

산림에서의 플럭스 측정(II)

-광릉수목원 침엽수림대에서의 플럭스 측정-

○김영아*, 류상범**

1. 서론

지표면과 대기 사이의 물리과정은 주로 현열, 잠열, 운동량 및 온실 기체의 교환을 통해 일어나며 이들의 교환은 기상 조건과 지표면의 상태에 따라 달라진다(서명석, 1999). 지표면의 영향은 식생과 토양 수분의 변화로 대표되며, 식생은 알베도, 거칠기 길이에 영향을 주어 지표면과 대기 사이의 에너지 평형 및 운동량 교환에 영향을 줄뿐만 아니라 증발산을 통하여 땅속의 수분을 대기 중으로 공급하고, 강수를 포착하여 지표면에 도달하지 않고 바로 증발하게 하기도 한다(Xue and Shukla, 1993; Copeland, 1995; Dirmeyer, 1995; Xue and Fennessy, 1996).

증발산은 지면에서의 증발과 식물의 증산을 포함하는, 지표에서 대기로 물이 직접적으로 이동하는 과정으로, 지표에 떨어지는 강수의 대략 70% 정도가 증발산 과정을 거쳐 다시 대기로 되돌아간다. 또, 액체 상태의 물이 기체 상태의 수증기로 상변화하여 대기로 증발되는 과정을 통해 지표-대기 사이의 에너지 순환에 중요한 역할을 한다. 증발산량은 수자원 계획 및 관리, 용수의 설계, 침투 및 침투량의 계산, 계획된 관개사업에 따른 용수의 보급, 계획 관리, 홍수 및 가뭄의 예·경보 등에 가장 기본적인 정보로 수문학을 비롯한 농학, 생물학 등 여러 분야에서 그에 대한 정보를 요구하고 있다. 그러나 지금까지 증발산량의 직접 관측은 기술적 문제 등으로 인해 증발산량계 등을 이용한 산발적인 관측이 이루어졌을 뿐이다.

증발산량은 관측 지역의 식생, 토양 특성 등에 민감하게 반응하므로, 관측 목적에 따라 적당한 관측 지역을 선정해야 한다. 본 연구에서는 우리나라 지형을 대표하는 산악지형(전체의 95%)에 플럭스 관측탑을 설치하여 지표 플럭스를 관측함으로써, 지금까지 증발산량의 관측 연구가 주로 강 유역, 벼논 등에서 이루어진 것과 차별성을 두고 또, 우리나라 자연상태에서의 증발산량에 대한 이해를 증진시키려 하였다. 관측 지역은 중부 임업 시험 연습장(광릉 수목원)내의 침엽수림대와 활엽수림대의 경계 지역이며, 관측시스템이 주로 침엽수림대에서 불어오는 바람의 영향을 받으므로 본 연구에서 측정한 플럭스들은 침엽수림대의 플럭스로 간주할 수 있다.

* 기상연구소 수문기상연구실

** 기상청 예보관실

2. 관측 방법 및 개요

증발산량을 정밀 관측할 수 있는 방법에는 경도법, 에디상관법, 에디공분산법 등이 있으며, 본 연구를 위하여 적용한 에디공분산법은 미기상학적인 방법 중 하나로, 보존 방정식을 근간으로 하여 에디 확산성에 대한 어떠한 가정 없이 플럭스를 구할 수 있다는 장점이 있다. 특히 확산성과 연직속도 변동분이 큰 반면에 기온과 습도의 연직 경도는 작은 산악지형과 같은 거친 식생지에서는 에디공분산법이 적절하며, 플럭스를 직접 측정할 수 있고 장기간 연속적인 관측이 가능하며 넓은 관측지에 대해 적분한 값이라는 점에서 현재 학계에서 강력하게 추천되고 있다(NCAR, 1989). 에디공분산법에서 사용된 가정은, 관측장소가 수평적으로 균질하고 경사가 없으며 이류의 효과를 무시할 수 있고, 측정 변수가 시간에 따라 크게 변하지 않으며 측정변수의 발원과 흡원이 없다는 것이다.

