

최 종  
연구보고서

용수절약형 논 관개기법 개발

Development of water saving irrigation method  
in paddy fields

연 구 기 관  
경 북 대 학 교

농림부

# 제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “용수절약형 논 관개기법 개발” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2003년 12월 일

주관연구기관명 : 경북대학교

총괄연구책임자 : 정 상 옥

협동연구기관명 : 경북농업기술원

협동연구책임자 : 이 승 필

# 요 약 문

## I. 제 목 : 용수절약형 논 관개기법 개발

## II. 연구개발의 목적 및 필요성

### 가. 연구의 목적

우리나라 용수수요는 연간 321억 $m^3$ 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 적정한 작물생육을 위하여는 관개가 필수적이다. 농업용수 중에서 가장 큰 비중을 차지하고 있는 논은 물관리는 전통적으로 심수관개가 행해지고 있으며 이는 관개효율을 저하시키고 과도한 농업용수를 필요로 하게 된다.

따라서 농업용수의 효율적인 이용을 위하여 논에서의 관개용수 공급량을 줄여서 벼농사를 지을 수 있는 용수절약형 논 관개기법의 개발은 매우 중요하며 수자원의 효율적인 이용을 위하여 반드시 용수절약형 관개기술을 개발하여 실용화하여야 할 것이다.

본 연구는 담수심 처리에 따른 물수지의 변화와 생육 및 수확량을 살펴봄으로써 논에서의 용수량을 줄일 수 있는 관개기법을 개발하여 농업용수를 절약하고 한정된 수자원을 효율적으로 이용하기 위한 기초자료를 제공하는데 있다.

### 나. 연구개발의 필요성

#### 1) 기술적 측면

벼는 아열대성 작물로 주로 동남아시아 지역에서 재배되고 있으며 미국과 호주 등지에서는 주로 수출용으로 재배되고 있다. 동아시아의 벼재배는 주로 이앙재배 방식을 채택하고 있으며, 미국과 호주에서는 대규모 논에 항공기 담수직파재배 및 상시 담수방식을 채택하고 있다.

논에서의 최적 물관리는 농업용수의 절약과 쌀 생산량의 증가를 위하여 매우 중요하다.

따라서 논에서의 담수심의 변화가 이앙재배 벼의 생육과 수확량에 미치는 영향을 조사하여 용수를 절약할 수 있는 관개방식을 개발하는 것이 매우 필요하다고 하겠다.

## 2) 경제·산업적 측면

인구의 증가와 산업의 발달로 용수수요는 해마다 증가하여 상대적으로 생산성이 낮은 농업용수를 다른 용수로 전용하게 될 것은 불을 보듯 뻔한 사실이다. 따라서 관개효율이 높은 관개기법을 개발하여 실용화 하게되면 많은 양의 농업용수 절약이 가능하게되며 이를 다른 산업에 유용하게 사용할 수 있으며 수자원의 효율적인 이용에도 크게 기여하게 될 것이다.

## 3) 사회·문화적 측면

효율적인 논 관개방법이 개발되어 논 관개용수 수요량을 크게 줄일 수 있다면 사회적으로 물로 인한 문제나 분쟁을 크게 감소시킬 수 있다. 또한 절약된 농업용수를 환경적 및 심미적으로 이용할 수 있으며, 수변 공간의 확보를 통하여 사회·문화적 측면의 물의 이용도 가능하게 되어 인간의 정서함양과 휴식공간의 제공에도 크게 기여할 수 있을 것이다.

## III. 연구개발 내용 및 범위

본 연구의 최종 목표는 농업용수를 절약할 수 있고 생산량을 높일 수 있는 논 관개기법을 개발하는 데 있다. 이를 위한 몇 개의 세부과제의 내용과 범위는 다음과 같다.

### 1) 논 담수심 관리실태 조사 분석

가) 국내외 관련 문헌조사

나) 경기, 충청, 호남, 경북, 경남 지방에 관측 답을 선정하여 일별로 담수심 관측

### 2) 논 담수심 관리 방법별 물수지 및 관개수량의 변화 분석

가) 경상북도 농업기술원 시험포장에 극천수관개, 천수관개, 심수관개 포장 및 관측장치 설치

나) 물수지 분석 항목인 강우량, 관개량, 배수량, 증발산량, 침투량 및 담수심을 시험포장에서 일별로 관측

다) 담수심 처리별로 물수지 분석

- 3) 논 담수심 관리 방법별 벼 생육 및 수확량 변화분석
  - 담수심 처리별로 생육단계별 벼 생육상태 및 수확량 조사
- 4) 논 담수심 관리 방법이 벼 도복 및 잡초발생에 미치는 영향
  - 가) 담수심 처리별로 벼의 도복저항성 조사
  - 나) 담수심 처리별로 단위면적당 잡초 종류 및 개체수 조사
- 5) 용수절약형 논 관개기법 개발
  - 가) 담수심 처리별 분석결과로부터 최적관개기법 선정
  - 나) 모형을 이용한 모의발생으로부터 절수관개기법 선정
  - 다) 개발된 기법의 실용화 방안 개발

#### IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

##### 가. 연구개발 결과

- 1) 지역별 담수심 관리실태는 8cm 내지 10cm이었으며, 관행적인 심수관개를 하므로써 유효우량을 적절하게 이용하지 못하였다.
- 2) 실험포장에서 담수심 관리에 따른 관개량을 조사분석한 결과 2001년도에는 천수관개의 관개량이 513.6mm로 심수관개에 비하여 17.7%의 물을 절약할 수 있었고, 2002년도에는 극천수관개의 관개량이 381.1mm로 심수관개에 비하여 약 25.7% 절약할 수 있었다. 2003년도에는 천수관개의 관개량이 226.6mm로 심수관개에 비하여 46.6%의 물을 절약할 수 있었다.
- 3) 유효우량은 2001년도에 천수관개가 299.1mm, 2002년도에는 심수관개가 239.6mm, 그리고 2003년도에는 천수관개의 유효우량이 460.4mm로 가장 높게 나타났으며, 2002년도에는 2001년도에 비해서 강우량이 많았으나 연속강우로 인해서 대부분의 강우가 유효우량이 되지 못하고 배수되었다.
- 4) 벼의 생육은 담수심 처리에 따른 차이가 거의 없었으며, 수확량은 2001년도는 극천수

관개, 천수관개, 그리고 심수관개가 10a 당 각각 556kg, 576kg, 및 563kg으로 나타났고, 2002년도는 각각 519kg, 525kg, 및 524kg 이었으며 2003년도는 각각 464kg, 471kg, 및 484kg으로 나타났다.

- 5) 배수물꼬의 높이를 조절하면서 관개를 하는 경우와 배수물꼬의 높이를 고정하고 담수심을 조절하는 경우로 구분하여 관개량을 모의한 결과, 배수물꼬의 높이는 10cm로 하고 담수심은 2cm로 유지하는 방법이 관개량이 가장 적고 유효우량을 가장 크게 할 수 있는 절수관개기법으로 적합하였다. 그러나 레이저 불도저가 도입될 때까지는 지균작업의 어려움을 고려하여 담수심을 4cm로 하는 것도 바람직하다고 하겠다.

#### 나. 기대효과 및 활용에 대한 건의

- 1) 최적관개기법을 적용함으로써 논 관개용수를 절약하고 정확한 관개시기와 관개량의 결정으로 인해 가뭄대처 능력의 증대가 기대된다.
- 2) 적정관개량의 공급은 불필요한 배수를 배제하므로 논외 배수량 감소로 인한 하류 수질 개선을 시킬 수 있다.
- 3) 적정량의 용수공급으로서 낭비되는 물의 양을 최소화함으로써 농업용수 수요량 감소를 통한 경제적 효과를 기대할 수 있다.
- 4) 농업용수 절약분을 공업용수로 이용할 수 있어 산업발전에 기여할 수 있다.
- 5) 최적인관개기법을 농업기반공사와 시군에서 농업용수관리의 기술지침으로 활용하는 한편, 물관리의 주체가 되는 농민들에게 보급하여 현장 적용을 통한 실질적인 용수절약과 소득 증대를 꾀하여야 할 것이다.

## SUMMARY

I . TITLE : Development of water saving irrigation method in paddy fields

II. Obejectives and necessity

### 1. Obejectives

In Korea, total annual water demand is 32.1 billion m<sup>3</sup>, of which about 50% is for agriculture. The temporal variation of water demand for agriculture is larger than those for other sectors. Irrigation is essential for agriculture to combat with spatial and temporal variation of the rainfall. A water management in paddy fields is traditionally practiced deep ponding, as a result, the irrigation efficiency is low and irrigation amount is high. Therefore, development of water saving irrigation method is important for efficient rural water management, which will save irrigation water and improve efficiency of agriculture water use.

In this study, irrigation amounts were compared among different ponding depth treatments to develop a water saving irrigation method, which will save irrigation water demand. The results of this study will be applied in the paddy farming and can improve water use efficiency.

### 2. Necessity

#### 1) Technical aspect

The rice is a sub-tropical plant which is mainly cultivated in the Southeast Asia. It is cultivated in the America and Australia mainly for export. The transplanting is practiced in the Southeast Asia, but the direct seeding is adopted in the America and Australia.

The optimum water management in paddy fields is very important for saving rural water and increasing rice yield. Therefore, it is necessary to develop a water saving irrigation method by investigating the effects of ponding depth on water

saving and yield increasing.

## **2) Economic and industrial aspect**

Because of population increase and industrial development in the future, it is inevitable to transfer agricultural water to urban water demand. If a water saving irrigation method is developed and applied to the field, it will save water and the saved water can be used for the urban sector.

## **3) Social and cultural aspect**

The development of efficient irrigation water management can reduce water problems. Also, the saved irrigation water can be used for environmental and aesthetic purposes. Water use for social and cultural aspect will be possible through securing the water front spaces, which will contribute to emotional development and provide rest areas.

### **III. Contents and scopes of the study**

The final objective of this study is the development of water saving irrigation method in order to save rural water and to increase rice yield. The contents and scopes of several area of this study are as follows :

- 1) Survey ponding depth management practices by regions
  - a) Literature search.
  - b) Collect daily ponding depth at plots in Kyunggi-Do, Chungpook-Do, Jeonpook-Do, Kyungpook-Do and Kyungnam-Do.
- 2) Analyses of water balance and irrigation amount for different ponding depth treatment
  - a) Instrumentation and measurement of water budget components at the



- experimental plots in the Kyungpook Agricultural Experiment Station located in Taegu, Korea.
- b) Field measurement of daily values of water balance components such as irrigation, drainage, evapotranspiration and infiltration.
  - c) Analyses of water balance with respect to the ponding depth.
- 3) Analyses of rice growth and yield for different ponding depth treatment
- Observation of rice growth by growing stage and yield for different ponding depth treatment in the field.
- 4) Effects of ponding depth treatment on lodging resistance and weeds growth.
- a) Measurement of lodging resistance.
  - b) Investigation of weeds occurrence and species.
- 5) Development of water saving irrigation method in paddy fields.
- a) Selection of the best irrigation method from the analyses.
  - b) Selection of the best irrigation method from the model simulation.
  - c) Development of a plan for field application of the developed water saving irrigation method.

#### **IV. Results and recommended applications**

##### **1. Results**

- 1) Traditionally, deep ponded depth of 8cm to 10cm has been employed in the field in general. This method has low effective rainfall ratio.
- 2) The irrigation amounts measured at the experimental plots showed that the shallow and the very shallow ponded plots required smaller amount than the

deep ponded plot. The shallow ponded plot saved irrigation water about 17.7% compared with the traditional deep ponded plot in 2001. The very shallow ponded plot saved irrigation water about 25.7% compared with the traditional deep ponded plot in 2002, The shallow ponded plot saved irrigation water about 46.6% compared with the deep ponded plot in 2003.

- 3) The effective rainfall amounts were 243.7mm, 299.1mm and 272.9mm in 2001, 118.1mm, 166.2mm and 239.6mm in 2002, and 299.9mm, 460.4mm and 376.9mm in 2003, for very shallow, shallow and deep ponded plots, respectively.
- 4) The rice growth did not show significant difference among ponding depth treatments. The yields were 556kg, 576kg and 563kg per 10a in 2001, and 519kg, 525kg and 524kg in 2002, and 464kg, 471kg and 484kg in 2003, for shallow, medium and deep ponded plots, respectively
- 5) Model simulations were performed for different outlet heights and ponding depths. Based on the simulation very shallow ponding depth of 2cm with 10cm outlet height showed the largest effective rainfall ratio and the smallest irrigation amount. Until the introduction of laser leveling dozer, it would be desirable to adopt 4cm ponding depth because of difficulty of land leveling.

## **2. Applications and recommendations**

- 1) Application of the optimum irrigation method will save agricultural water usage. The accurate determination of irrigation amount and timing will increase the capability to cope with the drought.
- 2) A proper irrigation can reduce drainage, which will improve downstream

water quality.

- 3) A proper irrigation can reduce irrigation water demand, that will provide economic benefits through the reduction of the rural water demand.
- 4) The saved rural water will be transferred to domestic and industrial water, which will contribute to the development of industry.
- 5) Use the research findings as a technical guide for agricultural water management by the Korea Agricultural & Rural Infrastructure Corporation, cities and counties. Also, the findings should be transferred to farmers for field application in order to reduce agricultural water demand.

# CONTENTS

Chapter 1. General .....	15
Section 1. Introduction .....	15
Section 2. Backgrounds .....	16
Section 3. Necessity of research .....	17
Section 4. Objectives and contents of research .....	18
Section 5. Expected effects .....	24
1. Technical aspects .....	24
2. Economical aspects .....	24
3. Areas of practical application .....	25
Section 6. Research personnel .....	26
Section 7. Time schedule of the research .....	28
Section 8. Summary .....	29
 Chapter 2. Investigation of rice cultivation methods and ponding depth management .....	 30
Section 1. Introduction .....	30
Section 2. Rice cultivation methods and crop water requirement .....	32
1. Variation of rice cultivation methods .....	32
2. Crop water requirement .....	33
3. Water management with respect to cultivation method .....	34
Section 3. Ponding depth management practices .....	37
Section 4. Summary and conclusions .....	48
 Chapter 3. Analyses of water balance for ponding depth treatment .....	 49
Section 1. Introduction .....	49
Section 2. Water balance analyses in study area .....	53

1. Experimental plots .....	53
2. Ponding depth treatment .....	57
3. Field measurement .....	73
4. Results of measurement .....	67
Section 3. Water balance analysis by using simulation model .....	96
1. Model description .....	96
2. Input and output .....	98
3. Verification and application of the model .....	101
4. Optimum ponding depth treatment .....	119
Section 4. Summary and conclusions .....	126
 Chapter 4. Effects of ponding depth management on rice growth and yields .....	 128
Section 1. Introduction .....	128
Section 2. Literature review .....	129
Section 3. Research methodology .....	132
Section 4. Contents and results of the study .....	133
1. Weather .....	133
2. Effects of ponding depth on rice growth and yield .....	134
3. Effects of ponding depth on lodging resistance .....	136
4. Effects of ponding depth on weed and disease .....	139
5. Effects of ponding depth on quality of rice grain .....	140
Section 5. Summary and conclusions .....	143
 Chapter 5. Overall conclusions .....	 145
 References .....	 148

## 목 차

제1장 총론 .....	15
제1절 서론 .....	15
제2절 연구의 배경 .....	16
제3절 연구의 필요성 .....	17
제4절 연구개발의 목표 및 내용 .....	18
제5절 기대효과 .....	24
1. 기술적 측면 .....	24
2. 경제적 측면 .....	24
3. 활용분야 .....	25
제6절 연구진 .....	26
제7절 연구 추진 일정 .....	28
제8절 요약 .....	29
제2장 벼 재배방식과 논 담수심관리 실태 조사 .....	30
제1절 개요 .....	30
제2절 벼 재배방식과 작물의 필요수량 .....	32
1. 벼 재배방식의 변화 .....	32
2. 벼의 필요수량 .....	33
3. 재배방식별 물관리 .....	34
제3절 논 담수심관리 실태 .....	37
제4절 요약 및 결론 .....	48
제3장 논 담수심처리에 따른 물수지 분석 .....	49
제1절 서론 .....	49
제2절 시험지구에서의 물수지 .....	53
1. 시험포장 .....	53
2. 담수심 처리 .....	57
3. 포장관측 .....	73

4. 관측결과 .....	67
제3절 모형을 이용한 관개량 모의발생 .....	96
1. 모형의 개요 .....	96
2. 입·출력 자료 .....	98
3. 모형의 검증 및 적용 .....	101
4. 최적담수심 처리 .....	119
제4절 요약 및 결론 .....	126
제4장 담수심 관리 방법별 벼 생육 및 수확량 조사 .....	128
제1절 서론 .....	128
제2절 연구사 .....	129
제3절 연구방법 .....	132
제4절 연구내용 및 결과 .....	133
1. 기상 .....	133
2. 생육 및 수량 .....	134
3. 담수심이 도복형질과 지하부 생육에 미치는 영향 .....	136
4. 담수심이 잡초 및 병충해 발생에 미치는 영향 .....	139
5. 담수심이 미질에 미치는 영향 .....	140
제5절 요약 및 결론 .....	143
제5장 종합결론 .....	145
참고문헌 .....	148

# 제1장 총론

## 제1절 서론

본 “용수절약형 논 관개기법 개발” 연구 과제는 농림부의 “현장애로기술개발사업” 중의 자원환경분야 연구과제로, 2000년 12월 22일부터 2003년 12월 21일까지 경북대학교와의 연구용역계약이 체결되어 주관연구기관인 경북대학교 및 협동연구기관인 경북농업기술원의 2개 기관의 연구진에 의해서 수행되었다.

작물의 최적생육과 효율적인 물관리는 지역별, 기후별, 경지규모별, 물관리 방식별, 품종별 등 여러 가지 요인에 따라서 달라진다. 미국이나 호주 등의 대규모 논에서는 수확작업 이외에는 주로 항공기에 의하여 영농작업을 하며 관개용수 관리도 전혀 우리 실정과는 같지 않다. 또한, 일본이나 중국에서의 물관리 기술도 잘 개발되어 있지 않다. 따라서 외국기술의 도입이 부적당하여 마땅한 기술도 없는 실정이다.

따라서 본 연구는 논에 담수심을 극천수관개, 천수관개, 심수관개의 세가지 관리방법으로 나누어 각각의 관개량, 배수량, 증발산량, 침투량, 유효수량을 관측하므로써 담수심처리별 물수지 분석을 실시하여 효율적인 담수심 관리를 통한 절수관개 방식을 도출하고 최적용수 공급량 산출의 기초 자료로 활용하고자 수행하였다. 또한 담수심별 벼 생육과 수확량 변화를 조사하여 벼의 생산량을 높일 수 있는 논 관개기법을 개발한다.

본 장에서는 “용수절약형 논 관개기법 개발” 연구의 배경과 그 필요성을 기술적, 경제적, 사회적 측면에서 살펴보고, 연구개발 목표와 내용 및 범위를 정리한다. 또한, 본 연구의 기대효과와 연구진의 구성 및 연구추진일정에 대하여 소개한다.



## 제2절 연구의 배경

세계의 약 절반에 해당하는 인구가 주식량으로 쌀을 이용하고 있다. 우리나라에서도 쌀은 국민의 주식이며 농가의 가장 안전한 소득원일 뿐만 아니라 우리의 식량안보를 지탱하고 있는 농산물로서 사회안전을 책임지고 있는 기초산업이다. WTO협상에 따른 쌀시장 개방에 위기감을 느끼는 것과 함께 쌀 생산비를 낮추려는 노력도 바로 이와 같은 점을 반영한다고 볼 수 있다.

벼 재배에 있어서 가장 중요한 것은 물관리이다. 효율적인 물관리는 용수를 절약할 수 있으나, 물관리를 잘 못하면 과잉의 물이 소모될 뿐만 아니라 수확량도 감소하게 된다. 필요한 시기에 필요한 물의 양을 정확히 파악하여 적기에 적량의 물을 공급할 수 있는 물관리 계획을 수립한다면 쌀농사의 경쟁력 제고와 벼의 다수확에도 기여하게 될 것이다.

현재까지 우리나라 수자원정책은 물수요를 줄이는 방법보다는 물공급을 늘리는 방법만 고수해왔다. 정부의 물정책이 공급위주가 아닌 수요관리체계로의 전환이 필요한 시점이다. 우리나라 용수수요는 연간 321억 $m^3$ 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 적절한 작물생육을 위하여는 관개가 필수적이다. 농업용수에서 가장 많은 비중을 차지하고 있는 논은 물관리는 전통적으로 침수관개가 행해지고 있으며 이는 관개효율을 저하시키고 과도한 농업용수를 필요로 하게 된다.

따라서 농업용수의 효율적인 이용을 위하여 논에서의 관개용수 공급량을 줄여서 벼농사를 지을 수 있는 용수절약형 논 관개기법의 개발은 매우 중요하며 수자원의 효율적인 이용을 위하여 반드시 용수절약형 관개기술을 개발하여 실용화하여야 할 것이다.

본 연구는 답수심 처리에 따른 물수지의 변화와 생육 및 수확량을 살펴봄으로써 논에서의 용수량을 줄일 수 있는 관개기법을 개발하여 농업용수를 절약하고 한정된 수자원을 효율적으로 이용하기 위한 기초자료를 제공하는데 있다.

## 제3절 연구의 필요성

### 1. 기술적 측면

벼는 아열대성 작물로 주로 동남아시아 지역에서 재배되고 있으며 미국과 호주 등지에서는 주로 수출용으로 재배되고 있다. 동아시아의 벼재배는 주로 이앙재배 방식을 채택하고 있으며, 미국과 호주에서는 대규모 논에 항공기 담수직파재배 및 상시 담수방식을 채택하고 있다.

논에서의 최적 물관리는 농업용수의 절약과 쌀 생산량의 증가를 위하여 매우 중요하다. 그러나 지금까지의 논 물관리는 관습적으로 주로 침수관개를 하여왔으며 관개효율이 낮게 되는 결과를 초래하여 과다한 농업용수를 필요로 하게 되었다.

따라서 논에서의 담수심의 변화와 간단관개가 이앙재배 벼의 생육과 수확량에 미치는 영향을 조사하여 용수를 절약할 수 있는 관개방식을 개발하는 것이 매우 필요하다고 하겠다.

### 2. 경제·산업적 측면

인구의 증가와 산업의 발달로 용수수요는 해마다 증가하여 상대적으로 생산성이 낮은 농업용수를 다른 용수로 전용하게 될 것은 불을 보듯 뻔한 사실이다. 따라서 관개효율이 높은 논 관개기법을 개발하여 실용화 하게되면 많은 양의 농업용수 절약이 가능하게되며 이를 다른 산업에 유용하게 사용할 수 있으며 수자원의 효율적인 이용에도 크게 기여하게 될 것이다.

### 3. 사회·문화적 측면

효율적인 논 관개방법이 개발되어 관개용수량을 크게 줄일 수 있다면 사회적으로 물로 인한 문제나 분쟁을 크게 감소시킬 수 있다. 또한 절약된 농업용수를 환경적 및 심미적 목적으로 이용할 수 있으며, 수변 공간의 확보를 통하여 사회, 문화적 측면의 물의 이용도 가능하게 되어 인간의 정서함양과 휴식공간의 제공에도 크게 기여할 수 있을 것이다.

