

새로운 발용수 수요량¹ 추정기법 정립

Determination of a New Method for the Upland Water Requirements

김현영 · 서영제 · 심문산 · 이광야* (농진공)

Kim, Hyun Young · Suh, Young Jea · Sim, Mun San · Lee, Kwang Ya

Abstract

In the practice, ET was mainly estimated by Blaney-Criddle or FAO Penman method. But these methods were found to frequently overestimate ET. And calculation of effective rainfall by empirical formula is hardly to explain crop property and soil texture. Since 1990, FAO recommended the adoption of Penman-Monteith combination method as a new standard for reference ET. Purpose of this study is establish new estimate method of upland crop requirements. We adopt P-M method to estimate ET and set up soil moisture balance equation to calculate effective rainfall and irrigation water requirements. We expect that this new method rise efficiency of upland water management.

I. 서론

21세기의 용수 부족이 예견되는 지금 국가적인 수자원 개발과 관리가 사회적인 관심의 초점이 되고 있다. 수자원의 효율적 이용을 위한 수요량과 공급량의 합리적인 산정이 절실히 요구되고 있으며, 그 결과에 따라 종합적인 수자원 개발과 수리시설의 유지관리 등이 수행되어야 하며 국가적 차원의 수자원 이용계획이 수립되어야 한다.

최근 효율적 물관리에 대한 사회·환경적 요구에 의해 정부에서는 용도별 수요량 추정기법(1998년)을 정립하여 금년부터 정확한 수요추정을 실시하고 있으며, 용수의 약 50%를 차지하는 농업용수는 농진공을 중심으로 수요량을 조사하고 있다. 이제까지는 농업용수의 수요량 추정은 증발산량 산정방법, 수요와 공급의 정의, 산정기관에 따라 상이한 결과를 도출하고 있다. '90년대 초반까지 농업용수의 이용은 논의 관개시설 개발 및 유지관리에 국한되어 발용수 개발이 거의 이루어지지 않았다. 과거의 무관심으로 인해 발용수 수요량의 추정은 논에 비해 국내의 연구사례가 적고 명확한 산정방법의 기준도 없는 실정이다. 그러나 경제·사회적인 여건 변화와 더불어 밭의 관개의 필요성이 증가하고 정부에서도 2004년까지 우리나라의 총 밭면적중 14.5%에 해당하는 110,000ha를 밭기반 정비 대상 면적으로 확정하고 '97년까지 14,928ha를 시행 완료하였다.

특히 밭의 수요량 산정은 논에 비해 작물의 종류가 많고 토양내 물 소비기구가 복잡하여 토양, 작물의 종류, 생육조건 등에 따라 크게 영향을 받으므로 정확한 수요량을 추정하기가 쉬운 작업이 아니다. 본 연구는 기존의 발용수 수요량 추정방법의 특징과 문제점을 분석한 다음 새로운 발용수 수요량을 추정 기법을 제시하고자 한다.

II. 기존 발용수 수요량 추정방법의 문제점

1. 증발산량 추정

작물 필요수량을 산정하기 위해 실무에서 주로 이용되는 방법으로 SCS Blaney-Criddle (B-C)법과 FAO-Penman법 등이 있다. B-C법은 1970년대부터 농어촌진흥공사에서 증발산량을 산정하기 위해 도입하여 농업종합개발사업의 설계에 활용하고 있으며 1980년대 이후부터 FAO-Penman법이 도입되어 활용되고 있다. 그러나 B-C법은 기온자료만을 이용하므로 계산은 간단하지만 우리나라 하절기의 복잡한 기상상황을 작물의 입장에서 잘 표현하지 못하는 단점이 있어 현재에는 FAO-Penman법이 주로 설계에 이용되고 있다. 그러나 FAO는 B-C법이나 Penman법이 실측 증발산량과의 비교에서 과대치를 산정하는 경향이 있음을 발표하였고, 이러한 편차를 저감하기 위해 1990년부터 Penman-Monteith(P-M)법을 추천하고 있다.

