

일본 쓰쿠바에서의 한후기 동안 기온역전의 특성에 관한 연구

이 부 용 · 김 두 석 · 문 승 의

부산대학교 대기과학과
(1994년 4월 11일 접수)

A Study of the Characteristics of Temperature Inversion During the Cold Half year at Tsukuba, JAPAN

Bu-Yong Lee, Doo-Seok Kim and Sung-Eui Moon

Dept. of Atmospheric Sciences, Pusan National University, Pusan, 609-735, Korea
(Manuscript received 11 April 1994)

Abstract

The climatological study of temperature inversion was conducted at the Tsukuba of Japan during the cold half year, the periods of which were both from October 1981 through March 1982 and from October 1982 through March 1983. Meteorological phenomena were observed to appear both from 10m to 200m above the ground and from the surface to 300hPa. The data collected from those phenomena were analyzed in terms of statistics, and investigated from a synoptic point of view. The results are as follow.

The dispersion of the surface inversion happens right after sunrise through the whole period. The higher the upper layer is, the later that happens.

Up to a height of 200m, the wind speed at a height of 25m has the greatest effect on temperature, but on the other hand the wind speed at a height of 10m has the greatest effect on inversion intensity.

Key Words : surface inversion, vertical wind speed, vertical temperature

1. 서 론

역전층 연구의 목적은 대기 상태를 통해서 오염 물질 분산, 수송과 전달 과정을 알기 위해서이다. 1952년 영국 London에서는 smog 현상으로 수천 명의 사상자가 발생하였는데, 원인은 다량의 오염 물질과 확산을 억제하는 기온 역전층이 형성되었기 때문이다(Bonacica, 1953). 최근에는 오염 물질의 장거리 수송과, 산성비, 황사 현상등이 사회적 문제로 등장하였는데, 오염 물질에서는 장거리 수

송(1000~2000km)방향 보다 wind shear가 있는 수직방향의 확산이 더 중요하게 다루어 진다(Kumura 와 Yoshikawa, 1988). 기온 역전층은 대기 오염 물질 확산에 영향을 주는 중요한 인자로 지적된다. 그리고 산업 도시 계획 정책과 대기 환경에 관한 사정 자료등을 준비하는데 유용한 것이다(Liu, 1990).

역전에 관한 연구로는 국내에서는 김성삼(1967, 1968)은 역전층을 조사하여 남한 중부 저공층 대기의 확산능을 조사하였으며, 중앙기상대(1981)는

공업단지의 조성시 오염물질의 확산 과정을 예측하기 위해 아산만 등지를 대상으로 저공층 연직 방향 기온 분포를 조사한 바 있으며, 문승의 외(1984)는 고리지역의 접지 역전에 관한 기후 환경학적인 연구를 통해 지표 부근 역전 발생 빈도와 특성에 관해 연구하였다.

Kawamoto와 Ishizaka(1968)는 radiosonde자료를 사용하여 극동에서 지표 역전의 평균 고도의 분포를 나타내었으며, Yoshin(1968)는 일본에서 야간 지표역전에 관해 연구하였고, Yorisaki(1982)는 일본 쓰쿠바에서 기상관측탑의 관측 자료에서 지상 1.5m와 30m 두 고도 기온차를 이용해서 풍속과 지표 복사와 역전 강도의 관계를 연구하였다.

상층역전에 관해서 Liu(1990)는 북반구 대륙권 내에서 역전층의 기후학적인 연구를 통해 역전의 발생고도 분포를 조사하였고, 이를 이용해서 역전 발생의 지역적인 구분 기준을 제시하였다.

본 연구는 1981년 10월 에서 1983년 3월까지의 한후기(cold half year, 10월~3월) 동안 대륙권 접지층(지표-200m)과 지표에서 300hPa까지의 2개의 영역으로 구분하여 기온등의 수직적인 분포를 시각별, 월별로 분석하여 이들과 풍속과의 관계 및 접지 역전과 상층역전의 특성을 알아보고 접지층과 상층과의 상호 관계를 알아보고자 하였다.

2. 자료 및 연구 방법

2.1. 자료

본 연구에 사용된 자료는 한후기동안 접지역전과 상층역전의 특성과 관계를 알아보기 위해 1981년 10월~1982년 3월, 1982년 10월~1983년 3월까지의 일본 쓰쿠바대학 내의 기상연구소에서 발행하는 기상 관측용 철탑의 관측 자료와 일본 기상청 발행의 지역 기상관측월보 중 쓰쿠바(Tsukuba)산의 기상관측자료와 고층기상월보 중 館野(Tateno)의 고층기상관측자료를 사용하였다.

관측 철탑의 위치는 북위 36°04'00" 동경 147°07'40"의 쓰쿠바 연구 학원도시 남부의 쓰쿠바

대학 내에 있으며, 지표면 해발고도는 24.5m이다. 관측 철탑 부근은 직경 약 150m의 초지이며, 이 주위에 10~20m 크기의 송림이 분포하며(Fig.1) 북쪽으로 약 20km 지점에는 해발고도 876m의 쓰쿠바산이 있다.

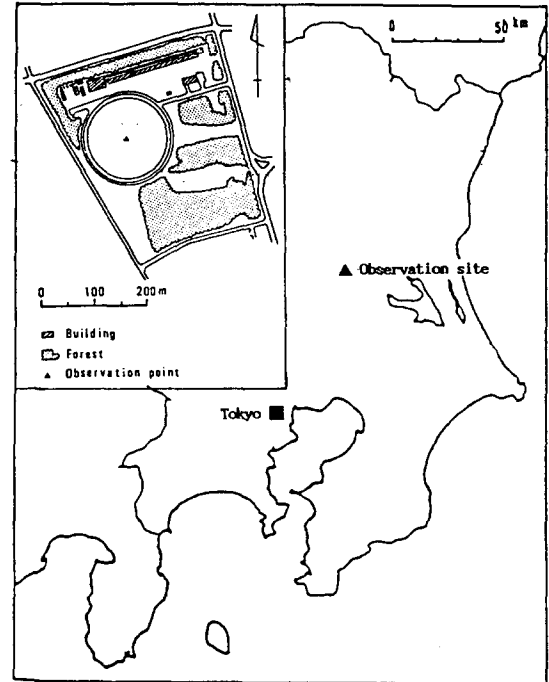


Fig. 1. Location of obserbation site and the meteorological tower of experimental field, the University of Tsukuba.

