

미기상자료를 이용한 옥상녹화환경의 수분 증발 특성 해석³⁰⁾

The Interpretation of the Water Evaporation Characteristics Using
Micrometeorological Data in the Green Roof Site

김동욱*, 장성완*, 이은희**

*에코엔바이오(주), **서울여자대학교 환경생명과학부

I. 연구의 목적

도시화가 심화되면서 야기되는 녹지 공간의 부족 현상은 도시의 환경 악화와 도시민의 삶의 질을 저하시키는 주요한 요인의 하나임은 주지의 사실이다. 하지만 지가 상승으로 인해 지상을 녹지로 조성하기에는 한계가 많기 때문에 건물의 옥상이 대안으로 부상하고 있다. 최근 서울시에서 추진하고 있는 생태면적률제도¹⁾는 옥상녹화를 장려하기 위한 제도적 조치로서 좋은 예가 될 수 있다. 옥상녹화의 어메니티적, 경제적, 환경적 효과²⁾는 결국 옥상에 식생층이 조성됨으로 인해 에너지와 물질 순환에 긍정적인 변화가 생겨 주변 환경변화의 폭을 일정정도 상쇄시켜 주기 때문이다. 일반적으로 에너지 이동은 복사, 전도, 대류와 함께 물의 증발에너지인 잠열(또는 숨은열, latent heat)로 구분³⁾되며, 생물권과 주변 환경과의 에너지 교환에 있어서 잠열의 역할은 특히 중요하다. 에너지 보존 법칙에 의해 옥상녹화지에 공급되는 순복사량(R_n)은 식물의 광합성에너지(M), 현열(H), 잠열(λE), 저장열(G)의 형태로 변환되며 식(1)로 표현된다.

$$R_n = M + H + \lambda E + G \quad \text{식(1)}^4$$

하지만 보통의 기상장비를 이용해 측정되는 데이터로는 식(1)에 필요한 데이터를 얻기 어렵다. 본고의 내용 또한 매우 초보적인 수준에 머무르고 있지만, 기상장비에서 얻은 상대습도와 기온 자료로부터 포화수증기압차를 계산하고, 이 값과 실제 증발팬으로부터 구한 증발량과의 상관관계 분석을 통해 향후 옥상녹화지에서의 수분증발과 관련한 에너지(특히 잠열)와 물 수지 연구에 활용할 계획이다.

30) 본 연구는 2005년 환경부 차세대환경핵심기술개발사업의 연구비 지원으로 수행되었음.

II. 재료 및 방법

1. 실험장소 조성

2005년 7월에 서울 공릉동에 소재한 서울여자대학교 행정관 3층 옥상에 관리 조방적 옥상녹화시스템(면적 166.5m²)을 설치하였다. 식재된 식물은 한국잔디, 자생초화, 허브 등 초본류이었으며, 토양은 펠라이트와 버미큘라이트, 코코피트, 퇴비 등으로 구성된 인공경량토였으며, 저배수판으로는 모듈제품(EcoTop EP-16, 에코앤바이오(주))이 적용되었다. 기상자료를 수집하기 위해 weather station(WatchDog weather stations, Spectrum Technologies, Inc.)을 설치하였고, 증발량을 측정하기 위해 수위계(Data Logger Thalimedes, OTT)가 장착된 지름 1.2m, 깊이 25cm의 증발팬을 설치하였다.



Figure 1. The photographs of the test site and the instruments

2. 데이터 분석

Tetens 공식(식(2))을 이용해 기상장비에서 획득한 기온값으로부터 포화수증기압을 계산하였고, 대기의 실질적인 건조력을 설명할 수 있는 포화수증기압차(vapor pressure deficit, D)는 식(2)로부터 실측한 상대습도를 대입하여 도출하였다.

$$e_s(T) = a \exp \{ bT / (T + c) \} \quad \text{식 (2)}^5$$

$$D = e_s(T_a) - e_a = e_s(T_a)(1 - h_r) \quad \text{식 (3)}^6$$

계산된 포화수증기압차와 실측한 증발량과의 상관관계는 엑셀 프로그램을 이용해 분석하였다.

