

포항, 오산, 광주지역의 일최대 혼합고 추정
- 1983~1992년의 10년간 자료의 분석 -

An Approach to Estimate Daily Maximum Mixing Height
(DMMH) in Pohang, Osan, and Kwangju Areas

- Analysis of 10 years data from 1983 to 1992 -

최진수·백성옥

영남대학교 환경공학과 대기오염연구실

(1998년 3월 2일 접수, 1998년 3월 23일 채택)

Jin-Soo Choi and Sung-Ok Baek

Dept. of Environmental Engineering, Yeungnam University, Kyongsan 712-749, Korea

(Received 2 March 1998; accepted 23 March 1998)

Abstract

The Holzworth's method was applied to estimate the daily maximum mixing height (DMMH) in Pohang, Osan and Kwangju areas. The data-base were established with meteorological data collected at air bases in these areas during the period 1983~1992. It was investigated the seasonality, monthly trends and occurrence frequencies of the estimated DMMH data in each area. The estimated mean DMMH were found in the range of 1,100 m (winter) to 1,450 m (spring). These mean DMMH data showed a typical seasonality in which higher values are commonly seen during spring and fall, while lower values during summer and winter seasons. An occurrence of estimated mean DMMH which in the range of 1,000~2,000 m altitude was appeared to be about 60%.

Key words : Mixing Height, Seasonality, Pohang, Osan, Kwangju

1. 서 론

대기 중 오염물질의 농도분포에 영향을 주는 기상인자로서는 풍향, 풍속, 대기안정도 등을 들 수 있다. 특히 오염물질의 수직확산거리를 결정하는 혼합고도는 그 고도내의 평균풍속과 함께 혼합용량을 대변하는 중요한 변수에 해당한다. 대기혼합고 자료는 오염물질의 대기 중 혼합용량을 평가하거나 대기확산 모델링에 이용되는 입력자료로 활용이 가능

한데 (Schulze, 1990), 국내의 경우 고공기상 관측자료의 가용성문제로 인해 자료의 이용에는 어려움이 상당히 있었다. 뿐만 아니라 국내에서는 대기혼합고 자료에 관한 체계적인 측정 및 분석자료가 미미한 실정에 있으며, 따라서 혼합용량을 평가하거나 다양한 대기확산모델을 선정하고 이용하는데 있어서도 제한적인 요소로 작용하였다. 기존 국내의 관련연구에서는 추적자를 이용하거나 지표면 특성과 상층기상자료를 이용하여 혼합고도를 산정하는 단순모델이 개발된 바 있으며, 또한 지표면으로부터의 현열

Flux로부터 혼합고의 발달을 계산하는 Jump Model을 적용하여 대기오염잠재력 (air pollution potential)에 관한 연구 등이 수행된 바 있다(이종범, 1991; 장영기와 김정욱, 1991).

본 연구에서는 고공기상관측이 이루어지는 3개 지역에서 1983년부터 1992년까지 측정된 10년간의 고공기상 관측자료를 Holzworth방법에 적용하여 비교적 간편하게 각 지점의 일최대혼합고(이하, DMMH)를 추정하였다(Holzworth, 1963, 1967, 1968). Holzworth의 방법에 의하면 DMMH는 이른 아침에 측정된 고도별 기온의 수직분포를 대변하는 환경감울선과 그 날의 일최대 지상기온을 지나는 건조단열감울선이 만나는 고도로 표현된다. 이렇게 추정된 DMMH 자료를 이용하여 DMMH의 시계열성, 계절별 및 월별변화, 혼합고도별 발생빈도를 파악하고 평가함으로써, 기상조건이 대기오염물질의 농도에 미치는 영향 등을 평가하는데 유용한 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 사료된다. 그러나 본 연구에서 추정된 DMMH 자료는 기술적 또는 구체적인 측면에서 볼 때, 그 추정방법에 따른 불확실성과 논리적 문제점을 완전히 배제할 수는 없다. 또한 지표면에 근접한 부분에서 복사성 역전층의 발생유무를 파악하는데도 문제점이 내재되어 있다. 그럼에도 불구하고 본 연구의 결과는 가용자료의 현실적인 이용이라는 점 또는 자료활용의 편의성과 같은 측면에서 볼 때 대기확산 모델링 등 대기오염 관련 연구의 기술자료로 활용할 가치는 있을 것으로 사료된다.

