

GIS기법에 의한 공간증발산량 분포 추정

- 금강유역을 중심으로 -

심순보¹⁾ · ○김주훈²⁾ · 신사철³⁾

1. 서론

수문순환 과정에서 증발산량의 추정은 수자원 개발 및 관리의 운영면에서 대단히 중요한 요소이다. 즉, 수자원을 개발하고자 하는 지점에서의 가용 수자원 중 순수하게 이용가능한 양을 추정하기 위해서는 증발산량의 추정이 필요한 것이며, 이는 비교적 장기간의 수자원의 양적 손실정도를 판단하는 기준이 된다.

본 연구에서는 NOAA/AVHRR의 위성영상 이미지를 이용하여 유역의 개략적인 토지피복상태를 분석하였고, 유역의 수치고도모델을 이용하여 증발산량 추정 모형을 금강유역에 적용하였으며, 토지 피복상태 및 고도별에 따른 증발산량을 분포형으로 추정하였다.

2. 토지피복 분류

원격탐사의 가장 보편적인 응용중 하나는 육지면에 있어서의 식생의 평가 및 그 monitoring이다. 여기서 식생환경을 평가하기 위한 지표로 NDVI(Normalized Difference Vegetation Index)가 이용되고 있다.(Benedetti, 1994)

NOAA/AVHRR 자료를 이용할 경우 NDVI는 다음 식으로 계산된다.

$$NDVI = \frac{ch. 2 - ch. 1}{ch. 2 + ch. 1} \quad (1)$$

여기서 $ch. 1$: NOAA/AVHRR의 Channel 1 ($0.58 - 0.68\mu m$)의 반사율

$ch. 2$: NOAA/AVHRR의 Channel 2 ($0.723 - 0.989\mu m$)의 반사율

또한 어느 기간의 NDVI의 총량을 정량적으로 표시하기 위해 iNDVI(integrated NDVI)가 이용된다. iNDVI는 그 NDVI를 어느 기간 적분한 지표로서 그 기간의 식생활상태를 적분한 값이다. 즉 iNDVI는 그 토지의 식물의 활성도와 활동량에 관계가 있다고 생각할 수 있다.

$$iNDVI = (\sum NDVI_j \times d_j) / \sum d_j \quad (2)$$

여기서 $NDVI_j$: j번째의 NDVI, d_j : $NDVI_j$ 에 대응하는 관측일수

본 연구에서는 NDVI의 성질을 이용하여 금강유역에 있어서 iNDVI가 어느기간의 토지의 식생활상태를 정량적으로 표현하고 있는 것으로부터 iNDVI를 이용하여 금강유역의 피복분류를 수행하였다.

NDVI는 식생지역에서는 높게 나타나고 물, 구름, 눈에 대해서는 근적외선 영역에 비해 가시광의 파장이 강하게 반사되고, NDVI는 음수(-)값을 갖게된다. 또한 암반이나 나지에 대해서는 양파장의 반사율이 거의 같아지게 되며 그 결과 NDVI는 영(0)에 가까운 값을 갖는다.

본 연구에서는 NOAA/AVHRR의 1994년 4월부터 1996년 11월 까지의 110개의 위성영상 이미

1) 충북대학교 공과대학 토목공학과 교수

2) 충북대학교 대학원 토목공학과 박사과정수료

3) 안동대학교 토목환경공학과 전임강사

지를 분석하여 각월의 최대 NDVI를 계산하였고, 계산된 월 최대 NDVI를 이용하여 Fig. 1.과 같이 iNDVI를 구하였다.

Fig. 1.의 iNDVI를 이용하여 GIS 패키지의 이미지 분석 모듈을 이용하여 각월의 최대 NDVI와 iNDVI를 합성하여 Fig. 2.와 같이 금강유역의 개략적인 토지피복상태도를 작성하였으며 토지 피복별에 따른 격자의 수는 Table 1에 나타내었다.

본 연구의 증발산량 분포 추정 모형에 사용된 수치고도모델은 미국 Defence Mapping Agency의 자료를 이용하였으며, Fig. 3과 같다. 개략적인 토지피복상태도와 수치고도모델의 좌표체계는 UTM으로 하였다.

