

인공위성 영상 자료를 이용한 두 공간 증발산 산정 모형의 비교 분석

Comparison of Two Evapotranspiration Estimation Models Using Satellite Imagery

황교택*, 서찬양**, 김현우***, 최민하****

Kyotack Hwang, Chanyang Sur, Hyun Woo Kim, Minha Choi

요 지

토양과 식물의 앞에서 일어나는 증발산은 주로 증발접시, 침루계 등을 이용하여 실측하거나 에디 공분산, Bowen 비 등을 이용하여 경험적으로 측정할 수 있으나, 이러한 지점별 실측 자료는 공간적인 변동성이 큰 수문기상인자 특성상 지역적인 대표값으로 적용하는 데 어려움이 따른다. 본 연구에서는 이러한 기존 증발산 관측 방법의 단점을 보완하고자 인공위성 영상자료를 기반으로 한 원격탐사 기법을 이용하여 Penman-Monteith (PM)와 Priestley-Taylor (PT) 공간 증발산 산정 모형을 적용, 우리나라 증발산의 시공간적인 분포를 산정하였다. Terra 인공위성에 탑재된 Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS)로부터 제공되는 위성 영상 자료를 이용하여 기존에 연구된 증발산 모형을 이용하여 증발산을 산정하고 이를 상호 비교함으로써 우리나라에 대한 적용성을 검토하였다. 본 연구의 결과는 토양 및 식생이 소비하는 물의 양을 보다 정확하게 시공간적으로 파악하여 정부 차원의 수자원 관리 계획 수립에 유용하게 이용될 것이다.

핵심용어 : 증발산, 원격탐사, MODIS, Penman-Monteith, Priestley-Taylor

1. 서론

증발산은 토양에서 일어나는 증발과 식생 활동으로 인해 생기는 증산을 통칭하는 개념으로, 지표와 대기와의 상호작용 및 에너지 순환 연구에 큰 영향을 준다. 또한 지표, 대기 및 식물이 소비하는 물의 양을 결정하기 때문에 생태학, 농학, 수문학, 기상학 등 관련 학문의 연구와 관계 사업, 수자원 관리 계획 수립 등 실무와도 밀접하게 연관되어 있다. 현재 국내외에서는 증발접시 (evaporation pan), 침루계 (lysimeter), 미기상 관측 장비 등을 이용하여 이를 관측하고 있으나, 이러한 방법은 지점 중심의 관측 방법으로 공간적인 변동성이 큰 증발산 특성상 큰 불확실성을 내포하고 있다. 따라서 본 연구에서는 Terra 인공위성에 탑재된 Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) 다중분광센서를 이용한 원격탐사 기술을 적용, 잘 알려진 증발산 산정 방법인 Penman-Monteith (PM), Priestley-Taylor (PT) 공간 증발산을 산정하고 이를 서로 비

* 한양대학교 건설환경공학과 석사과정-E-mail : khwang@hanyang.ac.kr
** 한양대학교 건설환경공학과 석사과정-E-mail : sur0101@hanyang.ac.kr
*** 한양대학교 건설환경공학과 연구교수-E-mail : k4ecohydro@hanyang.ac.kr
**** 정회원.한양대학교 건설환경공학과 조교수-E-mail : mchoi@hanyang.ac.kr (교신저자)

교함으로써 증발산의 시공간 분포 특성 및 모형의 지역 적용성에 대하여 검토하고자 하였다.

2. 이론적 배경

2.1 연구지역 및 관측 데이터

증발산 산정값의 정확성 검증을 위해 증발산을 실측하고 있는 설마천 플럭스 타워 지점을 연구 지역으로 선정하였다. 경기도 파주시 적성면 설마리에 위치한 설마천 유역은 40%의 급경사를 가진 산악 지역으로, 유역 면적은 8.5 km², 유로 연장은 5.8 km이다. 증발산을 측정하고 있는 미기상 관측 장비는 설마천 유역 내 동경 126° 57' 19", 북위 37° 56' 20"에 위치해 있다.