기상 관측 철탑의 높이는 지상 213m로서, 관측 고도는 10, 25, 50, 100, 150, 200m의 여섯 고도이며, 관측은 00시에서 24시 까지 매 정시의 기온, 습도, 풍향, 풍속을 관측하고 있으며, 본 연구에서는 기온과 풍속의 매 시각별 월 평균치만을 사용하였다.

고층기상관측자료는 지표면, 1000, 900, 850, 800, 700, 600, 500, 400, 350, 300hPa의 11개 고도 기온값을 사용하였다. 1일 2회(09 LST, 21 LST) 관측되는 radiosonde는 관측시각 30분전에 부양하여 최고 고도에는 평균적으로 관측 정시 30분 후에 도달하나, 기준 시각의 값으로 사용하였다. 본

석고도는 지표에서 300hPa까지 하였으며, 지표 기압이 1000hPa이하일 경우는 지표-1000hPa 사이는 분석에서 제외시켰다.

2.2. 처리방법

Liu(1990)는 대류권 고도를 북반구에서 약 300hPa까지로 나타내었다. 본 연구도 300hPa까지를 조사대상으로 하며, 관측 자료의 특성상 지표에서 200m 고도까지와 지표에서 300hPa까지의 2개의 권으로 구분하여 각각을 접지층과 대류권으로 나타내고 이를 분석하여 역전의 특성을 알아보았다.

역전은 수직적으로 상 하 두 고도간의 기온 감율이 0°C 이상일 때로 하였으며(문승의 외, 1984), 접지층은 지표 10m 고도에서 200m 고도까지 6개의 관측지점을 5개의 층으로 구분하고 이들을 각각 Layer1 (이하 L1), L2, L3, L4, L5로 나타내었다(Fig. 2).

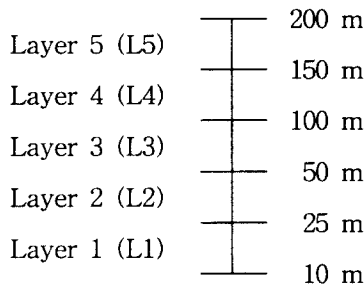


Fig. 2. Division of layer from 10 m to 200 m height

각 층의 기온 감율은 층의 상부와 하부의 기온차를 100m 당 기온차(°C)로 환산하여 이를 역전강도로 정의 하였으며, 역전층의 발생 빈도(Inversion layer frequency, 이하 ILF)를 분석하였다.

ILF의 계산은 관측 지점에서 나타나는 역전층만을 빈도에 나타내었으며, 관측 지점 사이에서 발생하는 역전층은 자료의 한계로 알 수가 없으며, 역전층의 두께는 무시하였다(Liu, 1990).

3. 분석 및 토의

3.1. 접지층의 기온 및 풍속의 시간변화

분석 기간 동안 관측 첩탑에서 관측한 자료를 이용하여 접지층의 기온 및 풍속의 시각별, 고도별 분포를 알아보았으며, 그 중 월별 기온과 풍속의 시각별 변화 경향이 가장 뚜렷한 81년 10월과 12월, 83년 3월의 기온과 풍속의 상태를 Fig.3와 Fig.4에 나타내었다.

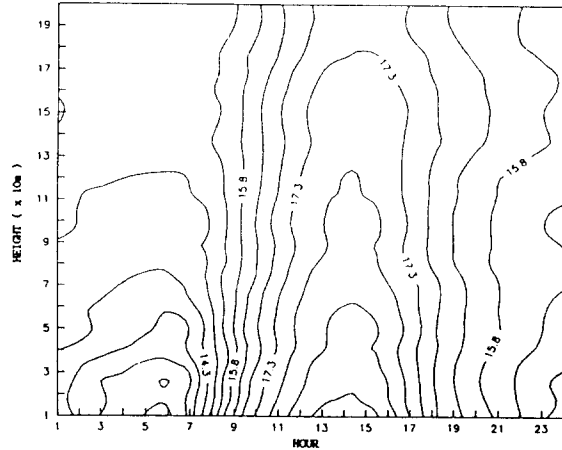


Fig. 3-a. Temperature cross section with time and height in October, 1981(0.5°C interval).

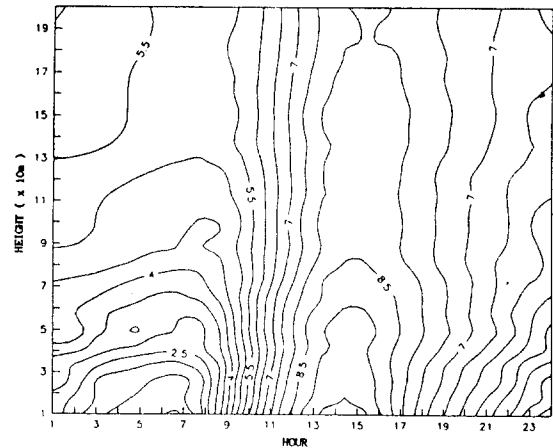


Fig. 3-b. Same as Fig. 3-a but December, 1981.

3.1.1. 기온의 고도별, 시각별 변화

분석 기간 동안에 기온의 고도별, 시각별 변화 경향은 일출 시각과 일몰 시각의 변화와 관계되어 나타났다. 기간 동안 혼합층은 주로 일출후에 형성되기 시작하나 그 경향은 월별로 차가 있었다.

Fig.3-a는 81년 10월의 기온의 일 변화이다. 월 중 최고 기온은 14시에 고도 10m 부근에서 19.2로 관측되며, 최저 기온은 06시에 같은 고도에서 12.5로 나타났고, 이때 가장 안정한 역전층이 형성되나 고도 200m와 10m 간의 기온 차가 2.5 정도로 나타나며, 07시경 지표 부근부터 역전층이 소멸되나 고도 200m 지점은 09시경에 역전이 완전히 소멸되었다. 이는 일출후 지표 복사에너지방출이 증가하는 것과 잘 일치한다.

역전층 형성은 19시경 L1 보다는 L2와 L4에서 먼저 발생하여 L5를 제외한 전 층에서는 22시경에 역전층이 발생하였다. L5에서는 역전이 나타나지 않았다.

81년 12월의 기온의 시각별 고도별 단면도를 Fig.3-b에 나타내었다. 월 중 최고 기온은 L1에서 14시에 10, 최저 기온은 같은 층에서 0.8°C로 관측되어지며, 이 때 최상하층 간의 기온차는 4.4°C로 절대 안정한 역전층이 나타났다. 이 후 역전층은 지표 부근에서 급속하게 소멸되나 L4에서는 11시 이후에 역전이 완전히 소멸되어졌다. 14시경 전 층에서 강한 혼합층이 발달하며 이후 기온은 감소하여 16시경 부터 역전층이 형성되기 시작하여 21시경에 200m 고도까지 역전층이 형성된다.

