

# UHF 프로파일러와 RASS에 의해 추정된 대기경계층 열속의 비교

\*백문희<sup>1</sup>, 김경익<sup>1</sup>, 허복행<sup>2</sup>

<sup>1</sup>경북대학교 천문대기과학과,

<sup>2</sup>기상청 항공기상대

e-mail : mhbaek@sirius.knu.ac.kr

## A Comparison of heat flux at the Boundary layer obtained from UHF windprofiler and RASS

Moon-Hee Baek, Kyung-Eak Kim, Bok-Haeng Heo

### 1. 서론

대기경계층은 인간 생활에 직접적으로 영향을 주는 지표에서 고도 약 1 km까지의 대기층으로서 그 구조와 양태가 다양하게 나타난다. 이러한 대기경계층의 전반적인 이해는 모든 규모의 대기층에 대한 화학적·역학적 이해와 그에 따른 여러가지 모델을 수행하는데 필수적이다. 최근 대기경계층 내에서의 역학적·열역학적 매개변수를 높은 시·공간적 분해능으로 측정할 수 있는 관측장비로서 UHF 프로파일러와 RASS(Radio Acoustic Sounding System)가 각광을 받고 있다(Angevine *et al.*, 1993a and b).

대기경계층에서 열속은 경우 대기의 여러 물리과정을 통해 중요한 역할을 한다. 이와 같은 열속의 측정은 지상 자료뿐 아니라 연직분포가 요구된다. 따라서 UHF 프로파일러와 RASS와 같은 원격탐사기술을 적용하는 것이 열속 측정에 효과적이다(Peters *et al.*, 1985).

본 연구에서는 UHF 프로파일러의 연직 속도에 대한 분산 자료와 RASS의 온도 자

료로부터 동시에 열속을 추정하고 서로 비교하였다.

### 2. 관측자료

본 연구에 이용된 자료는 프랑스 남부 Lannemezan의 CRA(Centre de Recherches Atmospheriques; 0.367E, 43.133N)에 설치된 UHF 프로파일러와 RASS로 관측된 것이며, 대기경계층이 충분히 발달한 6월 4일의 관측 자료이다.

본 연구에 이용된 관측 시스템은 기존의 UHF 프로파일러에 RASS를 결합시킨 UHF 프로파일러-RASS 시스템으로서 Fig.1과 같다. 이 시스템은 UHF 프로파일러에서 5개의 전자기파를 발사하고, RASS는 4개의 음파를 발사한다. UHF 프로파일러는 동서, 남북, 연직 방향으로 바람장을 구할 수 있으며, UHF 프로파일러-RASS 시스템은 주로 대류권 하부의 연직 온도를 높은 분해능으로 관측한다. Fig.1에서와 같은 UHF 프로파일러-RASS 시스템은 다른 기상 관측 장비에 비해 소형이어서 이동 가능하다. UHF 프로파일러-RASS 시스템의 특징은

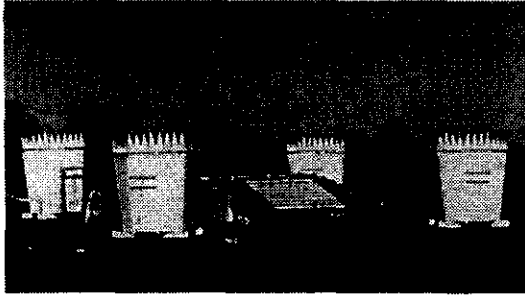


Fig. 1. The four acoustic wave antennas and the five beams microwave antennas of the Degreane UHF wind profiler-RASS

표.1과 같다. 본 관측에서는 UHF 프로파일러를 10분 간격으로 관측하고 이 관측간격 사이에는 RASS 시스템으로 활용한다. UHF 프로파일러의 주파수는 1.238 GHz, 빔폭은 8.5° 이며, RASS 시스템에서 음파발신원은 2789 Hz, 빔폭은 9° 이다.

Table 1. The characteristics of Degreane UHF wind profiler-RASS.

Acoustic radar	
acoustic generation	random frequency
Transmitter frequencies	2789 Hz
Mean power	111 W
Radial resolution	150 m
Beamwidth	9°
UHF wind profiler	
Wavelength	23.24 cm
Transmitter frequency	1.238 GHz
Pulse repetition frequency	20 kHz
Mean power	40 W
Peak power	4 kW
Radial resolution	68 m
Beamwidth	8.5°
Off-zenith beams angle	17°
Antenna size	4 m <sup>2</sup> each

### 3. 기본 이론

UHF 프로파일러-RASS 시스템은 다음 식에 의해 가온도  $T_v$ 를 측정한다.

$$T_v(K) = \frac{(C_a - w)^2}{401.92} \quad (1)$$

여기서  $C_a$ 는 음속,  $w$ 는 연직속도이다. 이 시스템은 RASS의 음파 발신원에서 음파를 대기 중으로 발사하고, 동시에 UHF 프로파일러에서 공기의 대기굴절지수의 변동에 따른 음속의 변동과 연직속도를 측정하여 가온도  $T_v$ 를 추정된다.