연구에 이용된 위성 관측 데이터는 2008년 1월 1일부터 12월 31일까지 관측한 MODIS 육상/대기 자료이다. MODIS 육상 자료를 이용하여 지표면 온도, 식생지수, 알베도 등을 추출하고 MODIS 대기 자료로부터 대기의 기온, 기압, 이슬점 온도, 가강수량 정보 등을 추출하여 연구에 적용하였다. 적용된 MODIS 육상자료와 대기자료는 각각 1 km, 5 km의 공간해상도를 가지고 있다.

2.2 원격탐사 기반 PM 증발산 산정 모형

Mu et al. (2007)은 공기동역학적 방법과 에너지 수지 방법의 혼합 모형인 PM 기반 증발산 산정 모형을 제안하였다. Cleugh et al. (2007)에 의해 제안된 원격탐사 기반 증발산 산정 모형에 (1) 증기압 부족분과 최저기온을 이용한 기공 전도도 제약 조건 추가, (2) 엽면지수 (Leaf Area Index, LAI)를 이용한 수관 전도도의 산정, (3) 토양에서 일어나는 증발량 산정 과정 추가 등을 이용하여 증발산 산정 방법을 개선하였다 (Mu et al., 2007). 증발산 산정 방법의 기반이 되는 P-M 방정식은 다음과 같다 (Monteith, 1965).

$$\lambda E = \frac{sA + \rho C_p (e_{sat} - e) / r_a}{s + \gamma (1 + r_s / r_a)} \quad (1)$$

여기서 λE 는 잠열 에너지 플럭스 (Wm^{-2}), e_{sat} 은 포화증기압 (Pa), s 는 포화증기압-온도 관계 곡선의 기울기, A 는 가용 에너지 플럭스 (Wm^{-2}), ρ 는 공기의 밀도 (kgm^{-3}), C_p 는 공기의 비열 ($Jkg^{-1}K^{-1}$), e 는 실제증기압 (Pa), r_a 는 공기동역학적 저항 (sm^{-1}), r_s 는 표면 저항 (sm^{-1}), γ 는 습도계 상수 (PaK^{-1})이다.

2.3 PT 증발산 산정 모형

Priestley and Taylor (1972)는 PM 방정식의 공기동역학적 인자 항을 경험계수인 α 를 이용함으로써 다음 식과 같이 간략하게 나타내었다 (Stisen et al., 2008).

$$ET = \alpha \left[\frac{\Delta}{\Delta + \gamma} (R_N - G) \right] \quad (2)$$

여기서 ET는 증발산 플럭스 (Wm^{-2}), α 는 Priestely-Taylor 매개변수, Δ 는 포화증기압-온도 관계 곡선의 기울기, R_N 은 순복사 에너지 플럭스 (Wm^{-2}), G 는 토양열 에너지 플럭스 (Wm^{-2})를 나타낸다.

PT 모형의 가장 큰 장점은 식의 형태가 간단하고 다른 증발산 산정 방법에 비해 필요한 대기/에너지 인자가 적어 활용범위가 넓다는 데 있다. α 는 일반적인 대기와 습한 지표 조건에서 1.26의 값을 가지며 (Brutsaert, 1982), 본 연구에서는 선행연구에서 제시된 경험적인 방법을 이용하여 실제 증발산을 산정하고, 이를 관측자료 및 PM 모형과 비교하였다 (Jiang and Islam, 2001).

3. 결과 및 고찰

2008년에 관측된 MODIS 육상/대기 자료를 이용하여 공간해상도 1 km의 증발산 분포를 산정, 이를 연구지역인 설마천 플럭스 타워 관측자료와 비교함으로써 증발산 모형의 정확성을 검증하였다 (그림 1). 관측자료에 대한 모형 결과의 회귀분석 결과, PM 모형과 PT 모형은 각각 0.59, 0.74의 상관계수를 가져 연구지역에 대한 증발산의 시간 분포 경향이 비교적 정확하게 구현되고 있음을 확인하였다.

