

# SEBAL 모형을 이용한 증발산량의 추정

## 금강 상류지역을 대상으로

유진웅(서울대학교 지리학과 대학원)

### Estimation of Evapotranspiration with SEBAL Model in the Geumgang Upper Basin, Korea

Yoo, Jinwoong

**요약** : 증발산량의 정확한 산정은 자연현상과 인문현상을 이해하는데 있어 중요하다. 증발산량의 점추정이 갖는 한계를 극복하기 위해 원격탐사를 이용하여 증발산량을 추정하는 방법이 활발히 연구되고 있다. 이 중 SEBAL 모형은 원격탐사 자료를 이용하는 기존의 방법에 비해 소요되는 자료가 적으면서도, 증발산량을 정확하게 추정하는 방법으로 알려지고 있다. 이 연구에서는 우리나라 지형에서 SEBAL 모형의 적용 가능성을 검증하였고, 증발산량 분포의 시공간적 특성을 살펴 보았다. 연구 지역은 금강 상류의 보청천 유역이며, Landsat 5 TM영상(1995년 1월 11일, 4월 1일, 5월 3일, 10월 10일, 11월 27일)을 이용하였다.

**Abstract** : Exact estimation of evapotranspiration is important to understand natural phenomena and social issues associated with the climate such as irrigation scheme, reservoir water management, and many other meteorological and climatological problems. To overcome limits of point measurement of evapotranspiration, several models have been developed through the techniques of remote sensing and Geographical Information System. SEBAL model is one of them, based on the energy balance equation, and it has a lot of advantages such as that it requires relatively small empirical relations. In this study, the SEBAL model has been calibrated and validated in Geumgang upper basin, Bochung-stream basin, Korea with 5 satellite images Landsat 5 TM. In validation, the results of SEBAL model were compared with those by Morton method. After validation, the spatial and temporal characteristics of the distribution of evapotranspiration within the basin were analyzed with 3 factors, the aspect of slope, the angle of slope, and the land cover.

## 1. 서론

증발산량의 산정은 자연현상과 인문현상을 이해하는데 매우 중요한 요소이다. 현재 이용되고 있는 증발산량 산정 방법은, 원격탐사 자료를 이용하는 방법을 제외하면, 점추정 자료를 내삽법을 이용하여 유역면 전체에 적용시키고 있다. 자연상태에서 증발산에 영향을 주는 요인이 매우 다양하기 때문에 점추정 자료를 통해 유역면 전체에 대한 증발산량을 추정하는 것은 많은 오차를 가져올 수 있다. 이러한 한계를 극복하기 위한 방법으로 에너지 수지 모델에서 원격탐사 자료와 지상 기상자료를 이용하여 증발산량을 추정하는 방법이 효과적인 것으로 평가되고 있다 (Kustas and Norman, 1996; Moran et al., 1989).

위성영상을 이용하여 증발산량을 추정하는 모형 가운데 SEBAL 모형(Surface Energy Balance Algorithm for Land Model) (Bastiaanssen, 1995)은 기존의 모형에 비해 기상자료를 적게 필요로 하며, 측정의 정확도가 높은 것으로 알려지고 있다 (Bastiaanssen, 1999; Bastiaanssen et al., 1998; Medina et al., 1998). 또한 모형 구성의 측면에서 볼 때, SEBAL 모형은 에너지 수지 방정식의 항마다 개별적으로 계산하여 종합하는, 독립적인 모듈 방식으로 구성되어 있기 때문에, 각 항에 대한 개선된 연구가 이루어지면 모형의 성능을 쉽게 향상시킬 수 있는 장점이 있다. 더욱이 미국 Idaho주의 공동 연구에 의한 연구보고서<sup>1</sup>에는 이 모형의

<sup>1</sup> Anthony Morse, Masahiro Tasumi, Richard G. Allen and William J. Kramber. 2000.

세부적인 내용까지 공개함으로써, 모델 개선의 가능성을 높이고 있다.

이 연구에서는 우리나라에 대한 SEBAL 모형의 적용 가능성을 검토하기 위하여 선행연구(채효석, 1998)의 결과와 비교하였다. 연구를 위해 1995년 1월 11일, 4월 1일, 5월 3일, 10월 10일, 11월 27일의 Landsat 5 TM위성영상(Path 115, Row 35)<sup>2</sup>을 이용하여, 충청북도 보은군과 옥천군 일대의 보청천 유역에 대해 모형의 적용하였다. SEBAL 모형을 적용하기 위해서는 연구 지역의 위성영상과 DEM 자료, 기상자료, 연구 지역 내 수목의 높이 자료가 필요하다.

