

碩士學位論文

제주지역 일 최대 혼합고
산정에 관한 연구



環境工學科

李 明 勳

1999年 6月

제주지역 일 최대 혼합고 산정에 관한 연구

指導教授 李 起 浩

李 明 勳

이 論文을 工學 碩士學位 論文으로 提出함



李明勳의 工學 碩士學位 論文을 認准함

審査委員長	<u>허 철 구</u>	印
委 員	<u>조 은 일</u>	印
委 員	<u>이 기 호</u>	印

濟州大學校 大學院

1999年 6月

A Study on the Estimation of
Daily Maximum Mixing Height
in Cheju Area

Myung-Hun Lee
(Supervised by Professor Ki-Ho Lee)

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING

DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL
ENGINEERING GRADUATE SCHOOL
CHEJU NATIONAL UNIVERSITY

1999. 6.

목 차

I. 서 론	1
II. 이론적 배경	3
1. 대기 경계층의 구조	3
2. Holzworth 방식에 의한 혼합고 산정	10
III. 연구 방법	13
1. 기상 자료	13
2. 일 최대 혼합고 산정방법	15
3. 대기질 측정 자료	15
IV. 결과 및 고찰	16
1. 기상특성 분석	16
2. 일 최대 혼합고의 산정	22
3. 대기오염물질 농도와의 관계 및 대기 환기량 산정	30
V. 결 론	34
VI. 참 고 문 헌	35

List of Figures

Fig. 1. Vertical profiles of potential temperature and humidity.	5
Fig. 2. Typical profiles of potential temperature, wind speed, and specific humidity with the mix layer.	5
Fig. 3. The general scheme of the mixed layer.	7
Fig. 4. Daily variations of mixing height.	7
Fig. 5. Daily variations of ABL.	8
Fig. 6. Estimating method of daily maximum mixing height.	11
Fig. 7. Estimating method of DMMH in various air conditions.	11
Fig. 8. The location of Cheju upper-air and radar weather station.	13
Fig. 9. Monthly variations of meteorological parameters.	17
Fig. 10. Vertical profiles of temperature and wind speed.	19
Fig. 11. Monthly variations of temperature and wind speed according to the standard pressure level.	20
Fig. 12. A plot of moving average of DMMH in Cheju.	23
Fig. 13. Variations of monthly mean DMMH in Cheju.	25
Fig. 14. Comparison of monthly mean DMMH between Cheju and other areas.	27
Fig. 15. Plot of the frequency histogram of DMMH.	28
Fig. 16. Variations of DMMH during rainy wet season.	31
Fig. 17. Relationships between air pollutant concentrations and DMMH.	32

List of Tables

Table 1. Criteria of atmospheric dispersion condition with atmospheric ventilation	9
Table 2. Instruments for observing the upper-air weather in Cheju area	14
Table 3. Geopotential height of the standard pressure level	18
Table 4. Comparison of monthly and seasonal mean and standard deviation of the DMMH between Cheju and Pohang	24
Table 5. Comparison of DMMH between Cheju and other areas	29
Table 6. Occurrence frequency of atmospheric ventilation	33

Summary

This study were carried out to estimate the DMMH(daily maximum mixing height) in cheju area for the period of 1989 ~ 1998 by using the Holzworth method. Cheju upper-air and radar weather station and maximum surface temperatures between 12LST and 18LST are used with the assumption of a dry adiabatic lapse rate to estimate maximum mixing height.

It was investigated the seasonality and monthly trend of DMMH and relationships between air pollutant concentrations and occurrence frequencies of the estimated DMMH data in Cheju area.

The results of this study were summarized follows :

1. DMMH data showed a typical seasonality in which higher values are commonly seen during fall and winter, while lower values during summer season.

2. DMMH tends to be increased in Fall and Winter and to be decreased in Summer. The highest DMMH can be shown in October and the lowest in June.

3. An occurrence of estimated DMMH which in the range below the 1,000m altitude was appeared to be about 75%.

4. During the rainy wet season, when it is continuously rain as well as the weather front is covered on Cheju area, the DMMH becomes lower.

5. It can be shown that there is no relationship between DMMH and air pollutant concentrations. The mean ventilation of Cheju area is $4,600\text{m}^2/\text{s}$ and the mean wind speed is observed over 4m/s . So it can be found that the dispersion capacity of air pollutant inCheju atmosphere is relatively large. **I** .

서 론

대기로 방출된 대기오염 물질은 물리적 이동현상과 그 이동과정에서 화학적 변화를 거치게 되고 이중에서 물리적 이동현상은 수평적 이동과 수직적 이동으로 다시 나눌 수 있는데 거의 모든 연구들이 대기의 확산과정을 설명하면서 수평적 이동현상을 다루고 있는 실정이다. 이에 반해 수직적 이동현상은 풍향, 풍속, 대기안정도 등의 기상요소들이 중요한 변수로 수평이동과 더불어 대기오염물질을 희석시키는 중요한 역할을 한다. 이와 같은 오염물질의 수직확산거리를 결정하는 혼합고는 그 고도내의 평균풍속과 함께 혼합용량을 대변하는 중요한 변수에 해당한다. 대기 혼합고는 box model 과 Gaussian equation 을 이용하여 대기오염물질의 농도를 계산하는데 중요한 자료로 이용되고 있으며(Aron, 1983), 대기오염을 예보하는데 기초자료로 활용할 수 있을 뿐만이 아니라 오염물질의 대기 중 혼합용량을 평가하거나 대기확산 모델링에 이용되는 입력자료로 활용이 가능하다(Schulze, 1990).

혼합고 산정에 관한 연구를 보면 외국의 경우에는 1962년 Holzworth에 의해 처음으로 계산되었고, 그에 의해서 계속적으로 발달되어 왔다. Holzworth(1964)는 미국에 있는 45개 고층관측지점의 기상요소 자료를 이용하여 미국전역의 월평균 혼합고를 산정한 바 있다. Miller(1967)는 대기 혼합고와 풍속을 예측하는 방법을 연구하였고, 다시 1967년에 Holzworth는 출퇴근시 교통혼잡 시간에 수많은 대기오염 물질이 방출되므로 오전 혼합고를 산정하기 위한 방법을 제시하기도 했다. Nakanishi(1976)는 Oxidant가 고농도인 날에 최대 혼합고는 700~900m 범위에 있지만 Oxidant가 저농도인 날에는 최대 혼합고가 변하는 것을 밝혀냈다. Sonobe(1975)는 높은 Oxidant 농도가 지면 온도 32~34℃ 사이일 때 일어나는 경향이 있고 이때의 최대 혼합고는 1,200~1,500m 범위에 있다는 연구결과를 발표했다. Olsson 등(1974)은 대기 중에서 분진의 감소는 고층의 온도와 상관되지 않으며 고층 온도만으로 분진이 급격히 떨어지는 것을 예상할 수 있는지 의문스럽다고 주장했고, Lin과 Bland(1980)는 LA 지역에서의 최대 혼합고와 Oxidant 사이의 상관관계를 계산했다.

국내의 경우에는 이(1990)는 포항, 오산, 광주지역에서 대기 혼합고의 지역별, 계절별 변화추이에 관한 연구를 수행했고, 신(1994) 역시 포항, 오산, 광주지역의 1983년에서 1992년까지 10년간 자료를 이용하여 대기 혼합고의 시계열성 및 월별 변화추이를 연구했다. 또한 장(1997)등은 Holzworth의 계산방법을 이용하여 1991년에서 1995년 5년간의 우리나라 4개의 고층관측지점의 자료를 이용하여 오전 및 오후 혼합고를 산정한 바 있다. 그러나 외국의 경우와 비교하면 대기 혼합고에 대한 연구나 고층기상 관측자료의 가용성문제로 인해 자료의 이용에는 어려움이 상당히 있었다. 뿐만 아니라 국내에서는 대기혼합고 자료에 관한 체계적인 측정 및 분석자료가 미미한 실정에 있으며, 따라서 환기량을 평가하거나 다양한 대기확산모델을 선정하고 이용하는데 있어서도 제한적인 요소로 작용하였다(최와 백, 1998). 특히 제주지역의 혼합고 산정에 관한 연구는 타 지역의 혼합고 산정과 비교 설명하기 위한 하나의 방편으로만 활용되어 심층적인 분석이 이루어지지 못하고 있다(장 등, 1997).

이번 연구에서는 제주도 서부지역에 위치한 제주고층레이더기상대의 레원존대를 이용한 고층기상 관측자료와 지상관측 자료를 근거로 하여 제주지역의 1일 최대 혼합고를 산정하여 이의 시간적 변동 특성, 혼합고별 발생빈도를 파악하고 환기량 산정 및 Holzworth 방식의 적용에 따른 현실적인 문제점을 파악하고자 했다. 그러므로 우리나라의 남해상에 위치하여 주변 해양의 영향을 직접적으로 받고있는 섬지역인 제주지역에서의 혼합고를 산정하면 향후 청정한 제주지역의 대기질 관리와 대기오염 예측에 실증적인 기초자료를 제공할 수 있을 것이다.

II. 이론적 배경

1. 대기 경계층의 구조

대기의 운동과 온도 등은 지표면의 영향을 받지만, 지면 가까운 층일수록 그 영향을 크게 받는다. 이러한 층을 우리는 대기경계층이라고 부른다. 그 층에서도 지표면에서 수십미터까지의 층은 특히 지표면의 영향이 크므로 접지층이라고 부르고, 그 접지층보다 위쪽에 위치하는 대기경계층을 Ekman층이라고 부른다.

접지층은 지표면의 영향을 전면적으로 받고 있는 하층대기로서 운동량과 열의 연직방향 플럭스가 지표면에서의 값과 동일하다고 간주하는 층이다. 즉, 풍속은 고도가 증가할수록 급속히 증가하지만, 평균 풍향은 변하지 않는 층이라고 할 수 있다.

Ekman층은 접지층의 위쪽에 위치하는 층으로서 최근에 관측장비의 발달로 활발한 관측이 이루어져 왔다.

1) Ekman층의 관측 사례

(1) Wangara 관측

오스트레일리아의 남서부 Hay 근처에서 1976년 7월에서 8월에 걸쳐 실시한 야외관측 실험으로서 각 관측점에서 1시간 간격으로 지상 2km까지의 바람을 관측하였고, 미기상의 기초적인 자료를 얻기위한 관측도 실시하였다. 특히 지표면 근처의 열 및 운동량 플럭스를 산출하기 위한 관측을 위해서 새로운 장비를 개발하기도 했다.

(2) Minnesota 관측

대기경계층 전체의 상태를 밝히고 물리적인 구조를 파악하기 위해서 1973년 여름에 실시한 야외관측이다. 여기서는 접지층과 Ekman층으로 나누어서 각종 관측장비를 개발하여 적용하기도 했다.