에디 공분산 시스템은 3차원 음파 풍향풍속계(3-Dimensional Sonic Anemometer, CSAT3), 개회로 수증기 농도 측정기(Ultraviolet Krypton hygrometer, KH20), 미세선 열전대(Fine Wire Thermocouple, FW05) 등으로 구성되어 있으며, 연직 바람 성분, 기온, 수증기 밀도의 변동을 측정할 수 있다. 이 관측 시스템은 1996년 여름 일본과 호주의 국제 공동 연구에서 기본 시스템으로 사용되었고, 국내에서는 연세대학교 미기상학연구실에서 논과 같은 평지의 플럭스 관측을 위하여 사용되고 있다.

관측이 수행된 지역은 중부 임업 시험 연습장(광릉 수목원)내의 침엽수림대와 활엽수림대의 경계지역으로, 관측 지역의 수목 높이는 15m 정도이며, 취주 거리를 고려하여 30m 관측탑을 설치하였다. 관측탑은 다층 관측 시스템으로 구성하였으며, 32m 높이에는 풍향풍속계, 31m 높이에는 온·습도계, 24, 16(수목 바로 위), 9m(수목 속) 높이에 각각 온·습도계, 풍속계를 장착하여 고도(환경)변화에 따른 온·습도, 풍속 변화를 조사하였다.

3. 관측 결과

지표면이 대기와 토양(또는 물) 사이의 매우 얇은 경계층으로 질량과 열용량이 없다고 가정하면, 에너지는 지표면의 영향없이 전달될 수 있고 따라서, 이러한 지표면에서의 에너지 균형은 다 음과 같이 나타낼 수 있다.

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

여기서 R_n 은 순복사량, H 는 현열, LE 는 잠열, G 는 토양열 플럭스를 각각 나타낸다. 물론, 실제의 경우에는 지표면의 영향에 따른 열저장항이 존재하지만 그 크기는 상대적으로 작아 무시할 수 있으며, 에디 공분산 시스템을 이용하여 관측한 현열 및 잠열 플럭스도 순복사량, 토양열 플럭스와 함께 (1)식의 관계를 만족한다고 본다.

그림 1은 광릉수목원에서 관측한 1998년 10월20일 ~ 12월26일 기간 동안의 순복사량, 현열, 잠열 및 토양열 플럭스의 시계열이다. 모든 관측값이 가을에서 겨울로 계절이 진행됨에 따라 그 값

이 작아지며, 특히 잠열 플럭스의 경우에는 계절이 변화함에 따라 그 값이 매우 작아져 영에 가까워진다. 이는 계절이 가을에서 겨울로 바뀌어 감에 따른 토양의 건조화, 증산 작용의 감소 등과 관련이 있다. 전체적으로는 규칙적인 일변화를 보여 주고 있으며, 이러한 일변화 형태는 각 시간대로 평균한 그림 2에 더욱 뚜렷이 나타난다. 또, 이러한 결과는 McNaughton and Black (1973)의 전나무 지역에서의 에너지 수지 일변화 형태와 잘 일치한다.

지표면에서의 에너지 수지를 살펴보면, 보통 낮시간에는 순복사량, 현열, 잠열 및 토양열 플럭스 모두 양의 값을 보이는 반면, 밤시간 동안에는 모두 음의 값을 보이면서 그 절대값이 낮시간보다 작다. 그러나 실제로 나타나는 지표면에서의 에너지 수지는 토양의 종류, 토양 수분 함유량 및 변동 경향, 식생, 지리적 위치, 계절, 하루 중의 시간, 날씨 등의 요소에 따라 달라진다.

그림 3은 31, 24, 16, 9m 높이에서 온도와 수증기압의 일변화 경향을 보여주고 있다. 수증기압의 일변화 특성은 일최저기온과 일최고기온이 나타나는 6시와 16시 부근에 수증기압 극값이 나타나는 이중모드를 가지며, 수목 내의 수증기압 최소는 두 개의 극소점에서 거의 같은 크기를 가지지만 수목에서 떨어진 31m와 24m 높이의 수증기압은 일최대기온이 나타나는 16시 부근에 최소값을 가진다. 앞으로 계속 다양한 기온 분포에 대한 수증기압 변화를 관측하여 이러한 수증기압 변화의 원인에 대해서는 조사할 계획이다.