2. 유효수량 산정

강수량 중에서 작물의 생육에 이용되는 수량인 유효수량은 발용수에서 공급량을 결정짓는 가장 큰 인자이다. 유효수량은 강수량과 발 토양특성에 따라 큰 차이가 나타나는데 이중 강수량이 가장 영향이 큰 변수이다. 강우는 해마다 차이가 크게 나타나며 이로 인해 농업용수의 공급량 결정에 빈도개념이 도입되어 유효수량의 경년변화를 보정해 주고 있다. 또한 경지의 경작 상태, 작물의 종류, 토양의 종류, 경작 방법, 경사, 수문학적 처리등 경지인자도 상당히 큰 영향을 미친다.

농업생산기반정비사업계획설계기준 관개편(농림부)의 유효수량을 산정법은 발토양의 총신속 유효수분(TRAM)에서 강우직전의 유효수분량을 제외한 유효수량의 상한치와 강우의 80%를 비교하여 일강우의 80%보다 유효수분량이 크면 유효수량은 유효수분량이고 작으면 일강우의 80%를 유효수량으로 계산한다. 그러나 이 방법은 일강우의 80%가 무조건 토양으로 침투되는 가정으로 수문학적인 신뢰성이 결여되어 있으며 토양에 따라 측정된 TRAM값이 요구되므로 실무에서 일반적으로 적용하기 곤란한 점이 있다.

또한 FAO에서 발간한 전산프로그램(Cropwat4)에서는 4가지 유효수량 산정법을 제시하고 있으며 주로 경험식에 의해 유효수량을 산정하고 있다.

III. 발용수 수요량 추정기법 정립

1. 기본식

발용수 수요량은 증발산량에 유효수량을 고려하여 다음과 같이 산정한다.

$$\text{순용수량} = \text{증발산량} - \text{유효수량}$$

$$\text{조용수량} = \text{순용수량} \times (1/\text{관개효율}) \times \text{관개면적}$$

$$\text{여기서 증발산량} = \text{잠재증발산량} \times \text{작물계수}$$

$$\text{유효수량} = \text{일별 토양수분추적법}$$

가. 잠재증발산량

발용수 수요량은 관개 대상지의 기상, 작부체계와 토양상태를 충분히 파악하여 산정하여야 한다. 1970년대초 세계식량기구(FAO)는 관개에 필요한 작물 필요수량을 계산하는 표준 방법을 개발하였고, 최근에는 새롭게 잠재증발산량을 구하는 표준방법으로 P-M법을 채택하였다.

기상자료를 이용하는 P-M법은 세계식량기구(FAO), 관개배수위원회(ICID), 세계기상기구(WMO)등에서 추천하고 여러 연구에서 가장 정확한 것으로 인정받고 있으며, 기존의 Penman법의 단점을 줄였으며 전 세계적으로 작물 필요수량에 대하여 일관된 값을 제공하고, 적용성이 뛰어난 것으로 알려져 있다. P-M법을 공기역학적인 항과 일사량(에너지)에 관계된 항으로 식을 나타내면 다음과 같다.

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

여기서, ET_o : 잠재증발산량(mm/day)

R_n : 순일사량(mm/day),

$(e_a - e_d)$: 증기압차(mbar)

Δ : 수증기압 곡선,

γ : 습도 상수

G : 토양으로 흡수되는 열유동량

나. 작물계수

국내에서 사용되는 작물계수는 1970년대의 영산강, 금강, 평택, 삼교천등 대단위 농업종합개발사업에 의해 사용된 잠재증발산량 추정법(B-C법)과 함께 도입되었는데 기온자료를 이용한 B-C식의 작물계수는 미국의 자료(Irrigation water requirements, technical release 21, 1967. SCS)를 주로 이용하였으며 80년대에 들어 Penman법을 도입되면서 주로 벼의 작물계수에 대한 몇몇의 국내 연구가 시작되었으며 1987~1990의 연구(발작물 소비수량 산정방법 정립연구, 농어촌진흥공사)에서 밭 작물의 작물계수가 실측되었다. 그러나 국내의 관측된 작물계수는 사용자간의 편차가 심한 편이며 신뢰도가 높지 않은 단점을 가지고 있다. 본 연구에서 FAO에서 추천하고 있는 P-M법의 작물계수(Crop evapotranspiration, FAO I & D No. 56, 1998)를 적용하였다.