그 외에도 일본의 AMTEX 관측 등이 대기 경계층 관측과 관련된 주요 관측 사례들이 수없이 인용되고 있다.

2) 혼합층

맑은날에는 일사에 의해서 지표가 가열되고, 부근의 공기가 가열된다. 그렇게 되면 공기는 부력을 가지며 대류에 의한 난류가 발생하게 된다. 또한 해양이나 습한 지표면 위에서는 다량의 수증기를 함유하기도 한다. 수증기는 공기에 비해서 밀도가 작기 때문에 이 경우도 부력을 지니게 된다. 이와 같이 대기가 불안정한 경우 위층으로 갈수록 대류가 활발하게 되고 지상 10km 이상까지 미치는 것으로 생각은 되지만 실제로는 수 백 미터에서 수 km에 달하고 있다. 이는 일반적으로 상층에 역전층이 있어서 뚜껑(lid)의 역할을 하므로서 연직방향의 운동을 억제하기 때문이다. 이 뚜껑은 하층의 난류, 연직 방향의 평균 흐름들에 의해서 상하로 움직인다고 알려져 있다. 대규모의 침강이 있는 경우 등에서는 lid는 낮아지고, 때로는 오염물질의 농도가 높아지는 에피소드의 원인이 되기도 한다.

Fig. 1에 나타난 해상에서 고도에 따른 온위 및 습도 분포의 예를 보면, 해면 근처에서는 다소 불명확하기는 하지만 온위 구배가 급격한 불안정 접지층이 있고 그 위로부터 약 1,200 m까지 온위 변화는 거의 없다. 이는 대류에 의한 공기 혼합이 활발하다는 것으로 이 기층을 혼합층(mixed layer)라고 한다. 약 1,200 m의 고도에서 온위는 불연속적으로 상승하고 그 보다 위에는 역전층이 존재하고 있다. 여기서 혼합층을 지배하는 기본 물리량을 보면, 온도 플릭스, 부력 파라미터, 혼합층 고도를 생각할 수가 있다.

3) 혼합층 구조

혼합층 관측 자료를 이용하여 해석된 결과들을 중심으로 혼합층 구조를 살펴보면 다음과 같다.

(1) 기상요소 평균값의 수직 분포

Fig. 1에서 보았듯이 온위와 온도는 역전층 아래에서 불연속적으로 급변함을 알 수 있다. 일반적으로, 그 위에 존재하는 안정한 성층의 상태는 여러 경우가 있을 수 있다. Fig. 2는 그중의 한 모식도로서 어떤 상황에서도 혼합층 중에서는

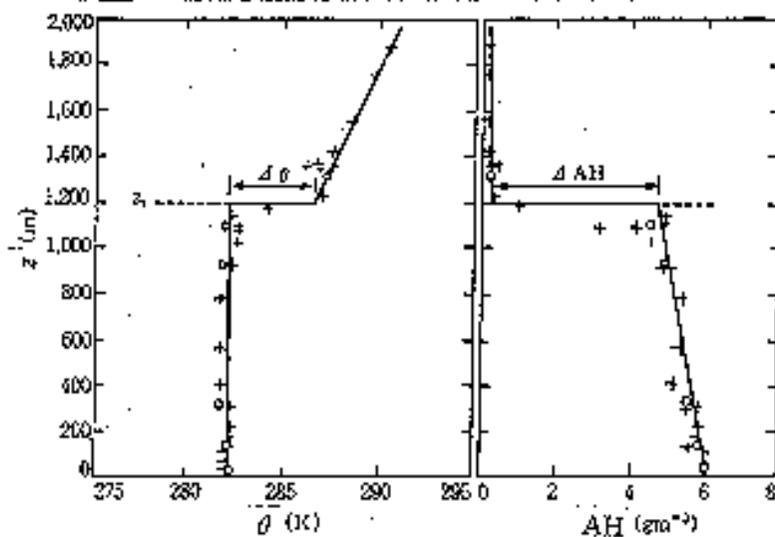


Fig. 1. Vertical profiles of potential temperature(θ) and humidity(AH) (Wyngaard, 1978).

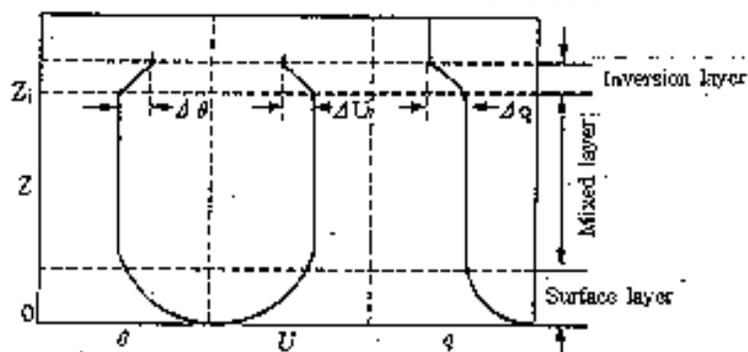


Fig. 2. Typical profiles of potential temperature(θ), wind speed(U), and specific humidity(q) with the mix layer(Han, 1993).

그 아래의 접지층에서 가속된 대류세포가 상승하므로 전체 층에 걸쳐 바람의 난류는 크다. 그에 따라서 혼합이 격렬하므로 기상요소의 평균치는 일반적으로 균일하게 나타난다.

(2) 온도 플럭스의 수직 분포

온도 플럭스는 지표면에서 상공으로 갈수록 급속히 감소한다고 알려져 있으며, 혼합층 고도에 가까워 질수록 그 값은 큰 차이를 보인다고 알려져 있다. 이는 상부층의 안정도나 바람의 전단력 등에 의해서 비난류역의 공기가 난류역으로 혼합되는 entrainment에 좌우되기 때문이다. 비행기나 레이더 관측을 통한 상세한 해석을 해보면 Fig. 3과 같은 혼합층의 개념도를 얻을 수가 있다. 그림은 얇은 역전층이 혼합층 위 1.5 km의 고도에 존재하는 경우로서 아래로부터 큰 소용돌이에 의한 안정층의 entrainment가 보이고 지표면으로부터는 대류성 연기(plume)가 배출되어 그 일부는 혼합층의 상부까지 도달하는 상황을 표현하고 있다.

4) 혼합층의 고도



제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

맑은 날 저녁의 대기 경계층은 복사냉각으로 인해 안정한 성층 상태에 있다고 알려져 있다. 그렇지만 해가 떠서 일사량이 증가함에 따라서 지표면의 온도가 상승하면 지표면 근처의 공기는 상부의 공기와 밀도차가 생기므로 지표면 근처로부터 대류성 혼합이 활발하게 일어나고 안정한 기층의 하부에 혼합층이 형성된다. 이 층은 일출부터 시간이 경과함에 따라서 두께가 증가하고 14 시경에 최고가 된다고 알려져 있다. 이를 최대 혼합고라고 부르기도 한다. 오후가 되면서 상부 온도의 수직 구조는 그대로 유지되지만 지표면 가까운 층은 냉각이 일어나 지표면 부근의 기온은 떨어지기 시작하므로 안정한 층인 접지 역전층이 형성되고, 그 위에는 낮 동안에 발달한 혼합층이 잔류하게 된다. 그렇지만 이 잔류 혼합층의 교란은 낮과는 달리 활발하지 못하게 된다.

Fig. 4는 미국 O'Neill, Nebraska의 평원에서 1953년 여름에 실시한 관측한 자료를 기초로 하여 작성된 것으로서, 대류활동이 활발한 날의 경계층의 고도 및 지표면에서 연직 열 플럭스의 평균값을 나타낸 것이다. 낮 동안에 혼합층 고도가 약 2,000 m 가까이까지 발달하는 데 비해 야간에는 역전층의 높이가 비교적 낮은 곳에 머물고 있음을 알 수 있다. 또한 열 플럭스는 대체로 sine 곡선의 모양

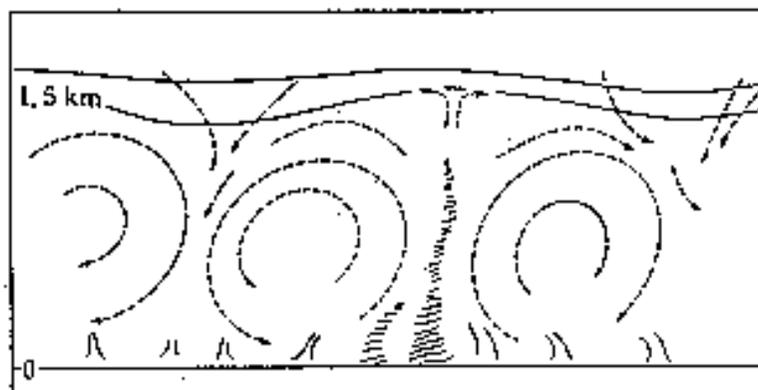


Fig. 3. The general scheme of the mixed layer(McBean, *et al*, 1979).

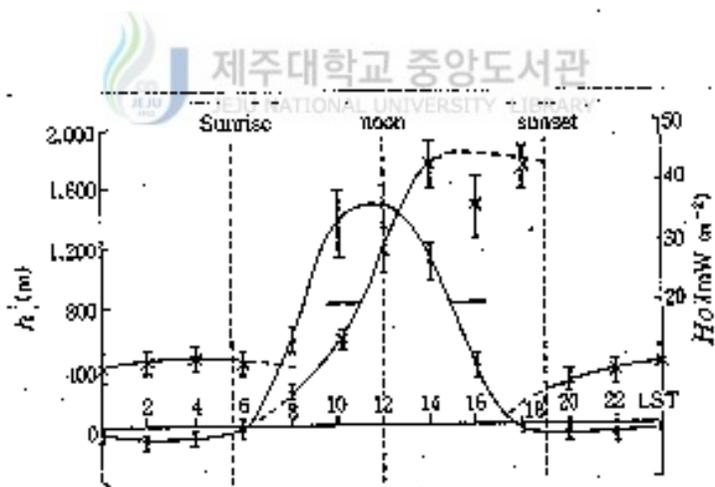


Fig. 4. Daily variations of mixing height(Carson, 1973).

h_i : the height of ABL ; H_0 : heat of surface

으로 변하여 야간에는 미소한 음의 값을 취하기도 하는 것으로 알려져 있다. 대기 경계층의 일변화를 지배하는 방정식은 풍속과 관련한 식과 기온에 관련한 식으로부터 성립하게 된다. 그리고 습도가 큰 역할을 할 경우에는 수증기량 보존식이 추가가 될 것이다.

