

10m 타워 플럭스자료의 품질검증과 활용 방안

최태진¹, 홍진규¹, 김 준^{1, 2}

¹연세대학교 대기과학과/대기모형연구실, ²기후환경시스템 연구센터

Quality Control and Application of 10 m Tower Flux Data

Taejin Choi¹, Jin-kyu Hong¹, and Joon Kim^{1,2}

¹Department of Atmospheric Sciences & National Laboratory for Atmospheric Modeling Research, Yonsei University; ²Climate Environment System Research Center

(Correspondence: ctjin@yonsei.ac.kr)

1. 서언

수평적으로 균질한 지면 상태에서 에디 공분산 방법을 이용한 지표 플럭스 관측의 수평 규모는 측정 높이의 약 100 ~ 200배이다(예, 최태진 등, 1999). Bottom-up 입장에서, 이 수평 규모는 지면 과정을 포함한 수치예보 모형이나 보다 큰 규모의 모형의 격자 간격보다 상당히 작다. 또한 실질적으로 자연 상태의 지면 조건은 엄밀한 의미에서 균질하지 않으며, 특히 우리나라의 경우는 지면 불균질성이 뚜렷이 나타난다. 따라서 지표 플럭스 관측을 이들 모형의 검정이나 모수화에 이용하려면 규모 확장이 필요하다. 현재·외국의 많은 연구 그룹들은 비행기, 풍선 관측, 소다, 라이다, 위성 등을 지표 플럭스 관측과 동시에 운영하여 규모 확장 및 전구 규모의 식생 변화 감시 등을 시도하고 있다(예, Mahrt, 1993, Running et al, 1999). 국내에서도 최근 지표 플럭스를 측정하는 각 연구진들이 함께 모여, 집중 지표 플럭스 및 고층 관측을 수행하였다(김 준 등, 2001). 이 논문에서는 집중 관측에서 중요한 역할이 기대되는 10 m 타워의 플럭스 자료의 품질을 검증하고, 그 활용 방안 특히, 모형 검정과 관련된 규모 확장에 대해 논의하기로 한다.

2. 재료 및 방법

집중 관측 기간 동안 10m 타워에서 네 높이에서 에디 공분산 시스템을 설치하였다(표 1). 각 높이에는 3차원 초음파 풍속 풍속계(CSAT3, Campbellsci Inc.), CO₂/H₂O 적외선 기체 분석기(6.4m: LI7500, Licor Inc, 그 외 OP-2, Data Design Group), 미세선 열전대(FWTC)를 설치, 공통된 변수(세 풍속 성분, 가온도, 온도, CO₂ 및 H₂O 농도)를 1초에 10번(i.e. 10Hz)로 기록기(CR5000, Campbellsci Inc.)의 메모리 카드(85MB)로 기록하였다. 기록된 생 자료는 RS232 케이블을 이용하여 매 10시간마다 생 자료를 PC로 전송하도록 하였다. 자료 분석을 위해 생 자료는 30분 평균되었으며, $\bar{v} = \bar{w} = 0$ 으로 하는 좌표 회전 보정을 수행하였다(Wesely, 1988).

3. 결과 및 고찰

집중 관측기간 동안 생 자료는 3월 21일 14시부터, 일부 시간대를 제외하면 고층 관측이 끝난 3월 27일 10:00 까지 연속으로 기록되었다(Table 1). Fig. 1은 관측기간 동안 현열 플럭스의 변화이다. 낮과 밤사이 현열 플럭스의 차이는 350 Wm^{-2} 이상이며, 네 높이에서 현열 플럭스는 모두 일관된 모습을 보여준다. Table 2는 9 m 에서 관측된 평균 수평 풍속, 마찰 속도, 현열 플럭스를 나머지 세 높이에서 관측된 값들과 비교한 것이다. 평균 수평 풍속의 경우 높이에 따른 차이가 뚜렷함을 알 수 있다. 반면에 마찰 속도와 현열 플럭스의 경우 10% 이내에서 일치함을 알 수 있다. 이것은 표층이 평균량(예, 풍속, 기온 등)은 높이에 따른 변화가 뚜렷한 반면에 플럭스는 일정(10% 이내)한 Constant flux layer 임을 잘 보여준다. 잠열 및 이산화탄소 플럭스의 경우, CO₂/H₂O 적외선 기체 분석기에 대한 보정(calibration)을 수행 중이며, 이에 대한 결과 및 품질 검

증에 대한 내용은 학회에서 발표하기로 한다.

4. 활용 방안

품질 검증이 끝난 생 자료는 다음과 같은 정보 등을 이끌어 내는데 사용된다.

