

# 변형 Beken식에 의한 일별 유역 증발산량 추정

The Estimation of Daily Evapotranspiration in a watershed  
by the modified Beken's formula

이 재 면(충남대) · 이 두 회(홍성군청) · 김 태 철(충남대)

Lee, Jae-Myun · Lee, Doo-Hee · Kim, Tai-Cheol

## Abstract

It is important to calculate runoff, percolation and evapotranspiration in process hydrological cycle. Especially, a evapotranspiration in watershed has a very important effect on hydrological cycle.

In the study, the watershed evapotranspiration was calculated by the water balance and a daily evapotranspiration coefficient(CE) was calculated by the modified Beken's formula.

## I. 서론

수자원의 수문학적인 순환 과정에서 유출량, 침투량 및 증발산량을 산정하는 것은 매우 어려우면서 중요하다. 특히 유역에서의 증발산량을 큰 영향을 미치고 있는데, 증발산량을 산정 방법에는 증발산계를 이용한 방법, 물수지 방법, 에너지수지 방법, 기상자료에 의한 잠재증발산량 산정 방법 등이 있다. 본 연구에서는 물수지 방법에 의해 관측값을 산정하고, 여기에 Beken식을 변형하여 일 증발산계수 CE를 구하여 증발산값을 추정하였다.

## II. 자료 및 방법

### 2.1 분석유역 및 측정자료

충북 청원군의 초정-미원지구의 각종 수문, 기상자료를 수집하였다. 유역현황은 금강 상류 미호천 지류로 유역면적 28.3km<sup>2</sup>, 주하천장 6.75km, 주변장 25.25km, 유역경사 0.0806이다. 관측자료는 2001년 3월부터 2003년 8월 현재까지 자동수위계, 토양수분측정기, 지하수위측정기 및 강우계를 설치하여 시간별 자료를 측정하였으며, 정기적으로 유량측정을 실시하고 있다.

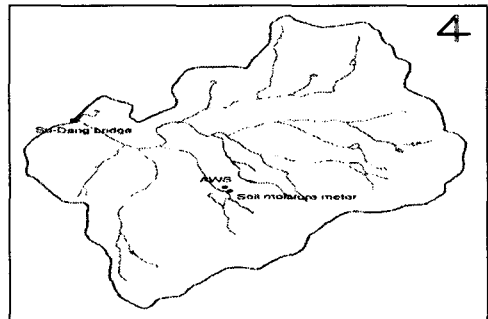


그림. 1 초정지구 유역도

### 2.2. 토양수분량과 지하수위 변화를 고려한 물수지법과 증발산량 추정

본 연구에서는 강우량과 유출량만을 고려한 물수지식에 토양수분변화량과 지하수위변화량을 고려한 물수지식을 사용하여 유역 증발산량을 계산하였다. 단, 타유역으로부터의 유입량과 유출량은 없는 것으로 한다.

$$ET = P - Q - \Delta G \pm \Delta S \dots \dots \dots (1)$$

ET : 유역증발산량(mm), P : 강우량(mm), Q : 유출량(mm), ΔG : 토양수분변화량(mm),  
ΔS : 지하수위변화량(mm)

유역 증발산량 추정은 증발을 일으키는 에너지원으로 pen증발량을, 증발산이 일어나는 토양수분을 고려한 Beken식을 변형하여 적용하였다. Beken식에서의 유역 증발산계수 CE는 년 단위의 계수로서, 이는 각 월별로 유역피복상태가 고려되지 않아 부정확한 증발산량이 추정될 수 있다. 그래서 일별 또는 기간별로 CE계수를 제시하고자 토양수분량과 지하수를 고려하여 유역증발산계수 CE를 일별로 계산한다. 이 연구에서는 식(2)의 토양수분량 S를 Dawast모형의 불포화층의 일별 토양수분량 WSU로 대체하여 입력하였다. 또한 잠재증발산량을 추정하기 위하여 월별 증발접시계수 C 값은 IHP보고서(1986년)에서 사용된 1월 0.59, 2월 0.66, 3월 0.71, 4월 0.75, 5월 0.79, 6월 0.79, 7월 0.79, 8월 0.77 9월 0.74, 10월 0.69, 11월 0.62, 12월 0.57를 적용하였다.