이처럼 우리의 생활권에 근접한 하층의 대기에서는 온도가 일변화를 하고, 역전층, 혼합층 및 불안정한 접지층으로 불리는 고유의 층을 형성하게 된다. 따라서 대기오염물질의 이동은 이들 각 층의 고유 특성 및 그 높이에 크게 영향을 받게 된다. 이런 하층 대기의 고유한 층들의 일변화를 나타낸 전형적인 예는 Fig. 5와 같다. 이는 오스트레일리아에서 행한 Wangara 실험의 모형실험을 계산하고, 풍속과 온위의 평균치 및 각종 변동의 2차 모멘트 등을 산출한 결과의 예로서 혼합층을 포함하는 대기 경계층의 두께를 2일간을 걸쳐 실측치와 비교한 것이다. 그림에서 보면 야간의 안정된 접지 역전층은 일출과 함께 태양에너지를 받으면서 지표면이 데워지므로 점차로 변형되어 감을 볼 수 있다. 그리고 다음 날에 일출이 되면서 이런 변화는 다시 되풀이된다. 그렇지만 이 높이는 밤낮으로도 달라지지만 계절에 따라서도 달라지고 지형에 의해서 영향을 받게 된다(한, 1993).

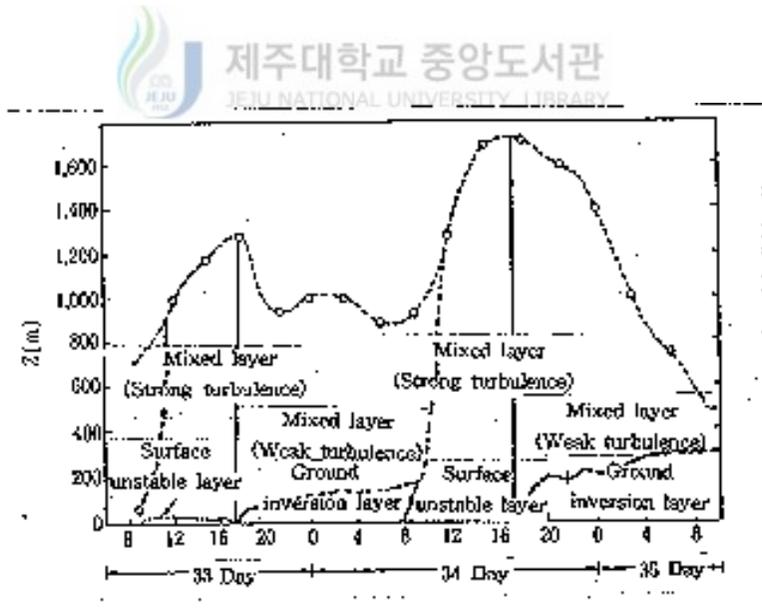


Fig. 5. Daily variations of ABL(Yamada 와 Moller, 1975).

이상에서 알아본 바와 같이 열에 의한 상승효과로 인한 대류에 의해서 혼합층의 고도가 결정되는데, 실제적으로 혼합층의 고도는 지표면에서 상공 수 km까지의 대기의 수직 기온분포를 작성하므로써 결정할 수가 있다. 기온의 측정은 통상 낮에 실시하는데 때로는 아침에 실시할 수도 있다. 즉, 풍선을 띄워서 여러 고도에서의 기온 자료를 지상에서 수신하는 라디오존데의 측정 결과를 주로 이용하게 된다. 수신된 기온자료를 Fig. 6과 같이 고도에 따라서 작성하고 그 날의 정상적인 최고 지표면 온도에서 출발한 건조단열선을 연장하여 이 건조단열선과 실제 온도선 (환경곡선)이 교차하는 지점까지의 높이를 일 최대 혼합고 (daily maximum mixing height) 로 결정하게 된다.

실제로 대기오염물질의 확산과정에 있어서 대기 혼합층의 일 변화는 중요한 영향 인자로서 작용한다. 대기오염물질의 확산을 예측함에 있어서 대기 혼합층의 일 변화를 지배하는 방정식들을 이용한 수치계산에 의해서 대기 혼합층의 두께를 계산한다. 이 혼합층내의 평균 풍속과 풍속에 직각인 단위 밀변의 오후 혼합고 높이까지의 단면적을 곱하여 대기 환기량을 산출할 수가 있다. 이는 대기오염 분산시 예보를 위한 기준이 될 수도 있다. 통상 풍속이 4 m/s 이상이거나 대기 환기량이 6,000 m³/s 이상이면 환기가 잘 이루어져 분산이 잘 일어나므로 대기오염물질의 분산이 아주 양호해 진다고 생각할 수 있다. 대기 환기량에 따른 오염분산 상태를 구체적으로 정리하면 다음의 Table 1과 같이 평가할 수 있다.

Table 1. Criteria of atmospheric dispersion condition with atmospheric ventilation

Dispersion condition	Ventilation(m ³ /s)
Bad	0 ~ 2,000
Fair	2,000 ~ 4,000
Good	4,000 ~ 6,000
Excellent	6,000 <

2. Holzworth 방식에 의한 혼합고 산정

Fig. 6은 Holzworth 방식에 의해서 일 최대 혼합고를 산정하는 방법이다. 이 방법에 의하면 고층기상 관측자료를 Holzworth 방식에 적용하여 비교적 간편하게 측정지점의 일 최대혼합고를 산정할 수 있는데 이 방법에 의하면 일 최대혼합고는 아침(09시)에 측정된 고도별 기온의 수직분포를 대변하는 환경감율선과 그 날의 일 최대 지상기온을 지나는 건조단열감율선이 만나는 고도로 표현될 수 있다. 본 연구에서는 Fig. 6과 같이 환경감률선 작성은 00UTC (09시)의 지표면 온도(T_s)에서부터 레윈존데에서 수신된 각 표준 등압면에서 측정된 기온자료를 이용하였으며 일중 최대 지상온도는 일기상통계표 수록된 최대지상온도(T_m)를 이용하여 건조단열감률선(Dry Adiabatic Lapse Rate)을 작성하였다.

최대 혼합고는 일중 대기오염물질이 수직으로 혼합될 수 있는 최대고도로서 일중에는 이 고도는 변하지 않는다는 기본이론에 바탕을 두었으며 Fig. 6에서 볼 수 있는 바와 같이 지표면 온도(T_s)에서 환경감률선을 따라 올라갈 때 이른 아침에 흔히 나타날 수 있는 지표면 부근에서의 한 예를 나타내고 있다. 이 역전층은 시간이 경과할수록 최고기온(T_m)쪽으로 향함에 따라 기온역전층이 서서히 사라지게 되는 것이다. 이와 같이 비록 낮은 고도에서 기온 역전층이 발생하더라도 일 최대혼합고는 일중에 변함이 없다는 것이다.

Fig. 7는 여러 가지 대기조건에 따른 혼합고를 나타낸 것으로, 일반적으로 안정한 대기의 경우 지표에서 T_s 의 온도를 가진다. 지표부근의 공기덩이가 태양 열에 의해 T_m 까지 온도가 상승한 경우(a), 건조단열선(점선)을 따라 단열 팽창하게 되므로 두 선이 만나는 교차점이 DMMH가 된다. 대기가 대단히 안정한 경우 그림(b)와 같은 상태가 되므로 (a)의 경우보다 DMMH가 더 낮아진다. 그림(c)의 경우는 대기의 상부에 역전층이 존재할 경우의 DMMH의 위치를 보여준다.

이런 Holzworth 방식에 의한 DMMH 산정은 그 개념과 계산방법이 합리적 이기는 하지만 기술적 또는 구체적 측면에서 볼 때 그 산정방법에 따른 불확실성과 논리적 문제점을 완전히 배제할 수는 없을 뿐만 아니라 지표면 부근에서의 복사 역전층의 발생유무를 파악하는데도 문제점이 있다. 그리고 수집된 고층기상

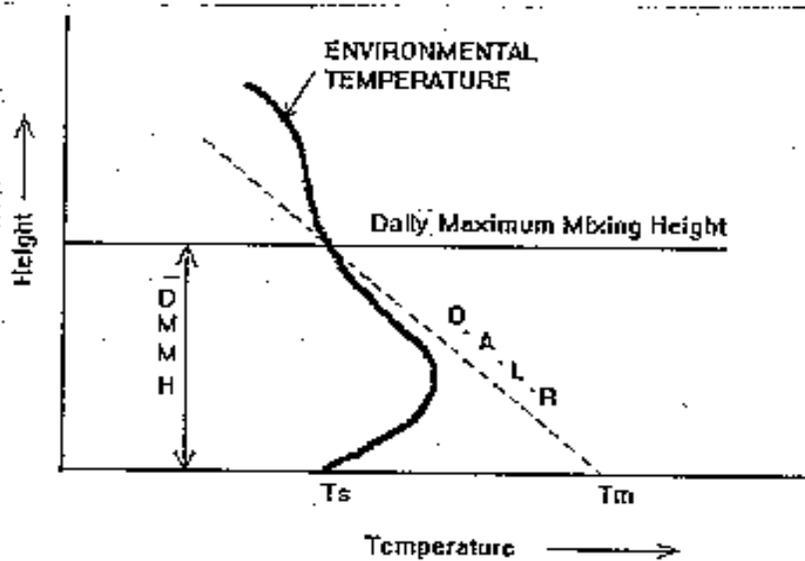


Fig. 6. Estimating method of daily maximum mixing height.

T_s : Surface Temperature
 T_m : Maximum Surface Temperature
 D.A.L.R. : Dry Adiabatic Lapse Rate

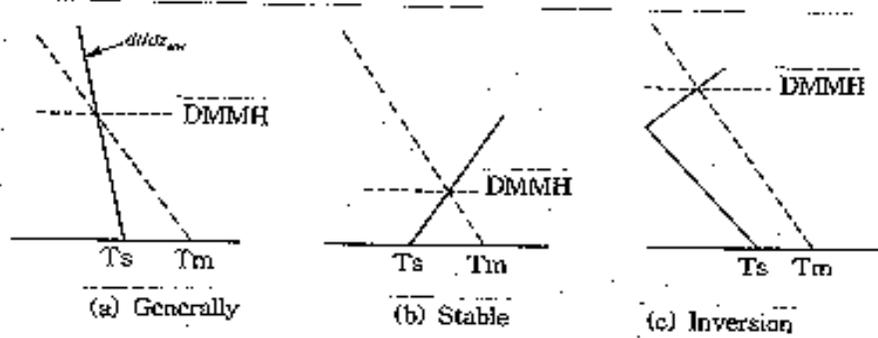


Fig. 7. Estimating method of DMMH in various air conditions.

자료의 성격도 잘 고려해야 한다. 특히 이 Holzworth 방법이 처음 적용된 미국과 우리나라의 기상자료의 수집에 다소 차이가 있어 이를 극복하는 문제가 과제로 남아있다.

