

## 1. 서론

오늘날 산업의 여건변화와 기상이변으로 한·수해가 반복되면서 합리적인 수자원의 개발과 관리가 사회적 관심의 초점이 되고 있다. 이와 더불어 산업의 발전과 농업의 환경변화로 물 부족이 예견되고 있어 향후 수자원의 효율적 이용 및 관리가 절실히 요구되고 있는 실정이다. 이와 같은 문제들을 해소하기 위해서는 보다 합리적인 방법으로 용수 수요량을 추정하고, 공급량을 산정하여 그 결과에 따라 수자원의 개발과 수리시설물의 유지관리 등이 효율적이고 체계적으로 수행되어야 할 것이며 국가 차원의 수자원 이용 및 관리에 대한 기본계획이 먼저 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 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 밭의 수요량 추정은 논에 비해 국내의 연구사례가 적고 명확한 산정방법의 기준도 없는 실정이다. 그러나 경제·사회적인 여건 변화와 더불어 밭의 관개의 필요성이 증대되고 정부에서도 2011년까지 우리나라의 총 밭면적중 20.0%에 해당하는 147,124 ha를 밭기반 정비 대상 면적으로 확정하고 '97년까지 21,802 ha를 시행 완료하였다.

특히 발용수 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 수요량 추정 기법을 제시하고자 한다.

## 2. 기존 발용수 수요량 추정방법의 문제점

### 2.1 증발산량 추정

작물 필요수량을 산정하기 위해 실무에서 주로 이용되는 방법으로 SCS Blaney-Criddle (B-C) 법과 FAO-Penman법 등이 있다. B-C법(SCS, 1967)은 1970년대부터 농어촌진흥공사에서 증발산량을 산정하기 위해 도입하여 농업종합개발사업의 설계에 활용하고 있으며 1980년대 이후부터 FAO-Penman법(FAO, 1977)이 도입되어 활용되고 있다.(농어촌진흥공사, 1995~1997) 그러나 B-C법은 기온자료만을 이용하므로 계산은 간단하지만 우리나라 하절기의 복잡한 기상상황을 작물의 입장에서 잘 표현하지 못하는 단점이 있어 최근에는 FAO-Penman법이 주로 설계에 이용되고 있다. 최근에 FAO는 Penman법이 풍속에 따라 증발산량이 크게 차이가 나는 단점을 확인하였고, Table 2.1에서 보는 바와 같이 B-C법이나 Penman법이 실측 증발산량과 다소 차이가 있음을 발표하였으며 FAO는 이러한 편차를 저감하기 위해 1990년부터 Penman-Monteith(P-M)법을 추천하고 있다(FAO, 1998).

### 2.2 유효수량 산정

강수량 중에서 작물의 생육에 이용되는 수량인 유효수량은 발용수에서 공급량을 결정짓는 가장 큰 인자이다. 유효수량은 강수량과 밭 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 경작상태, 작물의 종류, 토양의 종류, 경작 방법, 경사, 수문학적 처리등 경지인자도 상당히 큰 영향을 미친다.(농업수리학, 1986; 농림부, 1998)

Table 2.1 The Comparison of the 20 methods for humid and arid conditions (FAO, 1991)

Method		Humid Area			Arid Area		
		Rank No.	Over Estimate	Stand. Error	Rank No.	Over Estimate	Stand. Error
Combination Methods	Penman-Monteith	1	+ 4%	0.32	1	- 1%	0.49
	FAO-ID24 Penman (c=1)	14	+ 29%	0.93	6	+ 12%	0.69
	FAO-ID24 Penman (corrected)	19	+ 35%	1.14	10	+ 18%	1.10
	FAO-PPP-17 Penman	4	+ 16%	0.67	5	+ 6%	0.68
	Penman 1963	3	+ 14%	0.60	7	- 2%	0.70
	Penman 1963, VPD #3	6	+ 20%	0.69	4	+ 6%	0.67
	Kimberley Penman 1972	8	+ 18%	0.71	8	+ 6%	0.73
	Kimberley Penman 1982	7	+ 10%	0.69	2	+ 3%	0.54
Radiation Methods	Businger-van Bavel	16	+ 32%	1.03	11	+ 11%	1.12
	Priestley Taylor	5	- 3%	0.68	19	- 27%	1.89
Temperature Methods	FAO-Radiation	11	+ 22%	0.79	3	+ 6%	0.62
	Jensen-Haise	12	- 18%	0.84	12	- 12%	1.13
	Hargreaves	10	+ 25%	0.79	13	- 9%	1.17
	Turc	2	+ 5%	0.56	18	- 26%	1.88
	SCS Blaney-Criddle	15	+ 17%	1.01	15	- 16%	1.29
Pan Evaporation Methods	FAO Blaney-Criddle	9	+ 16%	0.79	9	0%	0.76
	Thornthwaite	13	- 4%	0.86	20	- 37%	2.40
	Class A Pan	20	+ 14%	1.29	17	+ 21%	1.54
	Christiansen Pan	18	- 10%	1.12	16	- 6%	1.41
	FAO Class A Pan	17	- 5%	1.09	14	+ 5%	1.25