Fig.3-c는 83년 3월의 기온의 상태다. 최고 기온은 L1에서 15시에 10°C며 이 때 강한 혼합층이 전 층에서 출현하고, 최저 기온은 L2에서 06시에 3.1°C로 나타나며 최상하층간 기온차는 1.4°C로 전 관측 기간 동안 최저 기온이 나타난 시각중 가장 약한 역전층이 형성된 달이었다. 특히 L1에서 24시간 동안 역전이 관측되지 않았다. 일몰후에 역전층은 생성하나 층간의 생성 시각에 큰 차가 있으며, 100 m 이상의 고도에서 비교적 역전이 잘 나타남을 보였다.

분석 기간동안 역전의 형성과 소멸 시간을 비교하면 항상 서서히 형성되고 빠르게 소멸됨을 알

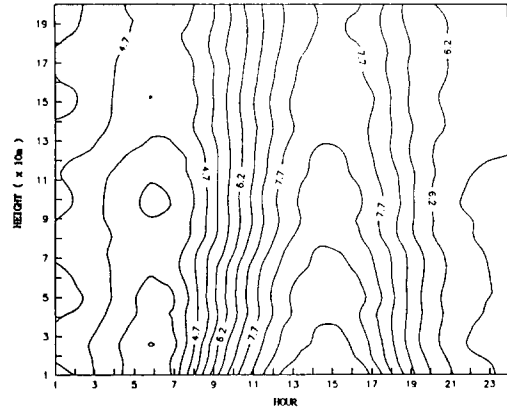


Fig. 3-c. Same as Fig. 3-a but December, 1983.

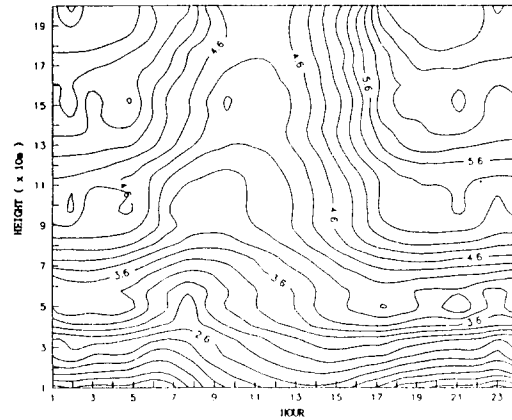


Fig. 4-a. Wind speed cross section with time and height in October, 1981(0.2 m/s interval).

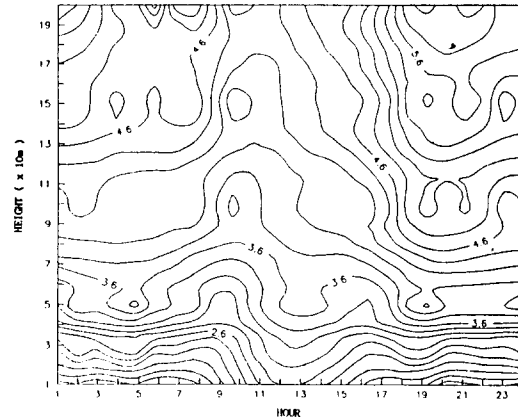


Fig. 4-b. Same as Fig. 4-a but December, 1981.

수 있었다.

3.1.2. 풍속의 고도별, 시간별 변화

풍속은 전 기간 동안 고도가 증가함에 따라 증가하였고, 월별 풍속의 변화 경향은 각 층별로 나타나지 않았으며(Table 1), 시각별로는 일출 전후와 일몰 전후에 풍속의 변화가 크게 나타났다. (Fig. 4) 일출후 100m 이상의 고도에서는 풍속이 감소하였으나 100m 아래에서는 오히려 증가하는 경향이 있었는데, 이는 상하층간 대기의 혼합으로 나타나며, 역전층을 소멸시키는 역할을 하였다.

Fig. 4-a, b, c는 각각 81년 10월, 12월 및 83년 3월의 풍속의 고도별, 시간별 단면도이다. 3월은 다른 달에 비해 일출과 일몰 전후에서 풍속이 급변하였으며, 이 때 하루중 최대 풍속이 고도 150m 부근에서 6m/s로 나타났다.

3.2. 접지 역전의 특성

3.2.1. 역전의 발생 시각과 소멸 시각 및 지속 시간

Table 2와 Table 3는 각 월별 역전 발생 소멸 시각을 나타내었다.

각 층에서 역전의 발생 시각은 변화가 많은데, 가장 빠른 시각은 82년 12월에 L2에서 15시에 나타났으며, 가장 늦은 시각은 83년 3월의 L3에서 05시이다. 월별로는 12월의 출현이 18시경으로 가장 빠르며 3월이 21시경으로 가장 늦다. 이는 월별의 일몰 시각 및 지표에서 방출되는 복사열의 변화 때문일 것으로 생각된다. 층별로는 발생 시

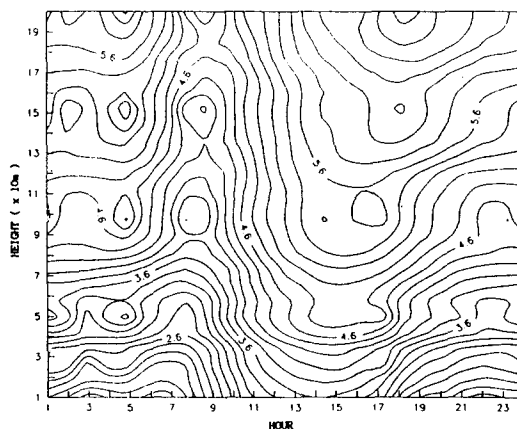


Fig. 4-c. Same as Fig. 4-a but March, 1983.

각이 월별에 비해 넓게 분포하며 층간에는 뚜렷한 구분이 나타난다. L2(16.4시)와 L4(17.9시)는 발생 시각이 17시 전후로 L1(20.4시)보다 3시간 정도 빠르며 이는 관측지역의 지표가 초지이기 때문으로 생각하나 이에 관해서는 더 많은 연구가 뒤따라야 할 것으로 생각된다.