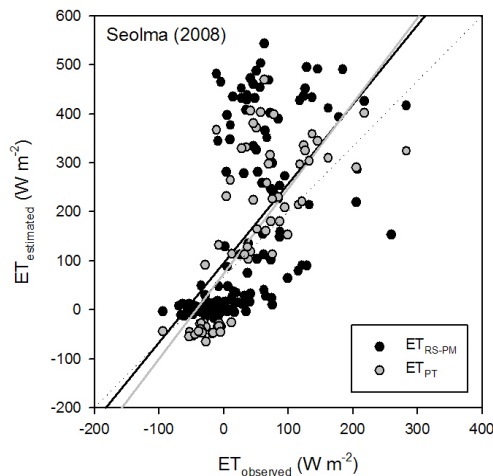


그림 1. 플럭스 관측 자료를 이용한 PM, PT 증발산 산정 모형의 정확성 검증 그래프

그림 2는 2008년 8월 4일 11시 10분 (한국 시각)에 관측된 MODIS 관측 이미지 데이터를 이용하여 산정된 PM 모형과 PT 모형 결과를 각 격자에 대해 비교한 그래프이다. 분석 결과, PM 증발산에서 나타나는 공간 변동성이 PT 증발산의 공간 변동성보다 크다는 것을 확인할 수 있으며, 공기 동역학적 인자를 경험상수로써 대체한 PT 방법이 가지는 특징으로 볼 수 있다.

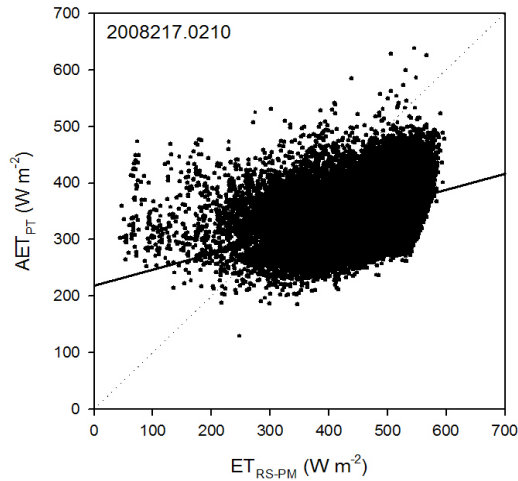


그림 2. PM, PT 모형 결과 비교 그래프

4. 결론 및 제언

본 연구에서는 MODIS 위성 관측 자료를 이용하여 잘 알려진 증발산 산정 모형인 PM, PT 모형을 적용, 2008년에 대한 우리나라의 증발산 분포를 시공간적으로 산정하고, 이를 설마천 유역에 설치된 플릭스 타워 증발산 관측자료와 비교함으로써 두 모형의 지역 적용성을 확인하였다. 또한 두 증발산 산정 모형의 공간적인 비교를 통해 PM 증발산에서 상대적으로 보이는 높은 공간 변동성을 확인할 수 있었다. 향후 두 모형에서 나타나는 차이점의 분석을 통해 모형 특성이 증발산에 미치는 영향을 규명하여 원격탐사 기반 증발산 산정 방법의 정확성을 향상시키고자 한다.

감사의 글

이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임(20110005005)

참고 문헌

1. Brutsaert, W. (1982). *Evaporation into the Atmosphere: Theory, History, and Applications*. Dordrecht, Holland: D. Reidel.
2. Cleugh, H.A., Leuning, R., Mu, Q., and Running, S.W. (2007). Regional evaporation estimates from flux tower and MODIS satellite data. *Remote Sensing of Environment*, Vol. 106, pp. 285-304.
3. Jiang, L., and Islam, S. (2001). Estimation of surface evaporation map over southern Great Plains using remote sensing data. *Water Resources Research*, Vol. 37, pp. 329-340.
4. Monteith, J.L. (1965). Evaporation and environment. *In, Symposia of the Society for Experimental Biology*, pp. 205-234.
5. Mu, Q., Heinsch, F.A., Zhao, M., and Running, S.W. (2007). Development of a global evapotranspiration algorithm based on MODIS and global meteorology data. *Remote*

Sensing of Environment, Vol. 111, pp. 519–536.

6. Priestley, C.H.B., and Taylor, R.J. (1972). On the assessment of surface heat flux and evaporation using large-scale parameters. *Monthly weather review*, Vol. 100, pp. 81–92.
7. Stisen, S., Sandholt, I., Nørgaard, A., Fensholt, R., and Jensen, K.H. (2008). Combining the triangle method with thermal inertia to estimate regional evapotranspiration – Applied to MSG-SEVIRI data in the Senegal River basin. *Remote Sensing of Environment*, Vol. 112, pp. 1242–1255.