

# 원예시설의 관수, 계획 및 설계용수량 산정방법

## Gross and Unit Irrigation Water Requirement for Greenhouse Design

남 상 운

충남대학교 농공학과

Nam, Sang Woon

Dept. of Agricultural Engineering, Chungnam National University

### 서 론

시설원예의 급속한 증가와 더불어 시설재배에 있어서도 수량 증대, 품질의 향상, 노동력 절감 등의 관점에서 물관리의 중요성이 대두되고 있다. 시설재배 작물이 필요로 하는 수분을 충분하면서도 적절히 공급하기 위해서는 과학적인 계획, 설계에 의해서 충분한 용수를 확보하고 또한 적절한 관수 설비를 갖추어야만 한다. 합리적인 관수 설비의 계획이나 설계를 위해서는 기준이 되는 작물의 소비수량과 각종 용수량의 산정 방법이 정립되어 있어야 하지만 이에 관한 연구는 노지의 밭작물에 대하여만 일부 이루어졌을 뿐 시설재배 작물에 대하여는 거의 없는 실정이다. 한편 원예시설의 계획 및 설계시 고려해야할 용수량은 작물에 필요한 관수량 이외에도 냉난방 용수 등 시설의 환경 관리를 위해 공급해야 할 용수량의 확보도 중요하다. 따라서 본 연구에서는 기존 노지의 밭 관개 관련 문헌을 분석하여 시설재배 방식에 맞게 수정하고 또한 설계 및 재배사례 등의 조사자료에 근거하여 새로운 방법을 개발함으로써 관수량, 계획 및 설계 용수량 산정방법을 정립하였으며, 원예시설의 관수 설비 설계에 필요한 기준 자료를 제시하였다.

### 재료 및 방법

연구방법은 주로 문헌 분석과 설계 및 재배사례 조사를 통하여 이루어졌다. 기존의 밭 관개 계획 및 설계에 관련된 문헌의 용수량 산정 방법을 원예시설에 적용할 수 있도록 수정하고, 각종 설계자료와 재배사례 조사를 통하여 새로운 방법을 개발하였다. 재배방식을 토양재배와 양액재배로 구분하여 토양 또는 배지수분의 계측에 의한 방법 및 증발산량을 이용한 방법으로 시설재배시의 소비수량 및 1회 관수량 산정방법을 정립하고, 관수방법별 관수효율과 재배방식별 시설이용률 및 양액재배의 적정배액율을 고려한 관개용수량 산정방법을 정리하여 제시하였다. 또한 작물별 관개기간의 총관수량 및 1일 최대 관수량에 관한 재배사례를 조사하였으며 냉난방용수, 제염용수, 세정수 등의 시설환경 관리용수량을 조사하고 시설재배시의 계획용수량 및 설계용수량 산정방법을 정리하여 제시하였다. 일 최대 관개용수량 및 각종 용수량에 관한 재배사례 조사는 1999년 7월에 경기 이천, 충남 부여, 경남 김해지방에 위치한 토양재배 농가 90호, 양액재배 농가 44호를 대상으로 실시하였으며, 정확한 실측자료는 구할 수 없었고 농민들의 경험적인 답변으로 조사하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. 소비수량 산정방법

소비수량은 작물이 정상적인 생육을 하는 상태의 근원으로써, 시설재배에 있어서 토양 재배의 경우는 유효토층, 양액재배의 경우는 배지 또는 베드에서의 수분 감소량을 말한다.