다. 유효우량

발용수 수요량을 산정하기 위하여 밭의 일별 물수지는 토양내의 수분량 이동을 분석하며 다음식과 같이 고려할 수 있다.

$$D(t) = D(t-1) + R_e(t) + Req(t) - U(t)$$

여기서 $D(t)$ = t 일의 밭 토양수분(mm)

$D(t-1)$ = 전일의 밭 토양수분(mm)

$R_e(t)$ = t일의 유효우량(mm)

$Req(t)$ = t일의 밭 관개량(mm)

$U(t)$ = 당일의 소비수량

그러므로 물수지를 고려한 밭의 유효우량은 다음식과 같이 나타낼 수 있다.

$$R_e(t) = D(t) - D(t-1) - Req(t) + U(t)$$

여기서 $U(t)$ = $ET(\text{작물 증발산량(mm)})$

그러나 실제 밭에서의 토양수분의 변화는 당일의 강우량과 필요수량 및 토양수분량의 관계에서 구해야 하며 이는 가정한 토양수분최대저류량(D_{max}) 및 위조점(D_{min})에 의해 제한되어

진다. 토양수분, 강우량, 필요수량의 관계는 다음과 같은 3가지의 경우를 생각할 수 있다.

① $D_{max} \leq D(t-1) + inf(t) - U(t)$ 이면

$Req(t) = 0$ 이고 $Rep(t) = D_{max} - D(t-1) + U(t)$

여기서 $inf(t) = t$ 일의 침투량

$Rep(t) = t$ 일의 유효가능우량(potential effective rainfall)

유효강우량 $Re(t)$ 는 다음 관계에서 구할 수 있다.

$inf(t) \geq Rep(t)$ 이면 $Re(t) = Rep(t)$

$inf(t) < Rep(t)$ 이면 $Re(t) = Ra(t)$

② $D_{min} \leq D(t-1) + inf(t) - U(t) < D_{max}$ 이면

$Req(t) = 0$ 이고 유효우량은

$inf(t) \geq Rep(t)$ 이면 $Re(t) = Rep(t)$

$inf(t) < Rep(t)$ 이면 $Re(t) = Ra(t)$

③ $D_{min} > D(t-1) + Ra(t) - U(t)$ 이면

$Req(t) = D_{max} - D(t-1) - inf(t) + U(t)$ 와 같고

$inf(t) \geq Rep(t)$ 이면 $Re(t) = Rep(t)$

$inf(t) < Rep(t)$ 이면 $Re(t) = Ra(t)$

한편 D_{max} 와 D_{min} 을 산정하는 방법은 토양별, 심도별 포장용수량과 위조점을 작물과 토양에 따라 적용하였다. 한국의 전토양(농촌진흥청, 1986)에서는 125개 밭 토양통의 토층별 포장용수량과 영구위조점을 조사하였으며 본 연구에서는 이 자료를 활용하였다. 토양의 유효심도는 작물의 생장에 따른 순별 뿌리깊이를 적용하였다. 또한 일강우량의 크기가 5.0mm 이하인 경우에는 작물의 잎에 차단되어 실제 수요량에는 기여하지 않는 무효강우로 보는 것이 타당하며 어떠한 경우에도 유효우량의 크기는 D_{max} 에 그날의 소비수량을 더한 양을 초과하지 못한다.

라. 관개효율

손실수량은 포장내의 적용효율과 송수중의 손실을 고려한 관개효율에 의하여 산정한다. 본 연구에서 적용한 관개효율은 다음과 같다.