## 제4절 연구개발의 목표 및 내용

### 1. 연구개발 목표와 내용

본 연구의 최종 목표는 농업용수를 절약할 수 있고 생산량을 높일 수 있는 논 관개기법을 개발하는 데 있다. 이를 위한 몇 개의 세부과제는 다음과 같다.

- 논 담수심 관리실태 조사 분석
- 논 담수심 관리 방법별 벼 생육 및 수확량 변화분석
- 논 담수심 관리 방법이 벼 도복에 미치는 영향
- 논 담수심 관리 방법이 잡초성장과 병해충 발생에 미치는 영향
- 논 담수심 관리 방법별 물수지 및 관개수량의 변화 분석

## 2. 연차별 연구개발 목표와 내용

구 분	연구 개발 목표	연구개발 내용 및 범위
1차 년도 (2001)	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 담수심 관리실태조사</li> <li>· 담수심별 벼 생육 및 수확량 변화</li> <li>· 담수심별 잡초 성장 조사</li> <li>· 담수심별 도복저항성 조사</li> <li>· 담수심별 물수지분석</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 국내외 관련 문헌조사</li> <li>· 경기, 충청, 호남, 경북, 경남 지방에 관측 답을 선정하여 일별로 담수심 관측</li> <li>· 농민대상 설문조사</li> <li>· 경상북도 농업기술원에 시험포장 설치</li> <li>· 시험포장에서 담수심 처리별로 생육단계별 벼 생육상태 관측</li> <li>· 시험포장에서 담수심 처리별로 단위면적당 잡초 종류 및 개체수 조사</li> <li>· 시험포장에서 담수심 처리별로 저항모멘트법을 이용하여 벼 줄기의 도복저항성 조사</li> <li>· 물수지 분석 항목인 관개량, 관개량, 배수량, 증발산량, 침투량 및 담수심을 시험포장에서 일별로 관측하기 위한 장치 설계</li> <li>· 경상북도 농업기술원에 시험포장에 관측장치 설치 및 관측</li> <li>· 담수심 처리별로 물수지 분석 항목인 관개량, 배수량, 증발산량, 침투량 분석</li> </ul>

구 분	연구 개발 목표	연구개발 내용 및 범위
2차 년도 (2002)	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 담수심 관리실태조사</li> <li>· 담수심별 벼 생육 및 수확량 변화</li> <li>· 담수심별 잡초 성장 조사</li> <li>· 담수심별 도복저항성 조사</li> <li>· 담수심별 물수지분석</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 국내외 관련 문헌조사</li> <li>· 경기, 충청, 호남, 경북, 경남 지방에 관측 답을 선정하여 일별로 담수심 관측</li> <li>· 농민대상 설문조사</li> <li>· 경상북도 농업기술원에 시험포장 설치</li> <li>· 시험포장에서 담수심 처리별로 생육단계별 벼 생육상태 관측</li> <li>· 시험포장에서 담수심 처리별로 단위면적당 잡초 종류 및 개체수 조사</li> <li>· 시험포장에서 담수심 처리별로 저항모멘트법을 이용하여 벼 줄기의 도복저항성 조사</li> <li>· 물수지 분석 항목 관측장치 보완</li> <li>· 경상북도 농업기술원에 시험포장에 관측장치 설치 및 관측</li> <li>· 담수심 처리별로 물수지 분석 항목인 관개량, 배수량, 증발산량, 침투량 분석</li> <li>· 담수심 처리별로 물수지 분석</li> <li>· 담수심별 유효수량의 변화 분석</li> <li>· 담수심별 침투량의 변화 분석</li> <li>· 담수심별 관개수량 분석 분석</li> </ul>

구 분	연구 개발 목표	연구개발 내용 및 범위
3차 년도 (2003)	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 담수심 관리실태조사</li> <li>· 담수심별 벼 생육 및 수확량 변화</li> <li>· 담수심별 잡초 성장 조사</li> <li>· 담수심별 도복저항성 조사</li> <li>· 담수심별 물수지분석</li> <li>· 용수절약형 논 관개기법 개발</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 국내외 관련 문헌조사</li> <li>· 경기, 충청, 호남, 경북, 경남 지방에 관측 답을 선정하여 일별로 담수심 관측</li> <li>· 농민대상 설문조사</li> <li>· 경상북도 농업기술원에 시험포장 설치</li> <li>· 시험포장에서 담수심 처리별로 생육단계별 벼 생육상태 관측</li> <li>· 시험포장에서 담수심 처리별로 단위면적당 잡초 종류 및 개체수 조사</li> <li>· 시험포장에서 담수심 처리별로 저항모멘트법을 이용하여 벼 줄기의 도복저항성 조사</li> <li>· 경상북도 농업기술원에 시험포장에 관측장치 설치 및 관측</li> <li>· 담수심 처리별로 물수지 분석</li> <li>· 담수심별 유효우량의 변화 분석</li> <li>· 담수심별 침투량의 변화 분석</li> <li>· 담수심별 관개수량 분석 분석</li> <li>· 세부항목들을 종합분석하여 최적 관개기법 개발</li> <li>· 개발된 관리기법의 실용화 방안 개발</li> </ul>

### 3. 국내·외 관련기술의 현황과 문제점

논의 관개용수를 효율적으로 관리하기란 결코 쉬운 일이 아니다. 논 관개방법은 지역별, 기후별, 경지규모별, 물관리기술 수준별 등 여러 가지 요인에 의하여 다르다. 우리나라의 논벼의 물관리는 관습적으로 담수심을 10cm 정도로 유지하는 심수관개를 해오고 있다. 또한 농민들의 물에 대한 경제적 개념이 희박하여 무턱대고 많은 물을 관개하는 것이 보통이다.

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

이와 김(1966) 및 이(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. 농촌진흥청(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.

일본의 논관개 실태조사 (向井章惠 등, 1999)에 의하면 북부의 아오모리 지방에서는 냉수 피해방지를 위하여 전 생육기간동안 심수관개를 하며 남부로 내려올수록 간단관개를 하는 것으로 나타났다.

Zu(1999)는 중국 산둥지방에서 수백 ha의 벼 실험재배에서 1-4cm의 천수 간단관개를 실시하므로서 전통적인 심수관개에 비하여 소비수량을 1,261mm에서 892mm로 감소시켰고, 수확량을 7,820kg/ha에서 10,560kg/ha 로 증가시켰다고 보고하였다. 또, 중국 Wuhan 서쪽 200km에 있는 Hubei의 Zhang He 관개지구에서 IWMI, IRRI, 및 Wuhan대학이 공동으로

논에서의 물절약 관개의 이점을 조사하기 위한 연구를 수행 중에 있다 (Barker and Molden, 1999). 이 지역의 자료에 의하면 1965년부터 1998년 사이에 관개용수와 타용수의 배분상황의 변화는, 1975년까지는 농업용수가 80% 정도이었으나 1995년부터는 농업용수는 27%로 감소하였고 타용수는 73%로 증가하였다.

호주 남동부지방의 연구결과를 보면 Muirhead 등(1989) 은 벼논에 스프링클러로 관개하였을 때 담수관개보다 생산량이 감소하였다고 보고하였으며, Heenan and Thompson(1984) 은 벼논에 7일 간격의 간단관개를 했을 때 물은 60% 절약하였지만 수확량은 형편없이 감소하였다고 보고하였다. 미국이나 호주의 대규모 논에서는 물관리상 담수직파하여 등숙기까지 연속적으로 담수관개를 하고 있다.

이러한 국내외의 물관리의 문제점은 재배관리의 편리성만 고려하여 주로 깊은 담수를 유지하는 것이다. 정하우 외(1999) 에 의하면 심수관개는 7-10cm, 천수관개는 1-3cm 깊이가 적당하며 이앙직후 2주정도와 중간낙수이후 3주정도 이외에는 간단관개가 오히려 생육에 좋다고 하였다.

Hatta(1967) 와 Tabbal(1992) 등은 논 담수심을 매우 얇게 유지하거나, 토양만 포화시키거나, 습윤과 건조를 교대로 하는 논의 물관리는 전통적인 방법과 비교하여 수확량 감소가 없었으며 관개수량을 40-70% 절감할 수 있었다고 보고하였다.

중국과 국제연구기관의 연구결과에 의하면 천수 간단관개가 용수절약은 물론 생산량의 증가에도 기여한다고 하였다. 그러나 대부분에는 물관리의 어려움 때문에 관습적인 깊은 담수 10cm를 하여오고 있어서 관개효율이 매우 낮은 실정이다.



## 제5절 기대효과

### 1. 기술적 측면

- 최적관개기법을 개발함으로써 논 관개용수를 절약하고 정확한 관개시기와 관개량의 결정으로 인해 가뭄대처 능력의 증대가 기대된다.
- 작물의 필요수량과 기상조건, 토양수분이나 담수심 등의 자료를 바탕으로 관개 시기와 양의 결정을 위한 최적관개계획을 수립함으로써 논 생산성 향상을 꾀하고 증수를 기대할 수 있다.
- 적정관개량의 공급은 불필요한 배수를 배제하므로 논의 배수량 감소로 인한 하류 수질 개선을 시킬 수 있다.

### 2. 경제적 측면

- 적정량의 용수공급으로서 낭비되는 물의 양을 최소화함으로써 농업용수 수요량 감소를 통한 경제적 효과를 기대할 수 있다.
- 농업용수 절약분을 공업용수로 이용할 수 있어 산업발전에 기여할 수 있다.  
2000년대 우리나라 용수부족 전망에 따라 각 부문간 용수 분쟁이 심화할 것으로 예측되며, 현재 우리나라의 댐의 용수 예비율이 2001년에는 2.1%, 2011에는 -5.5%로 하락될 전망이다. 또한 농업용수자원의 활용성을 높이므로써 과도한 용수개발 비용을 절감할 수 있다.
- 농업배수에 기인한 수질 오염을 저감할 수 있다.  
우리나라 수자원의 20%정도는 하천의 기능 유지와 수질 개선을 위한 유지 용수로 사용하고 있는데, 농업용 수자원을 효율적으로 활용하므로써 수자원의 극대이용의 측

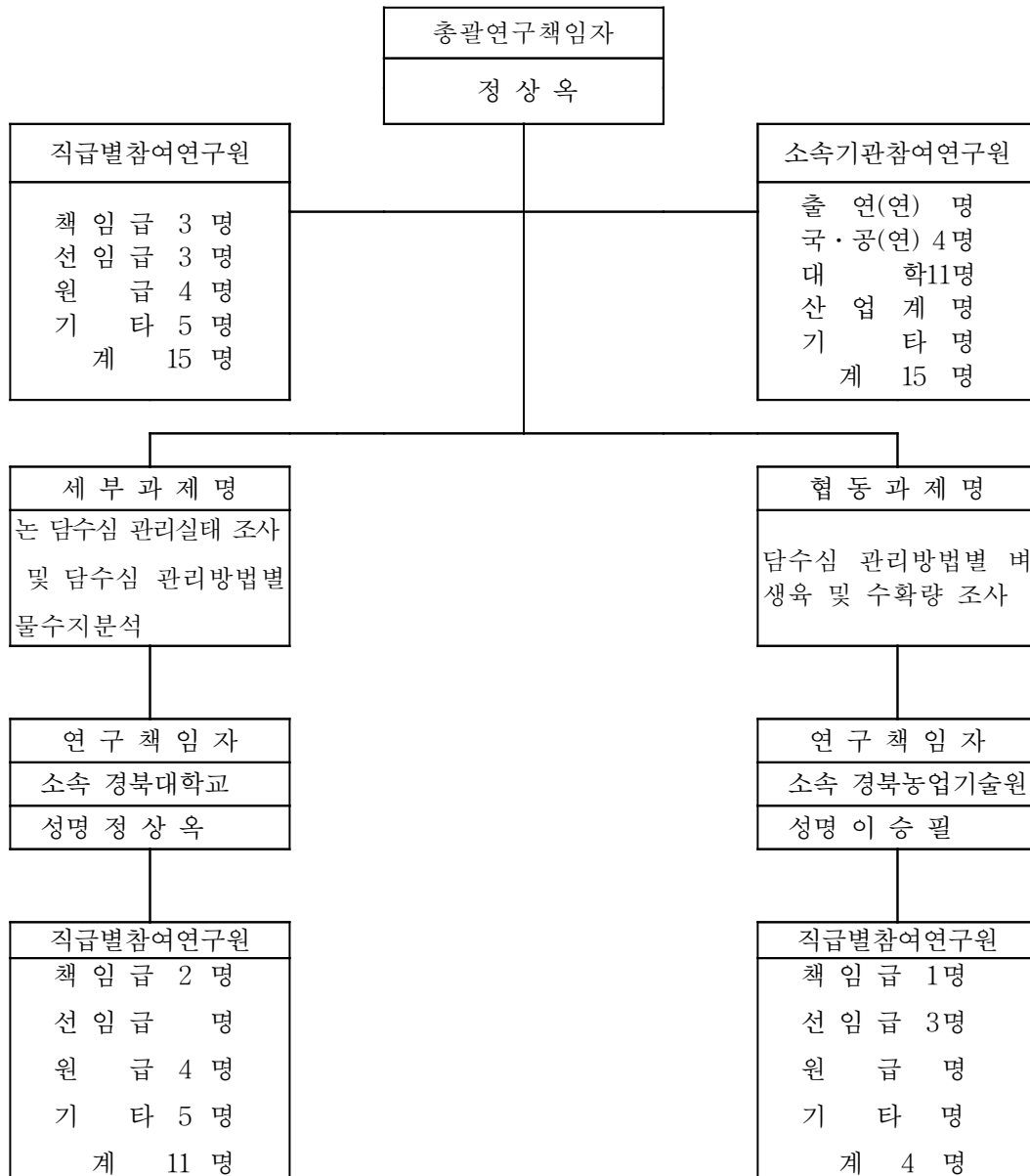
면과 함께 자연환경보전을 할 수 있다.

### 3. 활용분야

- 농업용수 개발 및 관리에 기초자료로 이용  
가뭄으로 인한 농작물의 피해가 지역적으로 거의 해마다 반복적으로 발생하고 있으며, 이를 위하여 연간 4,000억원에 이르는 막대한 국가 재원을 농업용수 개발을 위한 사업비로 책정하고 있는 것이 현실이다.  
용수절약형 논관개기법의 개발은 부족한 농업용수를 효율적으로 이용하고 관리할 수 있는 대처방안이 되며 현실적으로 농업용수 부문에 막대한 재정이 소요되는 것을 막을 수 있다.
- 농업기반공사와 시군에서 농업용수관리의 기술지침으로 활용  
기존의 농업용수 조직의 물관리는 대부분 과거의 경험에 의존하여 실시하므로서 물관리의 효율이 낮으므로, 최적논관개기법을 농어기반공사와 시군에서 농업용수관리의 기술지침으로 활용하는 한편, 물관리의 주체가 되는 농민들에 보급하여 현장 적용을 통한 실질적인 용수절약과 소득 증대를 꾀하여야 한다.

# 제6절 연구진

## 1. 연구원 편성표



## 2. 연구진

세부과제명 (담당연구내용)	성명	소속기관 및 부서	직위	전 공 및 학 위				참여율 (%)
				학 위	년 도	전 공	학 교	
담수심 실태 조사 분석 및 담수심별 물수지 분석	정상옥	경북대	교수	박사	1985	농공학	Iowa대	40
	서승덕	경북대	교수	박사	1976	농공학	서울대	20
	이우영	경북대	6급	석사	1998	작물학	경북대	20
	박기중	경북대	연구원	석사	1999	농공학	경북대	50
	오창준	경북대	연구원	석사	1999	농공학	경북대	50
	손성호	경북대	학생	석사	2000	농공학	경북대	50
	남명희	경북대	학생	학사	1997	농공학	경북대	50
	김지용	경북대	학생	학사	1999	농공학	경북대	50
	최재원	경북대	학생	학사	1999	농공학	경북대	50
	이상윤	경북대	학생	학사	1999	농공학	경북대	44
	정지은	경북대	학생	학사	2000	농공학	경북대	50
담수심별 생육조사	이승필	경북농업 기술원	연구관	박사	2000	작물학	경북대	20
	최장수	경북농업 기술원	연구사	박사	2001	작물학	경북대	20
	원종건	경북농업 기술원	연구사	박사	2000	작물학	구주대	20
	안덕중	경북농업 기술원	연구사	석사	1991	작물학	경북대	20

## 제7절 연구 추진 일정

연구내용	연구추진일정		
	1년차 (2001)	2년차 (2002)	3년차 (2003)
<ul style="list-style-type: none"> <li>· 담수심 관리실태조사</li> <li>-국내외 관련 문헌조사</li> <li>-경기, 충청, 호남, 경북, 경남 지방의 관측답에서 일별담수심관측</li> <li>-농민대상 설문조사</li> </ul>	— ———— —	— ———— —	— ———— —
<ul style="list-style-type: none"> <li>· 담수심별 벼 생육 및 수확량 변화</li> <li>-담수심 처리별로 생육단계별 벼 생육상태 관측</li> <li>-담수심 처리별 수확량 조사</li> </ul>	———— —	———— —	———— —
<ul style="list-style-type: none"> <li>· 담수심별 잡초 성장 조사</li> <li>-담수심 처리별로 단위면적당 잡초 종류 및 개체수 조사</li> </ul>	————	————	————
<ul style="list-style-type: none"> <li>· 담수심별 도복저항성 조사</li> </ul>	—	—	—
<ul style="list-style-type: none"> <li>· 담수심별 물수지분석</li> </ul>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>· 용수절약형 논 관개기법 개발</li> </ul>			————

## 제8절 요약

본 과제는 대구광역시 북구 동호동 소재 경북농업기술원 답작포 실험포장을 대상으로 담수심처리방법별 물수지 분석 및 관개수량의 변화와 벼의 생육 및 수확량 조사를 통하여 농업용수를 절약할 수 있고 생산량을 높일 수 있는 용수절약형 논 관개 기법을 개발하는 것을 주요내용으로 하고 있다. 본 장에서는 “용수절약형 논 관개 기법개발” 연구의 필요성, 연구의 내용, 기대효과, 연구진의 구성 및 연구추진일정 등을 정리하였다.

본 장의 내용을 요약하면 다음과 같다.

- ① 현재 우리나라의 논벼의 물관리는 주로 심수관개가 행해지고 있으며 이는 관개효율을 저하시키고 과도한 농업용수를 필요로 하게 되므로 수자원의 효율적인 이용을 위해서 반드시 용수절약형 관개기술을 개발되어야 한다.
- ② 본 연구의 내용은 논벼의 담수심을 극천수관개, 천수관개, 심수관개의 세가지 담수심관리 방법으로 나누어 각각의 관개량, 배수량, 증발산량, 침투량, 유효우량을 관측하고 담수심처리별 물수지 분석을 실시하여 효율적인 담수심 관리를 통한 절수관개 방식을 도출하고 최적용수 공급량 산출의 기초 자료로 활용하고자 한다. 또한 담수심별 벼 생육과 수확량 변화를 조사하여 논 관개기법을 개발한다.
- ③ 본 연구로부터 예상되는 기대효과는 논 관개용수 절약, 논 생산성 향상으로 증수 기대, 논벼의 배수량 감소로 하류수질 개선, 농업용수 수요량 감소로 경제적 효과기대, 농업용수 절약분을 공업용수로 이용할 수 있어 산업발전에 기여, 농가 소득 증대 및 국가 경제에 기여, 농업배수에 기인한 수질 오염 저감 등이다.

## 제2장 벼 재배방식과 논 담수심관리 실태 조사

### 제1절 개요

논은 담수하여 논벼를 기르는 농경지이다. 따라서, 지표면은 편평하고 주위는 논둑으로 둘러싸이고, 또한 아래로 물이 쉽게 침투하지 못하는 난투수성 토층인 경반이 존재한다. 토양은 담수하고 있으므로 포화되어 있다. 강우만으로는 용수의 공급이 불충분하기 때문에 물을 공급해 주는 수로인 용수로가 필요하고, 여분의 물을 배제하기 위한 배수로가 인접해 있어야 한다. 담수를 필요로 하는 논에서 재배되는 작물에는 논벼, 연근, 미나리 등이 있지만, 보통 논작물은 논벼를 의미한다.

벼재배의 방법에는 이앙재배와 직파재배가 있다. 이앙재배는 못자리에서 육묘한 모를 본답에 이앙하는 방식을 말한다. 직파재배는 육묘를 별도로 하지 않고 본답에 직접 파종하는 것을 말하는데, 썩린 논에 파종하는 담수직파와 기계를 이용하여 건답에 파종하는 건답직파로 구분된다.

우리나라의 벼농사에서 모내기에 의한 농사법이 널리 보급된 것은 조선 중기 이후부터이며 그 이전에는 논에 물을 대고 논바닥을 고른 다음 종자를 뿌리거나, 밭상태의 논을 고르고 종자를 뿌리는 직파재배법(直播栽培法)에 의하여 대부분의 논농사가 이루어졌다.

근래에는 한국을 포함한 동남아시아의 대부분의 벼농사 지대에서 모내기를 통한 벼재배가 일반화되어 있지만, 아시아 · 아프리카의 일부지역과 미국의 벼농사 지대에서는 지금도 직파재배가 실시되고 있다.

모내기를 통한 벼농사의 장점으로는, ① 어린 모가 좁은 면적의 못자리에서 생육되기 때문에 집약적인 관리 · 보호를 받을 수 있다. ② 못자리기간만큼은 본논을 다른 용도로 이용할 수 있어 토지 이용도를 높일 수 있다. ③ 본논에 물을 대는 기간이 단축되어 관개수를 절약할 수 있다. ④ 일정한 간격으로 모를 심기 때문에 본논의 재배관리가 쉽다. ⑤ 본논 관리를 집약적으로 수행함으로써 단위면적당 수확량을 높일 수 있다.

모내기는 그 지방의 기후 · 재배품종 · 병해충 발생 · 지력 등을 고려하여 수확량을 가장 많이 낼 수 있는 시기에 실시하게 되며, 수리(水利) 사정 · 윤작(輪作) 관계 · 노동력 사정 등도 고려되어야 한다. 모내기를 하는 방식에는 산식(散植)과 정조식(正條植)이 있다. 산식

은 포기 사이와 줄 사이가 고르지 못한 방법으로, 최근에는 거의 이용하지 않고 있다. 정조식은 줄 사이와 포기 사이가 일정하여 논에서의 여러 가지 작업을 편리하게 할 수 있으므로 이 방법이 많이 이용되고 있다. 정조식으로 모를 심을 때도 줄 사이와 포기 사이의 거리에 따라서 여러 방식으로 나누어지며, 일반적으로 줄 사이 21cm×포기 사이 21cm와 같이 정사각형에 가까운 모양으로 모를 심는 정사각형식, 30cm×15cm와 같이 심는 직사각형식, 직사각형식의 변형인 병목식(竝木植), 또는 2조(二條) 병목식 등의 방법이 널리 쓰이고 있다.

찰흙 논을 경운기의 로터리로 곤죽이 되도록 써레질을 한 후 바로 모를 심으면 모가 땅속으로 빠져들어가 깊이 심는 것과 같은 결과를 가져오므로 찰흙 논은 모내기 2~3일 전에 써레질을 하여 흙이 어느 정도 가라앉은 다음에 모를 심는 것이 좋다.