## 2. SEBAL 모형의 적용

증발산량은  $R_n = G + H + \lambda ET$  (1)에 의해서 계산된다. 여기서,  $R_n$ : 지표순복사량 [ $W/m^2$ ],  $G$ : 토양의 열 이동 [ $W/m^2$ ],  $H$ : 대기로 향하는 현열 이동 [ $W/m^2$ ],  $\lambda ET$ : 잠열 이동 [ $W/m^2$ ]. 식 (1)은  $\lambda ET$ 에 대해 정리하면  $\lambda ET = R_n - G - H$  (2) 이다. 이 식의 양변을 물을 증발시키는데 필요한 잠열( $\lambda$ )<sup>3</sup>로 나누면 위성영상을 촬영한 시점의 증발산량( $ET$ [mm/hr])을 구할 수 있다.

SEBAL 모형에서  $R_n$ 과  $G$  그리고  $H$ 는 각각의 모듈로 구성되어 있으며,  $R_n$ 과  $H$ 를 계산하는 과정은 그림 1,2와 같다. 이

<sup>2</sup> 연구에 사용된 Landsat 5 TM위성영상은 수자원공사의 수자원연구소에서 협조하여 얻었다.

<sup>3</sup> 잠열( $\lambda$ ) =  $(2.501 - 0.002361 \times (T_0 - 273)) \times 10^6$  [J/kg]

여기서,  $T_0$ : 증발이 일어나는 물의 온도(지표면의 온도).

렇게 얻은 잠열 이동의 값은 위성영상에서 획득된 시점의 1초동안에 해당하는 순간 값이다. 1초 동안의 증발산량으로 하루 동안의 값을 유추하기 위해서 SEBAL 모형에서는 하루 동안의 증발분율( $\Lambda$ )은 일정하다라는 가정을 이용한다. 따라서, 다음 식을 이용해 하루 동안의 증발산량을 계산한다.

$$ET_{24} = \frac{86400\Lambda(R_{n24} - G_{024})}{\lambda} \quad (3)$$

여기서, 86400 : 24 시간을 초로 환산한 값,  $\Lambda$  : 증발분율,  $R_{n24}$  : 하루 순복사량,  $G_{024}$  : 하루 토양 열 이동,  $\lambda$  : 증발잠열 (J/kg).