2. 자료의 수집과 혼합고 추정방법

본 연구는 국내에서 고공관측이 이루어지고 있는

오산, 포항, 광주의 3개 지역에서 1983년 1월부터 1992년 6월까지 현지시각 09시에 Radiosonde를 이용하여 측정된 지상의 기온과 1000, 850, 700 및 500 mb의 각 압력고도에서 측정된 수직중단 기온자료를 이용하였다(중앙기상대, 1983-1992; 공군본부, 1984, 1986, 1994; 공군본부, 1979). 이용된 자료는 결측치를 제외한 총 유효측정일수로 나타내면 각각 포항 3,452일, 오산 3,377일 그리고 광주가 3,458일이다.

이러한 각 관측지점에서의 관측고도는 해발고도로서 지상과 약 200, 1,500, 3,000 및 5,500m의 고도에 해당한다. 비록 정확한 혼합고 추정에 난점이 내재되어 있는 것은 사실이나, 이들 자료는 국내의 여건을 감안할 때 흔치 않은 data base라고 할 수 있다. 고공기상 관측자료의 획득과 자료의 이용측면에서도 어려운 점이 많기 때문에, 본 연구에서 얻어진 혼합고의 추정결과 자료가 지니는 의미는 상당하다고 볼 수 있다.

각 고공기상 관측소에서 사용하고 있는 관측장비 형태와 관측회수 및 측정항목을 표 1에 제시하였다. 포항과 광주지역에서는 1일 2회(09시와 21시) 관측되고 있고, 오산지역은 1일 4회(03시, 09시, 15시 및 21시) 관측이 이루어지고 있다. 각 관측소에서의 기본적인 측정항목은 압력고도별 풍속과 기온, 풍향 등이 해당한다. 본 연구에서는 편의상 DMMH의 추정에 있어서 가용자료 중 이른 아침에 해당하는 09시에 측정된 고도별 기온의 수직분포를 대변하는 환경감울선과 그 날의 일최대 지상기온에서 건조단열감울선을 연장하여 두 선이 교차하는 지점까지의 고도를 계산하여 그날의 최대 혼합고로 가정하였다.

Table 1. Instrumentations and measurement parameters used for the collection of meteorological data for each monitoring station.

Station	Ground equipment	Radiosonde type	Observation	Measurement parameter
Pohang	WO-200A	VIZ-MIC	09, 21 hr	Temperature, Wind speed, Pressure, Wind direction, Humidity, etc.
Osan	WO-2000AT	VIZ-MIC	03, 09, 15, 21 hr	
Kwangju	WO-2000A	VIZ-MIC	09, 21 hr	

* Observation levels are surface, 1,000, 850, 700, 400, 300, 250, 200, 150, 100, 70, 50, 30, 20, 10, 7.5, 3 and 1 hPa altitude.

* Upper air data observed in Korea Meteorological Administration (KMA) and Korea Air Force (KAF).