대기경계층의 열속은 보통 두 가지 방법으로 추정할 수 있다. 첫번째, UHF 프로파일러에 의해 측정된 연직속도로부터 다음 식을 이용하여 열속  $Q_{UHF}(\overline{w'\theta_v'})$ 을 추정한다(Weill *et al.* 1980).

$$Q_{UHF} = \frac{\sigma_w^3}{z} \approx \alpha^{\frac{3}{2}} \frac{g}{\theta} (\overline{w'\theta_v'}) \quad (2)$$

여기서  $\sigma_w$ ,  $z$ ,  $\alpha$ 는 각각 연직속도의 분산 ( $\text{ms}^{-1}$ ), 고도, 그리고 보편상수( $\alpha=1.4$ )이다. 두 번째 방법은 UHF 프로파일러-RASS 시스템에서 측정된 가온도  $T_v$ 와 연직속도  $w$ 의 변동에 대한 상관관계로부터 다음 식에 의해 열속  $Q_{RASS}(\overline{T_v'w'})$ 를 추정한다 (Angevin *et al.*, 1993a).

$$Q_{RASS} = \rho C_{pd} \overline{(T_v'w')} \quad (3)$$

여기서  $C_{pd}$ 는 일정한 기압에서 건조 공기에 대한 비열로서  $1004.67 \text{ Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$ 이고,  $\rho$ 는 평균 공기 밀도로서  $1.1683 \text{ kgm}^{-3}$ 이다.

### 4. 분석 결과

본 연구 사례는 1999년 6월 4일 0-24

UTC에 관측된 대기 경계층이다. 이 때는 대서양의 고기압의 영향하에서 관측지점은 맑은 날씨를 보였다.

UHF 프로파일러로 관측한 상승속도와 반사도의 고도에 따른 시계열 변화는 Fig. 2(a), (b)이다. 상승속도인 Fig. 2(a)는 낮밤에 상관없이 상승과 하강이 번갈아 발생하면서 대기의 보상운동이 활발히 일어남을 알 수 있다. 대기경계층의 성장 구조를 파악할 수 있는 반사도인 Fig. 2(b)는 약 0800 UTC에서 1100 UTC까지 급격히 성장한 후 경계층 위에 존재하는 매우 강한 역전층에 의해 그 성장이 억제되어 약 1.3 km 전후에서 대기경계층이 형성됨을 볼 수 있다. 자세히 설명하면, 자유 대기와 혼합층의 경계면에서는 자유대기로부터 유입되는 건조공기와 혼합층의 공기가 혼합이 되어 기온과 습도의 연직 분포에서 강한 기울기를 가진 층이 형성되고 이러한 층은 UHF 프로파일러의 신호를 강하게 산란시켜 굴절지수 구조매개변수나 반사도의 연직 분포에서 첨두로 나타난다. 이러한 특징은 대류경계층(CBL)의 성질로 설명되며 정상부근의 강한 반사도가 나타나는 고도 1.3 km의 띠는 유입대(entrainment zone)로 추정할 수 있다. 특히 약 1.5 km이하의 강한 반사도로 나타나는 안정층은 지면 클러터(ground clutter)로 보여진다.

RASS로 관측한 6월 4일의 가온도( $T_p$ ), 연직속도( $w$ )의 고도에 따른 시계열 변화는 Fig. 3(a), (b)와 같다. 가온도인 Fig. 3(a)에서 태양가열로 기온상승이 일어남을 약 0800 UTC부터 알 수 있고 특히 1200 UTC에서 가장 강한 기온의 증가를 보여준다. Fig. 3(a)에 나타나는 열적 줄기흐름(thermal plume)은 1200 UTC, 1400-1500 UTC, 1600-1900 UTC에 지표와 접하는 부분의 중심에서 가장 큰 값이 나타나며 2100 UTC 경에는 0.3-0.5 km에서 강하게 나타난다.

