

제주지역의 대기 혼합고도 추정에 관하여

이 기 호 · 강 태 진* · 박 용 이** · 허 철 구

제주대학교 지구환경시스템공학부, *제주지방기상청, **제주산업정보대학

A Study on the Estimation of Atmospheric Mixing Height in Jeju Area

Ki-Ho Lee, Tae-Jin Kang*, Yong-Yi Park** and Chul-Goo Hu

Dept. of Civil & Environmental Engineering, Cheju National University, Jeju-Do, 690-756, Korea

*Jeju Regional Meteorological Observatory Division, Jeju-Do, 690-801, Korea

**Jeju College of Technology, Jeju-Do, 690-714, Korea

The mixing height and the atmospheric ventilation factor within the mixing layer are calculated twice for each day of one-year record of upper air observation at Gosan station in Jeju Island, Korea, by using the Holzworth approach.

In the first phase of this study, the Holzworth approach is applied to estimate monthly and seasonal mixing heights for the data gathered at upper-air station of Gosan, Jeju Island. Result indicates that the morning and the afternoon mixing heights are maximum in January and minimum in May. The estimated morning and the afternoon mixing heights are very similar each other and show the seasonal variations. The morning mixing heights are believed to be overestimated, so the application of an adjustment factor to account for the heat-island effects by the Holzworth approach to data obtained at Jeju region still contains uncertainties.

The ventilation factors estimated in this study are maximum in January and minimum in May, with an annual average of 7500 m^2/s . This result indicates that the atmospheric environment of Jeju region has a large potential for dispersal of air pollutants.

Key words : mixing height, Jeju Island

서론

우리의 생활권에 가장 근접한 대기의 하부층은 지표 기온이 일 변화를 할 뿐 아니라 역전층, 혼합층 및 불안정한 접지층 등과 같은 고유의 층을 형성하게 된다. 그리고 각 층의 깊이는 밤과 낮, 계절, 그리고 지표 특성 및 지형에 의해서도 영향을 받게 된다. 따라서 대기오염 물질의 분산은 이들 각 층의 고유한 특성 및 그 깊이에 따라 크게 영향을 받을 수밖에 없다. 이들 각 층의 깊이는 대기오염물질의 수직적 이

동 거리를 제한하므로 대기오염물질의 희석에 중요한 역할을 한다. 이처럼 지표면에서 상공으로 대기오염 물질이 수직으로 이동할 수 있는 거리를 대기 혼합고라고 부르며, 대기오염물질의 분산을 예측할 수 있는 모델 개발에 필수적인 고려사항이기도 하다(Aron, 1983). 그리고 이 혼합층의 두께 내에서의 평균풍속자료와 함께 대기에서 오염물질의 혼합용량을 평가하는 대기 환기량을 산출하는 자료로도 활용될 수 있다.

대기 혼합고는 비행기나 기구 등을 이용하여 직접 측정할 수도 있지만, 대기 혼합고 변화를 지배하는 각종 방정식을 조합한 적분 모델을 이용하는 방법

(Carson, 1973; Tennekes, 1973; Driedonke, 1982; Lee, 1986)과 Holzworth 방법(Holzworth, 1967, 1972; 최와 백, 1998)과 같은 간접적인 방법도 널리 이용되고 있다. 이 중에서도 Holzworth 방법은 적분 모델을 이용함에 따른 각종 어려움을 극복하면서도 간편하고 실용적으로 혼합고를 산정할 수 있는 방식이다. 이 방법에 의하면 실제 관측과는 다소 차이는 있지만 기후학적으로 보면 관심 대상 지역에 대한 훌륭한 지표로서 활용할 수 있으므로 미국 환경 보호청에서 대기질 평가에 필요한 혼합고 산정의 표준 방식으로 채택되고 있다(U.S. EPA, 1990; 이, 1991).

