

증발산량 산정기법에 따른 발작물의 적정 관개량 모의

Simulation of Optimum Irrigation Water of Upland Crops
by Evapotranspiration Calculation Methods

김 선 주 · 이 주 용* · 김 필 식(건국대)

Kim, Sun-Joo · Lee, Joo-Yong* · Kim, Phil-Shik

Abstract

The objectives of this study are for finding an optimal calculation method comparing observed evapotranspiration with calculated evapotranspiration by Blaney-Criddle, Penman and Penman-Monteith method which are used in many place of Korea. And after applying optimal calculation method, optimal irrigation is presented through calculation of effective rainfall and requirement water considering characteristics of region, crop and soil.

I. 서론

우리나라는 기상조건이 시기 및 지역별로 큰 차이를 나타내며, 강우량도 여름에 집중되어 있어 농작물이 성장하기 위해서는 적절한 관개가 필요하다. 물은 농작물 성장에 있어 필요한 요소로써, 각 조건에 따라 어느 정도의 양을 공급할 것인가가 농업용수를 산정하는데 있어 가장 큰 관건이다. 논은의 경우 지금까지 많은 연구가 있어 관개 체계가 자리잡혀 있지만, 밭작물의 경우에는 증발산량 및 필요수량, 유효우량등의 산정을 위한 연구 데이터가 제한적이며 이론체계의 확립이 미비한 실정이다. 특히 체계적인 밭 관개 용수공급에 대한 확립이 미비하여 대부분의 밭작물 재배지역은 관정에 의해 무분별하게 지하수를 사용하고 있다. 또 밭 기반 정비사업이 완료된 지역에서는 발용수에 대한 관리가 이루어지나, 정비사업이 완료되지 못한 지역에 비해 그 면적이 1/10에도 미치지 못하여 실질적인 전체 용수 관리가 이루어지지 못하고 있다.

본 연구에서는 수원지역을 중심으로 데이터 베이스화된 각 기상 인자를 우리나라에서 많이 사용되는 Penman 법과 Blaney-Criddle 법, 또 최근 FAO등에서 추천하는 Penman-Monteith 법에 적용하여 증발산량을 산정하고, 실측치와의 비교를 통하여 해당 지구의 최적 산정식을 제시하고자 한다. 이렇게 제시된 증발산량 산정식을 적용하고 지역적 특성과 작물 및 토양 특성을 고려하여 밭 토양내의 수분을 추적하는 물수지 방법을 이용, 유효우량과 관개 필요수량을 산정하므로써 작물별 적정 관개량을 제시하고자 한다.

II. 기본이론

2.1 증발산량

작물의 증발산량을 산정하는 방법에는 라이시미터법, 증발계법과 같이 실측하여 구하는 방법과 Blaney-Criddle 법, Penman 법, Penman-Monteith 법 등과 같이 기상 자료를 이용하여 추정하는 방법이 있다. Blaney-Criddle 법은 과거에 증발산량 산정에 많이 쓰인 방법이며, Penman 법의 경우는 최근까지 사용되는 방법이며, Penman-Monteith법은 FAO에서 권장하는 가장 정확도가 높은 방법으로써 향후 많은 연구가 필요하다.

2.2 유효우량

밭관개의 궁극적인 목적은 토양내 수분이 생장저해 수분점에 도달하기 직전에 관개하여 근근역의 토양수분을 포장용수량으로 회복시키는 것이다. 이때 공급량을 결정짓는 가장 중요한 인자중 하나인 유효우량에 따라 관개량과 관개시기가 달라진다. 본 연구에서는 토양의 특

성을 고려하여 토양의 유효수분량을 적용한 일별 토양수분 추적법으로 유효우량을 산정하였다. 일반적으로 발용수 수요량을 산정하기 위하여 발의 일별 토양수분 물수지는 토양내의 수분량 이동을 분석하며, 물수지를 고려한 발의 유효우량은 아래 식과 같이 나타낸다.

$$Re(t) = SM(t) - SM(t-1) - Req(t) + U(t) \quad (1)$$

여기서, $Re(t)$: 유효우량(mm), $SM(t)$: t일의 발 토양수분, $Req(t)$: t일의 관개필요수량, $U(t)$: t일의 소비수량

강우량이 근근역을 포함할 수 있는 깊이보다 크면 유효우량은 근근역이 포함 할 수 있는 양과 같으며, 근근역 깊이보다 작은 경우의 유효우량은 강우량과 같다. 이 경우의 토양수분은 가정한 토양수분 최대저류량 및 성장저해수분점에 의해 제한된다.

