

물수지 분석에 기초한 일 증발산량추정

Estimation of Daily Evapotranspiration Based on Water Budget Method

백 경 록¹⁾ · 김 형 수²⁾ · 이 동 철³⁾ · 김 중 훈⁴⁾

1. 서 론

수문현상을 분석하는 데에 필요한 여러 가지 자료 중에서도 특히 증발산량은 직접적인 측정이 어려워 추정치의 불확실성이 매우 큰 자료 중의 하나로서 수문순환을 해석함에 있어서 발생하는 오차를 줄이기 위해서는 이러한 증발산량을 보다 정확히 추정하는 것이 반드시 필요하다고 할 수 있을 것이다. 본 연구에서는 기본적으로 물수지 분석에 근거하여 일 증발산량을 보다 정확히 추정하는 방법을 알아보았다. 연간 총 증발산량을 일 증발산량으로 분배하는 데에 있어서 계절적인 차이를 반영해 주기 위하여 월별 증발접시계수를 구하였으며 잠재 증발산량을 실제 증발산량으로 환산하는 계수도 계절별로 다른 값을 사용하였다. 또한 강우에 따른 증발산량의 차이를 고려하기 위해 강우일의 증발산량을 비강우일의 값보다 작게 추정하였으며 이러한 일련의 과정을 대청댐유역에 적용하여 보았다. 본 연구에서 적용한 방법은 이미 합리적이라고 알려진 기존 증발산에 관련된 방법들을 조합한 것이라고 볼 수 있으며 최종적으로 시행착오를 통해 구해진 일 증발산이 연간 물수지를 맞추도록 고안된 것으로 이론적으로 큰 어려움이 없어 실제 적용이 쉽게 가능한 방법이라 할 수 있을 것이다.

2. 대상유역

본 연구의 대상유역인 대청댐유역은 유역면적이 4,134km²로 금강유역의 거의 절반을 차지하는 대유역이다. 대청다목적댐은 금강하구연에서 150km 상류에 위치하고 있으며 또한 대전과 청주의 중간에 위치하고 있기도 하다. 대청댐유역에는 청주, 대전, 전주, 보은, 거창의 5개 기상관측지점이 있으나 이들 각 지점에서 증발접시의 계기증발량을 계측한 기간은 서로 다르고 안타깝게도 일부 지점에서는 90년대 이후 계기증발량을 더 이상 계측하지 않고 있는 사정으로 인해 5개 지점에서 공통적으로 계기증발량을 관측한 기간은 1973년에서 1990년의 18년 간에 한정된다. 본

1) 고려대학교 부설 방재과학기술연구소 연구원
2) 선문대학교 토목공학과 조교수
3) 한국건설기술연구원 수자원환경연구부 선임연구원
4) 고려대학교 토목환경공학과 부교수

연구에서는 이들 5개 지점의 대청댐유역에 대한 Thiessen 다각망을 작성하여 각 지점에서의 18년 동안의 계기증발량, 풍속, 습도자료로부터 대청댐유역의 평균 계기증발량, 풍속, 습도자료를 구하여 분석에 이용하였다.

3. 월별 분배율 추정방법

물수지 분석에서 연간 총 증발산량은 연속방정식에 의해 연간 총 강수량과 연간 총 유출량의 차이로 구할 수 있다. 따라서 직접적으로 측정이 가능한 강수량과 유출량의 두 자료로부터 연간 총 증발산량을 구할 수 있으며 이를 월별 적절 비율로 나누어 월별 증발산량을 구할 수 있다. 결국 특정 유역에 대해 연간 총 증발산량을 월별 증발산량으로 나누는 분배율을 구해두면 월별 증발산량을 구할 수 있는 것이다. 이 분배율은 연간 총 증발산량에 대한 매월의 증발산량의 비율이므로 대상유역의 과거자료로부터 월별 증발산량을 추정함으로써 구할 수 있다.

