

미기상학 야외실험에서 얻어지는 자료 처리에 관하여

홍진규 · 김 준

연세대학교 대기과학과 대기모형연구실 지구환경연구소

(2002년 4월 22일 접수; 2002년 6월 10일 수락)

On Processing Raw Data from Micrometeorological Field Experiments

Jinkyu Hong and Joon Kim

Department of Atmospheric Sciences, Laboratory for Atmospheric Modeling Research,

Global Environment Laboratory, Yonsei University, Seoul, Korea

(Received April 22, 2002; Accepted June 10, 2002)

ABSTRACT

Recently, the flux community in Korea established a new regional flux network, so-called KoFlux, which will provide an infrastructure for collecting, synthesizing, and analysing long-term measurements of energy and mass exchange between the atmosphere and the various vegetated surfaces. KoFlux requires the collection of long time series of raw data, and a large amount of data are expected to accumulate due to continuous flux observations at each KoFlux sites. Therefore, we need a systematic and efficient tool to manage these raw data. As a part of this effort, a computer program for processing raw data measured from micrometeorological field experiments was developed for the flux community in Korea. In this paper, we introduce this program for processing raw data to estimate fluxes and other turbulent statistics and explain the micrometeorological processes coded in this data-processing program. Also, we show some examples on how to run the program and handle the outputs for the unique purpose of research interest.

Key words : Data-processing program, raw data, micrometeorological field experiments, KoFlux

I. 서 론

지표면과 대기 사이에 교환되는 에너지 및 다양한 물질(수증기, 이산화탄소, 메탄, 에어로솔 등)을 정량화 하려는 노력이 최근 들어 다양하게 시도되고 있다. 간단한 챔버를 이용한 관측으로부터, 에디 공분산 방법과 같은 미기상학적 방법과, 대류 경계층(CBL, convective boundary layer) 수치 방법에 이르기까지 연구 목적에 따른 관측 방법이 사용되고 있다. 이 중에서도 에디 공분산 방법과 같은 미기상학적 관측 방법은 다른 방법에 비하여 안정적으로 관측지를 운영할 수 있다는 장점 때문에, 현재 세계 곳곳에서 장기적으로 온실기량 기체 감시 및 에너지와 물의 순환을 연구하는데

활용하고 있다. 특히 미국과 유럽, 호주 등지에서는 이러한 관측 타워를 네트워크로 연결하는 장점을 인식 하여, 이미 오래전부터, 미기상학 관측지를 연계시키는 작업을 수행해 왔으며, 이에 따른 관측 시스템의 최적 화와 상호 공동 비교 실험 및 자료 처리의 일관성을 유지하고 있다. 한국에서도 이러한 인식을 바탕으로 KoFlux라고 하는 플럭스 네트워크가 2002년 1월에 구축되었고(Kim *et al.*, 2002), 이를 위한 다양한 하부 구조 구축 작업들이 현재 단계적으로 이루어지고 있다. 특히 미기상학적 방법을 이용한 관측 타워에서는 다양한 여러 가지 생물리, 기상학적 변수들이 장기적으로 측정되고 있기 때문에, 자료를 처리하는 것이 쉽지 않다. 이에 따라 본 논문에서는 연세대학교 대기과학과

생물기상연구실에서 미기상학적 방법으로 관측된 자료를 처리하기 위하여 만들어진 자료 처리 프로그램을 소개하려고 한다. 이 논문의 첫 번째 단락에서는 자료 처리 프로그램에 담겨 있는 미기상학적 배경 지식을 설명하고, 두 번째 단락에서는 프로그램이 만들어진 환경과 프로그램 언어와 관련된 기술적 문제에 대한 설명과, 이 프로그램을 사용한 자료 처리 방법에 대해서 설명한다. 마지막으로, 프로그램을 통하여 얻어진 자료를 살펴보았다.

