

# 농업용수 수요량 산정 시스템 개발

## Development of the Estimation System for Agricultural Water Demand

이 광 야\* · 김 선 주\*\*  
Lee, Kwang Ya · Kim, Sun Joo

### Abstract

To estimate agricultural water demand, many factors such as weather, crops, soil, cultivation method, crop coefficient and cultivation area, etc. must be considered. But it is not easy to estimate water demand in consideration of these factors, which are variable according to growth stage and regional environment. This study provides estimation system for agricultural water demand(ESAD) in order to estimate water demand easily and accurately, and arranges all factors needed for water demand estimation. This study identifies the application of estimation system for agricultural water demand with the data observed in the other studies, and analyzes nationwide agricultural water demand. The results are as follows.

1) The practice of different rice cultivation in the paddy field resulted in different water demands. Water depth and infiltration ratio in paddy are the most important factors to estimate water demand. The water depths in paddy simulated by ESAD is very similar to the observed ones.

2) Water demand of upland crops varies with the crops, soil, etc.. Effective rainfall estimated by daily routing of soil moisture varies according to the crops, soil, and effective soil zone(root depth). As crop root become grown, effective rainfall and an amount of irrigation water has been increased.

3) The current unit water demand of upland crops applied as 500mm or 550mm to estimate water demand does not reflect the differences caused by the crops, regional surrounding, weather condition, etc. Results from ESAD for the estimation of water demand of upland crops show that ESAD can simulate the actual field conditions reasonably because it simulates the actual irrigation practices with the daily routing of soil moisture.

---

\* 농업기반공사 조사설계처

\*\* 건국대학교 농축산생명과학대학

키워드 : 농업용수 수요량, ESAD

유효수량, 토양수분추적법.

## I. 서 론

오늘날 사회·경제적인 여건변화와 기상이변으로 인한 한·수해가 반복되면서 수자원과 관련된 여러 가지 문제들이 사회적 관심의 초점이 되고 있다. 이와 더불어 산업의 발전과 농업의 환경변화로 물 부족이 예견되고 있으며 지속적인 수자원 개발의 필요성이 증대되고 있다. 용수의 수요와 공급은 상대적인 것으로 자연적으로 물 공급이 될 경우를 제외하고 물 부족이 발생할 경우 어느만큼 공급해야 할 지를 안다면 수자원의 이용과 시설물의 규모를 적정하게 결정하여 물관리를 효율적으로 수행할 수 있을 것이다.

농업용수가 전체 수자원 중에서 차지하는 지역별 비중은 아프리카 88%, 아시아 86%, 구소련 65%, 북아메리카 49%, 남아메리카 59%, 세계평균 69% 등으로 국내의 약 50%와 많은 차이를 나타내고 있다. 특히 농업용수는 작물을 주 대상으로 하기 때문에 수요량 산정시 지역적인 기상, 작물의 종류, 토양 및 영농방식, 경지면적의 변화 추이 등 많은 요소들을 고려하여 산정해야 한다.

농업용수 수요량 산정은 1인당 급수량 및 산업별/공장부지당 수요량을 원단위로 계산하는 생·공용수에 비해 수요량 산정에 필요한 인자의 수가 많으며 토양 및 기상에도 직접적인 영향을 받는다. 기존의 원단위에 의한 전국단위 농업용수 수요량 산정시 지배 인자의 단위크기가 고려되지 않고 단순한 산술평균에 의해 원단위를 추정했던 문제점을 가지고 있다. 논외의 경우 영농방법에 따른 용수수요의 변화요인을 고려하여 재배관리용수량을 산정하고, 수로형식, 관리조직, 체제, 시설물화 등을 고려하여 시설관리용수량과 다목적용수량을 결정해야 하며 밭 또한 합리적인 방법에 따라 수요량을 산정해야 하는데 이의 기준이 명확하지 않은 실정이다.

이러한 문제점을 해결하기 위한 시도로서 본 연구는 합리적인 농업용수 수요량 산정을 위해 다음과 같은 절차를 적용하였다. 첫째, 수리논과 관개밭은 10년 빈도 조용수량으로, 수리불안전논과 비

관개밭은 10년 빈도 순용수량을 농업용수 수요량으로 산정하였다. 둘째, 논에서의 재배관리용수량과 시설관리용수량, 다목적용수량 및 밭의 물 소비기구를 명확히 정의하고자 각각의 특징과 문제점을 분석하여 농업용수 수요량에 반영하였다. 셋째, 합리적인 농업용수 수요량 산정 기법을 정립하고 일관된 절차에 따라 농업용수 수요량을 산정할 수 있는 전산 시스템을 개발하고 그 적용성을 검토하였다.

## II. 기본이론 및 모형의 구성

### 1. 논용수 수요량 산정 모형

논용수 수요량은 벼의 증발산량, 침투량, 유효수량, 재배관리 용수량과 시설관리 용수량을 고려하여 산정한다. 침투량은 재배토양의 토성, 지하수위 등의 영향을 받으며, 증발산량은 작물의 종류, 기상여건 등에 따라 변화하고, 유효수량은 포장조건 등의 제반인자와 강우량에 따라 결정된다. 본 연구에서는 논용수 수요량은 강우의 경년변화와 경지의 경작상태, 작물의 종류 등 경지인자를 고려하여 10년 빈도 한발년에 필요한 수량으로 결정하였다. 논은 관개시설에 의한 용수 공급여부에 따라 수리논과 수리불안전논으로 구분되는데 Fig. 1에서 보는 바와 같이 수리논의 용수 수요량은 감수심에서 유효수량을 고려하여 순용수량을 산정하고 손실률을 적용하여 10년 빈도 조용수량을 산정하였다. 수리불안전 논의 수요량은 수리시설물을 통하여 용수가 공급되지 않으므로 10년 빈도 한발년의 순용수량으로 산정한다.