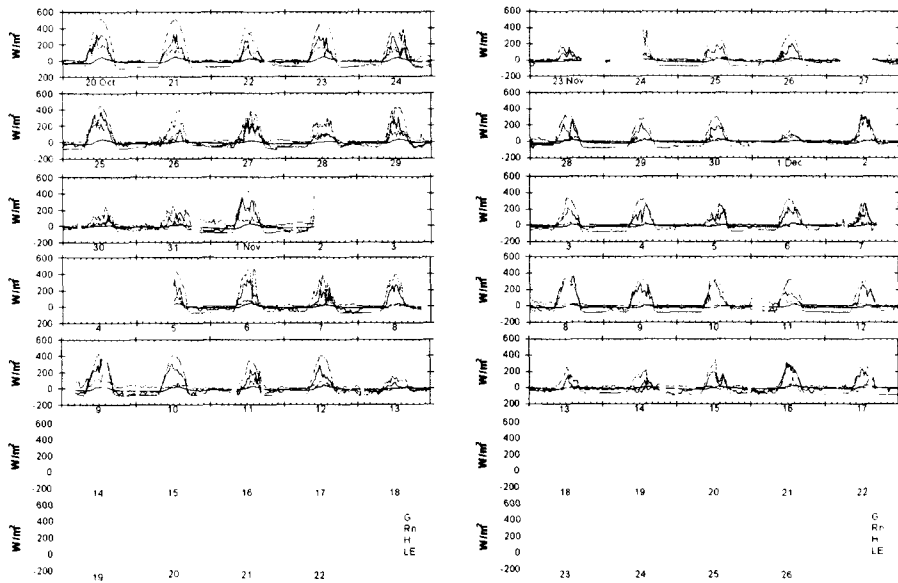


Fig. 1. Corrected latent heat flux, sensible heat flux, ground heat flux, and net radiation during 20 October to 26 December at Kwangnung.

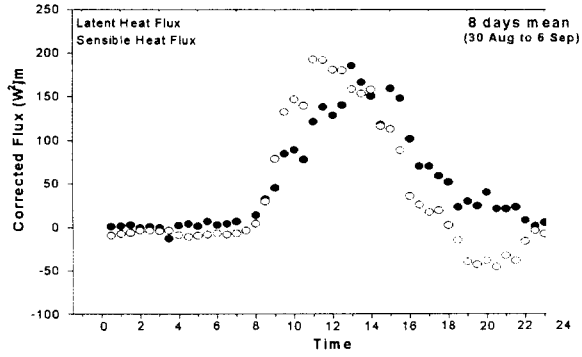


Fig. 2. Diurnal latent heat flux and sensible heat flux at Kwangnung.

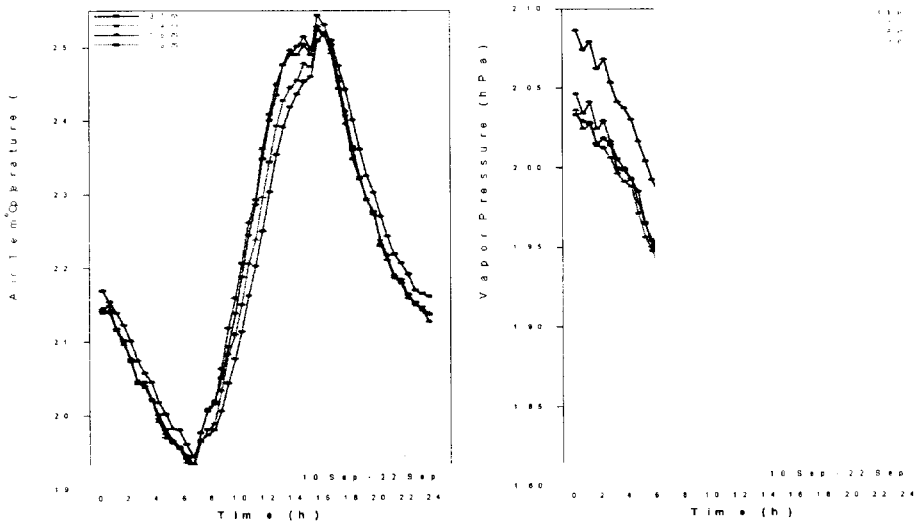


Fig. 3. Diurnal variation of temperature and vapor pressure at 31, 24, 16, and 9m height (temporal average during 13 days from 10 to 22 September).