II. 자료 처리를 위한 미기상학적 배경 지식

미기상학적 방법으로 관측된 자료로부터 필요한 정보를 얻어내기까지의 과정을 자료 처리라고 한다면, 미기상 관측에서 제일 중요한 값은 플럭스 값이며, 일반적으로 스칼라 양, c 에 대한 연직 플럭스, F_c 와 현열 플럭스, H 와 잠열 플럭스, LE 는 다음과 같이 주어진다.

$$F_c = \overline{w'c'} \quad (1)$$

$$H = \rho C_p \overline{w'T'} \quad (2)$$

$$LE = L \rho \overline{w'q'} \quad (3)$$

여기서 ρ 는 공기 밀도, C_p 는 공기의 정압 비열, L 은 증발 잠열을 뜻한다. w 와 q 는 연직 풍속과 비습을 의미하며, " $\overline{\quad}$ "는 시간 평균, " $\overline{\quad}'$ "는 시간 평균으로부터의 편차를 의미한다. 따라서, 고속 반응 자료로부터 얻어진 생 자료(raw data)로부터 플럭스 값을 얻어내는 과정을 프로그램화 하는 과정은 다음과 같이 이루어졌다.

(1) 적절한 평균 시간을 결정해야 한다. 자료 집속 속도는 실험 당시에 정해진 값을 사용할 수 밖에 없지만, 만약 생자료를 저장한 경우라면 사후에 자료를 처리할 때, 평균 시간을 변경할 수 있다. 평균 시간을 결정한 뒤에 이를 바탕으로 평균값을 얻고, 다시 평균값으로부터의 편차를 계산함으로써, 공분산을 비롯한 각종 플럭스 자료 뿐만 아니라, 편차, 분산, 왜도, 첨도 등을 계산하게 된다.

(2) 주파수 반응 보정과 공기 밀도 변화에 의한 부

가적인 플럭스 양을 보정한다. 주파수 반응 보정은 일반적으로 Moore(1986)가 제시한 방법을 많이 사용한다. 하지만 이 방법은 많은 문제점을 가지고 있다. 첫째로, 지표층에서의 수많은 실험을 통하여 얻어진 모형 스펙트럼을 사용하기 때문에, 개개의 지형에서 얻어진 자료를 보정하기 어렵다. 둘째로, 다양한 실험 기기와 설계, 바람 방향에 따른 효과를 지나치게 단순화한 경향이 있다. 이에 따라, Moore(1986)가 제시한 주파수 반응 보정 방법은 독립적으로 주파수 반응 보정량이 대략 어느 정도인지를 판별하는데 사용하도록 프로그램화 하고, 전체적인 자료 처리 프로그램에는 포함시키지 않았다. Moore(1986)의 주파수 반응 보정을 위한 프로그램은 KoFlux를 위해 구축된 웹사이트 <http://koflux.org/biome/hong/technote.htm> 와 <http://micro.yonsei.ac.kr/~jkhong>에서 내려받을 수 있다. 공기 밀도 변화에 따른 보정은 Webb *et al.*(1980)에 의해 제시되었으며, 특히 배경 농도에 비해 평균으로부터의 편차의 절대값이 작은 미량 기체 플럭스를 계산하는데 특히 중요하다. Webb *et al.*(1980)에 제시된 내용을 프로그램에 포함시켰다.

(3) 좌표 변환은 서로 다른 곳과 다른 시간에서 관측된 자료를 일관적으로 비교하고, 물리적 의미를 파악하는데 있어서 필요하다. 일반적으로 수평적으로 균질한 관측지에서 관측된 자료는 Wesely(1970)가 제시한 바에 따라 x 축을 평균류의 방향으로 정렬하는 과정을 수행한다. 이 과정은 두번의 좌표 변환을 수행하여 이루어진다. 한편, 해양에서의 플럭스 관측의 경우에는 해양에서 발생하는 과도와 같은 과도 현상으로 인하여, 평균류의 방향과 지면 항력(surface drag)의 방향이 달라진다. 이에 따라, 세 번째의 좌표 변환이 필요하며, 이는 Kaimal and Finnigan(1994)의 방법에 따라 프로그램화 하였다. 실제로 해양에서 이러한 세 번째 좌표 변환의 효과가 중요하며(예, Geernaert, 1988), 비교적 수평적으로 균질한 지면에서는 그 효과를 거의 무시할 수 있다(Hong and Kim, 2002).

하지만, 최근 들어 수평적으로 균질한 지형 뿐만 아니라, 복잡 지형에서 플럭스 관측이 이루어짐에 따라서, 새로운 좌표 변환 방법이 제시되고 있다. 특히 복잡 지형에서는 좌표를 정렬하는데 많은 주의를 필요로 한다. 이에 따라 좌표를 전체 연구 기간 동안의 평균류에 대해서 정렬하는 Planar Fit 방법을 Wilczak *et al.*(2001)에 따라 프로그램화 하였다. 이를 위해서 LU 분

해법으로 3×3 행렬의 해를 구하였다(Press *et al.*, 1992). 이렇게 다양한 좌표 변환 방법은 프로그램 내에서 선택사항을 통해서 사용할 수 있다.

