

농업용수 수요량의 도별특성 분석

이 광 야 (농업기반공사 조사설계처)

1. 서 론

2. 재료 및 방법

2.1 농업용수 수요량 산정 방법

2.2 적용 방법

2.3 경지면적 현황

2.4 도별 경지 면적 현황

3. 결과 및 고찰

3.1 논용수 수요량의 특성

3.2 밭용수 수요량의 특성

4. 결 론

참고문헌

1. 서론

기상 변동과 물 수요의 증가, 산업의 발전 등에 따라 용수부족이 예견되는 지금 수자원의 효율적 공급계획이 시급한 실정이다. 특히 농업용수는 작물을 주 대상으로 하기 때문에 자연 조건, 작물의 종류, 생육조건 등과 매우 밀접한 관계가 있다. 다양한 방면에서 이용되는 농업용수는 환경을 보존하고, 집중적으로 용수를 이용하며, 배수로나 하천으로 회귀되므로 물을 재이용할 수 있는 기회가 많고, 이용 비용이 적게 들고 효율이 높으며, 물의 소비기구가 복잡하고, 수리권으로 표현되는 집단적 이용으로 공공성이 강하다. 이러한 특징을 가지는 농업용수의 수요량은 지역적인 기상현상, 작물의 종류, 토양 및 영농방식, 경지면적의 변화 추이 등 많은 요소들을 고려하여 산정해야 한다.

또한 농업용수 수요량은 1인당 급수량 및 산업별/공장부지당 수요량을 원단위로 계산하는 생·공용수에 비해 수요량 산정에 필요한 인자의 수가 많으며 토양 및 기상에도 직접적인 영향을 받는다. 농업용수 수요량은 각 인자를 선정 또는 산정하는 방법이 시기와 계산주체에 따라 상이하였기 때문에 일관된 농업용수 수요 추정이 이루어지지 않았다. 특히 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 발 또한 합리적인 방법에 따라 수요량을 산정해야 한다. 그러나 이들 요소들은 시간과 지역환경에 따라 많은 차이가 있기 때문에 지역 여건과 작물 및 토양특성을 고려하여 수요량을 합리적으로 산정하기가 쉽지 않다.

본 연구는 이러한 상황하에 지역적 특성과 작물 및 토양특성을 고려한 합리적인 농업용수 수요량 산정기법(ESAD : Estimation System for Agricultural water Demand)에 따라 농업용수 수요의 지역적 특성을 파악하여 효율적인 농업용수 관리를 위한 기초자료를 제공하고자 한다.

2. 재료 및 방법

2.1 농업용수 수요량 산정 방법

2.1.1 논용수 수요량 산정

논용수 수요량은 비의 증발산량, 침투량, 유효우량, 재배관리 용수량과 시설관리 용수량을 고려하여 산정한다. 침투량은 재배토양의 토성, 지하수위 등의 영향을 받으며, 증발산량은 작물의 종류, 기상여건 등에 따라 변화하고, 유효우량은 포장조건 등의 제반인자와 강우량에 따라 결정된다. 논용수 수요량은 강우의 경년변화와 경지의 경작상태, 작물의 종류 등 경지인자를 고려하여 10년빈도 한발년에 필요한 수량으로 결정된다.

Fig. 2.1에서 보는 바와 같이 논은 관개시설에 의한 용수 공급여부에 따라 수리논과 수리불안전논으로 구분되는데 수리논의 용수 수요량은 감수심에서 유효우량을 고려하여 순용수량을 산정하고 손실율을 적용하여 10년빈도 조용수량을 산정된다. 수리불안전논의 수요량은 수리시설물을 통하여 용수가 공급되지 않으므로 10년빈도 한발년의 순용수량으로 산정한다.

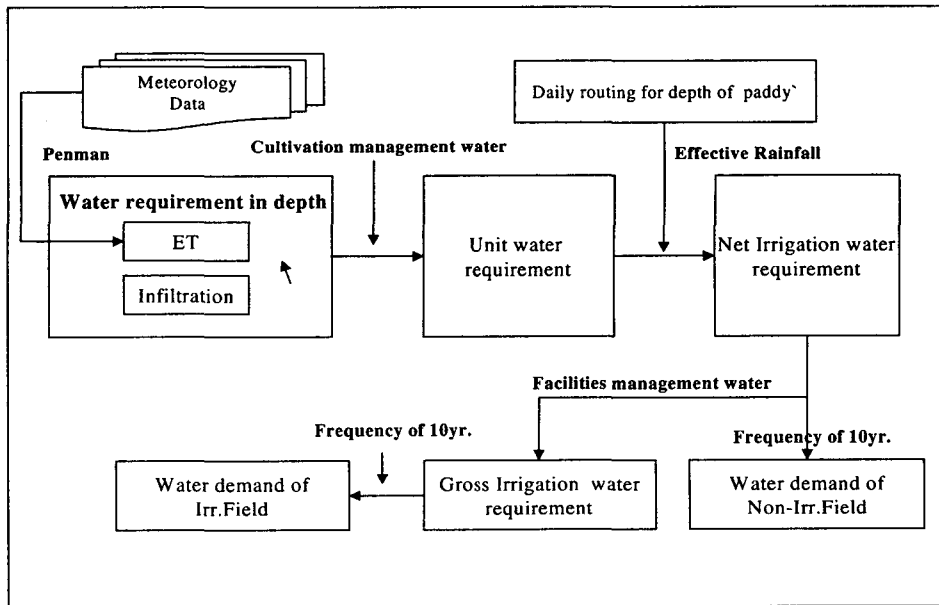


Fig. 2.1 Flow chart of the estimation of water demand for paddy field

따라서 논에서 필요한 용수 수요량은 다음과 같이 나타난다.

$$\text{순용수량} = \text{증발산량} + \text{침투량} + \text{재배관리 용수량} - \text{유효우량} \quad (1)$$

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

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

가. 증발산량

논벼의 증발산량 산정은 FAO 수정 Penman식을 적용하였다. 논벼의 작물계수는 농업생산기 반정비사업설계기준-관개편 (1998)에서 제시된 값을 이용하였다.

나. 논외 유효수량

유효수량은 농업용수 수요량을 결정짓는 중요 인자 중 하나이다. 논외 유효수량은 일 강수량과 물관리 방법 등을 종합적으로 고려하여 식(3)과 같이 논에서의 물수지 식에 의해서 산정된다.