Table 1 금강유역의 토지이용

구분	Area(km ²)	구분	Area(km ²)
Paddy area	1117.19	Forest area 1	1858.48
Urban area	48.63	Forest area 2	6849.04

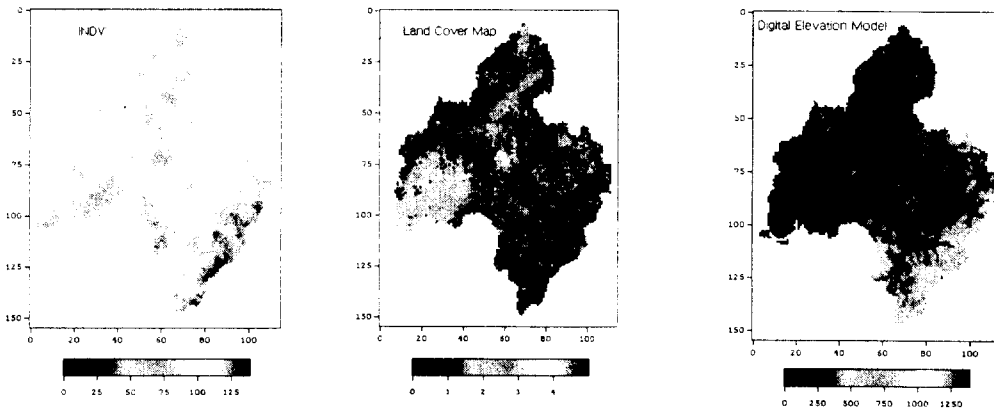


Fig. 1 금강유역의 iNDVI Fig. 2 금강유역의 토지피복도 Fig. 3. 금강유역의 수치고도모델

3. 증발산량 추정을 위한 보완관계식

보완관계식은 일반 지상기상관측 자료에서 실제 증발산량을 직접 계산하는 기후학적 추정법으로 제시된 방법으로 Penman의 가능증발산량이 실제증발산량에 대하여 보완적으로 변화하는 것을 이용한 방법이다.

Morton(1978, 1983)은 실제 증발산량과 Penman법에 의한 가능증발산량은 서로 보완관계에 있으며, 양자의 합은 Priestly and Taylor법(1972)에 의한 가능증발산량의 2배와 같다고 하는 관계식을 제시하였다.

그러나 Morton에 의한 보완관계식은 산정과정에서 경험식을 이용하여 구하여야 하는 요소가 상당히 많고 산정방법 또한 대단히 복잡한 경향을 갖고 있다. 그래서 Brutsaert and Stricker(1979)는 증발산량 추정법으로 Morton에서처럼 복잡한 산정방법을 취하지 않고 직접 Penman법 및 Priestly and Taylor법을 이용한 다음 식을 제시하고 있다.

$$E_a = 2E_p - E_{pp} \quad (3)$$

$$E_p = 1.26 \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} R_n \quad (4)$$

$$E_{pp} = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} R_n + \frac{\gamma}{\Delta + \gamma} f(u)(e_s - e_a) \quad (5)$$

$$E_a \leq E_{pp} \quad (6)$$

여기서 E_a : 실제증발산량 (mm/d)

E_p : Priestly and Taylor식에 의한 가능증발산량 (mm/d)

E_{pp} : Penman식에 의한 가능증발산량 (mm/d)

R_n : 순방사량 ($J/m^2/d$) γ : 건습계정수 ($hPa/^\circ C$)

$f(u)$: 풍속함수 ($mm/hPa/d$) Δ : 포화수증기압곡선의 경사 ($hPa/^\circ C$)

e_s : 공기의 포화수증기압 (hPa) e_a : 공기의 수증기압 (hPa)

4. 증발산량의 산정

본 연구에서는 Brutsaert and Stricker식에 의한 증발산량의 산정값이 겨울철에 과소평가되는 지적에 의해 이 식에 Morton에 의해 사용된 移流項을 고려하는 것으로 하였다. 移流項은 대부분의 경우, 겨울철 이외의 시기에는 0이 된다. 또 지표면피복별의 지중열 flux계수를 이용함으로써 지표면과 地中과의 사이에서 이루어지는 전도에 의한 열 교환을 고려하였다.

