구, 부산대학교 환경문제연구소 환경연구보 제2권, 69-77.
- 중앙기상대, 1981, 해안지방의 접지기후 연구.
- 황수진, 1989, 산곡내의 야간 접지 역전층의 생성 소멸에 관한 연구, 부산대학교 자연과학 논문집, 48, 161-179.
- 鈴木彌幸, 1977, 館野の接地逆轉, 研究時報, 29卷, 5-6.
- 甲斐憲次, 接地逆轉層中の氣溫と風の微細構造について, 1983, 筑波大學筑波環境研究 7C, 181-186.
- Bonacica, L.C.W., 1953, An estimation of the great London fog of 5-8 December 1952. *Weather*, 8, 333-334.
- Garrat, J.R. and W.L. Physick, 1985, The inland boundary layer at low latitude : 2 sea-breeze influences, *Boundary Layer*

- Meteorol., 33, 209-231.
- Gutnick, M., 1958, Climatology of the trade-wind inversion in the Caribben, Bull. Ameri. Meteor. Soc., 39, 410-420.
- Hastenrath, S., 1966, On general circulation and energy budget in the area of the Central American Sea, J. Atmos. Sci., 23, 694-711.
- Honda, N. and T. Fugita, 1986, Statistics on inversion layer in the cold outbreak over the East China Sea, Tenki, 33, 113-118.
- Hosler, C.R., 1961, Low-level inversion frequency in the contiguous United States, Mon. Wea. Rev., 89, 319-332.
- Katsoulis, B. D., 1988, Aspects of the occurrence of persistent surface inversion over Athens Basin, Greece, Theor. Appl. Climat., 39, 98-107.
- Kawamoto, T. and S.Ishizaka, 1968, Inversion layer, Technical report of the Japan Meteorological Agency, No.66,(481p) 77-84.
- Kondo, H., O. Kanechika and N. Yasuda, 1978, Heat and momentum transfer under strong stability in the atmospheric surface layer, J. Atmos. Sci., 35, 1002-1021.
- Kondo, H., T. Mizuno and M. Hayashi, S. Yamamoto, H. Yoshikado and O. Yokayama, 1991, A Turbulent inversion layer observed at Kasima, TENKI, 38, 3, 151-156.
- Lui, F.H., 1990, Climatological study of temperature inversion layers in the northern hemispheric troposphere, Climatological note 39.
- Morgan, T. and R. D. Bornstein, 1977, Inversion Climatology at San Jose, California, Mon. Wea. Rev. 105, 653-656.
- Yorisaki, A., H. Tamita and K. Kai, 1982, Some aspects on the surface inversion observed by the 30m meteorological tower at the environmental research center during the cold half year, The university of Tsukuba Environmental Research Center, 6, 45-52.
- Yoshino, M., 1968, Extremely low air temperature and development of inversion layer in the Tsukuba, Environmental Research Center, 6, 35-44.