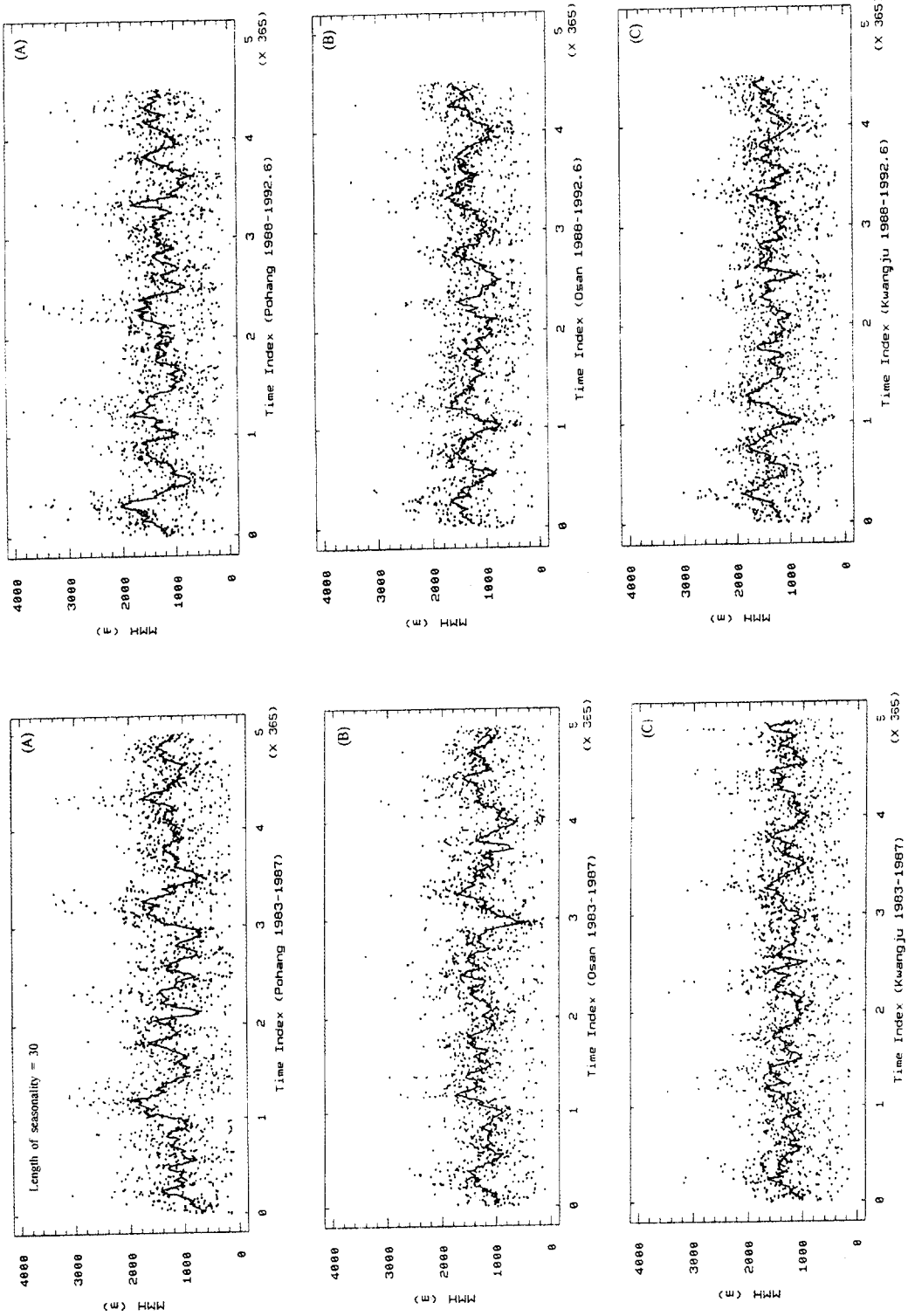


Fig. 1. A plot of moving average of DMMH in Pohang (A), Osan (B) and Kwangju (C) areas.

3. 추정된 DMMH 자료의 분석

3.1 DMMH의 시계열성

각 지점에서 추정된 DMMH의 계절성 존재에 대한 시계열성을 분석하기 위해 가법모형 (additive method)을 이용한 이동평균 (moving average)의 변동양상을 고찰하였다 (Shumway, 1988; Nehis *et al.*, 1973). 가법모형에 의한 시계열성분석은 임의의 등 시간 간격을 설정하고, 관측된 변수의 평균값이 시간의 경과에 따라 변화할 때 일정한 계절성 (가법적 혹은 승법적)을 갖는지의 유무를 분석한다 (김연형, 1990; Shumway, 1988).

그림 1에는 각 지역별로 추정된 10년간 DMMH 자료를 이용하여 이동평균선을 도시하였다. 각 지역별로 나타낸 이동평균선에서는 동일한 계절간에도 어느 정도 혼합고의 차이와 피크의 불규칙성이 나타나지만, 대체로 4월을 전후로 한 봄과 10월을 중심으로 한 가을에 혼합고의 이동평균치가 상승하고, 여름철과 겨울철에 낮아지는 계절성 (혹은 시계열성)을 반영하고 있다고 판단된다. 이러한 양상은 계절성의 길이 (length of seasonality)를 90으로 선택하였을 경우에도 봄과 가을에 혼합고의 이동평균선

이 전반적으로 높은 피크를 보이고 있었으며, 여름과 겨울철엔 낮아지는 경향을 확인할 수 있었다.

