

김해지방의 접지경계층내의 열수지 및 안정도에 관한 연구

A Study on the Heat Budget and Stability of the Surface Boundary Layer at Kimhae

이순환* · 박종길 · 이화운 · 김유근

인제대학교 환경학과 · 부산대학교 대기과학과

1. 서론

대기경계층의 특성에 관한 연구는 대기오염 물질의 분산 기제를 알기위하여 많이 연구되고 있다. 특히 접지경계층은 인간이 직접 호흡하며, 생활하는 환경으로 기상학적, 대기공학적 관심이 증가하고 있다. 그리고 역전층의 연구는 대기오염을 일시적으로 극대화시켜 극히 위험한 환경을 조성하기도 한다. 그래서 기온역전층에 대한 관측은 산업도시의 계획, 대기환경영향평가에 필수요소로 들어간다.

Hosler(1961)은 미국내의 하층역전의 발생빈도를 조사하였고, Kawamoto와 Ishizaka(1968)등은 극동지역을 대상으로 역전의 평균고도를 추론하였으며, Honda와 Fujita(1986)는 동지나 해상의 9년치 radiosonde 자료를 사용하여 700~900hPa에서 발생하는 공중역전층의 조사하여 통계적 특성을 밝혔으며, 그의 Morgan과 Borenstein(1977), Katsoulis *et al.* (1988)등이 있다.

역전에 관한 국내의 연구로는 김성삼(1967, 1968)이 역전층을 이용하여 저고층대기 확산능을 조사하였고, 중앙기상대(1981)는 오염물질 확산예측을 위해 저공층의 연직 분포를 조사하였고, 황수진(1989)은 산곡내의 접지 역전의 생성과 소멸에 관해서 대기상태를 파악하였다.

본 연구에서는 신흥주택지와 공업단지가 형성되고 있는 김해지역의 접지경계층내의 제요소를 파악하고, 역전의 구조를 열수지적인 측면에서 특성을 파악하고자 한다.

2. 관측개요

본 연구의 관측은 1993년 2월3일에서 5일까지 경상남도 김해시 삼방국민학교 교정(35° 15' 40"N, 128° 54' 20"E)에서 실시하였다. 경계층내의 관측에 사용한 기기는 미국 Atmospheric Instrument Research Co.에서 개발한 ADAS-3B(Atmospheric Data Analysis System-3B)와 tethersonde를 사용하였고, 관측요소는 기압, 풍향, 풍속, 건습구온도, 상대습도 등이며, 지상에서는 Campbell사의 CR10을 이용하여 기온, 상대습도, 풍향, 풍속, 일사, 지온을 측정하였다.

3. 분석 요소 산출 방법

3.1 기상학적 요소의 산출

Tethersonde는 관측기간동안 28회의 상승하강운동을 반복하며, 비양시간은 10분정도로 동일시간대의 값으로 볼 수 있다. 기상학적 산출요소로는 온도, 풍향, 풍속, 공기밀도등의 일중 변화경향을 산출하여 분석한다.

3.2 안정도 요소의 산출(Richardson 수)

본연구에서 사용한 경계층내의 물리적 분석은 Richardson수와 열역학적 플럭스를 사용한다. Richardson수는 열과 풍속의 상호 결합으로 안정도를 판별하는 지표이며, 열역학적플럭스(현열, 잠열)는 실제 각층에서 전달되는 열의 양과 기원의 예측을 가능하게 해준다. Richardson수는 두층의 풍속과 온위가 구하여진 경우 경도법(gradient method)을 사용한다.

고도 5m마다 층을 분리한후, 각층에서의 Richardson수를 구하고, 안정도를 분석하였다. 관측자료가 두 지점이 아니고, 한지점인 경우나 두층의 풍속이 같을 경우 경도법에 의해서 Richardson 수를 구할 수 없으므로, 지표면을 한지점으로 하고 풍속을 0으로 가정한 벌크법(bulk method)을 이용하여 구한다.

3.3 열수지항의 산출

sonde관측에 의하여 두 고도사이의 자료를 이용하고, 무차원화된 풍속구배와 기온구배를 보편함수 ϕ_m , ϕ_h 의 정의로부터

$$\frac{\kappa(U_2 - U_1)}{u_*} = \int_{\zeta_1}^{\zeta_2} \frac{\phi_m(\zeta)}{\zeta} d\zeta$$

$$\frac{\kappa U_* (\theta_2 - \theta_1)}{-Q} = \int_{\zeta_1}^{\zeta_2} \frac{\phi_h(\zeta)}{\zeta} d\zeta$$

$$\frac{\kappa U_* (q_2 - q_1)}{-E} = \int_{\zeta_1}^{\zeta_2} \frac{\phi_h(\zeta)}{\zeta} d\zeta$$

$$L = - U_*^3 \theta_0 / \kappa g Q \text{ (Monin-obukhov 길이)}$$

여기서 ϕ_m , ϕ_h 은 잘 알려져 있는 이론적·실험적인 식이므로 $\zeta (= z/L)$ 을 알면 반복 근사해법에 따라 u_* , Q , E 를 구할 수 있다.

