

분포형 증발산량 계산모형 개발

○채효석¹⁾, 김성준²⁾, 류정아¹⁾, 임창수³⁾

1. 서 론

최근 수문학에서의 가장 큰 관심은 수문관련 자료를 정확히 측정하고, 유역에 대한 물리적인 요소를 고려할 수 있는 수문 모형을 개발하고, 또한 원격탐사(remote sensing)나 지리정보시스템(GIS) 등과 같은 최신 기법을 적용하여 정확한 수문분석 및 수문인자를 추출하고자 하는 것이다. 원격탐사는 수문학과 같이 광역적인 지역을 대상으로 하는 경우에 효과적으로 활용할 수 있는 기법으로 알려지고 있으며, 지리정보시스템과 수문모형을 통합하고자 하는 경우 많은 자료층(data layer)을 제공할 수 있는 장점을 가지고 있다.

본 연구에서는 원격탐사 자료를 이용하여 유역의 실제 증발산량을 산정할 수 있는 기법을 개발하고, 개발된 알고리즘의 정확도를 비교 평가하기 위해서 1995년도 보청천 유역의 이평교지점에 대한 일 증발산량을 계산하였다. 개발된 알고리즘은 Morton 법을 이용하여 실제 증발산량을 계산하였으며, 개발된 모형은 분포형 수문모형과 통합할 수 있는 장점을 가지고 있다.

2. 이 론

증발산량을 정확히 계산하기 위해 지금까지 제시된 방법에는 물수지법, 열수지법, 공기역학적방법 및 이들을 조합한 방법 등이 제안되었다. 그 가운데 Morton(1978)은 실제 증발산량과 Penman 법에 의해 얻어진 잠재 증발산량 사이에 보완 관계가 있으며, 실제 증발산량과 잠재 증발산량의 합은 Priestly와 Taylor(1972)에 의해 제안된 잠재 증발산량의 2 배와 거의 유사하다는 관계식을 제안하였다. 그러나, Morton 식을 이용할 경우에는 경험식에 의한 인자가 너무 많이 존재하게 되어 다소 계산과정이 복잡하게 된다. 또한, Brutsaert와 Stricker(1979)에 의해 계산된 증발산량은 겨울철에 과소 평가 되는 것으로 알려지고 있다. 따라서 본 연구에서는 Brutsaert와 Stricker(1979) 식에 Morton(1983) 식을 조합하여 이류항(advection term)에 대한 고려를 하였다. 이류항은 겨울철을 제외하고는 항상 0 이며, 따라서 토지피복에 의한 지중열 계수를 이용하여 지표면과 토양에서 이루어지는 전도에 대한 열의 교환을 고려하였다.

-
- 1) 한국수자원공사 수자원연구소 연구원
 - 2) 건국대학교 농과대학 농공학과 교수
 - 3) 한국수자원공사 수자원연구소 선임연구원

$$E_{AC} = 2E_p - E_{pp} \quad (1)$$

$$E_{pp} = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} (R_n + M - G) + \frac{\gamma}{\Delta + \gamma} f(u)(e_s - e_a) \quad (2)$$

$$E_p = 1.26 \frac{\gamma}{\lambda + \Delta} (R_n + M - G) \quad (3)$$

$$M = 0.66L_n - 0.44S_n \quad (4)$$

$$G = C_r \cdot R_n \quad (5)$$

여기서, E_{AC} 는 실제 증발산량(mm/day), E_{pp} 는 Penman법에 의한 잠재증발산량(mm/day), E_p 는 Priestly와 Taylor에 의한 잠재 증발산량(mm/day)이며, R_n 는 순복사에너지(mm/day), M 은 수면으로부터 이루어지는 에너지(mm/day)이다. 또한, Δ 는 포화수증기압 곡선의 기울기(kPa/°C), γ 는 건습구 온도계 정수, e_a 는 대기의 수증기압(kPa), $f(u)$ 는 풍속함수(m/sec), L_n 는 장파복사에너지(MJ/m²/day), S_n 는 단파복사에너지(MJ/m²/day), G 는 지중열 flux(MJ/m²/day) 및 C_r 는 지중열계수를 각각 나타낸다.