Holzworth가 미국 전역에 산재한 여러 고층 관측소에서의 온도와 바람 관련 자료를 토대로 일련의 연구를 수행한 이래로 대기오염과 혼합과의 관련성에 관한 많은 연구가 수행되었다(Holzworth, 1967, 1972; Aron, 1983; U.S. EPA, 1981, 1990). 우리나라의 경우 그 동안 고층기상관측 자료의 가용성 문제로 인해 자료 이용에 어려움이 많아 혼합고 산정에 관한 연구가 극히 제한적이었다(이, 1990; 신, 1994; Chang, et al., 1997; 최와 백, 1998). 따라서 대기 혼합고 자료에 관한 체계적 측정이나 분석이 매우 미비하여 대기오염 잠재성을 평가하거나 대기 분산 모델을 선정하고 이용함에 있어 많은 제약 요소가 되어 왔다(최와 백, 1998). 특히 우리나라는 산과 구릉지, 평지 등이 혼할 뿐 아니라 해양으로 둘러싸여 있는 등 지표면 특성이 아주 다양함에도 불구하고 전국에서 4 곳에서만 고층 기상관측이 이루어지고 있어 이를 이용하여 특정 대상 지역에서의 혼합고를 평가함에 신중해야 한다. 게다가 요즈음 도시의 팽창이 급속한 추세이고 그린벨트의 해제 등과 같은 국가 정책 변화에 따른 지표면 특성 변화가 더욱 클 것으로 예상되어 특정 지역의 대기 혼합층 변화에 관여하는 인자들은 현재와 더욱 큰 차이를 보일 것이다. 특히 제주지역은 주변이 해양으로 둘러싸여 있어 대기 혼합고에 직·간접적인 영향을 미칠 것이므로, 제주지역에 관한 혼합고의 산정은 지역 대기질 관리와 대기오염분산 모델의 선정 및 적용에 실제적인 자료 제공을 위해 필요하다고 판단된다.

따라서 본 연구에서는 제주도 서부지역의 해안가에서 관측된 고층기상관측 자료에 Holzworth가 제시한 방식을 적용하여 대기 혼합고를 산정하고, 그 시간적

변동특성, 혼합고별 발생빈도 등을 분석함과 아울러 대기환기량을 파악해 보고자 한다.

연구방법

기상 관측 자료

우리나라의 고층기상을 관측하는 4곳 중의 한 곳인 제주고층 레이더 기상대는 Fig. 1에서 보는 바와 같이 동경 126°10', 북위 33°17', 해발 72m에 위치하며 행정적으로는 제주도 남제주군 한경면 고산리의 바닷가에 위치한다. 이 곳에서는 지상기상과 고층기상을 동일한 위치에서 실시하고 있으며 고층 기상관측은 매일 2회 오전 9시(00GMT)와 오후 9시(12GMT)에 정기적으로 실시하고 있다. 그리고 1997년부터는 기상방재 기간동안(주로 6월과 7월)에는 한시적으로 1일 4회, 오전 3시(18GMT), 오전 9시(00GMT), 오후 3시(06GMT) 및 오후 9시(12GMT)에 관측을 실시하고 있다. 고층기상 관측시에는 기압, 기온, 이슬점 온도, 풍향, 풍속의 5가지 기상요소가 관측이 되고, 기압면의 고도 자료가 제공된다. 고층기상 관측시 존대의 부양은 통상 기준시각의 30여분 전에 실시하고 존대에서 발신되는 발신 신호를 지상에서 매 10초 간격으로 수신하여 저장된다.

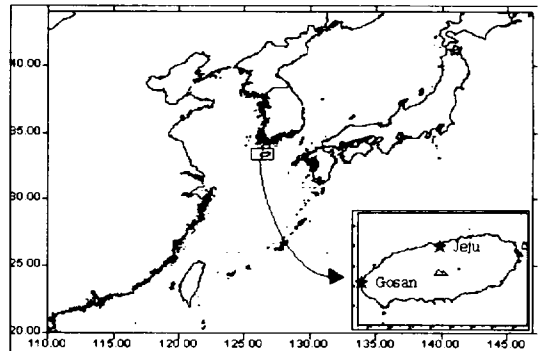


Fig. 1. The location of Jeju upper-air & radar weather station(Gosan) and Jeju regional meteorological office(Jeju).

우리나라 기상청에서는 10초 간격 수신된 이 자료에서 표준 등압면 고도에 대한 기상자료를 환산하여

정기적으로 제공하고 있다. 본 연구에서는 10초 간격으로 저장된 고층기상 관측자료를 Type A data로, 표준등압면 고도별로 제시된 자료를 Type B data로 명명하여 사용한다. 그러나 현재 제주고층레이더 기상대에서 10초 간격으로 저장된 고층기상 관측자료 (Type A data)를 확보할 수 있는 관측 시기는 극히 제한적이므로, 본 연구에서는 1997년 11월부터 1998년 10월까지 1년 동안의 10초 간격 관측자료와 동일 기간에 표준등압면 고도자료(Type B data)에서 지상에서부터 500hPa 등압면까지의 자료만을 선택하여 이용하였다. Type A data인 경우 지상으로부터 대략 40~50 m 간격의 고도별로 기상 정보가 제공되지만 Type B data인 경우에는 지상 및 지상으로부터 대략 130 m, 1500 m, 3000 m, 5580 m에서의 정보만 제공되는 차이점이 있다.

