

토양-식생-대기 모형인 SiB2를 이용한 설마천 유역의 증발산량 추정

조재일¹, 김원식²

¹건국대학교 생명과학과, ²연세대학교 대기과학과

Evaluation of Evapotranspiration in Solma River Basin Using Soil-Vegetation-Atmosphere Transfer Scheme (SiB2)

Jaeil Cho¹ and Wonsik Kim²

¹Department of Biological Science, Division of Natural Science, Konkuk University, Seoul 143-701, Korea, ²Department of Atmospheric Sciences, Yonsei University, Seoul 120-749, Korea

1. 서 론

육역 생태계에서 지면 증발과 식물 증산에 의한 증발산(evapotranspiration)은 대상 지역의 수자원 관리 및 에너지 순환 이해를 위한 가장 기본적인 정보가 되므로 그 정도의 정량화 자료 구축은 매우 의미 있는 작업이다. 경험식을 바탕으로 한 Penman-Monteith 방정식은 증발산량의 계산을 위해서 널리 쓰이고 있는 방법인데 (Allen et al., 1989; Jensen et al., 1990), 이를 통해서 잠재 증발산(potential evapotranspiration)을 도출해 낼 수 있다. 이것은 토양수분이 충분한 환경에서의 기상에 따른 그 지역 지면 및 식생의 최대 가능한 증발산량을 의미하는 것으로 실측값 또는 현실적으로 모사하는 모델을 통한 증발산량과 비교하여 증발산에 영향을 미치는 작물계수(Kc) 및 지면 컨덕턴스 값(surface conductance)을 다양한 지역에서 알아 낼 수 있다 (A. Grelle et al., 1999). 이것은 한국 지면 환경에 대한 이해로 이어져 우리나라 전체의 증발산량 추정에 도움을 주어 효과적인 수자원 관리와 생태계의 물질순환 이해에 도움을 줄 것이다. 그러나 우리나라의 다양한 지역에서의 장기간 증발산량 관측 축적 자료가 부족한 실정이므로 모형을 통해 실제 증발산량(actual evapotranspiration)을 추정하고, 그 값을 잠재 증발산량과 비교·분석하여 정량화를 시도할 수 있다.

SiB2(simple biosphere model 2)은 지표면 모델(land surface model) 중의 하나로서 토양-식생-대기가 동시에 고려된 모델로서 지면의 에너지, 물 그리고 CO₂ 순환을 종합적으로 평가한다 (Sellers, 1996). 특히 지표면 식물군락의 생리생태학적 기능을 함께 모사하기 위한 광합성-컨덕턴스 스킴(Photosynthesis-Conductance scheme)을 가지고 있어, 기상 변동 및 식물의 종류에 따른 최대 광합성량과 기공 저항값을 통한 식물 증산(transpiration)을 보다 현실적으로 모사할 수 있다 (Kim, 2001). 따라서 기상자료와 식생 및 토양 정보가 입력된 SiB2의 구동을 통해 대상 지역의 효과적인 증발산량 추정에 기여할 것이다.

2. 대상 지역 및 방법

증발산량 추정을 위한 대상 지역은 경기도 파주군 적성면 설마천 유역(동경 126° 56', 북위 37° 55')으로서 식생은 온대활엽수림이며, 토양성분은 로암(loam)의 성분비율이 높다. 식생 자료는 인공 위성 정보인 ISLSCP data(International Satellite Land Surface Climatology Project; 87년)를 사용하였다.

SiB2가 설마천에서의 수문수지 현상을 현실적으로 모사하고 있음을 확인하기 위해 2003년 5월

와 공분산 방법(eddy covariance method)를 통해 관측된 증발산량, 즉 잠열(latent heat flux)과 SiB2를 통해 모사된 값을 비교하였다.