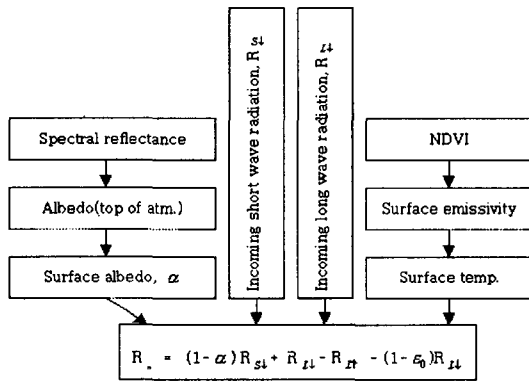


그림 1. 순방사량 계산

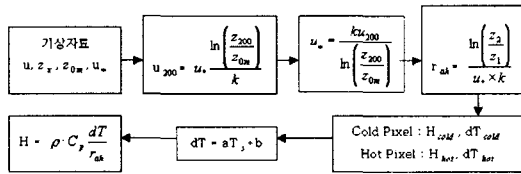


그림 2. 현열 이동 계산 흐름도

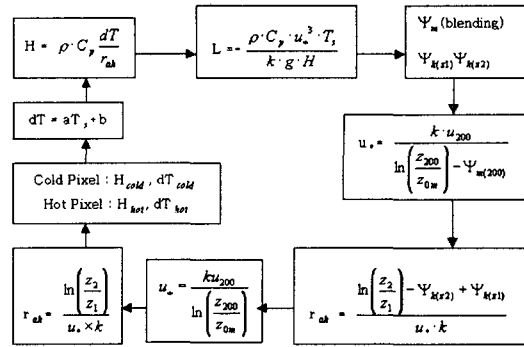


그림 3. 대기안정도를 고려한 현열의 반복 순환 계산

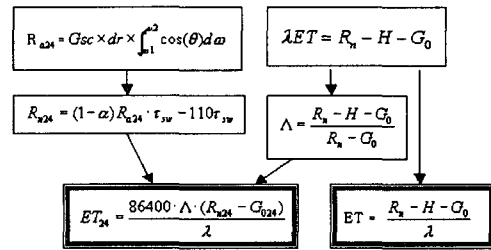


그림 4. 일증발산량 계산 흐름도

### 3. 결과

SEBAL 모형을 이용하여 1995년 1월 11일, 4월 1일, 5월 3일, 10월 10일 그리고 11월 27일에 해당하는 일증발산량을 추정된 결과를 표 1로 나타내었으며, 증발산량의 크기를 구간을 1(mm/day)로 하여 그림으로 표현하였다(그림 5, 6, 7, 8, 9).

구분	1.11	4.1	5.3	10.10	11.27
평균	1.1027	2.3909	4.5092	2.0895	1.2725
표준편차	1.9289	2.0773	3.6721	2.4551	1.8781
최대값	11	11	14	14	13
중앙값	0	2	4	2	1

표 1. 각 이미지의 일증발산량 통계

$$\Lambda = \frac{\lambda ET}{R_n - G_0} = \frac{R_n - G_0 - H}{R_n - G_0}$$

#### 4. SEBAL 모형의 적용가능성 검토

채효석(1998)은 본 연구에서 이용된 위성영상 획득 시기와 동일한 시기의 기상자료를 이용하여 Morton 법을 통해 동일한 지역의 증발산량을 계산하였다. 여기에서는 채효석(1998)의 Morton 법에 의한 증발산량과 SEBAL 모형을 이용해 추정된 증발산량을 토지피복 분류에 따라 비교하였다.

표 2. SEBAL 모형·Morton법의 결과 비교

SEBAL	1. 11	4. 1	5. 3	10. 10	11. 27
논	0.2199	2.6008	3.4745	1.9937	0.6982
밭	0.4943	2.4067	3.5681	2.1172	1.0625
주거 지역	0.1209	2.1379	2.8103	1.5909	0.6071
수면	0.5247	1.8536	3.2179	0.89	0.5796
산지	1.5112	2.3836	5.0882	2.2282	1.5414
Morton	1. 11	4. 1	5. 3	10. 10	11. 27
논	1.39	2.59	3.25	2.6	1.65
밭	1.44	2.43	3.04	2.59	1.59
주거 지역	1.47	1.98	2.59	2.54	1.68
수면	1.59	2.54	3.23	2.74	1.73
산지	1.48	2.71	3.29	2.66	1.67

표 3에는 각 영상별 그리고 토지피복별 일평균 증발산량과 Morton 법에 의한 평균 증발산량과의 차(측정오차)를 구하였으며(Morton법 - 평균), 최대 증발산량에 대한 측정오차의 백분율을 오차항에 나타내었다. 10월 10일 위성영상에서 얻은 증발산량 중 수면에서 오차의 허용 한계를 넘어서는 과소 추정이 나타났으나, 오차가 13.214%로 크지 않으며, 이것을 제외한

나머지 24 개의 경우는 오차 허용 범위를 만족하고 있다. 이로써 SEBAL 모형은 우리나라의 상황에 적용 가능한 것으로 판단된다.

표 3. 오차표

구 분	토지 피복	평 균	최대값	Morton 법-평균	오차(%)
1.11	논	0.2199	11	1.170	<b>8.357</b>
	밭	0.4943	11	0.945	<b>6.755</b>
주거 지역	수면	0.1209	9	1.349	<b>9.636</b>
	산지	0.5247	11	1.065	<b>7.609</b>
4. 1	논	1.5112	11	-0.031	<b>-0.222</b>
	밭	2.6008	11	-0.010	<b>-0.077</b>
주거 지역	밭	2.4067	10	0.023	<b>0.166</b>
	수면	2.1379	9	-0.157	<b>-1.127</b>
5. 3	산지	1.8536	11	0.686	<b>4.902</b>
	논	2.3836	11	0.326	<b>2.331</b>
주거 지역	논	3.4745	14	-0.224	<b>-1.603</b>
	밭	3.5681	14	-0.528	<b>-3.772</b>
10. 10	주거 지역	2.8103	14	-0.220	<b>-1.573</b>
	수면	3.2179	14	0.012	<b>0.086</b>
11. 27	산지	5.0882	14	-1.798	<b>-12.844</b>
	논	1.9937	13	0.606	<b>4.330</b>
주거 지역	밭	2.1172	13	0.472	<b>3.377</b>
	수면	1.5909	9	0.949	<b>6.779</b>
11. 27	산지	0.89	14	1.85	<b>13.214</b>
	논	2.2282	14	0.431	<b>3.084</b>
주거 지역	논	0.6982	12	0.951	<b>6.798</b>
	밭	1.0625	12	0.527	<b>3.767</b>
11. 27	주거 지역	0.6071	10	1.072	<b>7.663</b>
	수면	0.5796	13	1.150	<b>8.217</b>
11. 27	산지	1.5414	13	0.128	<b>0.918</b>

