

물수지 모형을 이용한 절수관개기법 개발

Development of Water Saving Irrigation Method Using Water Balance Model

손 성 호* · 정 상 옥**

Sohn, Seung Ho · Chung, Sang Ok

Abstract

The objective of this study is to develop water saving irrigation method using water balance model in order to save rural water. Daily water balance components such as irrigation water, drainage water, effective rainfall, ET, and infiltration were measured in paddy fields. Model simulations were performed for different outlet heights and ponding depths. The outlet heights and the ponding depths are 2 cm, 4 cm, 6 cm, 8 cm, and 10 cm, respectively. Based on the simulation very shallow ponding depth of 2 cm with 10 cm outlet height showed the largest effective rainfall ratio and the smallest irrigation amount. Until the introduction of laser leveling dozer and automatic inlet control devices, it would be desirable to adopt 4cm ponding depth because of difficulty of land leveling and frequency of farmer's field visit. The results of this study will be applied in the paddy farming and can improve water use efficiency.

Keywords : Water saving irrigation, water balance, ET, Ponding depth, outlet weir.

I. 서 론

벼의 절수관개에 대한 연구의 시작은 우리나라에서는 1910년 권업모범장에서부터 비롯되었으며, 미국에서는 Bond and Keeney(1902)가 벼에 대한 용수량 시험을 처음 시작하였고, 그 후 Biggs(1917), Adams(1920)에 의해 벼의 관개시기에

관한 기초 자료가 제공되었다.

국내에서 절수관개의 절수효과와 벼 수량에 미치는 영향에 대한 연구로 농촌진흥청(1966)에 의하면 담수심 관리방법이 벼 수확량에 미치는 영향은 상시담수를 하는 것보다 4일 담수하고 2일 낙수하는 간단관개가 좋다고 하였으며, 관행재배법과 절수재배법의 수량비교에서는 절수재배법이 증수효과가 크다고 하였다. 이와 김(1966)도 역시 5일에 1일 관개하는 극절수재배가 8.2% 증수되었다고 하였다. 이와 김(1966) 및 이(1968)는 절수의 시기 및 방법의 차이가 수도생육과 수확량에 미치는 영향에 대하여 연구하였다. 이들은 33 m² 크기의 시

* 경북대학교 대학원

** 경북대학교 농과대학 농업토목공학과

Corresponding author. Tel.: +82-53-950-5734

Fax: +82-53-950-6752

E-mail address: sochung@knu.ac.kr

험구에서 세 가지 담수심 처리를 3반복하여 실험하였다. 담수심처리는 (1) 보통구- 5 cm에서 8 cm (1966) 또는 3 cm에서 4 cm (1968) 상시 담수; (2) 절수구- 3일 간단관개로 1일째는 담수, 2일째는 표면포화 무담수, 3일째는 완전배수건조 (3) 극절수구- 5일 간단관개로 1일째는 담수, 다음 3일간은 무담수, 5일째는 표면균열 상태로 하였다. 담수심 처리에 따른 수확량은 절수구와 극절수구 모두 보통구에서 보다 높은 값을 보여주었으며 절수구가 가장 높은 수확량을 나타내었다. 1966년에는 보통구에 비해 절수구가 8.2%, 극절수구가 3.6% 높은 수확량을 보여주었고, 1968년에는 보통구에 비해 절수구가 17.2%, 극절수구가 5.8% 높은 수확량을 보여주었다. 농촌진흥청(1993)은 논 물관리 체계의 자동화 연구에서 담수심을 60 mm 정수위, 60 mm, 40 mm, 20 mm의 변수위 및 60 mm에서 0 mm의 임의수위 등의 세 가지 형태로 관리하였는 바, 동일한 증발산량 조건 하에서 변수위 관리가 높은 수확량을 나타내었다고 하였다. 정등(1999)에 의하면 심수관개는 7 cm~10 cm, 천수관개는 1~3 cm 깊이가 적당하며 이앙 직후 2주 정도와 중간낙수 이후 3주정도 이외에는 간단관개가 오히려 생육에 좋다고 하였다. 강(2001)은 벼 건답직파 조건에서 규산시용을 하면 56.2%의 절수효과를 얻을 수 있다고 하였으며 고랑에 5일 간격으로 관개하면 수확량은 5% 감소하지만 58%의 절수효과를 얻을 수 있다고 하였다.