제주고층 레이더 기상대에서는 매일 매시간 지상기상 관측을 실시하고 있으므로 본 연구에서는 지상에서 관측된 매시간 기온, 습도 및 바람자료를 활용하였다.

본 연구에서 수집된 1997년 11월부터 1년간 매일 2회씩 관측된 고층관측 자료 중 기기의 장애 및 보관 자료의 손실 등으로 인해 정상적인 10초 간격 관측 기록이 확보되지 못한 일수를 제외한 총 349일의 자료를 이용하였다. 기상관측 자료는 고층기상 관측자료가 정상적으로 확보된 날과 짝을 이룰 수 있도록 정리하여 사용하였다.

혼합고 산정방법

Holzworth(1972)가 기준으로 삼은 일출 직전의 고층기상관측 시각으로서는 12GMT였지만 우리나라의 경우에는 일출 후 2~4 시간이 경과한 후인 09LST (00GMT) 에 이루어진 관측된 자료를 이용하여 혼합고를 산정했다.

Holzworth방식을 보면 오전 혼합고(morning mixing height)는 0200LST부터 0600LST 사이에 관측된 지상 최저 기온에 열섬효과를 보정하기 위해 5℃를 더한 값에서 시작된 건조단열감률선과 관측된 수직온도 분포선과의 교점까지의 지상높이로서 계산된다. 오후 혼합고(afternoon mixing height)는 1200LST에서 1600LST사이에 관측된 지상최고 기온에서 시작된 건조단열감률선과 관측된 수직온도 분포선과의 교점까

지의 지상 높이로서 선정된다.

본 연구에서 사용한 혼합고 산정 과정은 Holzworth 방식으로서 지상 온위보다도 온위가 높아지는 최저고도로 정의되도록 다음의 단계를 따라서 처리하였다.

단계 1 : 지상 기상 관측자료에서 0200LST에서 0600LST 사이에서의 최저기온을 찾아 5℃를 더하고, 1200LST에서 1600LST사이에서의 최고 기온을 찾는다. 그리고 다음의 방정식을 이용하여 지상에서의 오전과 오후의 온위를 계산한다.

$$\theta_{SFC} = T_{SFC} \left(\frac{P_{SFC}}{1000} \right)^{-R/C_p}$$

여기서, θ_{SFC} 와 T_{SFC} 의 단위는 절대온도(K)이고, P_{SFC} 의 단위는 hPa이다. 그리고 R과 C_p 는 각각 공기의 기체상수와 정압 비열이다.

단계 2 : 고층기온 관측자료를 이용하여 고층관측 기압 자료 중에서 지상기압(P_{SFC})보다 낮으면서도 가장 높은 기압고도를 찾는다.

단계 3 : 단계 2에서의 고도에 대한 압력과 온도를 이용하여 다음 방정식을 적용하여 온위를 계산한다.

$$\theta_p = T_p \left(\frac{P_p}{1000} \right)^{-R/C_p}$$

여기서 θ_p 와 T_p 는 절대온도(K)이고 P_p 는 기압이다.

단계 4 : 온위 θ_p 가 지상온위 θ_{SFC} 보다 더 높으면 이 날에는 혼합고도를 찾을 수가 없으며, 다음 날로 넘어간다. 만일 θ_p 가 θ_{SFC} 보다 낮으면 θ_{SFC} 보다 θ_p 가 커질때까지 계속하여 다음 고도로 넘어가면서 단계 3의 계산과정을 반복하게 된다. θ_p 가 θ_{SFC} 보다 커지면 단계 5로 넘어간다.

단계 5 : 혼합고는 단계 4에서 마지막으로 처리된 두 고도 사이에 위치하게 된다. 따라서 마지막 두 고도 사이에서 geopotential height와 온위를 이용하여 직선적인 내삽을 통해 혼합고도(해면기준)를 찾게 된다.

단계 6 : 단계 5에서 계산된 해면기준 혼합고도에서 지상관측지점 해발고도를 빼주면 그 지역의 혼합고가 된다.

혼합층 풍속 산정

풍속은 오전과 오후의 풍속으로 나누어 계산하였다. 풍속은 지상 풍속 및 앞에서 산정된 혼합고도가 지 관측된 고도별 풍속들을 기준으로 다음 수식으로

계산하였다.

$$q_T = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n q_{bi}(z_i), \quad \text{m/s}$$

여기서 $q_{bi}(z_i)$ 는 라디오존데로서 혼합층 내 i 번째 고도에서 관측으로 측정된 풍속을 말한다.