모내기할 때는 물을 얇게 댄 후 모춤을 가지런히 맞추어서 2~3cm 깊이로 얇게 심어야 새 뿌리가 빨리 내리고 가지를 많이 치게 된다. 물이 잘 빠지지 않는 습답에는 10~15줄마다 1줄씩 배수구(排水口) 예정지를 만들어 무효분얼기에 골을 만들고 중간물떼기를 하여야 벼의 후기생육이 좋아진다.



## 제2절 벼 재배방식과 작물의 필요수량

### 1. 벼 재배방식의 변화

벼 재배방식은 손이앙에서 기계이앙으로 생력화되었고 육묘기간도 성묘에서 중묘, 어린묘로 점차 단축되어 왔다. 현대의 벼 재배기술은 구한말인 1906년 현재 농촌진흥청의 전신인 권업모범장이 설립되면서 본격적으로 연구개발되기 시작했다. 그러나 해방과 정부수립, 전쟁후 절대 빈곤기인 1963년까지의 벼 재배기술은 일제시대의 벼 재배기술과 큰 차이가 없었다. 이 시기의 벼 재배방법은 손이앙과 인력예취, 전탈곡기나 2인용 동력탈곡기를 이용한 탈곡 등 전 근대적인 수준을 벗어나지 못했다.

1968년에는 손이앙재배의 못자리 표준시비량을 비롯해 본논 재식밀도 및 시비량이 구명되는 등 벼농사 기술에 대한 기초연구가 활발히 진행됐다.

농촌 일손부족 현상이 심화된 1980년대에는 중간모 기계이앙 재배기술이 정립된데 이어 중간모보다 상자수를 50%정도 절감하고 육묘기간을 획기적으로 줄일 수 있는 어린모 재배법이 개발돼 농가에 보급됐다. 이와 함께 벼 직파재배에 관한 연구도 활발하게 시작돼 직파재배기술 확립의 기틀을 마련했고 병해충 방제시간을 줄이기 위한 입제농약 상자육묘 처리법 등을 확립했다.

1990년대 들어서는 생력화 및 생산비 절감을 위해 벼 어린모 자동화 육묘기술과 육묘단계를 생략할 수 있는 직파기술, 논을 갈지 않는 무경운 및 최소 경운 재배기술이 개발됐다.

우리나라의 직파재배는 1968년에 가뭄대책의 일환으로 약 70천ha가 시행된 기록이 있으며 그 후 수리시설의 확충과 이앙기의 도입에 따라 재배면적이 급진적으로 감소하였다. 그러나 1990년 초반부터 직파재배 면적이 다시 증가하기 시작하여 1994년에는 72,805ha로 우리나라 전체 논면적의 6.4%에 달하게 되었으며, 1995년도에는 10.6%, 1996년도에는 10%로 증가하여 직파재배가 점차 중요한 벼 재배방식으로 자리잡게 되었다.

1996년의 경우 쌀 생산량을 증대시키기 위하여 직파를 권장하지 않고 농민이 자율적으로 재배방법을 선택하게 한 결과 1995년에 비하여 다소 그 면적이 줄었으나 금후 재배기술상의 문제점이 보완된다면 직파재배 면적이 늘어날 것은 분명한 사실이다. 벼 재배방식도 생력재배의 일환으로 어린모 기계이앙 및 직파재배가 개발 보급되고 있으나 아직껏 직파재배 면적은 총 벼재배 면적의 10% 전후에 불과하고 나머지는 기계이앙재배에 의존하고 있다.

이처럼 직파재배면적이 늘어나지 않는 이유는 여러 가지 원인이 있겠지만 이앙재배에 비해 수량의 안정성이 낮고 도복, 입모확보, 새피해, 잡초방제 등 여러 가지 해결해야 할 과제가 많이 남아있기 때문이다.

우리나라의 벼 재배면적은 국토면적의 약 13%에 해당하는 1,233,000ha에 이르고 있으며 10 a당 평균 쌀 생산량은 450kg 수준이고 총생산량은 약 550만 M/T에 이르고 있다.

## 2. 벼의 필요수량

논관개에서의 필요수량은 감수심을 말하며 증발산량과 침투량을 합한 것이다. 필요수량은 재배방식, 용수의 이용관리방식 또는 지형, 토양, 지질, 지하수위 등 포장조건의 변화와 기상조건, 수온, 수질 등의 변화에 따라 다르다. 그리고 수원에서 포장까지 시설의 형태, 기능, 용수 및 토지이용 등의 변화에 따라 달라질 수도 있다. 그러므로 적절한 필요수량을 산정하기 위해서는 농업의 형태, 시설형태, 용수이용의 변화 등을 고려하여야한다.

실제 논에서 벼 재배에 필요한 수량에는 증발산량 및 침투량 뿐만 아니라 논에서의 여러 가지 재배기술상의 물관리를 가능하게 하기 위해 요구되는 수량이 필요하게 된다.

논용수량은 크게 포장단계, 지구단계 및 광역단계로 나뉘어 생각할 수 있다. 논용수량은 포장단계에서의 포장단위 용수량과 순용수량, 지구단계에서의 조용수량, 광역단계에서의 광역 용수량으로 구성된다. 또한, 관리 용수량은 포장단계에서의 재배관리 용수량과 용수로 단계에서의 시설관리 용수량이 있다. 필지용수량은 단위논에서 벼의 재배에 필요한 용수량을 말하며 단위면적당의 유량이나 1일동안의 수심으로 표시된다. 필지용수량은 감수심과 재배관리 용수량으로 구성되며 감수심은 일반적으로 증발산량과 침투량으로 구분된다. 재배관리 용수량은 단위논에서의 재배관리를 위하여 필요한 수량으로 강제낙수와 자연낙수로 구성된다. 강제낙수는 인위적으로 낙수시키는 것으로서 이앙 후의 낙수, 중간낙수, 시비·제초·약제살포를 위한 낙수, 냉해방지를 위하여 야간에 심수한 후 주간에 천수하는 경우에 발생하는 낙수 등이 있다. 자연낙수에는 담수유지를 위한 내리흘림식 관개나 강우시의 지표유출 등이 있다. 재배관리 용수량은 보통 3.5mm/d 정도로서 필지용수량의 약 20%를 차지한다. 순용수량은 단위논에서 벼의 재배를 위하여 인위적으로 공급할 수량이며, 조용수량은 말단포장에 순용수량을 공급하기 위하여 수원공에서 취수할 수량이다. 광역 용수량은 용수의 반복이 이루어지고 있는 광역의 논지구에서 필요한 수량이다. 시설관리 용수량은 논지구에서의 송수, 용수의 배분 및 시설유지 등을 위하여 필요한 수량이다.

### 3. 재배방식별 물관리

벼 재배방식별 물관리는 가장 기본적인 사항으로 최근 중요시되고 있다. 물관리란 개량된 영농과 더불어 농업생산성을 증가시키기 위해 경지에 물을 공급함에 있어 운반, 조절, 측정, 분수 및 적기에 공급하도록 하는 종합적인 운영방법을 의미한다.

증가하는 물 수요량을 충족하기 위하여는 용수원을 적극적으로 개발하는 것이 1차적인 방법이 되겠지만 이미 확보된 물을 최대한으로 절약하고 효과적으로 사용함으로써 물에 대한 경제적 가치를 더욱 증대시킬 수 있다.

일반적으로 물관리는 다음과 같은 항목들을 고려해야한다.

- 다수확을 위한 적정 물관리
- 용수절약을 위한 물관리
- 용수의 균등배분을 위한 물관리
- 수질·수온 등 용수의 질을 고려한 물관리
- 물관리 시설비를 절감하기 위한 물관리
- 영농작업 기계화를 위한 물관리

양호한 물관리는 용수의 절약과 벼 수확량을 증대시키는 반면 물관리를 소홀히 할 경우 수확량이 감소한다. 물관리의 역할은 발아, 벼의 성장, 잡초방지, 냉해예방, 비료효과의 증진, 쌀의 품질 향상에 있다.

벼는 다른 농작물과는 달리 반 수생식물에 해당되므로 담수조건에서 생육이 가능하다. 물은 벼의 양분흡수 및 수온을 조절할 뿐 아니라 토양의 환원과 산화를 도와 벼 뿌리의 생리적 활력을 유지시켜 벼의 자세를 바르게 하며 또한 시용한 농약을 용해시키는 등 벼의 생장을 조정하여 수확을 높이는 데 중요한 역할을 한다.

건답직파와 담수직파는 담수관리를 하기 전에 간단관개를 시행하여 발아와 눈그누기를 양호하게 할 필요가 있다. 담수후의 물관리는 벼의 생육에 따라 수심을 서서히 증가시켜 가면서 배수구의 유량을 적당히 조절하는 것이 좋다.

담수기간은 파종방법, 기상조건, 파종시기, 품종에 따라 다소 다르지만 담수직파와 건답직파의 경우 120~150일간, 외국의 항공담수 직파의 경우 150~170일 정도가 된다.

벼는 다량의 물을 필요로 한다. 특히 출수기에는 온도가 매우 높고 증발량이 많아 1~2개월 정도는 많은 물이 필요하다. 모든 작물이 자랄 수 있는 조건은 토양의 함수비가 약 50% 이상이고 논에서는 출수기간 동안 적어도 약 75%이상을 유지하여야 한다. 특히 우리나라의 하절기 동안 증발량이 일별 약 5mm 정도이며, 벼가 수분 스트레스를 받지 않도록 물을 공

급하는 것은 벼의 생육을 촉진시킴과 동시에 잡초성장을 방지하고 질소비료의 효과증진, 냉해방지, 쌀의 질을 향상시키는데 매우 중요하다. 동남아 각국에서는 아직도 천수답이 많이 있으며 이 지역의 수확량은 매우 떨어질 수밖에 없다.

논에서의 물이 부족한 시기의 물관리는 생육기별 필요 담수심과 침투량조절 등 양자를 고려해야 한다. 논에 담수심 유지는 표 2.1과 같이 작물의 생육기별 용수의 필요도에 의해 결정되며 그 밖의 발아촉진, 생육촉진, 냉해방지 등 재배기술상의 필요에 의해 좌우될 수도 있다.

표 2.1 용수부족시의 물관리방법

구분	용수의 필요정도	물배분방법	
		용수가 약간 부족한 경우	용수가 대단히 부족한 경우
활착기	가장 필요	담수	관수 또는 습윤
분얼기	필요	습윤	단수
무효분얼기	극소	단수	단수
유수형성기	가장 필요	수회 관수	1-2회 관수
수잉기	가장 필요	수회 관수	1-2회 관수 또는 습윤
출수개화기	필요	1-2회 관수 또는 습윤	습윤
호숙기	필요 또는 적음	습윤 또는 단수	단수
황숙기	적음	단수	단수
완숙기	극소	단수	단수

자료 : 물관리 생력화 기술의 실용화, 농림부, 2002

시설관리용수는 용·배수로시스템 중에서 손실되거나 필요한 수량으로서 송수손실, 용수의 분수, 배수를 확실하고도 용이하게 하는 배수관리수량 및 수로 등의 기능을 유지, 보전하기 위한 용수로 구분할 수 있다. 이와 같은 수량의 결정을 위한 송수손실수량에 대해서는 지구의 입지조건, 수로의 연장 및 수로의 형식 등을 감안하여야 하고, 배수관리수량에 대해서는 수로형식의 관리조직, 관리체제, 시설장치화의 정도, 논에 분산상황 등을 고려해야 한다.

### 제3절 논 담수심관리 실태

#### 1. 지역별 담수심관리 실태

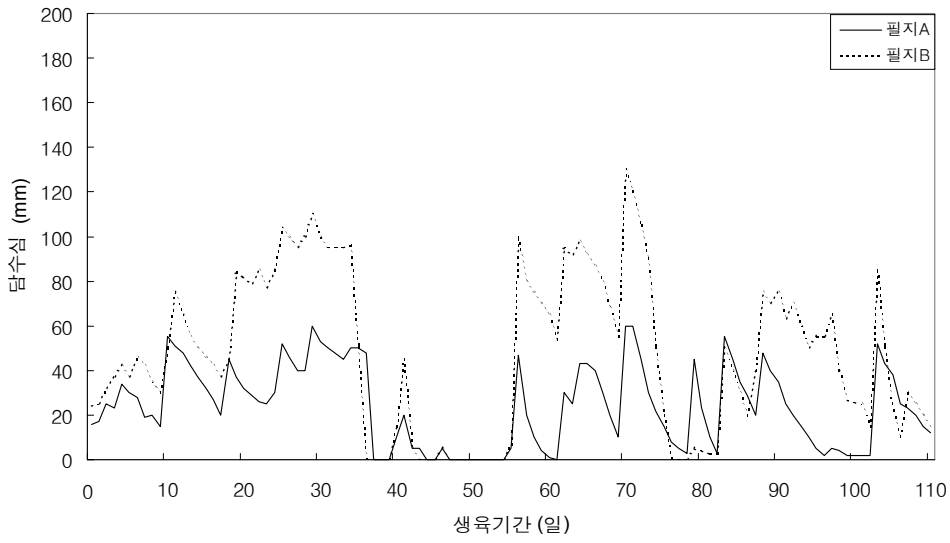
지역별 논 담수심관리 실태를 알아보기 위하여 전국 5개 지역에 대해 담수심 관측을 하였다. 경기도 안산시 사동, 경상북도 군위군 효령면, 경상남도 거창군 거창읍, 전라북도 김제시 부량면, 충청북도 보은군 보은읍에 필지를 선정하여 일일 담수심을 관측하였다.

그림 2.1은 2001년부터 2003년까지 경기도 안산시 사동에서 관측한 논 담수심 관측결과를 나타낸다. 두 개의 필지를 선정하여 담수심을 관측하였고 각 필지는 배수로로 사이에 두고 양쪽편에 위치하고 있다. 5월 25일에 추청벼를 이앙 하였고, 7월 중순에 약 10일 정도 중간낙수를 하였다.

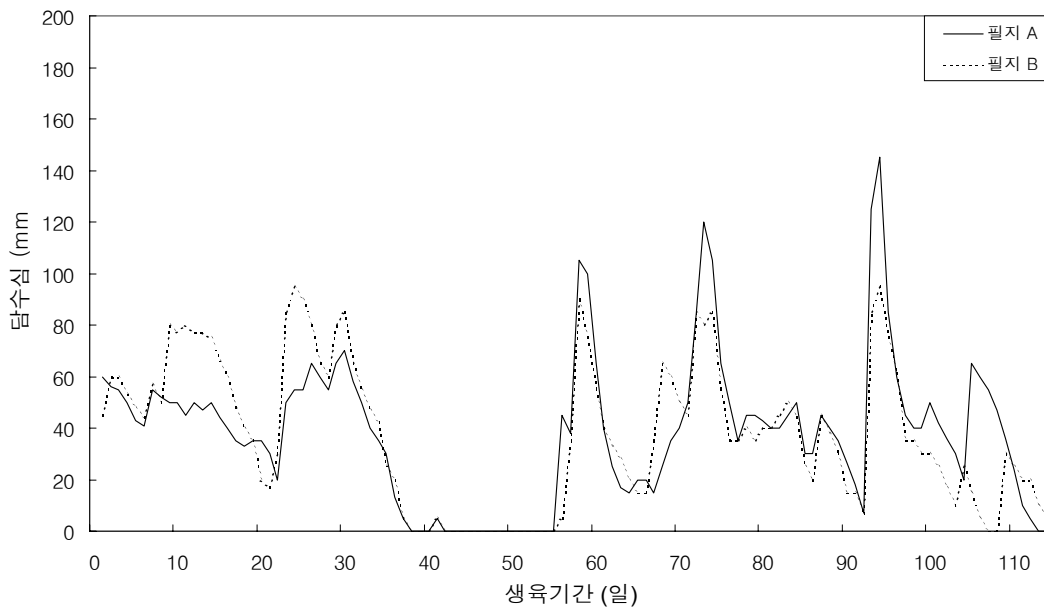
그림 2.1(a)에서 필지 B에서 담수심이 필지 A보다 전 관개기간에 걸쳐 높게 나타났다. 특히, 이앙일부터 20일에서 40일 사이와 중간낙수 이후 55일과 77일, 그리고 90일 이후부터 관개가 끝나는 시점까지 필지 A보다 필지 B가 약 2배 정도 높게 나타났다. 이는 농민의 물관리 관행에 따른 차이로 조사되었다. 이앙일부터 80일 전후로 강우가 발생하여 배수물꼬를 개방하여 담수심이 급격하게 감소하였으며, 이후에 담수심을 6~8cm 정도 유지하였다.

그림 2.1(b)에서는 필지 B가 이앙일부터 40일까지는 필지 A보다 약 2cm 높게 나타났으나, 중간낙수 이후 필지 A가 필지 B보다 높게 나타났다. 이앙일부터 62일경에 발생한 강우로 인해서 배수물꼬를 개방하여 담수심이 급격하게 감소되었으며, 92일과 105일경에도 강우 발생시 배수물꼬를 개방하였다가 재관개를 하였다. 그림 2.2(c)에서는 필지 A와 필지 B의 담수심이 비슷하게 나타났다. 그림 2.1(c)에서 필지 A와 필지 B의 담수심이 이앙일부터 35일까지 일정하였다. 70일과 105일경에는 집중호우시에 배수물꼬를 개방하였다.

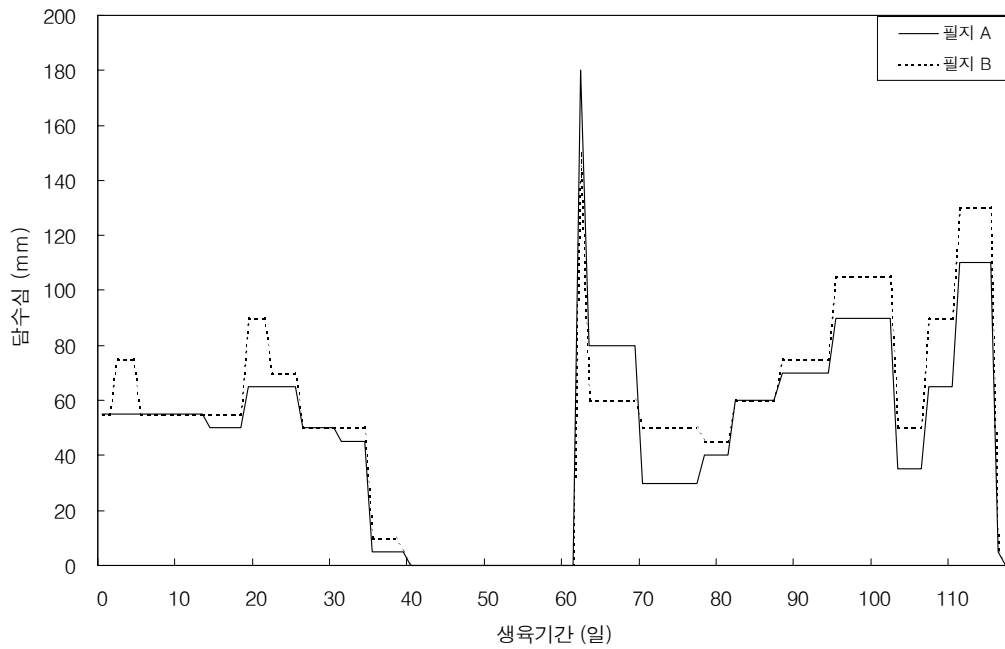
그림 2.1(a)와 그림 2.1(b)에서 최고 담수심이 약 14cm 정도이며, 그림 2.1(c)에서는 담수심이 최고 18cm까지 나타났으며 담수심이 2cm ~ 4cm가 되면 관개하였다.



(a) 2001



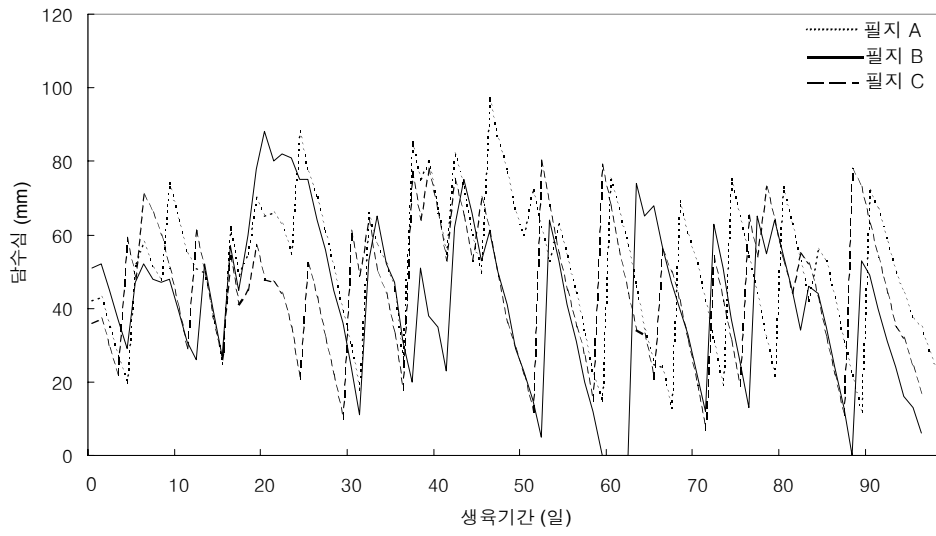
(b) 2002



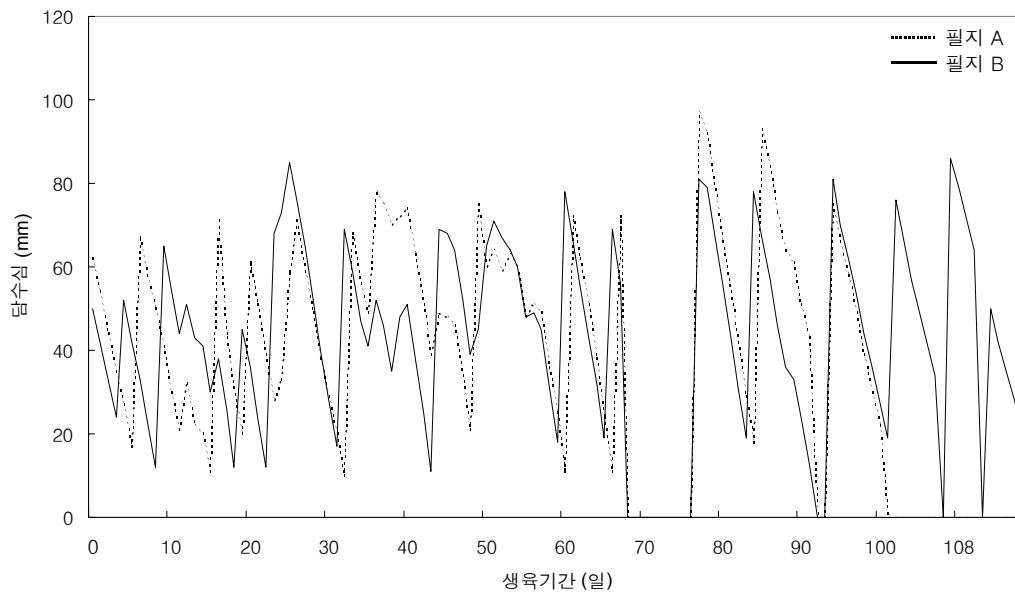
(c) 2003

그림 2.1 경기도 안산시 사동의 일별 담수심

그림 2.2는 2001년부터 2003년까지 경상북도 군위군 효령면의 경북대학교 부속농장에 위치한 실험포장에서 관측한 논 담수심 관측결과를 나타낸다. 상미벼를 5월 31일 이앙을 하였다. 그림 2.2(a)는 이앙 후 약 15일간 담수심을 6cm 정도로 유지하여 어린모의 뿌리가 활착하도록 하였고 이후에 담수심은 8~10cm로 유지하였다. 중간낙수는 시행하지 않았으며 이앙일부터 59일과 88일경에 발생한 강우로 배수물꼬를 개방하였으며, 관개량은 담수심이 1~2cm 정도가 되면 공급하였다. 그림 2.2(b)에서 이앙 후 70일경에 많은 강우로 인하여 관측을 하지 않았으며 중간낙수는 하지 않았다. 관개량은 담수심이 2cm 이하로 낮아지면 공급하였다. 그림 2.2(c)는 관개기간동안 담수심을 약 6cm 정도로 유지하여 그림 2.2(a)와 그림 2.2(b)의 담수심 8cm보다 낮게 나타났다. 이앙일부터 70일경에 담수심이 약간 높아지는 경향이 나타났으며 수잉기에 해당하는 이 시기에 물이 많이 필요하기 때문에 담수심이 높아진 것으로 분석되었다.