각 지역에서 모두 봄에 높은 고도에서 혼합고가 발생하는 빈도가 두드러지게 증가하는 것을 볼 수 있으며, 가을에도 고공의 혼합고도 발생빈도가 약간 높게 나타났다. 겨울철과 여름철엔 전반적으로 혼합고가 낮게 형성되는 점을 감안하면, 특히 오염물질의 배출량이 많은 동절기에 저공의 혼합고도가 형성되는 현상은 대기오염도를 가중시키게 되는 중요한 요인으로 작용할 수 있을 것으로 사료된다.

3.2 DMMH의 계절별 추이

추정된 DMMH의 계절별 추이를 파악하기 위해 각 지역의 계절별 및 월별 평균 DMMH와 표준편차를 표 2에 각각 나타내었다. 이들 계절별 평균치들은 10년간의 많은 자료를 평균화시켰기 때문에 계절간의 차이는 뚜렷이 나타나지 않고 있지만, 3개 지역 모두 봄철에 약 1,450 m 정도로 가장 높게 나타났다. 봄철에 출현될 수 있는 혼합고도는 평균적으로 타 계절에 비해 높으나 그 표준편차 또한 큰 것으로 보아 혼합고도는 동일한 계절 내에서도 변동이 심하게 나타날 수 있음을 알 수 있다.

Table 2. Monthly and seasonal mean and standard deviation of the DMMH.

(Unit : m)

Month/Season	Pohang	Osan	Kwangju
	Mean ± S.D.	Mean ± S.D.	Mean ± S.D.
3	1,450 ± 685 (310)*	1,385 ± 613 (306)	1,417 ± 571 (310)
4	1,487 ± 805 (300)	1,461 ± 555 (298)	1,548 ± 625 (300)
5	1,405 ± 749 (310)	1,388 ± 559 (303)	1,459 ± 562 (310)
Spring	1,447 ± 748 (920)	1,412 ± 578 (907)	1,474 ± 589 (920)
6	1,099 ± 583 (291)	1,319 ± 472 (278)	1,289 ± 551 (297)
7	933 ± 481 (276)	1,092 ± 499 (252)	1,079 ± 437 (274)
8	1,073 ± 459 (279)	1,252 ± 467 (261)	1,341 ± 402 (278)
Summer	1,038 ± 517 (846)	1,227 ± 485 (791)	1,237 ± 483 (849)
9	1,049 ± 483 (268)	1,240 ± 538 (269)	1,309 ± 455 (269)
10	1,330 ± 486 (279)	1,367 ± 434 (277)	1,438 ± 462 (279)
11	1,233 ± 553 (269)	1,157 ± 438 (270)	1,215 ± 454 (269)
Fall	1,206 ± 521 (816)	1,258 ± 479 (816)	1,325 ± 466 (817)
12	1,104 ± 449 (279)	938 ± 455 (279)	1,111 ± 418 (279)
1	1,222 ± 476 (310)	994 ± 436 (308)	1,130 ± 411 (310)
2	1,308 ± 632 (281)	1,167 ± 437 (276)	1,235 ± 443 (283)
Winter	1,211 ± 530 (870)	1,032 ± 453 (863)	1,158 ± 427 (872)

* Values in the parenthesis indicates number of data.

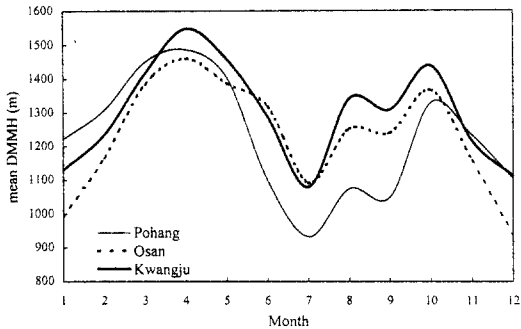


Fig. 2. Variations of monthly mean DMMH in Pohang, Osan and Kwangju area.

해양에 인접한 포항은 여름철에 타 지역보다 상대적으로 낮고, 비교적 내륙지역인 오산은 겨울철에 타 지역보다 낮게 나타났다. 그러나 전반적으로 볼 때, 우리나라와 같이 3면이 해양과 접해 있는 비교적 작은 내륙의 반도에서는, 지역별 차이가 크지 않은 것으로 보이며, 추정된 혼합고 자료는 반도의 지리적인 특성과 기후특성을 많이 반영하고 있는 것으로 사료된다.

