

# FAO-56 모델 기반의 증발산량 추정기법 고찰

신강욱\* · 김병우

한국수자원공사

## Evapotranspiration Estimation based on FAO-56 model

Gang-Wook Shin\* · Byung-Woo Kim

K-water

E-mail : gwshin@kwater.or.kr / bwkim@kwater.or.kr

### 요 약

본 논문에서는 효율적인 물관리를 위하여 반드시 추정되어야 할 증발산에 대한 FAO-56 모델의 적용에 따른 물 수요량 산정방법의 효율성을 분석하고자 하였다. 증발산량 산정은 저수지 관리에 있어서 반드시 요구되고, 특히, 농업에서의 생산성 향상을 위한 관개용수에 중요하게 요구되고 있다. 따라서, 지금까지 적용되어온 기존 증발산량 기법에 대한 현황을 조사하고, 국제연합 식량농업기구(FAO)에서 제시한 가이드라인인 FAO-56 모델의 적용성을 고찰하였다.

산정기법의 적용성을 분석하기 위하여, 관개용수 관리를 위한 고도화 정책이 추진되고 있는 농업 비중이 매우 높은 중앙아시아 지역에 대하여 적용하였다. 적용 방법은 기존의 증발산량 실험식에 근거한 물 수요량 산정기법과 국제기준으로 제안된 FAO-56 모델을 적용한 물 수요량 산정에 대한 시뮬레이션을 수행하였다. 이를 통하여 향후 물 수요량 산정에서의 정확성을 높일 수 있는 방안에 대하여 모색하고자 하였다.

### 키워드

증발산량, 식량농업기구, 관개용수, FAO-56

## I. 서 론

중앙아시아 지역은 목화 등의 농업이 국가경제에 있어서 주요 산업으로 제시된다. 농업은 기후변화에 따라 생산량의 변동성이 매우 높은 분야이다. 따라서, 수자원 관리에 대한 중요도는 매우 높고, 수자원 보존량에 대하여 효율적인 이용과 관리가 이루어져야 한다. 특히, 기상분야 중 강수량에 대한 데이터 관리와 증발산량 산정이 주요 관리 항목이라 할 수 있다.

증발산량은 기후조건, 토양, 작물종류 등 다양한 요인에 따른 영향으로 관측기기를 이용하여 실측하기에 어려움이 많다.[1] 국제연합 식량농업기구는 기상요소와 작물계수를 기반으로 FAO-56 모델을 가이드라인으로 제안하였다.[2-3] 그러나, 증발산량에 미치는 기상요소가 매우 다양하기 때문에 제한된 기상자료를 통하여 FAO-56 모델의 유효성을 제안하는 연구가 이루어지고 있다.[4]

본 연구에서는 중앙아시아 지역에서 사용되고

있는 증발산량 실험식 근간의 물 수요량 산정기법을 분석하였다. 그리고, 국제연합 식량농업기구에서 제안한 FAO-56 모델을 적용한 물 수요량 산정량을 도출하여 비교하였다. 이를 통하여 중앙아시아 농업지역에 활용할 수 있는 증발산량 추정에 따른 물 수요량 예측의 정확성 향상에 대하여 고찰하였다.

## II. 기존 관개용수 수요량 산정기법

현재 운영되고 있는 중앙아시아 지역의 관개용수 수요량 산정기법은 행정구역 및 지형·기후 특성을 고려하여 관개용수 수요량을 산정하고 있다.

지역적 특성과 작물별 생육기간 동안의 작물별 관개용수량에 대한 실험식의 예는 다음과 같다.

$$M = 10 \times K_1 \times K_2 \times (E - O) \quad (1)$$

$$E = 0.0018 \times 0.8(25 + t)^2 \times (100 - a) \quad (2)$$

여기서 M : 관개용수량 ( $m^3/ha$ )

E : 표면증발량 (4~9월 중) (mm)

\* speaker

- O : 해당기간 강우량 합 (mm)
- K1 : 작물계수
- K2 : 지형 및 토양 상관계수
- t : 월 평균온도 (°C)
- a : 평균 상대습도 (%)

위 실험식으로부터 산출된 작물별 및 지역별 관개용수 수요량, 물공급 횟수, 그리고 작물 재배 기간 등에 대하여 표 1과 같이 산정하였다.