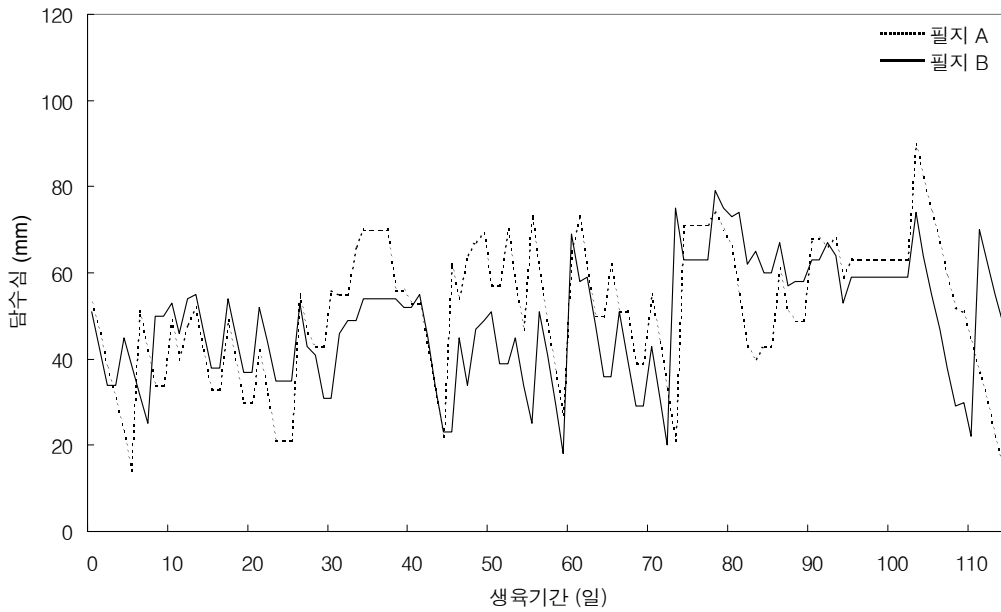


(a) 2001



(b) 2002

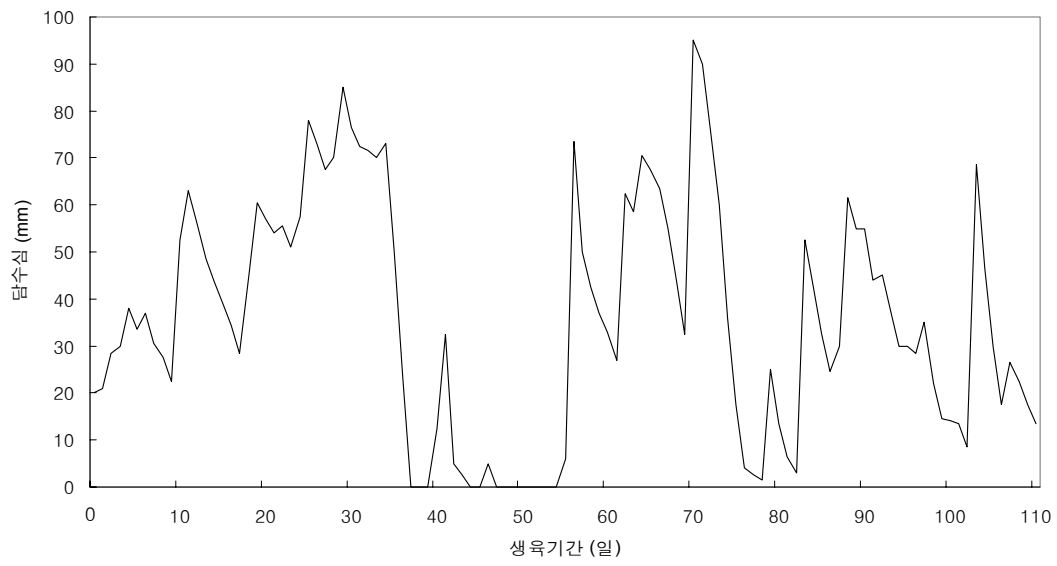




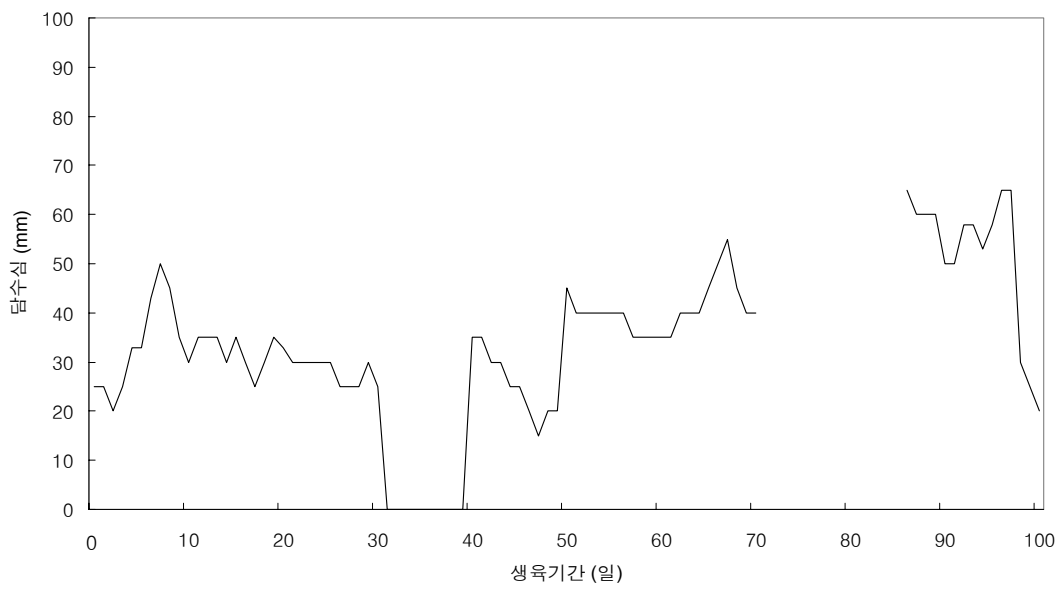
(c) 2003

그림 2.2 경북 군위군 효령면의 일별 담수심

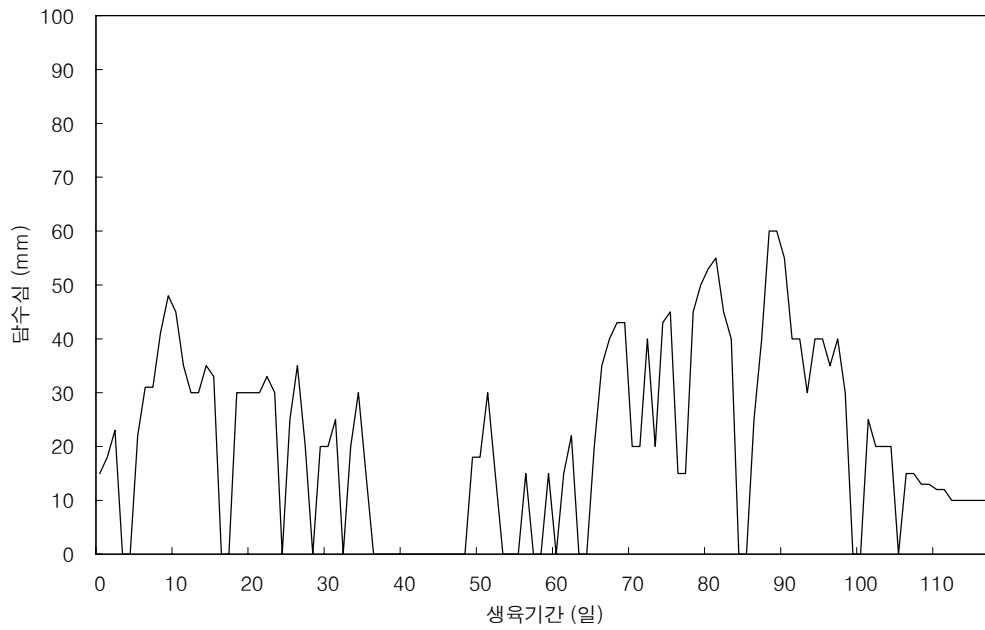
그림 2.3은 2001년에서 2003년까지 경상남도 거창군 거창읍에서 관측한 논 담수심 변화를 나타낸다. 5월 27일 이앙을 하였으며, 그림 2.3(a)는 이앙일부터 47일과 55일경에 중간낙수를 실시하였다. 이앙 후 10일동안 어린 모의 도복을 방지하고 활착을 촉진시키기 위하여 담수심을 3.5cm 정도로 유지하였다. 71일경에 담수심이 9.5cm로 가장 높았으며 78일경에 발생한 강우로 인하여 배수물꼬를 개방하였고, 80일 이후의 담수심은 6cm 정도로 유지하였고 관개는 담수심이 3cm정도가 되면 관개하였다. 그림 2.3(b)는 이앙 후 80일경에 장마로 인하여 관측을 하지 않았다. 담수심은 4~6cm 정도로 유지하여 그림 2.3(a)에 비하여 낮게 유지되었으며 중간낙수이후부터 담수심이 커지는 경향이 나타나며 95일경에 담수심이 6.7cm로 가장 크게 나타났다. 그림 2.3(c)는 이앙 후 38일부터 중간낙수를 약 10일간 하였으며, 55일부터 65일 사이에 발생한 강우로 배수물꼬의 개방과 재관개가 반복되었다. 이앙 후 85일, 100일 및 105일에 발생한 강우 때문에 배수물꼬를 개방하였다가 재관개를 하였다. 2003년도에는 잦은 강우로 인하여 배수물꼬를 낮게 유지하므로써 담수심이 전반적으로 작게 나타났다.



(a) 2001



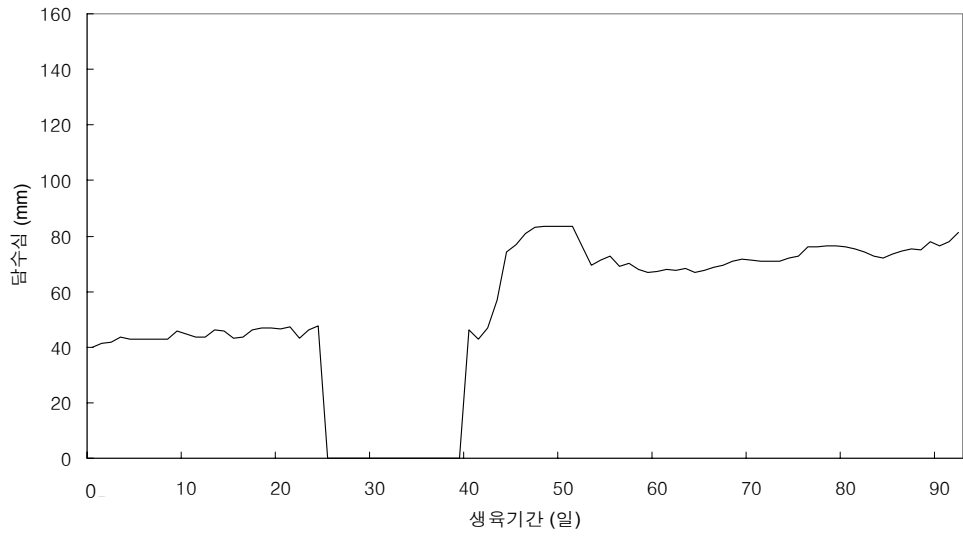
(b) 2002



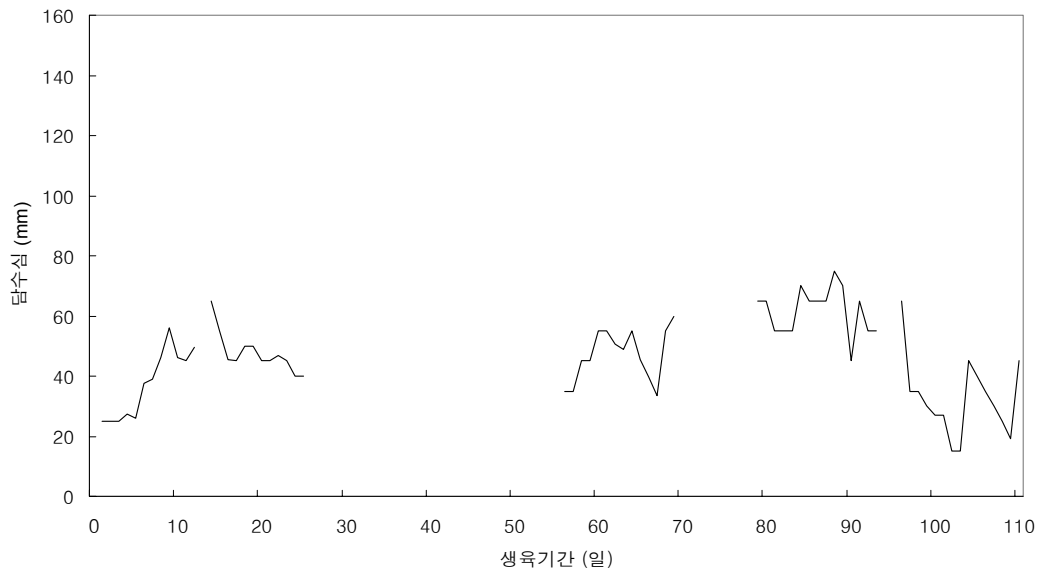
(c) 2003

그림 2.3 경남 거창군 거창읍의 일별 답수심

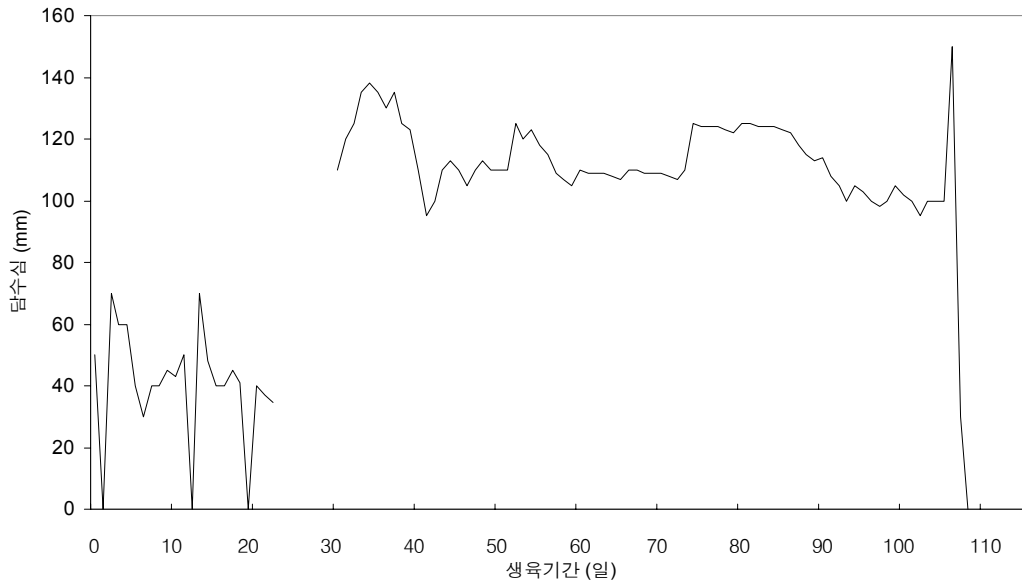
그림 2.4는 2001년부터 2003년까지 전라북도 김제시 부량면에서 관측한 논 답수심 변화를 나타낸다. 이양일은 5월 29일이고 품종은 일미벼이다. 그림 2.4(a)에서 답수심 관리는 이양일부터 중간낙수까지 답수심을 4~6cm정도 유지하다가 중간낙수가 끝난 후에 답수심을 8cm 정도 유지하였다. 답수심의 변화가 거의 없어 안정적인 답수심 관리형태로 보이지만, 관개를 지속적으로 행함으로써 관개량이 배수물꼬를 통해 월류를 하므로써 답수심의 감소가 발생하지 않고 배수물꼬 높이만큼 상시답수가 되었다. 그림 2.4(b)에서 중간낙수는 6월 24일경부터 7월 23일까지 한달간 시행하였다. 이양일부터 중간낙수까지 배수물꼬 높이는 약 6cm로 답수심은 5~6cm로 유지하였다. 이양일부터 88일경에 답수심이 7.5cm로 가장 높게 나타났고 100일경에 발생한 강우로 배수물꼬를 개방하여 답수심이 2cm 이하로 낮아졌다. 그림 2.4(c)에서는 6월 24일 중간낙수 이후의 연속된 강우로 인하여 답수심은 10cm ~ 15cm 로 유지하다가 9월 12일에 발생한 태풍 매미가 지나간 후에 배수물꼬를 완전 개방하였다.



(a) 2001



(b) 2002



(c) 2003

그림 2.4 전북 김제시 부량면의 일별 담수심

그림 2.5는 2001년도 충청북도 보은군 보은읍에서 관측한 논 담수심 관측결과를 나타낸다. 충북 보은군 보은읍의 일별 담수심을 살펴보면 중간낙수기간을 두지 않고 담수심 관리를 하였는데, 이는 이 지역 농민들의 관행적인 담수심 관리로 조사되었다.

그림 2.5에서는 이앙일부터 20일경에 담수심이 12cm로 관개기간 중에 가장 높게 나타났으며, 45일 이후로는 담수심을 4cm ~ 6cm 정도로 유지하였다. 이앙일부터 40일과 69일경에 강우발생으로 배수물꼬를 개방한 후 재관개를 하였으며, 103일경에 관개를 중단하고 배수물꼬를 개방하여 수확을 위한 트랙터 장비의 이동을 용이하게 하기 위한 논바닥을 굳히기 시작하였다.

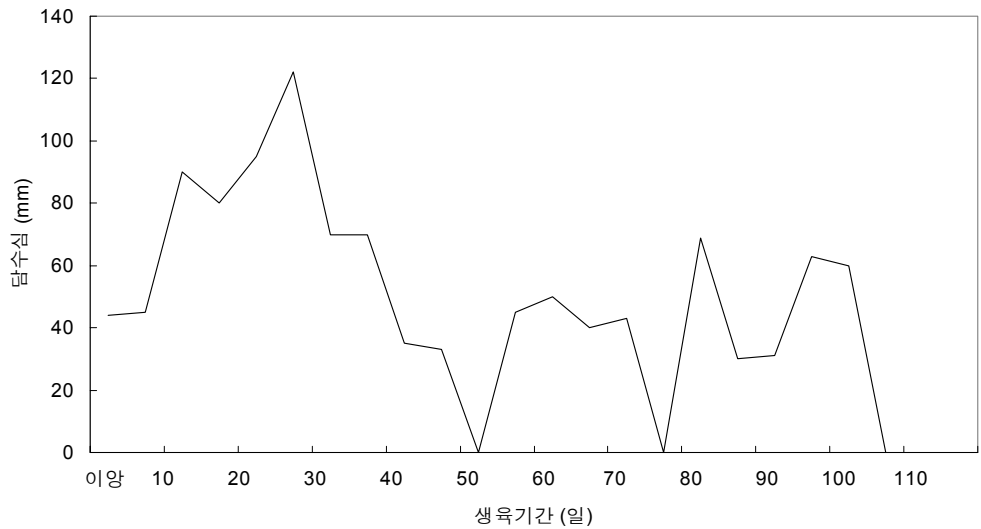


그림 2.5 충북 보은군 보은읍의 일별 담수심

그림 2.6은 전 지역의 담수심을 종합적으로 검토하기 위하여 관개기간동안 담수심의 대표 값을 도시하였다. 이앙 후 활착기에 담수심이 6cm ~ 9cm 정도로 나타났으며 분얼기에는 약 10cm로 유지하는 것으로 나타났다. 유수형성기에는 담수심이 최대 18cm까지 나타났고, 8cm ~ 10cm 이상의 심수관개를 하는 경향이 있었다. 유숙기와 황숙기에 담수심이 각각 최대 14cm와 13cm로 나타났으며, 이 시기에는 많은 물이 필요 없는데도 불구하고 8cm ~ 10cm의 담수심을 유지하는 것으로 나타났는데 이는 수자원의 이용면에서 볼 때 비효율적이라 할 수 있다. 또한, 중간낙수층 지역에 따라 행하지 않는 곳이 있었으며 강우 발생시 배수물꼬를 개방한 후에 강우가 끝나면 배수물꼬 높이만큼 재관개를 하므로써 비효율적인 물관리가 이루어지고 있었다.

따라서 적절한 담수심 관리기법이 현장에 적용된다면 효율적으로 수자원을 이용할 수 있다. 또한, 정확한 기상정보가 제공되고 불필요한 배수물꼬 개방을 지양한다면 많은 유효우량을 확보하여 안정적인 용수관리를 할 수 있을 것이다.

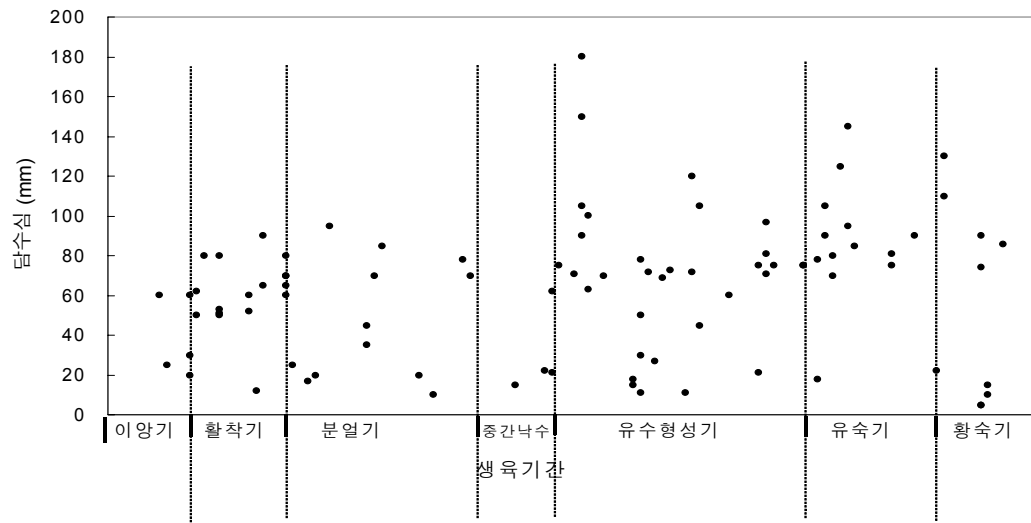


그림 2.6 생육기별 담수심 분포도

## 제4절 요약 및 결론

벼재배의 방법에는 이앙재배와 직파재배가 있다. 이앙재배는 못자리에서 육묘한 모를 본답에 이앙하는 방식을 말한다. 직파재배는 육묘를 별도로 하지 않고 본답에 직접 파종하는 것을 말하는데, 씨린 논에 파종하는 답수직파와 기계를 이용하여 건답에 파종하는 건답직파로 구분된다.