미국과 한국에서의 지상기상 및 고층기상을 관측할 때 나타나는 차이점을 보면 첫째는 온도와 기압 등 일부 기상관측에 있어서 미국은 매 1시간마다 관측을 하는데 비해 한국에서는 3시간에 한번씩밖에 관측을 하지 않는다. 둘째는 상공 2,000m 고도까지의 고층기상 관측자료를 수집함에 있어서 미국에서는 매 150~200m씩 세분해서 관측을 실시하지만 우리나라의 경우는 매 200~300m 마다 관측을 실시한다. 셋째는 미국전역은 12UTC가 미국서부 표준시각으로 04시에서 미국동부 표준시각 07시 사이에 해당하므로 일출직전의 고층기상 관측자료를 얻을 수가 있지만 우리나라의 경우 00UTC 자료를 이용하더라도 한국 표준시각으로 09시에 해당되므로 이는 일출 후 2~3시간의 지난 후인 고층기상 자료를 이용할 수 밖에 없는 실정이다. 넷째는 미국에서는 지상기상 관측소와 고층기상 관측소가 동일한 지점에 주로 위치하지만, 한국에서는 지상기상 관측소는 도시에 고층기상 관측소는 교외에 위치한다.

이런 관측된 기상자료의 차이점 이외에도 Holzworth 방식에 의하면 대기의 체감율을 건조단열적으로 가정하고 있으므로 주간에 강수가 있는 경우에 이런 가정은 불합리한 측면을 내재하고 있다.

Ⅲ. 연구 방법

1. 기상 자료

국내에서 고층기상 관측을 하는 포항, 오산, 광주, 제주의 4지역인데 본 연구에서는 Fig. 8에 나타낸 바와 같이 제주도 서쪽 끝 해안가에 위치한 제주고층레이더기상대에서 관측된 지상 및 고층관측자료를 이용하였다. 이 제주 관측지점은 지상기상과 고층기상을 동일한 위치에서 실시하고 있다.

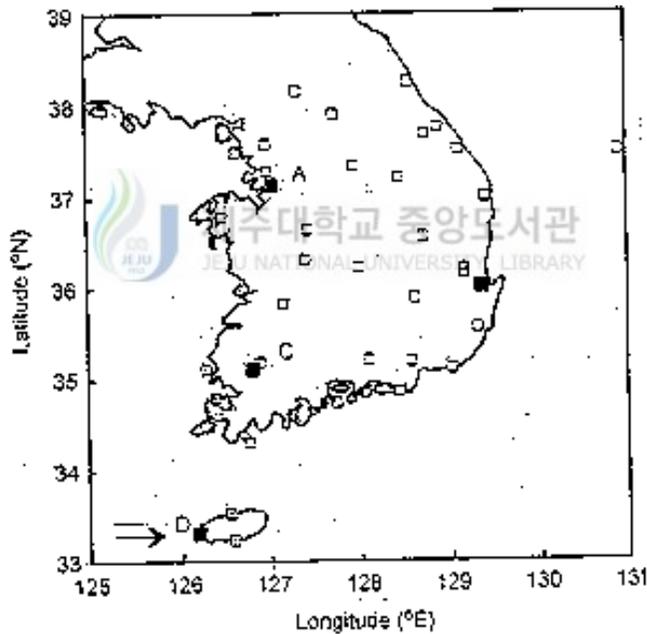


Fig. 8. The location of Cheju upper-air and radar weather station. Open squares indicate surface meteorological stations, and solid squares indicate upper-air stations. A = Osan, B = Pohang, C = Kwangju, D = Cheju upper

제주고층레이더기상대에서 사용하고 있는 관측장비의 형태와 추적항법 및 관측항목을 Table 2에 나타내었다. 고층관측은 매일 2회 00UTC(Universal Time Coordinate)와 12UTC에 정기적으로 실시하고 있으며, 1997년부터는 기상방재 기간동안 (주로 6, 7월) 한시적으로 1일 4회 00, 06, 12, 18UTC에 관측을 실시하고 있다. 이 관측시간을 우리나라 표준시(LST-Local Standard Time)로 보면 09시, 15시, 21시, 03시에 해당한다. 고층관측시의 관측항목은 고도, 기압, 온도, 이슬점 온도, 풍향, 풍속이다.

본 연구에서 수집된 고층관측자료는 1989년부터 1998년까지 10년동안 00 UTC (09LST)에 Rawinsonde를 이용하여 측정된 지상의 기온과 1000, 925, 850, 700, 500hPa의 각 표준등압면 고도에서 측정된 수직종단 기온자료들인데 1989년부터 1991년 10월까지의 925hPa에서의 관측은 실시되지 않았다. 본 연구에서 이용된 고층관측 자료는 결측치 자료를 제외한 총 3,048일의 자료를 실제 혼합고산정에 적용하였다.

Table 2. Instruments for observing the upper-air weather in Cheju area

Lati-tude	Longi-tude	amsl* (m)	Period	Rawinsonde type	Ground equipment	Tracer	Measurement parameter
33° 17′	126° 10′	72m	88. 5. 1 ~ 89. 10. 31	VIZ-MIC	WO-2000A	OMEGA	
			89. 11. 1~ 92. 12. 31	VIZ-MIC	WO-2000AT	OMEGA	- Height - Tempera-ture
			93. 1. 1~ 97. 10. 22	JINYANG 1524-511	WO-2000AT	OMEGA	- Humidity - Wind speed
			97. 10. 23~ 98. 11. 29	VAISALA RS-80	DigiCORA II MW-15	LORAN C	- Wind direction
			98. 11. 20~ present	VIZ-MARK II FR2175-B	W-9000 version 3.4	LORAN C	

* *amsl* : Elevation above Mean Sea Level

2. 일 최대 혼합고 산정방법

본 연구에서는 DMMH의 산정에 있어서 이용 가능한 고층관측 자료중 이른 아침에 해당하는 00UTC (09LST)에 측정된 고도별 기온의 수직분포를 대변하는 환경감률선과 그날의 일 최대 지상기온에서 건조단열감률선을 연장하여 두 선이 교차하는 지점까지의 고도를 계산하여 그날의 일 최대 혼합고로 간주하는 방법을 이용하였다. 그리고 본 연구에서 이용한 지상기상 자료는 일기상 통계표를 기준으로 수집하였는데 일기상 통계표상에 나타난 일 최고기온이 12LST에서 16LST 사이에 출현한 경우에서 통계표상의 최고기온을 그대로 사용했으나, 그 외의 시간대에서 일 최고기온이 기록된 경우에서 12LST에서 18LST 사이에서 3시간 간격으로 보고된 기온자료 중 최고 높은 기온값을 일 최고 기온자료로 간주하여 사용했다.

강수일을 정의하여 선정하기 위해서 일기상 통계표에서 09LST에서 21LST 사이의 강수출현 및 강우량을 조사했다. 본 연구에서는 선정된 시간대에서 강수정후가 3회이상 출현하였거나 시간당 1mm 이상의 강수가 있는 날을 강수일로 선정하였다.

3. 대기질 측정 자료

본 연구에서 이용한 대기질 관측자료는 Fig. 8에서 본 기상관측 지점의 인근 해안변에 위치한 환경부에서 운영하는 대기질 연속 자동 측정망에서의 측정 자료를 이용하였다. 대기질 측정자료는 1996년부터 1998년도까지 매 시간 단위로 이루어진 대기질 측정자료를 수집하여 이용하였다. 본 연구에서는 매 시간 단위로 관측된 대기오염물질 농도자료를 고층기상관측이 이루어진 날의 자료만을 이용하여 일일 평균치로 환산하여 이용하였다.

IV. 결과 및 고찰

1. 기상특성 분석

1) 지상 기상

Fig. 9는 고층기상 관측이 이루어지고 있는 지역의 지상 기상특성을 알아보기 위해 1989년 ~ 1998년간의 지상관측 자료 중 기온, 일교차, 풍속, 일사량에 대해 월별 평균치를 나타낸 것이다. Fig. 9(a)는 관측된 기온의 월 평균 기온의 변동을 보인 것으로 8월에 가장 높게 나타나고, 1월에 가장 낮게 나타났다. 10년간 평균기온은 15.5℃이다. 일교차의 월별 변동을 보면 (Fig. 9(b)) 일교차는 4월에 가장 크게 나타나고, 7월에 가장 작게 나타났다. 계절별로는 봄과 가을의 일교차가 크고, 여름과 겨울의 일교차는 낮은 경향을 보였다. Fig. 9(c)는 제주 서부지역에서 관측된 월 평균 풍속을 나타낸 것으로서, 1월에 9.4m/s로 가장 높게 나타나고, 6월에 4.6m/s로서 가장 낮게 나타났다. 그리고 연간 평균풍속은 6.7m/s로 나타나고 있다. 풍속은 지형적인 영향을 크게 받으며 제주도 서부 지역은 겨울철에는 해양을 거쳐 불어오는 북서 계절풍이, 여름철에는 남동 계절풍이 우세하게 불고 있으며 폭풍(13.9% 이상)일수도 연간 평균 70~80일 정도로 나타나고 있다. Fig. 9(d)에서 일사량의 월 평균 변동을 보면 여름철에 높게 나타나지만, 이 계절에는 일사량의 변동폭도 가장 큼을 알 수 있다.

2) 고층 기상

종관 기상학적 견지에서 볼 때 고층이란 일반적으로 지표층과 마찰이 거의 없다고 여겨지는 850hPa 고도 이상의 대기 상층부를 말하고 지형 또는 지세의 영향을 받지 않는 것이 특색이다. 그러나 상층에서의 기상변동은 지상 기상현상을 좌우하는 역할을 한다. 지상에서의 기상은 매우 복잡한 변동을 하고 있는 반

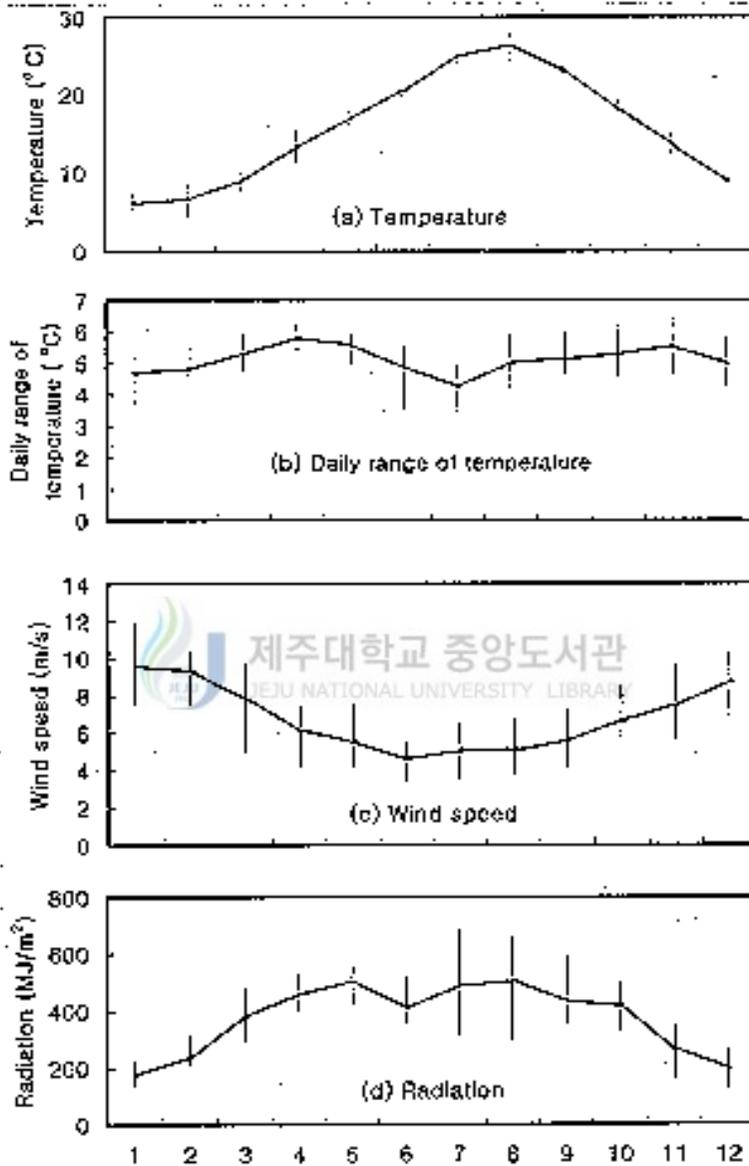


Fig. 9. Monthly variations of meteorological parameters.