표 1. 작물별 물 수요량

Hydro Module	목화			토끼풀		
	물공급 횟수	용수량 (m <sup>3</sup> /ha)	기간	물공급 횟수	용수량 (m <sup>3</sup> /ha)	기간
I	2-4	7,300	5.11 - 9.15	9	9,600	3.16 - 9.25
II	2-4-1	6,600	5.16 - 9.10	9	9,200	3.21 - 9.25
III	2-3-1	6,300	5.16 - 9.10	8	8,800	4.1 - 9.15
VI	1-4-0	5,700	5.16 - 9.5	8	7,900	4.6 - 9.15
VIII	1-2-0	3,200	6.1 - 8.25	6	5,300	4.26 - 9.20
IX	1-3-0	4,100	5.11 - 8.25	7	6,100	5.11 - 8.31

관개용수 수요량에 대한 기준 산정 절차는 그림 1과 같다. 먼저, 관개 용수공급이 필요한 지역에서의 농작물에 대한 종류, 작물별 경작 면적, 수원 지배면적 등 기초자료를 수집한다. 이를 근간으로 작물별 표준 물 수요량을 표 1을 활용하여 단위 면적당 수요량으로 산출한다. 수요량을 구한 후 경작 면적을 곱함으로써 작물별 총 수요량을 산출할 수 있다. 그리고, 수원으로부터 관개수로 및 자연 환경에 따른 손실을 즉 물 공급 효율을 적용하게 되면 최종 관개용수 수요량이 산출하게 된다.

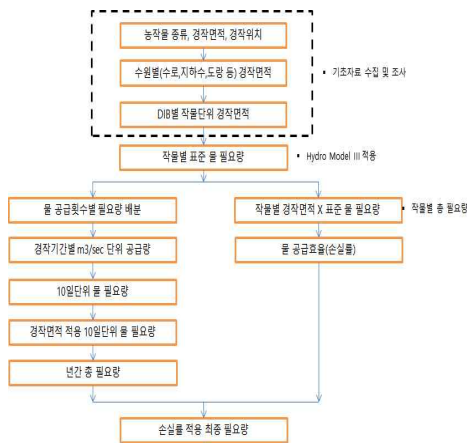


그림 1. 수요량 산정 흐름도

### III. FAO-56 모델분석

FAO에서 제시한 기준 잠재증발산량  $ET_o$ 를 추정하기 위한 FAO Penman-Monteith 식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$ET_o = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)} \quad (3)$$

- 여기서  $ET_o$  : 기준 잠재증발산량 ( $mm \ day^{-1}$ )
- $R_n$  : 순일사량 ( $MJ \ m^{-2} \ day^{-1}$ )
- $G$  : 토양으로 흡수되는 열유동량 ( $MJ \ m^{-2} \ day^{-1}$ )
- $T$  : 일 평균 공기온도 (°C)
- $U_2$  : 높이 2m에서 측정된 풍속 ( $m \ s^{-1}$ )
- $e_s$  : 포화수증기압 (kPa)
- $e_a$  : 실제수증기압 (kPa)
- $e_s - e_a$  : 포화수증기압 차 (kPa)
- $\Delta$  : 포화증기압곡선 경사 ( $kPa \ ^\circ C^{-1}$ )
- $\gamma$  : 건습구 상수 ( $kPa \ ^\circ C^{-1}$ )

기준 잠재증발산량을 구하기 위하여, 첫째, 순일사량  $R_n$  을 구하는 방법은 태양복사량  $R_{ns}$  과 장파복사량  $R_{nl}$  의 차이를 통하여 식 (4)와 같이 구한다.

$$R_n = R_{ns} - R_{nl} \quad (4)$$

식 (4)에서의 태양복사량  $R_{ns}$  은 식 (5)에 따라 구할 수 있다

$$R_{ns} = (1 - \alpha) R_s = (1 - 0.23) R_s \quad (5)$$

지구도달 태양복사량  $R_s$  는 식 (6)과 같이 구할 수 있다.

$$R_s = (a_s + b_s \frac{n}{N}) R_a \quad (6)$$

외기 복사량  $R_a$  는 다음 식 (7)과 같이 구한다.

$$R_a = \frac{24(60)}{\pi} G_{sc} d_r [\omega_s \sin(\psi) \sin(\delta) + \cos(\psi) \cos(\delta) \sin(\omega_s)] \quad (7)$$

장파복사량  $R_{nl}$  을 구하기 위해서는 다음 식 (8)을 적용한다.

$$R_{nl} = \sigma \left[ \frac{T_{Kmax}^4 + T_{Kmin}^4}{2} \right] (0.34 - 0.14\sqrt{e_a}) (1.35 \frac{R_s}{R_{so}} - 0.35) \quad (8)$$

일 단위 평균 온도는 식 (9)와 같이 구할 수 있다.

$$T = \frac{T_{max} + T_{min}}{2} \quad (9)$$

실제 수증기압에 대한 데이터가 없는 경우 상대습도를 적용하여 다음 (10)과 같이 구할 수 있다.

$$e_a = \frac{RH(\%)}{100} e_s = \frac{RH}{100} 0.6108 \times \exp^{17.27 T / (237.3 + T)} \quad (10)$$

평균 상대습도  $RH_{mean}$  를 적용하면, 포화 수증기 압차에 대한 값은 식 (11)을 통하여 구할 수 있다.

$$e_s - e_a = e_s \left(1 - \frac{RH}{100}\right) = \left(0.6108 \exp\left[\frac{17.27 T}{T + 237.3}\right]\right) \times \left(1 - \frac{RH}{100}\right) \quad (11)$$