또한, 경사면과 면적에 대한 일사량을 보정하기 위해 Huff 등(1977)의 등가위도(equivalent latitude) 개념을 이용하였으며, 경사와 면적을 고려할 경우 일사량은 다음과 같이 보정된다.

$$R_e = R_{obs} \times \frac{R_{ps}}{R_{ph}} \quad (6)$$

$$R_m = R_e / \cos \theta \quad (7)$$

여기서, R_{obs} 는 관측된 태양일사량, R_{ps} 는 경사면에 대한 잠재일사량, R_{ph} 는 경사를 가진 지점에 대한 수평면상에서의 잠재일사량이며, θ 는 경사를 나타낸다.

3. 결과 및 고찰

3-1. 계산결과

증발산량에 대한 모델링은 경사와 면적을 고려하여 일사량을 보정한 경우와 보정하지 않은 경우에 대해서 실시하였다. 그 결과, 전반적으로 증발산량의 일별 변화양상은 잘 나타나지 않았으나 양적인 측면에서는 다소 차이를 보였다. 보정전의 경우 약 596.5mm 정도의 값을 보이는 반면, 보정후의 년중 증발산량은 766.1mm로 나타났다(그림 1).

보정후의 증발산량은 청주기상 관측소(기상청, 1982)에서 대형 증발접시에 의해서 측정된 년 평균 증발량은 약 1,055mm의 72.6%에 정도에 해당하는 값이다. 따라서, 년 증발접시 계수 0.7 정도를 고려할 경우에 매우 이상적인 값을 알 수 있다. 또한 경사와 면적에 대한 보정후 약 22% 정도 증발산량이 증가하는 것으로 나타났는데, 이러한 결과는 이 지역의 경사 방향이 주로 남동 내지는 북동 방향으로 형성되어 있어 일사량이 상대적으로 많이 입사하게 되어 증발산에 영향을 주는 것으로 사료된다.