이앙재배의 장점은 다음과 같다.

- ① 어린 모가 좁은 면적의 못자리에서 생육되기 때문에 집약적인 관리·보호를 받을 수 있다.
- ② 못자리기간만큼은 본논을 다른 용도로 이용할 수 있어 토지 이용도를 높일 수 있다.
- ③ 본논에 물을 대는 기간이 단축되어 관개수를 절약할 수 있다.
- ④ 일정한 간격으로 모를 심기 때문에 본논의 재배관리가 쉽다.
- ⑤ 본논관리를 집약적으로 수행함으로써 단위면적당 수확량을 높일 수 있다.

최근의 영농방식의 변화는 벼 직파재배 면적의 증가, 어린모 기계이앙의 확대, 발전환 농업, 친환경농업, 기계화·자동화에 의한 농법, 경지의 대구획화 등으로 구분할 수 있다. 이러한 영농방식의 변화는 필연적으로 재배작물의 변경, 작부시기의 변경, 물관리 방식의 변화를 수반하게 되어 포장에서의 필요수량 변화를 가져온다.

지역별 논 답수심관리 실태를 알아보기 위하여 경기도 안산시 사동, 충북 보은군 보은읍, 전북 김제시 부량면, 경남 거창군 거창읍, 경북 군위군 효령면의 전국 5개 지역에 대해 답수심 관측을 한 결과, 강우 발생시 배수물꼬를 개방하므로써 유효우량을 적절히 이용하지 못하고 있는 실정이었다. 또한 대체적으로 관습적인 답수심 8cm ~ 10cm의 심수관개를 행하므로써 물을 낭비하고 있다.

따라서 최적관개기법을 개발하므로써 논 관개용수를 절약하고 정확한 관개시기와 관개량의 결정으로 하므로써 가뭄대처 능력을 증대시켜야하며 적정관개량의 공급으로 불필요한 배수를 배제하여야 할 것이다.



## 제3장 논 담수심처리에 따른 물수지 분석

### 제1절 서론

우리나라 수자원정책은 물수요를 줄이는 방법보다는 물공급을 늘리는 방법만 고수해왔다. 정부의 물정책이 공급위주가 아닌 수요관리체계의로의 전환이 필요한 시점이다. 우리나라 용수수요는 연간 321억 $m^3$ 으로 그 중 약 50%가 농업용수로 이용된다. 농업용수는 다른 부분의 용수에 비해 그 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 주로 심수관개가 행해지고 있으며 이는 관개효율을 저하시키고 과도한 농업용수를 필요로 하게 된다.

지금까지 논에서의 관개방법과 용수량에 관련된 연구는 다음과 같다.

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.

절수관개의 절수효과와 벼 수량에 미치는 영향에 대한 연구는 농촌진흥청(1966)에 의하면 담수심 관리방법이 벼 수확량에 미치는 영향은 상시담수를 하는 것보다 4일 담수하고 2일 낙수하는 간단관개가 좋다고 하였으며, 관행재배법과 절수재배법과의 수량비교에서는 절수재배법이 증수효과가 크다고 하였다. 이 등(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 $m^2$  크기의 시험구에서 세 가지 담수심 처리를 3반복하여 실험하였다. 담수심처리는 (1) 보통구- 5cm에서 8cm (1966) 또는 3cm에서 4cm (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 나타

내었다. 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 60mm 정수위, 60mm, 40mm, 20mm의 변수위 및 60mm에서 0mm의 임의수위 등의 세 가지 형태로 관리하였는 바, 동일한 증발산량 조건 하에서 변수위 관리가 높은 수확량을 나타내었다고 하였다. 정 등(1999)에 의하면 심수관개는 7cm ~ 10cm, 천수관개는 1~3cm 깊이가 적당하며 이양 직후 2주 정도와 중간낙수 이후 3주정도 이외에는 간단관개가 오히려 생육에 좋다고 하였다. 강 등(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.

국내의 절수관개에 관한 연구를 살펴보면 담수심이 낮은 간단관개를 하는 것이 관행적인 심수관개보다 생육이 좋고 수확량이 증가하며 관개량을 많이 줄일 수 있다는 결과들이 도출되었다.

논에서의 물수지 분석은 농업용수에서 가장 많은 비중을 차지하는 논에서의 물관리를 안정화시키고 적절한 관개량을 공급하는 계획을 수립하는데 필요하다. 우리나라는 1975년~1980년까지 6개년 동안에 국제수문개발 10개년계획 사업을 추진하여 한강, 금강, 낙동강수계에 대하여 물수지 계산방법의 개발, 강우-유출관계의 모형개발 등을 유역 특성에 맞도록 조사하기 시작하여 한정된 수자원을 더욱 효율적으로 이용할 수 있도록 하였다. 안(1989)은 경남 밀양군 제대천 유역 1,411ha의 논에 대하여 저류량의 변화와 회귀율을 조사하였다. 그 결과 저류량의 변화는 1mm/d로 나타났다. 임 등(1997)은 논외 물수지 모형을 구성하여 일별 유출량을 추정하였고, 추정된 유출량의 범위는 1.0mm ~ 47.6mm로 나타났다. 정 등(1998)은 경남 진주시 마성리 일대 약 104ha의 논에 대하여 물수지 분석을 실시하였다. 그 결과 총관개량은 794mm이고, 총유출량은 1,215mm로 나타났다. Chung(1998, 2000)은 청도 운문면 일대 약 110ha에 대하여 물수지 분석을 실시하였는 바, 총 관개량은 3,844mm, 배수량은 1,299mm로 나타났다.

국내 논에서의 물수지 분석과 관련된 연구는 아직 미비한 실정이며, 앞으로 많은 연구를 통해 축적된 물수지 분석결과를 통해 논에서의 담수심 관리를 안정화시키고 적절한 관개량의 공급계획을 수립하는 것이 필요한 것으로 사료된다.

일본에서는 富士崗(1956)이 심수관개보다 천수관개가 벼의 생육 및 수확량에 좋은 영향을 미친다고 하였고 담수심과 생육, 수확량과의 관계 및 관개적기에 관한 연구에서 초장의 크기는 담수심과 관계가 없다고 하였다. 분얼기에는 논 토양을 75% 이상 포화시키는 것이 필요하고, 수잉기 및 개화기에는 10mm ~ 30mm정도 담수하고 기타 시기에는 논 토양을 75% ~ 100%정도로 포화시켜도 수확량에는 별 영향이 없었으며, 관개량을 약 50% 절약할 수 있다고 하였다. Kaneko 등(1969)이 Marugame 평야의 논 4,200ha 에 대하여 지하수 유동과 저류량 변화를 중심으로 물수지를 조사하였다. 그 결과 지하수 유동량이 평균 -1.1mm/d 로 매우 작았으며 저류량 변화량은 +0.4~3.5mm/d의 범위로 나타났음을 보고하였다. Hatta(1967)와 Tabbal 등(1992)은 논 담수심을 매우 얇게 유지하거나, 토양만 포화시키거나, 습윤과 건조를 교대로 하는 논의 물관리는 전통적인 방법인 심수관개와 비교하여 수확량 감소가 없었으며 관개수량을 40~70% 절감할 수 있었다고 보고하였다. Anbumozhi 등(1998)은 담수심을 0, 3, 6, 9, 12, 15 및 18cm로 처리하고 시비량을 조절하여 벼의 생육과 수확량에 미치는 영향을 조사하였다. 그 결과, 담수심을 12cm와 15cm로 하는 것보다 얇게 하는 것이 수확량 감소가 더 적고 벼의 생육이 좋다고 하였다. 또한 담수심을 9cm로 하고 벼의 생육기별 담수심을 변화시키면서 고도의 관비재배(Fertigation : 시비(Fertilization)와 관수(Irrigation)를 합친 용어로, 작물이 필요로 하는 양분과 물을 혼합하여 적절한 농도의 양액을 만든 후 원하는 시간에 언제든지 공급함으로써 농작물에 최적의 영양분을 제공하는 재배기술)를 할 경우에 가장 높은 수확량을 가지는 것으로 나타났다. Mizutani 등(1995)이 일본에서 5월부터 8월까지 120일간 논지대의 물수지를 분석한 결과, 관개기간동안 강우량이 900mm이었고 총 관개량은 1,800mm, 지표유출량은 660mm, 그리고 증발산량과 침투량은 각각 660mm와 1,440mm로 나타났다. 이 중에서 침투량은 심층침투가 360mm이고 논둑을 통한 횡침투로 강이나 하천으로 회귀되는 양이 1,080mm라고 하였다. 向井 등(1999)은 일본의 논 담수심 관리 실태를 조사하였으며, 북부의 Aomori지방은 냉해방지를 위하여 심수관개를 하고 있으며 남쪽으로 내려올수록 천수관개 및 간단관개를 하고 있다고 보고하였다.

중국의 경우 1950년대 말부터 벼논의 물절약 관개에 관한 연구가 시작되었으며, Xu(2000)는 새로운 절수관개기법을 통해 약 20~30%의 물을 절약할수 있다고 하였다. 그에 따르면 1998년에는 총 물절약 관개지역이 15.33 백만 ha이고, 2000년에는 18.67 백만 ha에 달할 것이라고 추정하였다. 또한, 물 이용율이 15%나 증가하고, 연간 600억 m<sup>3</sup> 정도의 농업용수가 절약될 것이라고 하였다. 중국 Wuhan 서쪽 200km에 있는 Hubei의 Zhang He 관개지구에서 IWMI, IRRI, 및 Wuhan 대학이 공동으로 논에서의 물절약 관개의 이점을 조사하기 위한 연

구를 수행 중에 있으며, 지금까지의 연구결과에 의하면 천수 간단관개가 용수절약은 물론 생산량의 증가에도 기여한다고 하였다.

Borell et al(1997)의 연구를 보면 1cm 정도의 극천수관개로 토양수분을 포화상태로 유지하는 포화토양 관개(Saturated Soil Culture : SSC) 기법을 적용한 결과 담수심을 6cm로 상시담수할 경우보다 관개량을 34% 절약하였으나 수확량이 16~34% 감소하였다. Thompson(1984)은 호주의 New South Wales지역에서 60~100cm 폭의 육묘상면 형태로 SSC 기법으로 관개하면 관개량과 수확량이 10% 정도 감소되었다고 하였다.

국외의 절수관개와 관련된 연구결과들은 주로 담수심이 낮은 간단관개가 관개량을 줄일 수 있고 수확량을 늘릴 수 있다고 하였다. 또한, 새로운 절수관개기법으로 관비재배와 SSC 기법 등을 통해 관개량을 줄이고 수확량을 증가시키는 연구들이 수행되고 있었다.

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 늘일 수 있다고 하였다.

## 제2절 시험지구에서의 물수지

### 1. 시험포장

#### 1.1 시험포장의 배치

본 연구를 위해 선정한 시험포장은 대구시 북구 동호동 소재 경북농업기술원 답작포 실험포장이다. 25m×80m 크기의 포장을 8m×80m의 3구역으로 나누어 극천수관개, 천수관개, 심수관개의 3가지 담수심 처리를 하였으며 관개량, 배수량, 증발산량, 침투량, 강우량 등을 측정하였다. 또한, 논과 논사이의 횡침투를 방지하기 위하여 논둑 아래에 두께 0.05mm PE 필름을 두겹으로 매설하여 차수막을 설치하였다. 시험구의 주요관측시설의 배치는 그림 3.1과 같다. 관개량은 관경 75mm 유량계를 이용하여 각 시험구마다 1개씩 설치하여 측정하였고, 배수량은 관경 75mm 유량계와 파살플룸을 이용하여 배수량을 측정하였다. 증발산량은 직경 1m, 깊이 1m의 원통형 유저라이시미터를 각 시험구마다 3개씩 매설하여 측정하였다. 침투량은 2001년도에는 무저라이시미터를 각 시험구마다 1개씩 설치하여 감수심을 측정하고 증발산량 값을 빼서 침투량을 구하였고, 2002년도와 2003년도에는 직경 20cm의 원통형 침투계를 추가로 매설하여 침투량을 측정하였다. 담수심의 관측은 유입구와 배수구 쪽에 표척을 설치하여 일별로 관측하였다.

#### 1.2 토성

토양의 물리적 성질에는 토성, 구조를 비롯하여 보수성, 모관력, 투수성, 통기성 등이 있다. 토양입자의 크기별 분포가 토성(soil texture)을 결정짓게 되고, 토양의 기하학적 형상과 결합상태가 토양구조(soil structure)를 결정짓는다. 토양의 여러 가지 물리적 성질은 토성과 토양구조에 관련되어 있다. 토성은 토립자의 구성비율에 따라 사토, 사양토, 양토, 식양토, 식토 등으로 구분되며 국제토양학회, 미국 농무성, 미국 공로국 등 기관에 따라 토성분류 방식이 약간씩 다르다.<sup>3)</sup>

흙은 토성에 따라 투수성, 통기성, 열전도도, 경운의 난이 등 물리적 성질이 달라지므로 작물생육과도 밀접한 관계가 있다.

시험지구의 논에서 채취한 깊이별 토양시료의 토성을 삼각분류법을 사용하여 분석하였다. 표 3.1은 깊이별 토성을 보여주며 점토질 롬으로 나타났다.

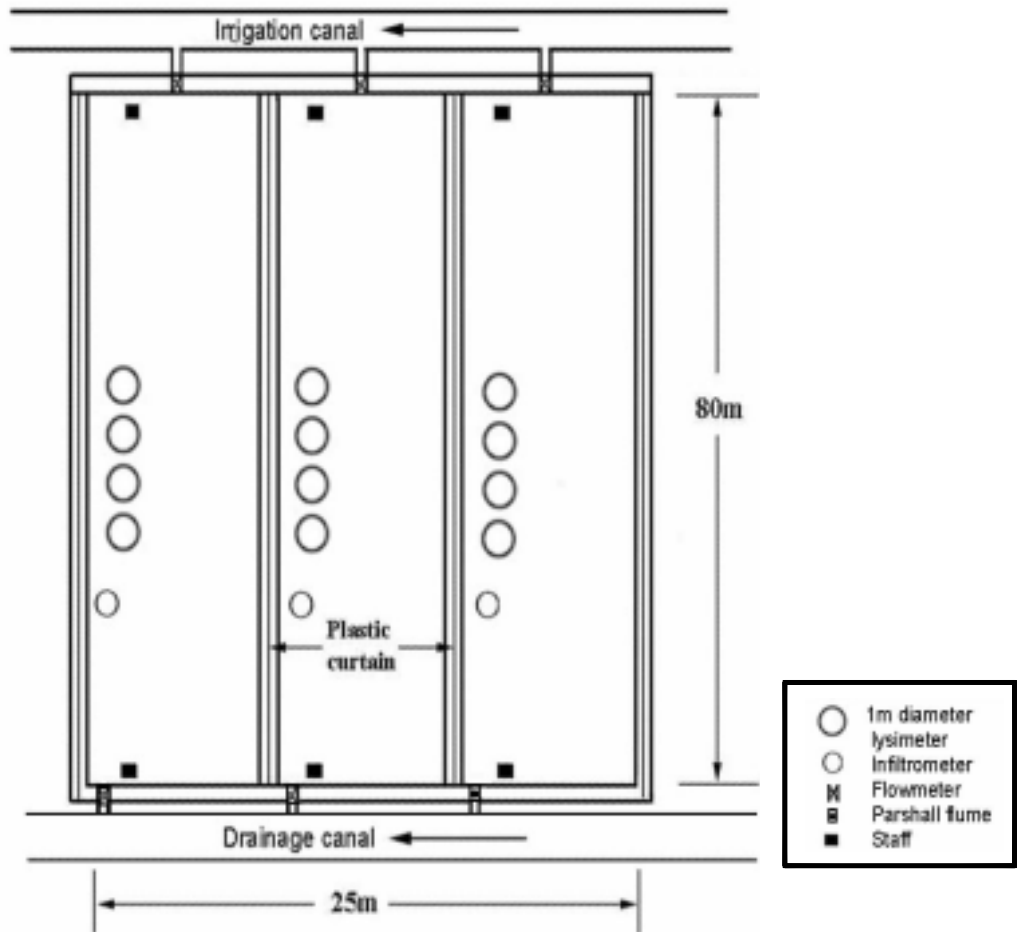


그림 3.1 시험포장의 관측시설 배치도

표 3.1 깊이별 토성분석결과

토양깊이 \ 분류	모래 (%)	실트 (%)	점토 (%)	토 성
0-20cm	31.4	30.2	38.4	점토질 로움
20-40cm	35.1	27.7	37.2	점토질 로움
60-80cm	38.5	24.6	36.9	점토질 로움

### 1.3 기상

본 대상지역과 가장 가까운 기상대인 대구 기상대의 기상연보로부터 1971년부터 2000년까지 30년간의 평균값을 대비값으로 하여 시험기간인 2001년, 2002년, 및 2003년도의 기상자료와 비교하였다.

표 3.2에서 보면, 3개년 평균기온의 경우에 30년 평균값과 큰 차이를 보이지 않았다. 강수량은 2001년에는 6월에 282.9mm로 가장 높게 나타났고 8월에 73.6mm로 가장 낮았다. 2002년에는 6월에 23.3mm로 가장 낮았고, 8월에 680.3mm로 30년 평균강수량의 약 3.3배나 크게 나타났다. 2003년에는 전 관개기간에 걸쳐서 강수량이 크게 나타났고, 특히 7월과 9월에 각각 535.6mm와 292.2mm로 예년에 비해 2배 이상 강수량이 크게 나타났다. 강우량과 일조시간의 관계를 보면 2003년은 전 관개기간에 걸쳐 잦은 강우에 의한 저온 및 일조시간 부족으로 벼 생육에 불리한 기상을 나타내었다. 일조시간은 2001년 6월과 2002년 8월과 2003년 7월에 각각 161.8hr과 101.7hr과 91.2hr로 가장 낮게 나타났다.

표 3.2 주요기상인자에 대한 2001년 2002년, 2003년 및 30년 평균 값의 비교 (대구기상대)

기상인자	6				7				8				9			
	'01	'02	'03	30 yr ave.	'01	'02	'03	30 yr ave.	'01	'02	'03	30 yr ave.	'01	'02	'03	30 yr ave.
평균기온 (°C)	23.9	23.3	22.2	22.5	27.7	26.1	22.5	25.7	24.9	27.2	25.0	26.1	21.0	22.0	22.1	21.3
상대습도 (%)	66.3	56.5	67.1	67.6	70.9	72.5	80.0	74.3	67.8	77.0	75.1	74.0	66.9	70.2	74.2	72.0
평균풍속 (m/s)	1.9	2.7	2.3	3.0	1.8	2.7	2.4	2.9	1.8	2.6	2.1	2.9	1.7	2.3	2.2	2.5
강수량 (mm)	282.9	23.3	168.5	140.7	120.9	169.4	535.6	206.7	73.6	680.3	195.4	205.8	126.2	68.4	292.2	129.6
일조시간 (hr)	161.8	227.4	142.9	184.4	200.4	130.6	91.2	161.8	177.9	101.7	119.3	173.7	199.7	181.6	133.3	170.3

## 2. 담수심 처리

### 2.1 여러 가지 담수심 형태

그림 3.2는 여러 가지 논 담수심 관리형태를 나타낸다. (a)는 우리나라의 관행적인 심수관개를 나타내고 있으며, (b)는 농림부에서 선정한 물관리 기준으로써 이앙 후 약 10일 정도는 6cm 정도 담수심을 유지하여 어린 모의 뿌리가 논바닥에 활착하도록 하고 중간낙수 전까지 간단관개를 하며, 벼의 생육기간중 가장 많은 물이 필요한 시기인 유수형성기에는 6cm 정도 담수심을 유지하고 이후에는 다시 간단관개를 하도록 하였다. (c)는 정 등이 제시한 물관리 기준이며 유수형성기에 담수심을 높게 하고 이후에는 간단관개를 하는 것이다. (d)는 중국 산둥지방에서 담수심을 1cm 정도로 하여 토양수분을 포화상태로 유지하는 천수 간단관개의 물관리 기준이다. (e)는 일본에서 논 담수심 관리 형태를 나타내며, 북부 지방에서는 심수관개를 남쪽으로 내려올수록 천수관개 및 간단관개를 하는 것으로 나타났다.