오전 풍속은 00GMT에 관측된 고층 풍속자료와 0200LST에서 0600LST사이에 관측된 지상 풍속을 근거로 계산하였다. 오후 풍속은 12GMT에 관측된 고층 풍속자료와 1200LST에서 1600LST사이에 관측된 지상 풍속을 근거로 계산하였다. 이렇게 계산된 평균 풍속을 편의상 오전 풍속과 오후 풍속이라고 표현한다.

혼합비 산정

혼합비 x 는 다음 식으로 계산하였다.

$$x = \frac{0.622 e}{P - e}$$

여기서 P 는 고도에 따른 기압(hPa)이고, e 는 수증기 압으로서 상대습도(RH, %)와 포화수증기압(e_s , hPa)로서 산출된다.

$$e = \frac{RH \times e_s}{100}$$

포화수증기압(e_s)은 다음과 같이 구했다.

$$e_s = 6.1078 \exp\left(\frac{2.302 \times 7.5 \times T}{273.3 + T}\right)$$

여기서 T 는 각 고도에서의 건구 온도(°C)를 말한다.

결과 및 고찰

지상 및 고층 기상 관측 자료를 이용하여 제주도 서부 고산지역에서의 Holzworth(1972)가 제시한 방식에 따라 혼합고를 산정한 결과를 살펴보았다.

오전 및 오후 혼합고 평가

Fig. 2는 Holzworth가 제시한 방식에 따라 산정된 오전 및 오후 혼합고의 월별 변동을 나타낸 것이다. 오전 혼합고의 월별변동 특성을 보면 11월부터 증가하여 12월과 1월에는 거의 같은 수준으로 최고값을 보인 후 크게 감소하여 5월에는 364 m로서 최저값을 나타냈고 다시 점차 증가하여 9월, 10월중에는 거의

일정해지는 변동 특성을 나타냈다.

오후 혼합고의 전반적인 월별 변동 특성은 오전 혼합고와 비슷한 형태를 보임을 알 수 있다. 11월부터 1월까지 증가하여 1월에 1359 m로 최고값을 보인 후 크게 감소하여 5월에 532 m로서 최저값을 보이고 여름철과 가을철로 가면서 점차 증가함을 볼 수 있다.

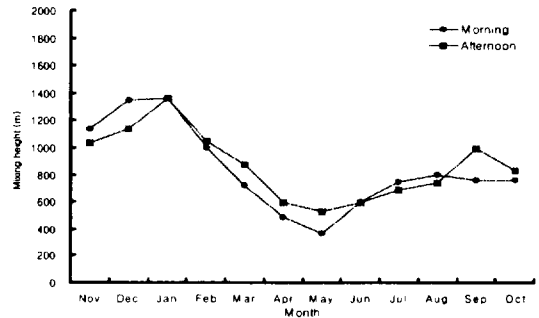


Fig. 2. Monthly variations of morning and afternoon mixing heights.

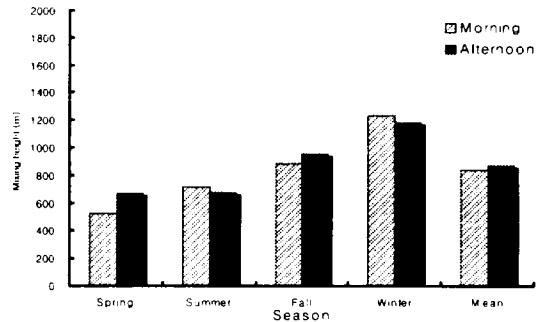


Fig. 3. Seasonal morning and afternoon mixing heights.

이를 계절별로 평균하여 보면(Fig. 3 참고), 오전 혼합고는 봄철이 가장 낮고 여름, 가을, 겨울철로 가면서 높아져 겨울철이 가장 높은 값을 보임을 알 수 있다. 오후 혼합고는 오전 혼합고의 계절별 변화와 같은 변동 형태이지만, 봄과 여름철은 거의 같은 수준의 값을 보임을 알 수 있다.

Fig. 2에 나타낸 오전 혼합고와 오후 혼합고의 월별 변동을 비교해 보면, 11월부터 1월까지 변동을 보면 오전 혼합고가 오후 혼합고보다 오히려 높게 나타나고 2월부터 5월까지의 오전 혼합고가 오후 혼합고에 비해 다소 낮아지는 경향을 보이며 6월을 기점으로 다시 오전 혼합고가 높아지는 경향이었으나 9월과

10월에는 다시 반전되는 경향을 보였다. 그리고 계절별로 오전 및 오후 혼합고도는 거의 비슷한 수준임을 볼 수 있다. 이처럼 오전 혼합고와 오후 혼합고가 비슷한 수준을 보이는데 이는 Holzworth(1972)가 제시한 도시 열섬 효과에 대한 최저 기온 보정값인 5°C는 제주도의 지형 및 지표 특성 등이 많이 다르기 때문에 제주지역에 그대로 적용하는 데 무리가 있다고 판단된다. 따라서 이에 대해서는 보다 면밀한 검토가 필요하다고 판단된다.