면에 고층의 기후는 매우 단순한 변동을 하고 있다. 비록 이러한 단순한 매일의 변동은 작을지라도 등압면 고도나 고층온도의 계절적 변동은 결코 작은 것이 아니라고 알려져 있다.

Table 3는 제주서부지역에서 관측된 1989~1998년 10년간의 고층기상관측 요소중 고도를 나타낸 것이다. 제주지역에서 지난 10년간 관측된 표준 등압면 1000, 925, 850, 700, 500hPa에 해당하는 평균고도는 각각 131, 777, 1490, 3075, 5714m로 나타났다. 각 표준 등압면 고도는 계절별로 geopotential 고도는 큰 변동을 보이지 않음을 알 수 있다.

Table 3. Geopotential height of the standard pressure level (unit:m)

	1000hPa	925hPa	850hPa	700hPa	500hPa
Spring	126±28	770±43	1,477±13	3,054±26	5,677±58
Summer	64±14	758±37	1,472±17	3,110±25	5,829±38
Fall	147±35	792±25	1,514±16	3,106±23	5,753±63
Winter	189±13	785±22	1,498±16	3,028±24	5,585±40
Average	131±51	777±34	1,490±23	3,075±42	5,714±104

Fig. 10와 Fig. 11은 제주서부지역에서 관측된 고층기상 관측요소 중 기온과 풍속의 계절별 및 월별 분포를 나타낸 것이다. Fig. 10에서 보면 고도증가에 따른 기온의 분포는 여름철을 제외하고는 매우 유사한 형태를 보임을 알 수가 있다. 여름철의 경우는 1000hPa의 geopotential 높이가 130m정도이고 관측점의 해발고도가 72m인 점을 감안할 때 대략 60m의 기층에서 특히, Fig. 11의 자료와 비교할 때 6월과 7월에 약한 역전 현상이 빈번하게 출현함을 알 수가 있다. 이는 관측위치가 해안면에 위치한 관계로 해수면 온도의 영향과 해수면에서의 증발의 영향을 타 계절보다 크게 받고 있기 때문인 것으로 추정된다. 또한 Fig. 10와 11

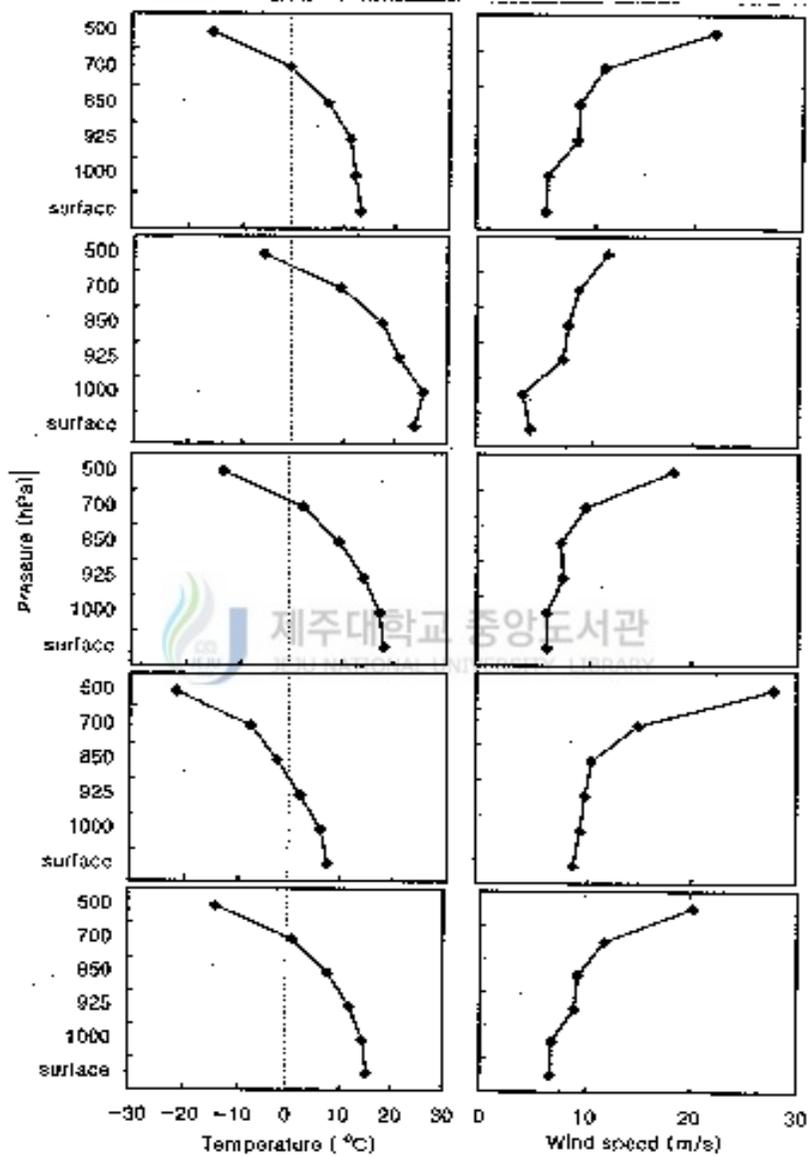


Fig. 10. Vertical profiles of temperature and wind speed.



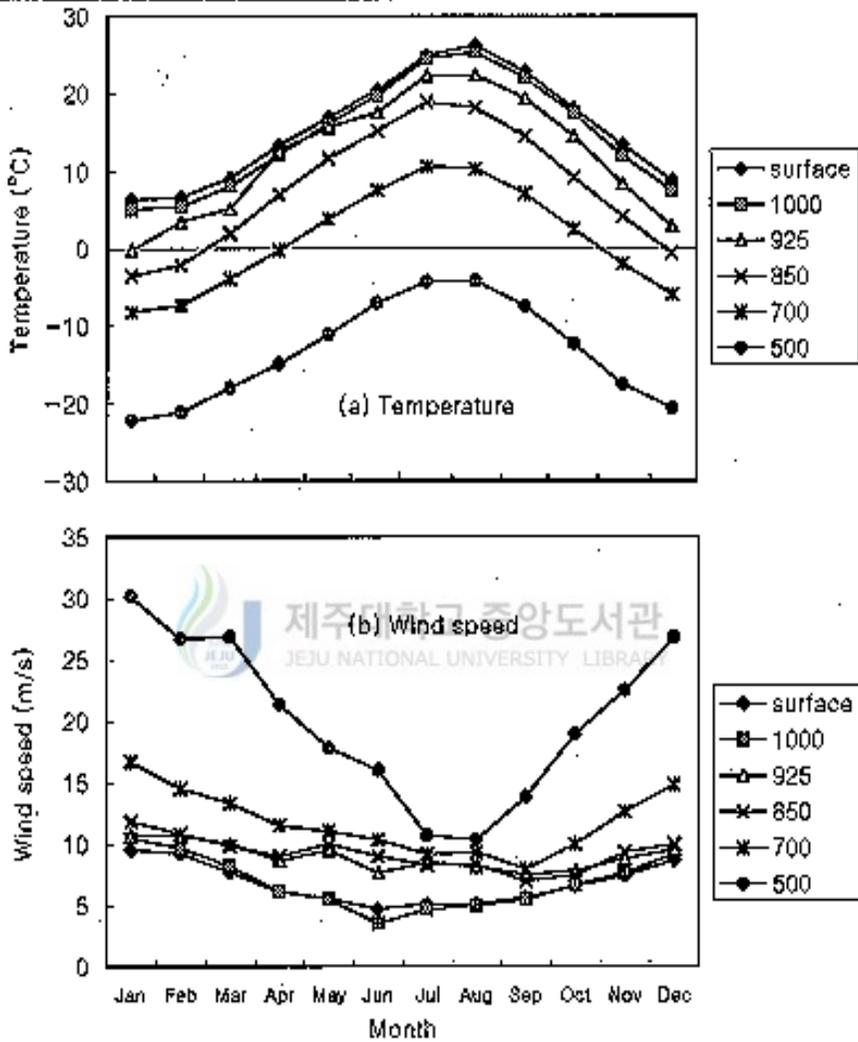


Fig. 11. Monthly variations of temperature and wind speed according to the standard pressure level.

에서 제주서부지역에서의 지상기온을 보면 겨울철에도 영하의 기온이 없음을 알

수가 있다.

풍속의 고도별 분포를 보면 대체로 고도 증가에 따라 풍속은 증가하는 경향을 보이는데 지상에서 1000hPa 사이의 기층에서는 지상풍속과 거의 비슷한 수준임을 알 수가 있다. 여름철의 경우는 관측지점의 지형적 특성, 즉 관측지점이 해발 70m이상의 절벽위에 위치하므로 기류 흐름에서의 선단효과(edge effect) 또는 관측이 08LST에서 09LST 사이에 이루어지고 Fig. 11에서 6월과 7월에 지상기온이 오히려 낮은 경우가 많은 것으로 보아 육상에 비해 낮은 수온을 지닌 해양의 영향 또는 해륙풍의 교차등에 의한 풍속의 약화 등의 영향이 타 계절에 비해 상대적으로 크게 작용하기 때문에 지상의 풍속이 낮게 관측된 것으로 판단된다.

1000hPa에서 925hPa 사이의 기층에서 풍속의 증가폭이 그 아래 기층에 비해서 큼을 볼 수 있다. 이로써 제주서부지역에서는 지표면이 영향이 미치는 고도가 이 기층의 하부 수준일 것으로 판단할 수 있다.