$$E_a = 2E_p - E_{pp} \quad (7)$$

$$E_p = 1.26 \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} (R_n + M - G) \quad (8)$$

$$E_{pp} = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} (R_n + M - G) + \frac{\gamma}{\Delta + \gamma} f(u)(e_s - e_a) \quad (9)$$

$$E_a \leq E_{pp} \quad (10)$$

$$M = 0.66L_n - 0.44R_m \quad (11)$$

$$G = C_r \cdot R_n \quad (12)$$

여기서, L_n : 장파방사수지 ($J/m^2/d$)

S_n : 단파방사수지 ($J/m^2/d$)

G : 지중열 ($J/m^2/d$)

C_r : 지중열 계수 ($J/m^2/d$)

관측치에서 제외된 각각의 값은 아래의 근사식에 따라 주어진다(Kotoda, 1986)

$$\Delta = \frac{1779.75 \ln 10 \cdot e_s}{(237.3 + t)^2} \quad (13)$$

$$\gamma = \frac{1005 \cdot P_r}{0.622 \cdot \lambda} \quad (14)$$

$$f(u) = 0.26(1 + 0.54u) \quad (15)$$

$$e_s = 6.11 \times 10^{7.5t/(273+t)} \quad (16)$$

$$P_r = 1013.25 - 0.119861H + 5.356 \times 10^{-6} H^2 \quad (17)$$

$$\lambda = (2501 - 2.37t) \times 10^3 \quad (18)$$

여기서, t : 대기온도 ($^\circ C$)

P_r : 대기압 (hPa)

λ : 증발잠열 (J/kg)

u : 지상 2m에서의 풍속 (m/s)

H : 표면고도 (m)

지구표면의 수평면이 받는 일사량은 태양에너지중에서 가장 많이 이용하는 양이다. 현재 우리나라에서는 日射計에 의해 일사량의 관측을 행하고 있으나 未觀測期間 및 미관측지점의 일사량을

어떠한 방법을 통하여 추정할 필요가 있다. 일사량을 이론적으로 추정한다는 것은 어렵기 때문에 통상 경험식이 이용된다. 일조시간에서 일사량을 추정한 많은 경험식은 월평균일조시간과 월평균 가조시간의 비인 월평균일조율을 변수로 하는 일차식으로 표시된다.

$$\frac{I}{I_0} = (a + b \frac{n}{N}) \quad (19)$$

여기서 I : 수평면 일사량 ($J/m^2/d$) I_0 : 대기상단에서의 일사량 ($J/m^2/d$)
 n : 일조시간 N : 가조시간 a, b : 정수

금강유역에서 관측된 1994년에서 1996년까지의 월평균일사량과 일조시간을 이용하여 I/I_0 과 n/N 의 관계를 圖示하면 Fig. 4와 같이 된다. 이 결과 정수 a, b 가 결정되고 1994년부터 1996년의 3개년에 대한 금강유역에서의 일사량을 구할 수 있다.

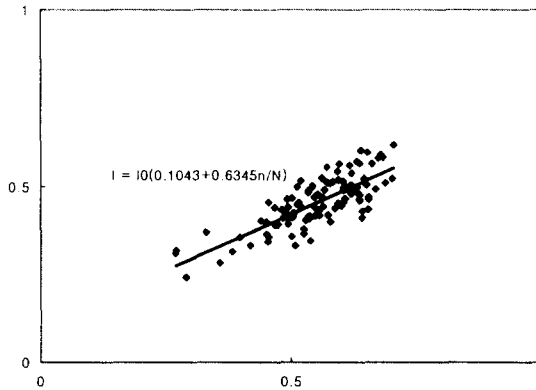


Fig. 4. 금강유역 월평균 일사량과 일조시간 관계식

또한 순방사량 추정식으로서는 다음과 같은 Penman의 추정식을 이용하였다.

$$R_n = S_n - L_n \quad (20)$$

$$= (1 - \alpha)I - 0.0864 \sigma (t + 273)^4 (0.56 - 0.092 \sqrt{e_a})(0.1 + 0.9 \frac{n}{N})$$

여기서, R_n : 순방사량 ($J/m^2/d$) L_n : 장파방사수지 ($J/m^2/d$) α : albedo
 S_n : 단파방사수지 ($J/m^2/d$) σ : Stefan-Boltzmann정수 ($5.67 \times 10^{-8} W/m^2/K^4$)

알베도(α)와 지중열계수(C_r)는 각 토지이용마다 경험적으로 얻은 값을 이용할 수 있다.(Kotoda, 1986). 그밖에 분류된 픽셀에 대해서는 도시지역, 삼림지역, 농경지역을 이용한 것으로 하였다.