그러나 해가 진 2100 UTC 이후에는 열적 줄기흐름이 사라진다. 또한 강한 열적 줄기흐름이 생길 때 약 11°C 정도에서 그 주위 온도에 비해 상층으로 솟아오르는 것을 관측할 수 있다. 또한 Fig. 3(b)에서 1300 UTC, 1600 UTC, 1700 UTC, 1800 UTC, 2000 UTC 경에 상승류가, 그 사이에는 하강류가 서로 보상운동을 하고 있음을 보여준다. 특히 상승운동이 일어날 때와 가온도가 증가하는 시점이 잘 일치하며 상승운동이 일어나는 고도가 더 높다. 이것으로 지표가열로 인해 생성되는 열에 의해 연직속도에 영향을 줌을 알 수 있다. 전반적으로 Fig. 3(b)에는 0900-2100 UTC에 상승과 하강이 명확히 보여지며, 특히 1200 UTC에서 0.5-0.8 km에서 강한 상승이 존재한다. 열적 줄기흐름이 발생할 때 주변의 공기는 약한 하강이 일어나고, 중심에는 강한 상승이 일어나는데 여기서 잘 나타난다. 또한, 일반적으로 형태가 잘 나타나지 않는 열적 줄기흐름의 형태를 간접적으로나 보여주며 특히 여기서 구해지는 가온도와 연직속도는 대기의 열역학적 특성을 보여주는 열속을 구하는데 중요한 자료가 된다.

경계층에서 열의 연직 수송의 지배적인 메카니즘은 난류로 고도에 따른 열속의 변화는 Fig. 4(a), (b)와 같다. 이 때 대기경계층이 형성되는 0800 -2100 UTC를 자세히 알아보려고 그 범위를 제한하였다. 이 열속은 대기경계층이 잘 형성되는 경우 그 열적 현상을 설명하는데 있어 중요한 역할을 한다. RASS 시스템을 통한 1시간 평균의 에디 상관법을 이용한 고도에 대한 시계열은 Fig. 4(a)이다. 이 때 최대 열속은  $1191 \text{ Wm}^{-2}$ 이고, 최소열속은  $-847 \text{ Wm}^{-2}$ 이다. Fig. 3(a)에서 흰 색의 경계선은  $0 \text{ Wm}^{-2}$ 를 기준으로 양의 열소과 음의 열속으로 분류한다. 1200 UTC에 약 500 m와 700- 800 m에서 급격한 양의 열속이 나타나는데 이것은 지

표면의 태양 복사 가열로 인한 효과로 추정된다. 1630- 1730 UTC에 약 0.55 km 고도에서 강한 음의 열속이 나타난다. Fig. 3(a)와 비교를 하면 1200 UTC의 강한 상승류와 1600-1700 UTC경의 강한 하강류가 현 열속의 경우와 일치함을 보인다. 가운데인 Fig. 3(a)는 1200 UTC에서 강한 열적 줄기 흐름이 1700 UTC에서도 보여지나 강한 음의 열속이 생성되는 것으로 보아 이 때는 열적 줄기흐름의 영향보다는 하강류의 영향을 더 많이 받는다는 것을 알 수 있다.

Fig. 4(b)는 UHF 프로파일러로 구한 열속을 나타낸 것으로 10분 간격으로 구한 연직속도의 분산  $\sigma_w$ 를 이용한 것이다. RASS에 비해 자료가 더 많기 때문에 나타난 결과는 더 부드럽게 나온다. 이 때 약 0.5 km 하부에서 값이 매우 작다. 이것은  $\sigma_w$ 가 매우 작은 값과 Fig. 2(b)에서 반사도가 강한 부분과 일치하는 점으로 보아 지면클러터의 영향이 강하다. 따라서 0.5 km 이하에서는 열속이 잘 나타나지 않는다. 12 UTC경, 열속이 1.3 km 까지 상승하는 것은 Fig. 4(a)의 경우와 잘 일치한다. 17 UTC 경에 지표면 근처에서 열속이 0.5 km 이하에서 강하게 나타나며 전반적으로 Fig. 2(b)와 유사하게 대기경계층의 성장과 소멸이 이 열속을 통해서도 잘 나타난다.

## 5. 결과

본 연구는 프랑스 남부 Lannemezan의 CRA에 설치된 UHF-RASS 프로파일러를 이용하여 1999년 6월 4일의 관측을 통한 주간 대기경계층의 구조와 양태를 조사하였다.

UHF 프로파일러의 반사도는 성장하는 대기경계층의 구조와 그 고도를 뚜렷이 나타내고 UHF 프로파일러의 연직속도자료로부터 열속을 추정할 수 있다. 또한 RASS 시스템을 통해서도 실시간으로 가운데를

구하여 열적 플룸을 관측할 수 있으며 연직속도와 함께 관측지역에서의 열속을 측정할 수 있다. 이 열속의 비교에서 UHF 프로파일러를 이용할 경우 지면클러터의 영향에 의해 측정에 일부 장애를 받을 수 있으며 대기의 기상상태에 좌우를 많이 받는데 비해 RASS 시스템을 이용할 경우 지면클러터의 영향을 적게 받는다.