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

여기서 $D(t)$: t일의 담수심(mm)

$D(t-1)$: t-1일의 담수심(mm)

$Ra(t)$: t일의 강수량(mm)

$Req(t)$: t일의 관개량(mm)

$U(t)$: 당일의 소비수량(증발산량+침투량)

$SD(t)$: t일의 물꼬 월류량

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

다. 재배관리 용수량

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

라. 시설관리용수량

시설관리용수량은 송수손실수량, 배분관리용수량 및 시설유지용수량으로 구분된다. 여기서 송수손실수량은 포장의 입지조건, 수로의 길이 및 형식 등을 고려하고 배분관리용수량은 수로 형식, 관리조직, 관리체계, 시설장치화의 정도, 논의 분산정도 등과 함께 시설정비수준과 관리수준 등을 고려하여야 한다. 또한 시설유지용수량은 비관개기에 수로의 기능을 유지·보전하기 위한 수량이다.

논의 송수손실율은 농촌용수 수요량 조사 종합보고서 (1999, 농어촌진흥공사)에서 제시한 전국 농지개량조합(농조)별 용수로의 현황자료를 이용하였다. 수로의 구조물 비율에 따라 기준 손실율을 적용하고 지배면적의 가중평균치를 산정하여 적용하였다. 또한 배분관리손실율은 「농업생산기반정비사업계획설계기준, 관개편 (농림부, 1999)」의 배분관리용수량 조사에 (p112)에서 송수손실율을 차인한 11.0%를 적용하며, 시설유지용수량은 국내의 적용사례가 없어 본 연구에서는 제외하였다.

2.1.2 발용수 수요량 산정 모형

발용수 수요량은 Fig. 2.2에서 보는 바와 같이 관개시설에 따라 10년빈도 조용수량과 순용수량을 관개발과 비관개발의 수요량으로 산정한다. 발용수 수요량은 증발산량과 유효수량은 고려하고 발의 유효수분이 포장용수량 범위안에서 계산되므로 침투량은 고려하지 않는다. 발에서 필요한 순용수량과 조용수량은 다음과 같이 나타난다.

$$\text{순용수량} = \text{증발산량} - \text{유효수량} \quad (4)$$

$$\text{조용수량} = \text{순용수량} + \text{손실수량} \quad (5)$$

가. 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 뿌리 깊이는 작물학, 공예작물학 등의 문헌에서 수집한 자료를 적용하였다.

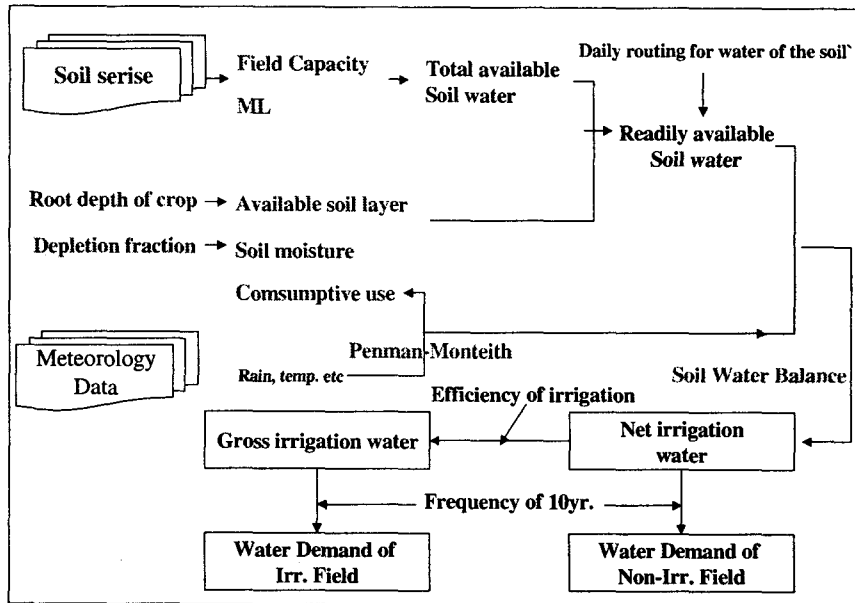


Fig. 2.2 Flow chart of the estimation water demand for upland field

나. 밭의 유효수량

강수량 중에서 작물의 생육에 이용되는 수량인 유효수량은 밭 관개에서 공급량을 결정짓는 가장 중요한 인자 중 하나이다. 유효수량은 강수량과 밭 토양 특성에 따라 큰 차이가 나타난다. 농업생산기반정비사업계획설계기준(관개편)에서 제시하고 있는 유효수량 산정법(p420)은 밭 토양의 총신속유효수분(TRAM)에서 강우직전의 유효수분량을 제외한 유효수량의 상한치와 강수량의 80%를 비교하여 일 강우의 80%가 유효수량의 상한치보다 크거나 같으면 유효수량은 유효수량의 상한치이고, 작으면 일 강우의 80%를 유효수량으로 계산한다. 그러나 이 방법은 일 강우의 80%가 무조건 토양으로 침투되므로 수문학적인 신뢰성이 결여되고, 토양에 따라 추정된 TRAM값이 요구되므로 실무에서 적용하기 곤란한 점이 있다. 또한 FAO에서 발표한 전산프로그램(CROPWAT)에서는 4가지 유효수량 산정법을 제시하고 있으며 주로 경험식에 의해 강수량의 일정비율을 유효수량으로 채택하거나 경험적인 계수를 적용하여 유효수량을 산정하고 있다. 상기의 유효수량 산정 방법들은 토양의 특성과 강우의 경년변화를 고려할 수 없으므로 이러한 단점을 보완하기 위해 토양의 유효수분량을 고려한·일별 토양수분추적법으로 유효수량을 산정해야 하며 그 내용은 다음과 같다.

(1) 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 2.1은 송산통과 콩을 대상으로 산정한 토양수분 상·하 한계치 계산예이다.