「농업생산기반정비사업계획설계기준 관계편」(농림부)의 유효수량 산정법은 발토양의 총신속유효수분(TRAM)에서 강우직전의 유효수분량을 제외한 유효수량의 상한치와 강우의 80%를 비교하여 일강우의 80%보다 유효수분량이 크면 유효수량은 유효수분량이고 작으면 일강우의 80%를 유효수량으로 계산한다(농림부, 1998). 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 발표한 전산프로그램(Cropwat4)에서는 4가지 유효수량 산정법을 제시하고 있으며 주로 경험식에 의해 유효수량을 산정하고 있다.(FAO, 1998; FAO, 1977) 그러나 상기의 방법은 토양의 특성과 일강우의 경년변화를 고려할 수 없으므로 일별로 토양의 유효수분량을 고려한 토양수분추적법으로 유효수량을 산정할 필요성이 제기되고 있다.

### 3. 발용수 수요량 추정기법 정립

#### 3.1 기본식

발용수 추정은 Fig. 3.1에서 보는 바와 같이 FAO와 ICID 등의 세계적인 기구에서 추천하는 잠재증발산량 산정법인 Penman-Monteith법을 증발산량 산정식으로 채택하였으며 밭 토양내의 수분추적에 의한 물수지로 유효우량과 관개 필요수량을 산정하는 방법을 적용하였다. 발용수 수요량은 증발산량과 유효우량은 고려하고, 침투량은 고려하지 않으며 다음식으로 나타낼 수 있다.

- 순용수량 = 증발산량 - 유효우량
- 조용수량 = 순용수량 / 관개효율

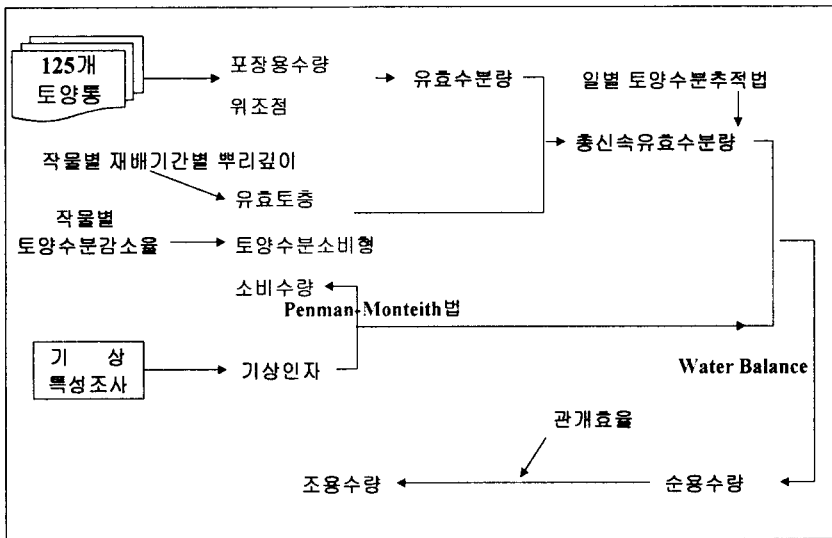


Fig. 3.1 Irrigation water consumption in upland field

#### 3.2 잠재증발산량

발용수 수요량은 관개 대상지의 기상, 작부체계와 토양상태를 충분히 파악하여 산정하여야 한다. 1970년대초 세계식량기구(FAO)는 관개에 필요한 작물 필요수량을 계산하는 표준 방법을 개발하였고(FAO, 1998), 최근에는 새롭게 잠재증발산량을 구하는 표준방법으로 P-M법을 채택하였다. 복합기상자료를 이용하는 P-M법은 세계식량기구(FAO), 관개배수위원회(ICID), 세계기상기구(WMO)등에서 추천하고 여러 연구에서 가장 정확한 것으로 인정받고 있으며, 기존