(4) 우리는 고품질의 자료를 원한다. 물론 관측 시스템이 최적화되어 있는 것이 고품질의 자료를 얻는데 있어서 제일 중요하지만, 이로부터 얻어진 자료의 품질 상태를 적절하게 분리하는 일도 중요하다. 자료의 품질 정도를 판단하기 위해서, 첫째로, 평균값, 분산, 공분산, 왜도, 첨도를 이용한 자료의 품질 판별이 요구된다. 여기서는 Foken and Wichura(1996)가 제시한 바에 따라 integral turbulence characteristics를 이용하였다. 이때 자료를 버리는 임계값은 프로그램에서 사전에 미리 정해주어야 하는데, 이 임계값은 장소와 시간에 따라 다를 수 있으며, 여러 번의 시험을 통해서 결정하는 것이 바람직하다. 둘째로, 플럭스 값의 무작위 오차(random error)와 비정체성(nonstationarity)을 Mahr(1998)가 제시한 바에 따라 정량화 하였다. 셋째로, 빠른 푸리에 변환(Fast Fourier Transform; FFT)을 이용하여 스펙트럼과 코스펙트럼을 계산하도록 하였다.

이 외에도, 기공 전도도, 기후 전도도, 공기 역학 전도도와, 가능 증발산량의 계산, Priestly-Taylor 계수 및 decoupling factor의 계산 과정을 프로그램화 하였으며(McNaughton and Jarvis, 1983; Verma *et al.*, 1986; Kim and Verma, 1990; Hong *et al.*, 1997), 이 프로그램은 <http://koflux.org/biome/hong/technote.htm> 또는 <http://micro.yonsei.ac.kr/~jkhong> 에서 내려받을 수 있다.

III. 프로그램 사용 방법

위에서 언급한 과정을 프로그램화하기 위해서 FORTRAN90과 CPP(C Pre-Processor)를 이용하였으며, 워크스테이션의 시스템 명령어를 사용하였다. 따라서 이 프로그램은 UNIX 나 LINUX 기반의 컴퓨터에서 사용할 수 있지만, 같은 UNIX 기반의 워크스테이션이라고 할지라도 서로 다른 워크스테이션 사이에서 몇 가지 간단한 오류가 생길 수 있다. 이곳에서는 64 bit Alpha-DEC 워크스테이션을 기준으로 설명한다. 시스템 명령어를 사용하였기 때문에, 처리해야 할 자료의 이름을 매번 일일이 프로그램에 적어 주어야 하는 불편함이 없어졌으며, CPP의 사용으로 필요한 계산 과

정만 빠르게 얻어낼 수 있는 장점이 있다. 일반적으로 자료 집록기에 내장된 함수들을 이용하여, 생자료로부터 필요한 통계량을 계산한 뒤에, 크기가 큰 생자료는 지운 뒤에, 통계량만 저장할 수 있다. 또한 에디 공분산 방법 외에 경도법이나 공기역학적 방법을 사용할 경우에는 고속 반응 기기가 필요하지 않게 된다. 이를 위하여, 생자료를 직접 처리할 수 있는 프로그램과 특정 시간 동안 생자료를 평균하여 얻어진 통계량을 이용한 자료 처리를 위한 프로그램을 구분하여 따로 만들었다. 처리해야 할 자료는 NFS(network file system)을 이용하여, 자료가 저장된 파일 서버로부터 자료를 읽도록 하였다. 이는 자료의 중복 저장을 막고, 같은 자료를 효율적으로 활용하는데 도움이 된다. 이 프로그램을 사용하는 방법은 다음과 같다.

프로그램을 사용하려면,

1. 여러 가지 선택 사항을 결정해야 한다. 우선 프로그램의 첫 부분에서 다음과 같은 부분을 볼 수 있다.

