

원격탐사 자료와 GIS를 이용한 일 증발산량 추정

○채효석*, 송영수**

1. 서론

본 연구는 1995년도 보청천 유역을 대상으로 획득된 5개의 Landsat TM 자료를 분석하여 열수지 요소를 추출하고, 에너지 수지식으로부터 잠열을 추정하여 일 증발산량을 계산하였다. 이를 위해서 Landsat TM 자료로부터 현열, 지중열 및 잠열을 추정하고, 추정된 열수지 요소가 증발산량에 미치는 영향을 분석하기 위해서 민감도 분석과 오차분석을 실시하였다. 연구결과, Landsat TM 자료를 이용하여 보청천 유역에서 추정된 일 증발산량은 11월 27일의 경우 약 1.30mm/day로 가장 작게 나타났으며, 5월 3일의 경우 3.75mm/day 정도로 가장 크게 나타났다. 아울러, 민감도 분석결과 순방사량이 약 16.5%내지 23.6%로 가장 큰 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 지표면 온도와 대기온도 및 풍속 등도 다른 인자에 비해 크게 영향을 주는 것으로 나타났다.

2. Landsat TM 자료에 의한 증발산량 추정

열수지식을 기초로 잠열(latent heat)은 다음과 같이 나타낼 수 있다(Reginato et al., 1985; Jackson et al., 1987).

$$LE = Rn - H - G \quad (1)$$

여기서, LE 는 기화열(J/kg)과 증발율($kg/s/m^2$)의 곱으로 표현되는 잠열(W/m^2)이며, Rn 은 지표면에 입사하는 순방사량(W/m^2)으로 태양과 대기로부터 입사되는 태양 복사에너지($0.15 \sim 4 \mu m$)와 지표로부터 대기로 방사되는 지구 복사에너지($>4 \mu m$)의 차이이다. 또한, G 는 지표면으로부터 지중으로 전달되는 지중열 전도량(W/m^2)이며, H 는 현열(W/m^2)이다.

위 식으로부터 증발산량을 추정하기 위해서는 증발에 필요한 기화열을 고려해야 하며, 열수지를 고려한 광역 증발산량(mm/h)은 다음과 같이 같이 추정할 수 있다.

* 한국수자원공사 수자원연구소 연구원

** 전북대학교 공과대학 자원공학과 교수

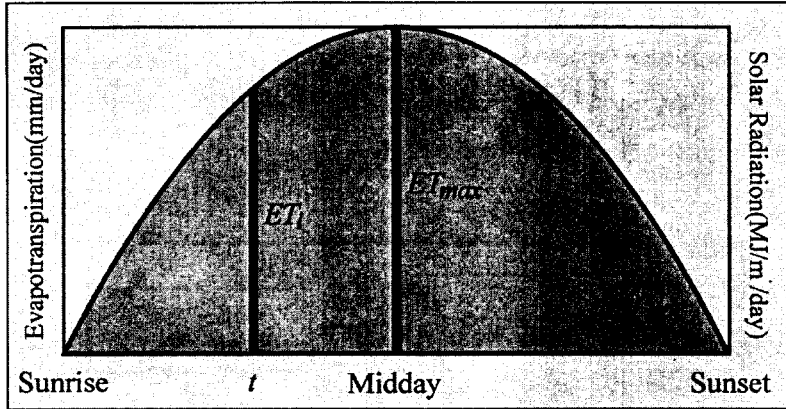


그림 1. 증발산량과 일사량의 시간적 분포 양상

$$ET_i = 3600 \frac{R_n - H - G}{(2.501 - 0.002361 T_s)} \quad (2)$$

위와같이 열수지를 고려하여 추정된 증발산량은 열의 수직적인 흐름만을 고려하고 있기 때문에, 실제로 발생하는 열의 수평적 흐름에 대한 고려는 무시하고 있다. 따라서, 이 부분에 대한 고찰은 민감도와 오차분석을 통해서 실시하였다. Landsat TM 자료로부터 추정되는 증발산량은 자료가 획득되는 시점에 대한 추정값이므로 일별 증발산량으로 변환되어야 한다. 만약, 하루동안 태양 복사에너지와 증발산량이 그림 1과 같이 사인형태를 가진다고 가정한다면, 추정되는 일 증발산량은 다음과 같다(Jackson et al.,1983).

$$ET_d = \frac{2N ET_i}{\pi \sin(\pi t/N)} \quad (3)$$

여기서, N 은 일조시간(h), t 는 위성관측시간(h), ET_i 는 위성 관측시간에 대해 추정되는 증발산량(mm/h)이며, ET_d 는 원격탐사 자료로부터 추정되는 일 증발산량(mm/day)이다.