- 1) 모내기 이전의 논에서의 지표 플럭스 정량화 및 지면 거칠기 계산
- 2) 지표 상사이론을 바탕으로 난류 교환 계수(turbulent exchange coefficient) 계산
- 3) 규모 확장된 지표 플럭스 검증 자료로 활용
 - 고층 관측 자료를 Monin-Obukhov Similarity에 적용하여 넓은 규모에 대한 지표 플럭스를 추정하고, 이를 에디 공분산 방법을 이용하여 검증한다.
 - 경계층을 개념적으로 지표면을 덮고 있는 챔버로 생각하여 혼합층에서의 스칼라 농도 측정 등을 통해 넓은 규모에서의 플럭스를 추정하는 것이 경계층 수지법(Convective Boundary Layer Budget Method)이며, 이로부터 추정된 플럭스를 에디 공분산 방법으로 측정한 플럭스로 검증한다.

Table 1. Measurement systems at four levels and recorded raw data

Measurement height (m)	Sensors	Recorded raw data
9 m (Level 1)	1. CSAT3 2. OP-2 3. FWTC	3/21 14:00-3/23 05:50
		3/23 10:20-3/24 10:00
		3/34 15:50-3/25 10:00
		3/25 13:20-3/27 10:10
6.4 m (Level 2)	1. CSAT3 2. LI7500 3. FWTC	3/21 14:00-3/23 06:20
		3/24 00:00-3/24 10:50
		3/34 15:50-3/25 10:00
		3/25 13:20-3/27 10:10
3 m (Level 3)	1. CSAT3 2. OP-2 3. FWTC	3/21 14:00-3/23 07:30
		3/24 00:50-3/24 12:30
		3/34 15:50-3/25 10:00
		3/25 13:20-3/27 10:10
1 m (Level 4)	1. CSAT3 2. OP-2 3. FWTC	3/21 14:00-3/23 08:20
		3/23 22:20-3/24 10:00
		3/34 15:50-3/25 10:00
		3/25 13:20-3/27 10:10

Table 2. Preliminary results ($Y = aX + b$, X : Values at 10m)

Y	$\overline{U} (ms^{-1})$	$u_* (ms^{-1})$	$H (Wm^{-2})$
6.4m	$Y=0.95X-0.2$ $r^2=0.99$	$Y=0.96X+0.0$ $r^2= 0.97$	$Y=0.97X+2.9$ $r^2= 0.98$
3m	$Y=0.85X-0.2$ $r^2=0.98$	$Y=0.94X+0.0$ $r^2= 0.91$	$Y=1.00X+1.2$ $r^2= 0.98$
1m	$Y=0.72X-0.3$ $r^2=0.98$	$Y=0.93X+0.0$ $r^2= 0.92$	$Y=0.97X+2.9$ $r^2= 0.98$

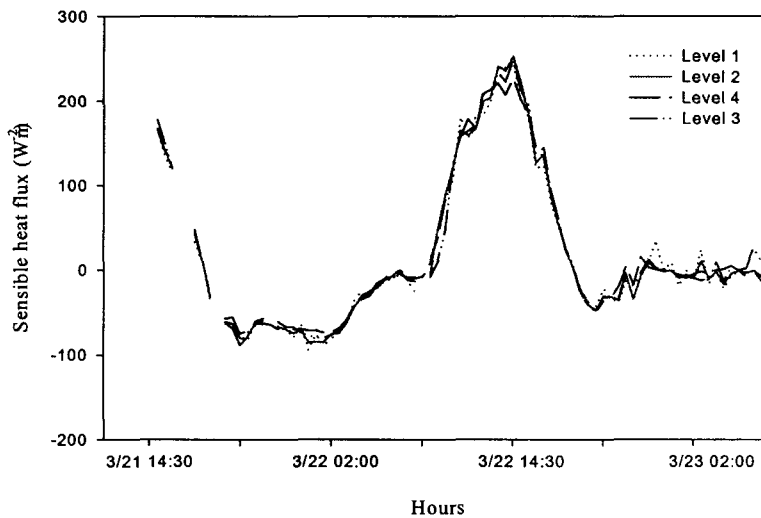


Fig. 1. Variations of sensible heat flux at four levels

Acknowledgements:

본 연구는 과학기술처의 국가지정 연구실 사업(차세대 수치모형 개발)과 한국 과학 재단이 지원하는 SRC 기후환경 시스템 연구 센터의 지원 및 교육인적자원부의 두뇌한국 21 사업에 의해 이루어졌음.

인용 문헌

- 김준, 윤진일, 유상범, 김종근, 윤성호, 임종환, 이동영, 김민영, 김기현, 홍경하, 2001: Hari Intensive Field Experiment (HIFE): Overview.
- 최태진, 김준, 윤진일, 1999: 농림생태계와 대기간의 상호 작용 연구를 위한 에디 공분산 방법의 사용에 관하여, 한국 농림기상학회지, 1(1), 60-71.
- Mahrt, L. and M. EK, 1993: Spatial variability of turbulent fluxes and roughness lengths in HAPEX-MOBILHY, Boundary-Layer Meteorology, 65: 381-400.
- Running, S.W, D.D. Baldocchi, D.P. Turner, S.T. Gower, P.S. Bakwin and K.A. Hibbard, 1999: A Global Terrestrial Monitoring Network Integrating Tower Fluxes, Flask Sampling, Ecosystem Modeling and EOS Satellite Data, REMOTE SENS. ENVIRON. 70, 108-127.