따라서 과거자료로부터 해당유역의 증발산량을 추정해 두는 것이 중요하며 실제 증발산량을 추정하기 위해서는 잠재 증발산량을 추정해야 하고 다시 잠재 증발산량을 추정하는 데에는 실측된 증발접시의 계기증발량을 이용할 수 있는 것이다.

유역의 평균 계기증발량을 저수지증발량으로 환산하는 데에 쓰이는 증발접시계수는 획일적인 값을 적용하지 않고 월별로 다른 값을 사용하여 증발산의 월별특성을 반영하고자 하였다. 대청댐유역의 과거 18년 간의 일 평균 풍속과 습도자료로부터 Doorenbos와 Pruitt(1977)의 기준에 의해 매일의 증발접시계수를 구할 수 있었고 이 자료를 평균하여 월별 증발접시계수를 구하였다. 기상자료를 이용해 증발접시계수를 구하는 데에 적용한 Doorenbos와 Pruitt의 기준은 미국 NWS의 class A 접시와 Colorado sunken 접시에 대해 따로 주어지고 있으며 본 연구에서는 NWS의 class A 접시용 기준을 사용하였다.

여기서 문제가 될 수 있는 점은 우리나라에서 사용되는 증발접시는 대형과 소형의 두 가지가 있으며 실제 기록되는 계기증발량은 내경이 20cm, 깊이가 10cm인 소형증발접시로부터 읽은 값이므로 NWS의 class A 접시와는 규격이 달라 동일한 기준을 적용하는 것이 가능한 가 하는 점이다. 접시의 내경이 많이 다른 만큼 당연히 절대적인 증발접시계수의 수치는 다를 것임에 틀림없다. 하지만 우리나라의 소형증발접시의 월별 증발접시계수를 구하는 데에는 적절한 기준이 없는 것이 현실이고 본 연구에서는 증발접시계수를 이용해 구한 실제 증발량의 절대적인 값을 사용하는 것이 아니라 궁극적으로는 과거의 실제 증발산량을 추정하여 월별 분배율만을 결정하는 데에 사용하고자 함이므로 절대적인 증발접시계수는 다르더라도 상대적인 경향만 동일하다면 큰 무리 없이 쓰일 수 있다고 판단하였다. 증발접시의 종류에 따라 절대적인 계수 값은 다르지만 기상조건에 따른 증발접시계수의 상대적인 경향은 동일하다는 것은 Doorenbos와 Pruitt가 미국 NWS의 class A 접시에 대해 제시한 기준과 Colorado sunken 접시에 대해 제시한 기준을 비교해 보아도 알 수 있다.

이렇게 구한 대청댐유역의 증발접시계수는 평균이 0.71이며 월별 최대값과 최소값의 차이는 0.08로 그리 크지 않게 나타났는데 특이한 것은 여름에 큰 값을 보이는 반면 겨울과 봄에는 다소

작은 값을 보인다는 것이다. 이러한 증발접시계수의 증감경향은 1977년 건설부 등이 낙동강유역에 대해 제시한 월별 증발접시계수의 경향과는 정반대인 반면 1996년 Vudhivanich가 제시한 태국의 월별 증발접시계수와는 동일한 경향을 보이고 있다. 태국의 경우는 우리나라와 기후가 다르지만 강수량이나 기온, 그리고 이로 인한 습도의 연중분포는 비슷한 경향을 보이므로 증발접시계수도 비슷한 경향을 보인다고 판단된다. 실제로 Doorenbos와 Pruitt의 기준에서는 풍속과 함께 습도가 증발접시계수에 영향을 주는 중요한 인자이다. 한편 낙동강유역에 대해 제시되었던 값은 그 변화경향이 다른 두 가지 연구결과와 정반대일 뿐만 아니라 세 가지 연구 중 가장 변동폭이 크게 나타나서 실제 적용에 신중을 기해야 할 것으로 판단된다. 세 가지 연구에서 구한 월별 증발접시계수는 그림 1에서 비교되고 있다.