Fig. 10와 Fig. 11에서 보면 500hPa 기압면에서의 풍속은 계절별로 비교적 큰 변동폭을 보임을 알 수 있다. 즉 겨울철에는 풍속이 크게 증가하는 반면에 여름철로 접어들면서 풍속이 크게 감소되어 가는 경향을 볼 수가 있다. 이는 북반구의 편서풍대의 계절별 위치 및 풍속의 변동에 기인하는 것으로 판단된다. 여름철이 되면 편서풍대의 폭이 좁아지면서 북쪽으로 이동하고 풍속이 크게 약화된다고 알려져 있다(소와 곽, 1985).

편서풍대에서 가장 풍속이 강한 기류인 제트류의 위치는 북반구에서 제트류의 위치는 1월에 25°N, 7월에 40°N 근처이고 제트류의 풍속은 겨울에 약 75m/s로 강한 반면에 여름철에는 약 30m/s로 크게 약화된다고 알려져 있다. 우리나라의 고층기상월보를 통하여 오산, 포항, 광주에서의 고층분석에서도 Fig. 9(b)와 비슷한 경향을 확인할 수 있었다.

2. 일 최대 혼합고의 산정

1) DMMH의 시계열성

제주지역에서 Holzworth 방식에 의해 산정된 DMMH의 계절성 존재에 대한 시계열성을 분석하기 위해 가법모형(additive method)을 이용한 이동평균(moving average)의 변동양상을 고찰하였다. 가법모형에 의한 시계열 분석에서는 어떤 동일한 시간간격을 두고 관측된 변수의 평균값이 시간의 경과에 따라 변화할 때 일정한 계절성을 갖는지의 유무를 분석할 수가 있다(김연형, 1990 ; Shumway, 1988).

본 연구에서는 과거 10년간의 DMMH 산정자료를 이용함에 있어서 월별 및 계절별에 우선 혼합고의 추세와 변동을 보기 위해서 이동평균의 계절성 길이를 30과 90으로 선택했을 때의 이동평균선을 찾아 Fig. 12에 나타내었다.

그림에 나타난 점들은 하루의 일 최대혼합고 산정치들이며 계절성의 길이(length of seasonality)를 30(월별)으로 선택했을 경우 이동평균선은 같은 계절간에도 어느 정도의 혼합고 차이와 peak의 불규칙성은 보이지만 대체로 10월과 2월을 전후로 한 가을철과 겨울철에 상승하고 6월을 전후한 여름철에 하강하는 시계열성을 보임을 알 수 있다.

계절성의 길이를 90(계절별)으로 선택했을 경우 가을철과 겨울철에 혼합고의 평균이동선이 전반적으로 높은 peak를 보이고 있으며, 여름철에는 낮아지는 경향을 확인할 수 있었다. 이로써 일 최대 혼합고의 시계열성을 확인 할 수 있다.

2) DMMH의 계절별 변동

본 연구에서 산정된 DMMH의 월별 변동특성을 구체적으로 파악하기 위해서 월별 및 계절별로 산술 평균한 DMMH와 표준편차를 포함의 연구결과(최와 백, 1998)와 비교하여 Table 4에 나타내었다. 그리고 DMMH의 월별 산정치를 연도별로 Fig. 13에 나타냈다. 이들 Table 4에서 보는 계절별 평균치는 10년간 많

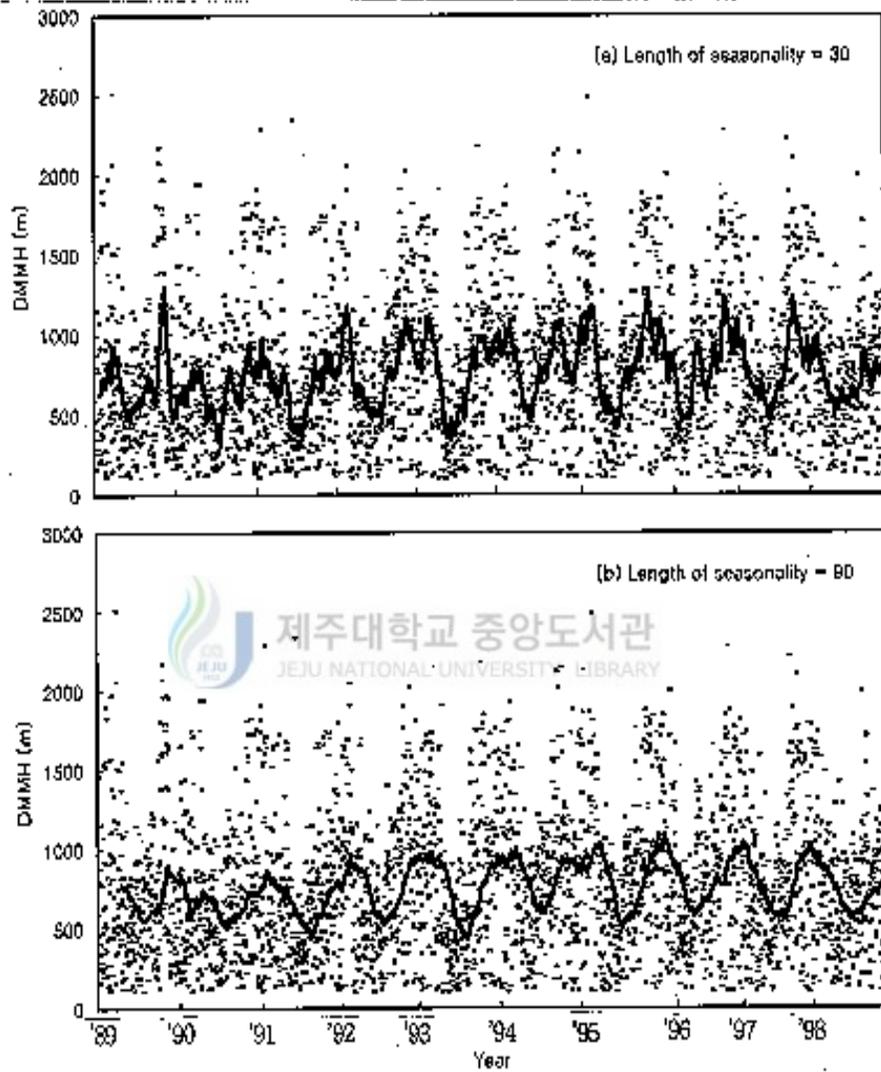


Fig. 12. A plot of moving average of DMMH in Cheju.

Table 4. Comparison of monthly and seasonal mean and standard deviation of the DMMH between Cheju and Pohang (unit:m)

Month / Season	This study(1989~1998)		Pohang(1983~1992)*	
	Mean±S.D.	Number of data	Mean±S.D.	Number of data
3	836±478	256	1,450±685	310
4	745±416	250	1,487±805	300
5	550±308	250	1,405±749	310
Spring	711±424	756	1,447±748	920
6	509±276	258	1,099±583	291
7	536±255	287	933±481	276
8	716±285	288	1,073±459	279
Summer	590±287	833	1,038±517	846
9	773±403	273	1,049±483	268
10	944±497	270	1,330±486	279
11	880±454	248	1,233±553	269
Fall	865±458	791	1,206±521	816
12	848±507	246	1,104±449	279
1	867±516	208	1,222±476	310
2	921±480	214	1,308±632	281
Winter	877±501	668	1,211±530	870

* Choi 외 Baek (1998)

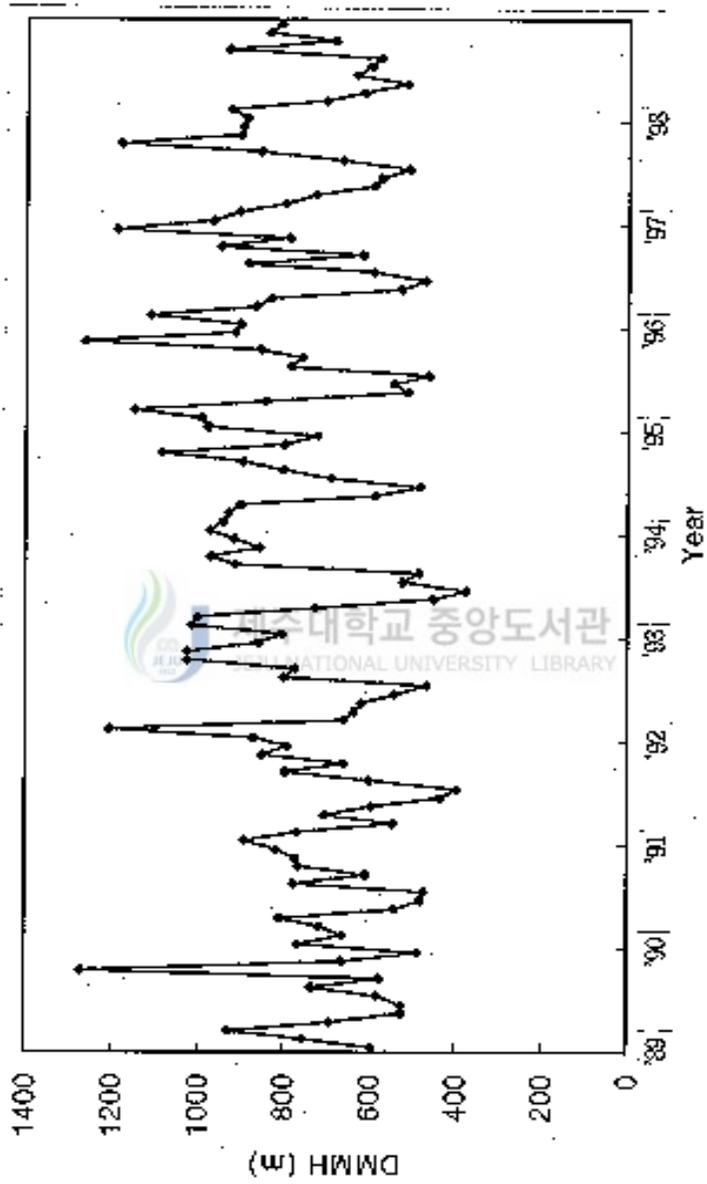


Fig. 13. Variations of monthly mean DMMH in Cheju.

은 자료를 평균화 시켰기 때문에 계절간의 큰 차이는 뚜렷하게 나타나지 않으나

가을, 겨울철에 평균 865, 877m로서 타 계절에 비해 높게 나타났다. 그리고 겨울철에 출현될 가능성이 높은 혼합고는 평균적으로는 타 계절에 비해 높지만 표준편차 또한 크게 나타남을 볼 때 동일 계절 내에서도 변동이 심한 것을 알 수 있다. 이런 결과는 포항에서 관측된 결과와 계절적으로 다소 차이를 보임을 알 수 있다. 특히 포항에서는 봄철에 최대값을 보이면서 표준편차 또한 커짐을 알 수 있다.