의 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(FAO, 1998).

$$ET_o = \frac{0.408 \Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2(e_a - e_d)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)} \quad (3.1)$$

여기서  $ET_o$  = 잠재증발산량(mm/day),  $R_n$  = 순일사량(mm/day),  $(e_a - e_d)$  = 증기압차(mbar),  $\Delta$  = 수증기압 곡선,  $\gamma$  = 습도 상수이며,  $G$  = 토양으로 흡수되는 열유동량이다.

① 수증기압 곡선( $\Delta$ )

$$\Delta = \frac{4098 e_a}{(T + 237.3)^2} \quad (3.2)$$

여기서  $e_a$  = 포화수증기압으로서 다음식 (3.3)과 같으며,  $T$  = 온도(°C)이다.

$$e_a = 0.661 \exp\left(\frac{17.27T}{T + 237.3}\right)$$

② 습도 상수( $\gamma$ )

$$\gamma = 0.00163 \frac{P}{\lambda} \quad (3.3)$$

여기서  $P$  = 대기압(kPa)이며  $\lambda$ 는 잠열(MJ/kg)로서 다음식과 같다.

$$\lambda = \text{잠열(MJ/kg)} = 2.501 - (2.361 \times 10^{-3}) T$$

③ 토양으로 흡수되는 열유동량( $G$ )

열은 토양에 저장되기도 하고 방출되기도 한다. 일정 기간 동안의 토양에서의 열량을 추정하기 위하여 다음 식을 사용한다.

$$G = c_s d_s \left( \frac{T_n - T_{n-1}}{\Delta t} \right) \quad (3.4)$$

여기서  $G$  = 토양으로 흡수되는 열유동량,  $T_n$  =  $n$ 일(월)의 온도(°C),  $T_{n-1}$  =  $n-1$ 일(월)의 온도(°C),  $\Delta t$  = 시간(일, 월),  $c_s$  = 열용량(MJ/m<sup>3</sup>/°C)이며,  $d_s$  = 예상 토양 깊이(m)이다.

### 3.3 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(SCS, 1967)를 주로 이용하였으며 80년대에 들어 Penman법을 도입되면서 주로 벼의 작물계수에 대한 몇몇의 국내 연구가 시작되었으며 1987~1990의 연구(농어촌진흥공사, 1987~1990)에서 밭 작물의 작물계수가 실측되었다. 그러나 국내의 관측된 작물계수는 연구자간의 편차가 심한 편이며 신뢰도가 높지 않은 단점을 가지고 있다. 본 연구에서 FAO에서 추천하고 있는 Table 3.1의 P-M법의 작물계수(FAO, 1998)를 채택하였다.

Table 3.1 Crop coefficients for upland plants

Crop	Mar.		Apr.			May			Jun.			Jul.			Aug.			Set.			Oct.			Nov.			
	M	L	E	M	L	E	M	L	E	M	L	E	M	L	E	M	L	E	M	L	E	M	L	E	M		
Onions	0.35	0.35	0.65	0.80	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Radish	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.35	0.35	0.50	0.65	0.82	1.00	1.00	0.9	0.9	
Potato	0	0	0.35	0.35	0.35	0.58	0.81	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	0.93	0.84	0.70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tobacco	0	0	0.35	0.35	0.35	0.48	0.61	0.79	1.00	1.00	1.00	1.00	0.96	0.93	0.90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Lettuce	0	0	0.35	0.35	0.55	0.75	0.95	0.95	0.90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tomato	0	0	0	0	0	0	0.35	0.35	0.35	0.52	1.09	0.96	1.05	1.05	1.05	1.05	0.90	0.75	0.60	0	0	0	0	0	0	0	0
Apple	0	0	0.50	0.50	0.50	0.72	0.72	0.85	0.95	0.95	1.06	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.02	1.02	1.02	0.80	0.80	0	0	0	0	0
Beans	0	0	0	0	0	0	0	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	0	0	0	0	0	0	
Garlic	0.35	0.50	0.65	0.80	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cabbage	0	0	0.35	0.35	0.35	0.48	0.61	0.79	1.00	1.00	1.00	1.00	0.96	0.93	0.90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pepper	0	0	0	0	0	0	0	0.35	0.35	0.35	0.55	0.80	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.87	0.80	0	0	0	0	0	0	
Watermelon	0	0	0	0	0	0.35	0.35	0.50	0.65	0.80	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.80	0.65	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
SweetPotato	0	0	0	0	0	0	0	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	0.45	0	0	0	0	0	
Sesame	0	0	0	0	0	0	0	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	0	0	0	0	0	0	
Cucumber	0	0	0	0	0	0	0	0.35	0.35	0.55	0.80	0.90	0.90	0.90	0.90	0.80	0.70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Crop	Jan.			Feb			Mar. ~ Oct.												Nov.			Dec.						
	E	M	L	E	M	L																						
Barley	1.05	1.05	1.05	1.05	0.82	0.25																						