Table 2.1 Calculation example of SM_{max} & SM_{min} for upland soil

Period	Root depth(mm) (A)	Range (mm)	FC (%) (B)	ML(%) (C)	SM_{max} (mm) (D)=A×B	SM_{min} (mm) (E)=A×C
Jun. E	200	0-180	22.0	13.5	39.6	24.3
		181-250	20.7	12.7	4.1	2.5
		Total	-	-	43.7	26.8
Jun. M	220	0-180	22.0	13.5	39.6	24.3
		181-250	20.7	12.7	8.3	5.1
		Total	-	-	47.9	29.4
Jun. L	300	0-180	22.0	13.5	39.6	24.3
		181-250	20.7	12.7	14.4	8.9
		251-460	22.5	13.5	11.3	6.7
		Total	-	-	65.3	39.9

대상 작물 : 콩, 대상 토양통 : 송산통(사양토)

(2) 토양수분소비형

밭 관개에 중요한 것은 토양수분이 성장저해수분점에 도달하기 직전에 관개하여 근근역의 토양수분을 다시 포장용수량으로 회복시키는 것이다. 이때 보급해야 할 관개량은 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$TAW = (FC - ML) \times Zr \quad (6)$$

여기서 TAW : 총이용가능수량(mm)

FC : 포장용수량(%)

ML : 성장저해수분점(%)

Z_r : 작물뿌리깊이(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 2.2와 같이 제시하고 있다.

Table 2.2 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	Alfalfa	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

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

$$RAW = \bar{P} \times TAW \quad (7)$$

여기서 RAW = 신속토양수분이용량(mm)

$$\bar{P} = \text{토양수분 감소율}$$

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

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

여기서 ET_c : 작물별 증발산량(mm)

따라서 (7)식을 (8)식으로 보완한다.

$$RAW = P \times TAW \quad (9)$$

식(9)는 보정된 계수를 고려한 토양수분이용량이 유효수분량이며 이를 밭 토양의 수분한계로 선정하여 일별 토양수분추적법에 의하여 유효우량과 관개량을 산정한다.

(3) 밭 토양수분 물수지

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

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

여기서 $SM(t)$: t일의 밭 토양수분(mm)

$SM(t-1)$: t-1일의 밭 토양수분(mm)

$R_a(t)$: t일의 강우량(mm)

$Req(t)$: t일의 관개량(mm)

$U(t)$: t일의 소비수량(mm)

$U(t) = ETa(t) = ET_o \times K$ (작물계수)

$SD(t)$: t일의 지표유출량

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

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

여기서 $Re(t)$: 유효우량(강우량-지표유출량)

그러나 실제 밭의 토양수분 변화는 당일의 강우량과 필요수량 및 토양수분량의 관계에서 구해야 하며 이는 가정한 토양수분최대저류량(SM_{max}) 및 성장저해수분점(SM_{min})에 의해 제한된다. 강우는 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.

다. 손실수량

밭의 손실수량은 포장 내에서 적용효율과 송수중의 손실율을 포함한 관개효율을 고려하였다. 그리고 밭의 작부체계는 노지 재배로 적용하였으며, 노지 재배는 스프링클러를 많이 사용하고 있기 때문에 스프링클러의 관개효율을 적용하였다. 관개효율은 Table 2.3과 같다.

Table 2.3 Irrigation efficiency in 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)

라. 다목적 용수량

밭의 다목적 용수량은 작물이 생리적으로 요구하는 수분보급량 이외의 필요수량으로 재배 관리용수, 기상재해방지용수, 관리작업의 생력화용수 등이 있다. 이들 용수량은 작물생육에 영향을 끼치고 있으나, 현재까지 명확한 적용 기준이 없는 실정이다. 안정적인 수요량 확보를 위해서는 향후 다목적용수량을 발용수 수요량 산정시 고려해야 한다. 다목적 용수량은 지금까지 설계나 수요량 산정에 적용한 사례가 없고 국내의 포장에서 관측한 자료가 미비하므로 본 연구의 발용수 수요량 산정에서 제외되지만 재배관리용수량은 논의 경우와 같이 수요량에 포함되어야 작물의 생육과 품질 개선에 기여하리라 생각된다.

2.2 적용 방법

상기의 농업용수 수요량 산정방법에 따라 개발된 농업용수 수요량 산정 시스템(ESDA)을 적용하여 우리나라 전국의 논용수 수요량과 밭 용수 수요량을 산정하였다. 도별 농업용수 수요량의 특성분석은 Fig 2.3과 같이 전국의 66개 기상관측소의 28개년 (1970년~1997년)의 기상자료와 농업·농촌용수 종합이용계획에서 제시한 464개 용수구역을 읍면별로 세분한 전국 1,767개 소구역에서 산정한 농업용수 수요량을 대상으로 고찰하였다.

본 연구에서 적용한 논·밭의 면적등 관련된 제반인자는 각종 통계연보와 농업용수 수요량 조사 종합보고서 (1999, 농어촌진흥공사) 등의 관련자료를 인용하였다.

2.3 경지면적 현황

2.3.1 논·밭의 변화추세

1997년 현재 경지면적 변화추세는 Table 2.4에서 보는 바와 같다. 개간과 간척 등으로 국토 면적은 증가하였지만 1980년대에는 총 경지면적이 2,196천ha에서 2,109천ha로 연평균 8,700ha가 감소되었으며 1990년대에는 경지면적의 감소 폭이 더욱 증가하여 1997년 현재 경지면적은 1,924천ha로 연평균 약27,000ha가 감소하고 있다.