5. 기상자료 분석

본 연구에서 이용한 기상자료는 금강유역 및 인접한 지역의 8개 기상관측소 및 측후소의 1994년부터 1996년까지의 기상청의 기상연보를 이용하였다.

한편, 대기권 밖의 월평균 수평면 일사량 및 위도별에 월별 가조시간을 고려하여 증발산량의 추정에 이용하였다.

계산에 필요한 기상관측값은 여러지점으로 분산된 지점 자료를 얻을 수 밖에 없는 것이 보통

이기 때문에 될 수 있는한 기상요소를 표고의 계수로 나타내 픽셀마다의 기상요소를 계산하였다. 기온의 경우는 $-0.5^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 의 고도에 감소율을 고려하였고, 상대습도는 수증기압으로 환산해서 고도에 반비례하는 성질을 이용해서 고도에 의한 상대습도를 구하였다.

한편, 기상관측소의 풍속의 관측 고도는 각 관측소의 특성에 따라 표고 10m에서 15m로 관측 고도가 각기 다르다. 이를 지면의 피복상황을 고려하여 2m의 풍속으로 환산하여 계산하였다.

6. 증발산량 추정

Brursaert와 Stricker의 보완관계식에 의한 증발산량의 분포 추정의 결과를 Table 3과 Fig. 5에 나타내었다. 본 연구에서 적용한 증발산량의 분포추정에서 금강유역의 4월부터 11월까지의 총증발산량은 1994년에 817.84mm/8mon, 1995년 697.71mm/8mon, 1996년 757.77mm/8mon로 추정되었다.

Table 3 금강유역의 증발산량 분포추정 결과 (단위 : mm/month)

월 년도	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	총증발산량 (4월~11월)
1994	71.67	101.64	130.29	185.20	153.31	87.67	50.14	37.93	817.84
1995	73.37	102.21	129.08	107.86	131.71	64.47	52.92	36.09	697.71
1996	71.90	109.70	128.80	146.35	131.22	80.12	48.87	26.44	757.77
평균	72.31	104.51	129.39	146.47	138.74	77.42	50.64	719.48	757.77

Fig. 5 피복별 증발산량(1994. 4.~1996. 11.)

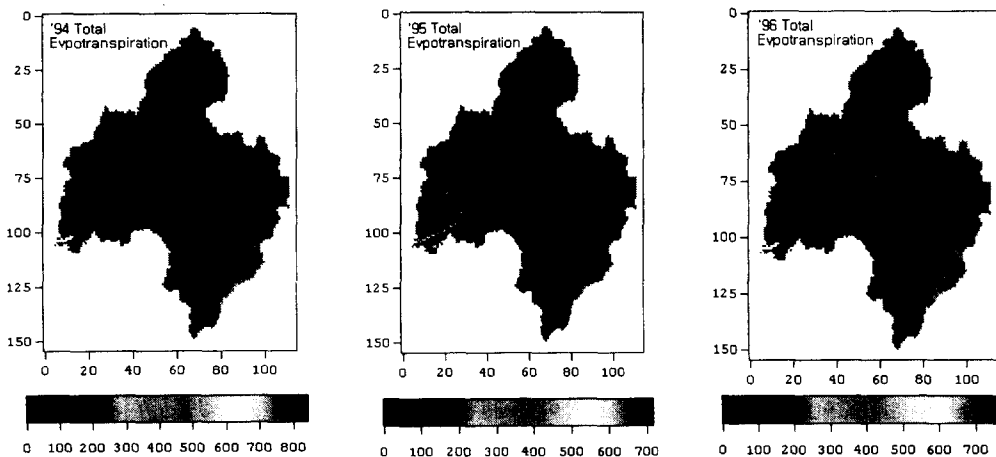


Fig. 6 유역 총증발산량(1994) Fig. 7 유역 총증발산량(1995) Fig. 8 유역 총증발산량(1996)

