

## B-4 기상관측 자료를 이용한 heat flux 추정방법

### Estimation of heat flux using meteorological data

이종범 · 김용국 · 조창래 · 박세열  
강원대학교 자연과학대학 환경학과

#### 1. 서론

지표면에 흡수되는 태양복사 에너지의 일부는 현열(H)의 형태로, 일부는 지표에 포함된 수분 증발에 의하여 잠열(LE)의 형태로 공기중으로 전달되고, 그 나머지는 지중열(G)의 형태로 토양속으로 전달된다. 이 관계는 식 (1)과 같은 지표면 열평형 방정식(surface energy balance equation)으로 표현되며, 여기서 Rn은 순복사량이다.

$$Rn = H + LE + G \quad (1)$$

Heat flux는 대기의 확산구조에 영향을 미치는 주된 요소로서 주간에는 혼합층고도를 발달시키고 야간에는 역전층 형성에 영향을 미친다. 따라서 정확한 heat flux의 산출은 대기오염 확산모델의 실행에 있어서 매우 중요하다.

Heat flux를 측정하는 방법에는 두 고도에서 측정한 풍속과 기온 자료로부터 난류 수송량을 구하는 경도법(gradient method)과, 보다 직접적인 방법으로서 초음파풍속온도계와 같은 감속속도가 빠른 측기를 이용하여 난류 수송량을 산출하는 와상관법(eddy correlation method)이 있다.

본 연구에서는 기상관측소에서 관측되고 있는 기상자료중 heat flux와 밀접한 관계가 있는 일사량 및 기온 자료를 이용하여 주간 heat flux만을 대상으로 추정방법을 개발하고, 또한 초음파풍속온도계를 이용하여 실제 측정된 자료와 서로 비교함으로써 heat flux 추정방법의 유용성을 평가하고자 한다.

#### 2. 연구방법

##### 2.1 측정방법

본 연구에서는 10m 기상탑을 설치하였다. 2.5m 높이에서 일사량을 sampling time 1초로 측정하여 평균화시간 10분으로 하여 자동수록장치(CR-10, 미국 Campbell사)에 저장하였다. 또한 기상탑의 5m 지점에 초음파풍속온도계를 설치하였다. 이측기로 부터 0.1초 간격으로 동서방향, 남북방향, 연직방향의 풍속 성분 및 온도가 측정되어 매 10분 자료로 heat flux가 계산되어 노트북컴퓨터에 저장되도록 하였다. 측정장소는 춘천 근교의 평탄한 농경지를 이루고 있는 중앙부로서, 봄부터 가을까지는 물이 고여있는 논 형태이고, 겨울부터 봄까지는 벼를 수확한 후의 휴경지의 형태로 존재한다.

측정자료는 1995년 12월부터 1996년 10월까지 약 1년간 자료이며, 이 자료를 이용하여 실제 측정된 heat flux와 추정된 heat flux를 월별·계절별로 비교하였다.

##### 2.2 Heat flux 추정방법

주간(08:00-15:00)에 측정된 일사량 및 기온 자료를 이용하여 heat flux를 산출하기 위하여 다음과 같은 방법으로 중회귀모델을 개발하였다. 지표면 열평형 방정식 (1)과 Priesley와Taylor(1972)가 제시한 잠열 flux 방정식 등을 이용하여 이종범(1985)은 식 (2)와 같은 경험식을 산출하였다.

$$H = \frac{c_1 + (1 + c_2 + c_3 \sin \tau)(\lambda/s)}{1 + (\lambda/s)} (Rn - G) - b \quad (2)$$

여기서  $c_1$ ,  $c_2$ ,  $c_3$ ,  $b$ 는 상수로서 경험적으로 결정되어지고,  $\sin \tau$ 는 일출시간과 낮의 길이로 계산되고,  $\lambda$ 는 건습상수,  $s$ 는 온도에 따른 포화비습으로서  $(\lambda/s)$ 는 온도에 의해서 계산된다. 그리고 순복사량(Rn)과 지중열(G)을 이용하여 식 (2)로부터 heat flux를 산출하게 된다. 식 (2)에서  $(Rn-G)$ 는 일사량에 영향을 받는 항목이므로 이부분을 일사량(SR) 자료로 단순화 시키면 식 (2)는 식 (3)과 같은 형태로 변환시킬 수 있다. 본 연구에서는  $c_1$ ,  $c_2$ ,  $c_3$ 를 독립변수의 계수로 하고,  $b$ 를 절편으로 하는 식 (3)의 중회귀식을 작성하였다.