3) DMMH의 월별 변동

월별로 평균한 DMMH의 변화를 타 지역에서 산정된 결과(최와 백, 1998)와 비교하여 Fig. 14에 나타내었다. 그림에서 보면 6월과 10월에서 최소와 최대를 보이며, 이 양자간의 혼합고 폭의 차이는 435m 정도로 산정되었다.

해안에 인접한 포항지역에서 1983년에서 1992년까지 추정된 10년간의 고층 기상 관측자료를 근거로 DMMH를 산정한 결과와 비교하면 전반적으로 비슷한 월별 경향을 보이지만 겨울철에 들면서 낮아지고 봄철에 증가하는 것은 본 연구의 결과와는 다소 차이가 있음을 알 수 있다. 여름철 혼합고가 급격히 낮아지는 현상은 장마의 발생과 관련이 있을 것으로 판단된다(최와 백, 1998). 그리고 제주 지역의 일 최대 혼합고가 타 지역에 비해 크게 낮은 것을 알 수가 있다. 이는 해양에 인접한 지역에서는 일 최대 혼합고가 낮게 나타나는 일반적인 현상과 일치하는 결과로서 바닷가에 위치한 포항에서 산정된 일 최대 혼합고는 광주와 오산에 비해서 비교적 낮은 경향을 보임을 알 수 있다.

4) DMMH의 구간별 발생빈도

본 연구에서 산정된 DMMH 자료를 이용하여 혼합고 구간별 발생빈도를 히스토그램으로 작성하여 Fig. 15에 나타냈다. 평균적으로 보면 최빈값은 고도 약 500m 전후에 나타남을 알 수 있다. 본 연구에 사용된 고층관측자료의 특성 때문

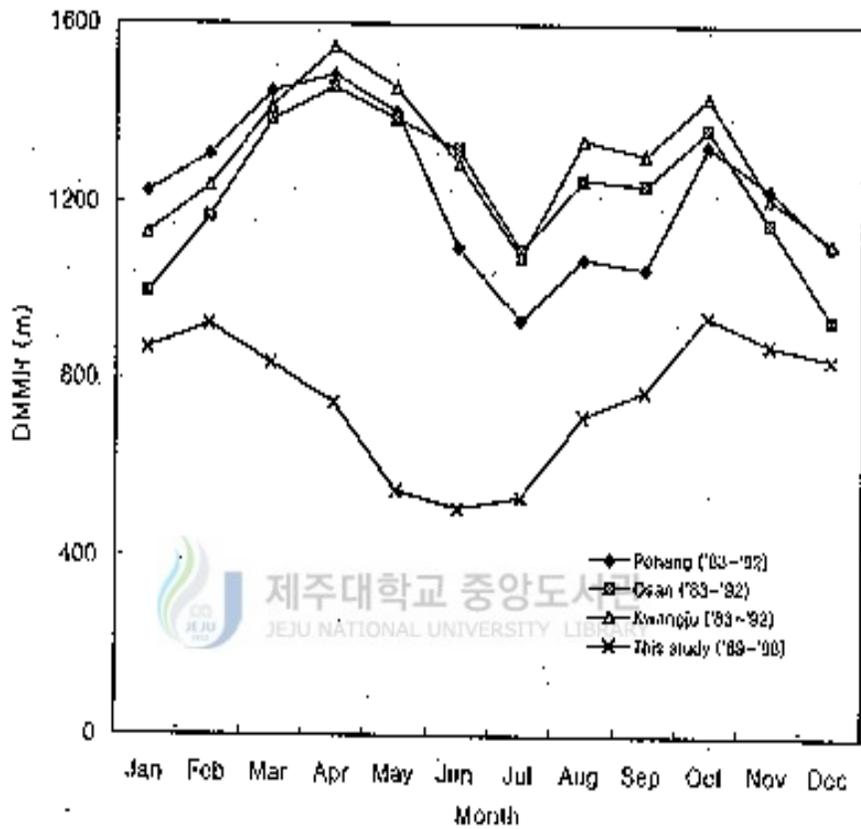


Fig. 14. Comparison of monthly mean DMMH between Cheju and other areas.

에 역전층, 특히 고공 역전층의 발생빈도 산정은 곤란하기 때문에 고공에서 발생

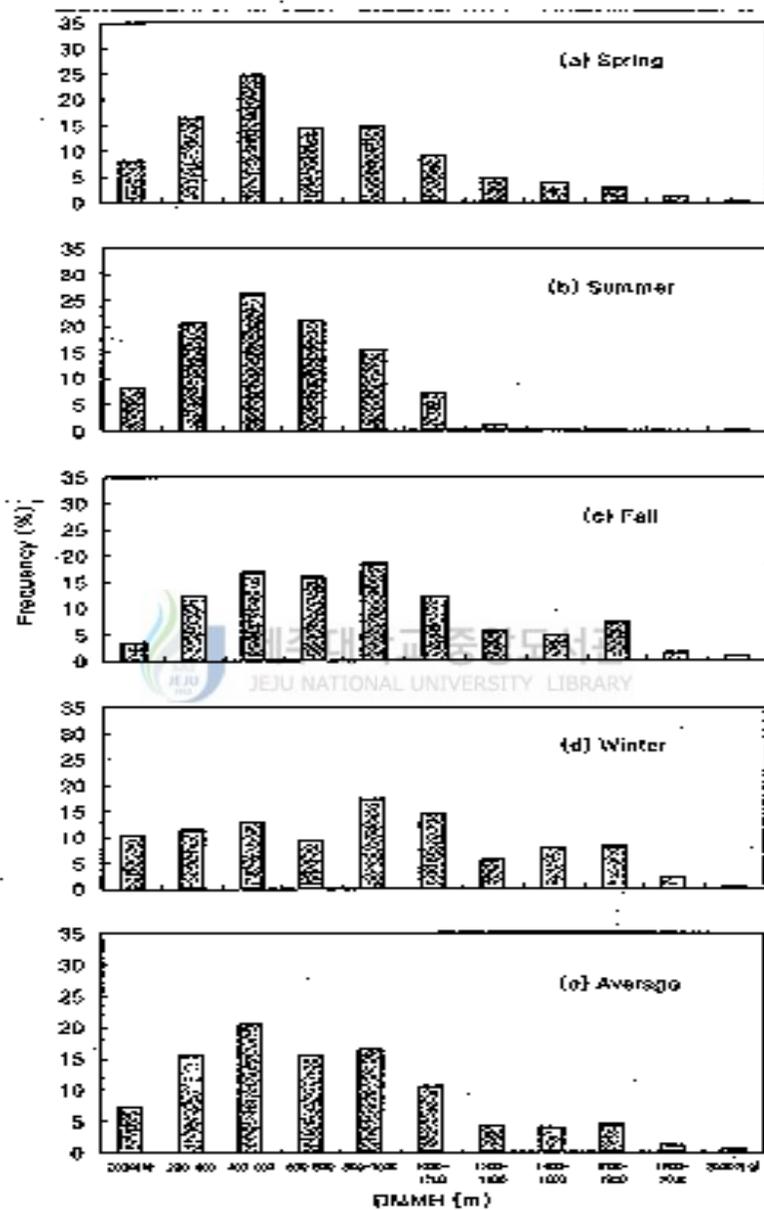


Fig. 15. Plot of the frequency histogram of DMMH.

할 수 있는 혼합고의 형성에 대한 평가는 쉽지가 않다. 그러나 지상 100m내의 혼합고 발생의 대부분은 지표면 복사역전과 깊은 관련이 있는 것으로 볼 수 있다.

그림에서 계산된 DMMH의 자료를 대상으로 각 고도구간별 발생빈도를 보면 일 최대 혼합고는 400~600m 구간에서 20.5% 정도로 가장 높게 나타나는 것으로 조사되었으며, 두번째로 발생빈도가 높은 구간은 800~1,000m 구간으로 16.4%, 그리고 600~800m 구간에서는 15.5%의 순으로 나타났다.

전체적으로 볼 때 1,000m 이하의 구간에서의 발생빈도는 약 75%로서 이는 1983~1992 사이에 포항, 오산, 광주의 경우 1,000~2,000m에서 60% 이상을 차지한 결과와 비교할 때 해양의 영향을 직접적으로 받고있는 제주지역의 일 최대 혼합고는 이들 지역에 비해 상대적으로 낮은 것을 알 수가 있다(Table 5).

Table 5. Comparison of DMMH between Cheju and other areas (unit:m)

	Spring	Summer	Fall	Winter	Mean
This study (1989~1998)	711	590	865	877	754
Pohang (1983~1992)	1,447	1,038	1,206	1,211	1,224
Osan (1983~1992)	1,412	1,227	1,258	1,032	1,230
Kwangju (1983~1992)	1,474	1,237	1,325	1,158	1,298

Fig. 15에서 계절별 빈도 분포를 보면 평균 최대 혼합고가 가장 낮은 여름철에는 1,400m 구간내에서 대부분 일 최대 혼합고가 출현하는 반면에 다른 계절에서는 1,400m 이상의 구간에서 출현빈도가 여름철에 비해 비교적 자주 나타남을 볼 수 있다. 특히 겨울철의 경우 최빈값은 800m 전후이면서 각 구간별 출현빈도가 다른 계절에 비해 골고루 나타남을 알 수 있다.

5) 장마기의 DMMH 변동

앞에서 DMMH가 우리나라의 장마시기인 6, 7월에 최소를 보였고 최와 백 (1998)은 이런 결과를 장마의 발생과 연관하다고 판단한 바 있다. 따라서 장마전선과 혼합고 변동의 관계를 구체적으로 알아보기 위해서 장마전선이 제주도를 통과하는 대표적인 시기를 택하여 DMMH의 일변화와 그때의 강수량, 강수계속 시간을 파악하여 Fig. 16에 나타냈다. 이 그림을 보면 '97년 6, 7월의 평균 DMMH인 576, 513m, '98년 6, 7월의 평균 DMMH인 636, 602m인데 비해서 장마전선이 제주지역부근을 통과하는 시기의 DMMH는 전선이 제주 부근을 통과할 때 강우가 동반되는 경우에는 DMMH가 더욱 낮게 평가됨을 알 수가 있다. 특히, Fig. 16(a) 와 (c)처럼 2~3일 후까지 강우가 지속되는 경우에는 전반적으로 DMMH가 더욱 낮아짐을 볼 수가 있다. 이로써 판단할 때 장마전선의 발달과 DMMH사이에는 상관성이 있다고 판단할 수가 있다. 물론 강우시에 건조단열감률을 가정하여 적용하는 불리한 점도 함께 검토해야할 사항임을 유의해야 할 것으로 생각된다.