이와 같이 추정된 열속 자료는 대류경계층의 구조와 양태를 규명하고 지표 가열에 의한 대류경계층의 형성 과정을 이해하는데 도움이 될 것으로 생각된다.

## 참고문헌

- Angevine, W. M., S. K. Avery, W. L. Ecklund, and D. A. Carter, 1993a: Fluxes of Heat and Momentum Measured with a Boundary-Layer Wind Profiler Radar - Radio Acoustic Sounding System. *J. Appl. Meteor.*, **32**, 73-80.
- Angevine, W. M. S. K. Avery, and G. L. Kok., 1993b: Virtual Heat Flux Measurements from a Boundary-Layer Profiler - RASS Compared to Aircraft Measurement. *J. Appl. Meteor.*, **32**, 1901-1907.
- Peters. G, H.Hinzpeter, and G. Baumann., 1985 : Measurements of heat flux in the atmospheric boundary layer by sodar and RASS : A first attempt, *Radio Science.*, **20**, 1555-1564.
- Weill. A., C. Klapisz, B. Strauss, F. Baudin, C. Jaupart, P. Van Grunderbeck, and J. P. Goutorbe, 1980: Measuring heat flux and structure functions of temperature fluctuations with an acoustic Doppler sodar. *J. Appl. Meteor.*, **19**, 199-205.

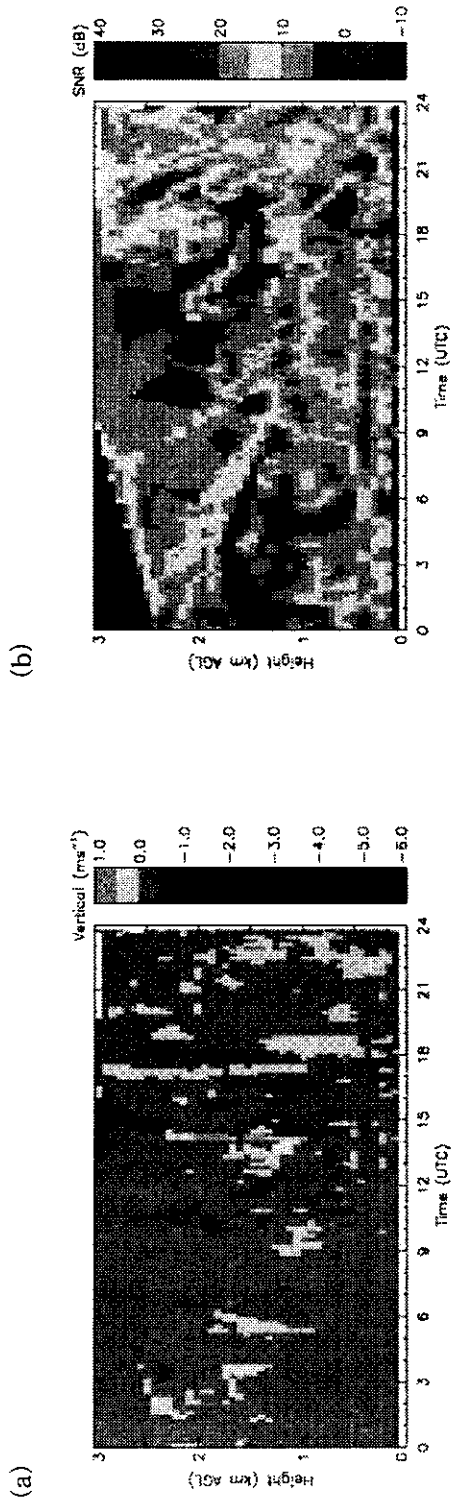


Fig.2 Time-height cross section of (a)  $w$ , and (b) reflectivity by the UHF wind profiler for June 4, 1999 at Lannemaza

