

## CA10) 복잡한 지형에서 대기 난류의 특성

### Turbulent Characteristics over the Complex Terrain

박문수 · 박순웅

서울대학교 지구환경과학부

#### 1. 서론

지표면과 대기 사이의 운동량, 현열 그리고 수증기의 교환은 기상학의 영역에서 뿐만아니라 수문학이나 농업의 영역에서도 매우 중요하다. 그리고 이러한 교환 과정을 보다 잘 이해하기 위해서는 대기 난류의 특성에 대한 이해가 선행되어야 한다. 대기 난류의 특성들에 대한 지금까지의 많은 연구들은 주로 지표면이 평평하고 균질한 지형에서의 관측을 통해 이루어졌으며 이 결과들을 토대로 다양한 플럭스들이 매개변수화되어졌다. 예를들면, Monin-Obukhov 상사 이론은 대기경계층의 하부 약 1/10에 해당하는 지표층에서 잘 적용되는 것으로 알려져 있는데, 이는 기온과 수증기 그리고 풍속의 연직 구조 또는 이러한 양들의 분산들을 이용하여 지표면의 플럭스를 추정할 수 있으며 이에 대한 많은 검증들이 이루어져 왔다 (Businger et al., 1971; Park and Yoon, 1991).

지금까지 대부분의 난류에 대한 연구들은 매우 평평하고 균질의 지표 위에서 행해졌으나 실제 지구의 표면은 매우 복잡하다. 특히 우리나라의 경우에는 70% 이상이 산으로 이루어져 있으며, 그 나머지의 지형도 균질한 지형으로 이루어져 있지 않다. 복잡한 지형에는 지표면 자체는 평평하지만 지표면의 물리적 성질에 차이가 있는 지형과 지표의 물리적 성질에는 차이가 없지만 평평하지 않은 지형이 있다.

본 연구에서는 이러한 복잡한 지형에서 음파풍속온도계로 관측한 대기 난류의 특성을 분석하기 위해 먼저 지형의 특성이라고 할 수 있는 지표면 거칠기 길이와 대기 난류의 특성을 살펴보고자 한다.

#### 2. 야외 실험 장소와 기기 및 자료

##### 2.1 야외 실험 장소

복잡한 지형의 특성을 분석하기 위해 서울대학교 교수회관 옆의 작은 봉우리를 선정하였다. Fig. 1은 관측 지점의 지형을 나타낸 것이다. 관측 지점인 서울대학교는 서울의 남쪽에 위치해 있으며, 남동쪽과 남서쪽에 각각 1.7 km와 2.8 km 떨어진 지점에 629 m 높이의 관악산과 478 m 높이의 삼선산이 자리잡고 있다. 이 지점은 날씨가 맑은 날인 경우에 낮에는 북서풍이 밤에는 남동풍이 주로 부는 전형적인 산 꼭꼭이 부는 지역이다 (이광목과 정창희, 1982).

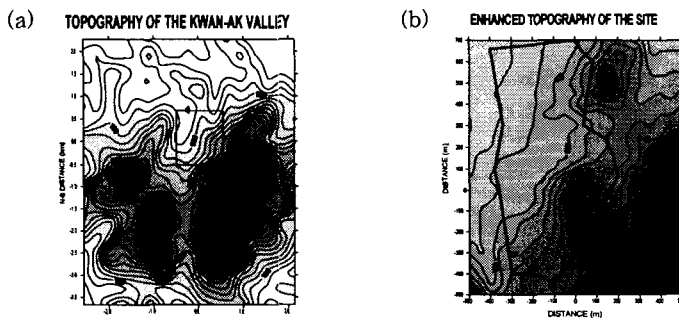


Fig. 1 (a) Topography of the Kwanak Valley. (b) Enhanced topography of the site.

##### 2.2 기기의 설치 및 자료

복잡한 지형의 특성을 분석하기 위해 8 m 고도에 설치된 3차원 초음파 풍속온도계(이하 초음파 풍속계) 자료를 사용하였다. 일반적인 기상의 특성을 파악하기 위해 자동기상관측장비(AWS)로부터 기온, 상대습도, 풍향, 풍속, 강수량 등의 자료를 10분 평균값의 자료를 사용하였다. 초음파 풍속계는 Applied Technologies, Inc에서 제조된 SAT-211/ 3Sx 모형으로 양쪽에서 음파를 발사하여 상대쪽에서 감지되는 시간의 차이를 이용하여 세 방향의 풍속을 구하고 여기서 관측된 풍속을 이용하여 대기의 온도(음파온

도)를 계산하여 10Hz로 자료를 RS-232C 인터페이스를 통해 PC에 저장된다. 자료는 1999년 3월부터 2000년 2월까지 1년동안 수시로 관측되었다.

### 3. 자료의 분석 방법

#### 3.1 자료의 선택

1999년 3월부터 2000년 2월까지 관측된 자료 중 복잡한 지형의 특성을 분석하기 위해 먼저 강수 기간과 풍속이 매우 약한 기간의 자료를 제외하였다. 강수 기간동안에는 떨어지는 빗물에 의해 풍속이 실제 풍속과는 다른 풍속이 관측되는 경우가 많으므로 강수 기간을 제외하였다. 그리고 풍속이 매우 약한 경우는 풍향의 변화가 심하고 이런 경우에는 복잡한 지형의 특성을 제대로 표현하기 어려우므로  $0.5 \text{ ms}^{-1}$  이하의 풍속은 제외하였다.