## 5. 결론

이 연구는 SEBAL 모형을 우리나라 금강 상류의 보청천 유역에 적용하여 일증발산량을 구하였고, 실제 기상 관측 자료에 Morton 법을 적용하여 계산한 증발산량(채효석, 1998)과 비교함으로써 모형의 적용 가능성을 검증하였다. 연구를 위해 Landsat 5 TM 영상의 1995년 1월 11일, 4월 1일, 5월 3일, 10월 10일, 그리고 11월 27일 자료를 SEBAL 모형에 적용하였다. 비교 결과, 10월 10일 위성영상에서 얻은 증발산량 중 수면에서 오차의 허용한계를 넘어서는 과소 추정이 나타났고, 이것을 제외한 나머지 24 개의 경우에는 오차 허용 범위 이내의 추정량을 보였다. 대체적으로 SEBAL 모형은 우리나라의 상황에 적용 가능한 것으로 판단된다.

## 참고문헌

- 채효석, 1998, "Landsat TM 자료를 이용한 광역 증발산량 추정", 전북대학교 토목공학과 박사학위논문.
- Anthony Morse, Masahiro Tasumi, Richard G. Allen and William J. Kramber, 2000, 「Final Report: Application of the SEBAL Methodology for Estimating Consumptive Use of Water and Streamflow Depletion in the Bear River Basin of Idaho through Remote Sensing」.
- Bastiaanssen W.G.M., 1995, 「Regionalization of surface flux densities and moisture indicators in composite terrain: A remote sensing approach under clear skies in Mediterranean climates, Wageningen Agricultural University, Wageningen, The Netherlands」.
- Bastiaanssen W.G.M., 1998, 「Remote sensing in water resources management : the state of the art」, International Water Management Institute, Colombo, Sri Lanka, 118 p.
- Bastiaanssen W.G.M., 2000, "SEBAL-based sensible and latent heat fluxes in the irrigated Gediz Basin", Turkey, *J. Hydrology*, Vol. 229, pp. 87-100.
- Bastiaanssen W.G.M., Menenti M., Feddes R.A., and Holtslag A.A.M., 1998, "A remote sensing surface energy balance algorithm for land(SEBAL):1. Formulation", *Journal of Hydrology*, 212-213, pp.198-212.
- Bastiaanssen W.G.M., Pelgrum H., Wang J., Ma Y., Moreno J.F., Roerink G.J. and van der Wal T., 1998, "A remote sensing surface energy balance algorithm for land(SEBAL) 2. Validation", *Journal of Hydrology*, 212-213, pp. 213-229.
- Gert A. Schultz and Edwin T. Engman(EDS.), 2000, 「Remote Sensing in Hydrology and Water Management」, Springer.

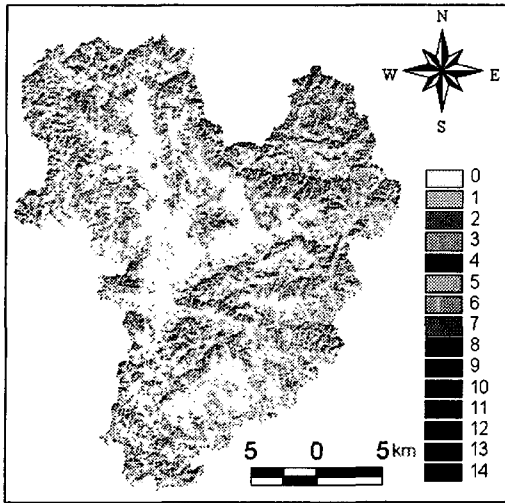


그림 5. 일증발산량 (1995. 1. 11.)