역전의 소멸 시각은 월별로는 3월이 가장 빠르며(7.6시) 12월이 가장 늦다(9.7시). 10월에서 12월로 가면서 역전의 소멸 시각이 늦어지고, 12월에서 3월로 감에 따라 빨라짐은 일출 시각이 빨라지기 때문이다. 층별로는 L1이 가장 빠른 시각(6.2시)에 소멸되었으며 상층으로 감에따라 L4에서는 10시 경으로 가장 늦게 소멸되는 경향을 나타내었으며, L1은 L4보다 3.8시간 정도 빠르게 소멸되었다. 그러나 L5는 L4보다는 1시간 정도 빠르게 소멸되었는데 이는 상층풍의 영향과 역전층 형성 고도 때문으로 생각되어진다. 따라서 역전의 소멸 시각은 일출 시각에 영향을 많이 받으며 상층으로

Table 1. Monthly means of wind speed at each height

Year month	81			82			83					
	10	11	12	1	2	3	10	11	12	1	2	3
200m	5.6	4.4	5.1	5.5	5.8	5.3	5.2	4.9	4.5	4.7	6.3	5.9
150m	5.2	4.1	4.8	5.2	5.3	4.8	4.4	4.3	4.1	4.3	5.7	5.3
100m	4.7	3.7	4.3	4.6	4.8	4.5	4.3	4.1	3.8	4.0	5.1	4.8
50m	3.7	3.0	3.6	3.8	3.8	3.6	3.6	3.2	3.1	3.3	4.1	3.9
25m	2.7	2.2	2.6	2.8	2.8	2.8	2.6	2.4	2.3	2.4	3.1	3.0
10m	1.9	1.6	1.9	2.1	2.2	2.2	2.0	1.8	1.6	1.7	2.4	2.4

Table 2. Monthly variations of onset time of inversion in each layer. (L1~L5 : see Fig. 2)

Year month	81			82			83			AVG			
	10	11	12	1	2	3	10	11	12		1	2	3
L1	23	18	17	19	20	21	22	19	18	18	22	4	20.4
L2	17	15	16	16	17	18	17	16	15	16	17	17	16.4
L3	22	20	21	23	23	24	20	22	20	23	4	5	22.9
L4	17	16	20	18	19	19	18	17	16	17	18	20	17.9
L5		21	20	20	21	22	4	21	21	19	20	20	20.1
AVG	19.7	18.0	18.8	19.2	20.0	20.8	21.0	19.0	18.0	18.6	21.0	22.8	19.3

Table 3. Monthly variations of offset time of inversion in each layer. (L1~L5 : see Fig. 2)

Year month	81			82			83			AVG			
	10	11	12	1	2	3	10	11	12		1	2	3
L1	6	7	7	7	7	6	3	6	7	7	7	4	6.2
L2	8	10	9	9	9	8	8	8	11	9	8	7	8.7
L3	8	9	9	8	8	7	8	8	10	9	8	7	8.3
L4	9	12	11	10	9	9	9	10	13	10	9	10	10.0
L5		9	10	9	9	9	6	9	10	10	9	9	9.0
AVG	7.8	9.4	9.2	8.6	8.4	7.8	6.8	8.2	10.2	9.0	8.2	7.4	8.3

Table 4. Monthly duration times of inversion layer in each layer. (L1~L5 : see Fig. 2)

Year month	81			82			83			AVG			
	10	11	12	1	2	3	10	11	12		1	2	3
L1	8	14	15	13	12	7	4	11	14	14	6	1	10.1
L2	16	20	18	18	17	15	16	17	21	18	16	15	17.2
L3	11	14	13	10	10	7	13	11	15	11	5	4	10.3
L4	17	21	20	17	15	15	16	18	22	18	16	15	17.5
L5	0	12	15	14	13	12	3	12	14	15	14	14	11.5
AVG	10.4	16.2	16.2	14.4	13.4	11.2	10.4	13.8	17.2	15.2	12.0	9.8	13.3

갈수록 장시간 역전이 지속됨을 알 수 있다.

월별로 각 층에서 역전의 지속 시간을 Table 4에 나타내었다.

월별 경향은 10월이 10.4시간으로 가장 짧고, 12월이 16.7시간으로 가장 길게 나타나며, 3월로 감에 따라 지속 시간은 감소하였고, 평균 역전의 지속시간은 13.3시간으로 나타났다. 이러한 지속시간의 변화는 가조 시간의 변화와 밀접하게 관계되어 있음을 알 수 있다.

각 층별 평균적인 역전 지속 시간은 L4와 L2가 각각 17.5시간과 17.2시간으로 오래 지속되었으며 L1이 10.1시간으로 가장 짧게 나타났다.

따라서 지표 부근에서는 역전층이 늦게 형성되고 일찍 소멸하며, 상층은 일찍 시작되고 늦게 소멸함을 알 수 있다. L5에서는 비교적 역전의 지속시간이 짧은데(11.5시간) 이는 월별로 역전 발생 고도가 달라지기 때문으로 볼 수 있다.

Fig. 5는 각 층의 역전 지속 시간을 월별로 누

적하여 나타내었다.

역전의 최대 지속 시간은 82년 12월로 86시간이며, 3월로 가면서 감소하여 최소 지속 시간은 83년 3월로 49시간으로 나타나며 이들의 평균 지속시간은 66.7시간으로 나타났다.

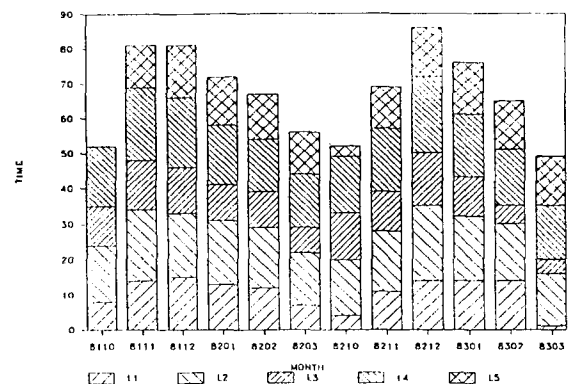


Fig. 5. Monthly variation of the duration of inversion in each layer (L1~L5 : see Fig. 2).

3.2.2. 역전의 강도의 월별, 고도별 특성

역전 강도는 역전 발생시 각 층의 기온 감율을 100m 당 기온 감율로 환산한 것으로, 관측 기간 동안의 월별, 고도별 분포를 0.2°C 간격으로 Fig. 6에 나타내었다. 역전의 강도는 기간 동안에 81년 12월에 L2에서 최대 강도 4.33°C/100m 로 타나났다. 각 층에서 역전의 평균 강도는 L2가 가장 강하며 2.29°C/100m로 나타났고, L5에서 0.21°C/100m로 가장 약하게 나타났다.