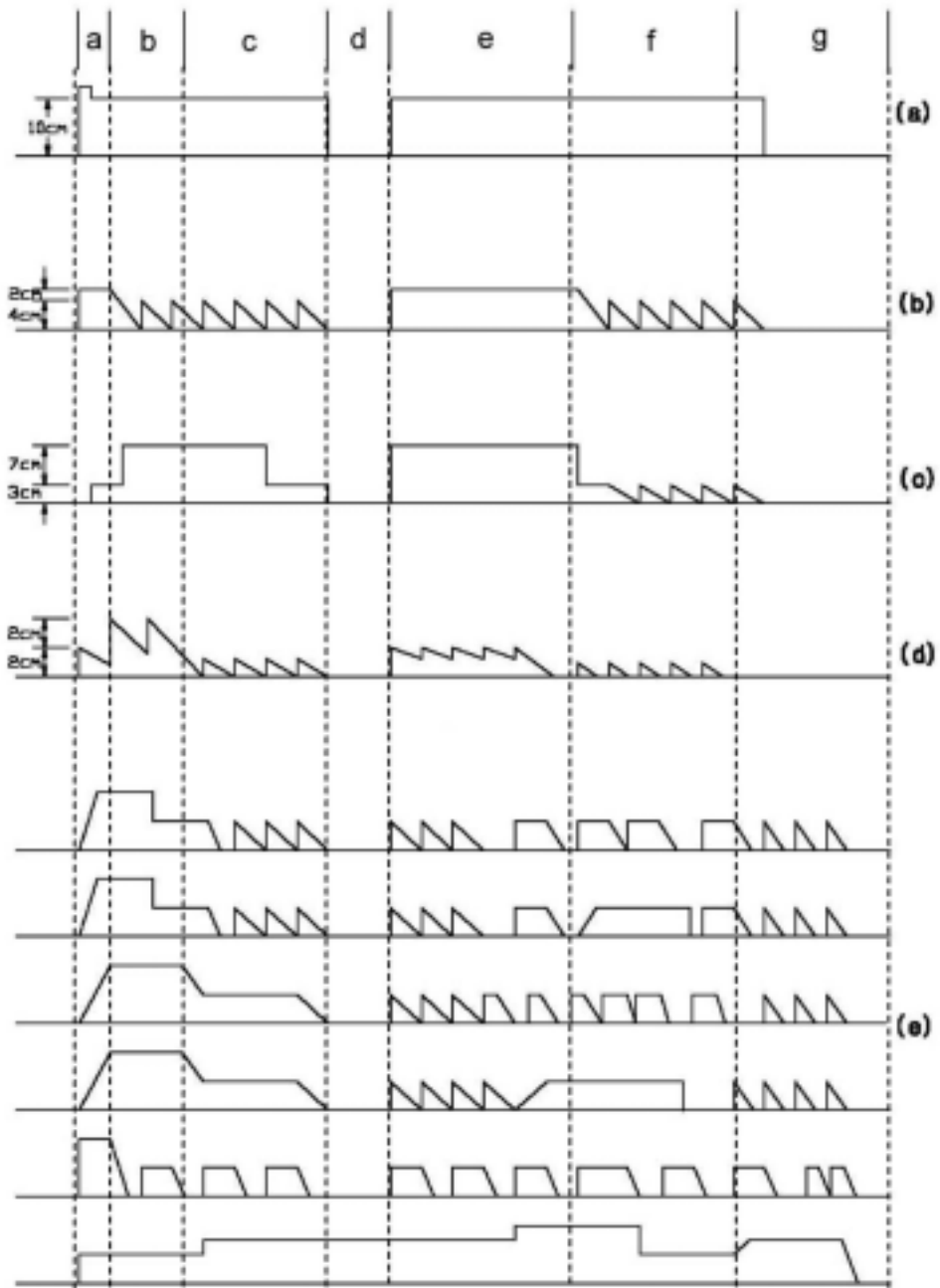
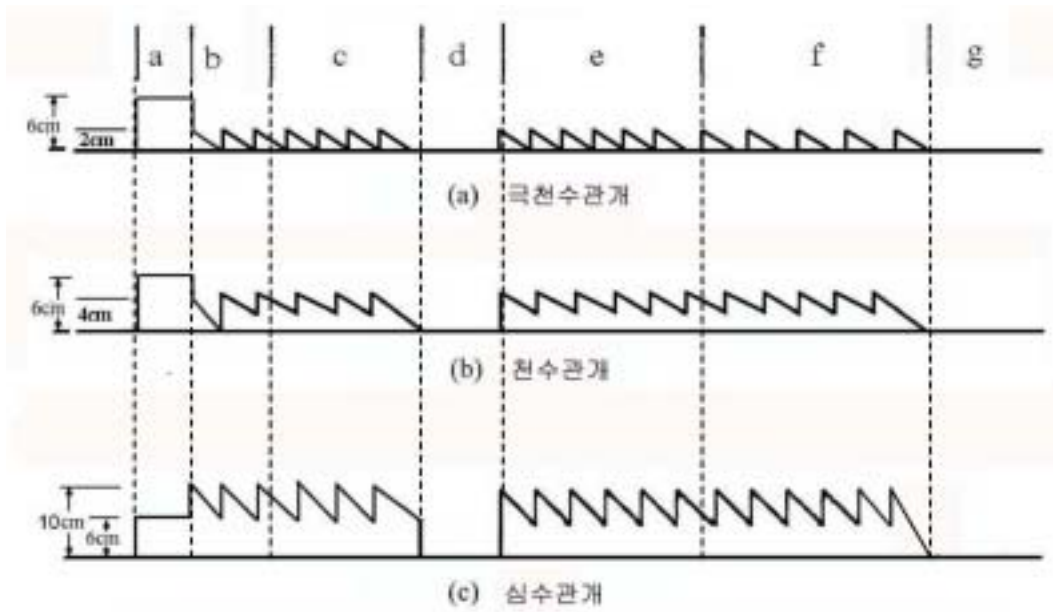


그림 3.2 여러 가지 논 담수심 관리형태

## 2.2 시험구의 담수심 처리

그림 3.3은 시험구에 적용된 담수심처리를 나타낸다. 천수관개의 경우에 용수절약과 수확량이 높은 관개방법으로 나타났으며 담수심이 얕을수록 벼의 생육과 수확량이 좋다고 하였으며, 본 연구에서는 절수관개기법 개발을 위한 대표적인 담수심 관리방법으로 극천수관개, 천수관개, 심수관개를 선택하여 경북농업기술원 답작포 시험포장에서 시험 관측하였다. 이양 후 10일정도는 어린 모의 뿌리 활착을 돕고 물 속에 잠기는 것을 방지하기 위하여 담수심을 약 4cm ~ 6cm 정도로 유지하였다. 그 이후에는 배수물꼬높이를 2cm, 4cm, 10cm로 조정하여 각각 극천수관개, 천수관개, 그리고 심수관개를 하였다.

극천수관개는 Xu(2000)의 연구를 토대로 배수물꼬 높이를 2cm로 하여 간단관개를 하였으며, 벼의 생육후반기부터 논바닥이 드러나면 배수물꼬 높이까지 관개량을 공급하였다. 천수관개는 농림부(1996)에서 제시한 바람직한 물관리 기준에 따라 배수물꼬 높이를 4cm로 하여 담수심이 1cm 정도 되면 배수물꼬 높이까지 관개량을 공급하였고 심수관개는 배수물꼬 높이를 10cm로 하여 담수심이 4cm 정도 되면 관개를 시작하여 담수심이 10cm가 되도록 하였다.



- a: 이양기      b: 활착기      c: 분열기      d: 중간낙수  
 e: 수잉기      f: 유숙기      g: 황숙기

그림 3.3 시험구의 담수심 처리

### 3. 포장관측

#### 3.1 물수지 방정식

논지대의 물수지식은 다음과 같다.

$$(R + Q_1) - (ET + DP + Q_2) = \Delta S \quad (3.1)$$

여기서,  $R$  : 강우량,  $Q_1$  : 관개량,  $ET$  : 증발산량,  $DP$  : 침투량,  $Q_2$  : 배수량,

$\Delta S$  : 저류량의 변화량

본 실험에서는 유효우량을 산정하여 무효우량은 모두 배수되는 것으로 하였고 관개량은 배수되지 않게 관리하였으므로 (3.1)의 물수지식은 식(3.2)와 같게된다.

$$(R_{ef} + Q_1) - (ET + DP) = \Delta S \quad (3.2)$$

여기서,  $R_{ef}$  : 유효우량

논지대 물수지에서 담수심, 강우량, 감수심, 배수물꼬높이의 관계는 다음과 같다.

$$D_{max} \leq D + R - U \text{ 이면}$$

$$Q = 0 \text{ 이고 } Rep = D_{max} - D + U \text{ 이다.} \quad (3.3)$$

여기서  $D_{max}$  : 최대담수심으로서 배수물꼬높이 (mm),  $Rep$  : 가능유효우량 (mm)

$D$  : 담수심 (mm),  $U$  : 감수심 (mm)

유효강우량  $R_{ef}$ 는 다음 관계에서 구할 수 있다.

$R \geq Rep$ 이면  $R_{ef} = Rep$  이고

$R < Rep$ 이면  $R_{ef} = R$  이다.

여기서,  $5 \text{ mm} \leq R_{ef} \leq D_{max}$

### 3.2 강우량과 유효우량

강우 중 논에서 이용되는 양을 유효우량이라고 하며, 소비수량에서 유효우량을 뺀 나머지 부족한 수량을 관개하면 된다.

유효우량은 강우강도와 발생빈도에 따라 달라진다. 농업용수에 있어서 유효우량의 경년변화가 크기 때문에 타용도 수요량과 같이 평균 개념의 수요량을 산정할 수 없어서 10년 빈도의 가뭄을 기준하는 것을 원칙으로 하고있다. 또한 경지의 경작상태, 작물의 종류, 경작방법, 경사 등 경지인자도 상당한 영향을 미친다.

벼의 경우 담수재배가 특징이므로 물꼬의 높이와 당일의 강우강도가 지배적인 인자이다. 벼의 유효우량 산정법은 대체적으로 3가지로 대별할 수 있다.

- ① 일 강우량의 비로 산정하는 방법 (일우량비법)
- ② 배수물꼬높이를 가정하여 이를 담수심으로 하는 방법 (60mm 담수심법)

### ③ 배수물꼬높이와 상시관리담수심을 함께 고려하는 방법 (일담수심 추적법)

일우량비법은 강우량에 상한값과 하한값을 설정하고, 그 강우량에 일정비율을 곱하여 유효우량을 얻는다. 논관개에는 일우량의 상한을 50~80mm, 하한을 5mm로 하여 그 80%를 유효우량으로 산정한다. 따라서, 유효우량은 일우량이 5mm이하인 경우에는 0으로 하고, 일우량이 5mm로부터 80mm까지는 일우량의 80%, 일우량이 80mm를 넘는 경우에는 64mm(80mm의 80%)로 한다. 연속강우인 경우, 2일째 이후에는 전일의 유효우량으로부터 일감수심을 뺀 양이 다음날 반복이용되는 것으로 하여 여기에 당일의 유효우량을 더한 값을 상한으로 한다.

60mm 담수심법은 배수물꼬높이를 60mm로 가정하고, 60mm이하면 전량을 유효우량으로 보고 그 이상이면 무효우량으로 취급하는 것이다. 이 방법은 컴퓨터에 의해 유효우량을 계산하기 시작하면서 채택된 방법이다.

일담수심 추적법은 논외 담수심을 일별로 추적하여 당일의 물수지를 통해 일일이 유효우량을 산정하는 방법이다.

본 연구에서는 대상지구의 논외 우량계를 설치하여 현장 강우량을 일별 측정하고 일담수심 추적법을 이용하여 유효우량을 산정하였다.

### 3.3 관개량 및 배수량

관경 75mm 기계식 관수로 유량계 및 파살플롬을 이용하여 각 필지의 관개량과 배수량을 관측하였다. 기계식 유량계 설치시 유량계 입구부근에 저수조를 만들어서 물을 가둔 후에 관로 중심에서 수위가 9cm이상이면 관개를 시작하여 계기오차를 줄이도록 하였다.

그림 3.4는 대상지구에 관개량을 공급하기 위하여 설치된 유량계와 저수조의 설치현황을 나타낸다. 저수조의 크기는 50cm×50cm×50cm 이다. 그림 3.5는 배수량 측정을 위해 설치한 파살플롬이며, 그림 3.6은 배수물꼬를 나타낸다. 그림 3.7은 우량계와 배수량을 측정하기 위한 유량계의 설치전경이다.



그림 3.4 관개용 유량계



그림 3.5 파살 플룸



그림 3.6 배수물꼬



그림 3.7 우량계와 배수용 유량계

### 3.4 증발산량

증발산이란 토양 표면, 수면 및 엽면의 수분이 증발하는 증발과정과 토양의 수분이 식물을 통하여 대기 중으로 방출되는 증산과정을 통칭한다.

실제 포장에서 증발산량은 생육 초기에는 지표면의 수분 증발에 의해 지배되어 그 값이 매우 낮다가, 점차 성장이 진행됨에 따라 증산 요인에 의해 지배되어 증발산량이 증대되며, 출수개화기에 최대를 이루고, 그 후 점차 감소되는 특성을 나타낸다.

증발산량의 측정을 위하여 직경과 깊이가 각각 1m인 유저 라이시미터 2개와 무저 라이시

미터 1개를 설치하여 감수심을 측정하고 직경 20cm 침투계를 설치하여 침투량을 관측하였다.

증발산량의 관측은 매일 오전 9시경 라이시미터의 수위를 관측하였다. 라이시미터의 감수심을 관측한 값에서 침투계에서 관측한 침투량을 빼서 증발산량을 구하였다.

그림 3.8은 현장에 매설된 라이시미터를 나타낸다.



그림 3.8 라이시미터

### 3.5 침투량

논의 침투량에는 강하침투와 논두렁 침투가 있다. 강하침투는 논 경운층을 통하여 이루어지는 침투를 말하고, 논두렁침투는 논 경운층 위를 침투하여 인접해있는 배수로나 논으로 유입되는 것을 말한다.

강하침투는 비료나 산소의 공급을 통하여 작물의 생육에 직접 영향을 끼치므로 논관계확상 대단히 중요한 의미를 갖는다. 이에 대하여 논두렁 침투는 작물의 생육에 직접 영향을 끼치지 않으며, 인접해 있는 논으로 침투될 경우에는 재이용되므로 강하침투만큼 중요시되지 않는다.

논의 침투량은 지형, 배수로수위, 지하수위, 토성, 토층, 공극 및 토양구조 등에 좌우된다. 특히, 지하수위, 토성, 토양배수, 토양구조, 불투수층의 위치에 크게 영향을 받는다.

벼의 생육 및 수확량과 침투량과의 사이에는 밀접한 관계가 성립하여 침투율이 10mm/day 이하인 극히 적은 논과 침투율이 50mm/day 이상인 과다한 논에서는 생산량이 저하되는 경향을 나타낸다. 특히, 벼의 생육초기의 침투량은 1일에 15-25mm 일때 가장 수확량이 많아지는데 이것을 적정침투량이라고 한다.

Mishra (1999)는 중질토에서 평균 담수심과 심층침투량의 관계를 다음과 같이 제시하였다.

$$DP = -0.164 + 0.08D$$

여기서, DP는 심층침투율 (cm/d)이고 D는 평균담수심 (cm) 이다. 이 식에 의하면 담수심 2.1cm까지는 심층침투가 거의 0이며, 그 이상은 담수심 1cm 증가에 대하여 0.8mm의 일 심층침투량이 증가한다.

침투량을 측정하는 방법에는 감수심을 측정하여 증발산량을 빼서 구하는 방법과 직접 측정하는 방법이 있다. 전자에는 한 필지의 논의 취수 및 낙수를 중지하고 완전히 담수한 상태에서 논에 표척말뚝을 박고 보수일수에 따른 논의 수위저하량을 측정한다. 이 경우 침투량은 식 (3.4)로 구한다.

$$\text{침투수심 (mm/day)} = \frac{\text{감수심} - (\text{증발산량} \times \text{보수일수})}{\text{보수일수}} \quad (3.4)$$

그리고, 후자에는 지름이 10~20cm 인 둥근 원통을 깊이 30cm 정도 매설하여 측정한다.

본 연구에서는 직경 20cm PVC 원통형 침투계를 이용하여 일별 측정을 하였다. 그림 3.9는 침투량을 측정하기 위해서 현장에 설치한 원통형 침투계이고, 그림 3.10은 논 담수심 변화에 따른 지하수위 변동을 살피기 위해 설치한 피에조미터의 설치도이다. 그림 3.11은 Guelph 침투계를 이용하여 현장 침투율을 측정하는 장면이며, 그림 3.12는 원통법으로 현장의 침입도를 측정하는 장면이다.



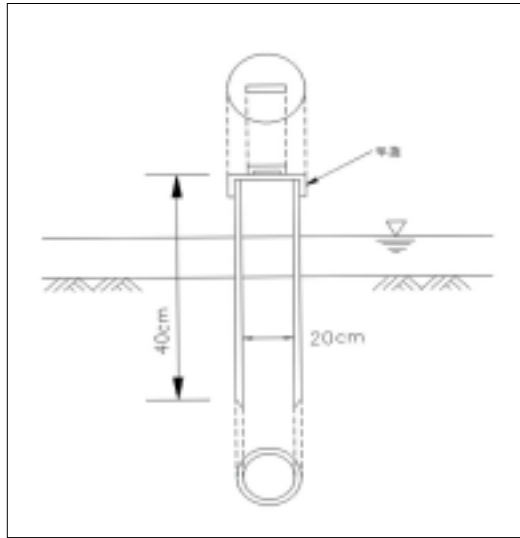


그림 3.9 원통형 침투계

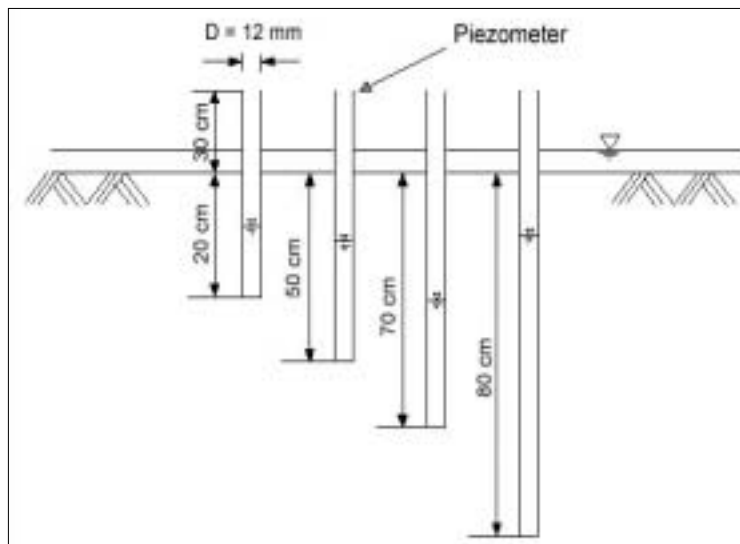


그림 3.10 피에조미터 설치 현황



그림 3.11 침투율 측정을 위한 Guelph 침투계

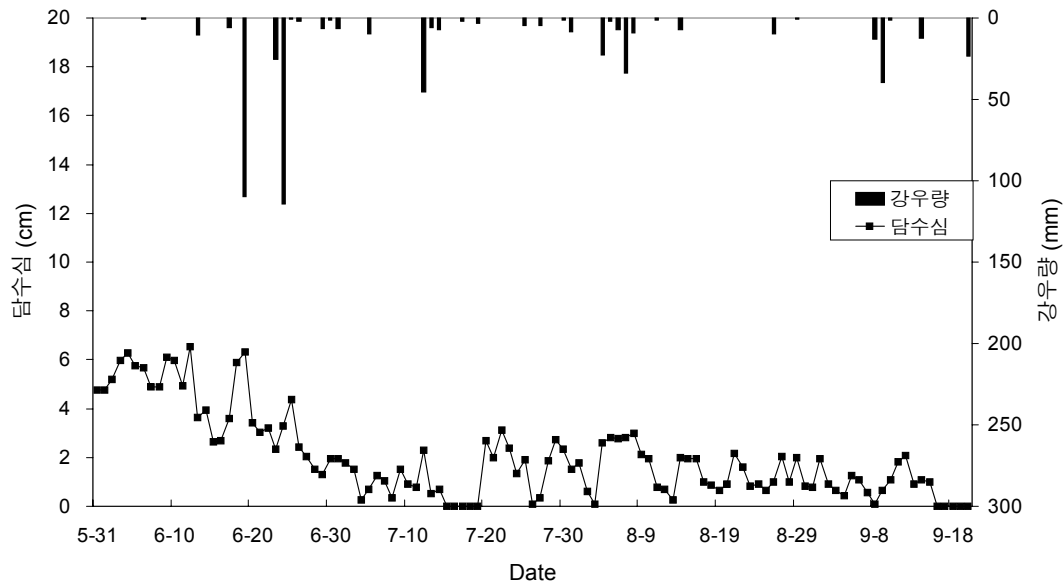


그림 3.12 침입도 측정을 위한 원통법

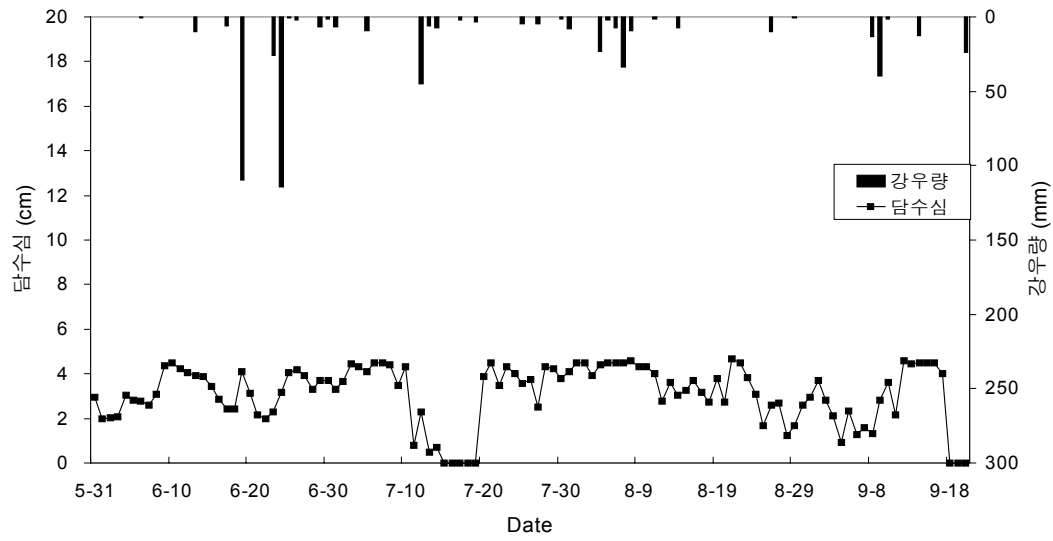
## 4. 관측결과

### 4.1 담수심 관리

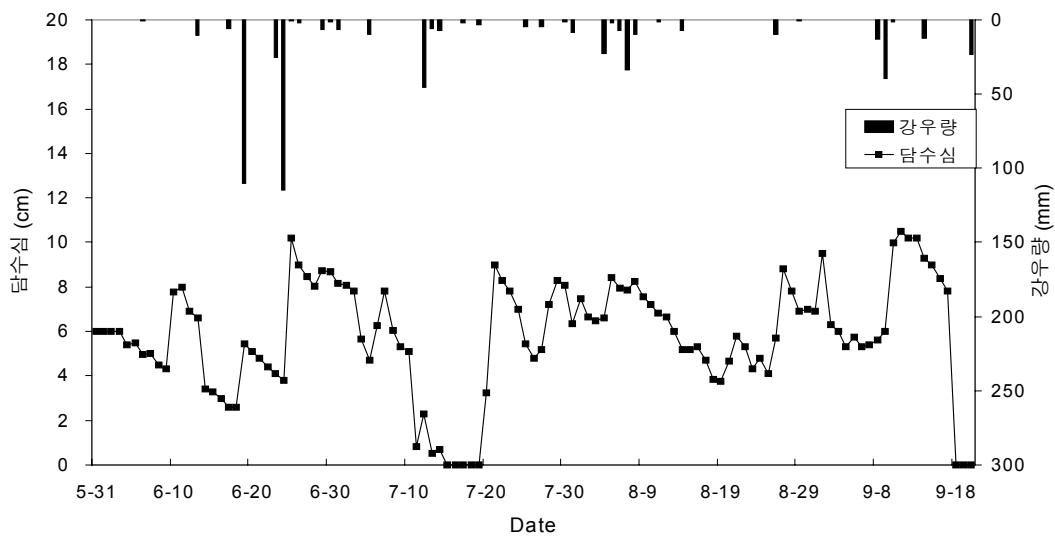
그림 3.13에서 그림 3.15는 년도별 시험구의 담수심 관리 상황을 나타내고 있다. 그림 3.13은 2001년도 담수심 처리별 일 담수심 변화이다. 그림 3.13(a)는 극천수관개의 일 담수심 변화이며, 이양일부터 약 10일간은 어린 모의 뿌리가 충분히 활착하도록 담수심을 6cm 정도로 유지하였고, 배수물꼬의 높이를 6월 20일에 조정하여서 6월 하순에 발생한 강우로 인하여 담수심이 6cm까지 되었다. 이후 배수물꼬의 높이를 조정하여 담수심을 2cm 정도로 유지하였다. 그림 3.13(b)에서 그림 3.13(c)에서 6월 중순과 9월 중순에 발생한 강우로 인하여 담수심이 가장 높았다.