$$\text{토양재배 ; } S = TR + E_s + P - G \quad \text{양액재배 ; } S = TR + E_m + P$$

여기서,  $S$  : 소비수량,  $TR$  : 증산량,  $E_s$  : 토양면 증발량,  $E_m$  : 배지 또는 수면증발량,  $P$  : 작물 생체수분 증가량,  $G$  : 지하 보급 수량이다.  $E_m$ 은 수경재배에서 정식판 틈사이의 수면 증발량 또는 배지경 재배에서 피복된 배지의 증발량으로서 매우 작기 때문에 무시할 수 있다. 토양재배에서도 증산량과 증발량을 분리하는 것은 쉽지 않으므로 두가지를 합쳐 증발산량으로 취급한다. 따라서 작물 생체수분 증가량을 무시하면, 토양수분 또는 배지수분 감소의 실측에 의한 방법으로 소비수량을 산정할 수 있다. 또한 증산량과 토양면 증발량 또는 배지 증발량을 합쳐 증발산량으로 취급하고 지하 보급 수량을 무시하면 토양 재배와 양액재배 모두 소비수량( $S$ )은 증발산량( $ET$ )과 같으므로 증발산량의 실측이나 증발산량을 추정할 수 있는 간접적인 방법을 이용하여 소비수량을 산정할 수 있다.

### 2. 관개용수량 산정방법

작물의 정상적인 생육을 위하여 공급해야할 물의 양을 관개용수량이라고 한다. 시설재배에서의 관수는 논의 연속 관개나 노지 밭의 간단 관개와는 달리 비교적 미세한 조절이 가능하므로 관수시기를 빠르게 그리고 관수횟수도 더 자주 소량씩 관수하는 것이 수분손실이나 과습등의 대책상 유리하다. 따라서 시설재배시의 용수계획에 있어서는 1회 관수량의 결정이 매우 중요하다.

#### 가. 1회 관수량의 산정

##### 1) 토양수분 또는 배지수분 계측에 의한 방법

$$I_r = \frac{W_{\max} - W_{\min}}{1,000} \cdot D$$

여기서,  $I_r$  : 1회당 관수량( $\ell/m^2$ ),  $W_{\max}$ ,  $W_{\min}$  : 적정 토양수분의 상한치, 하한치(%),  $D$  : 뿌리가 분포하는 토층의 깊이(cm)이다. 토양수분량이  $W_{\min}$ 까지 감소했을 때  $I_r$ 에 상당한 양을 관수하면 항상 수분이 적정 범위내로 유지될 수 있다. 이것이 생장저해 수분점으로서 관수개시점의 pF값에 상당한 수분량이다.  $W_{\min}$ 은 과거의 재배예로부터 경험적으로 정해지며 pF 2.0 전후로 설정하고 있다.  $W_{\max}$ 도 경험적으로 정해지는데 대개는 포장용수량(pF 1.5~1.8)의 전후로 설정된다. 양액재배에서는 토양수분 대신 배지수분을 계측하면 위와 같은 방법으로 관수량을 산정할 수 있으며, 다음 식과 같다.

$$I_r = \frac{M_{\max} - M_{\min}}{100} \cdot V$$

$M_{\max}$ ,  $M_{\min}$  : 적정 배지수분의 상한치, 하한치(%),  $V$  : 단위면적당 배지의 체적( $\ell/m^2$ )

##### 2) 증발산량을 이용한 방법

토양 또는 배지의 수분을 계측하여 앞에 제시된 식의 각 항목을 현장에서 구하는 것은 쉽지 않으므로 관수량을 간편하게 구하는 방법이 이용될 수 있다. 자연의 지하보급수가 없는 조건에서는 1회의 관수량은 전회의 관수시부터 다음회 관수시 까지 사이의 증발산량