3.3 DMMH의 월별 추이

월별 단위로 추정된 평균 DMMH의 변화를 그림 2(표 2 참조)에 지역별로 비교하여 나타내었다. 월 평균치는 3개 지역 모두 7월과 12월 중에 가장 낮고 4월과 10월 중에 가장 높게 나타났으며, 그 양자간에 나타나는 혼합고 폭의 차이는 약 400m 정도로 추정되었다. 월별 혼합고의 변화는 3개 지역에서

동일한 추이를 나타내고 있는데, 겨울철의 경우에는 복사무를 동반하는 지표면의 역전층 발생빈도가 증가하는데 따른 영향으로 비교적 낮은 혼합고도를 보이는 것으로 해석된다. 그리고 여름철, 특히 7월에 혼합고가 급격히 낮아지는 현상은 장마의 발생과 유관할 것으로 판단된다.

3.4 고도별 혼합고 발생빈도

추정된 DMMH 자료를 이용하여 혼합고도 구간별 발생빈도에 대한 Histogram을 지역별로 그림 3에 나타내었다. 3개 지역 모두 대체로 일반정규분포 개형에 거의 일치하는 형태를 보이고 있었으며, 최빈치의 형성은 고도 약 1,200m 전후로 나타났다. 또한 표 3에는 추정된 DMMH의 일정 고도구간별로 그 발생빈도와 상대빈도를 지역별로 상세히 비교하여 나타내었다.

본 연구에서 이용한 고공 관측자료의 특성 때문에 역전층, 특히 고공역전층의 발생빈도 추정 및 산출이 어려워서 고공에서 발생할 수 있는 혼합고의 형성에 대한 고찰 및 평가가 용이하지 않다. 그러나 지상 100m내의 혼합고 발생의 대부분은 지표면 복사역전과 깊은 관련이 있는 것으로 볼 수 있다. 참고로 해양도시인 포항은 타 지역에 비해 저고도의 혼합고 발생빈도가 상대적으로 높은 것으로 파악되었다.

추정된 모든 혼합고 자료를 대상으로 각 등급(구간)별 발생빈도를 조사한 결과 1,000~1,500m 구간에서의 발생빈도는 약 35% 정도의 높은 빈도를 보였으며, 두 번째로 발생빈도가 높은 구간은 1,500~

Table 3. Frequency of the estimated DMMH data.

Height range (m)	Occurrence frequency (day)			Relative frequency (%)		
	Pohang	Osan	Kwangju	Pohang	Osan	Kwangju
< 100	103	57	31	3.0	1.7	0.9
100~ 500	375	353	251	10.9	7.4	7.3
500~ 1,000	750	651	633	21.7	18.7	18.3
1,000~ 1,500	1,101	1,278	1,318	31.9	37.8	38.1
1,500~ 2,000	824	837	987	23.9	29.2	28.5
2,000~ 2,500	206	167	194	6.0	5.7	5.6
2,500~ 3,000	57	25	33	1.7	1.0	1.0
3,000~ 3,500	31	9	9	0.9	0.3	0.3
3,500~ 4,000	5	0	0	0.1	0.0	0.0
> 4,000	0	0	2	0.0	0.0	0.1
Total	3,452	3,377	3,458	-	-	-

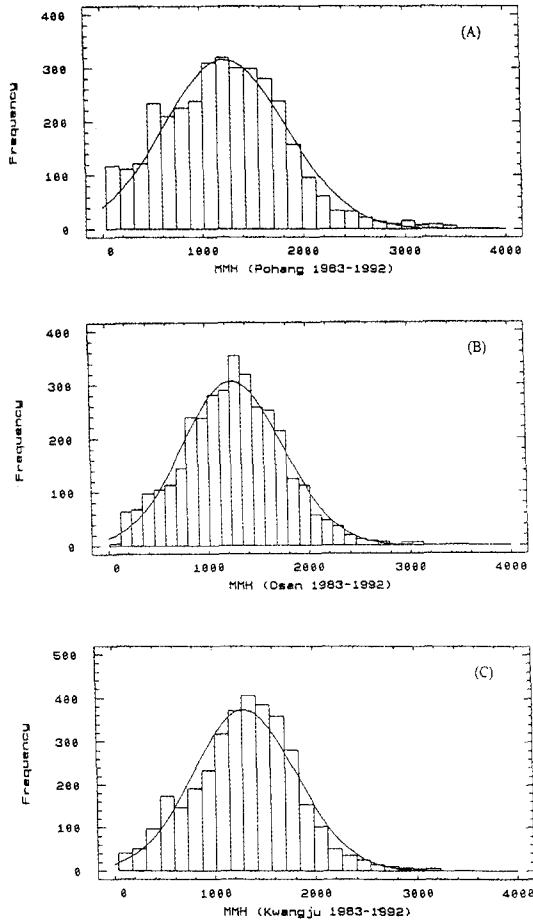


Fig. 3. Plot of the frequency histogram of the DMMH.