서 출현 빈도가 가창 많았다. 여름철의 경우에는 오전 혼합고와 오후 혼합고의 고도 구간 출현 빈도는 비슷한 분포를 보이면서 1400 m 이상의 고도 구간에서는 전혀 출현하지 않음을 알 수 있다. 가을철에서 겨울철로 가면서 각 구간별 출현이 봄과 여름철에 비해 비교적 골고루 분포함을 알 수 있다. 겨울철의 경우 1400 m 이상의 고도 구간에서 출현 빈도가 높아짐을 알 수 있다. 특히 겨울철에 오후 혼합고의 경우 타 계절에 비해 800 m 이하의 고도 구간에서는 출현 빈도가 모두 5% 이하로 크게 감소하면서 1000 m 이상인 고도 구간에서의 출현 빈도가 증가하고, 특히 2000 m 이상의 고도 계급에서의 출현 빈도가 10% 이상으로서 타 계절에 비해 크게 증가함을 알 수 있다.

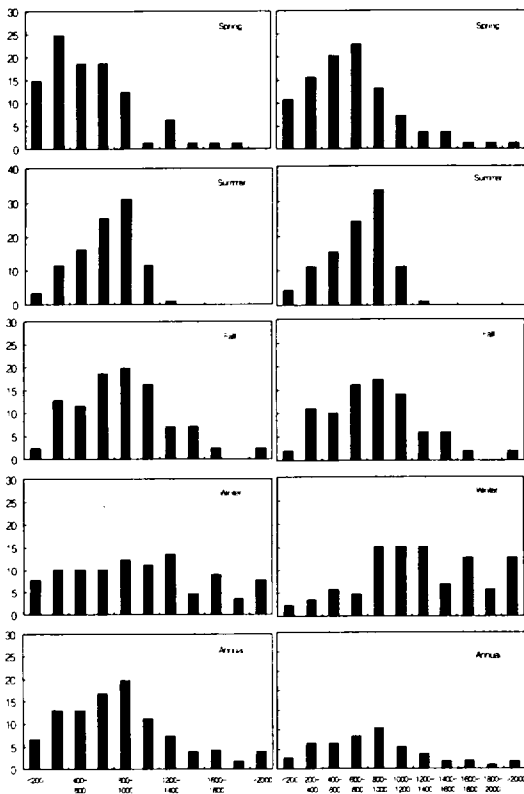


Fig. 4. Frequencies of morning (left) and afternoon (right) mixing heights.

Fig. 4는 선정된 혼합고를 고도 구간으로 구분하여 각 구간별 출현 빈도를 나타낸 것이다. 그림에서 보면 전반적으로 오전 혼합고와 오후 혼합고의 발생 빈도는 각 구간별로 비슷한 형태를 보임을 알 수 있다. 봄철에는 대부분이 1000 m 이하의 고도에서 발생하면서 오전 혼합고의 경우 200~400 m 고도에 출현 빈도가 가장 높으나 오후 혼합고는 600~800 m 고도에

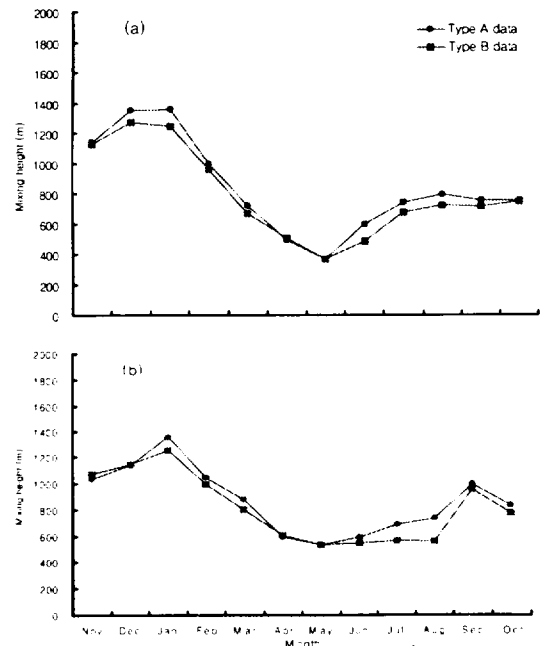


Fig. 5. Comparison of mixing heights according to the difference of upper-air data : (a) morning. (b) afternoon.

