

# LAI를 고려한 유역 증발산량 분포 분석

## Estimation of Evapotranspiration Distribution using LAI

김주훈\* · 김경탁\*\* · 박정술\*\*\*

Joo Hun Kim, Kyung Tak Kim, Jung Sool Park

### 요 지

수문순환 과정에서 증발산은 물이 유역으로부터 제거되는 주요 기작으로서, 증발산에 중요한 역할을 하는 식물은 지구 육지 표면의 약 70% 정도를 점유하고 있으며, 생태계의 가장 중요한 구성인자로서, 식물의 종류 및 군집의 공간적 분포유형, 생육주기 및 형태적 변화 등과 같은 정보들은 그 지역의 기후, 토양, 지질, 지리적 특성을 밝히는데 중요한 역할을 한다. 식생관련 정보 중 엽면적 지수란 단위지표면적당 총 엽면적의 비를 나타내는 것으로 환경생태, 기상, 수문분야에서 다양하게 활용되고 있다. 본 연구에서는 Landsat 위성영상과 DEM 등의 GIS 자료를 이용하여 지형적인 요소를 고려하여 유역의 증발산량을 분포형으로 산정하는 것을 목적으로 하고 있다. 연구대상유역은 한강의 제1지류인 경안천유역으로 하였고, 증발산량 산정에 필요한 기상자료는 월평균기온, 수평면일사량, 상대습도를 이용하였고, 일사량비와 일조시간비 계산을 위해 위도별에 따른 총일조시간과 월평균일사량을 계산하였다. 잠재증발산량 산정은 Penman-Monteith식을 이용하여 산정하였으며, 식생지수와 밀접한 관계가 있는 LAI를 고려하여 산정하였다.

**핵심용어** : 증발산, 엽면적지수, Landsat, Penman-Monteith, 지리정보시스템

### 1. 서론

수문순환 과정에서 증발산은 물이 유역으로부터 제거되는 주요 기작으로서, 증발산에 중요한 역할을 하는 식물은 지구 육지 표면의 약 70% 정도를 점유하고 있으며, 생태계의 가장 중요한 구성인자로서, 식물의 종류 및 군집의 공간적 분포유형, 생육주기 및 형태적 변화 등과 같은 정보들은 그 지역의 기후, 토양, 지질, 지리적 특성을 밝히는데 중요한 역할을 한다.

현재 GIS 및 원격탐사기법은 수문 및 수자원 분야를 비롯해 많은 분야에서 응용되고 있으며, 유역의 증발산량 분포 또한 유용하게 지표면의 상태를 파악할 수 있는 인공위성 원격탐사 기법에 의한 방법이 시도되고 있다. 유역에서의 공간분포의 중요성은 여러 차례 지적되어 왔으며, NGIS 자료 및 공통주제도 등의 구축에 의해 지형 및 지질, 토양, 식생 등의 자료가 공간 분포형으로 구축되고 있다. 이와 같이 유역의 각종 지형 정보가 분포형으로 구축됨에 따라 이들 정보를 이용한 다양한 수문해석의 결과도 분포형의 격자화된 정보의 필요성이 요구되고 있다.

본 연구에서는 여러 시기의 Landsat 위성영상자료로부터 지표면 에너지수지 관련 요소인 알베도, LAI 등의 자료를 추출하고 DEM, 토지피복도 등의 GIS 자료를 이용하여 지형적인 요소를 고려한 유역의 증발산량을 분포형으로 추정해 보고자 하였다.

### 2. 원격탐사 자료

\* 정회원 · 한국건설기술연구원 수자원연구부 선임연구원 · E-mail : jh-kim@kict.re.kr  
\*\* 정회원 · 한국건설기술연구원 수자원연구부 선임연구원 · E-mail : ktkim1@kict.re.kr  
\*\*\* 정회원 · 한국건설기술연구원 수자원연구부 연구원 · E-mail : parkjs@kict.re.kr

1960년대부터 원격탐사 기술은 여러 분야에서 광범위하게 활용되고 있으며, 특히, 식물로 구성된 다양한 지역(농지, 산림, 초지, 습지 및 도시녹지)에서 식물의 생물리학적 특성을 나타내는 다양한 인자들을 밝혀내고자 노력해 왔으며, 이러한 노력의 대부분은 식생지수(vegetation index)의 개발로 이어져 왔다. 식생지수는 녹색식물의 상대적 분포량과 활동성, 엽면적지수 등과 관련된 지표로 사용된다. 대부분의 식생지수는 정보량 측면에서 기능적으로 거의 같지만, 몇몇 식생지수들은 나름대로 독특한 생물리적 정보를 제공한다(Perry와 Lautenschlager, 1984; Qi 등 1995).