SiB2는 생물화학모형(biochemical model)을 사용하고 있으므로, 식생의 광합성과 증발산 추정에서 가장 기본이 되는 변수인 기공전도도(stomatal conductance)를 현실적으로 구한다 (1). 따라서 설마천에서 1년(2001) 동안 SiB2에 의해서 모사되어진 실제 증발산량을 Penman-Monteith 방정식에 도입하여 r_s (surface resistance; $1/r_s = G_s$, surface conductance)를 구하고, 그 값의 상위 5%의 평균값을 취하여 $G_{s, \max}$ 를 구하였다. 이를 다시 Penman-Monteith 방정식에 넣어서 잠재 증발산량을 도출했다. (A. Grelle et al., 1999).

$$g_c = m \frac{A_c}{C_s} h_s p + b L_T \quad (1)$$

g_c = leaf stomatal conductance ($\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)

m = empirical coefficient from observation,

= 9 for C3 vegetation

= 4 for C4 vegetation

b = empirical coefficient from observation ($\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)

= 0.01 for C3 vegetation

= 0.04 for C4 vegetation

h_s = relative humidity at leaf surface

C_s = CO2 partial pressure at leaf surface (Pa)

p = atmospheric pressure (Pa)

물수지에 있어서 증발산과 밀접한 관계를 가지는 또 하나의 중요한 요소인 유출량(runoff)에 대해 '건설기술연구원' 실측값을 SiB2 모사값과 비교함으로써 설마천 지역의 전체적인 물순환에 대해 알아보았다.

3. 결과 및 토의

3.1 SiB2와 관측된 증발산량

증발산을 가장 정확히 실측할 수 있는 최신의 방법은 초음파 풍속계와 가스 분석기를 통한 와 공분산 방법을 들 수 있다 (Baldocchi, et al., 1988). 설마천 유역에 설치한 이동식 타워를 통해 5월 (2003년)의 증발산량 및 SiB2 구동을 위한 기상 자료를 수집하였다.

관측 증발산 패턴 및 하루 중 최대 증발산량이 SiB2가 모사한 것과 매우 유사함을 알 수 있다 (Fig. 1). 이러한 결과는 Fig. 2에서 보는 바와 같이 직선 회귀식을 통해서도 80%의 높은 유의성을 나타낸다. 따라서 SiB2는 증발산량을 매우 현실적으로 시뮬레이션하고 있음을 알 수 있다. 이것은 SiB2가 다른 모델과 달리 식물의 생화학적 scheme을 가지고 있어 기공 전도도의 변화를 사실적으로 계산하고 있기 때문으로 생각된다.

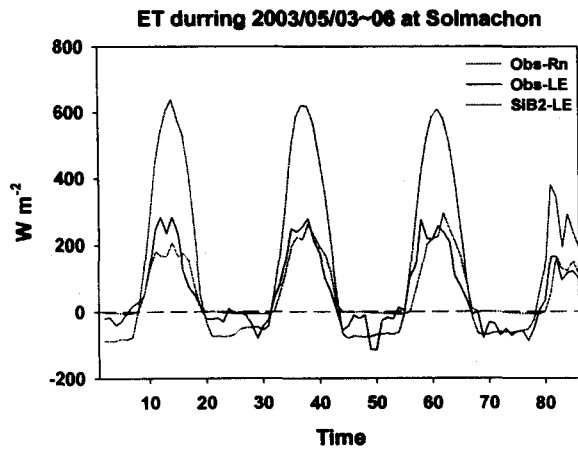


Fig. 1. 2003년 5월 3~5일에 관측된 현열, 잠열과 SiB2의 결과값.

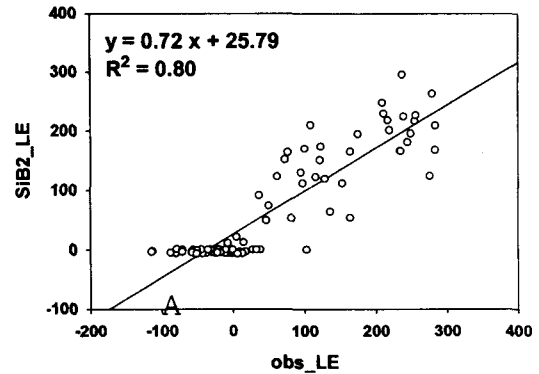


Fig. 2. 관측된 잠열과 SiB2를 통해 계산된 잠열과의 상관관계.