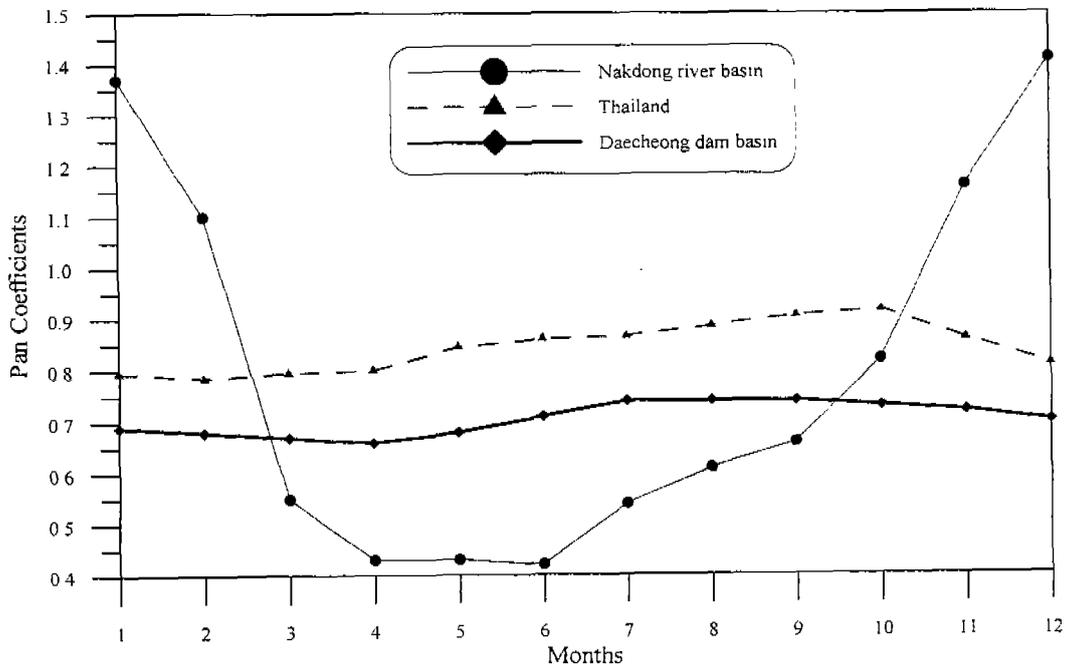


그림 1. 월별 증발접시계수의 변동

증발접시의 계기증발량에 증발접시계수를 곱함으로써 구해진 저수지증발량은 곧 잠재 증발산량과 같으며 잠재 증발산량을 실제 증발산량으로 환산하기 위해 다시 환산계수를 곱하게 되는데 여기서도 계절적인 요인을 고려하기 위하여 Penman(1950)의 기준에 따라 월별로 다른 환산계수를 적용하였다. 이상의 과정을 통해 계기증발량을 실제 증발산량으로 환산하는 계수를 월별로 구하였으며 대청댐유역에서 18년 동안 관측된 계기증발량 자료를 이용해 18년 동안의 실제 증발산량을 추정해 보았다. 그 결과 5 ~ 8월의 4개월 동안 연간 총 증발산량의 55%가 집중되고 있는 것을 알 수 있었으며 연간 총 증발산량의 월별 분배율도 구할 수 있었다. 분석된 대청댐유역에 대한 월별 분배율은 표 1과 같다.

표 1. 대청댐 유역의 연간 총 증발산량의 월별 분배율

월	계기증발량 (mm)	잠재 증발산량 (mm)	실제 증발산량 (mm)	연간 총 증발산량의 월별 분배율
1	37.9	26.31	15.78	0.03
2	44.89	30.54	18.32	0.03
3	78.45	52.21	36.55	0.06
4	119.5	78.81	55.17	0.09
5	151.75	102.53	82.02	0.14
6	144.03	101.78	81.43	0.14
7	126.71	93.63	74.91	0.13
8	140.88	103.84	83.08	0.14
9	104.31	77.23	54.06	0.09
10	87.73	63.87	44.71	0.08
11	51.52	36.93	22.16	0.04
12	38.46	27.03	16.22	0.03
계	1,126.13	794.71	584.41	1.00

4. 일 증발산량 추정방법

앞에서와 같이 대상유역의 과거 기상자료를 이용해 특정 유역에 대한 연간 총 증발산량의 월별 분배율을 구할 수 있었다. 이러한 분배율을 알게 되면 특정한 해의 일 증발산량은 다음과 같은 순서로 추정할 수 있는 것이다.