$$\text{Beken식} : ET_i = EO_i(1 - e^{-CE \times S}) \dots \dots \dots (2)$$

$$\text{변형 Beken식} : ET_i = EO_i(1 - e^{-CE \times WSU}) \dots \dots \dots (3)$$

$$EO_i = C \times EP_i \dots \dots \dots (4)$$

ET<sub>i</sub> : 일 증발산량(mm), EO<sub>i</sub> : 일 잠재증발산량(mm), CE : 유역 증발산계수, S : 토양수분량(mm)  
 WSU : 불포화층의 토양수분량(mm), C : 월별 증발접시계수, EP<sub>i</sub> : 일 증발접시증발량(mm)

### III. 결과 및 고찰

#### 3.1 관측자료의 분석

##### 3.1.1 수위 측정 및 유량측정성과

유역말단인 서당교에서 시간별 수위 측정을 하였으며, 정기적으로 유량측정을 실시하였다. 관측결과로부터 구한 수위-유량곡선식은 다음과 같다.

$$2001\text{년} : Q = 12.451 \times (h - 0.307)^{2.206} \quad 2002\text{년} : Q = 0.180 \times (h + 0.749)^{7.034} \quad 2003\text{년} : Q = 9.570 \times (h + 0.314)^{4.709}$$

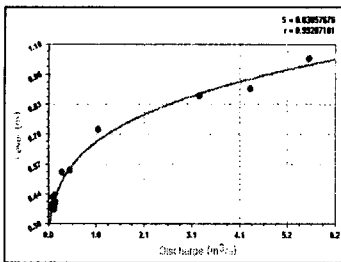


그림.3 수위-유량곡선식(2001)

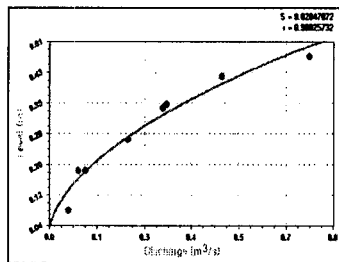


그림.4 수위-유량곡선식(2002)

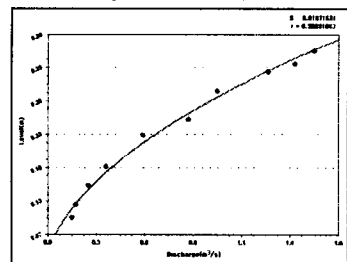


그림.5 수위-유량곡선식(2003)

##### 3.1.2 토양수분변화량

토양수분측정기를 이용하여 토양수분을 측정하였고, 계측된 자료는 토양함수비(%*v*)로 나타나므로 이를 변형 Beken식에 적용하기 위해서 mm단위인 WSU값으로 변환하였으며, 관계식을 이용하여 일별 WSU변화량을 구할 수 있다.

$$SMC(\%v) = 0.448 + 0.086 \times WSU(mm) \text{에서, } WSU = (SMC - 0.448) / 0.086 \dots \dots (5)$$

##### 3.1.3 지하수위변화량

자유수면 지하수위는 공동연구중인 농업기반공사에서 측정한 자유수면 지하수공의 측정자료를 사용하였다. 지하수위변화량은 연단위로 보았을 때는 크게 변하지 않았다.

#### 3.2 유역 증발산량 추정

물수지 분석과 Beken식으로부터 구한 월평균 증발산계수 CE를 다시 변형 Beken식에

대입하여 추정한 일별 유역 증발산량을 물수지 분석으로 구한 증발산량과 비교하였다.

### 3.2.1 물수지 분석과 증발산계수 CE

물수지식을 일별로 적용하면 증발산량이 음의 값이 나올 수 있는데, 증발산량이 음의 값이 나올 경우 증발산계수 CE 역시 음의 값으로 나온다. 이는 강우량이 없거나 매우 큰 경우로써, 강우량이 클 경우 단기간의 물수지식으로는 물수지를 설명하기 힘들기 때문에, 이를 방지하기 위하여 기간별로 계산하는 것이 안정적인 값으로 나타나며, 일반적으로 널리 쓰이는 월별 물수지를 이용하여 월평균 CE값을 추정하였다.