III. 결과 및 고찰

증발판의 수위변동으로부터 계산된 수분의 증발량은 2005년 8월 10일부터 12월 12일까지 388mm였으며, 증발추세는 그림2와 같다. 추세식(4)으로부터 10일 간격으로 증발량을 추정하면 표1과 같다.

$$\text{evaporation content(mm)} = -2 \times 10^{-5} t^2(\text{hour}) + 0.1869t - 7.2012 \quad \text{식(4)}$$

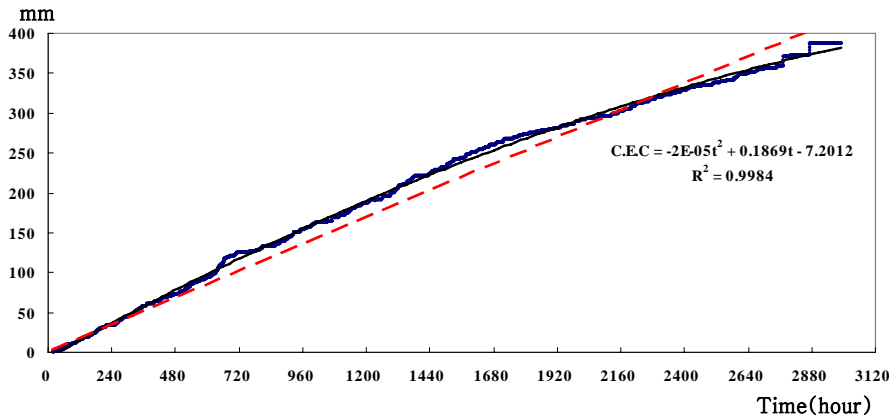


Fig. 2. The cumulative evaporated content between 10th Aug. and 12th Dec. in 2005.

Table 1. The evaporated content estimated from the equation(4) during every 10 days

Date	8/10	8/20	8/30	9/9	9/19	9/29	10/9	10/29	10/29	11/8	11/18	11/28	12/8	12/18
mm	43.5	41.2	38.9	36.6	34.3	32.0	29.7	27.4	25.1	22.8	20.4	18.1	15.8	

그림2와 표1로부터 시간이 경과할수록, 즉 계절적으로 겨울에 가까워질수록 실질적인 증발량이 감소되고 있음을 알 수 있다. 그림3에 제시된 8월, 9월 10월, 11월의 포화수증기압차 그래프에서도 8월에 비해 11월의 포화수증기압차가 크게 감소되었음을 보이고 있다.

8월 10일과 31일 사이의 포화수증기압차와 실제증발량과의 상관관계는 그림4

와 같다. 결과적으로 두 데이터 사이의 정의 상관관계는 인정되지만, 예상과는 달리 유의성 ($R^2 = 0.2497$)은 매우 작았다.

