

## 담수심 처리가 논외 물수지에 미치는 영향

### Effects of Ponding Depth Treatment on Water Balance in Paddy Fields

손 성 호\* · 정 상 옥\*\*

Son, Seung Ho · Chung, Sang Ok

#### Abstract

The purpose of this study was to investigate the effects of ponding depth treatment on water balance in paddy fields. Three ponding depth treatments, very shallow, shallow, and deep were used. The experimental plots were three 80 m × 8 m rectangular plots. Daily values of rainfall amount, ponding depth, irrigation water, drainage water, evapotranspiration, and infiltration were measured in the field.

The ponding depth was continuously observed by water level logger during the growing season. The ET was measured by 1-m diameter PVC lysimeters. Irrigation water volume was measured by 75 mm pipe flowmeters and the drainage water volume by 75 mm pipe flowmeters and a recording Parshall flume.

The results showed that irrigation water depths were 688.9 mm, 513.6 mm, and 624.4 mm in very shallow, shallow, and deep ponding, respectively. The effective rainfall amounts (effective ratio) were 243.7 mm(48.8%), 344.6 mm(68.9%), and 272.9 mm(54.6%) in very shallow, shallow, and deep ponding, respectively. The three treatments did not show any statistical difference in growth and yields. But the shallow depth treatment showed the largest yield.

*Keywords* : Water balance, Shallow irrigation, Effective rainfall, Ponding depth, Yield

#### I. 서 론

우리나라 수자원정책은 물수요를 줄이는 방법보다는 물공급을 늘리는 방법만 고수해왔다. 정부의

물정책이 공급위주가 아닌 수요관리체계의로의 전환이 필요한 시점이다. 우리나라 용수수요는 연간 321억<sup>3</sup>m<sup>3</sup>으로 그 중 약 50%가 농업용수로 이용된다. 농업용수는 다른 부분의 용수에 비해 이용량이 고르지 못하여 주로 6월부터 9월 중순까지 소요량이 가장 많다. 또한 우리나라의 연강우량 중 많은 부분이 여름에 집중되며 지역적 공간적 불균일한 분포로 인하여 관개가 필요하다. 농업용수에서 가장 많은 비중을 차지하고 있는 논벼의 물관리는 주

\* 경북대학교 대학원

\*\* 경북대학교 농과대학 농업토목공학과

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

fax: +82-53-950-6752

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

로 심수관개가 행해지고 있으며 이는 관개효율을 저하시키고 과도한 농업용수를 필요로 하게 된다.

지금까지 논에서의 관개방법과 용수량에 관련된 연구를 보면 Chung (1998, 2000)은 청도 운문면 일대 약 110 ha에 대하여 물수지 분석을 실시하였는 바, 연간 총 관개량은 3,844 mm, 배수량은 1,299 mm로 나타났다. Kang(2001)은 벼 건답직 파조건에서 규산시용을 하면 56.2%의 절수효과를 얻을 수 있다고 하였으며 고랑에 5일 간격으로 관개하면 수확량은 5% 감소하지만 58%의 절수효과를 얻을 수 있다고 하였다.

Lee and Kim (1966) 및 Lee (1968)는 절수의 시기 및 방법의 차이가 수도생육과 수확량에 미치는 영향에 대하여 연구하였다. 이들은 33 m<sup>2</sup> 크기의 시험구에서 세 가지 담수심 처리를 3반복하여 실험하였다. 담수심처리는 (1) 보통구- 5 내지 8 cm (1966) 또는 3 내지 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 수확량의 변화는 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. Rural Development Administration (1993)은 논 물관리 체계의 자동화 연구에서 담수심을 60 mm 정수위, 60, 40, 20 mm의 변수위 및 60 내지 0mm의 임의수위 등의 세 가지 형태로 관리하였는 바, 동일한 증발산량 조건하에서 변수위 관리가 높은 수확량을 나타내었다고 하였다. Chung et al. (1999)에 의하면 심수관개는 7~10 cm, 천수관개는 1~3 cm 깊이가 적당하며 이양직후 2주 정도와 중간낙수 이후 3주 정도 이외에는 간단관개가 오히려 생육에

좋다고 하였다. 그러나 우리나라에서는 담수심 관리에 대한 심층적인 연구는 수행되지 않았으며 어떠한 방법이 좋은지에 대한 명확한 결과도 제시된 바가 없는 실정이다.