논에서 필요한 용수 수요량은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\text{순용수량} = \text{증발산량} + \text{침투량} + \text{재배관리 용수량} - \text{유효수량} \dots\dots\dots (2-1)$$

$$\text{조용수량} = \text{순용수량} + \text{시설관리 용수량} \dots\dots\dots (2-2)$$

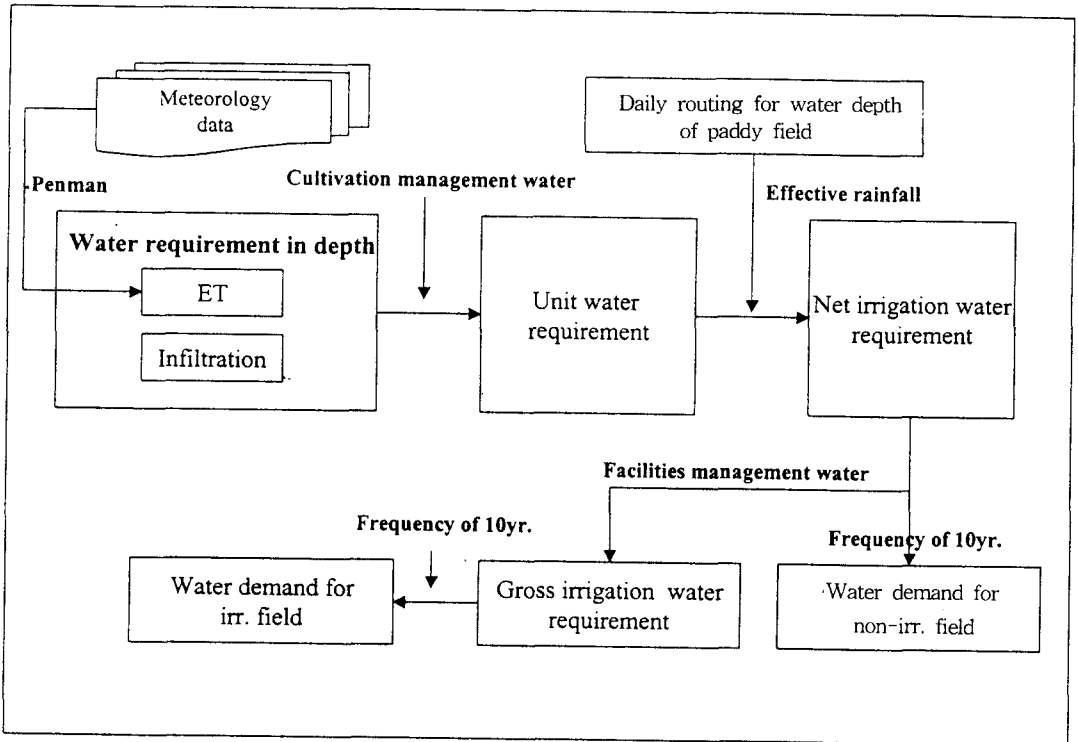


Fig. 1 Flow chart for the estimation of water demand for paddy field

여기서 순용수량을 산정할 때 재배관리용수는 영농방식에 따라 달리 적용하며 조용수량을 산정하기 위한 시설관리용수량은 송수손실에 배분관리손실을 더하여 계산한다.

1) 증발산량

논벼의 증발산량 산정은 FAO 수정 Penman식을 적용하였다. 논벼의 작물계수는 농업생산기반정비사업설계기준-관개편(농림부, 1998)에서 제시된 값을 이용하였다.

2) 논외의 유효우량

유효우량은 농업용수 수요량을 결정짓는 중요한 인자 중 하나이다. 논외의 유효우량은 일 강우량과 물관리 방법 등을 종합적으로 고려할 수 있는 일별 담수심 추적법을 적용하였다. 일반적으로 유효우량을 고려한 논에서의 물수지 식은 다음과 같이

정의할 수 있다.

$$D(t) = D(t-1) + Ra(t) + Req(t) - U(t) - SD(t) \quad (2-3)$$

- 여기서  $D(t)$  : t일의 담수심(mm)
- $D(t-1)$  : t-1일의 담수심(mm)
- $Ra(t)$  : t일의 강우량(mm)
- $Req(t)$  : t일의 관개량(mm)
- $U(t)$  : 당일의 소비수량(증발산량+침투량)
- $SD(t)$  : t일의 물꼬 율류량

그러나 실제 논에서 담수심의 변화는 당일의 강우량과 소비수량 및 담수심의 관계에서 구해야 하며 이는 가정한 물꼬높이  $D_{max}$  및 상시관리 담수심  $D_{max}$ 에 의해 제한된다. 본 연구에서는  $D_{max} = 80\text{mm}$ ,  $D_{min} = 20\text{mm}$ 를 적용하였다.