Borell et al(1997)의 연구를 보면 1 cm 정도의 극천수관개로 토양수분을 포화상태로 유지하는 포화토 관개(Saturated Soil Culture : SSC) 기법을 적용한 결과 담수심을 6 cm로 상시담수할 경우보다 관개량을 34% 절약하였으나 수확량이 16~34% 감소하였다.

Heenan and Thompson(1984)은 호주의 New South Wales지역에서 60~100 cm 폭의 육묘상면 형태로 SSC 기법으로 관개하면 관개량과 수확량이 10% 정도 감소되었다고 하였다.

국외에서는 절수관개기법으로 관비재배와 SSC 기법 등을 통해 관개량을 줄이고 수확량을 증가시키는 연구들이 수행되었다.

이상과 같이 절수관개와 관련된 문헌 조사 결과 주로 관행적인 심수관개보다 극천수 또는 천수관개를 행하는 것이 관개량을 줄일 수 있으며, 상시담수를 하는 것보다 간단관개를 하는 것이 벼의 생육에 좋으며 수확량도 늘릴 수 있다고 하였다.

본 연구는 대구광역시 북구 동호동 소재 경북농업기술원 답작포 실험포장에서 2001년부터 2003년까지 3개년에 걸쳐서 벼의 생육기간동안 담수심 관리방법별 물수지 및 관개수량의 변화를 관측한 결과를 이용하여 물수지 모형을 이용한 담수심별 관개량을 모의발생하여 관측치와 비교·분석하였으며 절수관개를 위한 방안을 모색하였다.

II. 재료 및 방법

1. 대상지역

본 연구를 위해 선정된 시험포장은 대구시 북구 동호동 소재 경북농업기술원 답작포 실험포장이다. 25 m×80 m 크기의 포장을 8 m×80 m의 3구역으로 나누어 극천수관개, 천수관개, 심수관개의 3가지 담수심 처리를 하였으며 관개량, 배수량, 증발산량, 침투량, 강우량 등을 2001년부터 2003년까지 관개기간동안 측정하였다.

2. 물수지 모형

가. 모형의 개요

논지대의 물수지 식을 이용하여 모형을 통한 관개량, 배수량 및 유효우량을 모의발생하였다. 모형은 Microsoft Visual C++ ver. 6.0으로 만들었다. 모형에 이용된 물수지 식은 식 (1)과 같다.

$$(R + Q_1) - (ET + DP + Q_2) = \Delta S \dots\dots\dots(1)$$

여기서, R : 강우량 (mm), Q_1 : 관개량 (mm),
 ET : 증발산량 (mm), DP : 침투량 (mm),
 Q_2 : 배수량 (mm),
 ΔS : 저류량의 변화량 (mm).

여기서, $Q_1(t)$: t일의 관개량 (mm),
 $D(t)$: t일의 담수심 (mm),
 D_{min} : 최저 담수심 (mm).

논에서 유효우량을 구하는 방법은 다음과 같다.

$$Rep(t) = D_{max} - D(t-1) + U(t) \dots \dots \dots (2)$$

여기서, $Rep(t)$: t일의 가능유효우량 (mm),
 D_{max} : 최대담수심 (mm),
 $D(t-1)$: (t-1)일의 담수심 (mm),
 $U(t)$: t일의 감수심 (mm).

실제 유효우량(R_e)과 배수량은

$R(t) \geq Rep(t)$ 이면, $R_e(t) = Rep(t)$ 이고

$Q_2(t) = R(t) - Rep(t)$ 이다.

$R(t) < Rep(t)$ 이면, $R_e(t) = R(t)$ 이다.

여기서 $R(t)$: t일의 강우량, $Q_2(t)$: t일의 배수량

관개량은 최저담수심을 정한 후에 식 (3)에 의하여 계산하고, 강우가 발생할 경우에는 먼저 유효우량을 계산한 후에 식 (3)으로 관개량을 계산하였다.

$$D(t) \leq D_{min} \text{ 이면 } Q_1(t) = D_{max} - D(t) \dots \dots \dots (3)$$

나. 입·출력 자료

물수지 모형의 입력자료는 강우량, 침투량, 증발산량으로 데이터 파일로 구성되어 있으며, 침투량과 강우량은 현장에서 관측된 값을 사용하였다.