PROGRAM PROCESS

```
#define PF_METHOD
#undef FIRST_SECOND_ROTATION
#undef THIRD_ROTATION
#undef SPECTRUM
#undef ASC_TO_BIN
```

여기서 "#define"이나 "#undef" 뒤에 있는 것이 선택 사항에 대한 설명이며, "#define"은 그 뒤에 있는 작업을 활성화한다는 뜻이며 "#undef"은 이 작업을 사용하지 않음을 말한다. 위에서 지정된 것은 "PF_METHOD" 작업만 활성화된 것을 의미한다. 각각의 작업에 대해 설명하면,

- 1) "PF_METHOD"는 Planar Fit 방법에 의한 좌표 변환을 말하며,
- 2) "FIRST_SECOND_ROTATION"은 Wesely(1970)에 의하여 x 축을 평균류로 정렬하는 좌표 변환을 말하고,
- 3) "THIRD_ROTATION"은 평균류와 응력의 방향을 일치시키는 좌표 변환을 말한다.
- 4) "SPECTRUM"은 스펙트럼과 코스펙트럼을 계산하는 작업을 의미하며,
- 5) "ASC_TO_BIN"은 ASCII 파일을 BINARY 파

일로 전환하는 작업을 의미한다. 이는 자료가 차지하는 공간을 줄이고, 자료 처리 시간을 단축시킬 수 있다.

한 가지 주의해야 할 것은, "PF_METHOD" 방법과 "FIRST_SECOND_ROTATION", "THIRD_ROTATION"은 Planar Fit 방법의 기본 가정에 따라 동시에 사용할 수 없다. 하지만 "FIRST_SECOND_ROTATION"과 "THIRD_ROTATION"은 동시에 적용할 수 있다.

2. 처리하고자 하는 자료가 저장된 파일 서버의 위치와 계산된 결과를 저장할 위치를 지정한다. 프로그램에서 다음과 같은 부분을 수정한다.

```
CHARACTER (len=40), PARAMETER :: input
  = '/user/data1/IREX96/1h_data/above/'
CHARACTER (len=40), PARAMETER :: output
  = '/user/jkhong/rotation/irex96/'
#ifdef SPECTRUM
  CHARACTER (len=50), PARAMETER :: output2
  = '/user/data1/IREX96/spectrum/'
#endif
```

input은 처리해야 할 자료가 있는 경로이며, output은 처리된 결과를 저장할 경로이고, output2는 스펙트럼과 코스펙트럼을 계산할 경우에 그 결과를 저장할 경로를 의미한다.

3. 자료의 총 개수(nt), 처리해야 할 변수의 숫자(nc), 자료 총 개수에 가장 가까운 2^m 에서 nx의 값, x 방향의 풍속이 속한 몇 번째 column 인지를 나타내는 uid와 (코)스펙트럼의 smoothing 과정을 위해서 필요한 pt_dec를 지정한다. 프로그램의 다음 부분을 수정한다.

```
INTEGER, PARAMETER :: nt = 16400
INTEGER, PARAMETER :: nx = 14, ns = 2**nx,
  mm = 2*ns, m = ns/2
INTEGER, PARAMETER :: nc = 4
INTEGER, PARAMETER :: uid = 1, pt_dec = 15
```

여기서 pt_dec의 값이 클수록 smoothing의 강도가 커지게 되며, 보통 pt_dec은 10에서 20 정도의 값을 사용한다. smoothing을 원하지 않을 경우는 이 값을 전체 자료의 개수보다 큰 값으로 주면된다.

4. 관측 높이(z), 자료 집록 속도(dt)를 지정한다. 프로그램에서 다음을 수정하면 된다.

```
REAL, PARAMETER :: zm = 2.2 ! measurement height
REAL, PARAMETER :: pi = 3.141592654
REAL, PARAMETER :: dt = 10.0 ! sampling rate
```

5. 자료의 품질 검사를 위해 사용되는 Integral turbulence characteristics의 임계값을 결정한다. 이는 Subroutine qcontrol에서 "crv" 값을 수정하면 된다.

```
REAL, PARAMETER :: crv = 0.5 ! Critical value for I.T.C.
```

"crv = 0.5"는 관측값과 이론적인 Integral turbulence characteristics의 차이가 50%이면 자료의 품질을 나쁜 것으로 간주한다는 것을 의미한다.

6. 무작위 오차와 비정체성의 정도를 계산하기 위한 모수를 변경한다. 이는 Subroutine fluxerror에서 "jjj"와 "jj"를 수정하면 된다.

```
jjj = 410; jj = 10; nj = INT(REAL(nn)/(REAL(jjj*jj)))
```

여기서 dt가 10이라고 한다면, "nj=4"가 되며, 전체 자료를 4부분으로 나눈다는 뜻이며, "jj=10"은 4부분으로 나누어진 자료를 다시 10등분 한다는 것을 의미한다. "jjj"는 이렇게 나누어진 자료의 전체 자료수를 의미한다.