### 3.4 유효수량

#### 3.4.1 유효수분량

관개 또는 강우후 토양의 수분중에서 작물이 이용하는 수분을 유효수분이라 한다. 유효수분은 토양의 성질, 강우(관개)량, 재배작물에 따라 상이한 수치를 나타낸다. 일반적으로 건조한 지역에서 유효수분의 상한계(Dmax)로 포장용수량을 적용하고 있으며, 포장용수량은 다량의 강우가 있은후 물의 하강운동이 대단히 작아졌을 때의 토양수분량으로 정의하거나 토양중 투수계수가 0이 되었을 경우 또는 토양이 유지할수 있는 현수수의 최대량으로 정의한다. 그러나 일반적으로 시간규제로 포장용수량을 정의하며 충분한 강우 또는 관개후 대략 24시간을 경과한 뒤에 토양속에 보류되는 수분을 24시간 용수량으로 채택하여 이를 포장용수량으로 간

주하고 있다(농림부, 1998). 포장용수량은 사양토, 양토, 식양토는 토양에 대기의 1/3기압에 상당하는 압력을 가했을 때 토양중에 남아있는 수분함량으로 표시할 수 있으며 사질토양에서는 1/10기압하에서의 수분함량으로 표시할 수 있다(농촌진흥청, 1986).

유효수분의 하한계(Dmin)로는 위조점과 성장저해수분점을 고려할 수 있다. 유효수분의 하한계는 위조점이 아니라 생장에 조금이라도 지장이 있다면 이를 하한으로 산정해야하는 견해2)가 있으나 장기간의 일별 관개계획 수립시에는 유효수분이 하한치에 도달한 즉시 관개가 개시되므로 성장저해수분점보다 위조점을 유효수분의 하한계로 산정하는 것이 보다 합리적이다. 일반적으로 토양에 대기의 15기압에 상당하는 압력이 토양중에 작용할 때의 수분함량은 위조점을 표시하며(농촌진흥청, 1986) 금회 발 용수 수요량 산정시 유효수분의 하한계로 정의하였다.

한편 유효수분의 토양내 한계인 유효토층은 작물의 뿌리깊이를 적용하였으며, Dmax와 Dmin는 토양별, 심도별 포장용수량과 위조점을 작물과 토양에 따라 적용하였다. 한국의 전토양(농촌진흥청, 1986)에서는 125개 발 토양통의 토층별 포장용수량과 영구위조점을 조사하였으며 본 연구에서는 이 자료를 활용하였다. Table 3.2는 그 예로서 북평통을 대상으로 조사된 자료이다.

Table 3.2 Moisture retention by soil series (example)

soil series	soil depth (cm)	Soil Moisture retention(%)		
		1/10 A.P.1)	1/3 A.P.2)	15 A.P.3)
BukPyungTong	0~15	20.4	10.9	4.2
	15~65	11.6	7.6	3.2
	65~120	2.6	1.4	0.9

\* A.P. : Atmospheric Pressure

주) 1) 사양토, 양토, 식양토의 포장용수량에 해당되며 최대수분함량

2) 사질토의 포장용수량에 해당되며 토양수분을 많이 필요로 하는 작물이 습해를 받지 않는 수분상태

3) 작물이 위조점에 도달하는 토양수분상태를 말하며 토양수분을 간직하는 하한선

### 3.4.2 토양수분소비형

발 관개의 요점은 토양수분이 위조점에 달하기 직전에 관개하여 근근역의 토양수분을 다시 포장용수량으로 회복시키는 것이다. 이때 보급해야 할 관개량은 다음과 같이 표시할 수 있다(FAO, 1998) .

$$TAW = (FC-WP) \times Z_r \tag{3.7}$$

여기서 TAW = 근근역에서의 총이용토양수분량(mm), FC = 포장용수량(%), WP = 위조점(%), Z<sub>r</sub> = 작물뿌리깊이(mm)이다.