증발산량은 REF-ET 모형을 이용하여 계산하였고 모형 내의 FAO-24 Blaney - Criddle 공식으로 추정된 증발산량에 작물계수를 곱해서 구한 실제증발산량을 물수지 모형의 증발산량 입력자료로 이용하였다. 물수지 모형은 배수물꼬의 높이, 초기 관개량, 및 최저 담수심의 값을 입력한 후에 증발산량, 침투량, 및 강우량 데이터 파일을 입력한다.

Table 1은 물수지 모형의 입력파일과 출력파일의 내용을 나타내며, Fig. 1은 관개량을 모의하기 위해서 제작된 물수지 모형의 순서도를 나타낸다.

3. 물수지 모형의 검증

관개량의 검증을 위하여 2003년도 강우량, 침투량 및 검증된 증발산량을 물수지 모형의 입력자료로 이용하였다. 물수지 모형을 이용하여 관개량을

Table 1 Input and output data

Input and output	Contents	Remark
General input	Outlet weir height and target ponding depth	
Wea.dat	Ambient temperature(Mean, Max, Min) Mean dewpoint Temp., R.H.(Mean, Min) Wind(Mean WS., Max. WS.), Evaporation, Precipitation, Duration of sunshine, Radiation on a horizon surface.	Inputs to REF-ET model
Et.dat	Evapotranspiration	
Rainf.dat	Rainfall	
Infil.dat	Infiltration	
*.out	Effective rainfall, Ponding depth, Irrigation, Drainage	