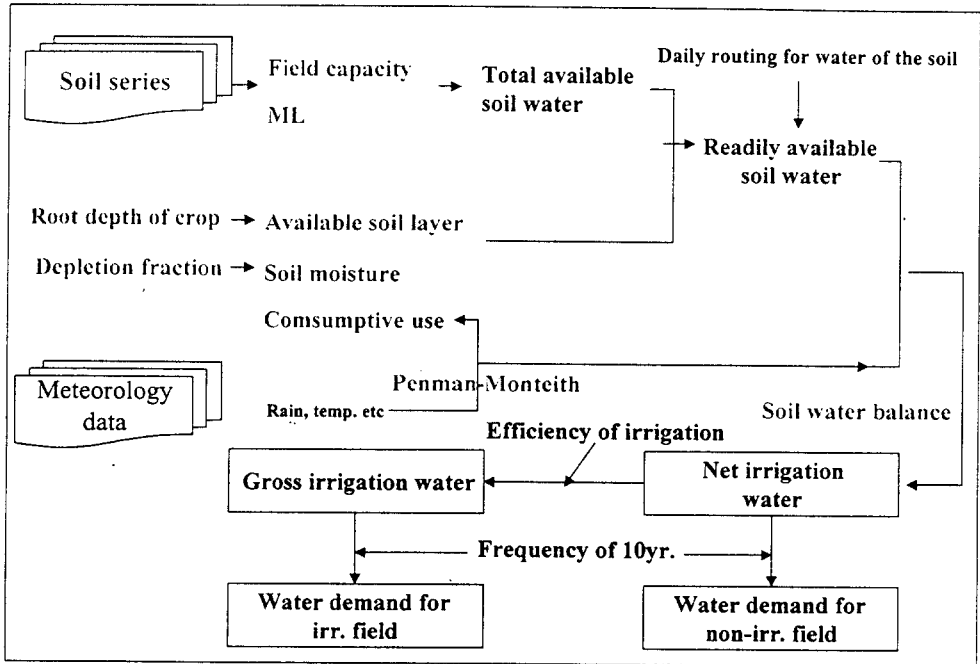


Fig. 2 Flow chart for the estimation of water demand for upland field

### 3) 재배관리 용수량

논에서 작물생육을 개선시키기 위해 소비되는 수량에는 증발산량과 침투량 뿐만 아니라 여러 가지 재배방법에 따른 관리수량이 필요하다. 실제 영농에서는 담수심을 일정하게 유지시키고, 중간낙수 후 재관개 또는 간단관개, 기상·수온변화에 대응, 저온시기의 심수, 고온시기의 내리흘림 관개, 약제살포시의 담수심 변화 등 생산량 증대, 품질개선, 영농작업의 효율 향상 등을 목적으로 관리용수가 소비된다. 영농방식별 재배관리용수량은 영농방식 필요수량 변화연구(1997, 농어촌진흥공사) 결과를 적용하였다.

### 4) 시설관리용수량

시설관리용수량은 송수손실수량, 배분관리용수량 및 시설유지용수량으로 구분된다. 여기서 송수손실수량은 포장의 입지조건, 수로의 길이 및 형식 등을 고려하고 배분관리용수량은 수로형식, 관리조직, 관리체계, 시설장치화의 정도, 논의 분산

정도 등과 함께 시설정비수준과 관리수준 등을 고려하여야 한다. 또한 시설유지용수량은 비관개기에 수로의 기능을 유지·보전하기 위한 수량이다. 논외의 송수손실률은 전국 농지개발조합(농조)별 용수로의 현황자료를 이용하였다. 수로의 구조물 비율에 따라 기준 손실률을 적용하고 지배면적의 가중평균치를 산정하여 적용하였다. 또한 배분관리 손실률은 농업생산기반정비사업계획설계기준-관개편(농림부, 1998)의 배분관리용수량 조사에(p112)에서 송수손실률을 차인한 11.0%를 적용하며, 시설유지용수량은 국내의 적용사례가 없어 본 연구에서는 제외하였다.

### 2. 발용수 수요량 산정 모형

발용수 수요량은 Fig. 2에서 보는 바와 같으며 논외의 경우와 마찬가지로 관개시설에 따라 10년 빈도 조용수량과 순용수량을 관개발과 비관개발의 수요량으로 산정한다. 발용수 수요량은 증발산량과 유효수량은 고려하고 발의 유효수분이 포장용

수량 범위안에서 계산되므로 침투량은 고려하지 않는다. 밭의 필요수량은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{순용수량} &= \text{증발산량} - \text{유효우량} \dots\dots\dots(2-4) \\ \text{조용수량} &= \text{순용수량} + \text{손실수량} \dots\dots\dots(2-5) \end{aligned}$$

1) 증발산량

밭 작물의 증발산량을 산정하기 위하여 복합기상자료를 이용하는 Penman-Monteith법을 적용하였다. 이 방법은 세계식량농업기구(FAO), 국제관개배수위원회(ICID), 세계기상기구(WMO) 등에서 추천하고 여러 연구에서 가장 정확한 방법으로 인정받고 있다. 본 연구에서 적용한 대상작물별 작물계수는 FAO에서 추천하고 있는 계수(Crop evapotranspiration, FAO I & D Paper 56, FAO, 1998, pp110-114)를 적용하였으며 밭 작물의 뿌리깊이는 작물학, 공예작물학 등의 문헌에서 수집한 자료를 적용하였다.

2) 밭의 유효우량

강수량 중에서 작물의 생육에 이용되는 수량인 유효우량은 밭 관개에서 공급량을 결정짓는 가장 중요한 인자 중 하나이다. 유효우량은 강수량과 밭 토양 특성에 따라 큰 차이가 나타난다. 농업생산기반정비사업계획실제기준-관개편(농림부, 1998)의 유효우량 산정법은 밭 토양의 총신속유효수분(TRAM)에서 강우직전의 유효수분량을 제외한 값과 강우의 80%를 비교하여 일강우의 80%보다 이값이 크면 유효우량은 이 값이 되고 작으면 일강우의 80%를 유효우량으로 계산한다. 그러나 이 방법은 일 강우의 80%가 무조건 토양으로 침투되므로 수문학적인 신뢰성이 결여되고, 토양에 따라 측정된 TRAM값이 요구되므로 실무에서 적용하기 곤란한 점이 있다. 또한 FAO에서 발표한 전산프로그램(CROPWAT)에서는 4가지 유효우량 산정법을 제시하고 있으며 주로 경험식에 의해 강수량의 일정비율을 유효우량으로 채택하거나 경험적인 계수를 적용하여 유효우량을 산정하고 있다. 상기의 유효우량 산정 방법들은 토양의 특성과 강

우의 경시변화를 고려할 수 없으므로 이러한 단점을 보완하기 위해 토양의 유효수분량을 고려한 일별 토양수분추적법으로 유효우량을 산정해야 하며 그 내용은 다음과 같다.

가. 유효수분량

관개 또는 강우 후 토양의 수분중에서 작물이 이용하는 수분을 유효수분이라 한다. 유효수분은 토양의 성질, 강우(관개)량, 재배작물에 따라 상이한 수치를 나타낸다. 밭 토양내 유효수분의 상한계( $SM_{max}$ )로 포장용수량을 적용하고 유효수분의 하한계( $SM_{min}$ )로 성장저해수분점을 선정하였다. 유효수분의 토양내 한계인 유효토층은 작물의 뿌리깊이를 적용하였으며 유효수분을 산정하기 위한  $SM_{max}$ 와  $SM_{min}$ 는 토양별, 심도별 포장용수량과 성장저해수분점을 작물과 토양에 따라 적용하였다.