Table 3.3은 상기 식에 따라 발 토양의 상·하 한계치를 산정한 예이다.

Table 3.3 Calculation Dmax and Dmin for upland soil (Buk Pyung Tong)

Period	Root Depth (mm) (A)	Field Capacity (%) (B)	Wilting Point (%) (C)	Dmax(mm) (D)=A×B	Dmin(mm) (E)=A×C	
Jun. E	100	10.9	4.2	10.9	4.2	
Jun. M	130	10.9	4.2	14.2	5.5	
f						
Aug. M	300	0-150	10.9	4.2	16.5	6.3
		151-300	7.6	3.2	11.4	5.3
		계	-	-	27.9	11.6

\* 조건 : 대상 작물 : 콩, 대상 토양통 : 북평통(사양토)

그러나 이론적으로는 위조점까지 수분량을 작물이 이용할 수 있지만 유효토층내의 수분감소량은 일정하지 않은 경우가 많고, 보통 표층에서 하층으로 내려갈수록 감소한다. FAO에서는 작물별로 작물뿌리 깊이내의 감소율을 증발산량이 5mm/d인 경우 Table 3.4와 같이 제시하였다.

Table 3.4 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	Alfalfa	1.0-2.0	0.55
Apple	1.0-2.0	0.50	Grapes	1.0-2.0	0.35

토양수분 감소율을 고려한 신속토양수분이용량은 다음과 같다.



$$RAW = \bar{P} \cdot TAW \quad (3.8)$$

여기서 RAW = 신속토양수분이용량(mm)이며,  $\bar{P}$  = 토양수분 감소율이다.

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

$$P = \bar{P} + 0.04 \times (5 - ET_c) \quad (3.9)$$

$$RAW = P \cdot TAW \quad (3.10)$$

여기서  $ET_c$ 는 작물별 증발산량(mm)이다.

보정된 계수를 고려한 토양수분이용량이 유효수분량이며 이를 밭 토양의 수분한계로 선정하여 일별 토양수분추적법에 의해 유효수량과 관개량을 산정한다.

### 3.4.3 잠재유효수량

강우로 인해 토양으로 유입(침투)되는 수량을 잠재유효수량으로 정의하며 밭의 잠재유효수량은 SCS방법에 따라 토양을 4개(A, B, C, D)의 그룹으로 나누어 선행강우조건에 따라 유출량을 구하고(농어촌진흥공사, 1995~1997), 강우량으로부터 지표유출량을 제한값이 침투량이 되며 이를 잠재유효수량으로 정의한다. 이때 일강우량이 5.0mm이하인 경우에는 밭에 기여하지 않는 것으로 간주한다.(농림부, 1998)

SCS방법에 의한 잠재유효수량의 산정은 작물, 토양특성, 선행강우 습도상태와 강우량에 관한 정보를 필요로 한다. 침투량은 강우량과 유출량을 계산하면 알 수 있다. 잠재유효수량에 영향을 미치는 인자는 토양경사, 토양조직과 구조, 작물, 강우강도와 지속시간 등이다. 강우는 유출, 침투, 차단, 증발산 등으로 구성되어 있으나 차단은 소량이기 때문에 강우는 거의 침투와 유출의 합으로 볼 수 있다. 침투된 물은 토양의 수분을 재충전하거나 근근역 밑으로 침투된다. 토양은 농촌진흥청에서 전국적으로 조사한 자료를 바탕으로 분류가 가능하며 토양분류는 Table 3.5와 같다.

### 3.4.4 밭 토양수분 물수지

밭용수 수요량을 산정하기 위하여 밭의 일별 물수지는 토양내의 수분량 이동을 분석하며 다음 식과 같이 고려할 수 있다.

$$D(t) = D(t-1) + R_e(t) + Req(t) - U(t) \quad (3.11)$$

여기서  $D(t)$  = t일의 밭 토양수분(mm),  $D(t-1)$  = t-1일의 밭 토양수분(mm),  $Re(t)$  = t일의 유효수량(mm),  $Req(t)$  = t일의 순관개량(mm)이며,  $U(t)$  = t일의 소비수량(mm)으로서 다음과 같다.