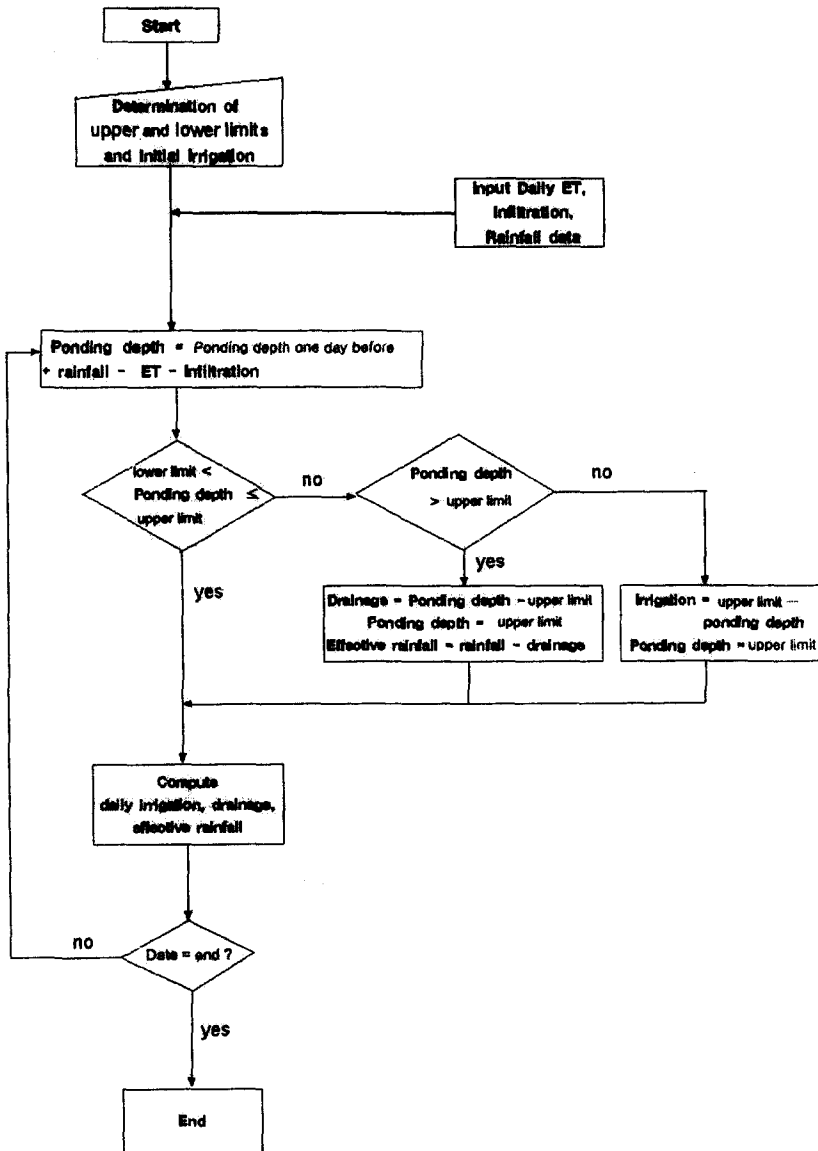


Fig. 1 Flowchart of water balance model.

모의한 결과는 Table 2와 Fig. 2에 나타나있다.

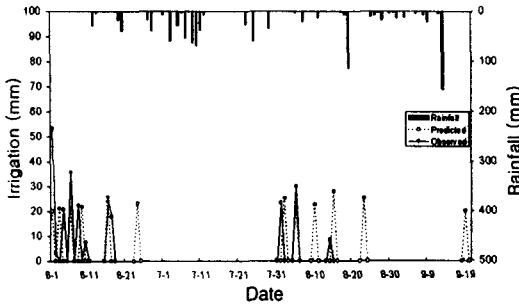
담수심 처리별 시험구에서 관측된 관개량과 모의 발생 관개량의 상관성을 분석한 결과, 극천수관개와 천수관개의 상관계수가 0.87로 높게 나타났고 RMSE는 극천수관개가 23.9 mm로 가장 낮게 나타났다.

Fig. 2는 2003년도의 실제 관개량 및 모의발생한 관개량을 나타낸다. 2003년의 경우에는 전 관개기간에 걸쳐 많은 강우가 발생하였기에 2001년도와 2002년도에 비해 관개횟수가 많이 줄어들었다. 극천수관개의 관개횟수는 12회이고, 평균 관개량은 23.1 mm였고, 천수관개의 관개횟수는 9회,

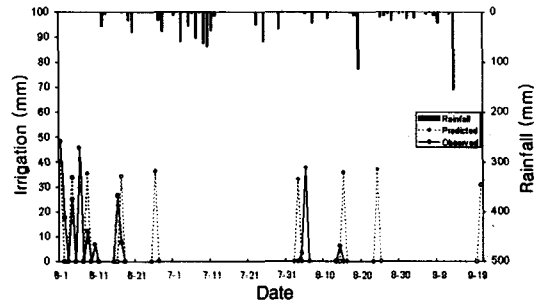
Table 2 Comparison of observed and predicted irrigation amounts

(unit : mm)

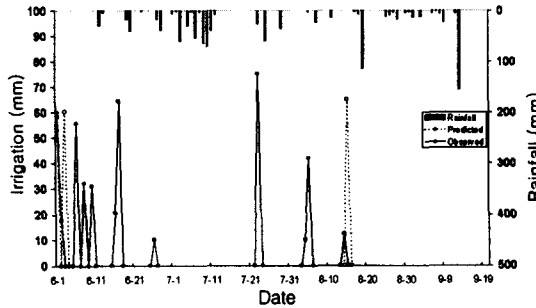
Month	10-day	Very shallow		Shallow		Deep	
		observed	predicted	observed	predicted	observed	predicted
6	E	142.8	83.6	145.4	109.1	189.9	120.4
	M	42.0	25.7	34.2	34.4	84.9	0.0
	L	9.5	23.3	0.0	36.3	10.1	0.0
7	E	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	M	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	L	0.0	0.0	0.0	0.0	75.2	0.0
8	E	53.3	71.4	40.8	33.1	52.1	0.0
	M	8.5	27.9	6.3	35.8	12.3	65.1
	L	0.0	25.2	0.0	36.9	0.0	0.0
9	E	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	M	0.0	20.2	0.0	30.9	0.0	0.0
Total		256.1	277.3	226.6	316.5	424.6	185.5
r		0.87		0.87		0.70	
RMSE (mm)		23.9		24.3		48.3	



(a) Very shallow



(b) Shallow



(c) Deep

Fig. 2 Comparison of observed and predicted irrigation amounts in 2003.