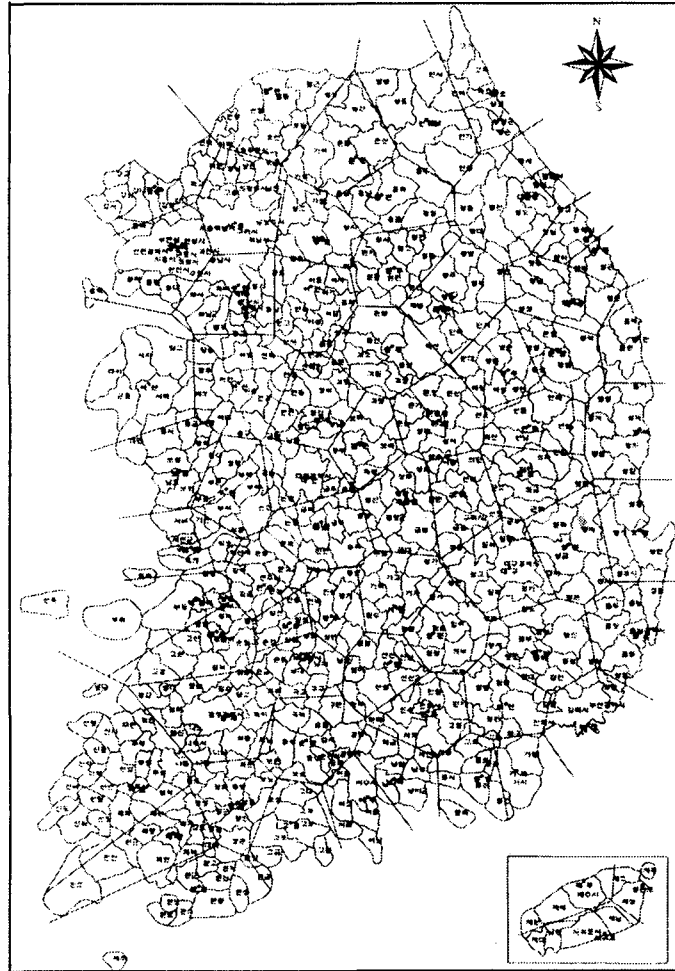


Fig. 2.3 Sub area and thiessen network for the estimated agricultural water demand

Table 2.4 The transformation trend for cultivate area (Unit : 10³ha)

Year	Total	Cultivation area						Forest		Others	
		Sub total		Paddy		Upland		Area	%	Area	%
		Area	%	Area	%	Area	%				
1980	9,899	2,196	21	1,307	13	889	9	6,568	66	1,135	13
1985	9,914	2,144	21	1,325	13	889	8	6,531	66	1,239	13
1990	9,927	2,109	22	1,345	14	764	8	6,476	65	1,342	13
1995	9,927	1,985	20	1,206	12	779	8	6,452	65	1,490	15
1997	9,937	1,924	20	1,163	12	761	8	6,441	65	1,572	15

자료 : 농업기반조성사업통계연보

경지면적 중 논 비율은 1990년대초에 63.8%로 최고조에 달했으나 이후 감소하여 1997년에는 60.4%에 불과하다. 반면 밭의 비율은 1990년의 36.2%를 저점으로 최근까지 계속 증가세를 보여 1997년에는 39.6%에 이르렀으며 현재 논밭 비율은 약 60:40이다.

2.3.2 수리논

수리논은 수리시설로 인하여 관개의 혜택을 받고 있는 논으로 우리 나라는 광복후 반세기에 걸쳐 농업용수개발을 농업생산기반정비의 핵심사업으로 추진하여 왔다. 그 결과 '97년말 현재 전체 논 면적의 76%에 해당하는 882천ha를 수리논으로 조성하여 안전영농 기반구축에 크게 기여하였으나 아직도 수리불안전논이 전체 논의 24%인 281천ha나 남아있다. Fig. 2.4는 연도별 수리논 변화추세를 나타내었으며 '80년대 중반부터 큰 변화 없이 지속적으로 증가하고 있음을 알 수 있다.

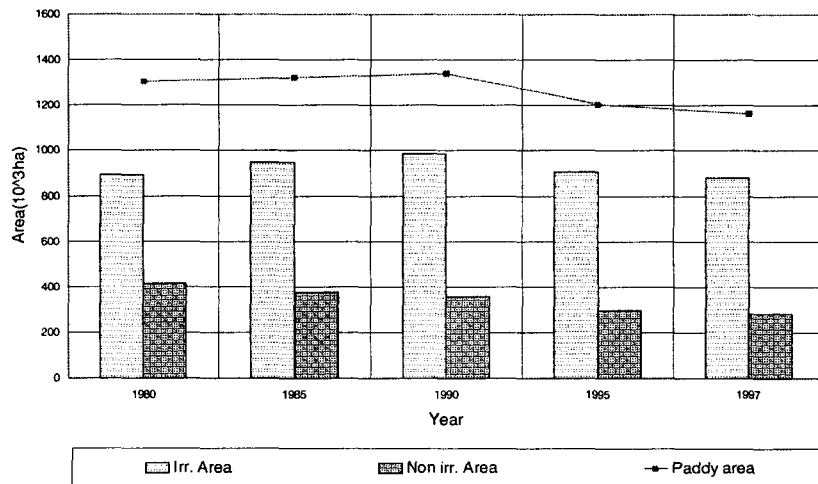


Fig. 2.4 The transformation trend for irrigation paddy field

2.3.3 관개밭

우리 나라 밭면적 중 관개밭 구분은 '94년부터 시행한 밭기반 정비사업의 실적을 기준으로 하였다. Fig. 2.5는 연도별 관개밭 변화추이로 '97년말 현재 전체 밭 면적은 761천ha이며 관개밭은 밭면적의 3%인 22천ha에 불과하나 계속 증가추세에 있다.

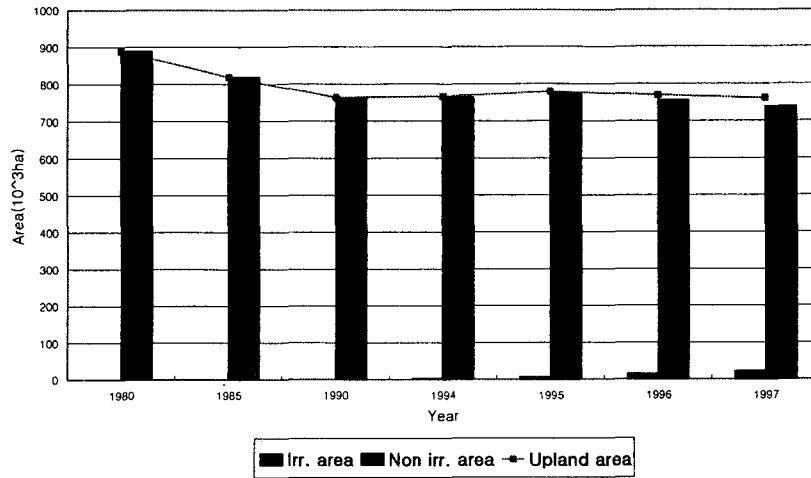


Fig. 2.5 The transformation trend for upland field

2.4 도별 경지 면적 현황

경지면적의 도별 현황은 Table 2.5에서 보는 바와 같다. 논밭을 포함한 전체 경지는 전남이 333천ha, 경북 303천ha순으로 경지를 보유하고 있으며, 논은 전남이 219천ha, 전북이 189천ha이며 수리논은 전남, 충남순으로 경지를 보유하고 있다. 밭은 경북, 전남순이며 관개밭도 경북, 전남순으로 경지를 보유하고 있는 것으로 나타났다.