Table 3.5 Classification of physiography and hydrologic groups of soil (example)

Hydrologic group	Class mark	Soils series pertinent	Area (1,000ha)	Percent (%)
A	16	Bichen, Daebon, Haeri, Hwadong, Hongmun, Ibseog, Miag, Togye, Onpyeong, Etc..	76.45	0.80
	f	f	f	f
sub-total		(83)	3,955.23	41.30
B	12	Bognae, Byeongag, changgog, chobong, Etc..	1,289.36	13.46
f	f	f	f	f

$$U(t) = ETa(t) = ET_o \times K(\text{작물계수}) \quad (3.12)$$

그러므로 물수지를 고려한 밭의 유효수량은 다음식과 같이 나타낼 수 있다.

$$R_e(t) = D(t) - D(t-1) - Req(t) + U(t) \quad (3.13)$$

그러나 실제 밭에서의 토양수분의 변화는 당일의 강우량과 필요수량 및 토양수분량의 관계에서 구해야 하며 이는 가정한 토양수분최대저류량(Dmax) 및 위조점(Dmin)에 의해 제한되어진다. 토양수분, 강우량(잠재유효수량), 필요수량의 관계는 다음과 같이 구분한다.

①  $D_{\min} \leq D(t-1) + Ra(t) - U(t)$  이면

$$Req(t) = 0$$

②  $D_{\min} > D(t-1) + Ra(t) - U(t)$  이면

$$Req(t) = D_{\max} - D(t-1) - Ra(t) + U(t)$$

여기서  $Ra(t) = t$ 일의 잠재유효수량이다.

또한 유효가능수량은 다음식에 의해 구하며

$$Rep(t) = D_{\max} - D(t-1) + U(t) \quad (3.14)$$

여기서  $Rep(t) = t$ 일의 유효가능수량으로서 잠재유효수량을 초과할 수 없다.

따라서 유효강우량  $Re(t)$ 는 다음 관계에서 산정한다.

$$Ra(t) \geq Rep(t) \text{이면 } Re(t) = Rep(t)$$

$$Ra(t) < Rep(t) \text{ 이면 } Re(t) = Ra(t)$$

### 3.5 관개 효율

손실수량은 포장내의 적용효율과 송수중의 손실을 고려한 관개효율에 의하여 산정한다. 본 연구에서 적용한 관개효율은 작물을 노지에서 재배하고 용수를 스프링쿨러로 공급되는 것으로 간주하여 70%(농림부, 1998)를 적용하였다.

## 4. 발 용수 수요량 산정

### 4.1 대상 작물 및 기초자료

수요량을 산정하기 위한 대상작물로서 마늘, 가을무, 콩, 과수(사과)를 선정하였고 수원관측소의 기상자료(1996년)로 수요량을 추정하였다. 대상작물의 작물계수와 작물재배기간 및 뿌리 깊이는 Fig. 4.1 및 4.2와 같다.