평균 관개량은 35.2 mm이고, 심수관개의 관개횟수는 3회, 평균 관개량은 61.8 mm였다. 극천수관개의 경우 실제 관개량의 관개횟수 10회보다 모의 발생 관개횟수가 2회 많았으며 평균 관개량은 모의 발생 관개량이 2.9 mm 적었다. 천수관개의 경우에는 모의발생 관개횟수가 1회 적었으며 평균 관개량은 모의발생 관개량이 10.7 mm가 많았다. Fig. 2(a)의 극천수관개와 (b)의 천수관개의 실제 관개량과 모의발생 관개량 비교 그래프를 보면 6월 하순에 발생한 강우로 시험구에서의 관개는 중단되었으나 모의발생 관개량은 담수심 추적식에 의해 일별 담수심 계산을 하고 최저담수위에 도달하여 관개가 발생하였다. 또한, 9월 하순에 최저담수위에 도달하였기 때문에 관개를 하였다. 심수관개의 경우 실제 관개횟수는 12회였으나 모의발생 관개횟수는 3회로 평균 관개량은 모의발생 관개량이 16.8 mm 많았다.

물수지 모형으로 관개량을 모의하여 시험구에서 관측한 관개량과 비교한 결과 2001년도의 경우에는 관개횟수와 평균 관개량의 차이가 많이 났으나 2002년과 2003년도는 관개횟수와 관개량이 유사하게 나타났다.

담수심 처리별 시험구에서 관측한 관개량과 모의 발생한 관개량의 상관성을 분석한 결과 상관계수의 범위가 0.70~0.87로 상관성이 높은 것으로 나타났다. 물수지 모형을 이용한 관개량의 모의발생 적용이 적합한 것으로 판단되었다.

4. 물수지 모형의 적용

본 연구에서 개발한 물수지 모형을 이용하여 배수물꼬와 담수심 조절에 따른 관개량을 모의하였다. 배수물꼬와 담수심의 범위는 본 연구에 적용된 담수심 2 cm에서 10 cm를 5가지로 세분화하여 검증된 물수지 모형을 통해 절수관개를 위한 관개량 및 유효우량을 모의하였다.

배수물꼬의 높이를 각각 2 cm, 4 cm, 6 cm, 8

cm 그리고 10 cm로 적용하여 담수심을 배수물꼬의 높이만큼 유지하는 경우와 배수물꼬의 높이를 10 cm로 고정된 후에 담수심을 각각 2 cm, 4 cm, 6 cm, 8 cm 그리고 10 cm로 관개량을 모의하였다. 배수물꼬의 높이를 변화시키는 경우에는 담수심이 0이 되었을 때 배수물꼬의 높이만큼 관개하였다. 배수물꼬의 높이를 고정하고 담수심을 변화시키는 경우에는 담수심이 0이 되었을 때 각각 2 cm, 4 cm, 6 cm, 8 cm 그리고 10 cm로 지정된 담수심 깊이만큼 관개하였다. 담수심이 0이 되면 관개하는 이유는 관개효율과 유효우량의 유효율을 증대시키기 위한 것이다.

Table 3은 물수지 모형에 적용된 배수물꼬의 높이와 담수심을 나타낸다.

Table 3 Weir heights and ponding depths applied in the water balance model (unit : cm)

Category	Weir height	Ponding depth
Weir height	2, 4, 6, 8, 10	fixed at 10
Ponding depth	same as the weir height	2, 4, 6, 8, 10

III. 결과 및 고찰

1. 물꼬높이 조절에 따른 관개량과 유효우량

물꼬높이 조절에 따른 관개량의 변화를 알아보기 위하여 배수물꼬의 높이를 각각 2 cm, 4 cm, 6 cm, 8 cm 그리고 10 cm로 하여 관개량과 유효우량을 모의하였으며 담수심이 0이 되었을 때 각각의 배수물꼬의 높이까지 관개하였다.