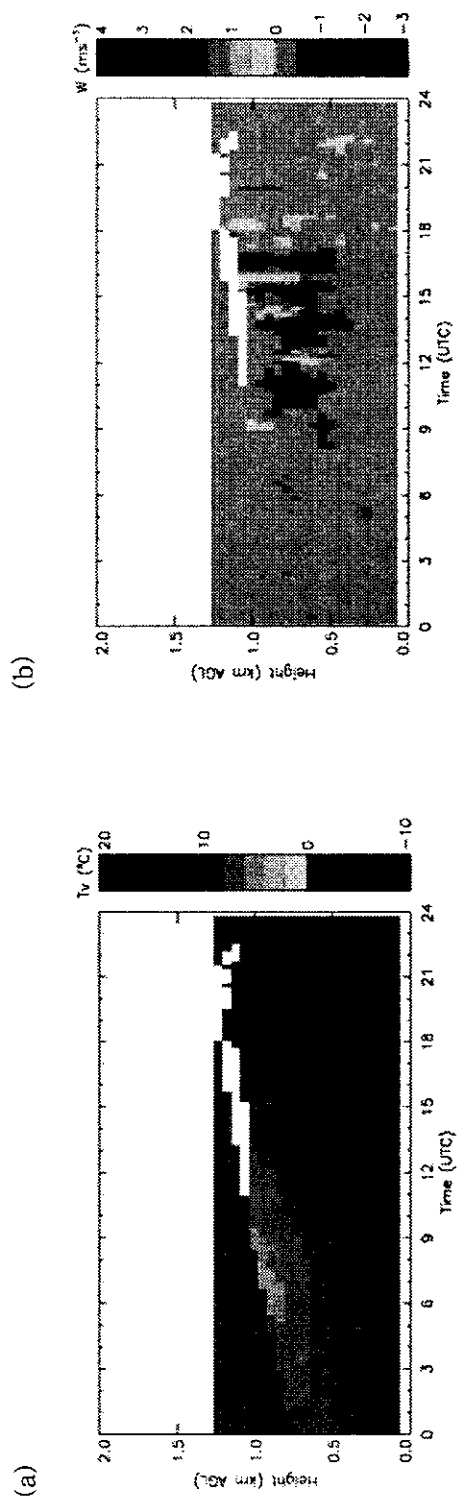


Fig.3 Time-height cross section of (a)  $T_v$ , and (b)  $w$  by UHF wind profiler-RASS for June 3, 1999 at Lannemaza

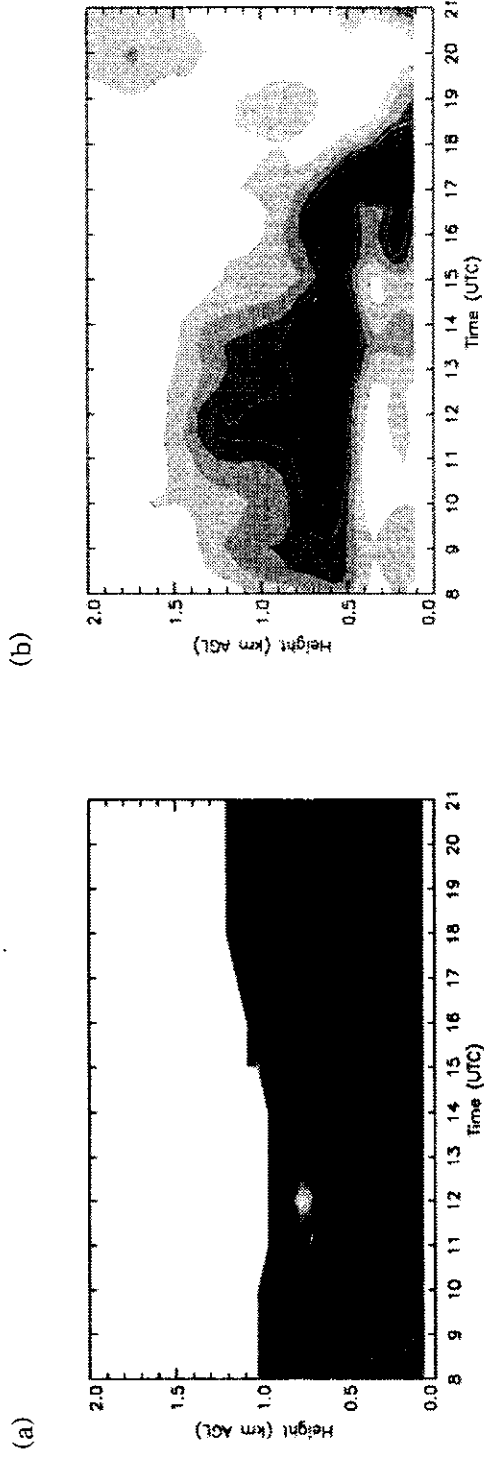


Fig.4 Time-height cross section of (a) heat flux by UHF wind profiler-RASS and (b) heat flux by UHF wind profiler for June 4, 1999 at Lannemazan