시설환경 관리용수량은 재배방식이나 시설의 종류, 시설의 환경조절 설비의 수준에 따라서 큰 차이를 보이므로 일률적으로 산정하기는 어렵다. 냉난방용수로는 지중가온 및 온수난방시의 시스템 보유수량, 근권 냉각수, 지붕 냉각수, 증발냉각수 등이 있다. 온수난방시에는 표 2와 같이 보일러 및 온수배관에 보유수량이 필요하며, 지역의 기상조건이나 재배 작목에 따라서 다르지만 300평(1,000m<sup>2</sup>)당 1.88~5.55톤 정도의 난방용수량이 필요한 것으로 나타났다. 근권 냉각수는 최대부하시 300평당 2.5톤/hr 정도, 지붕 냉각수는 3.8톤/hr 정도가 필요한 것으로 조사되었다. 증발냉각수는 여름철 고온기의 낮동안에 온실 내부의 기온을 30~32℃로 유지하기 위하여 지역에 따라서 300평당 7.3~14.0 l/min 정도의 물을 분무해 줘야 하는 것으로 나타나고 있다. 그 밖에 연작장애 방지 및 제염용수는 토성에 따라 다른데 대개 200mm 정도의 관수로 대부분의 염류가 제거되는 것으로 보고되고 있다. 이것은 300평에 200톤의 매우 많은 물이 필요한 것이지만 재배가 끝난 후 휴경기에 일시적으로 사용하는 것이므로 설계용수량의 산정에는 고려하지 않아도 된다. 양액재배의 경우에는 제염용수가 필요 없는 대신 작기가 끝난 후 재배시스템 등의 세척용수가 필요하다. 또한, 온실의 지붕 피복재는 정기적으로 세척이 필요한데 여기에 필요한 물을 세정수라고 한다. 세정수로는 300평당 2.5톤/hr 정도의 유량이 필요하다.

#### 나. 설계용수량

용수시설의 설계 기준이 되는 단위시간당의 최대용수량을 설계용수량이라고 한다.

$$W_D = I_{\max} + EW_{\text{add}}$$

여기서,  $W_D$  : 설계용수량,  $I_{\max}$  : 최대 관개용수량,  $EW_{\text{add}}$  : 부가용수량이다.

부가용수량은 시설환경 관리용수량중 최대 관수시기에 부가적으로 필요한 용수량을 말한다. 대개 관개용수량이 최대로 필요한 시기는 여름철이므로 냉방설비를 가동하는 온실의 경우에는 증발냉각수량 등을 부가용수량에 포함시켜야 한다. 또한 겨울철을 주 재배기간으로 하는 작형의 온실에서 온수난방을 실시하는 경우에는 난방용수량도 부가용수량에 포함시켜야 한다. 그러나 대부분의 시설환경 관리용수량은 최대 관개용수량의 기간을 피해서 사용할 수 있으므로 부가용수량에서 제외시킬 수 있다. 최대 관개용수량은 재배 전 기간 중에서 시설에 공급해야 할 손실수량을 고려한 단위시간당의 최대 수량이다. 관수시설의 설계부하가 되는 최대 관개용수량  $I_{\max}$  (톤/일)는 다음식으로 구할 수 있다.

$$I_{\max} = \frac{A_g D_p E_u W_{\max}}{1,000}$$

여기서,  $A_g$  : 시설면적(m<sup>2</sup>),  $D_p$  : 재식밀도(주/m<sup>2</sup>),  $E_u$  : 이용율(이랑 또는 베드면적/시설면적),  $W_{\max}$  : 일 최대 관수량(l/주/일)이다. 시설재배농가 조사 결과 이용율은 엽채류의 수경재배에서 50~60%로 높았으나 과채류의 배지경재배에서는 19~40%로 매우 낮았으며, 토양재배에서는 베드를 설치하지 않기 때문에 양액재배에 비하여 약간 높았다. 일 최대 관수량은 작형이나 작물별로 다르지만 대체로 표 3과 같으며, 양액재배시 과채류는 2.0 l/주/일, 화훼류는 1.0 l/주/일 정도이다. 토양재배의 경우에는 토양면 증발량이 배지의 증발량에 비하여 많고, 관수효율도 양액재배에 비하여 낮기 때문에 최대 관수량이 더 큰 것으로 나타나고 있다. 실제 양액재배 선도농가의 재배사례를 보면 오이의 경우 300평당 2,500~2,700주를 정식하여 하루에 최대 5.0~5.4톤의 양액을 급액하고 있으며, 토마토의 경우는 300평당 2,000~2,300주를 정식하여 하루 최대 4.0~4.6톤 정도의 양액을 급액할 수 있도록 관수설비를 설치하고 있는 것으로 나타나고 있다.