3. 연구방법

Landsat TM 자료와 GIS 기법을 이용하여 지표면 열수지 요소를 추출하기 위해서 1995년도 보청천 유역에 대한 1월 11일, 4월 1일, 5월 3일, 10월 10일 및 11월 27일 등 5개의 Landsat TM 자료를 분석하였다. Landsat TM 자료는 일본의 RESTEC (Remote Sensing Technology of Japan)에서 구입하였다. 보청천 유역 자료는 WRS (World Reference System)의 Path 115 - Row 35에 해당하는 subscene B이며, 자료의 형태는 BIL (band interleaved by line)이다.

그림 2는 본 연구에 대한 흐름도를 나타낸 것으로, 1초 간격의 수치표고자료로부터 경사도와 경사방향도를 작성하였다. 또한, 기하학적 보정과 대기보정을 실시한 Landsat TM 자

료를 이용하여 지표면 알베도 및 온도, 그리고 식생지수 등에 대한 정보를 추출하였다. 이러한 자료들과 기상자료를 이용하여 잠열을 계산하고, 계산된 잠열을 이용하여 보정천 유역에 대한 일 증발산량을 추정하였다. 아울러, 오차 분석과 민감도 분석을 실시하여 추정된 열수지 요소가 증발산량에 미치는 영향을 분석하였다.

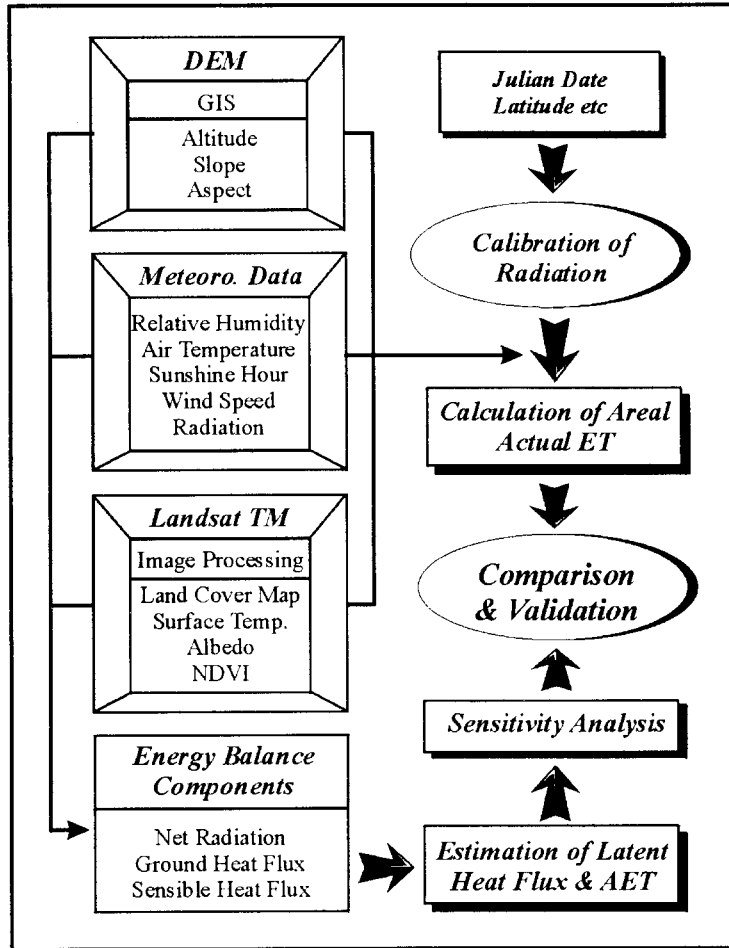


그림 2. 지표면 열수지 요소를 추출하기 위한 흐름도

4. 결과 및 고찰

4-1. 일 증발산량 추정결과

본 연구에서 개발된 기법의 적용성을 검토하기 위해서 지표면 열수지를 이용한 광역 증발산량을 추정하였다. Landsat TM 자료를 이용하여 열수지 요소를 추출한 후, 기화열과 증발율의 곱으로 표현되는 잠열을 추정하였다. 추정된 잠열은 증발에 필요한 기화열로 나누어 증발산량을 추정하였으며, 추정된 증발산량은 Landsat TM자료가 획득되는 순간에 대

한 값이다.