$$H = c_1 \frac{SR}{1+(\lambda \backslash s)} + (c_2+1) \frac{(\lambda \backslash s)SR}{1+(\lambda \backslash s)} + c_3 \frac{\sin \tau (\lambda \backslash s)SR}{1+(\lambda \backslash s)} - b \quad (3)$$

### 3. 결과 및 고찰

1995년 12월 1일 부터 1996년 10월 31일 까지 초음파풍속온도계로 측정하여 계산된 heat flux와 중회귀모형을 이용하여 추정된 heat flux를 각각 월별·계절별로 산출하여 비교하였다.

그림 1과 그림 2는 각각 겨울철과 봄철의 heat flux를 비교한 것으로서 중상관계수(R)는 각각 0.87, 0.83으로 나타났고 또한 여름철과 가을철도 각각 0.85, 0.93으로 모든 계절에 걸쳐 비교적 좋은 상관성이 나타났다.

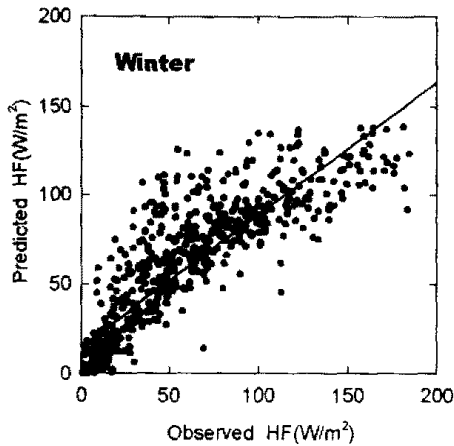


Fig. 1. Comparison between observed HF by sonic anemometer-thermometer and predicted HF by multiple regression model during Dec., 1995 - Feb., 1996.

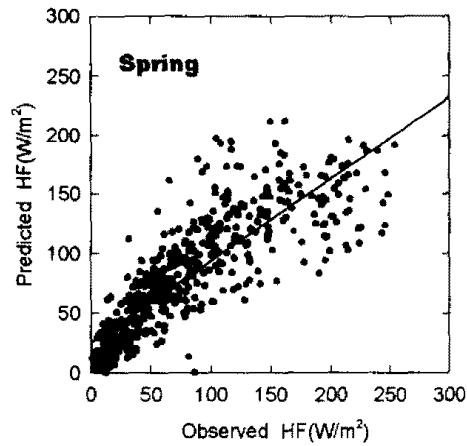


Fig. 2. Comparison between observed HF by sonic anemometer-thermometer and predicted HF by multiple regression model during Mar., 1996 - May., 1996.

표 1은 일사량과 기온 자료를 이용하여 중회귀분석을 실행하여 주간의 heat flux 추정식을 계절별로 나타낸 것이다.

Table 1. Multiple regression equation for estimation of heat flux

Season	Multiple regression equation	R
Winter	$H = -20.27X_1 + 0.72X_2 + 0.04X_3 - 6.09$	0.87
Spring	$H = -73.38X_1 + 2.08X_2 + 0.09X_3 - 13.06$	0.83
Summer	$H = -19.09X_1 + 0.60X_2 - 0.005X_3 - 1.39$	0.85
Autumn	$H = -111.30X_1 + 3.14X_2 + 0.04X_3 - 6.96$	0.93

$$\text{where, } X_1 = \frac{SR}{1+(\lambda \backslash s)}, \quad X_2 = \frac{(\lambda \backslash s)SR}{1+(\lambda \backslash s)}, \quad X_3 = \frac{\sin \tau (\lambda \backslash s)SR}{1+(\lambda \backslash s)}$$

본 연구에서 중회귀모형을 이용하여 추정된 heat flux는 월별·계절별로 매우 만족스러운 결과를 보였고, 추정된 heat flux는 앞으로 대기확산 모델에서 중요한 혼합층고도 산출을 위한 자료로 사용될 수 있을 것으로 사료된다.

### 참고문헌

- 이종범 (1985) Modeling and climatological aspects of convective boundary layer, Environmental Research Center papers, No.7, 19-22.  
 Arya, S.P.S. (1988) Introduction to micrometeorology, Academic Press, Inc., 10-15.  
 Oke, T.R. (1978) Boundary layer climates, Methuen & Co. Ltd., 323-329.