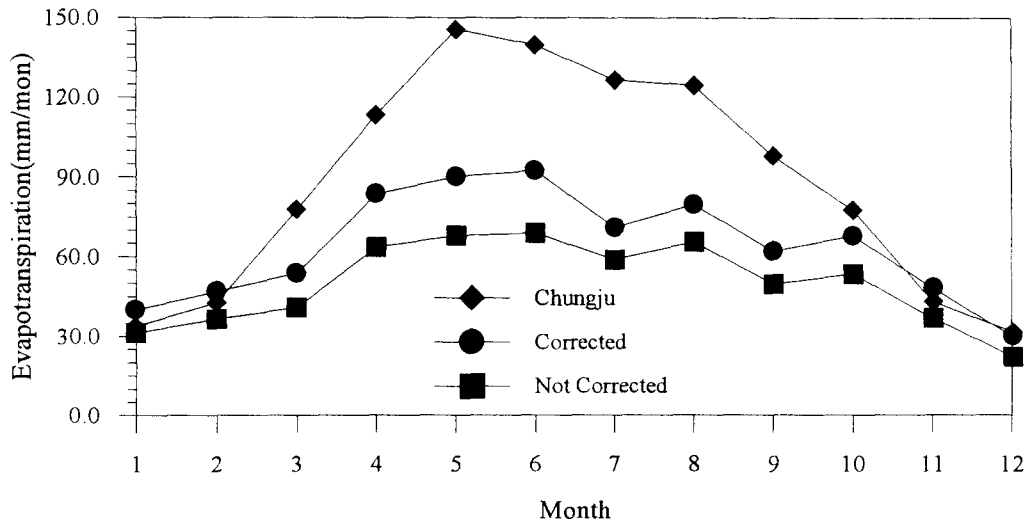


그림 1. 월 평균 증발산량 변화곡선

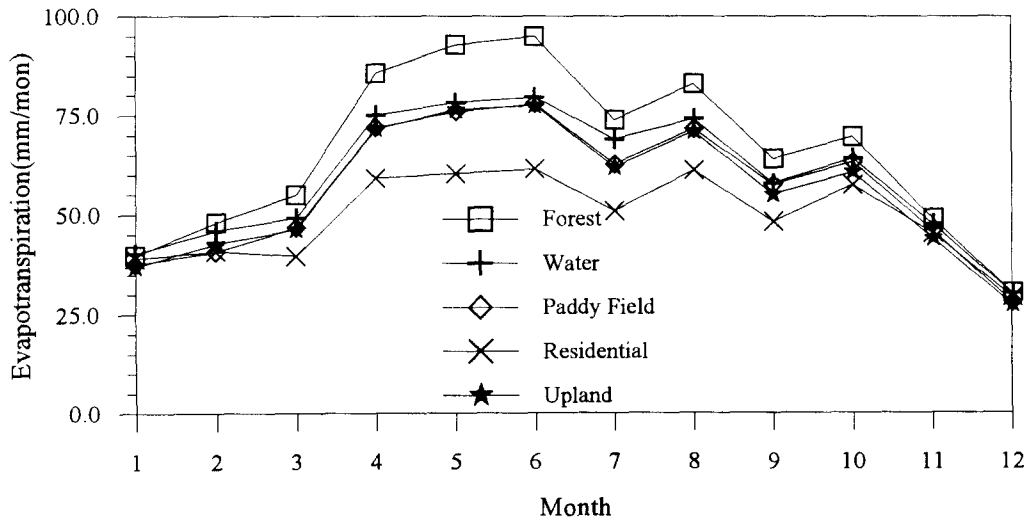


그림 2. 토지피복별 월 평균 증발산량 변화곡선

표 1 각 토지피복별 월 증발산량(mm/month)

Month Class	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Forest	39.9	48.0	55.0	85.8	92.8	94.8	73.9	82.8	64.1	69.7	49.1	30.4
Water	40.4	46.0	49.3	75.1	78.3	79.7	69.1	74.2	57.9	64.3	47.7	30.3
Upland	37.0	42.7	46.4	71.7	76.5	77.5	62.0	71.0	55.1	60.7	44.2	27.6
Paddy	37.6	40.7	46.8	71.9	75.9	78.0	62.8	71.7	57.5	63.4	46.1	28.1
Residential	39.1	40.8	39.7	59.2	60.4	61.5	51.0	61.2	48.2	57.5	45.5	29.4

각 토지피복별 증발산량의 변화양상을 보면(그림 2), 겨울철에는 거의 차이가 나타나지 않는 것을 볼 수 있다. 각 토지피복별 증발산량은 산림지역이 786mm, 물의 경우 712mm, 논이 672mm, 밭이 680mm, 그리고 주거지역에서는 593mm 정도로 나타났다. 따라서 토지피복별 증발산량은 산림지역>물>밭>논>주거지역 순으로 나타났다.

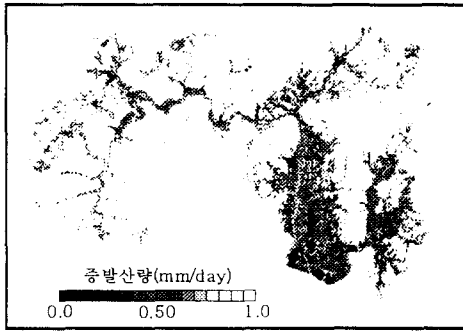
또한, 물, 밭 및 논 of 증발산량의 차이가 거의 나타나고 있지 않은 것을 볼 수 있다. 이러한 것은 물의 경우 증산은 고려하지 못하고 다만 증발만이 나타나고 있는 반면, 논과 밭의 경우에는 증발산이 동시에 발생하기 때문에 상대적으로 높은 값을 보이는 것으로 판단된다. 여름철의 경우에는 토지피복별 차이가 크게 나타나고 있다. 특히, 산림지역의 증발산량이 매우 커지는 것을 볼 수 있는데, 이는 겨울철에 비해 봄부터 식생의 생육이 시작되어 증산의 양이 커지기 때문인 것으로 사료된다. 또한 일반적으로 7월과 8월의 기온이 6월보다 높지만, 이때는 우리나라의 경우 강우의 발생 빈도가 높아져 상대적으로 월 증발산량이 감소하는 있는 것을 볼 수 있다.