먼저 일 증발산량을 구하고자 하는 해의 연간 총 강수량과 연간 총 유출량의 차이로부터 연간 총 증발산량 (여기서는 연간 손실량이라 함)을 구할 수 있으며 이는 물수지 분석에 근거하고 있다. 여기서 연간 무강우증발산량을 정의하게 되는데 이것은 특정 유역에 한 해 동안 한번도 강우가 발생하지 않았을 때의 증발산량을 개념적으로 정의한 것으로서 실제로 강우일의 경우는 증발산량이 감소하므로 실제 연간 총 증발산량은 연간 무강우증발산량보다 작을 것이다.

이후의 계산은 연간 무강우증발산량을 시행착오적으로 가정해 가면서 계산하게 되는데 최초에는 연간 무강우증발산량은 물수지 분석에서 구한 연간 손실량과 같다고 가정하게 된다. 다음으로 앞에서 구한 연간 총 증발산량의 월별 분배율을 이용해 연간 무강우증발산량을 월 무강우증발산량으로 나누게 된다. 월 무강우증발산량은 매일의 날짜수로 다시 나누어 일 무강우증발산량을 구하게 된다. 이렇게 구한 일 무강우증발산량은 마지막으로 강수의 여부를 고려하여 조정하는데 강수량이 0.5mm가 넘는 강수일에는 위에서 구한 일 무강우증발산량의 50%만 실제로 발생하는 것으로 간주하여 조정하게 된다. 결국 이러한 과정을 통해 간단하게나마 증발산에 대한 강수의 영향이 고려된 일 증발산량이 구해지는 것이다.

그러나 이 결과 구해진 일 증발산량을 합하여 연간 증발산량을 구하면 연속방정식에서 구

해진 연간 손실량보다 강수일에 대해 증발산량을 감소시킨 만큼 작은 값이 나오게 된다. 따라서 연간 무강우증발산량을 조금씩 더 크게 가정하고 위의 과정을 반복해 일 증발산량을 구하여 그 합에 의한 연간 증발산량이 연속방정식으로 구한 연간 손실량과 같아질 때까지 시행착오를 되풀이하여 물수지를 맞추게 된다. 위에서 설명한 일 증발산량 추정방법을 순서도로 그리면 그림 2와 같다.