한국의 전토양(농촌진흥청, 1986)에서는 125개 밭 토양통의 토층별 포장용수량과 영구위조점을 조사하였으며, 본 연구에서는 이 자료를 활용하였다. Table 1. 송산통과 콩을 대상으로 산정한 토양수분 상·하 한계치 계산예이다.

나. 토양수분소비형

밭 관개에 중요한 것은 토양수분이 성장저해수

Table 1 Calculation example of  $SM_{max}$  &  $SM_{min}$  for upland soil

Period	Root depth (mm)	Thickness (mm) (A)	Range (mm)	FC (%) (B)	ML (%) (C)	$SM_{max}$ (mm) (D) = A×B	$SM_{min}$ (mm) (E) = A×C
Jun. E	200	180	0-180	22.0	13.5	39.6	24.3
		20	181-200	20.7	12.7	4.1	2.5
		Total		-	-	43.7	26.8
Jun. M	220	180	0-180	22.0	13.5	39.6	24.3
		40	181-220	20.7	12.7	8.3	5.1
		Total		-	-	47.9	29.4
Jun. L	300	180	0-180	22.0	13.5	39.6	24.3
		70	181-250	20.7	12.7	14.4	8.9
		50	251-300	22.5	13.5	11.3	6.7
		Total		-	-	65.3	39.9

\* 대상 작물 : 콩, 대상 토양통 : 송산통(사양토)

Table 2 Ranges of maximum root depth and soil water depletion fraction

Crop	Max. Root(m)	Depletion Fraction	Crop	Max. Root(m)	Depletion Fraction
Cabbage	0.5-0.8	0.45	Carrots	0.5-1.0	0.35
Celery	0.3-0.5	0.20	Garlic	0.3-0.5	0.30
Lettuce	0.3-0.5	0.30	Onions	0.3-0.6	0.30
Radish	0.3-0.5	0.3	Pepper	0.5-1.0	0.30
Tomato	0.7-1.5	0.40	Cucumber	0.7-1.2	0.50
Melon	0.8-1.5	0.40	Potato	0.4-0.6	0.35
SweetPotato	1.0-1.5	0.65	Spinach	0.3-0.5	0.20
Bean	0.6-0.8	0.50	Sesame	1.0-1.5	0.60
Barley	1.0-1.5	0.55	Alfaifa	1.0-2.0	0.55
Apple	1.0-2.0	0.50	Grapes	1.0-2.0	0.35

자료 : Crop evapotranspiration, I & D Paper 56, FAO, 1998

분점에 도달하기 직전에 관개하여 근근역의 토양 수분을 다시 포장용수량으로 회복시키는 것이다. 이때 보급해야 할 관개량은 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$TAW = (FC - ML) \times Z_r \dots\dots\dots (2-6)$$

여기서 TAW : 총이용가능수량(mm)  
 FC : 포장용수량(%)  
 ML : 생장저해수분점(%)  
 Z<sub>r</sub> : 작물뿌리 깊이(mm)

그러나 이론적으로 작물이 위조점까지 수분량을 고르게 이용할 수 있지만, 유효토층내의 수분감소량은 일정하지 않은 경우가 많고 일반적으로 표층에서 하층으로 내려갈수록 감소한다. FAO에서는 작물별로 작물뿌리 깊이에 따른 토양수분 감소율(depletion fraction)을 증발산량이 5mm/d인 경우 Table 2와 같이 제시하고 있다.

그러므로 토양수분 감소율을 고려한 신속토양수분이용량(Readily Available Water)은 다음과 같이 적용할 수 있다.

$$RAW = \bar{P} \times TAW \dots\dots\dots (2-7)$$

여기서 RAW = 신속토양수분이용량(mm)  
 $\bar{P}$  = 토양수분 감소율

이때 토양수분감소율은 증발산량 5mm/d 기준 이므로 일증발산량에 따라 다음과 같이 보정한다.

$$P = \bar{P} + 0.04 \times (5 - ET_c) \dots\dots\dots (2-8)$$

여기서 ET<sub>c</sub> : 작물별 증발산량(mm)  
 따라서 (2-7)식을 (2-8)식으로 보완하면

$$RAW = P \times TAW \dots\dots\dots (2-9)$$

식(2-9)는 일증발산량을 고려한 신속 토양수분 이용량이며 이 값을 밭 토양의 수분한계로 선정하여 일별 토양수분추적법에 의하여 유효우량과 관개량을 산정한다.

다. 밭 토양수분 물수지

발용수 수요량을 산정하기 위하여 밭의 일별 토양수분 물수지는 토양내의 수분량 이동을 분석하며 다음 식과 같이 고려한다.

$$SM(t) = SM(t-1) + R_a(t) + Req(t) - U(t) - SD(t) \dots\dots\dots (2-10)$$

여기서 SM(t) : t일의 밭 토양수분(mm)  
 SM(t-1) : t-1일의 밭 토양수분(mm)  
 R<sub>a</sub>(t) : t일의 강우량(mm)  
 Req(t) : t일의 관개량(mm)  
 U(t) : t일의 소비수량(mm)  
 U(t) = ET<sub>a</sub>(t) = ET<sub>o</sub> × K(작물계수)  
 SD(t) : t일의 지표유출량

그러므로 물수지를 고려한 밭의 유효우량은 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$R_e(t) = SM(t) - SM(t-1) - Req(t) + U(t) \dots\dots\dots (2-11)$$

여기서 Re(t) : 유효우량(강우량-지표유출량)

그러나 실제 밭의 토양수분 변화는 당일의 강우

Table 3 Irrigation efficiency for upland field

Classification	Application efficiency (A)	Conveyance efficiency (B)	Irrigation efficiency (A×B)
Sprinkler	80 ~ 90%	90 ~ 95%	70 ~ 85(%)

자료 : 농업생산기반정비사업계획설계기준-관개편 (농림부, 1998)

량과 관개량 및 토양수분량의 관계에서 구해야 하며 이는 가정한 토양수분최대저류량( $SM_{max}$ ) 및 성장저해수분점( $SM_{min}$ )에 의해 제한된다. 경우는 표면에서 유출되거나 토양으로 침투(infiltration)된다. 또한 침투된 물은 토양을 재충전하거나 근근역 밑으로 침투(percolation)된다. 만약 강우량이 근근역이 포함할 수 있는 깊이보다 크면 유효우량은 근근역이 포함할 수 있는 양과 같다. 만약 강우량이 근근역이 포함할 수 있는 양보다 크면 유효우량은 근근역이 포함할 수 있는 양과 같다.