혼합고를 산정함에 있어서 필요한 고층 기상관측 자료를 수집함에 있어 10초마다 수신된 관측 자료를 활용하는 데는 많은 제약이 따른다. 통상 고층 기상관측자료는 매달 발간되는 고층 기상월보를 통해서 지상 및 표준 등압면 고도(1000 hPa, 925 hPa, 800 hPa, 700 hPa, 500 hPa)에서의 기상관측 자료를 입수할 수

있다. 따라서 이런 기초 자료의 차이로 인해 혼합고 산정 결과가 달라질 가능성이 있기 때문에 본 연구에서는 두 가지 형태의 자료를 이용해서 혼합고를 산정하여 그 결과를 Fig. 5에 나타냈다. 여기서 Type A는 고층 기상 관측시 10초마다 수신된 고층기상관측자료를 활용한 결과이고 Type B는 표준등압면 고도에서의 자료만을 활용한 결과이다. 그림에서 보면 Type A자료로 이용한 경우의 혼합고가 Type B자료를 이용한 경우보다 다소 높게 나타남을 알 수 있다. 특히 겨울철과 여름철의 혼합고도의 차이가 다른 계절에 비해 비교적 크게 나타났다. 오전 및 오후 혼합고 모두 기초 자료의 차이에 따른 혼합고도의 차이는 미미하면서 월별 변동 특성 또한 큰 차이를 보기 어려웠다. 이로서 볼 때, Chang et al.(1997)은 보다 세분화된 고도별 관측자료를 사용하지 않음으로서 혼합고 산정에 큰 차이를 유발할 수 있다고 우려했으나 이 지적인 크게 염려할 수준이 아닌 것으로 판단된다.

고층기상 관측시각에 따른 혼합고 비교

우리나라에서는 매일 00GMT와 12GMT에 고층기상관측을 실시하는데, 00GMT는 09LST로서 일출 이후 2~4 시간이 경과한 시간이므로 지표 역전이 가장 잘 발달되는 일출 직전의 고도별 기온 분포를 대표하지 못할 것이라고 판단된다. 따라서 18GMT(03LST)에 관측된 고층 기상관측으로서 혼합고를 산정하여 이를 00GMT에 관측된 자료에서 산정된 혼합고와 비교하여 Fig. 6에 나타냈다. 우리나라에서는 고층 기상 관측을 1일 4회 실시하는 경우는 주로 6월과 7월로 한정되어 있다. 본 연구 대상 기간 중 관측일수가 6월에는 6회 7월에는 8회에 지나지 않아 신뢰성을 부여하기에 무리가 있지만 그림에서 6월과 7월에 18GMT관측 자료와 00GMT 관측자료로서 계산된 혼합고 자료의 차이를 비교하면, 오전 혼합고의 경우 6월에 237 m, 7월에 8 m의 차이를 보이고 오후 혼합고의 경우 6월에 124 m, 7월에 56 m의 차이를 보임을 알 수 있다. 이로서 볼 때, 18GMT 자료와 00GMT 자료간의 차이가 오후 혼합고 산출시 보다는 오전 혼합고 산출시에 더 큰 편차를 보임을 알 수 있다. 이런 경향은 Chang 등(1997)의 결과와도 유사한 경향을 알 수 있다. 그렇지만 본 연구에서 활용한 6월

의 18GMT 자료는 관측 당일에 강수 현상이 있었음을 고려할 때 불확실성이 내재되어 있다고 판단되므로 이에 대한 면밀한 관측과 검토가 필요할 것이다.

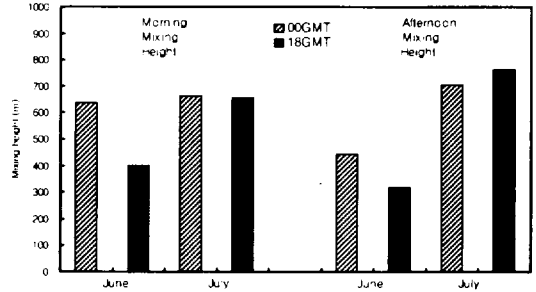


Fig. 6. The effect of application of 18GMT upper air data on the estimation of mixing height.

대기 환기량 평가

혼합고와 풍속은 여러 지역에서 기후학적 관점에서 대기오염 잠재성(air pollution potential)을 평가하는데 큰 도움이 된다. 이런 대기오염 잠재성은 오염물질의 분산과 관련지를 때는 혼합고의 개별적 개념과 풍속 뿐 아니라 풍속과 오후 혼합고로 계산되는 대기 환기에 기초를 두게 된다. 환기 인자(ventilation factor)는 $q_T \cdot H_m$ (m³/s) 으로 정의되며 이 양이 얼마나 적은가는 대기오염물질의 분산에 대한 악조건인 척도로서 활용될 수 있다. 이 개념을 예보를 목적으로 대기오염분산지수로 이용하기도 한다. 예보에 사용되는 환기 인자의 범주를 Table 1에 나타냈다(윤, 1998).