Table 2.5 Regional distribution state of the cultivation area

Classification	C. A. (10 ³ ha)	Paddy area						Upland area		
		Paddy total (10 ³ ha)	Irr. Paddy (10 ³ ha)	%	Direct seedings (ha)	Dry (ha)	Water (ha)	Upland total (ha)	Irr. upland (ha)	%
Sum	1,924	1,163	881	76	117,852	62,042	55,810	760,670	21,802	3
broad City	86	59	47	80	1,857	1,692	165	27,327	188	1
kyonggi	216	131	90	69	1,859	575	1,284	84,803	703	1
kwangwon	119	51	38	75	1,155	357	798	68,435	2,843	4
chungbuk	138	67	51	76	1,418	389	1,029	71,469	1,076	2
chungnam	241	167	146	87	24,989	7,007	17,982	73,746	829	1
chonbuk	246	189	125	67	24,170	20,890	3,280	56,987	1,776	3
chonnam	333	219	153	70	44,400	14,450	29,955	113,601	3,794	3
kyongbuk	303	157	131	83	12,654	12,327	327	145,891	4,228	3
kyongnam	184	122	100	82	5,345	4,355	990	62,099	1,386	2
jeju	58	1	-	-	-	-	-	56,312	4,977	9

C.A. : Cultivation Area

3. 결과 및 고찰

1,767개 소구역 자료와 29개년 (1970년~1998년)의 기상자료를 이용하여 전국의 농업용수 수요량을 산정하였다. 계산결과의 년평균치를 산정하여 우리나라 농업용수 수요량의 특징을 고찰하면 다음과 같다.

3.1 논용수 수요량의 특성

전국의 논 침투량 현황은 Fig. 3.1과 같이 최대 12.0mm/d, 최소 2.0mm/d, 전국 평균 5.06mm/d로 나타났으며 1,767개 소구역 중 5~6mm/d가 32.9%로 가장 많은 빈도수를 나타냈다.

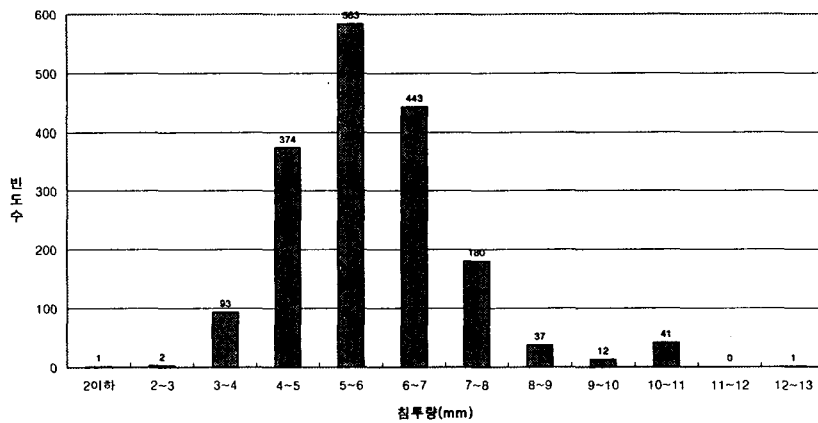


Fig. 3.1 Distribution state of the Infiltration

도별 평균 침투량은 Table 3.1과 같이 제주도를 제외하면 강원이 5.88mm/d로 최대이며, 경북 5.45mm/d, 충북 5.41mm/d 순이며, 충남이 4.79mm/d로 최소를 나타냈다.

Table 3.1 Average Infiltration by local province

(unit:mm/d)

Classification	nation-wide	kyonggi	kwangwon	chungbuk	chungnam	chonbuk	chonnam	kyongbuk	kyongnam	jeju
Infiltration	5.06	4.94	5.88	5.41	4.79	4.61	5.09	5.45	4.95	9.88

또한 전국 1,767개 소구역의 송수손실 현황은 Fig. 3.2와 같이 최대 18.0%에서 최소 8%이며, 10~16%가 소구역수의 94.3%를 차지하며 전국 평균 송수손실율은 12.82%로 나타났다.

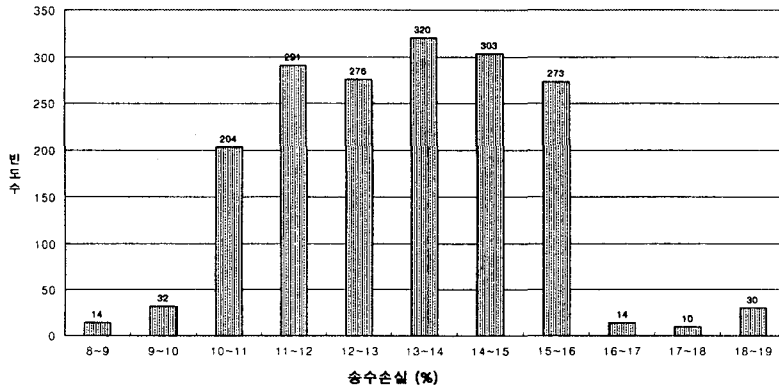


Fig. 3.2 Distribution state of the conveyance loss

Table 3.2는 도별 송수손실로서 제주도를 제외하면 충북이 14.86%로 가장 높으며, 전북 14.14%, 경남 12.86% 순이며, 전남이 11.94%로 최소를 나타냈다.

Table 3.2 Average conveyance loss by local province

Classification	nation-wide	kyonggi	kwangwon	chungbuk	chungnam	chonbuk	chonnam	kyongbuk	kyongnam	jeju
conveyance loss(%)	12.82	12.75	12.57	14.86	12.68	14.14	11.94	12.12	12.86	15.96

우리나라 논의 증발산량 현황은 Fig. 3.3에서 보는바와 같이 최대 819.2mm에서 최소 595.2mm로 전국 평균치는 702.9mm이다.

또한 일별 담수심 추적법으로 산정한 이앙재배시 유효수량 현황은 Fig. 3.4에서 보는바와 같이 최대 834.7mm에서 최소 464.3mm이며 전국 평균치는 635.3mm로 산정되었다.