### 3) 손실수량

밭의 손실수량은 포장 내에서 적용효율과 송수 중의 손실률을 포함한 관개효율을 고려하였다. 그리고 밭의 작부체계는 노지 재배로 적용하였으며, 노지 재배는 스프링클러를 많이 사용하고 있기 때문에 스프링클러의 관개효율을 적용하였다. 관개효율은 Table 3과 같다.

### 4) 다목적 용수량

밭의 다목적 용수량은 작물이 생리적으로 요구하는 수분보급량 이외의 필요수량으로 재배관리용수, 기상재해방지용수, 관리작업의 생력화용수 등이 있다. 이들 용수량은 작물생육에 영향을 끼치고 있으나, 현재까지 명확한 적용 기준이 없는 실정이다. 안정적인 수요량 확보를 위해서는 향후 다목적용수량을 밭용수 수요량 산정시 고려해야 한다. 다목적 용수량은 지금까지 설계수 수요량 산정에 적용한 사례가 없고 국내의 포장에서 관측한 자료가 미비하므로 본 연구의 밭용수 수요량 산정에서 제외되지만 재배관리용수량은 논의 경우

와 같이 수요량에 포함되어야 작물의 생육과 품질 개선에 기여하리라 생각된다.

## Ⅲ. 시스템 개발

### 1. 시스템 구성

농업용수 수요량 산정 시스템(Estimation System of Agricultural Water Demand, ESAD)은 유역특성자료, 기상자료, 작물특성자료 등의 기본자료를 데이터베이스로 구축하고 일관된 절차에 따라 농촌용수의 수요량을 산정한다. 본 시스템은 Windows98에서 구동되며 자료의 관리와 연산과정이 독립적으로 운영될 수 있도록 개발하였다. 이러한 목표에 적합하도록 객체지향기법을 도입하였으며, 프로그래밍 개발언어로 Visual Basic 6.0을 사용하였다. 전체 시스템은 자료관리, 수요량 산정, 결과자료로 구성된다. ESAD는 Fig. 3.에서 보는 바와 같이 용수구역의 기본자료와 기상자료, 관개면적 및 토양특성자료, 수리구조물의 송수손실 및 작물특성 등의 DB자료를 이용하여 농업용수 수요량을 산정한다.

### 2. 데이터베이스 구축

ESAD는 기상자료, 용수구역 및 산정요소 자료로 대별된다. 데이터베이스는 MS Access로 구축되었으며 시스템으로 연결되어 자료의 갱신과 수정이 가능하다. 기상자료는 전국 66개 관측소의 1970년~1998년(29개년)을 대상으로 8개 기상요소가 DB에 저장되어 있다. 관측소의 코드(이름)는 테이블명으로 지정되어 시스템에서 호출한다. 용수구역 자료는 수요량 산정시 용수구역별, 시·도별 및 수계별 집계가 가능하도록 하나의 레코드에 관측소코드, 용수구역명, 수계명, 시·군명, 읍면명으로 구분되어 입력된다. 구역자료는 면단위를 기준으로 세분되어 있다. 산정인자 자료는 증발산량 산정에 필요한 작물계수, 작물뿌리깊이와 밭의 유효우량 산정에 필요한 토양통별 포장용수량, 용수구역별 및 면별토양통으로 구성되어 있다.

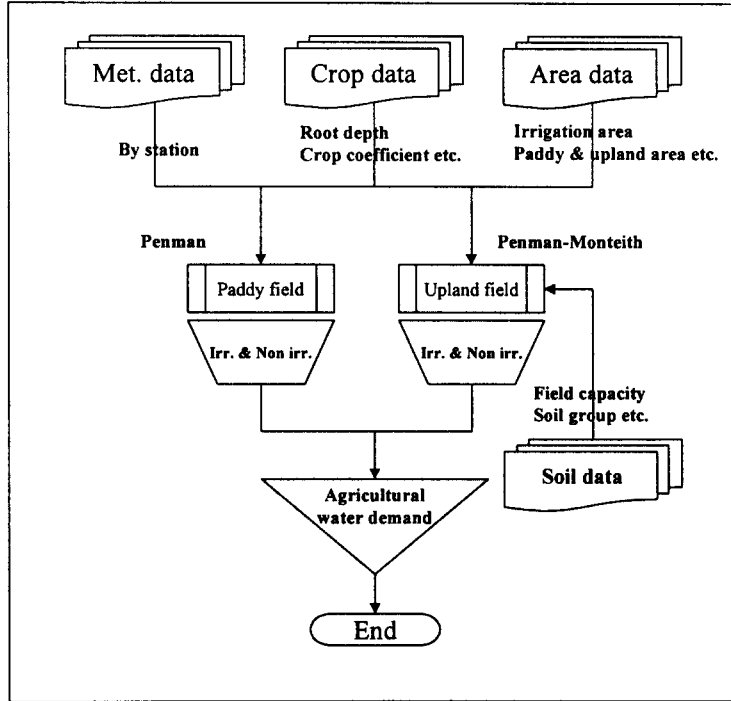


Fig. 3 Flow chart of estimation system for agricultural water demand

Table 4 The item of sub model

Classification	Item	Relation Table
frmstartlogo	Logo window	
frm_MDI_YS	Main menu window(MDI)	
frmCalDist	Calculation window	Ks_Ys99.mdb Ys99.mdb
frmOut	Print window	Output
frmroot	Data management(root depth)	root
frmTypecoef	Data management(Crop)	typecoefi
Module 1	User define function	infor_District, Si_gun_soil, Station, ML etc.