(a) 극천수관개



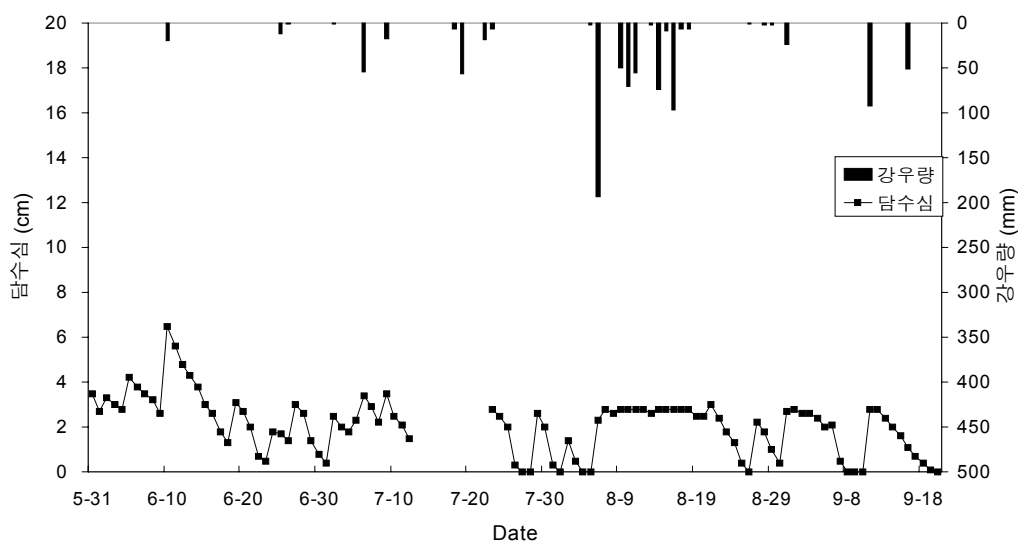
(b) 천수관개



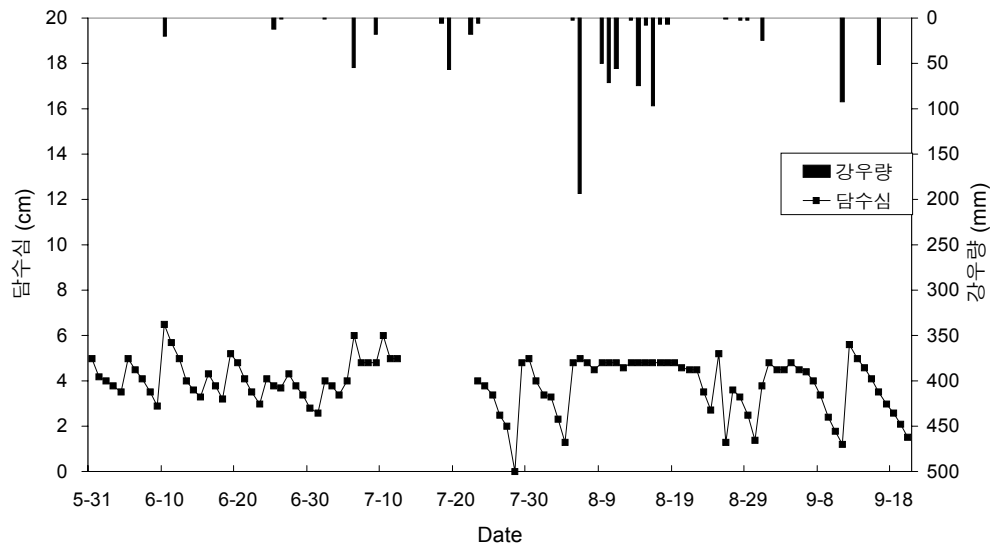
(c) 심수관개

그림 3.13 2001년도 일별 담수심의 변화 그래프

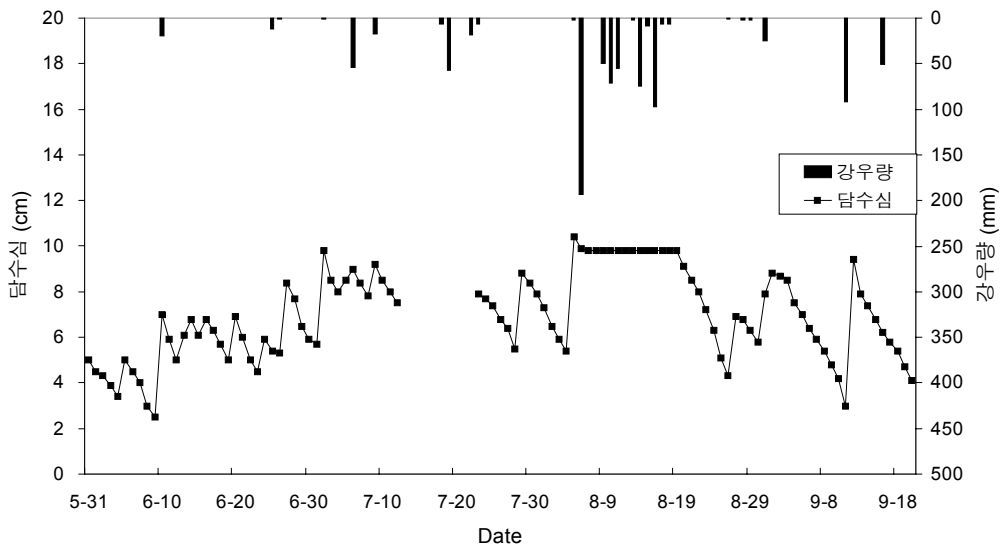
그림 3.14는 2002년도 담수심 처리별 일 담수심 변화이며, 이양일부터 약 10일간은 어린 모의 뿌리가 충분히 활착하도록 담수심을 6cm 정도로 유지하였다. 8월 8일에 발생한 강우로 인하여 담수심이 배수물꼬 높이만큼 일정하게 유지되었고, 이후에 발생한 강우는 배수물꼬를 통하여 월류하였다. 9월 중순에 발생한 강우로 인하여 그림 3.14(a)의 극천수관개 처리구와 그림 3.14(b)의 천수관개 처리구의 담수심은 배수물꼬의 높이가 낮아서 담수심이 배수물꼬 높이까지 도달하였고 나머지 강우량은 배수되었다. 그림 3.14(c)의 심수관개 처리구에서는 8월 8일부터 8월 20일까지 발생한 강우로 인하여 담수심이 배수물꼬 높이만큼 유지되었으며 배수물꼬의 높이가 높아서 그림 3.14(a)와 그림 3.14(b)보다 많은 강우가 유효우량이 되었다.



(a) 극천수관개



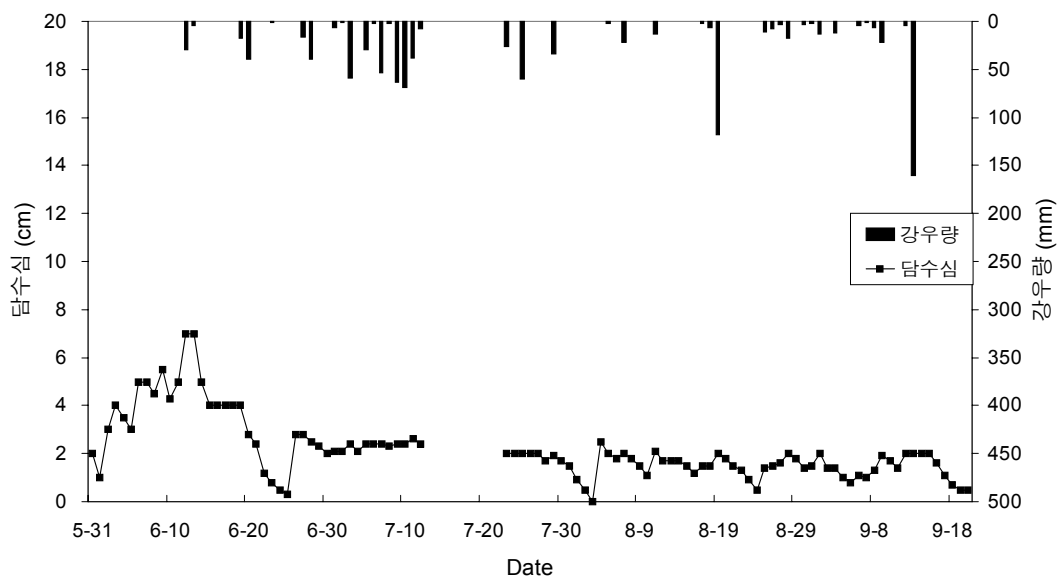
(b) 천수관개



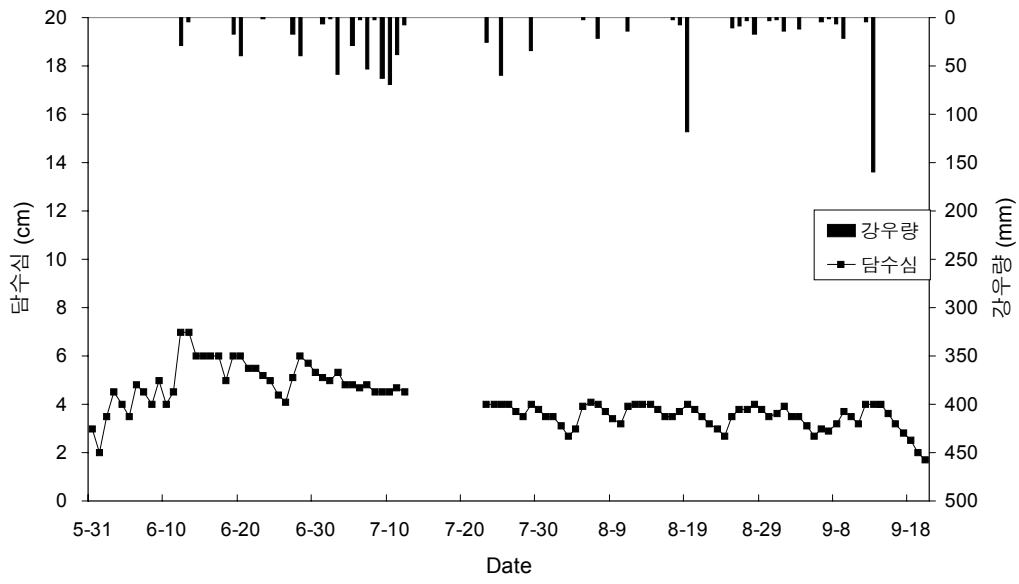
(c) 심수관개

그림 3.14 2002년도 일별 담수심의 변화 그래프

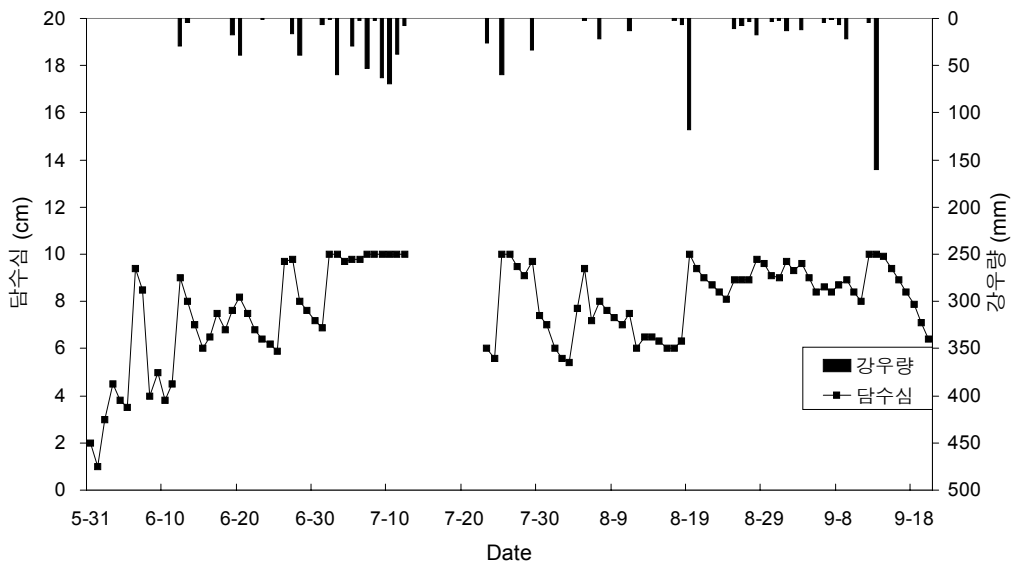
그림 3.15는 2003년도 담수심 처리별 일 담수심 변화이며, 이양 시작일부터 약 10일간은 어린 모의 뿌리 활착을 위하여 담수심을 6cm 정도로 유지하였다. 그림 3.15(a)의 극천수관개 처리구와 그림 3.15(b)의 천수관개 처리구의 담수심은 배수물꼬 높이가 낮아서 전 관개 기간에 걸친 잦은 강우에도 불구하고 담수심의 변화가 크지 않고 배수물꼬 높이만큼 일정하게 유지되었다. 그림 3.15(c)의 심수관개 처리구에서는 배수물꼬 높이가 높아서 강우 발생 유무에 따라 담수심의 증감이 나타났다.



(a) 극천수관개



(b) 천수관개



(c) 심수관개

그림 3.15 2003년도 일별 담수심의 변화 그래프



## 4.2 강우량과 유효우량

강우량은 시험구의 배수구 부근의 평평한 곳에 간이우량계를 설치하여 측정하였다. 2001년도, 2002년도 그리고 2003년도 시험기간동안 강우량과 유효우량을 분석한 결과는 표 3.3과 같다. 2001년도에는 관개기간의 총 강우량이 499.8mm이었다. 유효우량은 천수관개가 299.1mm로 유효율은 59.8%로 가장 높게 나타났으며, 극천수관개는 유효우량이 243.7mm(48.8%), 심수관개는 272.9mm(54.6%)이었다.

2002년도의 관개기간 중 총 강우량은 869.6mm이었으며, 유효우량은 극천수관개, 천수관개, 심수관개가 각각 118.1mm, 166.2mm, 239.6mm로 나타났다. 유효율은 13.6%, 19.1%, 그리고 25.7%로 나타났으며 심수관개의 유효율이 가장 높았다.

2003년도의 관개기간 중 총 강우량은 1,028.3mm로 시험기간 중에서 가장 많은 강우가 발생하였다. 유효우량은 극천수관개, 천수관개, 심수관개가 각각 299.9mm, 460.4mm, 376.9mm로 나타났다. 유효율은 29.2%, 44.8%, 그리고 36.7%로 천수관개의 유효율이 가장 높게 나타났다.

2001년도에는 강우량이 2002년도와 2003년도에 비해 적었으나 유효율은 높게 나타났으며, 이는 관개개시 직전에 강우가 발생하여 관개가 불필요하거나 배수물꼬 높이보다 적은 양의 강우가 발생하여 강우가 논 담수에 많이 이용되었기 때문으로 분석되었다.

2002년도의 총 강우량은 2001년도에 비해 약 1.8배나 많았으나 11일간의 연속강우로 인하여 초기에 발생한 강우로 담수심이 배수물꼬 높이에 도달하고 이후에 발생한 강우는 배수물꼬를 통하여 월류하였기 때문에 유효율이 높지 못하였다.

2003년도에는 2001년도에 비하면 유효율이 낮으나, 2002년도에 비해서 유효율이 높게 나타났다고 잦은 강우 발생으로 인해 관개회수가 감소한 원인이 되었다.

시험기간동안 유효우량을 분석한 결과, 2001년도와 2003년도에 천수관개의 유효우량이 가장 많았고 2002년도에는 심수관개가 유효우량이 가장 많았다. 이는 2001년도와 2003년도에 천수관개의 관개시기가 강우 발생시기와 맞아서 유효우량이 가장 많았고, 2002년도의 관개시기는 세척리구가 비슷하여 배수물꼬의 높이가 가장 높은 심수관개가 유효우량이 가장 많았던 것으로 판단된다.

따라서 유효우량은 관개시기, 강우 발생시기, 그리고 배수물꼬의 높이에 좌우되는 것을 알 수 있었다.

표 3.3 순별 강우량과 유효우량의 비교

담수심 처리	월	순별	강우량 (mm)			유효우량 (mm)			유효율 (%)		
			2001	2002	2003	2001	2002	2003	2001	2002	2003
극천수 관개	6	상	0.5	19.7	0.0	0.5	19.7	0.0	100.0	100.0	0.0
		중	126.2	0.0	90.0	20.6	0.0	50.5	16.3	0.0	56.1
		하	150.6	13.2	56.5	41.8	13.2	9.4	27.8	100.0	16.6
	7	상	16.1	73.1	284.8	16.1	32.1	27.2	100.0	43.9	9.5
		중	-	0.0	45.5	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		하	21.9	24.0	119.5	21.9	6.0	56.9	100.0	25.0	47.6
	8	상	75.3	316.5	24.0	62.6	11.5	24.0	83.1	3.6	100.0
		중	8.4	250.4	140.5	8.4	5.9	25.5	100.0	2.4	18.1
		하	10.7	29.7	44.5	10.7	6.7	38.4	100.0	22.6	86.4
	9	상	54.1	0.0	59.0	25.1	0.0	59.0	46.4	0.0	100.0
		중	36.0	143.0	164.0	36.0	23.0	9.0	100.0	16.1	5.5
	합계			499.8	869.6	1028.3	243.7	118.1	299.9	48.8	12.7
천수 관개	6	상	0.5	19.7	0.0	0.5	19.7	0.0	100.0	100.0	0.0
		중	126.2	0.0	90.0	33.0	0.0	90.0	26.1	0.0	100.0
		하	150.6	13.2	56.5	45.6	13.2	21.9	60.5	100.0	38.7
	7	상	16.1	73.1	284.8	16.1	28.1	93.8	100.0	38.4	32.9
		중	-	0.0	45.5	-	0.0	7.0	0.0	0.0	15.4
		하	21.9	24.0	119.5	21.9	6.0	88.8	100.0	25.0	74.3
	8	상	75.3	316.5	24.0	73.0	47.5	24.0	96.9	15.0	100.0
		중	8.4	250.4	140.5	8.4	2.0	45.1	100.0	0.8	32.1
		하	10.7	29.7	44.5	10.7	6.7	36.4	100.0	22.6	81.8
	9	상	54.1	0.0	59.0	53.9	0.0	39.0	99.6	0.0	66.1
		중	36.0	143.0	164.0	36.0	43.0	14.4	100.0	30.1	8.8
	합계			499.8	869.6	1028.3	299.1	166.2	460.4	59.8	19.1
심수 관개	6	상	0.5	19.7	0.0	0.5	19.7	0.0	100.0	100.0	0.0
		중	126.2	0.0	90.0	44.4	0.0	90.0	35.2	0.0	100.0
		하	150.6	13.2	56.5	40.6	13.2	46.7	27.0	100.0	82.7
	7	상	16.1	73.1	284.8	16.1	23.9	57.6	100.0	32.7	20.2
		중	-	0.0	45.5	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		하	21.9	24.0	119.5	31.9	6.0	27.1	100.0	25.0	22.7
	8	상	75.3	316.5	24.0	46.0	67.5	14.0	61.1	21.3	58.3
		중	8.4	250.4	140.5	8.4	1.6	29.0	100.0	0.6	20.6
		하	10.7	29.7	44.5	10.7	29.7	44.5	100.0	100.0	100.0
	9	상	54.1	0.0	59.0	48.3	0.0	54.0	89.3	0.0	91.5
		중	36.0	143.0	164.0	36.0	78.0	14.0	100.0	54.5	8.5
	합계			499.8	869.6	1028.3	272.9	239.6	376.9	54.6	25.7

### 4.3 관개량 및 배수량

관개량은 물수지 요소 중에서 유입량에 해당하며 벼의 생육에 필요한 물을 인위적으로 공급하는 양이며, 배수량은 과다한 관개나 강우가 배수물꼬를 통해 배수되는 양이다.

표 3.4는 담수심 처리별 관개량을 비교한 것으로서 이양용수량은 제외하였다. 1회 평균 관개량은 큰 차이를 보이지 않으나 2001년도에는 극천수관개가 다른 담수처리 논보다 관개회수가 많았는데, 이는 배수물꼬의 높이가 낮아서 관개를 자주 하게 되었고 강우가 발생하여도 유효우량을 많이 얻지 못하였기 때문으로 판단된다. 또한, 시험구에 관개시에서 일정수위 이상 저수조에 물을 가둔 후에 관개를 해야하는 과정에서 관개시간이 긴 심수관개에는 동일 용수지거내의 인근 논외 관개시기와 중복되어 수로의 수위저하가 불가피하였기 때문에 2001년도의 심수관개의 관개가 원활하지 못하였다. 그러나, 이같은 문제점은 2002년도와 2003년도에는 포장 물관리 인부와 협의하여 본 시험구에 관개량의 공급이 끝난 후에 주변 논에 관개를 실시하는 것으로 문제점을 해결하였다.

2002년도에는 2001년도에 비하여 관개회수와 관개량이 줄어들었는데, 이는 집중호우로 인한 연속강우일수가 많았기 때문이다. 2003년도에는 관개회수가 2002년도와 비슷하였으나 천수관개는 평균 관개량이 30% 가량 줄어들었다. 관개량이 줄어든 이유는 전 관개기간에 걸쳐 발생한 많은 강우를 유효우량으로 이용할 수 있었기 때문으로 분석되었다. 2003년도에는 관개기간동안 총 강우량이 1,028mm로 예년 평균강우량 682.9mm보다 1.5배 정도 많은 강우가 발생하였다.

포장 관측기간동안 담수심 처리별 관개량과 배수량을 비교한 결과, 2001년도에는 천수관개의 관개량이 513.6mm로 심수관개에 비하여 17.7%의 물을 절약할 수 있었고, 2002년도에는 극천수관개의 관개량이 226.6mm로 심수관개에 비하여 약 25.7% 절약할 수 있었다. 2003년도에는 천수관개의 관개량이 381.1mm로 심수관개에 비하여 46.6%의 물을 절약할 수 있었다. 이는 천수관개가 극천수관개보다 배수물꼬높이가 높고 관개시기와 강우 발생시기가 비슷하여 유효우량을 많이 얻을 수 있었기 때문에 나타난 결과로 보여진다. 배수량은 관개에 의한 배수가 되지 않게 하였기 때문에 강우에 의한 배수만 발생하였고, 배수물꼬의 높이가 낮은 극천수관개의 배수량이 가장 많은 것으로 나타났다.