Fig. 3(a)는 물꼬높이를 2 cm, 4 cm, 6 cm, 8 cm, 및 10 cm로 조절하여 3개년의 평균 관개량과 유효우량을 비교한 것이다. 2001년부터 2003까지의 관개량의 평균치는 물꼬높이 8 cm의 경우에 450.2 mm로 가장 적었으며, 물꼬높이 2 cm가 474.4 mm로 가장 많은 관개량이 공급되었다. 물

꼬높이 2 cm의 관개량은 474.4 mm이고 물꼬높이 10 cm의 관개량은 451.5 mm로 관개량의 차이는 거의 없었다. 이는 물꼬높이 2 cm의 경우에 물꼬높이가 낮아서 유효우량이 많지 않고 관개를 자주 하게 되며, 물꼬높이 10 cm의 경우에는 물꼬높이가 높아서 관개를 한 후에 최저담수심에 도달하기 전에 강우가 발생하여 많은 유효우량을 얻게 되므로 관개량의 차이가 적었다.

유효우량은 물꼬높이 2 cm가 229.6 mm로 가장 적었고, 물꼬높이 10 cm의 유효우량은 392.3 mm로 가장 많았다. 유입량의 측면에서 살펴보면 3개년 평균 유입량이 물꼬높이 2 cm가 704.0 mm로 유입량이 가장 적었고, 물꼬높이 10 cm의 유입량은 843.8 mm로 가장 많았으며, 물꼬높이가 높을수록 유입량은 많아지는 것으로 나타났다.

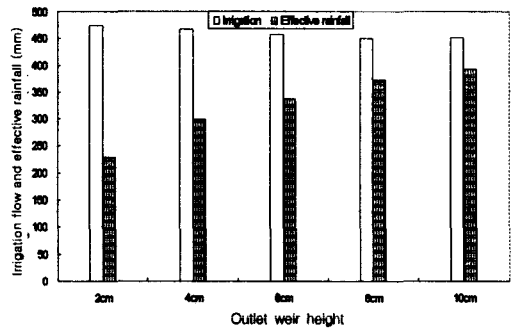
2001년부터 2003년까지 유효우량의 모의결과를 보면 물꼬높이가 높을수록 유효우량이 많아지는 경향이 나타났다. 물꼬높이 2 cm와 10 cm의 관개량의 차이가 거의 나지 않는 것은 물꼬높이 2 cm는 관개횟수가 많고 물꼬높이 10 cm는 관개횟수는 적으나 1회 관개량이 많기 때문에 비슷하게 나타난 것으로 사료된다. 물꼬높이를 2 cm부터 10 cm까지 조절하여 모의한 결과, 관개량은 물꼬높이 8 cm가 관개량이 가장 적은 것으로 나타났으며 유효우량은 물꼬높이가 가장 높은 10 cm일 경우에 가장 많은 것으로 나타났다.

2. 담수심 조절에 따른 관개량과 유효우량

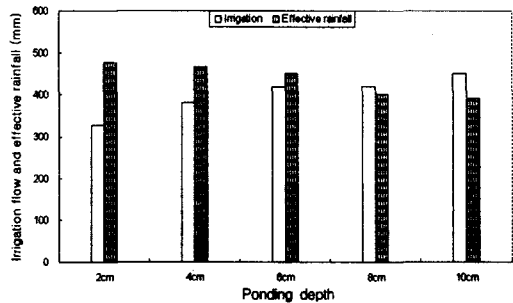
담수심 조절에 따른 관개량과 유효우량의 변화를 알아보기 위하여 배수물꼬의 높이를 10 cm로 고정한 후에 담수심을 각각 2 cm, 4 cm, 6 cm, 8 cm 그리고 10 cm로 모의하였고 담수심이 0이 되었을 때 각 배수물꼬의 높이까지 관개하였다.