7. 어떤 변수의 비정체성의 정도를 계산할 것인지를 결정한다. 이는 Subroutine randomerror에서 "i1"과 "i2"를 수정함으로써 이루어진다.

```
i1 = uid+2 ! Re-allocation of variable
i2 = uid
```

8. 입력 자료의 단위가 온도나 풍속과 같은 물리 단위가 아니어서, 단위 변환이 필요할 때는 Subroutine read에서 다음과 같은 형식으로 적어 주면 된다.

```

! Unit conversion
! The unit of temperature is Kelvin.

x(1,js)=12.0*x(1,js)-30.
x(2,js)=12.0*x(2,js)-30.
x(3,js)=12.0*x(3,js)-30.
x(4,js)=16.0*x(4,js)+290.0
x(4,js)=x(4,js)**2/403.0
    
```

한 가지 여기서 주의해야 할 것은 처리해야 할 자료의 형식은 사용된 실험 장비의 종류와 실험 목적에 따라 항상 다르다는 것이다. 현재 제시한 자료 읽기의 입력문은 자료의 특성을 설명하는 머리 부분이 없으며, 첫 번째 열부터 관측 값이 나오는 형태의 자료를 읽는 형식이다. 일반적으로 Campbell Scientific 사의 집록기를 사용할 경우에, 자료를 설명하는 헤드 부분이 있으며, 자료의 첫 번째 열은 관측 시간에 대한 정보를 포함하고 있다. 이러한 자료를 처리하기 위해서는 머리 부분을 건너 뛰어 읽은 다음, 21개의 길이를 가지는 문자 변수를 도입함으로써 자료를 읽고 처리할 수 있다.

9. 이 프로그램을 실행하여 얻어지는 변수는 Table 1에 나타내었다. 또한 이외에 새롭게 얻고 싶은 값은 Subroutine outer에서 출력하도록 변경하면 된다. 다음과 같은 "WRITE"문을 변경하면 된다.

```

WRITE(51,100) trim(file),(mx(i),i=1,4),(sx(i),i=1,4),(skx(i),i=1,4), &
(xcov(1,j),j=1,3),(xcov(2,j),j=2,3),(xcov(3,j),j=3,4),&
ruw, ruv, rvw, rut, rvt, rwt, zeta, randomerr, nratio,&
(a(i),i=1,3),FLAG3
100 FORMAT(a10,1x,31(f11.6,1x),11)
    
```

이러한 자료 처리를 통해서 얻어진 결과물을 Table 1에 나타내었다.

일정 시간 동안 평균된 자료를 이용하여, 자료를 처리하는 프로그램도 위에서 설명한 과정과 거의 동일한 과정을 거쳐서 자료 처리를 하게 된다. 이 프로그램도 위에서 언급한 웹사이트에서 사용 설명서와 함께 내려 받을 수 있다.

IV. 자료 처리의 예

자료 처리의 한 예로서, 1998년 GAME-Tibet의 하

Table 1. Output of the program for processing raw data

variable	description
trim(file)	file name/time description
mx(1)	longitudinal mean wind speed, U
mx(2)	lateral mean wind speed, V
mx(3)	vertical mean wind speed, W
mx(4)	mean sonic temperature, Ts
sx(1)	standard deviation of u
sx(2)	standard deviation of v
sx(3)	standard deviation of w
sx(4)	standard deviation of Ts
skx(1)	skewness of u
skx(2)	skewness of v
skx(3)	skewness of w
skx(4)	skewness of Ts
xcov(1,1)	covariance of u and u
xcov(1,2)	covariance of u and v
xcov(1,3)	covariance of u and w
xcov(2,2)	covariance of v and v
xcov(2,3)	covariance of v and w
xcov(3,3)	covariance of w and w
xcov(3,4)	covariance of w and Ts
ruw	correlation coefficient of u and w
ruv	correlation coefficient of u and v
rvw	correlation coefficient of v and w
rvt	correlation coefficient of v and Ts
rwt	correlation coefficient of w and Ts
zeta	zm/L (L=Monin-Obukhov length)
randomerr	random error
nratio	nonstationary ratio
a(1)	horizontal rotation angle
a(2)	vertical rotation angle
a(3)	rotation angle due to third rotation
FLAG3	Quality check Flag (F=good, T=bad)