Table 1. Air pollution dispersal index

Dispersion	Ventilation(m ³ /s)
Bad	0 ~ 2000
Fair	2001 ~ 4000
Good	4001 ~ 6000
Excellent	> 6001

본 연구에서는 오후 풍속과 오후 혼합고를 각 계급별로 분류하여 Table 2에 나타냈다. Table 2에서 보면 환기량이 6000 m³/s 이하인 일수를 산출해 보면 겨울철에 15%, 봄철에 51%, 여름철과 가을철에 42%로 나타났다. 그리고 4000 m³/s 이하인 일수는 겨울철에 6.8%, 봄철에 28.6%, 여름철에 14%, 가을철에

제주지역의 대기 혼합고도 추정에 관하여

Table 2. Rank of atmospheric ventilation

(unit : day)

Season	Averaged wind speed (m/s)	Mixing height (m)				
		≤500	≤1000	≤1500	≤2000	>2000
Winter	≤2	0	0	0	0	0
	≤4	1	2	2	1	0
	≤6	2	2	7	3	0
	≤8	1	8	7	2	0
	≤10	2	7	6	0	1
	≤12	1	2	2	2	0
	>12	0	6	10	6	5
Spring	≤2	0	0	0	0	0
	≤4	4	10	0	0	0
	≤6	8	11	3	0	0
	≤8	2	10	3	1	0
	≤10	3	5	0	0	0
	≤12	5	5	4	1	0
	>12	3	4	1	0	1
Summer	≤2	1	0	1	0	0
	≤4	2	1	5	0	0
	≤6	5	12	0	0	0
	≤8	4	8	1	0	0
	≤10	6	14	6	0	0
	≤12	2	9	2	0	0
	>12	1	12	1	0	0
Fall	≤2	0	2	0	1	0
	≤4	3	5	6	2	0
	≤6	0	11	7	3	0
	≤8	3	4	5	0	0
	≤10	2	5	3	0	1
	≤12	1	4	3	1	0
	>12	1	3	2	3	0
Annual	≤2	1	2	1	1	0
	≤4	10	18	13	2	0
	≤6	15	36	17	6	0
	≤8	10	30	16	3	0
	≤10	13	31	15	0	2
	≤12	9	20	11	4	0
	>12	5	25	14	9	6

16%로서 연간 16.2%였다. 또한 대기의 분산 상태가 아주 나쁘게 평가될 수 있는 2000 m/s 이하인 경우는 연간 3.8%인 13일로 나타났다. 제주 지역 대기의 오염물질 분산 능력은 전반적으로 아주 양호하다고 평가할 수 있다.

혼합고와 평균 풍속을 토대로 대기 환기량을 산출한 결과를 Table 3에 나타냈다. 표에서 보듯이 봄철

의 환기량이 가장 낮고 월별로는 5월의 환기량이 가장 낮게 평가되었다. 그리고 겨울철의 환기량이 가장 높고, 그 중에서도 1월의 환기량이 가장 높은 것으로 평가되었다. 그리고 혼합고 측정 당일 강우 현상이 있었던 날의 환기량이 그렇지 않은 경우에 비해 대체로 크게 나타남을 알 수 있다.

Table 3. Estimation of atmospheric ventilation

(unit : m/s)

Year	Morning			Afternoon		
	All	Precipitation	Non-Precipitation	All	Precipitation	Non-Precipitation
Jan.	16033.6	24134.9	11691.9	14589.27	17456.6	12753.2
Feb.	10944.9	18846.2	14553.2	11606.08	15637.3	11047.7
Mar	8567.3	5358.2	11916.5	8030.22	9679.0	7404.4
Apr.	4093.9	10681.9	8229.0	4695.9	2621.1	5033.2
May.	2855.0	4143.8	4070.4	2877.7	2703.1	2803.6
Jun.	4008.5	4329.1	2653.9	4157.1	4825.5	3789.2
Jul.	7109.7	5927.3	3241.0	6229.0	6438.6	5959.7
Aug.	6537.9	7397.9	7078.9	5813.1	4450.4	5710.5
Sep.	6033.1	6687.6	6527.6	6880.1	7385.6	6524.2
Oct.	5618.2	2481.2	6459.4	5221.1	5564.7	4981.0
Nov.	11608.2	11409.3	4950.0	9064.8	7278.7	9140.3
Dec.	13351.0	9976.7	11962.9	10129.8	14794.9	8664.1
Mean	8063.4	9281.1	7777.9	7441.16	8236.3	6984.2
Spring	5172.0	6728.0	8072.0	5201.3	5001.1	5080.4
Summer	5885.4	5884.6	4324.6	5399.7	5238.2	5153.1
Fall	7753.2	6859.4	5979.0	7055.3	6743.0	6881.8
Winter	13443.1	17652.6	12736.0	12108.4	15962.9	10821.6