도별로 분석한 이앙재배시 논의 증발산량은 Fig. 3.5에서 보는 바와 같이 충남과 전남이 714.7mm로 최대치를 기록했으며 강원도가 667.6mm로 최소치로 나타났다.

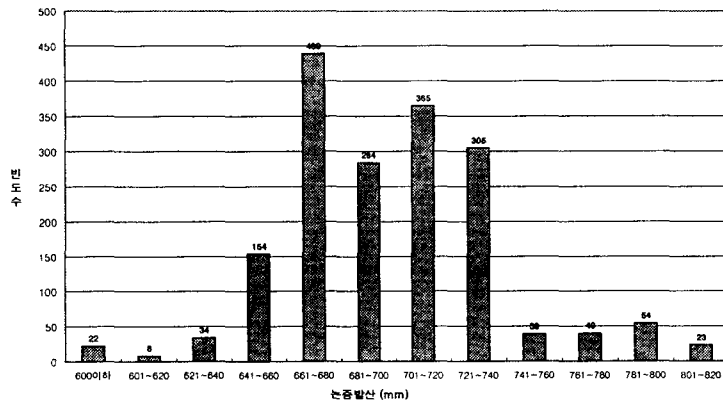


Fig. 3.3 Annual evapotranspiration in paddy

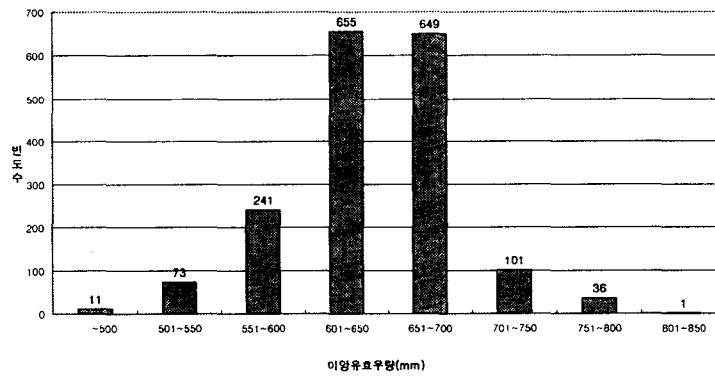


Fig. 3.4 Effective rainfall in the transplant seedlings

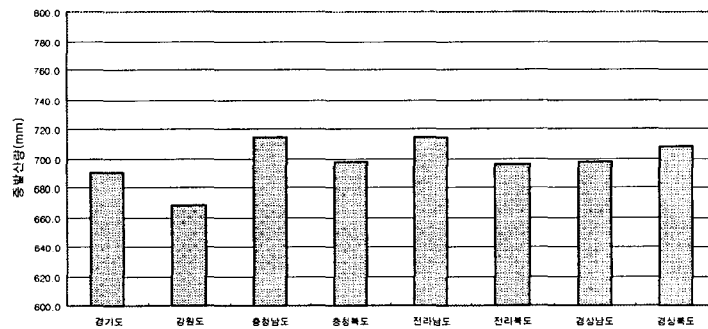


Fig. 3.5 Evapotranspiration In transplant seeding by local province

관개기중 논강우량에 대한 유효우량 산정 결과는 Fig. 3.6에서 보는 바와 같다. 강우량은 제주도가 1172mm로 최대이며 경상북도가 870.8mm로 최소치를 나타냈으며 이앙, 담수직파, 건담직파의 순으로 유효우량이 산정되었다. 영농방식별 편차는 지역과 상관없이 일정한 크기로 나타났다.

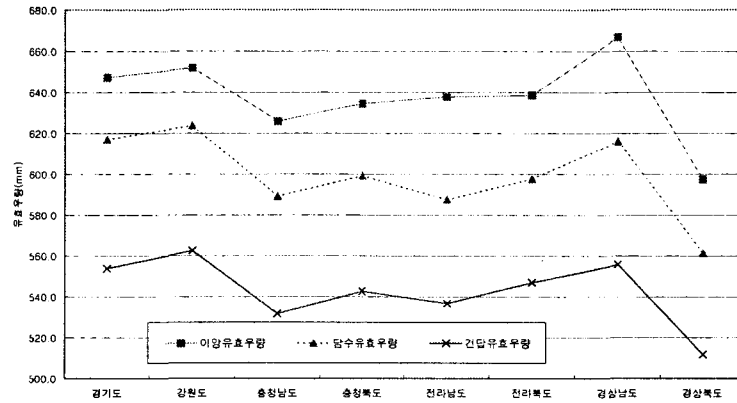


Fig. 3.6 Distribution state of the effective rainfall by local province

도별 유효우량은 강우량이 많은 경남이 최대로 나타났으며 경상북도가 최소치를 나타냈다. 영농방식에 따른 도별 유효우량은 Table 3.3과 같다. 전국의 관개기 강우량에 대한 유효율은 이앙, 담수직파, 건담직파 재배시 각각 62.8%, 58.9%, 53.4%로 산정되었다.

Table 3.3 Effective rainfall and ratio by local province

(Unit : mm, %)

Classification	nation-wide	kyonggi	kwangwon	chungbuk	chungnam	chonbuk	chonnam	kyongbuk	kyongnam	jeju
Rainfall(A)	1019.5	1087.2	1071.4	997.6	996.7	1041.8	1000.9	1126.2	870.8	1172.0
ER(Trans., B)	640.0	658.3	659.7	629.9	636.1	642.6	644.7	673.4	594.0	724.3
ER(Water, C)	600.3	628.5	628.2	592.8	600.6	591.9	603.7	622.1	558.8	664.3
ER(Dry, D)	544.0	564.2	567.0	535.9	543.4	540.4	553.2	561.4	507.9	598.8
B/A(%)	62.8	60.6	61.6	63.1	63.8	61.7	64.4	59.8	68.2	61.8
C/A(%)	58.9	57.8	58.6	59.4	60.3	56.8	60.3	55.2	64.2	56.7
D/A(%)	53.4	51.9	52.9	53.7	54.5	51.9	55.3	49.8	58.3	51.1

ER : Effective Rainfall

순용수량 산정 결과는 Fig. 3.7과 같으며 영농방식별 크기는 답수직파>건답직파>이앙재배 순으로 나타났다. 이앙재배의 경우 경북이 813.3mm로 최대로 나타났으며 전북이 684.4mm로 최소치를 기록했다.