3-2. 증발산량의 공간분포도 작성

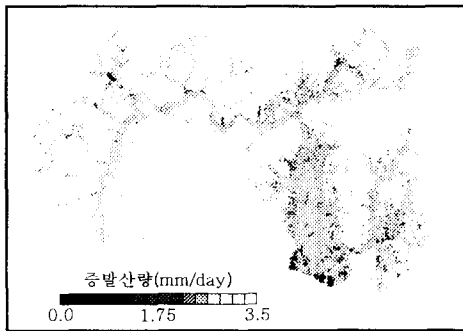
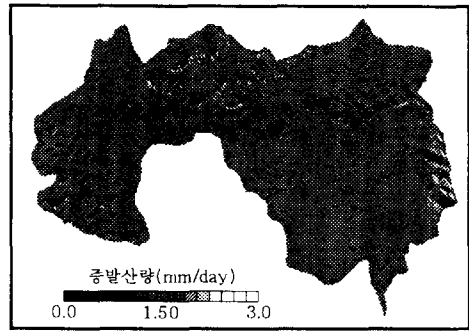
계산된 분포형 일 증발산량을 각 월에서 몇가지 대표적인 경우에 대해서 나타냈다(그림 3). 그림에서 볼 수 있는 것처럼 전반적으로 지형에 대한 효과가 잘 나타나고 있다.

2월 28일의 경우, 1995년도 겨울철에서 가장 높은 기온(2.3 °C)을 나타냈으며, 강우가 4.5mm 발생한 경우로, 일조시간은 2.5 시간이었다. 보정전의 경우 전반적으로 하천 주변을 따라서 0.4mm 정도의 양을 보이고 있는 지역과 0.8mm 정도의 값을 보이는 산림지역으로 크게 나누어지고 있는 것을 볼 수 있다. 그러나 보정후의 결과에서는 경사방향이 북동이나 남동인 사면에서 값이 증가하고 있으며, 그 이외의 지역에서는 하천을 따라 거의 변화가 없는 것을 볼 수 있다.

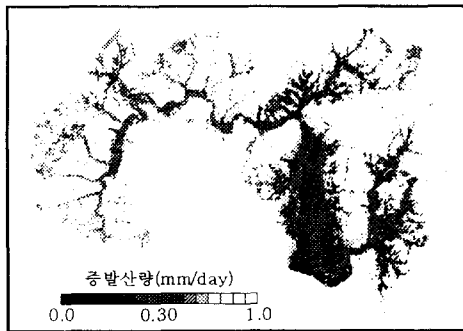
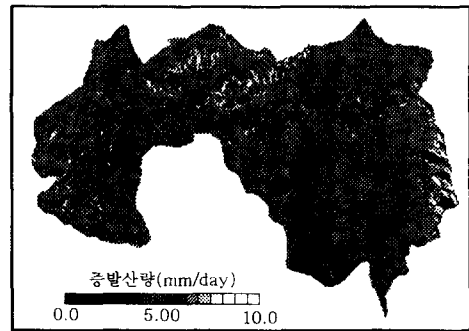
6월 10일의 결과를 보면, 기상조건을 일조시간이 11.3 시간, 기온이 20.3 °C이었다. 2월 28일의 경우와 비슷한 증발산량의 분포 양상을 보이고 있다. 다만, 증발산량이 하천 주변지역에서는 2.5mm/day, 산림지역의 경우에는 3mm/day 정도의 값을 보이고 있다. 보정후의 결과에서는 지형의 영향으로 2.5mm/day 내지는 7mm/day 까지 분포되고 있다.