나로 티벳 고원 중부에 위치한 나추지역에서 에디 공분산 방법으로 측정된 자료를 처리하였다. 에디 공분산 방법을 위하여 3차원 초음파 풍향 풍속계와 크립톤 습도계, 미세선 열전대가 설치되었다. 자료 처리를 위해 사용된 평균 시간은 30분 이었으며, 자료 집록 횟수는 20 Hz 였다. 실험에 관한 자세한 내용은 Kim *et al.*(2001)에 자세히 제시되어 있다. 저장된 생자료의 형태는 Table 2와 같다. Fig. 1에 서로 다른 좌표 변환인, Planar Fit 방법과 Wesely(1970)에 의한 좌표 변환 방법을 통하여 얻어진 현열 플럭스의 일변화

Table 2. Raw data observed on the Tibetan Prairie in 1998

"TOA5",	"Joon1",	"CR9000",	"0",	"2.00",	"CPU:HCLEE626.DLD",	"22143",	"Traw"
"TIMESTAMP",	"RECORD",	"Ux_1",	"Uy_1",	"Uz_1",	"Ts_1",	"diag_1",	"fw",
"RvKH",	"q"	"TS",	"RN",	"m/s",	"m/s",	"m/s",	"degC",
"unitless",	"degC",	"g/m^3",	"unitless"	"",	"",	"Smp",	"Smp",
"Smp",	"Smp",	"Smp",	"Smp",	"Smp",	"Smp",	"Smp",	"Smp"
"1998-07-14 15:35:11.5",	0,4.4075,-3.05625,0.104,16.3741,4065,15.1719,4.89807,0.129901						
"1998-07-14 15:35:11.55",	1,3.0525,-2.586,0.176,17.0603,4066,16.9369,5.09297,0.0119522						
"1998-07-14 15:35:11.6",	2,3.492,-3.4295,0.37675,17.3476,4067,16.7436,4.94195,0.059145						
"1998-07-14 15:35:11.65",	3,3.58125,-2.393,0.694,17.5721,4068,16.7329,5.4889,0.0822178						
"1998-07-14 15:35:11.7",	4,3.695,-2.26225,0.5325,18.3671,4069,17.5798,5.73886,0.0734156						
"1998-07-14 15:35:11.75",	5,3.61725,-2.08275,-0.1155,17.7746,4070,17.6379,5.44263,0.0127056						
"1998-07-14 15:35:11.8",	6,3.724,-2.1545,0.273,17.3561,4071,16.9633,5.5588,0.0379639						
"1998-07-14 15:35:11.85",	7,2.9395,-2.172,0.394,17.4514,4072,16.6514,5.59575,0.0787591						
"1998-07-14 15:35:11.9",	8,3.75475,-2.447,-0.13575,17.1521,4073,16.3353,5.67863,0.0819735						
"1998-07-14 15:35:11.95",	9,3.6465,-2.6045,0.28325,17.955,4074,16.6488,5.67686,0.128623						
"1998-07-14 15:35:12",	10,4.259,-2.99325,0.68325,17.7865,4075,17.202,5.23891,0.0557077						
"1998-07-14 15:35:12.05",	11,4.2765,-3.22275,0.54675,16.6797,4076,17.0655,4.88304,-0.0370537						
"1998-07-14 15:35:12.1",	12,4.3305,-3.51675,0.303,16.4267,4077,16.0965,5.01703,0.0336283						
"1998-07-14 15:35:12.15",	13,4.467,-3.0455,-0.078,15.8701,4078,15.5919,4.95051,0.0292503						
"1998-07-14 15:35:12.2",	14,4.51825,-3.4325,-0.0405,16.0516,4079,15.1979,4.89845,0.0920851						
"1998-07-14 15:35:12.25",	15,4.42325,-3.42925,-0.0595,16.2417,4080,15.3262,4.89342,0.0979227						
"1998-07-14 15:35:12.3",	16,4.77825,-3.42475,-0.206,16.7273,4081,15.8415,5.009,0.0916669						
"1998-07-14 15:35:12.35",	17,4.75875,-3.516,0.2495,16.2315,4082,16.0705,4.98566,0.0164225						
"1998-07-14 15:35:12.4",	18,4.97625,-3.13275,-0.02325,16.9652,4083,15.9882,5.13843,0.100171						
"1998-07-14 15:35:12.45",	19,4.96125,-3.4385,0.2305,16.4369,4084,16.1791,5.18324,0.0261232						
"1998-07-14 15:35:12.5",	20,4.63325,-3.4295,0.07225,16.3571,4085,15.9538,5.00327,0.0						