3. 대기오염물질 농도와의 관계 및 대기 환기량 산정

Fig. 17은 DMMH와 각 오염물질 농도와의 상관성을 나타낸 것으로서, 전반적으로 DMMH와 오염물질 농도와의 상관성이 없는 것으로 파악되었다. 혼합고는 대기오염물질의 대기층 혼합용량을 평가하는 중요한 지표중의 하나임에도 불구하고 본 연구에서는 DMMH와 농도간의 상관성을 찾을 수 없는 것은 이 지역 내에 위치하는 대기오염 배출원이 거의 전무하기 때문인 것으로 생각된다. 현재까지의 연구결과에서 보면 제주의 대기오염물질은 지역의 배출원에 의한 영향보다는 외부에서 유입된 오염물질에 대기중의 농도가 좌우된다고 알려져 있다(장등, 1996). 그렇다면 제주지역의 대기오염물질의 농도수준은 실제로 그 당시의 혼합고와는 무관할 것이라고 판단된다. 또 한편으로 고려할 수 있는 것은 비록 Holzworth방식에 의한 DMMH 추정이 합리적이지는 않지만 지표부근 접지 역전층의 발생을 파악할 수 없을 뿐 아니라 이용되는 고층기상 자료가 대기의 혼합

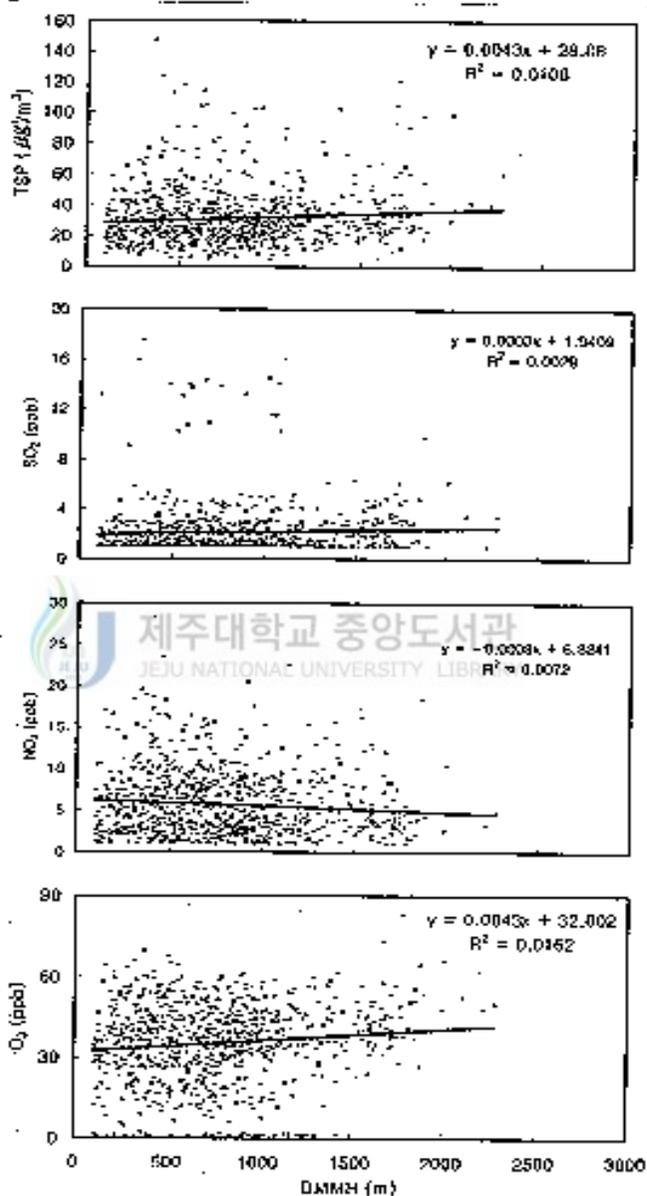


Fig. 17. Relationships between air pollutant concentrations and DMFH.

층을 제대로 평가하기에 부적당한 측면이 있다는 점도 무시할 수는 없을 것으로 판단된다. 이런점에 비추어 볼 때, 이 제주지역에서 DMMH와 대기오염물질의 대기중 농도와는 상관성이 없다는 것은 당연한 결과인 것으로 생각된다.

대기환기량을 선정한 결과 대기오염 분산 상태가 비교적 나쁜 상태인 2,000 m³/sec 이하가 35%정도를 차지하고 분산이 아주 좋은 상태로 평가 할 수 있는 6,000m³/sec 이상이 24%정도인 것으로 평가되었다. 계절별로 보면 봄철과 여름철에 환기량이 2,000m³/sec이하인 경우가 40%, 50%를 차지하고, 가을철과 겨울철에 환기량이 증가함을 알 수가 있다. 이처럼 환기량만을 기준으로 볼 때 대기오염물질의 분산에 그다지 양호한 조건을 제공하지 못할 것으로 생각할 수 있으나 평균적으로 보면 4,600m²/sec로서 양호한 대기오염 분산조건을 제공함을 알 수 있다. 또한 이 지역의 풍속이 대체로 4m/s 이상으로 나타남을 동시에 고려할 때 제주지역의 대기오염물질 분산능력은 충분히 크다고 할 수 있을 것이다.

Table 6. Occurrence frequency of atmospheric ventilation (unit : %)

Ventilation (m ³ /s)	Dispersion condition	Spring	Summer	Fall	Winter	Mean
0~2000	Bad	40.0	50.4	23.7	25.7	35.1
2,000~4,000	Fair	26.1	28.0	33.0	25.1	28.1
4,000~6,000	Good	13.2	13.3	15.1	11.6	13.3
6,000 <	Excellent	20.7	8.3	28.2	37.6	23.5

V. 결 론

이 연구는 1989 ~ 1998 까지의 제주도 서부에 위치한 제주고층레이더기상대의 10년간 고층기상 관측자료를 근거로 하여 일 최대 혼합고를 산정하여 시계열성과 시간별 변동 특성과 혼합고의 발생빈도, 그리고 대기 환기량을 파악한 결과를 정리하면 다음과 같다.

1. 제주지역에서 산정된 일 최대 혼합고는 가을철과 겨울철에 평균 이동선이 전반적으로 높은 peak를 보이고 여름철에 낮아지는 시계열성을 보임을 확인할 수 있었다.
2. 본 연구대상 기간 동안에 산정된 일 최대 혼합고는 여름철에는 낮아지고 가을철과 겨울철에는 높아지는 경향을 보이면서 6월과 10월에 최소와 최대값을 보였다.
3. 제주지역에서 일 최대 혼합고의 출현고도를 보면 전반적으로 1,000m이하의 고도에서 출현하고 타 지역보다 낮은 일 최대 혼합고를 보였다.
4. 장마시기에 장마전선이 제주지역을 통과할 때 강수를 동반하면 DMMH는 더욱 낮게 산정됨을 확인할 수 있었다.
5. 대기오염물질의 농도와 DMMH와의 상관성이 거의 없음을 알 수가 있었으며, 제주지역의 대기 환기량은 평균 $4,600\text{m}^2/\text{s}$ 로 나타났으며, 평균풍속이 4m/s 이상인 점을 고려할 때 제주지역의 대기오염물질 분산능력은 상당히 큰 것으로 생각된다.

VI. 참 고 문 헌

- 최진수, 백성옥, 1998, 오산, 포항, 광주지역 일 최대혼합고 추정, 한국대기보전학회지, 14(4), 379-385.
- 장영기, 송동용, 1995, 국내 대기오염모델링의 현황과 과제, 한국대기보전학회지, 11(1), 1-14.
- 정영진, 이동인, 한영호, 이협희, 1998, 기상조건에 따른 부산지역 대기오염물질 농도변화와 예측에 관한 연구, 한국대기보전학회지, 14(3), 177~189.
- 장광미, 이호근, 서명석, 박경윤, 강창희, 심상규, 1996, 1994년 자료에 나타난 제주도 고산에서의 SO₂ 농도 변화 특성, 한국대기보전학회지, 12(5), 541~553.
- 기상청, 고층기상월보, 1988.5 ~ 1998.12.
- 홍성길, 최희승, 1998, 환경인을 위한 미기상학, 신광출판사.
- 김광식의 14인, 1976, 한국의 기후, 일지사.
- 김유근, 문승의, 안중배, 1997, 대기혼합층 모사를 위한 1차원 수치모형 : 득량만에서의 적용, 한국환경과학회지, 6(5), 425-435.
- 김유근, 홍정혜, 전병일, 1994, 미기상 특성에 따른 대기오염 농도분포에 관한 연구, 한국환경과학회지, 3(1), 31~38.
- 김유근, 문승의, 안중배, 이화운, 하경자, 1999, 대기환경의 탐색, 형설출판사.
- 김정수, 최덕일, 최기덕, 박일수, 1996, 대기안정도 분류방법의 평가 및 실용화에 관한 연구, 한국환경과학회지, 12(4), 369-376.
- 이종범, 1995, 우리나라에 적합한 국지확산모델의 개발방향, 한국대기보전학회지, 11(1), 15-28
- 이기원, 권숙표, 정 용, 1993, 서울시 대기중 오존오염도의 연도별 변화와 그 영향인자 분석, 한국대기보전학회지, 9(1), 107~115.
- 이만근, 1990, 국내 대기혼합고의 지역별, 계절별 변화 추이에 관한 연구, 석사학위논문, 영남대학교.

- 이화운, 1993, 대기 혼합층 발달과정의 모형실험과 수치해석, 한국환경과학회지, 2(1), 17-26.
- 이화운, 오은주, 1994, 중규모 국지 순환에서 대기오염 물질의 확산에 관한 연구, 한국환경과학회지, 3(1), 39~47.
- 박일수, 이덕길, 강인구, 1991, 서울지역 겨울철 SO₂ 농도를 지배하는 기상인자. 한국대기보전학회지, 7(2), 96~104.
- 신찬기, 한진석, 김윤신, 1992, 대기오염 농도와 기상인자의 관련성 연구, 한국대기보전학회지, 8(4), 213~220.
- 신재현, 1994, 오산, 포항, 광주지역 일 최대혼합고 추정, 석사학위논문, 영남대학교.
- 소선섭, 곽종흠, 1985, 일반 기상학, 교문사, 198~217.
- Aron, R. 1983. Mixing height - an inconsistent indicator of potential air pollution concentrations. Atmospheric Environment, 17, 2193-2197.
- Chang, Y. S., Brown, D. F., Ghim, Y. S. 1997. Estimation of Mixing Heights Using the Holzworth Method in Korea, KAPRA, 13(5), 35-46.
- G. C. Holzworth, 1964, Estimate of Mean Maximum Mixing Depths in the Contiguous United States, Monthly Weather Review, 92(5), 235-242.
- G. C. Holzworth, 1972, Mixing Height, Wind Speeds and Air Pollution Potential for air pollution in the Contiguous United States, Office of Air Programs Publ, NO,AP-101.
- Lee, C. B. 1986. Simple model and climatological aspects of the structure of the convective boundary layer, Atmospheric Environment, 20, 705-714.