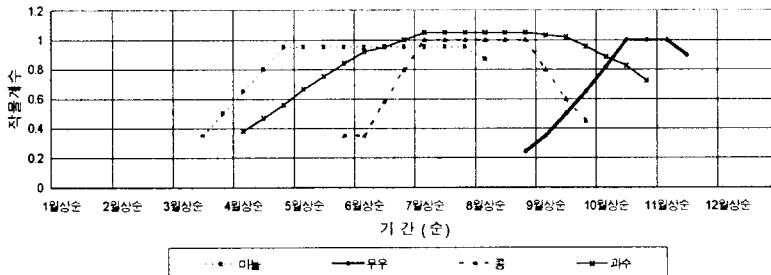


Fig. 4.1 Crop coefficient

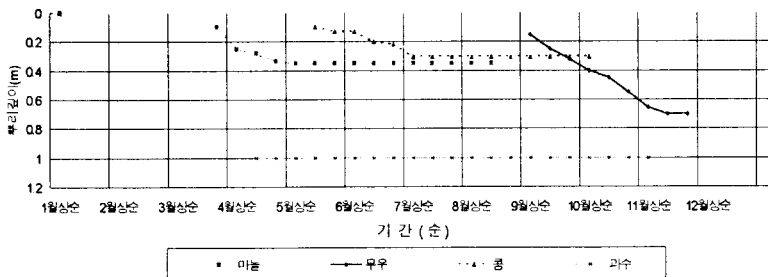


Fig. 4.2 Crop root depth at cultivation season

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

### 4.2 산정결과

P-M법으로 산정한 증발산량은 4개 작물모두 FAO에서 제시한 작물별 증발산량(FAO, 1998)과 비슷한 값을 나타내었다. 또한 일별로 토양수분을 추적하여 산정한 유효우량은 작물별 유효토층(작물뿌리깊이)에 따라 상이하며 뿌리깊이가 커질수록 유효우량이 증가하였다.

마늘의 경우 Fig. 4.3과 같이 관개일수는 150일이며 강우량 687.3mm의 32.8%가 유효우량으로 산정되었다. 또한 증발산량은 455.1mm이며 이중 유효우량을 제외한 234.3mm가 순용수량으로 산정되었으며 관개횟수는 12회이고, 1회 관개량은 최소 6.1mm~최대 24.0mm이다.

가을무의 경우 Fig. 4.4와 같이 관개일수는 90일이며 강우량 199.3mm의 41.4%가 유효우량으로 산정되었다. 또한 증발산량은 135.3mm이며 이중 유효우량을 제외한 79.8mm가 순용수량으로 산정되었으며 관개횟수는 4회이고, 1회 관개량은 최소 8.9mm~최대 29.2mm이다.

콩의 경우 Fig. 4.5과 같이 관개일수는 130일이며 강우량 616.0mm의 25.1%가 유효우량으로 산정되었다. 또한 증발산량은 375.3mm이며 이중 유효우량을 제외한 235.0mm가 순용수량으로 산정되었으며 관개횟수는 10회이고, 1회 관개량은 최소 9.6mm~최대 29.8mm이다.

과수의 경우 Fig. 4.6과 같이 관개일수는 210일이며 강우량 761.8mm의 52.6%가 유효우량으로 산정되었다. 또한 증발산량은 634.0mm이며 이중 유효우량을 제외한 298.4mm가 순용수량으로 산정되었으며 관개횟수는 4회이고, 1회 관개량은 최소 66.2mm~최대 88.4mm이다.

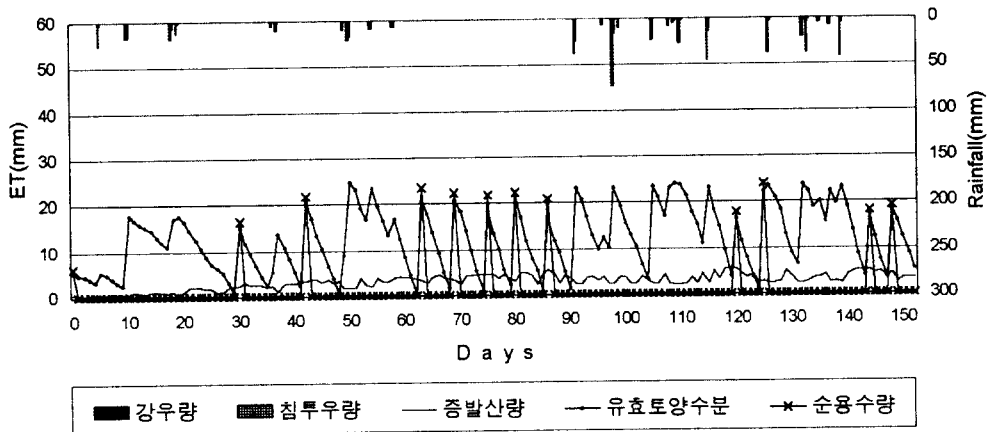


Fig. 4.3 Crop evapotranspiration and water consumption (Garlic)

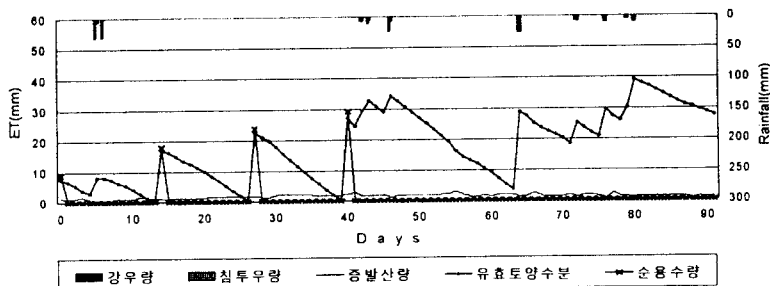


Fig. 4.4 Crop evapotranspiration and water consumption (Radish)