III. 재료 및 방법

3.1 증발산량 산정 모형의 적용

본 연구의 적용 대상 지역은 경기도 수원 지역으로 하였으며, 대상작물은 2000년 현재 수원에서 가장 넓은 재배면적을 가지고 있는 고추와 콩, 배추를 선정하였다. 기상자료는 1960년부터 2002년까지 평균기온, 최고기온, 최저기온, 평균습도, 풍속, 일조시간, 강우량을 데이터 베이스화 하여 각각 증발산량 산정 공식에 적용하였으며, 3가지 선정 작물에 대한 실측자료는 1988년부터 1990년까지의 자료를 사용하였다.

각 방법에 따른 작물계수에 대해서는 Blaney-Cridde 법과 Penman 법은 「FAO-24 Crop water requirements」에서 제시한 계수를 대상지구의 습도와 풍속, 재배작물의 생육 시기를 고려하여 선별하였으며, Penman-Monteith 법의 경우 「FAO-56 Crop evapotranspiration」에서 제시한 계수를 생육기별로 구분하여 결정하였다.

Table 1. Crop coefficient by calculation methods

구 분		5월			6월			7월			8월			9월			10월			11월			
		상	중	하	상	중	하	상	중	하	상	중	하	상	중	하	상	중	하	상	중	하	
Blaney-Cridde 법 / Penman 법	고추			0.35	0.35	0.65	0.65	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.80	0.80	0.80	0.85							
	콩			0.35	0.35	0.68	0.68	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.45	0.45							
Penman-Monteith 법	배추												0.35	0.35	0.65	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.80	0.80
	고추			0.35	0.35	0.35	0.55	0.80	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.87	0.85							
	콩			0.35	0.35	0.58	0.80	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.80	0.60	0.45							
	배추											0.35	0.35	0.50	0.65	0.80	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	

3.2 관개량 산정

토양수분 소비형은 작물의 뿌리깊이에 유효토층의 이용가능수량을 곱하여 토양수분 감소율을 적용시켰으며, 5mm/d이하의 강우는 무효강우로 취급하고 그 이상의 강우량에 대해서 식 (1)과 같은 이론을 바탕으로 포장용수량과 성장저해수분점을 제한하여 유효우량을 산정하였다.

Table 2. The water content at field capacity and wilting point (Suwon, Songsan series)

토층(cm)	포장용수량(%)	성장저해수분점(%)
0~18	22.0	13.5
19~25	20.7	12.7
26~46	22.5	13.5
47~82	29.7	13.5
83~200	11.9	9.5

Table 3. Ranges of maximum effective rooting depth, and soil water depletion fraction for no stress

작물명	최대뿌리깊이(m)	감소율
콩	0.6~0.8	0.5
고추	0.5~1.0	0.3
배추	0.5~0.8	0.45

총 관개량은 토양수분이 성장저해수분점에 도달하면 포장용수량까지 회복시킬수 있도록 유효우량을 고려하여 산정하였다.

IV. 결과 및 고찰

4.1 모형에 의한 증발산량 산정

증발산량 산정 모형에 수원의 기상 자료를 적용하여 각각의 방법별로 증발산량을 산정하고, 적용성을 검토하기 위하여 “밭작물 소비수량 산정방법정립 연구(IV)”에서 고추, 콩, 배추 등 3개의 밭작물을 대상으로 실측한 자료와 프로그램에서 산정된 값을 이용하여 작물별 증발산량을 비교하였다.