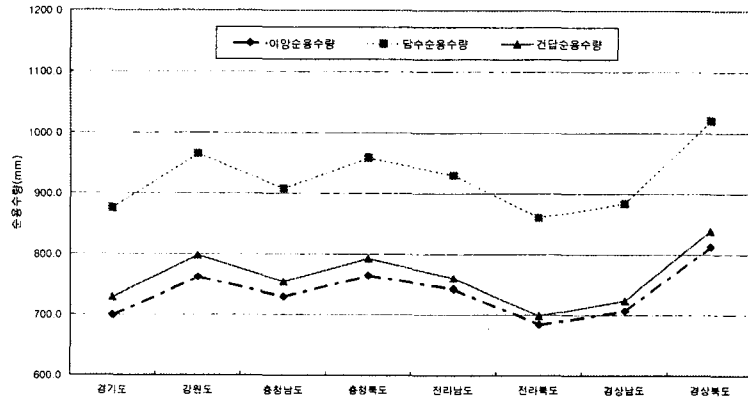


Fig. 3.7 Net irrigation requirement water in paddy

3.2 발용수 수요량의 특성

논의 경우와 같이 1,767개 소구역을 대상으로 29개년 (1970년~1998년)의 기상자료를 적용하여 발용수 수요량을 산정하였다. 1,767개 소구역의 발 증발산량은 Fig. 3.8에서 보는바와 같이 최대 695.9mm에서 최소 129.3mm이며 발면적을 면적가중평균한 전국 평균치는 411.8mm이다. 1,767개 소구역 중에서 301~400mm가 38.1%의 빈도를 나타냈으며, 401~500mm가 31.6%, 501~600mm가 12.5% 등으로 논에 비해 변화 폭이 컸다.

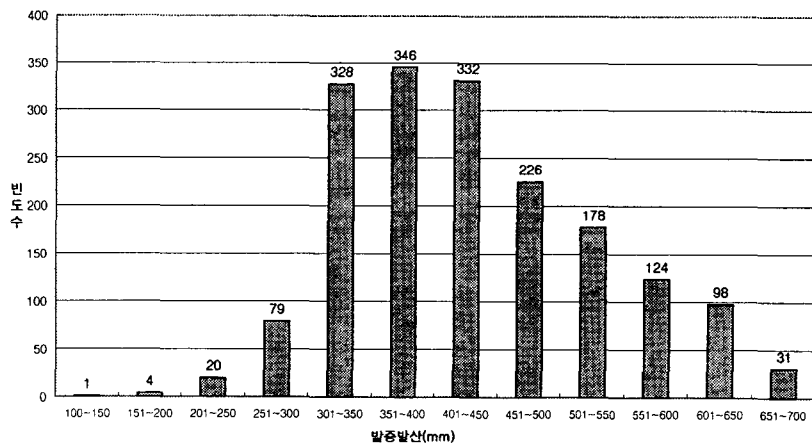


Fig. 3.8 Annual evapotranspiration in upland

또한 일별 토양수분 추적법으로 산정한 밭의 유효우량은 Fig. 3.9에서 보는 바와 같으며 최대치 607.2mm, 최소치 68.3mm이고 면적가중평균한 전국 평균치는 257.4mm로 산정되었다. 유효우량 역시 논에 비해 변화 폭이 크게 나타났다.

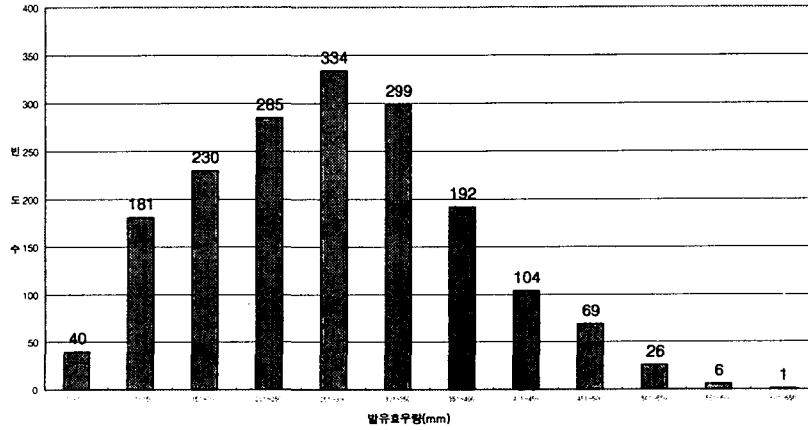


Fig. 3.9 Distribution state of the effective rainfall in upland

도별로 분석한 밭의 순용수량은 Fig. 3.10에서 보는 바와 같다. 순용수량은 충북이 279.1mm로 최대치를 나타냈으며, 강원이 127.4mm로 최소치를 나타냈다. 대체로 순용수량은 증발산량에 비례하고, 유효우량에 반비례한다.

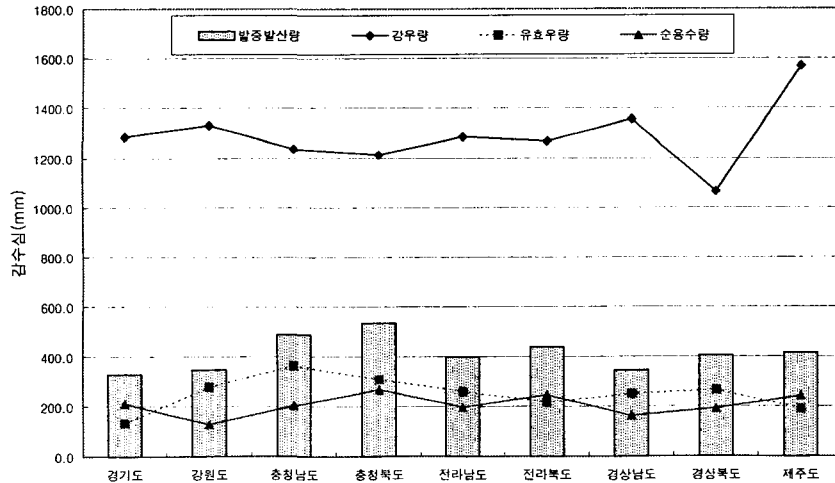


Fig. 3.10 Net irrigation requirement water in upland

발용수 수요량을 도별한 정리한 Table 3.4에서 보는 바와 같이 밭의 증발산량은 충북이 552.9mm로 최대치를 산정되었으며, 경기가 337.5mm로 최소치를 나타냈다. 도별 강우량은 제주도가 1569.8mm로 최대치를 기록하였으나 유효우량은 충남이 377.6mm로 최대치를 기록하였다. 발용수 수요량은 재배작물과 토양 등 지배인자에 따라 그 변화가 크므로 도별로 분석한 증발산량, 유효우량, 순용수량 등의 각인자의 연관성에 대한 일정한 규칙은 발견하지 못했다.