최초의 식생지수는 1968년 Birth와 McVey에 의하여 발표된 적색과 근적외선 영역에서의 반사값을 나눈 단순 식생지수(SR)로 알려져 있다(Cohen, 1991).

$$SR = \frac{NI}{Red} \quad (1)$$

엽면적지수(Leaf Area Index, LAI)는 단위지표면적에 자라고 있는 모든 잎들의 면적(양쪽이 아닌 한쪽면)의 합을 지표면적으로 나눈 비율이다. 즉, 단위면적당 모든 잎층(leaf layer)의 축적된 잎의 전체밀도로서 정의한다. LAI는 중요한 생물학적 인자로서 태양에너지와 실질적으로 접촉하는 표면인 동시에 원격탐사 신호의 대부분을 만들어 내며, 대기중 탄소의 흡수와 교환이 이루어지는 표면이다(Chen and Black, 1992).

### 3. 잠재증발산량(PET, Potential Evapotranspiration)

PET개념은 Thornthwaite(1948)에 의해 기후 분류법의 일부로서 처음 도입되었고, PET를 무한의 토양수분의 공급이 가능하고 이류나 열저류 효과가 없이 성장하는 식생으로 균일하게 피복된 넓은 유역으로부터 증발산이 발생하는 비율로 정의하였다. 증발산 비율은 많은 식생 표면 특성에 따라 영향을 받기 때문에 Penman(1956)은 PET를 “녹색작물이 지면을 완전히 덮고, 균일한 높이와 물부족이 전혀 없는 상태에서 증산되는 수분량”이라고 정의하였다.

Penman-Monteith 방법은 증발산을 유지하기 위한 에너지, 수증기를 제거하기 위한 기작의 강도, 공기역학적저항, 표면저항을 설명하기 위한 요소들로 구성되어 있다.

$$\lambda ET = \frac{\Delta \cdot (R_n - G) + \rho_a \cdot c_p \cdot [e_s - e_a] / r_a}{\Delta + \gamma \cdot (1 + r_s / r_a)} \quad (2)$$

Penman에 의하면 지구상의 한 지점에서 실제로 받는 태양복사에너지  $R_s$ 는 대기권내에 도달하는 태양복사열량( $R_a$ )과 총 일조시간( $N$ )에 대한 일조시간( $n$ )의 비인 일조율( $n/N$ )에 의해 결정된다고 한다. 즉,

$$R_s = R_a \left( a + b \frac{n}{N} \right) \quad (3)$$

이론적으로 구해진 총 태양복사에너지는 실제 구름에 의한 영향이 고려되지 않은 값이므로 식(3)을 이용하여 일조율( $n/N$ )과 관측된 일사량 및 이론적인 총 태양복사에너지를 이용하여 구름에 의한 영향을 보정하여야 한다. 그림 1은 한강유역의 일사량자료를 이용하여 구름에 의한 영향을 보정하기 위한 회귀식을 통해 계수  $a$ ,  $b$ 를 구한 결과를 나타낸 것이다.