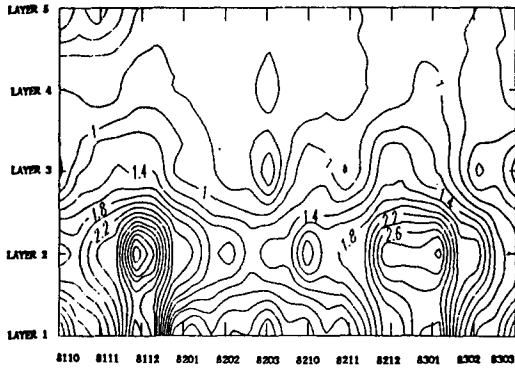


Fig. 6. Monthly variation of mean inversion intensity in each layer(0.2°C/100m interval)

한편, L2에서 L5로 가면서 역전의 강도는 점차로 약해지는 경향을 보였고, 81년 10월에는 L5에서는 역전이 나타나지 않았다. 이는 월별 역전층의 형성 고도가 변화하기 때문으로 생각된다.

전 층에서 월별 평균 역전 강도는 12월이 가장 강하며 3월로 가면서 점차로 약하게 나타났고 그 값은 각각 1.80°C/100m, 0.51°C/100m이다.

3.2.3. 역전강도의 발생 빈도와 시각별 변화

Table 5는 Pasquill(1961)에 의한 안정도 분류법으로 쓰쿠바 지역에 적용시켜 그 결과를 Fig. 7에 나타내었다. 이들의 월별 분포는 가장 안정한 계급인 G는 12월에 27회(11.3%)로 가장 높고 2월과 3월에는 나타나지 않았으며 12월에서 3월로 가면서 강한 역전에서 약한 역전 또는 중립으로 점차

로 불안정하게 나타났다. 대부분의 역전층은 약한 안정인 E로서 기간 동안 774회(53.7%) 나타났고 D가 286회(19.8%), F가 176회(12.2%)였으며 나머지 대부분은 A계급의 혼합층으로 나타났다.

Table 5. Pasquill stability classes in terms of vertical temperature difference(ΔT)

Stability class	Range of vertical temperature gradient (°C/100m)
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	$4.0 \leq \Delta T$

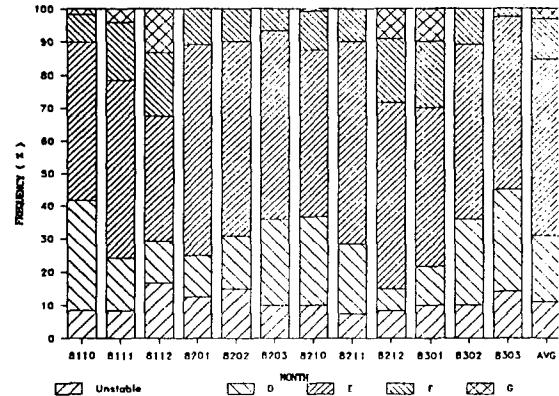


Fig. 7. Frequency distribution of monthly Pasquill stability in inversion (D~G : see Table 5).

시각별 기온 감률의 변화는 월 중 81년 10월과 12월 83년 3월의 것을 각각 Fig. 8-a,b,c에 나타내었다. 그 변화의 경향은, 일출직후 혼합층이 나타나고 일몰과 함께 역전층이 형성되나 월별로도 뚜렷한 특징을 보인다. 81년 10월은 L5에서는 역전이 출현하지 않으며 일몰후에도 L2와 L4에서 먼저 역전이 형성되고 24시경에야 L1에서 역전이 발생하기 시작하며 일출후에는 전층에서 급속하게 역전층이 소멸되었다. 12월은 일몰 전후에 역전이

발생하기 시작하며 L1에서도 급속하게 역전층이 소멸되었다. 12월은 일몰 전후에 역전이 발생하기 시작하며 L1에서도 급속하게 역전이 발생하나 L2와 L4보다는 늦게 발생하였다.

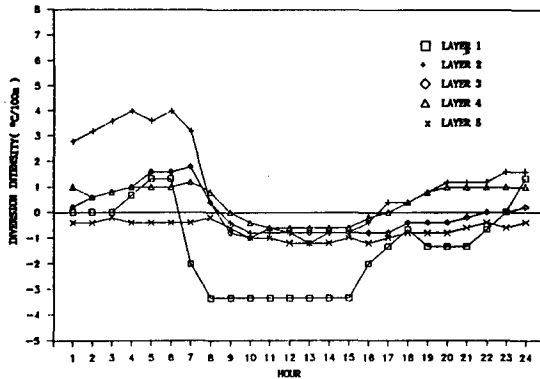


Fig. 8-a. Time variations of inversion intensity in October, 1981 (Layer 1~5 : see Fig. 2).

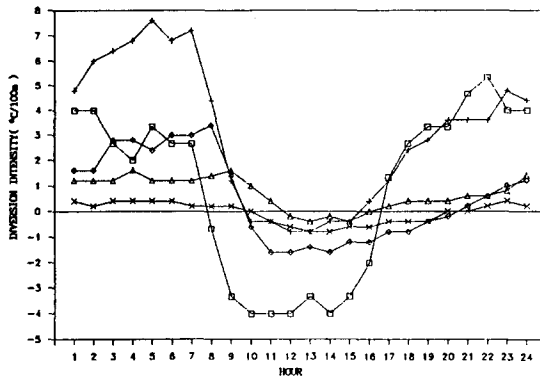


Fig. 8-b. Same as Fig. 8-a but for December, 1981.

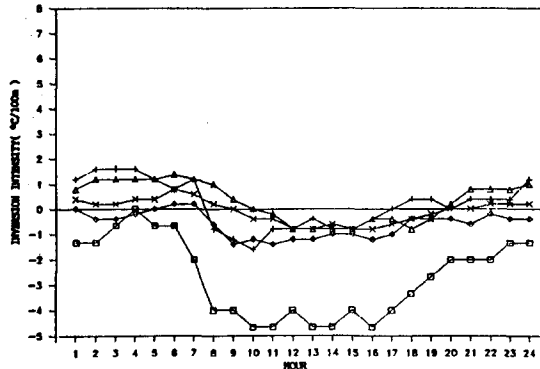


Fig. 8-c. Same as Fig. 8-a but for March, 1983.