Table. 1 물수지 분석 결과

(단위 : mm)

구분	2001.1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	합계
P			12.7	8.0	8.9	233.47	122.79	70.82	7.0	46.6	6.8	8.4	525.48
Q			5.3	6.0	6.2	120.0	67.0	24.6	6.2	25.6	6.0	7.3	274.20
$\Delta S$			7.35	-5.93	-16.86	25.93	27.79	-32.79	-49.93	0.65	-3.61	-3.8	-51.20
$\Delta G$			0.0	0.0	-0.13	-2.41	0.73	-0.17	0.36	0.09	0.08	0.16	-1.29
ET			0.05	7.93	19.69	89.95	27.27	79.18	50.37	20.26	4.33	4.74	303.77
구분	2002.1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	합계
P	52.0	6.0	36.0	144.0	102.5	57.5	175.0	596.0	96.5	59.0	17.5	58.5	1,400.50
Q	15.0	5.6	9.7	82.5	45.0	8.2	94.5	436.4	27.6	23.4	6.2	31.2	785.30
$\Delta S$	34.39	-4.84	-1.95	-4.94	-14.04	-23.37	36.98	41.16	-0.47	-18.49	-12.98	18.8	50.25
$\Delta G$	-0.15	0.06	-0.01	-0.24	0.8	0.35	-0.22	-0.59	0.12	0.57	-0.7	-0.25	-0.26
ET	2.76	5.18	28.26	66.68	70.74	72.32	43.74	119.03	69.25	53.52	24.98	8.75	565.21
구분	2003.1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	합계
P	15.5	18.5	48.5	205.5	131.0	145.5	361.5	371.0	진행중				1,297.00
Q	13.1	6.1	9.1	140.0	72.0	65.1	238.3	249.0					792.70
$\Delta S$	-30.31	0.34	18.63	41.05	-20.47	12.67	5.7	2.67					30.28
$\Delta G$	2.82	0.54	1.12	-0.22	1.0	0.01	1.07	0.39					6.73
ET	29.89	11.52	19.65	24.67	78.47	67.72	116.43	118.94					467.29

P : 강우량(mm), Q : 유출량(mm),  $\Delta S$  : 토양수분변화량(mm),  $\Delta G$  : 지하수위변화량(mm), ET : 증발산량(mm)

Table. 2 증발산계수 CE

년 \ 월	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
2001			0.000006	0.000440	0.001162	0.008979	0.001825	0.004166	0.003677	0.003560	0.001435	0.001732
2002	0.000934	0.001192	0.002660	0.004113	0.005339	0.004561	0.001997	0.001325	0.006489	0.007137	0.005981	0.002753
2003	0.015625	0.003500	0.002528	0.003129	0.004582	0.004477	0.010809	0.009744	진행중			
평균	0.008280	0.002346	0.001712	0.002561	0.003694	0.006006	0.004877	0.005078	0.005083	0.005349	0.003708	0.002243

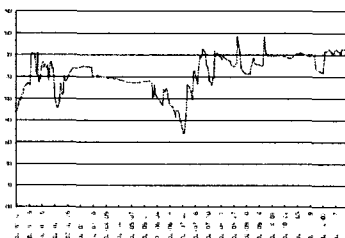


그림.7 토양수분변화(2002)

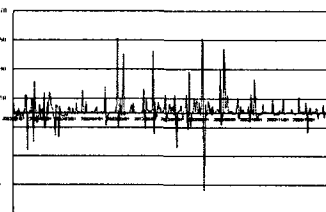


그림.8 물수지식에 의한 유역증발산 관측 (2002)

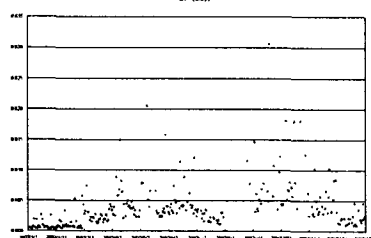


그림.9 일 증발산계수 CE(2002)