포화증기압곡선 경사값은 해발고도와 대기압 데이터를 적용하여 식 (12)와 같이 구한다.

$$\gamma = 0.665 \times 10^{-3} P = 0.665 \times 10^{-3} \times 101.3 \left(\frac{293 - 0.0065z}{293}\right)^{5.26} \quad (12)$$

건습구 상수값은 대기온도 값을 적용하여 식 (13)으로 구한다.

$$\Delta = \frac{4098 \left[0.6108 \exp\left(\frac{17.27 T}{T + 237.3}\right)\right]}{(T + 237.3)^2} \quad (13)$$

#### IV. 시뮬레이션 분석

시뮬레이션은 기존 산정방식과 FAO-56 모델의 적용을 통한 상대 비교가 가능한 목화 작물에 대하여 적용하였다. 이는 작물계수, 토양계수, 그리고 기상자료 등을 고려하여 2018년 물 공급 데이터에 대하여 적용하였다.

기존 Hydro-Module 방식을 적용한 결과, 목화 작물에 대한 단위 면적당 수요량은  $6300 m^3$  이며, 경작기간은 5월 16일부터 9월 10일까지 약 3개월 동안이었다. 목화밭의 면적은 75,580 ha 이며, 이에 대한 총 수요량을 계산한 결과 476.154백만  $m^3$ 의 수요량을 구할 수 있었다.

반면, FAO-56 모델을 적용하여 기준 잠재증발산량을 구하면, 727.7 mm 값을 얻을 수 있었다. 이를 식 (1)에서와 같이 단위 면적당 수요량으로 환산하면 3,311  $m^3$  값을 얻었다. 단위 면적당 수요량을 목화밭 면적에 적용하여 총 수요량을 계산하면, 250.256백만  $m^3$ 을 구할 수 있었다.

이와 같은 결과를 통하여, FAO-56 모델을 적용한 경우는 기존 Hydro-Module 방식을 적용한 경우보다 약 47% 적게 관개용수 수요량이 산정되었음을 알 수 있다. 또한, 아래 그림 2와 그림 3을 통하여 잠재증발산량에 대한 영향 인자인 평균온도와 일조시간 등의 상관성을 확인할 수 있다.

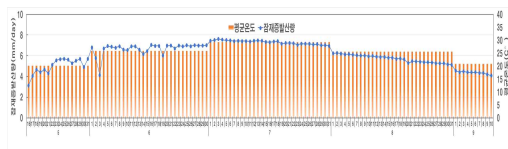


그림 2. 평균온도와 잠재증발산량

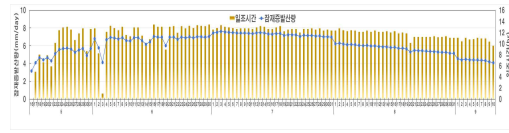


그림 3. 일조시간과 잠재증발산량

#### V. 결 론

본 연구에서, 기존의 관개용수 수요량 산정기법에 따른 데이터와 FAO-56 모델을 적용한 결과를 비교·분석하였다. FAO-56 모델을 적용하기 위해서는 순일사량, 열유동량, 수증기압, 온도, 풍속 등을 포함한 다양한 기초자료가 요구된다. 그러나, 중앙아시아 지역에서 확보할 수 있는 기상자료가 한정되어 있기 때문에, FAO 가이드라인에서 제시된 방법을 통한 FAO-56 모델 적용에 어려움이 있었다.

시뮬레이션의 결과와 같이 FAO-56 모델이 기존 Hydro-Module 방식보다 관개용수 수요량이 약 47% 적게 산정되었다. 그러나, 물 수요량에 대한 시뮬레이션 결과는 실제 작물 생산량에 어떠한 영향을 미치는지에 대한 평가시스템이 존재하지 않기 때문에 정확한 검증이 이루어지지 못하였다. 따라서, 향후 일정기간의 시범적용을 통한 추가 검증으로 FAO-56 모델에 의한 물 수요량 산정 데이터의 신뢰성이 확보될 수 있을 것으로 판단된다. 따라서, 향후 본 연구의 결과를 통하여 관개용수를 대폭 절감하는 효율적 물관리 체계가 기대한다.

#### References

- [1] Yun JI, "Using spatial data and land surface modeling to monitor evapotranspiration across geographic areas in South Korea," *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology*, Vol. 6, No 3, pp. 149-163. 2004.
- [2] FAO, "FAO Irrigation and Drainage Paper No.56 Crop Evapotranspiration", 2006.
- [3] American Society of Civil Engineers, "The ASCE Standardized Reference Evapotranspiration Equation", 2001.
- [4] S.J. Kim, "Applicability Analysis of FAO-56 Penman-Monteith Methodology for Estimating Potential Evapotranspiration in Andong Dam Watershed Using Limited Meteorological Data," *Journal of Climate Change Research*, Vol.8, No. 2, pp. 125-143, 2017.