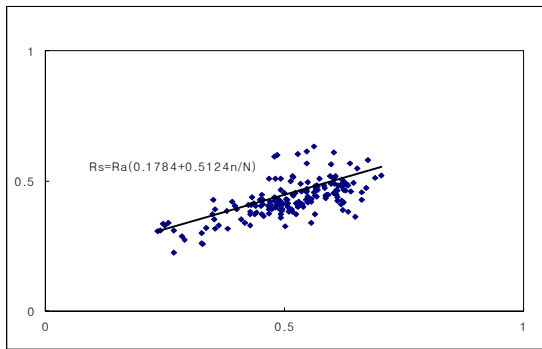


그림 1. 한강유역 태양복사 에너지

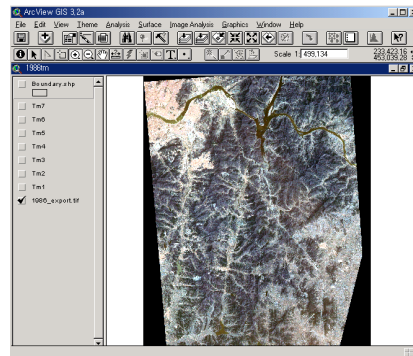


그림 2. Landsat TM 영상(1986년)

#### 4. 증발산량 분포 추정

본 연구에서 사용한 위성영상 자료는 5개의 영상자료를 이용하였다(표1). 이들 영상자료를 이용하여 단순 식생지수(그림3)와 식생역과 비식생영역에 대한 알베도(그림4), 그리고 엽면적지수(그림5)를 추정하였으며, 증발산에 영향을 미치는 식생피복은 2002년도 Landsat ETM+ 위성영상 자료를 이용하여 구축한 자료를 이용하였다. 또한 DEM자료는 고도에 따른 온도변화나 대기압을 계산하는데 이용하였다 (<http://dataware.kict.re.kr>). 기상자료는 수원기상관측소의 기상자료 이용하였고, 증발산량 산정에 이용한 기상자료는 월평균기온, 평균풍속, 기압, 수평면 일사량과 위도별에 따른 일사량비 및 일조시간비를 이용하여 분석하였다.

표 1. 위성영상 자료 및 기상자료

일시	항목	센서	평균기온 (°C)	기압 (mb)	습도 (%)	평균풍속 (m)	일사량 (MJ/m <sup>2</sup> )	일조시간 (hr)	소형증발점시 (mm)
1986/04/15		TM	11.5	1012.3	55.0	3.7	26.26	11.0	5.8
1990/04/10		TM	13.4	1018.3	60.8	1.4	18.77	11.0	4.9
1996/09/01		TM	23.1	1012.5	69.0	1.0	20.76	11.9	4.1
2000/04/29		TM	15.2	1016.5	47.8	1.1	24.63	10.8	6.2
2002/04/03		ETM+	14.7	1013.5	40.4	2.7	21.23	10.3	5.9

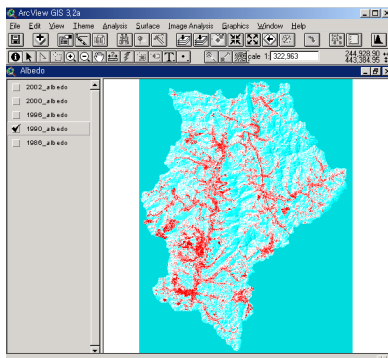


그림 3. 알베도 자료(1990년)

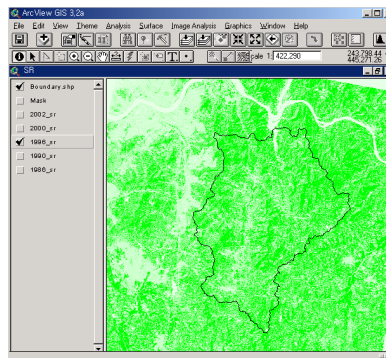


그림 4. SR map(1996년도)

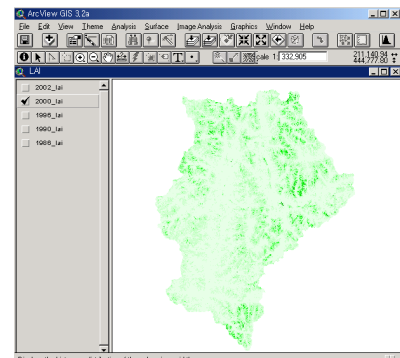


그림 5. LAI map(2000년)