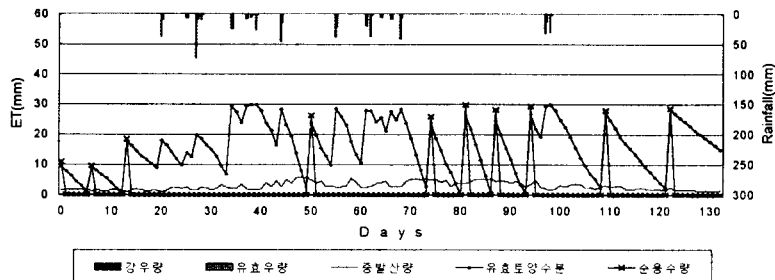


Fig. 4.5 Crop evapotranspiration and water consumption (Bean)

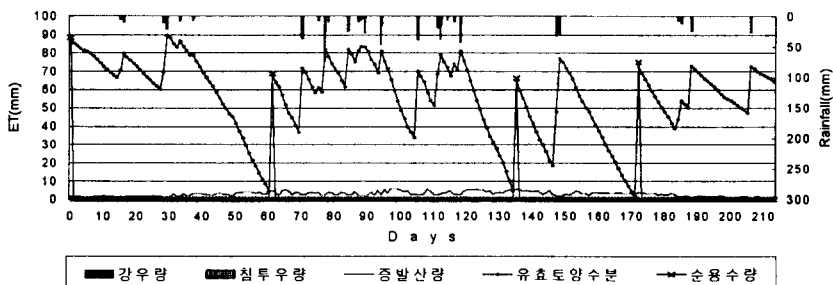


Fig. 4.6 Crop evapotranspiration and water consumption (Apple)

## 5. 결론

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 실측치와 다소 차이가 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 제시하였으며 4개의 작물을 대상으로 증발산량과 소비수량을 산정하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 밭의 용수 수요량은 재배작물, 토양에 따라 크게 차이가 발생하며 작물재배기간은 과수>마늘>콩>무우 순이며, 증발산량과 유효우량은 재배기간에 비례한다.
- 순용수량은 과수>콩>마늘>무우 순으로, 강우량에 대한 유효율은 과수>무우>마늘>콩순이고, 일평균 단위 순용수량은 콩>마늘>과수>무우 순으로 나타났다.
- 4개작물의 관개횟수는 4회~12회이고 1회당 관개량은 최소 6.1mm~최대 88.4mm로 나타났다으며, 뿌리가 깊은 작물일수록 관개횟수가 적었으며 1회당 관개량이 큰편이었다.
- 금회의 밭 수요량 산정방법은 간단관개를 모의하므로서 현장의 관개관행을 적절히 표현한 것으로 판단된다.

## 참고문헌

- 농림부(1998). 농업생산기반정비사업계획설계기준(관개편).
- 농어촌진흥공사(1995~1997). 발경지정리방안과 효율적인 관개방법 개발연구.
- 농어촌진흥공사(1987~1990). 발작물 소비수량 산정방법 정립연구.
- 농어촌진흥공사(1995~1997). 배수개선홍수분석시스템 개발.
- 농업진흥공사(1975). 삼교천지구 농업종합개발사업기본계획서.
- 농어촌진흥공사(1995~1997). 영농방식 변화에 따른 필요수량 산정연구.
- 농업진흥공사(1978). 영산강 III-IV 지구 기본조사보고서(수문).
- 농촌진흥청(1986). 한국의 전토양.
- 선진문화사(1987). 작물학 강좌 : 공예작물학.
- 향문사(1986). 농업수리학.
- FAO(1998). Crop evapotranspiration. FAO Irrigation and Drainage Paper 56.
- FAO(1997). "Crop water requirements." FAO Irrigation and Drainage Paper 24.
- FAO(1991). Report on the expert consultation for the revision of FAO methodologies for crop water requirements.
- SCS(1967). "Irrigation water requirements." Technical Release 21.