2,000 m로서 약 30%, 그리고 500~1,000 m의 구간에서는 약 20%의 발생빈도를 각각 보이고 있다. 따라서, 1,000~2,000 m 구간에서의 발생빈도가 전체의 약 60% 정도를 차지하고 있는 것으로 나타났다.

4. 요 약

본 연구에서는 국내에서 고공기상관측이 이루어지고 있는 포항, 오산, 광주의 3개 지역을 대상으로 1983년에서 1992년의 10년간 관측된 고공기상자료를 이용하여 각 지역별 DMMH를 추정하였다. 추정된 DMMH 자료에서 3개 지역 모두 봄과 가을철에 혼합고가 전반적으로 상승하고 있었으며, 여름과 겨울철엔 전형적으로 저하되는 주기적인 시계열성을 반영하고 있음을 확인할 수 있었다.

추정된 DMMH 자료는 전반적으로 봄철에 약 1,450 m로 가장 높게 나타났으며, 겨울철에 약 1,100 m로 가장 낮게 나타났다. 월별 평균 DMMH는 4~5월에 가장 높은 반면, 12월과 1월에는 가장 낮았다. 또한 추정된 혼합고도 자료는 일방정규분포에 가까운 개형을 보이고 있었고, 각 등급구간별 발생빈도에서는 1,000~1,500 m에서 약 35% 그리고 1,500~2,000 m에서는 약 30%를 차지하고 있었으며, 일최대혼합고도의 형성은 대부분이 고도 1,000~2,000 m의 구간 내에서 이루어지는 것으로 추정되었다.

사 사

본 논문에 이용된 고공기상 관측자료를 협조해 주신 공군기상대 관계자 여러분께 감사를 표합니다.

참 고 문 헌

공군본부 (1979) 기상총감.
 공군본부 (1984) 항공기상 예보기사 및 기상예측기수 (II).
 공군본부 (1986) 항공기상 예보기사 및 기상예측기수 (I).
 공군본부 (1994) 항공기상 예보기사 및 기상예측기수 (I), 202pp.
 공군본부 (1994) 항공기상 예보기사 및 기상예측기수 (II), 319pp.
 김연형 (1990) 시계열분석과 예측, 자유아카데미, 서울, 659 pp.
 신재현 (1994) 오산, 포항, 광주지역 일최대혼합고 추정, 영남대학교 환경대학원 석사학위논문
 이만근 (1990) 국내 대기혼합고의 지역별, 계절별 변화 추이에 관한 연구, 영남대학교 환경대학원 석사학위논문
 이종범 (1991) 중부지방 각지의 대기오염잠재력에 관한 연구, 한국대기보전학회, 7(1), 41-47.
 장영기, 김정옥 (1991) 서울지역의 도시열섬현상과 대기오염도의 관계에 관한 연구, 한국대기보전학회, 7(1), 49-53.
 중앙기상대 (1983.1 - 1992.8), 기상월보.
 Holzworth, G.C. (1963) Estimates of mean maximum mixing depths in the contiguous United States, Monthly Weather Review, 92(5), 235-242.

- Holzworth, G.C. (1967) Mixing depths, wind speeds and air pollution potential for selected locations in the United States, *J. Appl. Meteorol.*, 6, 1039-1044.
- Holzworth, G.C. (1968) Mixing height, wind speeds and air pollution potential for air pollution in the contiguous united states, Office of Air Programs Pub., No. AP-101.
- Nehis, G.J. and G.G. Akiand (1973) Procedures for handling aerometric data, *J. Air Pollut. Control Asso.*, 23(3), 180-184.
- Schulze, R.H. (1981) Notes on dispersion modeling, 224pp.
- Shumway, R.H. (1988) Applied statistical time series analysis, Prentice-Hall International Inc., New Jersey, 379pp.