최대 역전의 강도는 일출 부근인 06시에 L2층에서 G계급의 강한 안정층이 형성되었고, L1은 일출후에 강한 혼합층이 나타나며 일몰 부근에서 안정층이 출현하였다. 83년 3월은 L1과 L3에서는 24시간 동안 거의 역전이 출현하지 않으며 새벽에도 중립의 상태인 D계급에 해당하였고, L1은 일출후부터 22시 까지 강한 혼합층이 나타났다. L2와 L4는 새벽에 E급의 약한 역전층이 형성되며 24시간 동안 기온 감률의 변화가 약하게 나타났다.

3.2.4. 풍속과 접지 역전과의 관계

각 고도 풍속의 세기에 따라 기온이 변하는데, 풍속이 역전과 어떤 관계를 가지는지 알아보기 위해 기온 및 각 층간의 역전 강도를 풍속과 상관 계수를 구하여 보았다. 여기서는 역전의 강도가 가장 강하게 나타난 1981년 12월과 가장 약하게 나타난 1983년 3월의 자료만 분석하였다.

Table 6과 7은 1981년 12월에서의 각 고도에서의 기온과 각 고도에서의 평균 풍속값으로 부터 구한 상관 계수와 각 층에서의 역전 강도와 각 고도 풍속의 상관 계수를 구한 것이다. 그리고 Table 8과 9는 같은 방법으로 1983년 3월에서 구한 것이다.

Table 6. Correlation coefficient with temperature and wind speed at each height in December 1981

WS\T	200m	150m	100m	50m	25m	10m
200m	0.279	0.213	0.164	0.081	-0.011	-0.128
150m	0.236	0.167	0.122	0.027	-0.078	-0.200
100m	0.346	0.290	0.252	0.169	0.069	-0.049
50m	0.403	0.362	0.344	0.279	0.173	0.071
25m	0.669	0.703	0.725	0.764	0.744	0.724
10m	0.576	0.645	0.689	0.783	0.782	0.886

(WS : wind speed T : temperature)

Table 7. Correlation coefficient with inversion intensity in each layer in December 1981 (L1~L5 : see Fig. 2).

WS\II	L1	L2	L3	L4	L5
200m	0.736	0.300	0.069	0.028	0.145
150m	0.602	0.398	0.140	0.056	0.191
100m	0.689	0.258	-0.010	-0.092	0.034
50m	0.530	0.192	-0.141	-0.254	-0.104
25m	-0.305	-0.559	-0.762	-0.755	-0.741
10m	-0.755	-0.895	-0.873	-0.802	-0.862

(II : inversin intensity)

Table 8. Correlation coefficient with temperature and wind speed at each height in March 1983.

WS\T	200m	150m	100m	50m	25m	10m
200m	0.496	0.448	0.417	0.342	0.279	0.235
150m	0.598	0.557	0.534	0.466	0.405	0.362
100m	0.809	0.790	0.775	0.732	0.684	0.652
50m	0.938	0.935	0.926	0.910	0.882	0.862
25m	0.948	0.959	0.962	0.965	0.956	0.947
10m	0.900	0.922	0.939	0.959	0.970	0.974

Table 9. Correlation coefficient with inversion intensity in each layer in March 1981 (L1~L5 : see Fig. 2).

WS\I	L1	L2	L3	L4	L5
200m	-0.183	-0.281	0.270	0.319	0.190
150m	-0.321	-0.418	0.139	0.216	0.076
100m	-0.632	-0.668	-0.234	-0.067	-0.258
50m	-0.837	-0.831	-0.543	-0.355	-0.542
25m	-0.927	-0.903	-0.717	-0.552	-0.710
10m	-0.951	-0.926	-0.824	-0.722	-0.850

Table 6과 8에서 각 고도에서의 기온은 지표면으로 갈수록 지표 부근의 풍속과 상관관계가 높게 나왔다. 특히 고도 25m와 고도 10m의 풍속과 상관관계가 보다 크게 나왔고 그 중 고도 25m에서의 풍속은 10m에서의 풍속보다 모든 층에서 더 많이 영향을 주는 것으로 나타났으며 고도 10m에서의 기온은 10m에서의 풍속에 영향을 많이 받는 것으로 나타났다. 이는 고도 200m까지의 접지층내 기온에 고도 10m와 25m의 접지 경계면 풍속이 영향을 많이 받으므로 이 고도보다는 25m에서의 풍속과 각 층의 기온과의 상관관계가 더 높게 나오는 것으로 사료되어진다.

Fig. 9와 11은 1981년 12월과 1983년 3월의 각 고도에서 기온과 가장 상관관계가 높게 나타나는 풍속층인 25m에서의 풍속과 가장 높은 고도인 200m에서의 기온과의 분포를 나타낸 것이다. 이 분포에 있어서 최소자승법을 이용한 회귀식은 각각

$$T_{200} = 1.32 + 1.99 V_{25}$$

$$T_{200} = 1.55 + 1.51 V_{25}$$

로 구해졌다.

그리고 Table 7과 9를 보면 역전강도는 풍속과

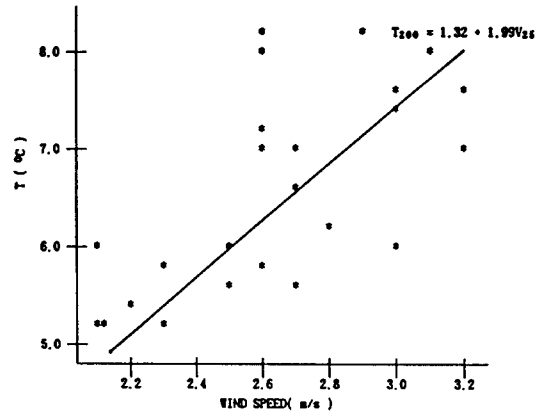


Fig. 9. Scatter diagram showing relationship between temperature at 200m height and wind speed at 25m height in December 1981.

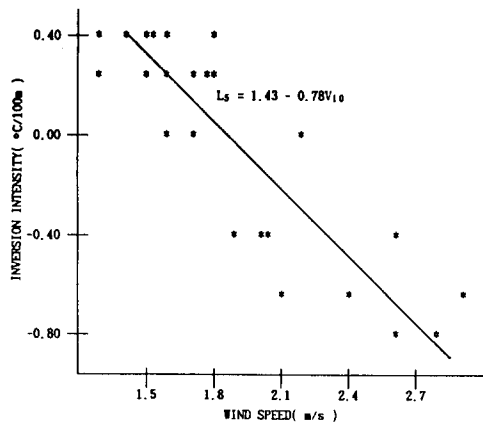


Fig. 10. Scatter diagram showing relationship between inversion intensity in L5(150~200m) and wind speed at 10m height in December 1981.