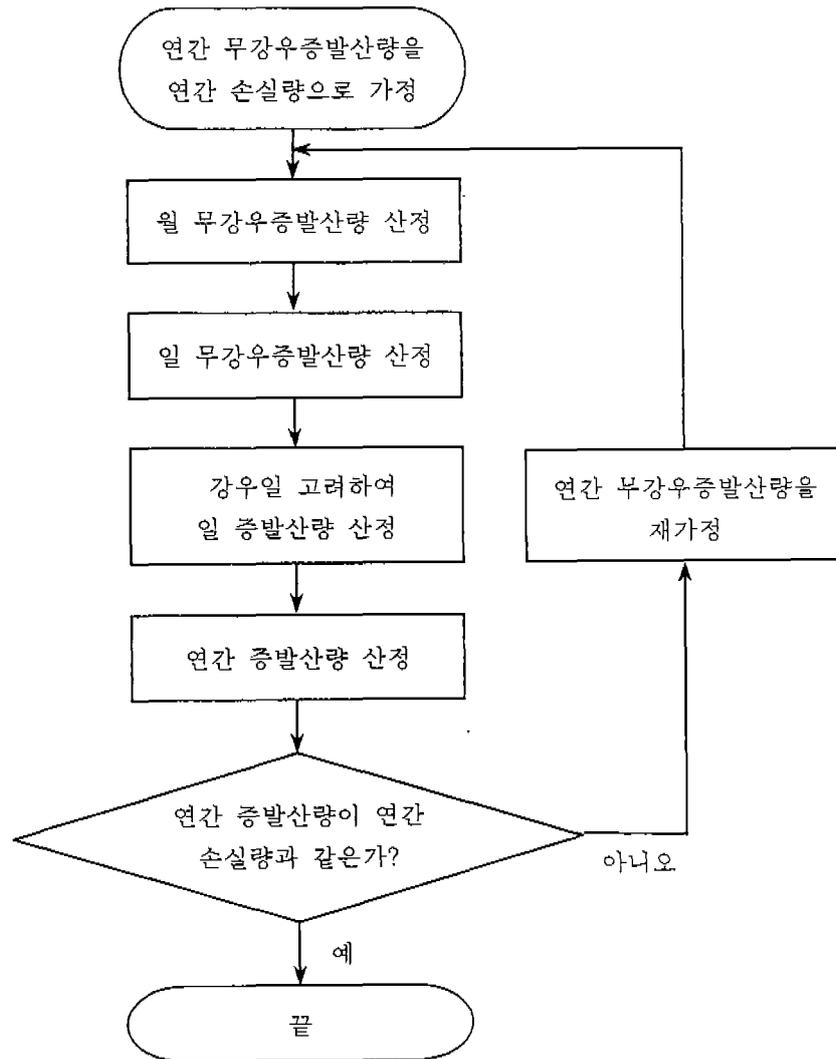


그림 2. 일 증발산량 추정순서도

5. 결 론

본 연구에서는 추정치의 불확실성이 매우 큰 수문자료인 증발산량을 기본적으로 물수지 분석에 근거하여 보다 정확히 추정하는 방법을 알아보았다. 과거의 기상자료를 이용해 대청댐유역에 대한 월별 증발접시계수를 구하였으며 연간 총 증발산량의 월별 분배율도 구하였다. 대청댐유역의 증발접시계수는 평균이 0.71이며 여름에 큰 값을 보이는 반면 겨울과 봄에는 다소 작은 값을 보였다. 이러한 증발접시계수의 증감경향은 1977년 건설부 등이 낙동강유역에 대해 제시한 월별 증발접시계수의 경향과는 정반대인 반면 1996년 Vudhivanich가 제시한 태국의 월별 증발접시계수와는 동일한 경향을 보이고 있다. 게다가 낙동강유역에 대해 제시되었던 값은 세가지 연구 중 가장 변동폭이 크게 나타나서 실제 적용에 신중을 기해야 할 것으로 판단되었다. 연간 총 증발산량의 월별 분배율을 구한 결과 5 ~ 8월의 4개월 동안 연간 총 증발산량의 55%가 집중되고 있는 것을 알 수 있었다. 본 연구에서 적용한 방법은 기존 증발산에 관련된 방법들을 조합한 것이라고 볼 수 있으며 증발산의 계절적 변동요인을 최대한 고려해 주는 동시에 최종적으로 시행착오를 통해 구해진 일 증발산이 연간 물수지를 맞추도록 고안된 것으로 이론적으로 큰 어려움이 없어 실제 적용도 용이한 방법이라 할 수 있을 것이다.

6. 참고문헌

- 건설부, 산업기지개발공사, UNDP, FAO, and NEDECO (1977). 낙동강유역하구조사, 기술보고서.
- Doorenbos, J. and Pruitt, W. O. (1977). "Guidelines for Predicting Crop Water Requirements." *FAO Irrigation and drainage paper 24*, Food and Agricultural Organization of the United Nations, Rome.
- Penman, H. L. (1950). "Evaporation over the British Isles." *Quart. Jl. Roy. Met. Soc.*, LXXVI. 330. 372-383.
- Vudhivanich, V. (1996). "Calculation of ETo of Thailand by Penman-Monteith Method." *Engineering Journal Kasetsart. Fac. of Eng., Kasetsart Univ. Vol. 10, No. 29.*