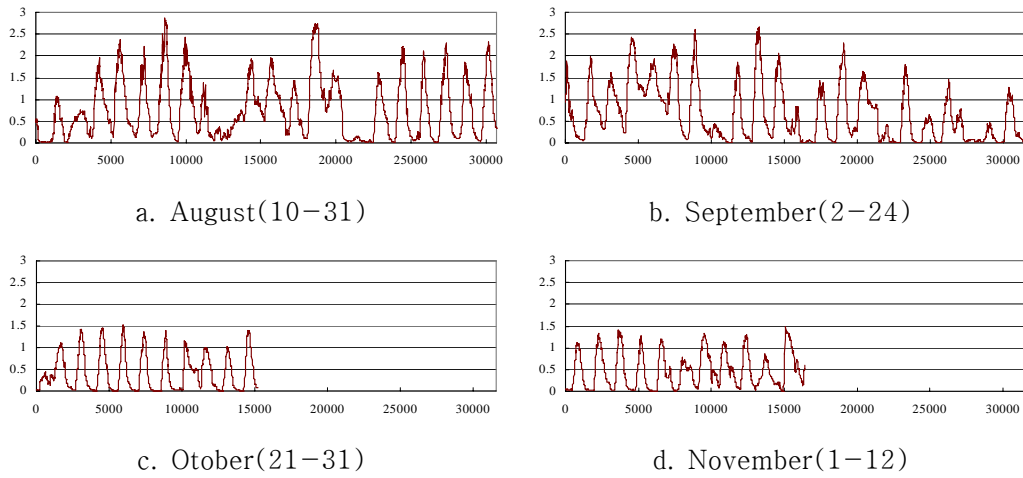


Fig. 3. The change of vapor pressure deficit according to season

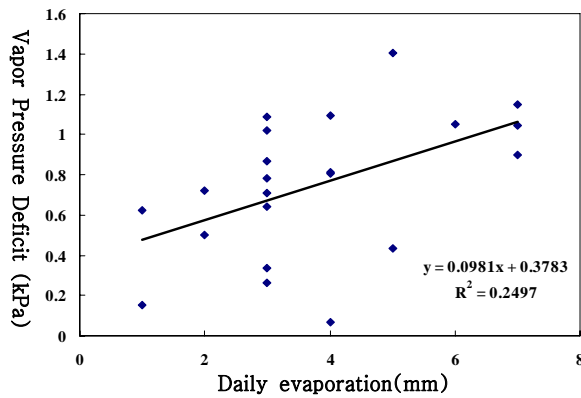


Fig. 4. The relationship between the vapor pressure deficit and the daily evaporation in August, 2005.

IV. 결론

물이 증발할 때 필요한 에너지는 대략 44kJ/mole이며, 이는 물 1 mole의 온도가 1°C 올라갈 때 필요한 에너지의 580배에 해당한다. 일례로 본 연구기간의 모니터링 기간 중 증발한 388mm의 물은 태양과 외부에서 전달된 에너지

중 약 $948,444\text{kJ/m}^2$ 의 에너지를 상쇄시켜주는 역할을 한다. 따라서 옥상녹화지에서 물의 증발은 옥상을 식혀주는 주요 요인이 된다.

또한 식재된 식물을 수분스트레스로부터 보호하기 위한 전략을 마련하기 위해 수분 증발량의 계절적 변이에 대한 예측은 반드시 필요하다.

서론에서 밝혔듯이 본고는 일반적인 기상장비로부터 얻어진 데이터를 이용해 옥상녹화지에서의 수분 증발 특성을 해석하고자 수행되었다. 단순한 기온과 상대습도 데이터 자체만으로는 본질적인 접근이 어렵기 때문에 포화수증기압차를 도출하고 이 값이 실제 증발량과 얼마만큼 밀접한 연관성을 가지고 있는지를 밝혀보고자 하였다. 하지만 위의 결과를 통해 도달한 결론은 물의 증발 특성을 해석함에 있어 포화수증기압차만으로는 유의성 있는 예측이 어렵다는 것과 따라서 보다 정확한 예측을 위해서는 추가적인 변수가 필요하다는 것이었다. 향후 추가적인 변수로는 일사량과 풍속 데이터가 타당하다고 판단된다.

V. 참고문헌

- 1) 서울특별시(2004) 생태면적률 활용을 위한 공청회
- 2) Nigel Dunnet, Noel Kingsbury(2004) Planting Green Roofs and Living Walls, Timber Press, pp.23-56
- 3) G. S. Campbell, J. M. Norman(1998) Introduction of environmental biophysics, 2nd ed. Springer, pp.3-4
- 4) 김광식(2002) 신고 농업기상학 2쇄, 향문사, p.73
- 5) 3)의 p.41 (e_s 는 포화수증기압, T 는 기온, $a=0.611\text{kPa}$, $b=17.502$, $c=240.97^\circ\text{C}$)
- 6) 3)의 p.42 (T_a 는 주변기온, e_a 는 주변기온에서의 수증기압, h_r 은 상대습도)