또한 SiB2는 밤에 일어나는 잠열의 (-)값, 즉 이슬의 형태로 나타나는 수증기 응결의 표현이 다소 미흡하여 장기간에 걸친 증발산 적산량에 있어서는 과대 평가할 여지가 있다 (Fig. 2 A)

3.2 설마천 유역의 증발산량 추정

설마천에서 2001년 한 해 동안의 증발산 추정에 있어서 Penman-Monteith 방정식에 의해 계산된 잠재 증발산량과 SiB2로 모사된 실제 증발산량을 비교하였다 (Fig. 3).

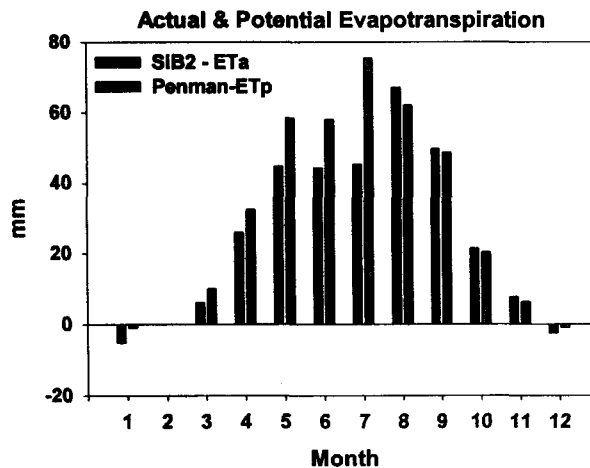


Fig. 3. SiB2 모사값과 PM 방정식을 통한 증발산량의 월 누적치.

한 해 동안의 증발산 적산치를 보면 잠재 증발산이 384mm, 실제 증발산량이 305mm로 잠재 증발산량이 보다 많은 값을 나타낸다. 그러나 2~7월에 이르는 기간에는 잠재 증발산이 SiB2에 의해 모사된 실 증발산량 보다 많은데 비해 8월 이후부터는 역전 되어 실 증발산량이 많게 나타난다. 이는 기공 전도도를 계산하는데 있어 중요한 변수인 LAI(leaf area index)를 2001년 당해 년도의 실측값이 아닌 87년의 인공위성 자료를 사용했으며, 그 자료의 지역 격자 또한 넓어서(100km²)

세밀한 설마천 유역의 식생의 LAI를 표현하지 못하므로 식물 증산을 현실감 있게 표현하지 못한 것으로 생각된다. 따라서 실제 증발산량이 잠재 증발산량 보다 높게 나타나는 8월 이후에서는 LAI가 높게 평가되었다고 예상되며 그에 따라 그 기간의 증발산량도 과대 평가 되었음을 알 수 있다.

특이적이게 8월에 잠재 증발산과 실제 증발산량의 차이가 가장 큰데 그 이유는 8월의 빈번한 강우로 인해 SiB2에서는 증산이 중단되는 경우를 모사해 주지만, PM 방정식에서는 그러한 경우를 체크해 주지 못하고 있기 때문으로 사료된다. 그러므로 식생이 변창하는 시기에 장마가 있는 우리나라 기후에서는 PM식이 증발산량을 과대 평가 할 여지가 있다.

3.3 SiB2를 통한 설마천 유역의 물수지 추정

설마천 유역에서의 유출량은 ‘건설기술연구원’에 의해서 관측되고 있다. 이에 2001년 ‘영국군 전적비교’에서 관측된 유출량을 SiB2에 의해서 모사된 값과 비교하였다. Fig. 3에서 보는 바와 같이 매우 유의한 패턴을 보였으며, 관측값이 결손된 1월 3~29일의 값을 제외한 유출량의 적산값에 있어서도 관측값이 1374m, 시뮬레이션 값이 1159m 로서 매우 유의한 결과를 얻었다.