134호의 농가를 대상으로 농민들의 경험적인 담변을 통하여 일 최대 관개용수량을 조사하여, 작목이나 재배방식 등의 요인별로 분석해본 결과 유의적인 자료를 도출할 수 없었으며 대체적인 값은 다음과 같았다. 토양재배에서는 주로 엽채류를 많이 재배하고 있었고 1일 최대 급수량은 300평당 0.75~6.92(평균 2.38)톤의 범위였으며, 양액재배에서는 주로 과채류와 화훼류를 재배하고 있었고 1일 최대 0.83~6.0(평균 4.63)톤 정도를 관수하는 것으로 응답하였다. 농가의 면적에 의한 실태조사 만으로는 요인별 실제 관수량의 파악은 불가능하며, 따라서 현장에 기술을 보급하기 위하여는 다수의 선도 재배농가에 계측장비를 설치해 놓고 장기적으로 물관리의 실태를 실측하는 과업이 필요할 것으로 생각된다.

표 1. 여러가지 작물의 총 증산량과 要水量(日本農業氣象學會, 1983)

작물명	측정기간	측정일수	총증발량(mm)	건물중(g/주)	총증산량(ℓ/주)	일평균증산량(ml/주/일)	요수량(g)
상추	4.28~6.16	49	167	36	6.6	135	183
케일	9.13~10.26	43	154	183	41.5	965	227
배추	10.2~12.13	72	163	114	54.0	750	473
피망	6.19~9.5	78	387	155	96.9	1,244	625
가지	6.19~8.21	63	322	237	100.3	1,590	423
오이	6.29~9.1	64	321	133	101.7	1,591	765

표 2. 온실의 난방용수량 산정 예

작물명	면적(평)	난방시스템 보유수량(톤)				지역
		온수배관	보일러	전체	300평당	
오이	1,250	18.18	4.96	23.14	5.55	서울
토마토	2,850	30.75	9.40	40.15	4.23	대전
장미	1,250	17.50	4.96	22.46	5.39	전주
카네이션	1,340	14.14	4.96	19.10	4.28	대구
토마토	440	1.99	0.77	2.76	1.88	광주

표 3. 일 최대 관수량의 관측예(ℓ/주/일)

구분	토경	양액	비고(참고문헌)
과채류	2.78	2.50	오이(본연구 실험결과)
	2.92	-	오이(鵬田, 1997)
	-	2.52	오이(정 등, 1996)
	-	1.85	토마토(박 등, 1993)
	-	2.00	과채류(농림부, 1997)
엽채류	0.25	0.21	상추(본연구 실험결과)
	0.34	-	상추(鵬田, 1997)
화훼류	-	0.9	장미(정 등, 1996)
	-	1.0	화훼류(농림부, 1997)

### 인용문헌

1. 김시원, 김철기, 이기춘. 1984. 신고 농업수리학. 향문사.
2. 김문기 외. 1996. 원예시설의 환경설계기준 작성연구. 농어촌진흥공사 농어촌연구원.
3. 남상운, 이남호, 전우정 외. 1999. 양액재배 급액제어모델 개발에 관한 기초연구. 한국농공학회지 41(2) : 37-43.
4. 농림부, 농어촌진흥공사. 1997. 한국형유리온실 표준설계도 설계설명서.
5. 박상근, 김광용. 1993. 수경재배. 오성출판사.
6. 이남호, 남상운, 황한철, 홍성구. 1999. 시설영농을 위한 용수 및 농지의 효율적 이용·관리 기술 개발. 농림부.
7. 정순주 외. 1996. 양액재배 고품질·다수확·생력화의 길. 농민신문사.
8. 정하우 외. 1990. 발작물 소비수량 산정방법 정립 연구. 농림수산부, 농어촌진흥공사.
9. 鵬田福也. 1997. 園藝施設の水循環と水分消費特性. 日本施設園藝協會.
10. 日本農業氣象學會. 1983. 溫室內の水分環境とその制御. シンポジウム資料集.