그림 4는 광릉 수목원에서 1998년 10월20일 - 12월 26일의 기간동안 관측한 실제 증발산량의 분포를 잠열 플럭스와 함께 나타내고 있다. 관측 시간은 계절적으로 늦가을과 초겨울에 해당하는

시기로, 잠열 플럭스와 증발산량은 계절이 진행됨에 따라 그값이 현저히 작아지며, 영에 가까워진다. 이는 가을에 낙엽이 지고 난 뒤에 식물에 의한 증산이 거의 일어나지 않았고, 강수도 거의 없어 토양이 건조한 상태가 계속되었기 때문으로 사료된다. 실제로 식생 주기는 실제 증발산량을 산정하는데 중요한 요소로 인식되고 있다 (Eagleman, 1967).

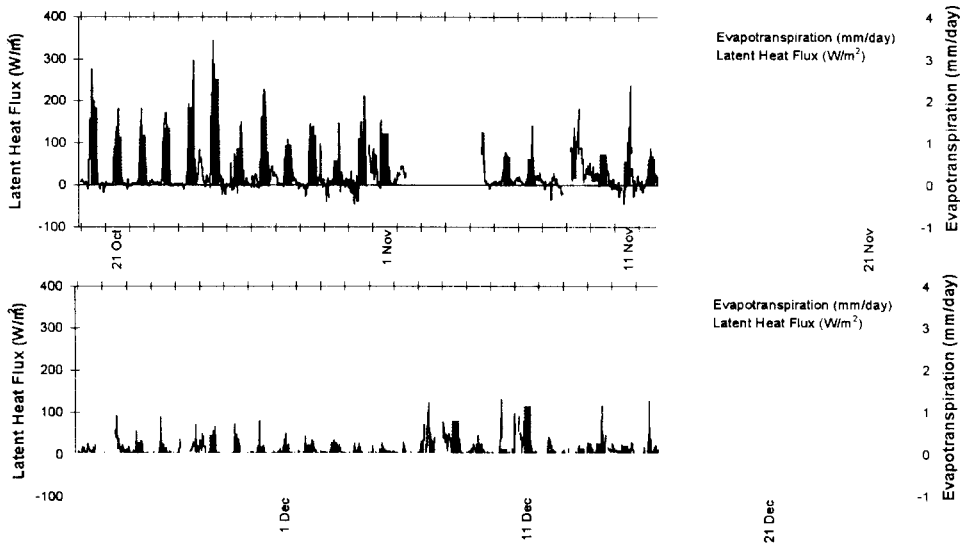


Fig. 4. Observed evapotranspiration and latent heat flux during 20 Oct. - 26 Dec. at Kwangnung.

4. 요약

관측 결과 잠열과 현열 플럭스의 시계열에서는 대체적으로 규칙적인 일변화를 보여주고 있으며, 이러한 일변화 형태는 McNaughton and Black (1973)의 전나무 지역에서의 에너지 수지 일변화 형태와 잘 일치하고 있다. 증발산량 분포에서는 계절이 가을에서 겨울로 변화함에 따라 잠열 플럭스와 증발산량이 영에 가까워짐을 확인할 수 있었다. 이는 관측지역의 식생 주기와 밀접한 관련이 있는 것으로 사료된다.

참고문헌

- 서명석, 1999: 지역 기후 모형에서 원격 탐사된 식생 및 토양 수분에 대한 동아시아 여름 몬순의 민감도. 서울대학교 대기과학과 박사학위 논문, 272p.
- Copeland, J. H., 1995: Impact of soil moisture and vegetation distribution on July 1989 climate using a regional climate model. Colorado State Univ. Ph. D. Thesis.
- Dirmeyer, P. A., 1995: Problems in initializing soil wetness. Bull. Amer. Meteor. Soc., 76, 2234-2240.
- Eagleman, J. R., 1967: Pan evaporation, potential and actual evapotranspiration, J. Appli. Meteor., 6, 482-488.
- Xue, Y., and J. Shukla, 1993: The influence of land surface properties on summer climate. Part I : Desertification. J. Climate, 6, 2232-2245.
- , M. J., Fennessy, and P. J., Sellers, 1996: Impact of vegetation properties on U.S. summer weather prediction. J. Geophys. Res., 101, 7419-7430.