Table 3.4 Upland water demand by local province

(Unit : mm)

Classification	nation-wide	kyonggi	kwangwon	chungbuk	chungnam	chonbuk	chonnam	kyongbuk	kyongnam	jeju
Rainfall(A)	1260.3	1287.7	1332.9	1237.5	1215.1	1286.9	1270.2	1356.3	1067.4	1569.8
ER(B)	257.4	133.4	278.5	377.6	309.1	260.6	216.7	251.4	266.6	191.5
B/A(%)	20.4	10.4	20.9	31.0	25.4	20.3	17.1	18.5	25.0	12.2
ET	411.8	337.5	347.9	488.1	552.9	398.8	439.2	345.8	405.0	414.7
Net I.R.	205.7	212.2	127.4	203.8	279.1	197.5	247.8	164.0	192.2	243.1

ER : Effective Rainfall

ET : Evapotranspiration

Net I.R. : Net irrigation requirement water

4. 결론

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. 농업용수가 전체 용수량 중에서 차지하는 비중은 지역별로 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.

따라서 본 연구는 우리나라 농업용수 특성을 고려하여 합리적인 용수 수요량 산정이 가능하도록 개발된 전산시스템인 농업용수 수요량 산정 시스템(ESAD)을 적용하여 전국을 대상으로 농업용수 수요량을 산정하고 그 특성을 분석하였다. ESAD를 적용한 우리나라 농업용수의 지역적 특성은 다음과 같이 요약된다.

첫째, 1767개 소구역의 눈 증발산량은 최대 819.2mm에서 최소 595.2mm였으며 전국 평균은 702.9mm였다. 강우량은 제주도가 1172mm로 최대이며 경상북도가 870.8mm로 최소치를 나타냈으며 이앙, 담수직파, 건답직파의 순으로 유효우량이 산정되었다. 영농방식별 편차는 지역과 상관없이 일정한 크기로 나타났다.

둘째, ESAD에서 적용한 논의 침투량은 최대 12.0mm/day, 최소 2.0mm/day, 전국 평균 5.06mm/d이었으며, 송수손실은 최대 18.0%에서 최소 8%이며 전국평균은 12.82%이었다.

셋째, 일별 담수심 추적법으로 산정한 이앙재배시 평균 유효우량은 최대 834.7mm에서 최소 464.3mm였으며 전국 평균치는 635.3mm로 산정되었다. 또한 유효우량의 크기는 이앙, 담수직파, 건답직파의 순이었으며 영농방식별 편차는 지역과 상관없이 일정한 크기로 나타났다. 전국의 관개기 강우량에 대한 유효율은 이앙, 담수직파, 건답직파 재배시 각각 62.8%, 58.9%, 53.4%로 산정되었다. 또한 순용수량은 영농방식별로 담수직파>건답직파>이앙재배 순으로 나타났다. 이앙재배의 경우 경북이 813.3mm로 최대로 나타났으며 전북이 684.4mm로 최소치를 기록했다.

넷째, 1767개 소구역의 발 증발산량은 최대 695.9mm에서 최소 129.3mm이며 전국 평균치는 411.8mm였다. 지역별로는 충북이 552.9mm로 최대치로 산정되었으며, 경기가 337.5mm로 최소

치를 나타냈다. 그리고 일별 토양수분 추적법으로 산정한 밭의 평균 유효수량은 최대 607.2mm, 최소 68.3mm이고 전국평균 257.4mm로 산정되었다. 밭의 순용수량은 충북이 279.1mm로 최대치를 나타냈으며, 강원이 127.4mm로 최소치를 나타냈다. 대체로 순용수량은 증발산량에 비례하고, 유효수량에 반비례한다.

참 고 문 헌

- 김선주 (1987). "밭작물의 증발산량 추정방법에 관한 연구." 건국대학교 대학원논문집, 제25집, pp. 639-655.
- 김시원 외2인 (1996). 농업수리학. 향문사.
- 김시원, 김선주 (1988). "밭 관개의 계획용수량 및 시설용량의 성립에 관한 연구." 한국농공학회지, 제30권 제4호, pp. 23-43.
- 김현영 (1999). "농업용수 수요량의 새로운 추정기법." 농공기술, 제62호, pp. 101.
- 농림부 (1998). 농업생산기반정비사업계획설계기준(관개편).
- 농림부 · 농어촌진흥공사 (1999). 농업 · 농촌용수 종합이용계획.
- 농림부 · 농어촌진흥공사 (1999). 발기반정비사업 시설물점검 및 유지관리실태조사.
- 농어촌진흥공사 (1995~1997). 영농방식 변화에 따른 필요수량 산정연구(I ~ III).
- 농어촌진흥공사 (1999). 농촌용수 수요량 조사 종합보고서.
- 농업진흥공사 (1989). 소비수량 산정방법 실용화 연구.
- 농어촌진흥공사 (1987~1990). 밭작물 소비수량 산정방법 정립 연구(I ~ IV).
- 이광야 (2000). "농업용수 수요량 산정 시스템 개발," 박사학위논문, 건국대학교.
- 한국수자원공사 (1990). 수자원장기종합계획('91-2011) 보고서.
- FAO (1970). "Crop water requirements." *FAO Irrigation and Dainage Paper 24*.
- FAO (1991). *Report on the expert consultation for the revision of FAO methodologies for crop water requirements*.
- FAO (1998). "Crop evapotranspiration." *FAO Irrigation and Drainage Paper 56*.
- SCS (1967). "Irrigation water requirements." *Technical Release 21*.
- World Water Council (1998). *Water in the 21st century*.