Guerra et al.(1998)은 적은 물을 이용하여 쌀 생산량을 증가시키는 방안을 연구하였다. 그들은 물의 생산성을 분석하기 위해서는 정확한 물수지분석이 우선되어야 한다고 강조하였다.

일본에서는 Hatta (1967) 와 Tabbal et al. (1992)은 논 담수심을 매우 얇게 유지하거나, 토양만 포화시키거나, 습윤과 건조를 교대로 하는 논외 물관리는 전통적인 방법과 비교하여 수확량 감소가 없었으며 관개수량을 40~70% 절감할 수 있었다고 보고하였다. 向井 등 (1999)은 일본의 논 담수심 관리 실태를 조사하였으며, 북부의 아오모리지방은 냉해방지를 위하여 심수관개를 하고 있으며 남쪽으로 내려올수록 천수관개 및 간단관개를 하고 있다고 보고하였다. 또한, 중국 Wuhan 서쪽 200 km에 있는 Hubei의 Zhang He 관개지구에서 IWMI, IRRI, 및 Wuhan 대학이 공동으로 논에서의 물절약 관개의 이점을 조사하기 위한 연구를 수행중에 있으며 (Barker and Molden, 1999), 지금까지의 연구결과에 의하면 천수 간단관개가 용수절약은 물론 생산량의 증가에도 기여한다고 하였다.

본 연구는 담수처리에 따른 물수지의 변화와 생육 및 수확량을 살펴봄으로써 논에서의 관개용수공급량을 줄일 수 있는 논관개기법을 개발하여 농업용수의 절약과 쌀 생산량의 증가를 도모하고 나아가 한정된 수자원을 효율적으로 이용하기 위한 기초자료를 조사하는데 있다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 실험포장 및 관측