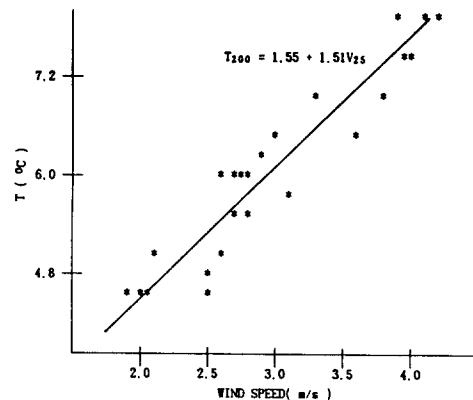


Fig. 11. Scatter diagram showing relationship between temperature at 200m height and wind speed at 25m height in March 1983.

역상관 관계를 나타내고 있다. 이 역전 강도도 지표면으로 갈수록 그 상관이 크게 나타나고 상층풍과는 별로 상관이 없는 것으로 나타났다. 즉 지표면에 가까운 고도는 풍속이 강할수록 역전강도가 약하게 나타나고 있음을 알 수 있다. 특히 10m에서의 풍속은 전층의 기온감율에 좋은 역상관을 나타내었다. 그 중 10m에서의 풍속과 가장 높은 층인 L5에서의 역전 강도와와의 분포를 Fig. 10과 Fig. 12에 나타내었다. 여기서 구한 회귀식은 1981년 12월과 1983년 3월에서 각각

$$L5 = 1.43 - 0.781 V_{10}$$

$$L5 = 1.38 - 0.613 V_{10}$$

와 같이 나왔다.

또한, 1981년 12월에서 L1층과 고도 200m에서의 풍속과 상관이 1983년 3월의 경우보다 크게 나타나는데 이는 상층에서의 평균풍속이 작기 때문이다.

따라서 200m고도내에서 기온은 25m고도에서의 풍속에 가장 많은 영향을 받으며, 역전의 강도는 10m 고도에서의 풍속에 큰 영향을 받음을 알 수 있다.

3.3. 대류권내에서 역전의 분포

지표에서 300hPa 까지 11개의 지점에서 관측된 기온값을 이용하여 분석 기간동안 역전의 발생 빈도를 알아보았다.

Fig. 13-a는 관측 기간 동안의 역전의 발생 빈도를 각 층별로 나타내었다. 기간 동안 1일 2회 09시와 21시의 하루 2회 관측의 누적빈도치로서 지표와 1000hPa사이에서 421회(57.8%)로 최대의 출현 빈도를 보였고 상층으로 갈수록 감소하나 850hPa와 800hPa 사이에서 46회(6.3%)로 900hPa 부근의 층보다 증가하며, 이는 한후기의 고기압권내에서의 하강 기류에 기인된 침강 역전으로 보이며, 350hPa와 300hPa사이에서도 25회(3.4%)로 증가하는 경향을 보였는데 이 층은 대류권계면 부근으로 권계면 역전으로 생각되어진다.

Fig. 13-b는 09시와 21시의 역전의 발생빈도를

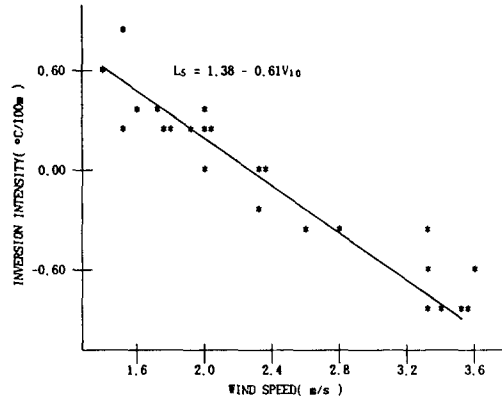


Fig. 12. Scatter diagram showing relationship between inversion intensity in L5(150~200m) and wind speed at 25m height in March 1983.

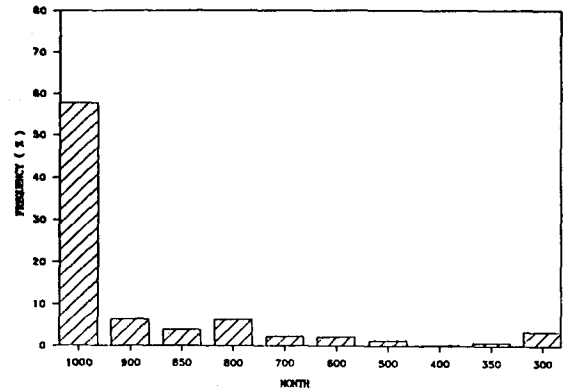


Fig. 13-a. Vertical distribution of mean ILF.

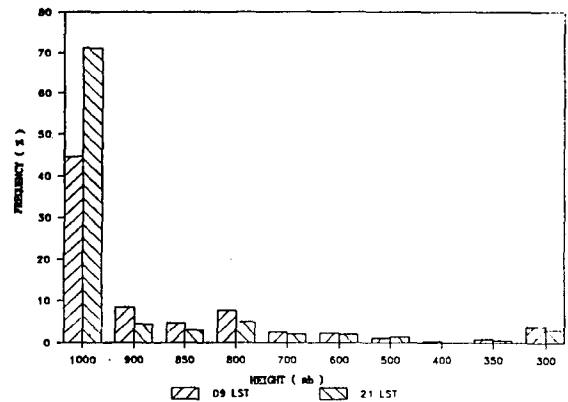


Fig. 13-b. Same as Fig 13-a but ILF on 09 LST and 21 LST.

층별로 나타낸 것으로 지표와 1000hPa사이층을 제외하고는 09시 때가 오히려 출현 빈도가 높게 나타났다. 야간에 지표 부근은 지표복사의 영향으로 21시 때가 높으나 상층에서는 주간에 전체적으로 출현 빈도가 높은 이유에 대해서 새로운 검토가 요구되어 진다.

Fig. 14에서 월별 ILF의 분포는 12월이 최대로서 146회(11.8%) 나타났으며 3월이 최소로서 69회(5.6%) 출현하였고 접지층과의 발생 빈도에서 경향이 거의 비슷하였다. 기간 동안 월별 최대 출현 빈도는 81년 12월로 75회(12.1%)였으며, 83년 3월이 최소로서 31회(5.0%)였다.