결론

1997년 11월부터 1998년 10월까지 제주도 고산에서 관측된 고층기상관측자료와 지상관측자료를 이용하여 Holzworth 방식에 준한 제주지역 혼합고를 산출하여 평가한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. Holzworth가 제시한 방법을 적용하여 산출된 오전 혼합고와 오후 혼합고는 월별 계절별 변동형태 뿐 아니라 혼합고도 거의 비슷한 수준을 보임으로서 오전 혼합고가 과대 평가된 것으로 판단된다. 따라서 제주도의 지형적인 특성이 Holzworth가 제시한 도시 열섬 효과에 대한 기온 보정값(5℃)을 그대로 적용하기에는 무리가 있다고 판단된다.

2. 오전 혼합고와 오후 혼합고의 고도별 출현 빈도는 각 계급별로 비슷한 형태를 보였다. 계절별로 보면 봄철에는 대부분이 1000 m 이하에서 출현하고, 여름철에는 1400 m 이상의 고도 계급은 전혀 출현하지 않았다. 그리고 가을과 겨울철에는 봄철과 여름철에 비해 각 고도 계급에서 비교적 골고루 출현하는 경향

을 나타냈다.

3. 산출된 혼합고와 평균 풍속을 토대로 산출된 대기 환기량은 월별로 5월이 가장 낮았고 1월이 가장 높게 나타났으며, 대기 분산상태가 아주 나쁘다고 판단되는 2000 m/s의 대기 환기량을 보인 일 수는 연간 3.8%인 13일 정도이지만, 연간 평균 환기량이 7500 m/s 수준인 것으로 나타나 제주 지역 대기의 오염물질 분산 능력은 전반적으로 아주 양호하다고 평가할 수 있었다.

참고문헌

이만근. 1990. 국내 대기혼합고의 지역별, 계절별 변화 추이에 관한 연구. 석사학위논문. 영남대학교, pp. 34.
 이종범. 1991. 중부지방 각지의 대기오염 잠재력에 관한 연구. 대기보전학회지, 7(1): 41-47.
 신재현. 1994. 오산, 포항, 광주지역 일 최대혼합고 추정. 석사학위논문. 영남대학교, pp. 38.
 윤일희. 1998. 대기오염기상학. 시그마프레스, pp. 33-38.

제주지역의 대기 혼합고도 추정에 관하여

- 최진수 · 백성욱. 1998. 오산, 포항, 광주지역 일 최대혼합고 추정. 한국대기보전학회지, 14(4): 379-385.
- Aron. R. 1983. Mixing height - an inconsistent indicator of potential air pollution concentrations. Atmos. Environ., 17: 2193-2197.
- Carson. D.J. 1973. The development of a dry inversion-capped convectively unstable boundary layer. Quart. J. R. Met. Soc., 99: 450-467.
- 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.
- Dobbins. R.A. 1979. Atmospheric motion and air pollution. John Wiley & Sons. pp. 95-139, 283-293.
- Driedonks. A.G.M., 1982. Models and observations of the growth of the atmospheric boundary layer. Boundary Layer Meteorology, 23: 283-306.
- EPA. 1981. User's Manual for Mixing Height Computer Program. EPA-450/4-81-022. Office of Air Quality Planning and Standards. Research Triangle Park. N.C.
- EPA. 1990. User's Guide for the urban air shed model. PB91-131227. Office of Air Quality Planning and Standards. Research Triangle Park. N.C.
- Holzworth. G.C. 1967. Mixing Depths. in Wind Speeds and Air Pollution Potential for Selected Locations in the United States. J. Appl. Meteorol., 6: 1039-1044.
- Holzworth. G.C. 1972. Mixing Heights. Wind Speeds and Potential Throughout the Contiguous United States. Office of Air Programs Pub. No. AP-101. Environment Protection Agency. Research Triangle Park. N.C.
- Lee. C.B. 1986. Simple model and climatological aspects of the structure of the convective boundary layer. Atmos. Environ., 20: 705-714.
- Tennekes. H. 1973. A model for the dynamics of the inversion above a convective boundary layer. J. Atmos. Sci., 30: 558-567.