본 시험은 대구시 북구 동호동 소재 경북농업기술원 답작포 실험포장에서 실시하였다. 25 m×80

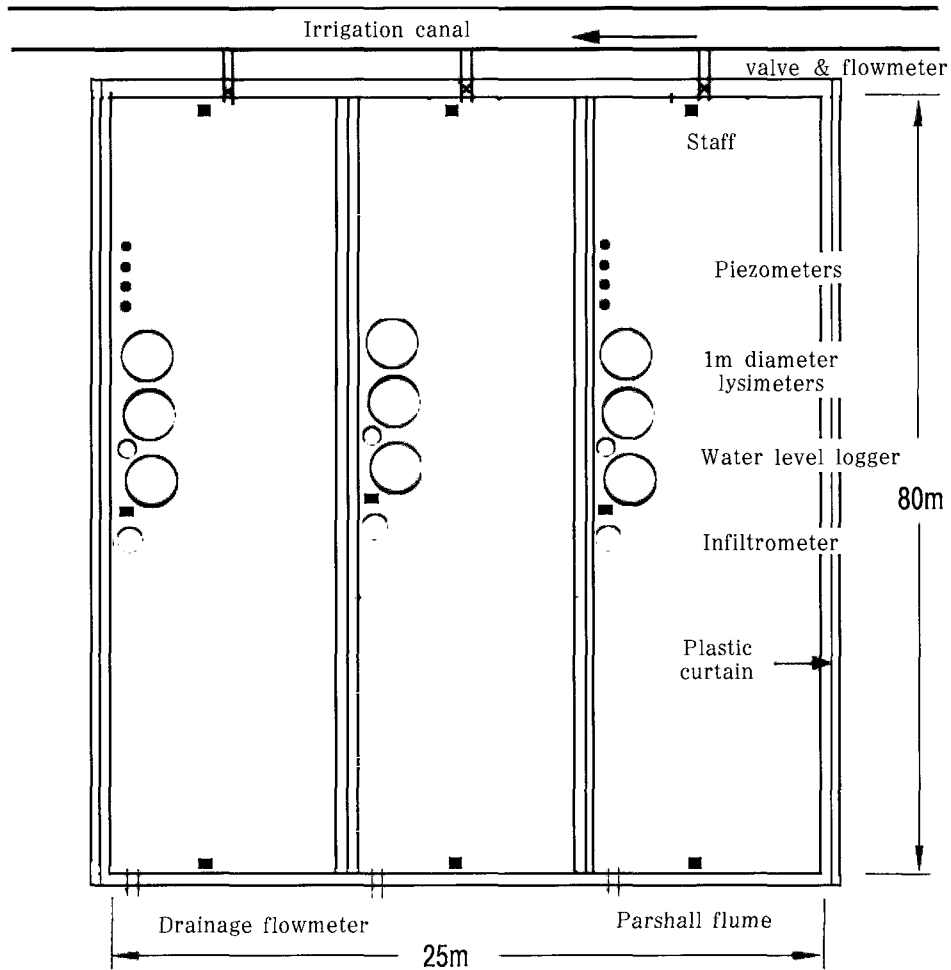


Fig. 1 Schematic of the experimental plot

m 크기의 포장을 3구간으로 나누어 극히 천수간단 관개, 천수간단관개, 심수관개의 3가지 담수심 처리를 하였으며 관개량, 배수량, 증발산량, 침투량, 강우량 등을 측정하였다. 물꼬높이는 처리구 별로 2cm, 4cm, 10cm로 설치하였다. 또한, 논과 논사이의 횡침투를 방지하기 위하여 논둑내에 비닐차단막을 설치하였다. 시험지구의 논에서 채취한 토양 시료를 국제토양학회분류를 이용하여 분석한 결과, 근근역 토성은 점토질 롬으로 판명되었다. 실험구의 배치와 주요관측시설의 현황은 Fig. 1과 같다.

관개량은 시험구마다 저저용수로에 75 mm 수도용 유량계를 설치하여 관측하였다. 배수구에는 75 mm 유량계 및 파살플롬을 설치하여 배수량을 관측하였다. 또한 각 시험구마다 직경과 깊이가 각각 1m인 라이시미터를 설치하여 증발산량을 관측하였으며, 직경 110 mm PVC 파이프 침투계를 각 구획에 설치하여 일별 관측을 실시하였으며, 일련의 피에조미터를 매설하여 관측하였다. 또한 WL14 level logger를 이용하여 관개기간동안 1시간 간격으로 담수심을 관측하여 담수심 추적을 이용한 유

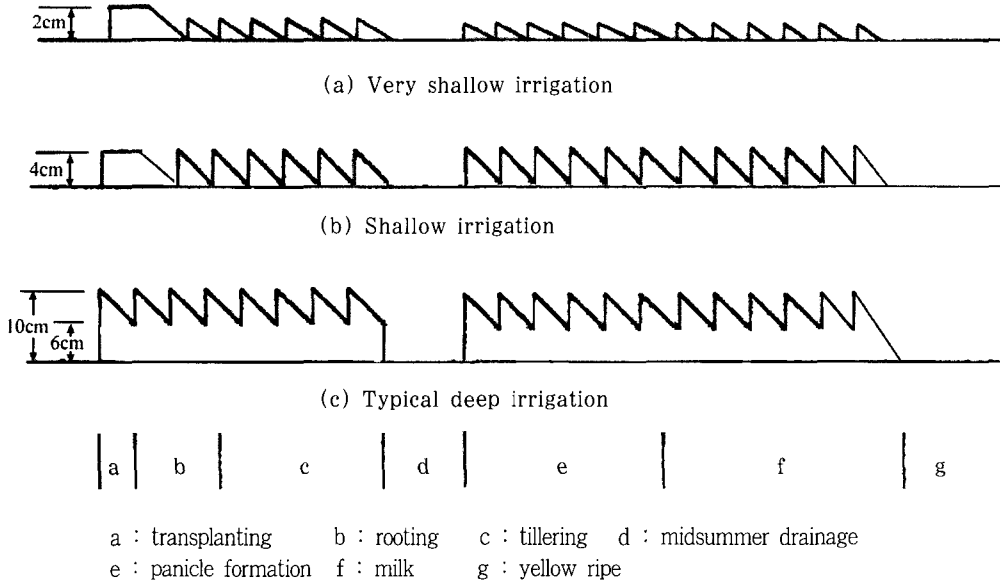


Fig. 2 Ponding depth treatments in paddy fields

효우량을 산정하는데 이용하였고, 목측용 staff를 매설하여 담수심 관리용으로 사용하였다. 이들 관측자료를 이용하여 물수지를 분석하였다. 논지대의 물수지식은 다음과 같다.