#### 3.2 자료의 분석 방법

먼저 10 Hz로 얻어진 자료들에 대해 10분 평균을 취하여 이에 대한 편차들을 구하였다. 그리고 10분 동안 동서방향의 풍속과 남북방향의 풍속을 벡터합하여 10분 평균 풍속과 풍향을 구하였다. 그리고 각 자료들을 평균 풍속 방향을 U 방향을 이에 직각 방향을 V 방향으로 다시 분해하여 이에 대한 편차들을 구하였다.

각 방향에 대해 풍속의 표준편차를 구하였다.

$$\begin{aligned}\sigma_u &= \sqrt{\langle (u - \bar{u})^2 \rangle} \\ \sigma_v &= \sqrt{\langle (v - \bar{v})^2 \rangle} \\ \sigma_w &= \sqrt{\langle (w - \bar{w})^2 \rangle} \\ \sigma_T &= \sqrt{\langle (T - \bar{T})^2 \rangle}\end{aligned}$$

그리고 지표층에서 사용할 기본적인 속도규모  $u_*$ , 길이 규모  $L$  그리고 온도 규모  $T_*$  는 각각

$$\begin{aligned}u_* &= [(-\overline{u'w'})^2 + (-\overline{v'w'})^2]^{1/4}, \\ L &= -\frac{\overline{T}u_*^3}{kgw'T}, \\ T_* &= -\frac{\overline{w'T}}{u_*}\end{aligned}$$

로 계산된다.

이렇게 얻어진 결과를 이용하여 안정도에 따른 무차원 난류 강도의 변화를 살펴볼 것이다.

### 4. 결과

Fig. 2는 각 방향별 겨울철에 관측된 연직방향에 대한 무차원 난류 강도의 크기를 안정도에 따라 나타낸 것이다. 그림의 왼쪽은 안정한 경우이고 오른쪽은 불안정한 경우이다. 오른쪽 그림의 실선은 Panofsky and Dutton(1984)이 제시한 곡선

$$\frac{\sigma_w}{u_*} = 1.25(1 - 3\frac{z}{L})^{1/3}$$

을 나타낸 것이다. Panofsky and Dutton (1984)식은 평평하고 매끈한 지점에서 매우 잘 맞는 것으로 알려져 있다.

관측 결과를 보면 불안정한 경우 Panofsky and Dutton(1984)가 제시한 값보다 대체로 작다는 것을 알 수 있다. 대기가 중립 안정도를 가지는 경우  $\frac{\sigma_w}{u_*}$  는 거의 1.25의 값을 가진다. 그러나 관측 결과를 보면 각 풍향별 수렴하는 값이 1.05정도로 작다.

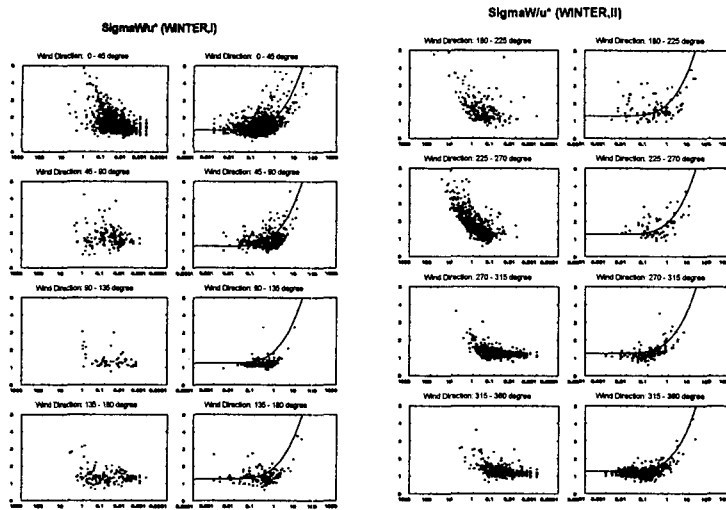


Fig. 2 Nondimensional turbulent intensity according to stability and wind direction observed in winter

## 5. 결론 및 제언

복잡한 지형의 특성을 파악하기 위해 서울대학교 교수회관 옆의 대기경계층실험실 노장에서 8 m 고도에서 초음파 풍속계로 10 Hz의 주기고 관측한 자료를 이용하여 각 풍향별 안정도별 무차원 난류 강도의 크기의 특성을 살펴 보았다.

## 참고 문헌

- 이광목, 정창희(1982) 관악 계곡에서 관측된 Power Spectrum에 관한 연구, 서울대학교 이학 석사 논문, 29pp.
- Bussinger, J. A., J. C. Wyngaard, Y. Izumi, E. F. Bradley(1971) Flux-Profile relationships in the atmospheric surface layer. J. Atmos. Sci. 28, 181-189.
- Panofsky, H. A. and J. A. Dutton(1984) Atmospheric Turbulence, Models and Methods for Engineering Applications, John Wiley & Sons, New York.
- Park, S.-U., I.-H. Yoon(1991) Estimation of Atmospheric Boundary Layer Parameters using routinely available meteorological data. J. Kor. Meteor. Soc. 27(1), 32-54.