### 3. 수요량 산정 시스템

#### 1) 객체지향 요소

ESAD는 6개의 폼과 1개의 모듈로 구성되어 있다. 폼의 구성은 MDI(Multi Document Interface)에 의하여 서브모형이 연계되어 있으며 연산과정은 모듈에서 수행된다. 서브모형은 객체지향기법

에 의해 독립적인 운영이 가능하며 각 서브모형의 구조는 Table 4 과 같다. frmstartlogo는 ESAD의 로고 화면이며 frm\_MDI\_YS는 메인화면인 동시에 서브모형을 호출하는 메뉴가 구동되는 창이다. frmCalDist는 객체지향적 연산함수들이 있는 Module 1을 호출하여 논 및 밭의 수요량을 계산하는 창으로 본 시스템의 중심이 된다. frmOUT는



Table 5 User define function of Module 1

Name	Item	Function & Form
ini_data	Define of initial data	FrmCalDist
Paddy_con	Calculation of water demand for paddy field	FrmCalDist
Trans_con	Paddy water demand at transplant seedlings	Paddy_con
Dry_con	Paddy water demand at dry seedings	Paddy_con
Water_con	Paddy water demand at wet seedings	Paddy_con
Penman	ET for paddy field	Paddy_con
Netduty	Calculation of water balance by daily routing of	Paddy_con
Upland_con	Calculation of water demand for upland field	FrmCalDist
Up_netduty	Water balance of upland by soil moisture routing	Upland_con

결과자료를 검색하는 창이며 frmroot와 frmTy-pecoef는 작물의 뿌리깊이와 작물계수를 관리하는 창이다.

2) 서브모형의 개발

메뉴는 전처리 과정과 기본자료의 갱신/수정이 수행되는 자료관리와 수요량 산정, 결과보기, 종료로 구성되어 있다. DB 자료관리는 구역자료와 고정자료로 대별되는데 구역자료는 수요량 산정시 기본자료로 이용되는 용수구역의 구역명, 수계 및 기상코드와 유역특성 등의 기초 자료로 구성된다. 고정자료는 작물계수와 작물뿌리깊이로 나누어진 다.

3) 수요량 산정

수요량 산정 창은 ESAD의 연산처리 부분으로 서 하드웨어로 표현하면 CPU와 같은 역할을 수행한다. Fig. 7과 같이 상단의 검색박스에서 원하는 지역을 선정하여 시·도별 또는 전국자료를 검색할 수 있다. 용수 수요량 산정은 시스템의 메인모듈(Module 1)을 호출하며 Module 1은 Table 5에서 보는 바와 같이 9개의 사용자 정의 함수로 구성되어 있다. 각 함수들은 서브폼 또는 함수에서 호출되며 메인폼에서 선언한 변수들로 정의된다. Module 1의 함수가 연산과정의 핵심이며 DB의 자료전달 과정도 이곳에서 이루어 진다.

IV. 적용성 검토

1. 논용수 산정

논용수 수요량 산정 방법의 적용성을 검토하기 위하여 농업용수 수요량 산정 시스템(ESAD)의 논용수 수요량 산정결과와 영농방식 변화에 따른 필요수량 산정연구(농어촌진흥공사, 1997)에서 적용한 경기진흥원의 포장용수량 시험포장에서 실측

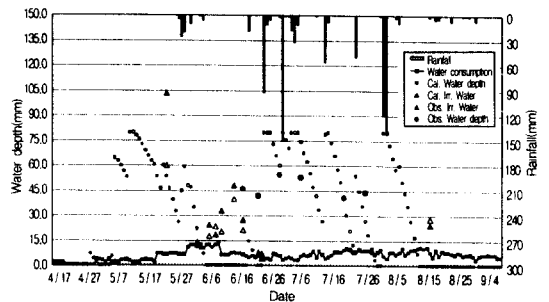


Fig. 4 Paddy water demand at transplant seeding

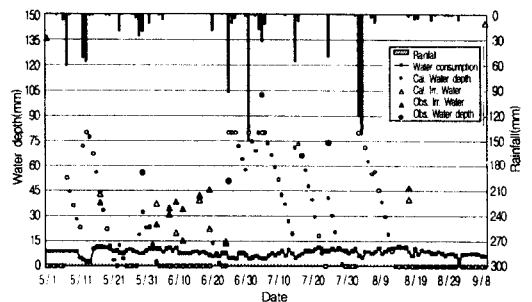


Fig. 5 Paddy water demand at wet seeding

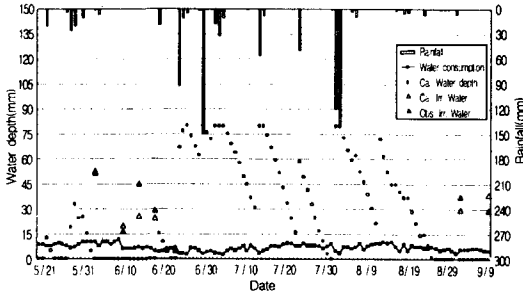


Fig. 6 Paddy water demand at dry seeding

Table 6 Water demand by cultivation method

Classification		Transplant seedlings	Wet seedlings	Dry seedlings
Water Consumption	Obs.(mm)	900.7	1097.7	917.6
	ESAD(mm)	886.9	1067.6	928.7
	Relative Error(%)	1.53	2.81	1.20
Irrigation water	Obs.(mm)	300.8	450.8	214.8
	ESAD(mm)	304.1	447.2	234.3
	Relative Error(%)	1.08	0.80	8.32
Effective rainfall	Obs.(mm)	599.9	646.9	702.8
	ESAD(mm)	582.8	620.4	694.4
	Relative Error(%)	2.86	4.27	1.21

한 관개수량, 담수심 및 유효우량 관측치를 비교하였다. ESAD에 적용한 기상자료는 1997년의 수원기상관측소의 자료이며 수원지방의 소구역 자료를 모형의 입력자료로 적용하였다.