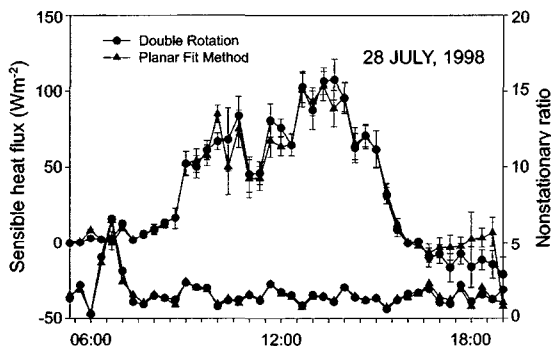


Fig. 1. Diurnal variation of sensible random error, and nonstationary ratio. Double rotation and Planar fit method were applied respectively for coordinate rotation.

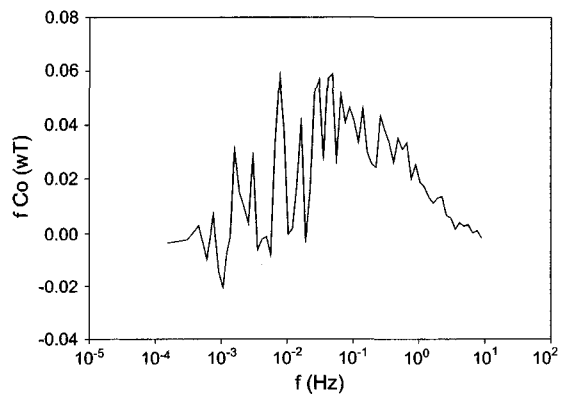


Fig. 2. Example of cospectra of vertical wind speed and temperature on Tibetan Plateau.

를 보였다. Fig. 1에 각각의 현열 플럭스에 대한 무작위 오차와 비정체성 지수를 함께 표시하였다. Fig. 2는 위의 자료로부터 얻어진 코스펙트럼을 보여준다. 코스펙트럼 자료는 평균 시간을 결정하는데 도움을 줄 수 있으며, 코스펙트럼의 면적이 플럭스 값과 같기 때문에, 플럭스를 만드는 현상에 대한 유용한 정보를 이끌

어 낼 수 있다. 그리고 자료 처리를 통하여 얻어진 정보들은 대기와 지면 사이에 교환되는 플럭스를 정량화하고 해석하는데 도움을 줄 수 있다. 한 예로, Planar Fit 방법으로 얻어진 티벳 고원 관측지의 경사도는 1~3° 정도였으며(Fig. 3), Planar Fit 방법으로

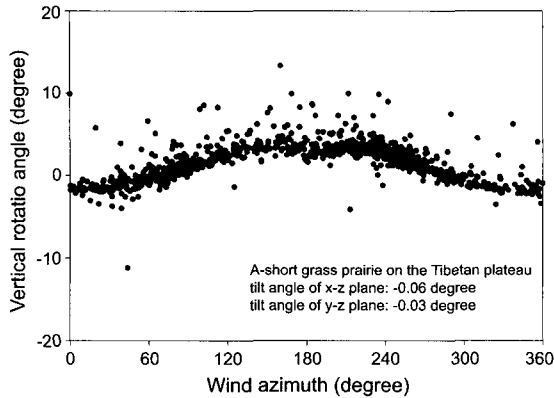


Fig. 3. Slope of Nagqu in Tibetan Plateau from Planar Fit method.

얻어진 연직 속도의 관측 오차는 약 3 cm s^{-1} 정도였다.

V. 요약

국내외에 구축된 다양한 플럭스 관측소로부터 관측된 자료는 그 크기가 방대하다. 따라서 이렇게 저장된 막대한 양의 자료를 처리하여, 원하는 정보를 얻어내는 것은 기술적으로 쉬운 일이 아니다. 그리고 자료 처리는 연구 목적에 따라 다양한 형태의 자료 처리를 되도록 쉽게 처리하여 비교할 수 있어야 한다. 이에 따라 자료가 저장된 파일 서버로부터 자료를 직접 읽어서, 필요한 자료를 보다 효율적이며, 일괄적으로 처리하는 프로그램을 개발하였다. 이 프로그램은 FORTRAN90과 CPP를 이용하여 만들어졌으며, 지면과 대기 사이에 교환되는 물질과 에너지를 정량화하는데 필요한 보정 과정과 품질 검증을 위한 과정을 포함하고 있다. 새로운 물리 과정과 보정 방법을 프로그램화하고, 간편하게 자료를 처리할 수 있도록 프로그램은 계속 보완 수정되어 나가야 한다.