Landsat TM 자료로부터 추정된 잠열을 이용하여 증발산량으로 변환한 후, 이들에 대한 공간적인 분포 양상을 파악하기 위해 공간분포도를 작성하였다(그림 3~그림 7). 전체적으로 Landsat TM 자료로부터 열수지 요소를 계산하기 위해서 추출된 알베도, NDVI 및 지표면 온도 등과 밀접한 관계를 나타내고 있는 것을 알 수 있다. 즉, 추정된 증발산량은 NDVI 및 알베도와는 상반되는 결과를 보이고 있는 반면, 지표면 온도와는 같은 양상을 보이고 있다.

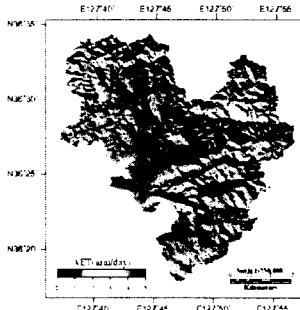


그림 3. 1월 11일의 추정결과

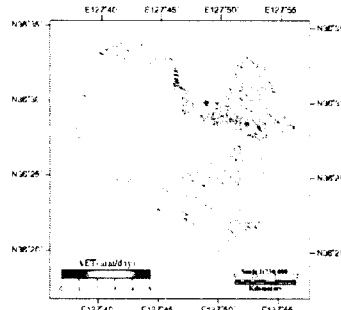


그림 4. 4월 1일의 추정결과

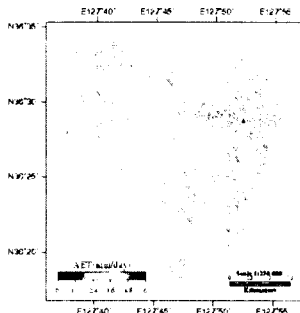


그림 5. 1월 11일의 추정결과

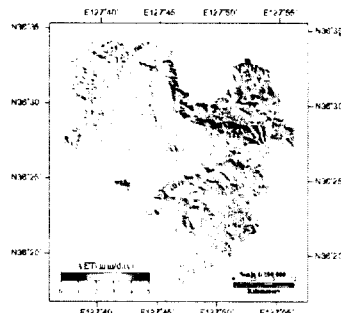


그림 6. 4월 1일의 추정결과

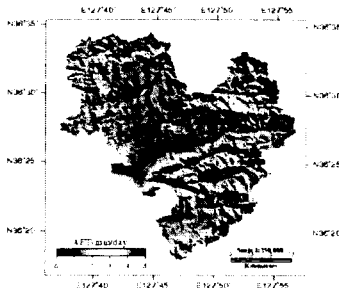


그림 7. 11월 27일의 추정 결과

한편, 추정된 각 토지피복별 증발산량의 변화량 살펴보면, 1월 11일의 경우에 산림에서는 1.39mm/day로 저수지나 하천을 포함한 수역에서 증발산량이 1.60mm/day보다 약 0.21mm/day가 작게 나타나고 있다. 또한 논이나 도시지역에서는 거의 비슷한 값을 보이고

있는 것을 알 수 있다.

4-2. 민감도 분석 및 오차 분석

본 연구에서 추정된 열수지 요소에 대한 정밀도와 증발산량에 미치는 영향을 분석하기 위해서 민감도와 오차 분석을 실시하였다. 오차분석과 민감도분석을 위해서 Landsat TM 자료로부터 계산된 현열 및 지중열 전도량과 같은 열수지 요소를 이용하였으며, 현열을 추정하기 위해서 이용된 풍속과 지표면 온도 및 대기압 등은 기상관측에 의해서 얻어진 자료를 이용하였다. 민감도 분석과 오차 분석은 순방사량 등 8개의 변수를 이용하였으며, 각 변수에 10%의 오차를 포함시켰다.

그림 8은 민감도 및 오차 분석에 사용된 각 인자들에 대한 결과를 나타낸 그림으로, 5개의 자료에서 모두 순방사량에 대한 민감도가 가장 크게 나타나고 있는 것을 알 수 있다. 4월 1일과 5월 3일의 결과에서는 지표면 온도도 상당한 영향을 미치는 것으로 나타나고 있지만, 1월 11일에서는 대기온도가 더 큰 영향을 주는 것을 알 수 있다. 그러나, 11월 27일의 분석결과에서는 풍속이 더 큰 영향을 주는 것으로 나타나고 있는 데, 이는 풍속에 의한 영향은 거의 일정하지만 상대적으로 잠열 성분이 작기 때문에 나타나고 있다. 따라서 민감도 분석에서 알 수 있듯이 순방사량, 지표면 온도 및 대기온도, 그리고 풍속 등이 Landsat TM 자료를 이용하여 증발산량을 산정하는 경우에 매우 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다.