Fig. 3(b)는 배수물꼬의 높이를 10 cm로 고정한 후에 담수심을 2 cm, 4 cm, 6 cm, 8 cm, 및 10 cm로 조절하여 3개년간 모의한 결과를 평균

관개량과 유효우량으로 비교한 것이다. 담수심을 2 cm로 하였을 때 관개량이 326.9 mm로 가장 적었고, 담수심을 10 cm로 하였을 때 451.5 mm로 가장 많았으며, 담수심이 높을수록 관개량이 증가하는 경향이 나타났다. 유효우량은 담수심을 2 cm로 하였을 때 477.0 mm로 가장 많았고, 담수심을 10 cm로 하였을 때 392.3 mm로 유효우량이 가장 적었다. 배수물꼬의 높이를 10 cm로 고정한 후에 담수심을 조절하였을 때 유효우량은 담수심이 낮을수록 많아지는 경향이 나타났다. 배수물꼬의 높이가 높고 담수심이 낮으면 강우량을 담수할 수 있는 공간이 많아지므로 배수물꼬의 높이를 최대로 높이고 담수심을 최소로 낮춘다면 관개량은 감소시키고 유효우량은 증대시킬 수 있다는 결과를 도출할 수 있었다.



(a) Variable weir height and ponding depth



(b) Variable ponding depth and 10 cm fixed weir height

Fig. 3 Predicted average amounts of irrigation and effective rainfall during three years.

3. 절수관개기법의 선정

농업용수 중에서 가장 많은 비중을 차지하고 있는 논에서의 물관리에 대하여 관개용수를 절약하기 위한 절수관개기법의 개발은 효율적으로 수자원을 이용하는데 그 목적이 있다. 본 연구에서는 물수지 모형을 이용하여 배수물꼬의 높이와 담수심을 조절하므로써 관개량을 모의하였다.

관개량의 모의는 배수물꼬의 높이를 조절하면서 관개를 하는 경우와 배수물꼬의 높이를 고정하고 담수심을 조절하는 경우로 구분하였다. 관개량의 모의를 위하여 배수물꼬 높이와 담수심은 실험포장에서 적용한 2 cm에서 10 cm의 범위 안에서 2 cm 간격으로 5가지로 세분화하였다.

관개량과 유효우량을 각각 모의한 결과 배수물꼬의 높이를 조절한 경우에는 배수물꼬의 높이가 높을수록 유효우량이 증가하는 것으로 나타났으나 관개량은 2002년도에 배수물꼬 높이 2 cm일 때 가장 적었고 2001년도와 2003년도에는 배수물꼬의 높이가 높을수록 관개량이 감소하는 경향이 나타났다. 이는 배수물꼬의 높이가 낮은 경우에 유효우량을 많이 얻지 못하여 관개횟수가 늘어나기 때문에 결과적으로 많은 관개량이 공급된 것으로 분석되었다.

배수물꼬의 높이를 10 cm로 고정한 후에 담수심을 2 cm부터 10 cm의 범위 안에서 2 cm 간격으로 담수심을 세분화하여 관개량과 유효우량을 모의한 결과, 담수심이 낮을수록 유효우량이 증가하고 관개량은 감소하는 것으로 분석되었다. 배수물꼬의 높이가 높고 담수심이 낮으면 강우 발생시에 많은 유효우량을 얻을 수 있고 관개량은 감소하게 된다.

위와 같은 결과에 의하여 배수물꼬의 높이는 10 cm로 하고 담수심은 2 cm로 유지하는 방법이 관개량을 감소시키고 유효우량을 증가시킬 수 있는 절수관개기법으로 적합하다고 판단된다.

IV. 결 론

본 연구는 논 담수심 관리를 통한 절수관개기법을 개발하기 위하여 대구시 북구 동호동 소재 경북 농업기술원 답작포 실험포장에서 25 m×80 m 크기의 포장을 3구역으로 나누어 극천수관개, 천수관개, 심수관개의 3가지 담수심 처리를 하여 2001년, 2002년, 그리고 2003년 벼의 생육기간동안 논 담수심 관리 방법별 물수지 분석 결과를 이용하여 물수지 모형을 이용하여 관개량을 모의하고 절수관개기법을 모색하였다.

담수심 처리별 장·단점을 요약하면 아래와 같다.