### 3.2.2 유역 증발산량 추정

물수지 분석에 의한 증발산량에 비해 연도별 월 CE값 과 월평균 CE 값을 적용하였을 때의 증발산량이 크게 나왔다(Table. 3). 특히, 월 강우량이 300mm 이상인 경우에는 물수지 분석에 의한 증발산량이 변형 Beken식에 의한 증발산량 보다 크게 나온 것을 알 수 있었다. 그러나, 300mm이상의 강우가 내린 월의 증발산량을 제외하고 합계를 구하면, 2002년에는 물수지 분석에 의한 증발산량은 446.2mm, 변형 Beken식에 의한 증발산량은 440.2mm, 452.6mm, 2003년에는 물수지 분석에 의한 증발산량은 232.9mm, 변형 Beken식에 의한 증발산량은 233.7mm, 227.4mm 로 거의 비슷하게 나타났다.

Table. 3 물수지 분석과 증발산계수 CE에 의한 유역 증발산량 (단위:mm)

월	물수지 분석	연도별 월 CE	월평균 CE	월	물수지 분석	연도별 월 CE	월평균 CE	월	물수지 분석	연도별 월 CE	월평균 CE
2001.01				2002.01	2.8	4.0	15.5	2003.01	29.9	17.3	12.6
02				02	5.2	7.1	13.2	02	11.5	12.2	9.6
03	0.1	0.1	16.6	03	28.3	30.4	22.3	03	19.7	22.7	16.9
04	7.9	9.4	46.3	04	66.7	66.8	50.1	04	24.7	42.1	37.7
05	19.7	29.4	80.9	05	70.7	77.7	67.0	05	78.5	77.5	72.9
06	90.0	82.6	73.2	06	72.3	79.0	99.5	06	67.7	61.9	77.7
07	27.3	38.4	65.3	07	43.7	40.4	64.6	07	116.4	78.4	51.0
08	79.2	74.8	100.1	08	119.0	62.4	54.0	08	118.9	71.8	66.6
09	50.4	52.5	72.1	09	69.2	61.2	58.9	09	진행중		
10	20.3	22.5	32.7	10	53.5	43.1	40.5	10			
11	4.3	6.1	11.7	11	25.0	21.5	14.8	11			
12	4.7	5.4	5.3	12	8.8	9.0	6.2	12			
합계	303.9	321.2	504.2	합계	565.2	502.6	506.6	합계	467.3	383.9	345.0

### IV. 결론

1. 2001년의 경우 월 증발산계수 CE를 적용을 하면 물수지 분석에 의한 증발산량보다 큰 차이를 보이지 않으나, 월평균 증발산계수 CE를 적용을 하면 큰 차이를 나타내고 있다. 이는 물수지 분석에 의한 월 증발산량은 강우량과 밀접한 관계로 강우량이 많을 때는 증발산량이 많이 발생하고 강우량이 적을 때는 증발산량이 적게 계산되는데, 2001년은 특히 가문해로 2002년과 2003년의 영향을 받아 월평균 CE값이 크게 나와 월 증발산량이 크게 나왔다.
2. 2002년과 2003년의 경우 변형 Beken식에 의한 증발산량이 물수지 분석에 의한 증발산량 보다 작게 나왔지만, 월 강우량이 300mm 이상인 경우를 제외하고 계산하면 물수지 분석에 의한 증발산량과 가깝게 나왔다.
3. 현재까지는 자료의 수가 적어 대표적인 유역 증발산계수 CE를 얻지 못하였지만, 앞으로 더욱 많은 자료를 수집하면 유역에 적합한 증발산계수 CE를 얻을 수 있을 것이다.

### 참고문헌

1. 김태철, 1992, 한국하천의 일유출 모형 구조와 사용 지침, 충남대학교 농업과학연구소.
2. 박찬제, 2003, 물수지분석에 의한 지하수 함양량 추정, 충남대학교 석사학위 논문.
3. 한영민, 2002, 토양수분량을 고려한 유역 증발산량 추정, 충남대학교 석사학위 논문.