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

여기서,  $R$  : 강우량,  $Q_1$  : 관개량,  $ET$  : 증발산량,  
 $DP$  : 침투량,  $Q_2$  : 배수량,  
 $\Delta S$  : 저류량의 변화량

본 실험에서는 유효우량을 산정할 때 무효우량은 모두 배수되는 것으로 하였고 관개량은 배수되지 않게 관리하였으므로 (1)의 물수지식은 식(2)와 같게 된다.

$$(R_{eff} + Q_1) - (ET + DP) = \Delta S \dots\dots\dots(2)$$

여기서,  $R_{eff}$  : 유효우량

실험구에 적용된 담수심 처리는 Fig. 2와 같이 극히 천수, 천수, 및 심수이었다. 극히 천수간단관

개와 천수간단관개는 관개한 후에 담수된 물이 소비되어 비담수 상태가 되면 다음 관개를 하였고, 심수관개는 10 cm로 관개한 후에 담수심이 6 cm 정도로 감소하면 다음 관개를 하였다.

## 2. 벼 생육 및 수확량조사

양질 다수품종인 화영벼를 4월 28일에 파종하여 30일간 육묘한 후 재식거리  $30 \times 14$  cm로 5월 28일에 기계 이앙하였고, 10a당 시비량은 N 11 kg,  $P_2O_5$  4.5 kg,  $K_2O$  5.7 kg을 농촌진흥청 표준 시비방법으로 시비하였으며, 세 가지 담수심 관리 시험구에 대하여 벼 생육시기별로 이앙후 20일, 최고분얼기 및 출수기에 초장, 주당 경수, 건물중을 관측하였으며, 출수 후 10일에 간장, 수장, 수수를 각 시험구에서 임의로 20주를 선정하여 3반복 조사하였다. 수량구성요소 및 수량조사는 농촌진흥청 조사기준에 의거 100주를 3반복 수확한 후 10a당 수량으로 환산하였다.

Table 1 Water balance for different ponding depth treatments

(unit : mm)

Treatment	month	10 days	Irrigation	Drainage	Rainfall	Effective rainfall	ET	Infiltration	Change of storage
Very shallow irrigation	6	F	156.1	0.0	0.5	0.5	75.0	35.0	46.6
		M	37.0	105.0	126.2	20.6	39.0	30.0	-11.4
		L	62.2	108.2	150.6	41.8	39.2	28.2	37.2
	7	F	49.5	0.0	16.1	16.1	56.3	28.0	-18.6
		M	-	-	-	-	-	-	-
		L	166.0	0.0	21.9	21.9	64.0	61.2	62.7
	8	F	43.0	12.7	75.3	62.6	39.0	39.2	27.4
		M	80.5	0.0	8.4	8.4	36.3	37.3	15.3
		L	64.5	0.0	10.7	10.7	43.8	48.7	-17.3
	9	F	30.1	29.0	54.1	25.1	43.7	21.8	-10.3
		M	0.0	0.0	36.0	36.0	28.7	14.0	-6.7
	Total			688.9	255.5	499.8	243.7	465.0	343.4
Shallow irrigation	6	F	175.8	0.0	0.5	0.5	76.3	40.0	59.9
		M	24.0	93.2	126.2	33.0	32.0	25.9	-0.9
		L	22.0	59.5	150.6	91.1	39.8	24.4	48.9
	7	F	37.0	0.0	16.1	16.1	59.3	25.0	-31.1
		M	-	-	-	-	-	-	-
		L	127.8	0.0	21.9	21.9	56.0	50.3	43.4
	8	F	14.7	2.3	75.3	73.0	39.0	42.3	6.4
		M	42.3	0.0	8.4	8.4	46.0	31.4	-26.7
		L	42.1	0.0	10.7	10.7	56.8	37.9	-41.9
	9	F	7.6	0.2	54.1	53.9	48.3	30.0	-16.7
		M	20.3	0.0	36.0	36.0	30.6	17.6	9.1
	Total			513.6	155.2	499.8	344.6	484.1	324.8
Deep irrigation	6	F	174.6	0.0	0.5	0.5	59.3	45.4	70.3
		M	29.7	81.8	126.2	44.4	37.8	39.1	-2.8
		L	23.7	110.0	150.6	40.6	28.8	20.3	15.1
	7	F	31.7	0.0	16.1	16.1	44.6	23.5	-20.3
		M	-	-	-	-	-	-	-
		L	197.5	0.0	21.9	31.9	58.1	59.4	104.9
	8	F	16.6	29.3	75.3	46.0	39.0	27.6	-4.0
		M	47.6	0.0	8.4	8.4	38.0	40.0	-22.0
		L	76.3	0.0	10.7	10.7	40.6	39.4	8.0
	9	F	26.8	5.8	54.1	48.3	40.8	27.2	7.1
		M	0.0	0.0	36.0	36.0	28.1	23.6	-15.7
	Total			624.4	221.1	499.8	272.9	415.1	345.7

Note: Transplanted on May 28th, transplanting water excluded.