구 분	극천수관개	천수관개	심수관개
용수효율	매우 높음	높 은	낮 음
유효우량	적 음	많 음	보 통
지균작업	정밀 요함	보 통	보 통
담수심관리를 위한 노동력	많 음	보 통	적 음

배수물꼬의 높이를 서로 다르게 고정하여 관개를 하는 경우와 배수물꼬의 높이를 고정하고 담수심을 변화시키는 경우로 구분하여 관개량을 모의발생한 결과, 배수물꼬의 높이는 10 cm로 하고 담수심은 2 cm로 유지하는 방법이 관개량이 가장 적고 유효우량이 가장 많은 절수관개기법으로 적합하였다.

최적관개기법은 논 관개용수를 절약하고 정확한 관개시기와 관개량의 결정으로 인해 가뭄대처 능력의 증대와 농업용수로 낭비되는 물의 양을 최소화함으로써 농업용수 수요량 감소를 통한 경제적 효과를 기대할 수 있다. 따라서 최적관개기법에 관한 연구가 심층있게 진행되어야 하며 물관리의 주체가 되는 농민들에게 보급하여 현장 적용을 통한 실질적인 용수절약과 소득 증대를 꾀하여야 할 것이다.

본 연구의 최적 담수심을 실용화하기 위하여는 레이저 도저를 이용한 지균작업과 자동 관개물꼬의 실용화가 선행되어야 할 것이다. 그러면 담수심 관

리별로 노동력의 추가 투입이 불필요하게 될 것이다.

본 연구는 한 개 지역에서 3년간의 짧은 연구결과이므로 용수절약형 담수심 관리기법을 실용화하기에는 충분한 자료의 축적이 되지 못하였다. 따라서, 본 연구와 비슷한 내용의 연구가 전국적으로 보다 장기간에 걸쳐서 수행될 필요가 있다고 하겠다.

본 연구는 농림부 농림기술개발사업 연구비 지원에 의한 연구결과의 일부임

References

1. Adams, F., 1920, Rice irrigation measurements and experiments in Sacramento Valley, *California Agriculture Exp. Station, Bulletin*, 325, pp.125-183.
2. Biggs, 1917, Rice Field Station in California, The California Cooperative Rice Research Foundation, Inc., *Bulletin*, 279, pp.134-138.
3. Bond, F. and Keeney, G. H., 1902, Irrigation of rice in United States, *U.S. Department of Agriculture. Bulletin*, 113, pp.91-97.
4. Borell, A., Garside, A., and Fukai, S., 1997, Improving efficiency of water for irrigated rice in a semi-arid tropical environment, *Field Crops Research.*, 52, Australia, pp.231-248.
5. Chung, Sang Ok. 1998. A Study on the Return Flow of Irrigation Water in Paddy Fields. *Journal of the KSAE* 40:1-6.
6. Chung, Sang Ok. 2000. Water Balance Analyses of an Irrigated Paddy Field. Asian Regional Workshop on sustainable Development of Irrigation and Drainage for Rice Paddy fields. 276-280. *Japanese National Committee of ICID*. Tokyo, Japan.
7. Chung, Sang Ok, Kim, Ji Yong and Ahn, Tae Hong. 2000. Cropping techniques and cost reduction of direct seeded rice - A case study. *Proceedings of the 2000 Annual Conference*. 114-150. The Korean society of Agricultural Engineers. (in Korean)
8. Heenan, D. P. and Thompson, J. A., 1984, Growth, grain yield and water use of rice grown under restricted water supply in New South Wales. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry*, Vol. 24. pp.104-109.
9. Kang, Yang Soon. 2001. Water saving cultural technique in paddy rice. *Rural and Environmental Engineering Journal*. No. 70:70-76. Korea Agricultural and Rural Infrastructure Corporation. (in Korean)
10. Lee, Chang Koo. 1968. The study on the effects of the economical use of irrigation water by different irrigation periods and its methods on the growth, yield and the other factors of rice plants. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*. 10(1):32-37. (in Korean)
11. Lee, Chang Koo and Kim, Chul Hoe. 1966. The study on the irrigation water control in the cultivation of rice plants. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*. 8(2): 11-16 (in Korean)
12. Rural Development Administration. 1993. A study on automation of irrigation management system for paddy fields. p.73 (in Korean)