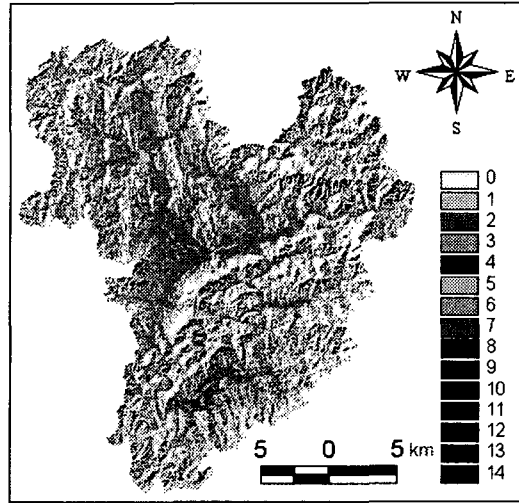


그림 8. 일증발산량 (1995. 10. 10.)

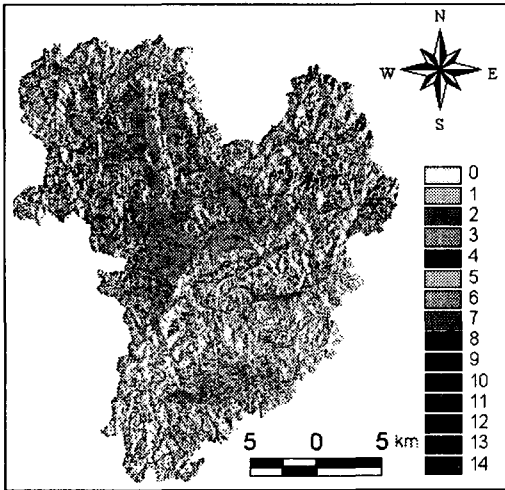


그림 6. 일증발산량 (1995. 4. 1.)

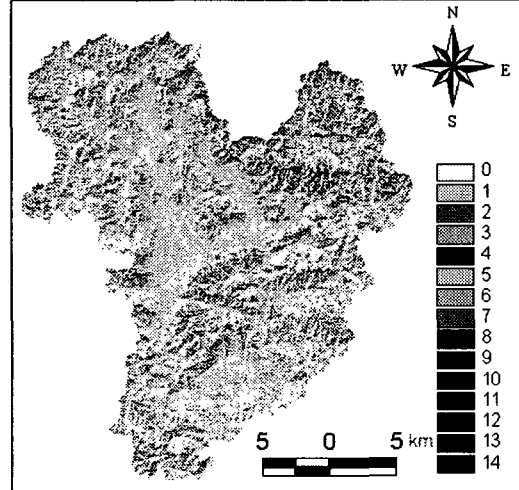


그림 9. 일증발산량 (1995. 11. 27.)

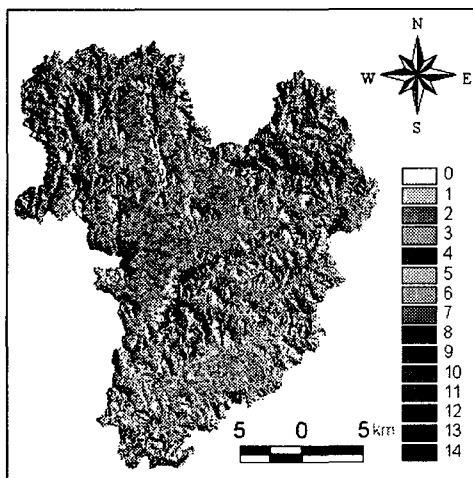


그림 7. 일증발산량 (1995. 5. 3.)

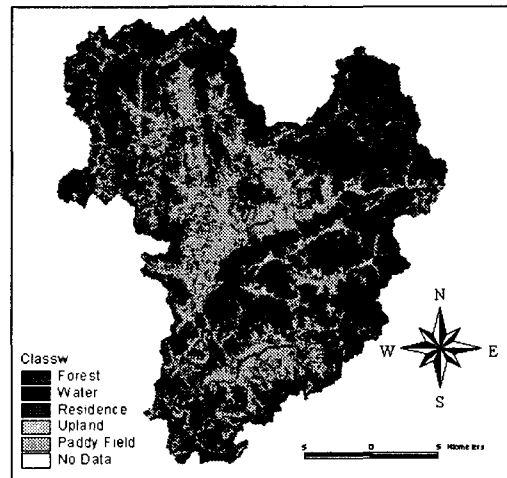


그림 10. 토지피복 분류도