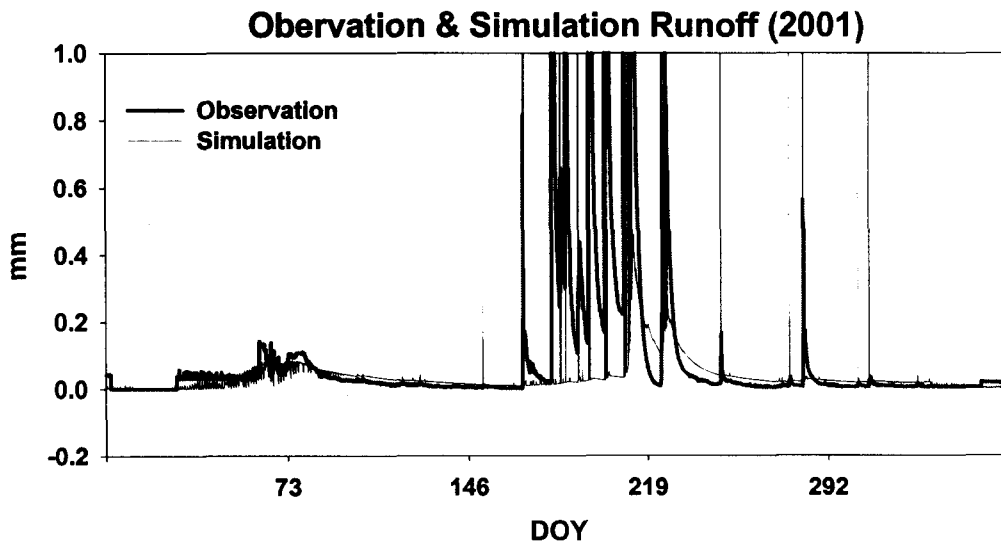


Fig. 4. 2001년 설마천 유역에서 관측된 유출량과 SiB2를 통해 모사된 유출량.
(※ 1월 3~29일 관측값은 결측되었다.)

이러한 사실적 모사는 유출량이 증발산과 함께 중요한 수문수지 요소임을 생각할 때 매우 의미가 크다. 물 순환에 있어서 입력 요소인 2001년 강우량이 1414.5mm 에서 총유출량이 1160mm, 총증발산량이 304mm 으로 각각 강우에 비해 82%, 21%의 비율을 나타낸다. 여러 가지 다른 물 수지 요소를 감안한다 해도 그 정도가 미약하므로 설마천 유역의 한 해 강우 입력에 대해 유출량과 증발산의 비가 8:2가 됨을 추정할 수 있다.

4. 요약

SiB2는 토양-식생-대기를 함께 모사하는 생물화학모형으로서 기후, 공기역학, 기공 전도도 만을

고려한 PM 방정식 보다 설마천 유역의 증발산량 추정에 보다 유의하다. 그러나 SiB2에서 보다 정확한 증발산량의 추출을 위해서는 LAI 값의 세밀성이 필요로 한다.

이에 따라 추정해본 설마천 유역의 물 수지 값은 유출량이 증발산량에 비해 8대 2의 비율로 더 많은 양을 차지하고 있었다.

인용문헌

Dickinson, R. E., Ann Henderson-Sellers, Cynthia Rosenzweig, and Piers J. Sellers, 1991: Evapotranspiration Models with Canopy Resistance for Use in Climate Models, A Review. *Agricultural and Forest Meteorology* 54: 373-388.

Grelle, A., A. Lindroth, and M. Mölder, 1999: Seasonal variation of boreal forest surface conductance and evaporation. *Agricultural and Forest Meteorology* 98-99, 563-578.

Kang, Shaozhong, Cai Huanjie, and Zhang Jianhua, 2000: Estimation of maize evapotranspiration under water deficits in a semiarid region. *Agricultural Water Management* 43, 1-14.

Kim, Wonsik Takashi Arai, Shinjiro Kanae, Taikan Oki and Katumi Musiake, 2001: Application of the Simple Biosphere Model (SiB2) to a Paddy Field for a Period of Growing Season in GAME-Tropics. *Journal of the Meteorological Society of Japan* 79, 387-400.

Sellers, P. J., Y. Mintz, Y.C. Sud, and A. Dalcher, 1986: A Simple Biosphere Model (SiB) for Use within General Circulation Models. *Journal of the Atmospheric Sciences* 43(6), 505-531.

Sellers, P. J., D. A. Randall, G.J. Collatz, J.A. Berry, C.B. Field, D.A. Dazlich, C. Zhang, G.D. Collelo, and L. Bounoua, 1996: A Revised Land Surface Parameterization (SiB2) for Atmospheric GCMs. Part I: Model Formulation. *Journal of Climate* 9: 676-705.