구 분	적용효율	송수손실	관개효율
스프링클러	80~90%	5~10%	70~85%
점 적	85~95%	5~10%	75~90%
지 표 관개	70%	5~10%	60~65%

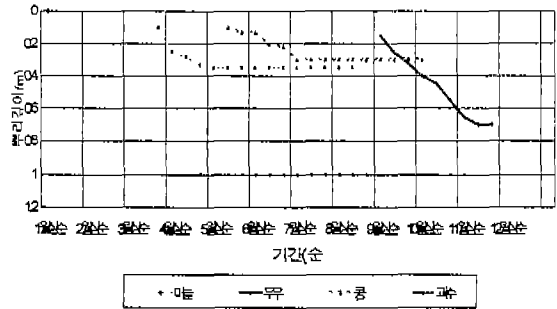
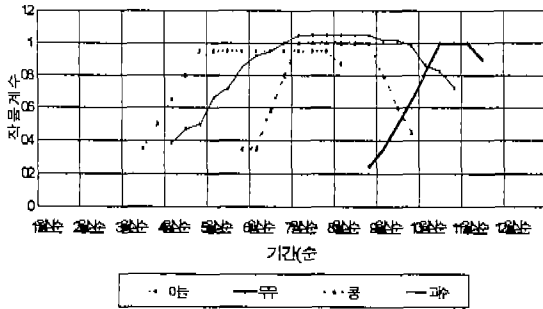
주) 관개효율은 적용효율에서 반송손실을 제한 값이다.

2. 밭 용수 수요량 산정

가. 대상 작물

수요량을 산정하기 위한 대상작물로서 마늘, 가을무, 콩, 과수(사과)를 선정하였고 수원관

축소의 기상자료(1996년)로 수요량을 추정하였다. 대상작물의 작물계수와 작물재배기간 및 뿌리깊이는 <그림 1>과 <그림 2>와 같다.



<그림 1> 작물별 작물계수

<그림 2> 작물 재배기간별 뿌리 깊이

나. 증발산량

기초자료의 데이터베이스 구축후 P-M법을 이용하여 일별 증발산량 산정이 가능한 전산 프로그램을 개발하였다.

다. 유효수량

대상 경작지의 밭 토양은 대본토, 북평토, 먼지토가 60%, 15%, 25%이며 토양층별 포장용수량과 위조점 자료와 순별 작물뿌리 깊이에 따라 Dmax와 Dmin을 산정하고 토양수분을 일별로 계산하여 유효수량과 관개 필요수량을 산정하였다.

라. 산정결과

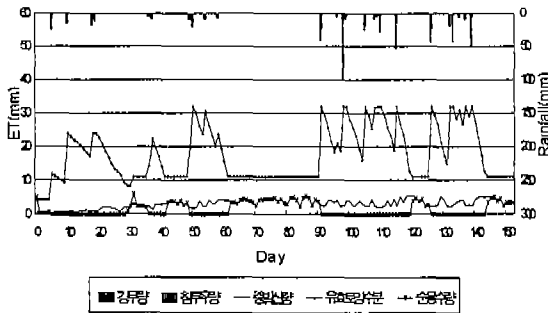
1) 마늘의 경우 <그림 3>와 같이 관개일수는 150일이며 강우량 584.2mm의 42.2%가 유효수량으로 산정되었다. 또한 증발산량은 454.9mm이며 이중 유효수량을 제외한 219mm가 순관개 필요수량으로 산정되었다.

2) 가을무의 경우 <그림 4>과 같이 관개일수는 90일이며 강우량 166.8mm의 60.8%가 유효수량으로 산정되었다. 또한 증발산량은 134.5mm이며 이중 유효수량을 제외한 73.7mm가 순관개 필요수량으로 산정되었다.

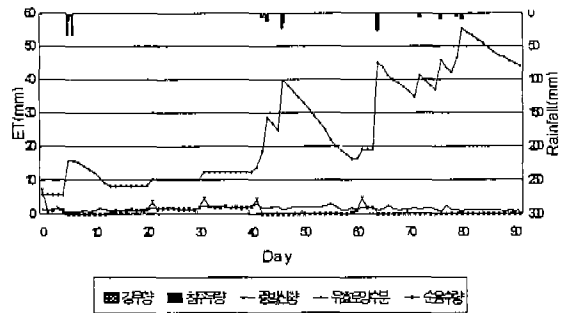
3) 콩의 경우 <그림 5>와 같이 관개일수는 130일이며 강우량 513.8mm의 31.8%가 유효수량으로 산정되었다. 또한 증발산량은 374.9mm이며 이중 유효수량을 제외한 221.1mm가 순관개 필요수량으로 산정되었다.