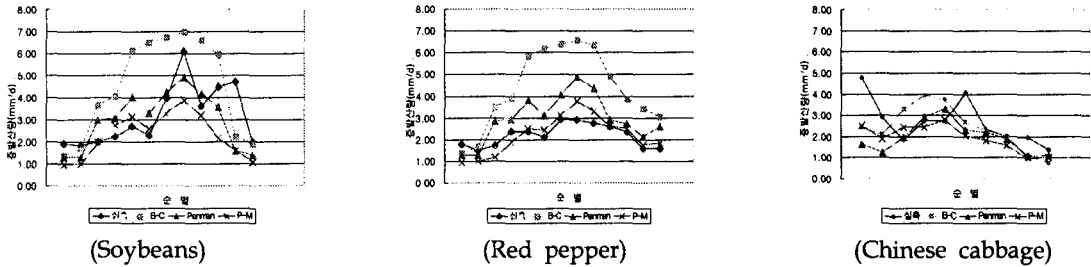


Fig. 1. Comparison of Calculated and Observed Evapotranspiration

각 방법별로 실측치와 비교한 결과 고추, 콩, 배추에서 모두 B&C 법과 Penman 법 보다 P&M 법이 더 실측값과 근사한 것을 알 수 있다. B&C 법의 경우 재배 초기와 수확시기에서는 실측치와 비슷한 값을 보였으나 기온자료만을 이용하여 재배 중간시기에는 실제보다 약 2배 이상의 증발산량을 나타냈으며, Penman 법의 경우 실제 증발산량보다 과대치를 산정하는 경향이 있음을 나타냈다. FAO 및 세계 관련기관에서 추천하고 있는 Penman-Monteith 법은 적용결과, 다른 방법에 비하여 실측치에 근사한 경향을 보이지만, 재배 초기와 수확기에는 실측치보다 작은 증발산량을 나타내는 경향을 나타냈다.

Table 4. Relative error of calculated and observed Evapotranspiration

구 분	Blaney-Criddle 법	Penman 법	Penman-Monteith 법
콩	0.64	0.34	0.31
고 추	0.98	0.41	0.19
배 추	0.36	0.28	0.29

4.2 밭 관개량 산정

방법별 증발산량 산정 결과 Penman-Monteith 법이 Blaney-Criddle 법과 Penman 법 보다 실측에 가까운 값을 나타내어 Penman-Monteith 법에 의하여 밭 관개량을 산정하였다. 또 최근 기후조건이 과거와는 많이 달라졌음을 고려해 최근 5년간의 자료를 분석하여 밭 관개량을 산정하였다. 작물에 따라 연도별 증발산량의 편차가 크게 발생하였는데, 이는 최근 가뭄과 홍수가 각 연도별로 발생하였고, 강우등 기상조건의 경년변화가 크기 때문으로 판단된다. 실제로 2001년에는 다른 해 보다 순용수량이 더 많은 것을 알 수 있는데, 2001년은 전국적으로 가뭄이 심했던 해로써 관개량이 크게 산정되었음을 판단할 수 있다.

Table 5. Total evapotranspiration and net water requirement by crop (1998~2002) (Unit : mm)

작 물	1998 년			1999 년			2000 년			2001 년			2002 년		
	콩	고 추	배 추	콩	고 추	배 추	콩	고 추	배 추	콩	고 추	배 추	콩	고 추	배 추
총증발산량	316.32	323.58	154.75	322.19	323.28	138.12	313.04	316.21	146.11	331.42	350.80	170.79	304.12	307.22	147.40
총 강우량	1252.50	1252.50	399.80	1183.30	1183.30	550.10	1143.70	1143.70	599.30	851.60	851.60	183.50	830.90	830.90	211.00
총유효수량	232.72	206.67	70.35	124.79	179.21	108.86	122.58	133.35	42.31	122.56	122.16	38.45	129.65	142.36	53.45
총순용수량	125.52	150.34	137.21	232.20	164.07	84.18	215.24	209.70	170.68	246.01	261.00	190.61	212.82	193.02	152.09

Fig. 2 는 2002년의 수원기상 자료로 모의 산정한 대상작물의 증발산량 토양수분, 유효우량 및 관개량을 도시한 것이다.