## 5. 결론

본 연구는 Landsat TM(ETM+) 자료와 DEM, Landcover 등의 자료를 이용하여 지표면의 에너지수지 요소를 공간 분포형으로 추출하였고, 증발산량 분포는 Penman식을 이용하여 지역의 일일 잠재증발산량을 분포형으로 산정하였다. 산정결과 4월 영상들의 경우 일일평균 1.674mm/day~2.591mm/day 정도의 증발량이 산정되었으며, 9월영상의 경우 일평균 2.763mm/day로 4월 영상보다 다소 높게 나왔으나, 큰 차이를 보이지는 않았다. 향후 각 영상 자료 시기 전후의 기상상황을 분석하여 이들 자료의 적합성을 판단하고자 한다.

증발산량의 공간적 분포상황은 공간적 물수지 규명에 유용하게 이용될 수 있으며, 현재 연구되고 있는 분포형 유출해석 모형과도 자연스런 접목이 시도될 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구는 지역의 증발산량 분포를 추정하였으나, 앞으로 토지이용/토지피복상태에 따른 알베도, 여러 가지 식생지수와 센서의 반사도 및 방사휘도 등에 대한 분석과 이에 따른 지역 증발산량의 분포를 계속해서 판단하고자 한다.

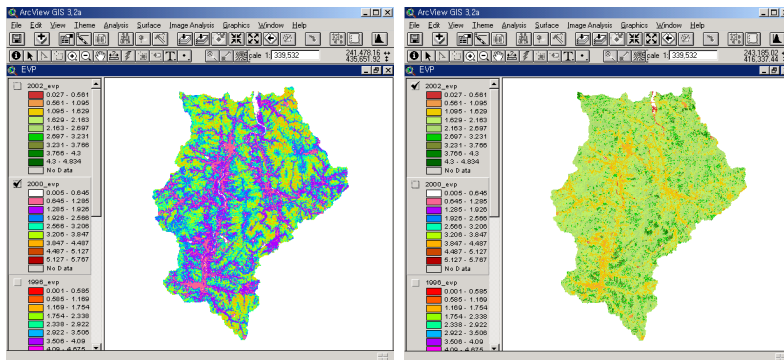


그림 6. 증발산량(2000년)

그림 7. 증발산량(2002년)

표 2. 지역 증발산량(mm/day)

항목	센서	최소	최대	평균
일시				
1986/04/15	TM	0.060	6.314	1.860
1990/04/10	TM	0.008	4.669	1.674
1996/09/01	TM	0.001	5.259	2.763
2000/04/29	TM	0.005	5.767	2.591
2002/04/03	ETM+	0.027	4.834	2.109

## 감사의 글

본 연구는 공공기술연구회의 일반연구사업(사업명 : 위성자료 공공활용 연구 - 위성영상을 이용한 하천정보생산 및 활용에 관한 연구)의 연구비 지원과 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비지원(과제번호: 1-2-1)에 의해 수행되었습니다.

## 참고문헌

- Chen, T. M. and T. A. Black.(1992). Defining Leaf Area Index for Non-flat Leaves, Plant, Cell and Environment, 15:421-429
- Cohen, W. B.(1991). Response of Vegetation Indices to Changes in Three Measure of Leaf Water Stress, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 57(2):195-202.
- FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56, Crop Evapotranspiration(guidelines for computing crop water requirements).
- Kotoda, K., 1986, Estimating of river basin evapotranspiration, Environmental Research Center Papers, Univ. Tsukuba, 8, pp1-92.
- Penman, H. L.(1956). Evaporation : An introductory survey. Netherlands J. Agric. Sci. 1:9-20.
- Perry, C. R. and L. F. (1984). Functional Equivalence of Spectral Vegetation Indices, Remote Sensing of Environment, 14:169-182.
- Qi., J., F. Cabot, M. S. Moran and G. Dedieu.(1995). Biophysical Parameter Estimations Using Multi-directional Spectral Measurements, Remote Sensing of Environment, 54:71-83.
- Thornthwaite, C. W.(1948). An approach toward a rational classification of climate. Geograph Rev. 38:55-94.
- <http://dataware.kict.re.kr>, <http://krsc.kict.re.kr>