Fig. 4~Fig. 6은 ESAD의 산정결과와 실측치를 비교한 것으로 담수심 변화를 고찰하면 실측치와 모의발생치의 그래프가 유사한 경향임을 알 수 있으며 유효우량의 발생 경향도 차이가 거의 없는 것으로 분석된다. Table 6은 계산 결과를 비교한 것으로 ESAD를 이용한 영농방식별 소비수량 산정결과는 이앙재배 893.1mm, 건답직파 928.8mm, 담수직파 1,067.7mm로 나타났으며 유효우량을 제외한 관개해야 할 수량은 이앙재배 304.1mm, 담수 447.2mm, 건답 234.3mm로 나타났다. 실측치와 비교하면 3.3mm~19.5mm의 차이가 발생하였고

상대오차는 대부분 5% 미만으로 계산되었다. 이양재배와 직파재배를 비교해 보면 소비수량의 경우 담수직파 재배시 19.5%, 건답직파시 3.9% 증가하였으며 실측치의 경우도 담수에서는 21.9%, 건답에서는 1.9% 증가하여 실측치와 유사한 변화율을 나타내었다. 관개기간 중의 유효우량을 비교하면 ESAD의 모의발생 결과 이앙 582.8mm, 담수 620.4mm, 건답 694.4mm이며 실측치와의 차이는 각각 -3.2mm, 26.5mm, 8.4mm로서 담수직파재배를 제외하면 수량의 큰 차이는 발견할 수 없었다.

이상과 같이 ESAD의 논용수 수요량 산정결과와 실측자료와 비교를 통하여 모형의 적용성을 검토한 결과 실측치와 모의발생 결과의 상대오차는 건답직파 소비수량을 제외하면 5% 미만으로 유의성이 입증되었으며 그래프를 통한 비교에서도 유효우량과 담수심의 변화 양상이 일치하는 등 모형의 합리성을 입증할 수 있었다.

## 2. 발용수 산정

ESAD의 발용수 수요량 산정 모형의 적용성을 검토하기 위하여 발작물 소비수량 산정방법정립 연구(IV)에서 콩, 고추, 참깨, 배추 등 4개의 발작물을 대상으로 실측한 자료와 ESAD를 이용하여 일별 발용수 수요량을 모의발생한 결과를 비교하였다. ESAD로 산정한 대상작물의 증발산량 실측치와 모의발생 결과는 Table 7에서 보는 바와 같다.

Table 7에서 보는 바와 같이 고추와 참깨를 제외한 나머지 2개 작물의 증발산량은 연도별로 큰 차이를 나타내고 있는데 이는 각 연도의 재배일수가 상이하기 때문이다. 실측치와 모의발생치를 비교한 결과 콩은 상대오차가 0.1~2.9%로 ESAD의 적용성이 입증되었으며, 고추는 7.3~17.1%로 '90년에 크게 나타났다. 참깨는 '88년을 제외하면 0.1%와 6.4%로 모형의 유의성이 높은 편이었고, 배추는 2개년씩 각각 6.9%와 13.7%이나 자료년수가 짧기 때문에 적합여부 판단이 어려운 실정이다. 작물에 따라 연도별 증발산량의 편차가 크게 발생했는데 이는 재배기간이 연도별로 틀리고 강우 등 기상조건의 경년변화가 크기 때문인 것으로 판단

Table 7 Comparison of observed and calculated evapotranspiration(1988~1990, Suwon)

Year \ Crop		Bean	Pepper	Sesame	Cabbage	Remark
1988	Obs.(mm)	350.0(110)	258.0(100)	201.0(90)	239.0(90)	( ) :cultivation period in days
	ESAD(mm)	347.4	278.4	235.9	210.2	
	Relative Error(%)	0.1	7.3	14.7	13.7	
1989	Obs.(mm)	150.5(50)	236.0(100)	239.0(100)	170.0(70)	
	ESAD(mm)	155.1	258.1	255.4	159.0	
	Relative Error(%)	2.9	8.5	6.4	6.9	
1990	Obs.(mm)	295.0(90)	175.0(90)	215.0(80)	-	
	ESAD(mm)	288.6	203.9	216.6	162.5	
	Relative Error(%)	2.2	17.1	0.1	-	

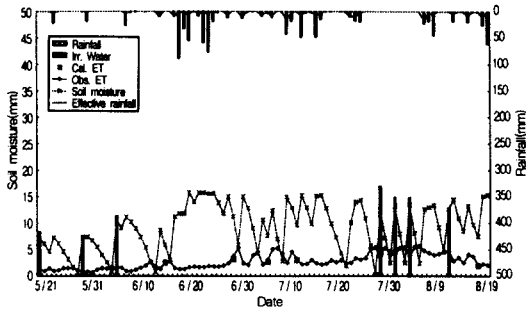


Fig. 7 Evapotranspiration and water demand of bean

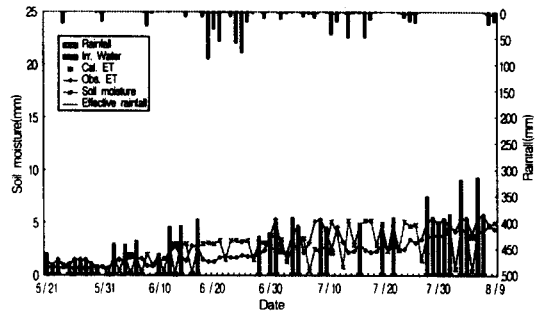


Fig. 9 Evapotranspiration and water demand of sesame

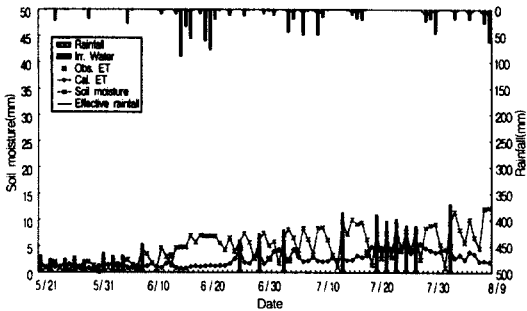


Fig. 8 Evapotranspiration and water demand of pepper

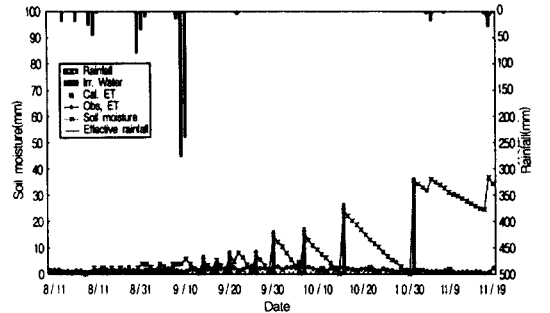


Fig. 10 Evapotranspiration and water demand of Chinese cabbage

된다.