7. 결론

본 연구는 증발산량의 분포 추정을 목표로 하였다. 증발산량의 분포추정은 Brursaert와 Stricker의 보완관계식을 이용하여 분포형태형으로 작성하였으며, 모형에 필요한 지면피복상황은 NOAA/AVHRR의 이미지 분석을 통해 개략적인 지면 피복상황도를 작성하였다. 또한 DEM자료를 이용하여 각종의 기상인자들을 고도별에 따른 영향을 적용하였으며, 풍속은 각 관측소마다 관

측고도가 다르므로 지표면 조도를 고려하여 2m 고도의 풍속으로 환산하여 적용하였다. 이러한 자료를 바탕으로 금강유역에 증발산량의 분포를 추정하고 7월과 8월의 증발산량이 가장 크게 나타나고 있으며 이는 이시기의 증발산량과 일사량과의 큰 상관성에 기인한다고 볼 수 있다.

또한 증발산량의 분포 특성에서 고도별에 따른 특성보다는 지표면의 피복상황에 크게 영향을 받는 것으로 나타났으며, 이는 지표면의 알베도 및 지중열의 영향이 큰 것으로 사료된다.

본 연구에서는 이용된 인공위성 자료의 특성으로 인하여 자세한 해석에는 한계가 있으나 넓은 지역을 대상으로 개략적인 해석에는 용이하게 이용될 수 있으며 다른 인공위성 자료를 이용하는 것과 비교하여 많은 시간과 비용의 절감을 가져올 수 있다.

본 방법의 신뢰도를 보다 높이기 위해서는 실제 증발산량의 추정방법으로 이용된 보완관계식의 정확도를 재검토하는 것이다. 이것은 금후 해석대상년을 다양하게 하고 다양한 기상조건하에서의 검토를 수행함으로써 해결될 수 있을 것이다. 그러나 광역 증발산량의 추정 정확도의 검증을 위해서는 토지피복을 다수 포함하는 시험유역을 대상으로 이용가능한 물수지 관측자료의 축적이 무엇보다 중요하다.

참고문헌

기상연보, 1994~1996, 기상청

大槻恭一・水野, 徹・丸山利輔, 1984a, 計器蒸發量, 蒸發散位と實蒸發散の關係-實蒸發散量推定に關する研究(I)-, 農業土木學會論文集, 111, pp95-103.

大槻恭一・水野, 徹・丸山利輔, 1984b, 水收支法と補完關係式による流域蒸發散量の比較-實蒸發散量推定に關する研究(II)-, 農業土木學會論文集, 112, pp17-23.

신사철, 1996, 植生解析을 통한 廣域蒸發散量 推定 方法의 開發, 한국측지학회지 14(1) pp.81-88.

윤용남, 1993, 공업수문학, 청문각, pp13-113.

Ben-Asher, J., 1981, Estimating evapotranspiration from the Sonoita Creek watershed near Patagonia, Arizona, *Water Resour. Res.*, 17(4), pp901-906.

Benedetti, R., Rossini, P. and Taddei, R., 1994, Vegetation classification in the Middle Mediterranean area by satellite data. *Int. J., Remote Sens.*, 15, pp583-596.

Brutsaert, W. and Stricker, H., 1979, An advection-aridity approach to estimate actual regional evapotranspiration, *Water Resour. Res.*, 15, pp443-450.

Kotoda, K., 1986, Estimating of river basin evapotranspiration, Environmental Research Center Papers, Univ. Tsukuba, 8, pp1-92.

Morton, F.I., 1978, Estimating evapotranspiration from potential evaporation practicality of an iconoclastic approach, *J. Hydrol.*, 38, pp1-32.

Morton, F.I., 1983, Operational estimates of areal evapotranspiration and their significance to the science and practice of hydrology, *J. Hydrol.*, 66, pp1-76.

Priestly, C.H.B. and Taylor, R.J., 1972, On the assessment of surface heat flux and evaporation using large-scale parameters, *Mon. Weather Rev.*, 100, pp81-92.

Slatyer, R.O. and McIlroy, I.C., 1961, Practical microclimatology, CSIRO, Melbourne, Australia, 310pp., Davice, J.A.(1972)