4) 과수의 경우 <그림 6>와 같이 관개일수는 210일이며 강우량 645.0mm의 64.7%가 유효수량으로 산정되었다. 또한 증발산량은 634.7mm이며 이중 유효수량을 제외한 272mm가 순관개 필요수량으로 산정되었다.

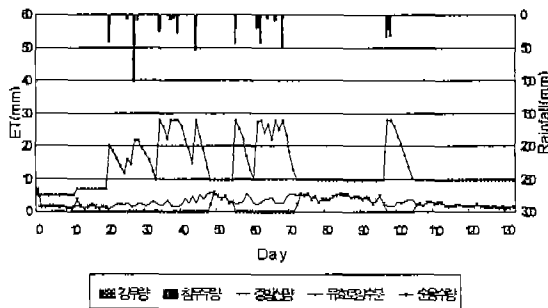
5) P-M법으로 산정한 증발산량은 4개 작물모두 FAO에서 제시한 작물별 증발산량과 비슷한 값을 나타내었다. 또한 일별로 토양수분을 추적하여 산정한 유효수량은 작물별 유효토층(작물뿌리깊이)에 따라 상이하며 뿌리깊이가 커질수록 유효수량이 증가하였다.



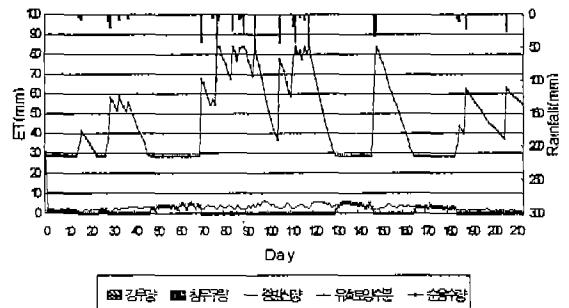
<그림 3> 작물 증발산량과 소비수량(마늘)



<그림 4> 작물 증발산량과 소비수량(무우)



<그림 5> 작물 증발산량과 소비수량(콩)



<그림 6> 작물 증발산량과 소비수량(파수)

IV. 결 론

현재 밭 용수 수요량을 산정하기 위하여 실무에서 주로 사용되는 증발산량 산정법은 B-C법 또는 Penman법이다. 또한 유효우량은 경험적인 추정식을 적용하고 있다. 그러나 이들 방법은 증발산량 산정에 있어 과대산정의 경향이 있으며 유효우량과 관개 필요수량의 산정에 있어 작물과 밭 토양의 특성을 잘 반영하지 못하고 있다. 본 연구는 증발산량 산정에 FAO에서 추천하는 P-M법을 적용하고 유효우량과 관개 필요수량의 산정에 일별 토양수분 추적법을 적용하여 합리적인 밭용수 수요량을 산정하는 기법을 제시하였다.

<참고 문헌>

1. 농업수리학, 1986. 향문사
2. 농업생산기반정비사업계획설계기준(관개편), 1998. 농림부
3. 밭작물 소비수량 산정방법 정립연구, 1987~1990. 농어촌진흥공사
4. 삼교천지구 농업종합개발사업기본계획서, 1975. 농업진흥공사
5. 영산강 III-IV 지구 기본조사보고서(수문), 1978. 농업진흥공사
6. 작물학 강좌 : 공예작물학, 1987. 선진문화사
7. 한국의 전토양, 1986. 농촌진흥청
8. Crop evapotranspiration, FAO Irrigation and Drainage paper 56, 1998
9. Crop water requirements, FAO Irrigation and Drainage paper 24, 1977. FAO
10. Irrigation water requirements, technical release 21, 1967. SCS