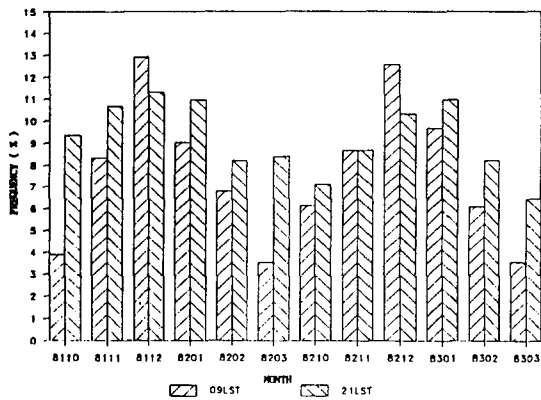


Fig. 14. Monthly variations of ILF on 09LST and 21LST.

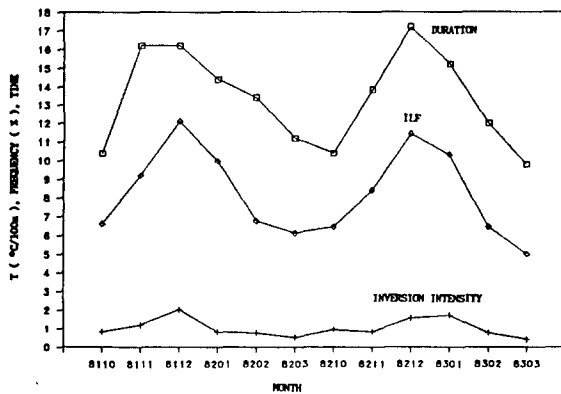


Fig. 15. Monthly distribution of surface mean inversion intensity and duration of surface inversion mean ILF.

09시와 21시의 ILF의 월별 발생은 12월을 제외하고는 21시때가 높으며, 12월에서 09시가 높게 나타남은 지표 부근에서 역전은 09시 이후에 소멸하고 또한 상층 역전의 발생 빈도도 높기때문으로 생각된다.

3.4. 접지 역전과 상층 역전과의 관계

Fig. 15는 접지 역전의 지속 시간, 접지 역전의 강도 및 ILF와의 관계를 나타낸 것이다. 관측 기간 동안 각 년에서 접지 역전의 지속 시간은 81년 12월과 82년 12월이 최대로서 각각 16.2, 17.2시간이고 10월과 3월로 가면서 감소하여 81년 10월과 83년 3월이 각각 10.4시간, 9.8시간으로 최소 지속 시간을 나타내었다. 접지 역전의 강도도 같은 경향을 나타내어 81년 12월과 83년 1월이 각각 2.02℃, 1.72℃로 최대가 되며 82년 3월과 83년 3월이 0.52℃, 0.41℃로 최소로 나타났다. ILF는 81년 12월과 82년 12월이 12.1%, 11.4%로 최대이며 82년 3월과 83년 3월이 6.1%, 5.0%로 최소로 나타났다. 이상에서 접지 역전의 강도와 지속 시간 및 ILF는 대체로 10월에서 12월로 가면서 증가하여 12월에 최대치를 나타내고, 3월로 가면서 감소하여 3월에 최소치를 나타내는 경향이 있었다. 이는 접지 역전의 강도가 강할수록 지속 시간이 길어지며 상층 역전의 발생 빈도가 증가함을 나타내었다.

4. 결론

한후기(cold half year: 10~3월) 동안 역전에 관한 기후학적인 연구를 1981년 10월에서 1982년 3월, 1982년 10월에서 1983년 3월에 걸쳐 지상 10m에서 200m 고도, 지표에서 300hPa에 걸쳐 기상 자료를 통계적으로 분석하고 종관적인 고찰을 해본 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

지표 부근의 역전 발생 시각은 10월에는 20시경에 형성되나 12월로 감에 따라 빨라져 일몰 부근에서 발생하였고, 상층은 월별 특징이 없다.

지표 부근의 역전의 소멸 시각은 월 구분없이 일출 직후 나타나며 상층으로 갈 수록 늦어진다.

접지 역전의 평균 지속 시간은 13.3시간이며 가장 오래 지속되는 층은 100m에서 150m 층으로 17.5시간 이며 10m에서 25m 층이 최단 시간으로 10.5시간이다.

200m 고도까지의 기온은 25m 고도에서의 풍속에 가장 큰 영향을 받으며 역전의 강도는 10m 고도에서의 풍속에 더 큰 영향을 받는다.

대류권 내에서의 역전 발생빈도는 지표부근, 850hPa에서 800hPa의 층 350hPa에서 300hPa사이의 층에서 높으며, 최대 발생빈도는 월별로는 12월(23.6%), 층으로는 지표에서 1000hPa 고도까지(57.8%)로 나타나고, 최소는 3월(11.1%)과 500hPa와 400hPa의 층(0.1%)으로 나타난다.

접지역전의 강도가 강할수록 접지역전의 지속 시간 및 상부 역전의 발생빈도는 증가한다.

참 고 문 헌

- 김성삼, 1967, 우리나라 중부지구 저공층 대기의 확산능에 관하여, 원자력연구논문집 제7권, 제 1호, 71-70.
- 김성삼, 1968, 우리나라 중부지구 저공층 대기의 확산능에 관하여, 원자력연구논문집 제7권, 제 1호, 17-24.
- 문승의, 유혜주, 김유근, 1984, 고리지역의 접지역전에 관한 기후환경학적 연구, 부산대학교 환경문제연구소 환경연구보 2, 69-77.
- 중앙기상대, 1981, 해안지방의 접지기후 연구.
- Bonacica, L.C.W., 1953, An estimation of the great London fog of 5-8 December 1952, *Weather*, 8, 333-334.
- Kawamoto, T. and S. Ishizaka, 1968, Inversion layer, Technical report of the Japan Meteorological Agency, No. 66, (481p) 77-84.
- Kimura, F. and t. Yoshikawa, 1988, Numerical simulation of global scale dispersion of radioactive pollutants from the accident at the Chernobyl Nuclear Power Plant. *J. Met. Soc. Japan*, 66, 489-495.
- Liu, F. H., 1990, Climatological study of temperature inversion layers in the northern hemispheric troposphere., *Climatological note* 39.
- 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., 45-52.
- Yoshino, M., 1968, Extremely low air temperature and development of inversion layer in the Tsukuba, Environmental Research Center, 6, 35-44.