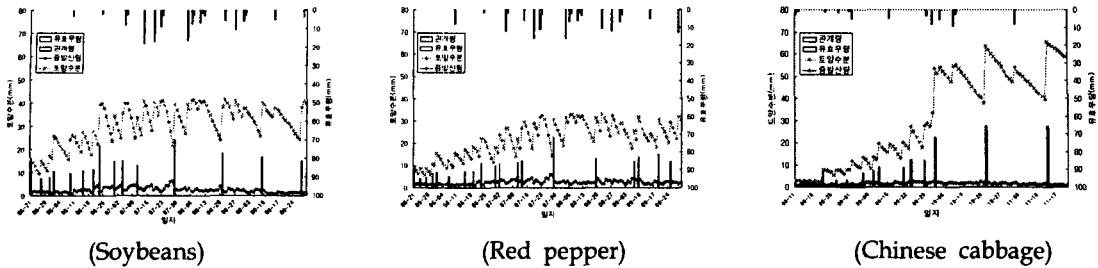


Fig. 2 Amount of evapotranspiration and irrigation by crop (2002)

위 Table 5 와 Fig. 2를 보면 밭의 관개량은 재배작물별, 재배시기별로 큰 차이를 보이는 것을 알 수 있다. 2002년의 경우 콩은 총 15번의 관개횟수를 산정하였고, 고추는 19번, 배추는 12번의 관개횟수를 산정하였다.

콩의 경우 1회 관개량이 7.3mm~24.2mm로서 총 관개량은 212.82mm로 재배기간에 각 관개 공급량이 비교적 일정하게 산정된 것을 알 수 있다. 총유효우량은 129.65mm가 사용되었다. 고추는 1회 관개량이 4.1mm~21.6mm로서 총 관개량은 193.02mm이며 유효우량은 142.36mm가 사용되었다. 배추의 경우 1회 관개량이 1.4mm~21.2mm로서 뿌리의 길이가 길어짐에 따라 관개량도 늘어나는 것을 확인 할 수 있다. 총 관개량은 152.09mm이며, 53.45mm의 유효우량이 사용되었다. 특히 배추의 경우 10월 이후에는 강수량보다 관개용수량에 의존하는 것을 알 수 있다.

V. 결론

본 연구는 관개계획을 수립하기 위하여 작물 최적의 증발산량 산정식을 선정하고 재배기간에 따른 관개량을 산정한 것으로서 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 증발산량 산정결과 실측값에는 Penman-Monteith 법이 실측치와의 상대오차가 0.19~0.31로 다른 두 방법보다 가장 근접한 값을 나타냈다.
2. 작물별 관개량을 산정하기 위하여 일별 토양 수분을 고려하였고, 강우시 물수지식을 이용, 강우 직전의 토양수분에서 포장용수량까지의 양을 유효우량으로 하여 포장용수량과 생장저해 수분점을 한계로 생장저해 수분점 직전에 적정량을 관개할 수 있도록 모의하였다.
3. 콩과 고추의 경우 재배 시기가 5월 하순부터 9월 중순까지로 강수량이 집중되어 있는 시기에 있어 필요수량이 유효강우와 관개에 의해 공급되지만, 배추의 경우 강수량이 적은 11월까지 재배가 되어 유효우량보다는 관개에 의존하여 공급되는 경향을 보였다.
4. 대상 작물별 순용수량은 재배시기 및 토성 해당년의 기상조건에 따라 차이를 보였으며, 재배 기간동안 산정된 순용수량은 콩이 213~246mm, 고추가 164~210mm, 배추가 152~190mm로, 콩이 가장 많이 산정된 것을 알 수 있다.

참고 문헌

1. Kim, S. J. et al., 1999, Irrigation and drainage engineering, Dong-Myoung
2. Suh, Y. J. et al., 2002, Estimation of water demand for upland, Journal of the Korean society of agricultural engineers Vol.44(1) pp.25-34, 2002
3. Ministry of Agriculture & Forestry, 1990, A Study on Consumptive Use of Water for Upland Crops (IV)
4. FAO, 1998, Crop evapotranspiration, FAO Irrigation and Dainage Paper 56
5. FAO, 1970, Crop water requirements, FAO Irrigation and Dainage Paper 24