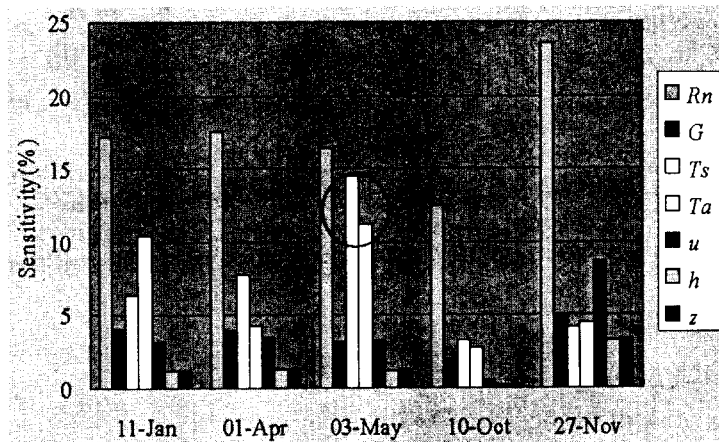


그림 8. 각 인자에 대한 민감도 분석 결과 비교

5. 결 론

Landsat TM 자료와 GIS를 이용하여 지표면 열수지 요소를 공간적으로 추출할 수 있는 기법을 개발하고, 개발된 기법의 적용성과 정밀도를 검증하기 위해서 광역 증발산량을 추정하였다. 이를 위해 1995년도 보청천 유역에 대해 획득된 5개의 Landsat TM 자료를 이용하여 열수지 요소와 관련된 인자들을 추출하였다. 또한, 실제 기상 관측자료와 Landsat

TM 자료로부터 광역 증발산량을 추정하였다.

Landsat TM 자료로부터 추정된 증발산량은 11월 27일의 결과 1.30mm/day로 계산되었으며, 5월 3일의 경우에는 3.75mm/day로 가장 크게 나타났다. 따라서, 모델링에 의해 계산된 값과 원격탐사 자료로부터 추정된 값의 차이가 약 8.7% 내지 13.6% 정도로 매우 작게 나타나 Landsat TM 자료와 GIS를 이용하여 정확한 광역 증발산량을 추정할 수 있는 가능성이 확인되었다.

열수지 요소에 대한 정확도와 증발산량에 해당하는 잠열에 미치는 영향을 분석하기 위해 민감도 및 오차분석을 실시한 결과, 순방사량이 16.5% 내지 23.6%의 민감도로서 지표면 온도와 대기온도 및 풍속 등도 다른 인자에 비해 가장 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있었다. 따라서, Landsat TM 자료를 이용하여 지표면 열수지 요소를 정확히 추출하고 이를 이용하여 광역에 대한 증발산량을 추정할 경우, 순방사량과 같은 기상적인 요소를 정확히 측정하고 아울러 인공위성 자료에서 추출되는 알베도나 지표면 온도 등에 대한 정확도를 향상시킬 경우 광역 증발산량에 대한 보다 정확한 공간분포를 파악할 수 있을 것으로 사료된다.

6. 참고문헌

- Jackson, R. D. et al., 1987, Evaluating evaporation from field crops using airborne radiometry and ground-based meteorological data, *Irrig. Sci.*, vol. 8, pp. 81-90.
- Jackson, R., D., et al., 1983, Estimates of daily evapotranspiration from one time of day measurements, *Agri. Water Mang.*, vol. 7, pp. 351-362.
- Kustas, W. P. & Norman, J. M., 1996, Use of remote sensing for evapotranspiration monitoring over land surfaces, *Hydrol. Sci. J.*, vol. 41, pp.495-516.
- Moran, M. S., et al., 1989, Mapping surface energy balance components by combining Landsat Thematic Mapper and ground-based meteorological data, *Remote Sens. Environ.*, vol. 30, pp. 77-87.
- Pinker, R. T., Frovin, R., & Li, Z., 1995, A review of satellite methods to derive surface shortwave irradiance, *Remote Sens. Environ.*, vol. 51, pp. 108-124.
- Price, J. C., 1982, Estimation of regional scale evaporation through analysis of satellite thermal-infrared data, *IEEE Trans. Geosci. Remtoe Sens.*, GE-20, 286-292.
- Reginato, R. J., Jackson, R. D., & Pinter, P. J. Jr., 1985, Evapotranspiration calculated from remote multispectral and ground station meteorological data, *Remote Sens. Environ.*, vol. 18, pp. 75-89.
- Sellers, P. J., et al., 1995, Remote sensing of the land surface for studies of global change: Models-algorithms-experiments, *Remote Sens. Environ.*, vol.51, pp. 1-17.