- : Midsummer drainage

### Ⅲ. 결과 및 고찰

#### 1. 물수지

담수심 처리구별 물수지 분석결과는 Table 1과 같다. 이양용수량은 극히 천수간단관개, 천수간단관개 및 심수관개 처리구 별로 각각 222.2 mm, 249.7 mm, 235.1 mm이다. 이양용수량이 서로 다른 것은 사전에 계획량을 정하여 물공급을 한 것이 아니고, 씨레질 과정에서 필요한대로 임의로 물공급하므로써 자연히 발생한 차이라고 판단된다. 시기별 용수량 비율을 살펴보면 이양후 6월 상순경에 가장 많은 용수가 이용되고 7월 중순이후 중간낙수가 끝나는 시점부터 용수량이 증가하는 것을 알 수가 있다. 실제로 어린 이삭이 생길때부터 이삭이 나오는 시기까지 약 15일간은 벼 생육기간 중에 물이 가장 많이 필요로 하는 시기이다. 중간낙수 직후의 관개는 담수용량과 더불어 논 토양을 포화시키는 데 많은 용수가 필요하다.

7월 10일에서 7월 19일까지 중간낙수를 실시하였다. 세 가지 담수심처리 중 관개량을 살펴보면 극히 천수간단관개가 688.9 mm로 가장 많은 용수량이 공급되었고, 심수관개와 천수간단관개가 각각 513.6 mm와 624.4 mm로 천수간단관개가 가장 적은 용수가 공급되었다.

Table 2는 담수심 처리별 관개량을 비교한 것으로 1회 평균 관개량은 큰 차이를 보이지 않으나 관

개회수와 총 관개량은 극히 천수간단관개가 제일 많았고 다음으로는 심수관개가 많았다. 이는 Table 1에서 보는 바와 같이 유효수량의 차이에 주로 기인한 것으로 판단된다.

유효수량의 산정은 일별담수심을 측정하여 강우 발생시 증가한 담수심을 유효수량으로 하고 나머지는 배수된다고 보았다. 관개기간중 총 강수량은 499.8 mm이었으며, 유효수량과 유효율은 천수간단관개가 344.6 mm 및 68.9%로 가장 높았고, 극히 천수간단관개와 심수관개가 각각 243.7 mm 및 48.8%와 272.9 mm 및 54.6%이었다. 극히 천수간단관개의 경우에는 물꼬높이가 낮고 관개를 한 후에 강우가 발생한 경우가 많아서 유효율이 가장 낮게 나타났으며, 천수간단관개는 관개가 필요한 때에 강우가 발생하여 유효수량이 증가하므로써 관개량이 감소되었다.

총 증발산량과 8월중 하순의 증발산량은 천수간단관개가 가장 높게 나타났으며, 세 가지 담수심 처리구 중 벼의 생육이 가장 활발하였다. 극히 천

Table 2 Comparison of irrigation

Ponding depth	Irrigation depth (mm)	Number of irrigation	Ave. depth per irrigation (mm)
2 cm	688.9	41	16.8
4 cm	513.6	29	17.7
10 cm	624.4	32	19.5

Table 3 Comparison of growth with ponding depths

Ponding depth	Plant height (cm)			Number of stem per plant			Dry weight (g/plant)			Yield (kg/10a)
	20 DAT*	Max tillering stage	Heading stage	20 DAT	Max tillering stage	Heading stage	20 DAT	Max tillering stage	Heading stage	
2 cm	22.8	70.4	101.3	7.0	21.1	15.8	0.54	12.9	27.3	556
4 cm	22.8	72.1	104.5	6.9	22.1	16.7	0.55	15.2	28.0	576
10 cm	21.6	73.3	104.2	6.6	22.4	16.5	0.54	15.7	27.1	563

\* Days after transplanting

수간단관개의 증발산량이 심수관개보다 크게 나타났으나, 6월의 증발산량중 많은 부분이 증발량으로 이루어져 있었기 때문에 담수심이 낮은 극히 천수간단관개의 증발량이 담수심이 깊은 심수관개보다 크게 나타난 것으로 판단되며, 따라서 수확량은 극히 천수간단관개보다 심수관개가 더 큰 값을 나타내었다(Table 3).

침투량 관측결과는 신뢰성이 없어서 WL14로 관측한 일별 담수심의 변화량에서 ET량을 뺀 값을 이용하였다. 담수심 처리별로 침투량의 크기에는 큰 차이가 없었다.