관개량의 경우 실측치가 토양수분수준별로 계속되고 조절된 것이므로 모의 발생치와 비교하기 곤란하며 모의 발생치의 관개량/증발산량 비율을 산정하고 고찰한 결과 콩, 고추, 참깨, 배추가 각각

46.4~58.8%, 41.5~61.1%, 61.9~66.1%, 55.3~68.7%로 합리적인 관개수준으로 판단된다.

Fig. 7~Fig. 10은 1990년의 수원 기상 자료로 모의 발생한 대상작물별의 증발산량, 토양수분, 유효수량 및 관개량을 도시한 것이며 실측한 증발산

량도 비교하였다. 4개 대상작물 모두 증발산량의 시기별 발생 경향은 실측치와 모의 발생치가 모두 유사한 것으로 분석되며 다음과 같은 결과를 얻었다. 첫째, 밭의 용수 수요량은 재배작물, 토양에 따라 크게 차이가 발생한다. 둘째, 일별로 토양수분을 추적하여 산정한 유효수량은 작물별 유효토층(작물뿌리깊이)에 따라 상이하며 뿌리깊이가 커질수록 유효수량과 1회 관개량이 증가하였다. 셋째, 토양수분추적법을 적용하여 간단관개를 모의하므로 현장의 관개관행을 적절히 표현한 것으로 판단된다.

상기의 결과에 따라 현재 발용수 수요량 산정시 적용하고 있는 500mm 또는 550mm의 원단위 발용수량은 작물, 지역, 토양, 기상 등의 특성을 충분히 고려치 않은 수치로 판단할 수 있으며, 일별 토양수분을 추적하여 유효수량과 관개필요수량을 계산하여 간단관개를 모의하는 ESAD의 발용수 수요량 산정 방법이 실제의 밭작물의 물소비 형태를 적절히 표현하는 것으로 생각된다.

## V. 결 론

농업용수 수요량은 기상, 작물의 종류, 토양, 영농방식, 작물계수 및 경지면적 변화추이 등 많은 요소들의 영향을 받아 변화한다. 이들 요소들은 시기와 지역환경에 따라 많은 차이가 있기 때문에, 이러한 요소들의 특성을 고려하여 합리적으로 농업용수 수요량을 산정하기가 쉽지 않은 실정이다. 향후 물 부족과 환경보전을 대비하여 농업용수의 효율적 이용 및 관리가 절실히 요구된다. 이를 해결하기 위하여 보다 합리적인 방법으로 농업용수 수요량을 추정하고, 그 결과에 따라 농업용수 개발과 수리시설물의 유지관리 등을 효율적이고 체계적으로 수행하여야 할 것이다.

따라서 본 연구는 이와 같은 여건을 충분히 고려하여 수요량 산정을 위한 합리적이고 명확한 절차를 정립하고, 현재 및 장래의 수요량을 산정하는 농업용수 수요량 산정 시스템(ESAD)을 개발하였다. 개발된 시스템의 적용성을 평가한 결과는 다음과 같이 요약된다.

1) ESAD는 일관된 절차에 따라 우리나라 농업용수 수요량 산정이 가능하도록 계산에 필요한 모든 인자를 데이터베이스화 하였으며 사용자의 편의성을 고려하여 개발된 전산시스템이다.

2) 논·밭의 용수 수요량은 영농방식별로 차이가 나고 물꼬 등 현장조건이 수요량 산정시 중요 지배인자로 작용하였으며 ESAD를 적용한 일별 담수심 추적 결과와 실제 담수심 변화 양상이 유사함을 알 수 있었다.

3) 밭의 용수 수요량은 재배작물, 토양 등에 따라 크게 차이가 나타났으며 일별로 토양수분을 추적하여 산정한 밭의 유효수량은 작물의 종류, 토양, 유효토층(작물뿌리깊이)에 따라 상이하며 뿌리가 커질수록 유효수량과 1회 관개량이 증가하였다.

4) 현재 발용수 수요량 산정시 적용하고 있는 500mm 또는 550mm의 원단위 발용수량은 작물별, 지역별, 기상 등의 특성을 무시한 수치로 판단할 수 있었으며 ESAD의 발용수 수요량 산정 방법은 토양수분추적법을 적용하여 간단관개를 모의하므로 현장의 관개관행을 적절히 표현한 것으로 판단된다.

## 참 고 문 헌

1. 김선주, 1987, 밭작물의 증발산량 추정방법에 관한 연구, 건국대학교 대학원 논문집 제25집, pp639-655
2. 김시원, 김철기, 이기춘 1996, 농업수리학, 향문사
3. 김시원, 김선주, 1988, 밭 관개의 계획용수량 및 시설용량의 성립에 관한 연구, 한국농공학회지 제30권 제4호, pp23-43
4. 김현영, 1988, 관개용저수지의 일별 유입량과 방류량의 모의발생, 서울대학교 박사학위논문
5. 김현영, 1999, 농업용수 수요량의 새로운 추정 기법, 농공기술 No.62, pp101-110
6. 농림부, 1998, 농업생산기반정비사업계획설계 기준 - 관개편
7. 농어촌진흥공사, 1995~1997, 영농방식 변화에

- 따른 필요수량 산정연구(Ⅰ~Ⅲ)
8. 농어촌진흥공사, 1999, 농촌용수 수요량 조사 종합보고서
  9. 농업진흥공사, 1989, 소비수량 산정방법 실용화 연구
  10. 한국수자원공사, 1990, 수자원장기종합계획('91-2011)보고서
  11. FAO, 1991, Report on the expert consultation for the revision of FAO methodologies for crop water requirements
  12. FAO, 1970, Crop water requirements, FAO Irrigation and Dainage Paper 24
  13. FAO, 1998, Crop evapotranspiration, FAO Irrigation and Drainage Paper 56
  14. SCS, 1967, Irrigation water requirements, Technical release 21
  15. World Water Council, 1998, Water in the 21st century