관측이 한고도에서만 이루어졌을 경우 지표의 값을 사용한다. 여기서 벌크저항(bulk resistance)과 ϕ_m , ϕ_h 를 이용하여 u_* , θ_* , q_* 를 구한 후 각 열수지항을 구한다. 이렇게 할 경우 반복법에 의해 계산시간이 많이 들게 되는데 본 논문에서는 Garratt(1992)가 제시한 벌크 Richardson 수를 이용한 직접법을 사용한다.

4. 분석 및 토의

4.1 관측일의 일기 현황

2월4일 0000UTC에는 우리 나라가 화중지방에 중심을 둔 1028hPa의 고기압 전면에 놓여있다. 이 고기압이 점차 동쪽으로 이동하여 1200UTC에는 동지나 해상에 중심을 두므로 한반도 전역이 이동성 고기압권내에 들게 된다. 따라서 바람이 점차 약해지며 접지역전발생에 좋은 조건을 충족한다. 또 850hPa에서는 약한 thermal trough의 영향으로 상층에 차가운 한기가 유입될 수 있으며, 이튿날에는 따뜻한 공기의 유입을 예측할 수 있다.

4.2 기상학적 요소의 분석

김해지방의 역전층은 18시부터 역전이 형성되면서 최대 280m의 역전이 형성되었고, 평균고도는 200-230m이다. 역전층의 상부는 SSW계열의 바람이 우세하며, wind shear 를 관측할 수 있다. 공기의 밀도는 대류가 활발할수록 $0.011\text{kg/m}^3/100\text{m}$ 이하의 밀도 감율을 가지며, 안정할 경우에는 $0.015\text{kg/m}^3/100\text{m}$ 의 감율을 가지고 거의 일정하게 감소한다. 지온은 대기의 온도보다 50분정도 빨리 최대 온도에 도달한다.

4.3 대기안정도적인 측면에서의 분석

Richardson수는 하부역전층과 상부역전층이 약간 다르게 나타난다. 하부역전은 Richardson수가 전반적으로 낮은 값으로 강한 안정을 이루고 있으며, 상부(200m)의 경우는 Richardson수가 전반적으로 하부보다는 높게 나타나며, 역전이 해소되는 7시 부근에 하부역전은 일사에 의해서 역전이 해소되기 시작하였고, 상부역전에서는 cold advection에 의한 반작용으로 요란이 발생하여, 약하게 상부역전이 해소되었다.

21시부근의 한기에 의해서 150-200m근처에서 강한 음의 현열플럭스가 나타나는 것을 볼 수 있다. 반면 현열플럭스는 반대 경향을 나타내고 있다. 역전이 해소되기 시작하는 시간에는 한기의 유입의 반동으로 상부의 난기가 유입되면서 현열플럭스는 증가하고, 잠열플럭스는 감소한다. 즉 상부에 생성된 역전(이류역전)은 상부에서 요란으로 해소되는 것을 알 수 있다.

따라서 역전층의 파괴는 하부의 경우 주로 일사에 의해 시작하지만, 역전층 상부는 상층 공기의 요란으로 하부와 함께 해소된다고 할 수 있다.

5. 결 론

김해지역의 접지경계층내의 제요소와 역전의 구조를 분석한 결과는 아래와 같다.

1) 일몰직후 지표 복사냉각에 의해서 역전층이 생성되기 시작하며, 야간(20시)에 상부에서 유입된 한기류에 의해서 하부와 생성기원이 다른 역전을 형성한다.

2) 역전층내에서는 NW-NE계열의 바람이 우세하며, 공기의 밀도는 대기가 불안정할수록 감율이 작아진다.

3) 역전의 강도는 Richardson 수에 의해 분석한 결과 하부에서 안정이 강하게 나타남을 볼 수 있으며, 상부의 역전은 상부에서 한기가 유입되면서 나타나 현열플럭스가 음의 값이 강한 반면, 잠열플럭스는 양의 값을 나타낸다.

4) 역전의 해소는 일사에 의한 하부역전과 달리 상부역전은 한기유입에 의한 대기의 요란으로 해소되며, 이는 동시에 일어난다.

참 고 문 헌

Hirocaki Kondo et al(1991), A turbulent inversion layer observed at Kasima, 통산성공해연구소보

Garret, J.R. and W.L.Physick(1985), The inland boundary layer at low latitude :2 sea breeze influences, Boundary layer meteoro. 33, 209-231

Garret, J.R.(1992), The atmospheric layer meteorology, Cambridge U.P. 316PP