## 2. 벼 생육 및 수확량

Table 3은 담수심별 생육자료를 비교한 것이다. 담수심별 벼 생육은 이앙 후 20일은 3가지 담수심 처리가 모두 비슷하였고, 최고 분얼기, 출수기에서는 담수심 2 cm 가 경수, 건물중이 낮았으나 통계적 유의성은 없었으며, 출수기는 담수심 2 cm 가 8월 14일로 다른 담수심에 비해 1일 빨랐고, 간장, 수장, 수량구성요소 및 수량은 담수심 2 cm가 약간 적었으나, 통계적 유의성은 없었다. 수확량은 극히 천수, 천수, 심수 때에 각각 556, 576, 및 563 kg/10a로 천수관개가 가장 많은 수확량을 나타내었으나 통계적인 유의성은 없었다.

## IV. 결 론

담수심 처리가 논외 물수지에 미치는 영향과 벼 생육 및 수확량을 조사하여 물절약 및 관리의 효율성을 높이기 위해 수행한 본 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 이앙용수량은 극히 천수간단관개, 천수간단관개 및 심수관개 처리구 별로 222.2mm, 249.7mm, 235.1mm이었고, 이앙 후의 총관개량은 각각 688.9mm, 513.6mm, 624.4mm로 나타났고 천수간단관개의 용수공급량이 가장 적었다.

2. 유효수량은 극히 천수간단관개, 천수간단관개, 심수관개가 각각 243.7 mm (48.8%), 344.6 mm (68.9%), 272.9 mm (54.6%)로 천수간단관개시의 유효율이 가장 높게 나타났다.

3. 증발산량은 천수간단관개가 484.1 mm로 가장 높게 나타났으며, 극히 천수간단관개와 심수관개는 각각 465.0 mm, 415.1 mm로 세 가지 담수심 처리구 중 천수간단관개가 벼의 생육이 가장 활발하였다.

4. 담수심별 벼 수확량에는 큰 차이가 없었다. 10a당 수량은 담수심 2 cm, 4 cm, 및 10 cm에서 556 kg, 576 kg, 및 563 kg으로 나타났으며 4 cm 담수심의 경우 가장 많은 수확량을 나타내었다.

본 연구결과에 의하면 천수간단관개가 전통적인 심수관개에 비하여 관개수량이 절감되었으며, 용수 절약형 논관개기법으로는 천수간단관개가 가장 적합한 것으로 나타났다. 또한 작물재배 시기에 따라서 물꼬높이를 높여서 유효수량을 높이면 더 많은 용수를 절약할 수 있을 것이다.

본 연구는 농림부 농림기술개발사업 연구비 지원에 의한 연구결과물의 일부임

## References

1. Ahn, Se Young. 1989. Studies on water balance and repeated use of irrigation water for paddy fields. Ph.D. Diss. Gyeongsang National University. (in Korean)
2. Barker, R. and D. Molden. 1999. Water saving irrigation for paddy rice : Perceptions and Misperceptions. *Paper presented at the Symposium on water saving irrigation for paddy rice.* 1-17. Guilin, China, 10-13 October, 1999.
3. Chung, Ha Woo. et al. 1999. Irrigation and Drainage Engineering. Dongmyungsa.

4. Chung, Sang Ok. 1998. A Study on the Return Flow of Irrigation Water in Paddy Fields. *Journal of the KSAE* 40:1-6.
5. 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.
6. Chung, Sang Ok, Ji-Yong Kim and Tae-Hong Ahn. 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)
7. Guerra, L. C., S. I. Bhuiyan, T. P. Tuong, and R. Barker. 1998. Producing more rice with less water from irrigated systems. *SWIM Paper 5, International Water Management Institute*. Colombo, SriLanka. 24P.
8. Hatta, S. 1967. Water consumption in paddy field and water saving rice culture in the tropical zone. *Japanese Tropical Agriculture* 11(3):106-112.
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 Chul Hoe Kim. 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. 73pp. (in Korean)
13. Tabbal, D. F. et al. 1992. Water-efficient irrigation technique for rice. In Soil and water engineering for paddy field management, Proceedings of the International workshop. 146-159. January 1992. Asian Institute of Technology. Bangkok, Thailand.
14. 向井章恵, 등 1999. 稲作ごよみに見る水田圃場水管理-水田稲作の展開と水田圃場水管理(1). 農業土木學會大會 講演要旨集 246-247. 日本農業土木學會.