2월 28일



6월 10일



8월 24일

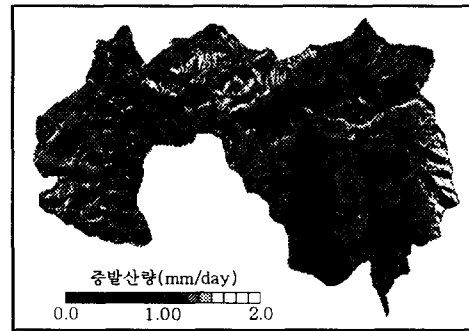


그림 3. 일 증발산량 분포도

8월 24일의 경우, 100mm 정도의 강우가 발생하였으며, 1995년도에 가장 많은 강우를 기록한 날이다. 따라서 일조시간은 없었으며, 평균기온은 23.3 °C를 기록하였다. 다른 결과에 마찬가지로 증발산량의 분포 양상은 거의 두 가지로 나타나고 있지만, 거의 0.5mm/day 정도의 낮은 값을 보이고 있다. 그러나 보정후에는 약 1.5mm/day 정도로 증가하고 있는 것을 볼 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 유역의 실제 증발산량을 산정하기 위해 인공위성 자료와 수치고도자료 등과 같은 공간자료를 이용할 수 있는 기법을 개발하였으며, 산정식은 Morton법과 Brutsaert와 Stricker(1972)의 방법을 조합하여 이용하였다. 아울러 증발산량에 크게 영향을 미치는 일사량을 Huff 등의 등가 위도경사 개념을 이용하여 경사면과 실제 면적에 대해 보정을 실시하였다.

계산결과, 보정천유역의 이평교 지점에서 1995년도 년 증발산량은 약 766.1mm였으며, 경사면과 면적에 대한 보정후 약 22% 정도 증가하는 것으로 나타났다. 이러한 것은 이 지역의 경사 방향이 주로 남동과 북동방향으로 형성되어 있기 때문인 것으로 사료된다. 토지피복별 증발산량의 경우, 산림에서는 약 786mm 정도로 평균 증발산량보다 다소 높은 양상을 보였으며, 겨울철의 경우에는 거의 변화 양상이 나타나지 않았다. 식생의 성장이 시작되는 4월에서부터는 토지피복별 증발산량의 차이가 크게 나타나고 있는 데, 특히 식생지역에서의 증발산량 값이 크게 증가하였다. 그러나, 일사량이 크고 일조시간이 상대적으로 긴 여름철(7월~8월)의 경우에는 우리나라의 기후 특성상 강우빈도가 높아지기 때문에 증발산량 값은 작아지는 것으로 나타났다.

5. 참고문헌

윤용남(1996), 공업수문학, 청문각.

Ångström, A.(1924), "Solar and terrestrial radiation", Quart. J. Roy. Meteorol. Soc., Vol. 50, pp. 121-125.

Brusaert, W. and Stricker, H.(1979), "An advection-aridity approach to estimate actual regional evapotranspiration", Water Resources Res., Vol. 15, 443-450.

Dorrenbos, J. and Pruitt, W. O.(1977), Guidelines for predicting crop water requirement, FAO Irrigation and Drainage Paper 24, 2nd Edition, Rome.

Huff, D. D. et al.(1977), TEHM-Terrestrial ecosystem hydrology model, Environmental Sciences Division Pub. No. 1019, Oak Ridge Nat'l Lab., Oak Ridge, Tennessee.

Morton, F. I.(1978), "Estimating evapotranspiration from potential evaporation-Practically of an iconoclastic approach", J. of Hydrology, Vol.38, 1-32.

Morton, B. L.(1983), "Operational estimates of areal evapotranspiration and their significance to the science and practice of hydrology", J. of Hydrology, Vol. 66, 1-76.

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., Vol. 100, 81-92.