감사의 글

본 연구는 환경부 차세대 핵심환경기술 개발사업과 한국과학재단이 지원하는 SRC 기후환경 시스템 연구 센터, 그리고 교육인적자원부의 두뇌한국 21 사업의 지원에 의해 이루어졌습니다.

인용문헌

Foken, T. and Wichura, 1996: Tools for quality assessment of surface-based flux measurements, *Agricultural and Forest Meteorology*, **78**, 83-105.

Geernaert, G.L., 1988: Measurements of the angle between the wind vector and wind stress vector in the surface layer over the North sea, *Journal of Geophysical Research*, **93**, 8215-8220.

Hong, J.K., Taejin Choi and Joon Kim, 1997: Evapotranspiration from Plants into the Atmosphere: Micrometeorological Perspectives, *Journal of the Korean Meteorological Society*, **33**(3), 569-579.

Hong, J.K. and J. Kim, 2002: Effect of coordinate rotation on flux measurements at KoFlux sites in Asia, *Proceedings of the 2nd Int. Workshop on Advanced Flux Network and Flux Evaluation*, 9-11, January, Jeju, Korea, 25.

Kaimal J.C. and J.J. Finnigan, 1994: *Atmospheric Boundary Layer Flows: Their Structure and Measurement*, Oxford University Press, New York, 289pp.

Kim, J., and S.V. Verma, 1990: Components of surface energy balance in a temperate grassland ecosystem, *Boundary-Layer Meteorology*, **51**, 401-417.

Kim, J., J. Hong, S. Hong, T. Choi, N. Chae, Z. Gao, J. Asanuma, I. Takayabu, M. Tsukamoto, H. Ishikawa, J. Wang, T. Koike and T. Yasunari, 2001: On measuring and modeling surface energy partitioning in a Tibetan prairie during GAME-IOP 1998, *Proceedings of the 5th Int. Study Conf. on GEWEX in Asia and GAME*, Nagoya, Japan.

Kim, J., W. Kim, C. Cho, B. Lee, D. Lee, E. Park, J. Lee, J. Lim, J. Oh, J. Yun and C. Rho, 2002: KOFLUX: A New Network of Reference Sites for AsiaFlux/FLUXNET and CAMP/CEOP. *Proceedings of the 2nd International Workshop on Advanced Flux Network and Flux Evaluation*, Jeju, Korea, 9-11 January.

Mahrt, L., 1998: Flux sampling errors for aircraft and towers, *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, **15**, 416-429.

McNaughton, K.G. and P.G. Jarvis, 1983: Predicting effects of vegetation changes on transpiration and evaporation, *Water Deficits and Plant Growth*, VII, Academic Press, 1-46.

Moore, C.J., 1986: Frequency response corrections for eddy correlation systems, *Boundary-Layer Meteorology*, **37**, 17-35.

Press, W.H., S.A. Teukolsky, W.T. Vetterling and B.P. Flannery, 1994: *Numerical Recipes*, Cambridge University Press, Cambridge, 964pp.

Verma, S.B., D.D. Baldocchi, D.E. Anderson, D.R. Matt and R.J. Clement, 1986: Eddy fluxes of CO₂, water vapor, and sensible heat over a deciduous forest, *Boundary-Layer Meteorology*, **36**, 71-91.

Webb, E.K., G.I. Pearman and R. Leuning, 1980: Correction

- of flux measurements for density effects due to heat and water vapor transfer, *Quarterly Journal of Royal Meteorology Society*, **106**, 85-100.
- Wesely, 1970: Eddy correlation measurements in the atmospheric surface layer over agricultural crops. Dissertation. University of Wisconsin, Madison, Wisconsin, USA.
- Wilczak, J.M., S.P. Oncley and S.A. Stage, 2001: Sonic anemometer tilt correction algorithms, *Boundary-Layer Meteorology*, **99**, 127-150.