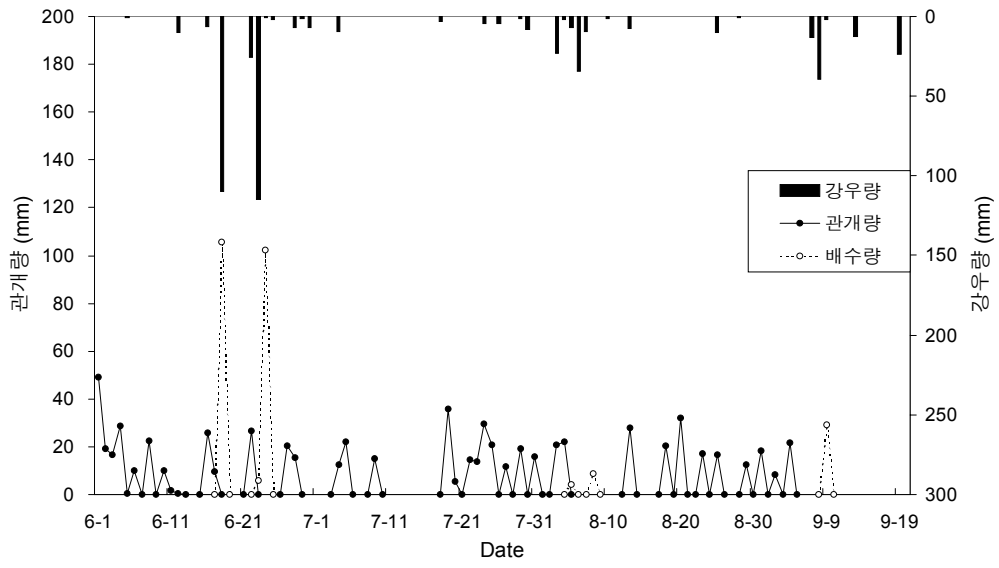
표 3.4 담수심 처리별 관개량과 관개회수

연도	담수심 처리	관개회수 (회)	관개량 (mm)	심수관개 대비 비율 (%)	1회 평균관개량 (mm)
2001	극천수관개	41	688.9	110.3	16.8
	천수관개	29	513.6	82.3	17.7
	심수관개	32	624.4	100.0	19.5
2002	극천수관개	14	381.1	74.3	26.4
	천수관개	13	455.4	88.7	36.9
	심수관개	11	513.2	100.0	48.5
2003	극천수관개	10	255.3	60.1	26.0
	천수관개	10	226.6	53.4	24.5
	심수관개	12	424.6	100.0	45.0

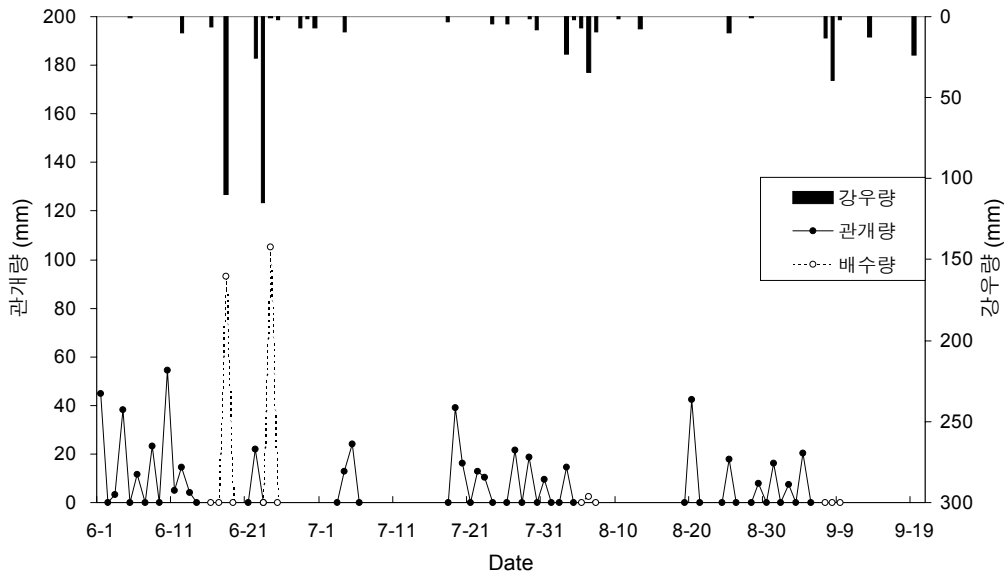
※ 이양용수량은 제외.

그림 3.16에서 그림 3.18은 연도별 강우량과 관개량 및 배수량의 관계를 나타낸 것이다. 그림 3.16은 2001년도 그래프이며 그림 3.16(a)의 극천수관개 처리구는 물꼬높이가 낮기 때문에 6월 중순에 발생한 강우가 대부분 배수되었다. 천수관개 처리구가 극천수관개 처리구보다 물꼬높이가 높기 때문에 그림 3.16(b)의 천수관개 처리구에서 6월 18일에 발생한 배수량이 그림 3.16(a)의 극천수관개 처리구보다 적었다. 또한, 관개량을 공급하므로써 논의 담수상태가 배수물꼬높이까지 유지된 상태에서 6월 24일에 강우가 발생하여 배수량이 증가하였다. 그림 3.16(c)의 심수관개 처리구는 배수물꼬 높이가 높아서 6월에 18일에 발생한 강우를 많이 담수할 수 있었고 6월 24일에 발생한 집중 호우는 배수되었다.

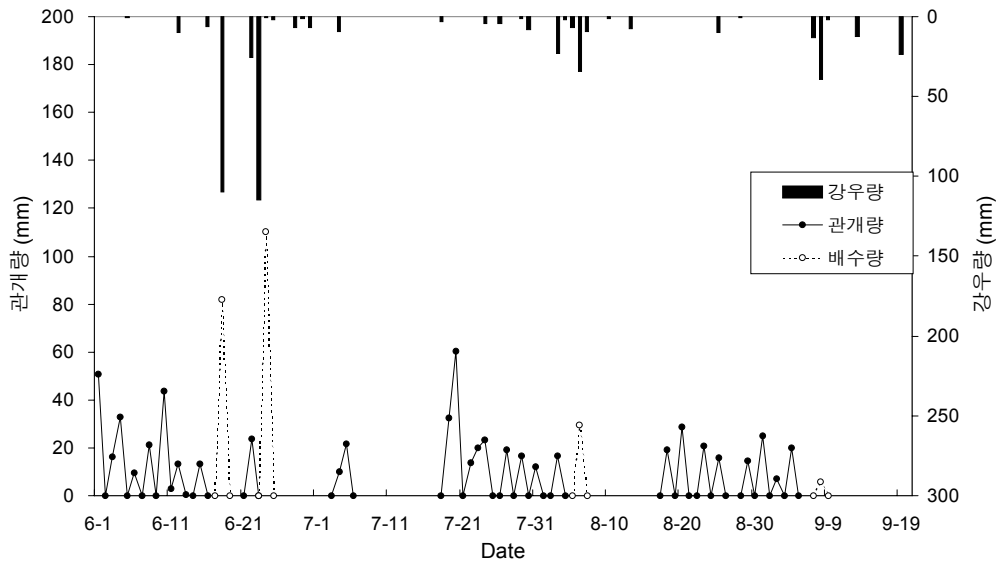
8월 초순과 9월 초순에 발생한 배수를 살펴보면 천수관개의 경우에 배수량이 거의 없었고 극천수관개와 심수관개에서 배수가 발생하였다. 이 때, 극천수관개에는 배수물꼬가 2cm로 낮기 때문에 많은 양의 강우를 담수하지 못하였고, 심수관개에는 배수물꼬가 높지만 담수위가 높아서 많은 강우를 배수하게 되었다. 천수관개에는 관개시작 직전에 강우가 발생하여 많은 강우를 유효우량으로 전환할 수 있었고 배수량이 크게 발생하지 않았던 것으로 분석되었다.



(a) 극천수관개



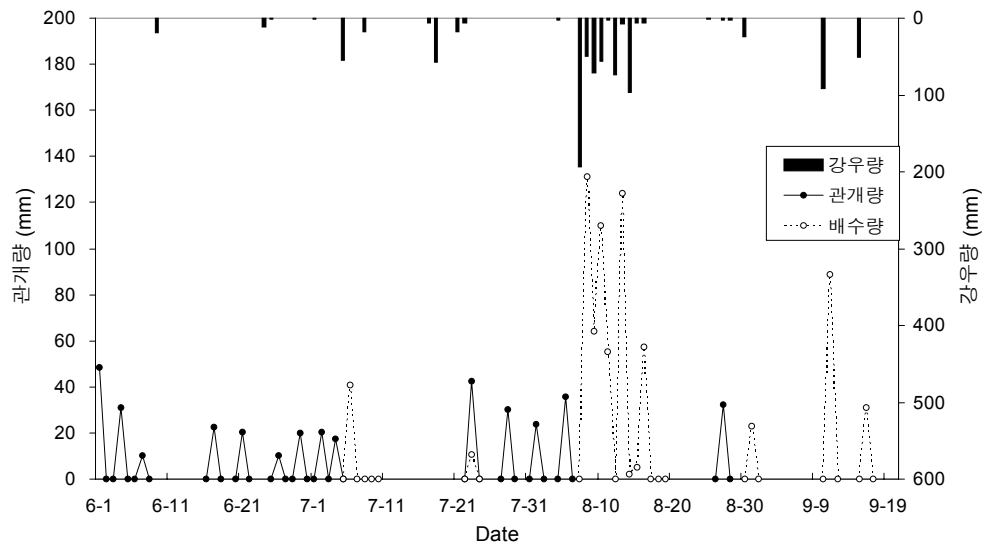
(b) 천수관개



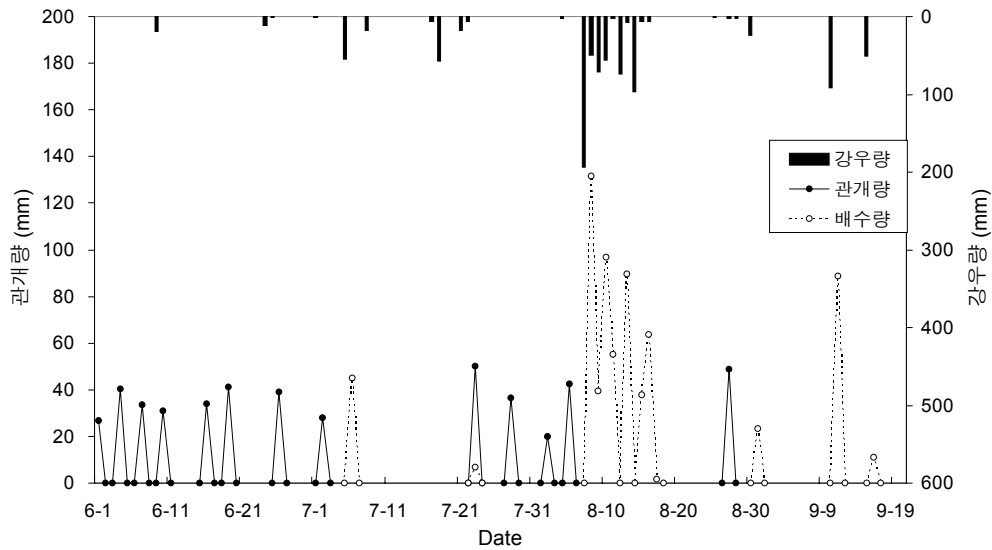
(c) 심수관개

그림 3.16 2001년도 관개량 및 배수량

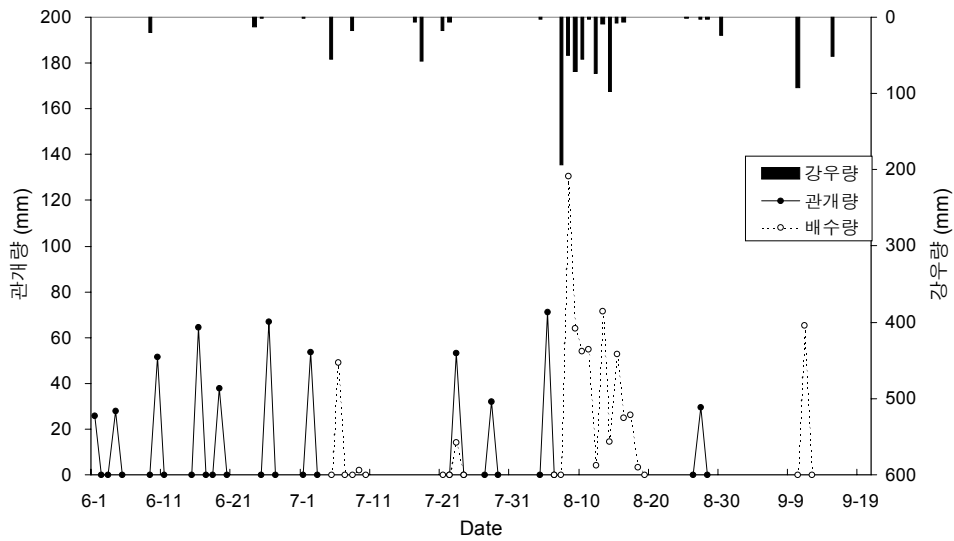
그림 3.17은 2002년도 관개량과 배수량 그래프이며 8월 초순경에 집중호우와 연속강우로 인해 상당량의 배수가 발생하였다. 집중호우가 발생한 때에는 배수물꼬를 트고 배수를 하였다. 이 후 연속강우가 발생할 때에는 배수물꼬를 막아 논 담수심을 관리한 결과, 극천수관개는 대부분의 강우가 배수되었고 천수관개와 심수관개는 많은 강우를 유효수량으로 이용되었다. 9월 하순에 발생한 강우로 인해 배수량이 발생하였고, 그림 3.17(a)의 극천수관개와 그림 3.17(b)의 천수관개의 배수물꼬 높이가 낮아서 대부분의 강우가 배수물꼬를 통하여 월류하였으나 그림 3.17(c)의 심수관개는 배수물꼬의 높이가 높아서 많은 강우를 유효수량으로 이용하였고 배수량이 극천수관개와 천수관개보다 적었다. 중간낙수 이후에 관개량이 배수물꼬 높이 이상으로 나타난 것은 중간낙수로 인해 건조해진 논바닥을 포화시키는데 이용된 것으로 분석된다.



(a) 극천수관개



(b) 천수관개

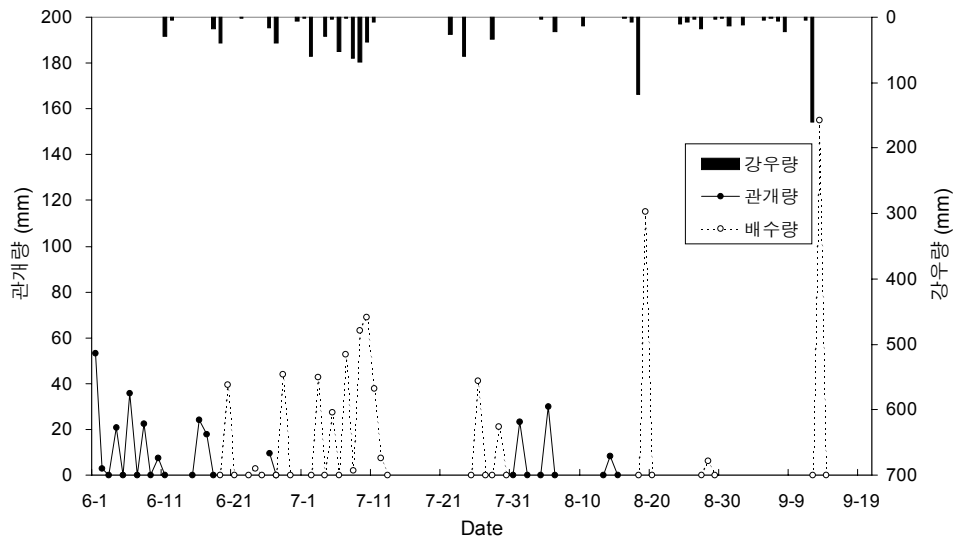


(c) 심수관개

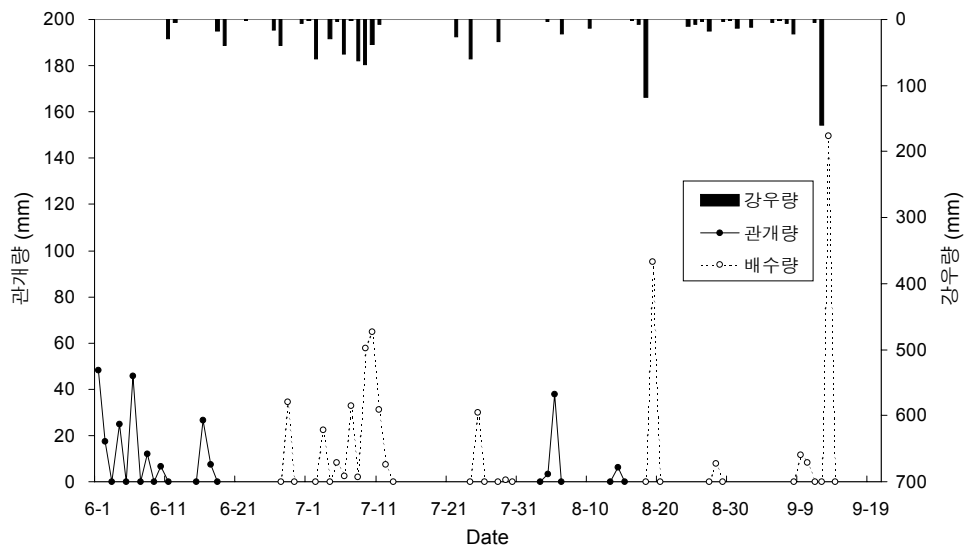
그림 3.17 2002년도 관개량 및 배수량

그림 3.18은 2003년도 관개량과 배수량 그래프이며 전 관개기간에 걸쳐 잦은 강우 발생으로 인해 2001년도에 비해서 관개량과 관개회수가 줄어들었고, 2002년도와 비교할 때는 비슷한 양상을 보이고 있다. 그림 3.18(a)의 극천수관개는 6월 21일에 배수가 발생하였으나 그림 3.18(b)의 천수관개와 그림 3.18(c)의 심수관개는 극천수관개보다 배수물꼬의 높이가 높아 배수가 발생하지 않았다. 7월 하순에는 중간낙수 이후에 관개를 재개할 시점에 강우가 발생하므로써 물꼬높이가 낮은 그림 3.18(a)의 극천수관개와 그림 3.18(b)의 천수관개는 필요수량을 강우량으로 대신할 수 있었다. 그러나 그림 3.18(c)의 심수관개는 물꼬높이가 높아 강우만으로는 담수심을 10cm로 유지할 수 없었기 때문에 관개를 하였고 이후에 발생한 강우는 대부분 배수되었다. 8월 17일부터 9월 13일까지 장마가 발생하여 8월 하순 이후에는 시험구의 관개는 없었다.

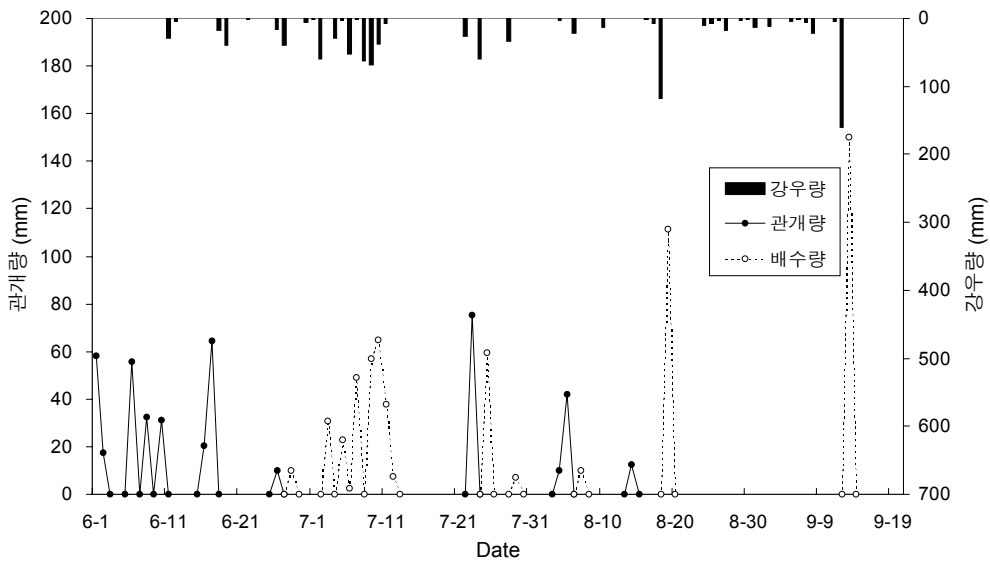




(a) 극천수관개



(b) 천수관개



(c) 심수관개

그림 3.18 2003년도 관개량 및 배수량

#### 4.4 증발산량

시험기간동안 담수심 처리구별 생육기간 순별 증발산량 관측치는 그림 3.19와 같다. 재배 시기별 증발산량의 변화를 살펴보면 이앙 직후 6월 상순에는 수면증발이 많고 8월 초순과 중순에는 작물 최대성장기로서 증발산량이 높게 나타났다.

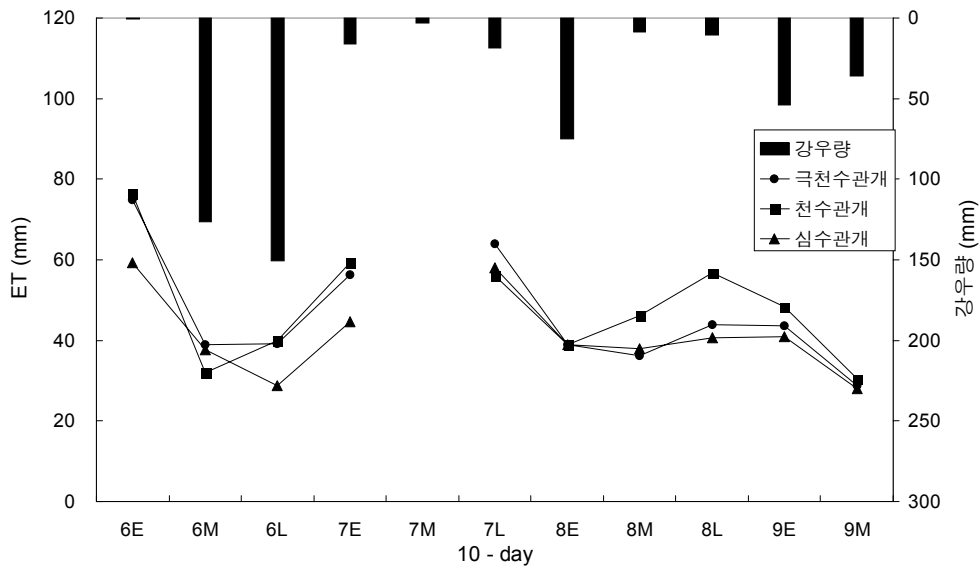
그림 3.19(a)는 2001년도의 담수심 처리별 순별 증발산량으로서 세 처리구 모두 6월 초순에 증발산량 값이 관개기간 중 가장 높게 나타났으며, 천수관개 처리구의 순별 증발산량이 76.3mm로 가장 높았다. 6월 중순과 하순 그리고 8월 초순에 발생한 강우에 의해서 증발산이 억제되었음을 알 수 있었다. 7월 중순에는 중간낙수기간이어서 측정하지 않았다. 6월 중순과 중간낙수가 끝난 7월 하순에 천수관개의 증발산량이 낮게 나타났으나, 전 관개기간에 걸쳐볼 때 천수관개의 순별 증발산량이 극천수관개와 심수관개에 비하여 높게 나타났다.

그림 3.19(b)는 2002년도 담수심 처리별 순별 증발산량이며 6월 중순에 극천수관개 처리

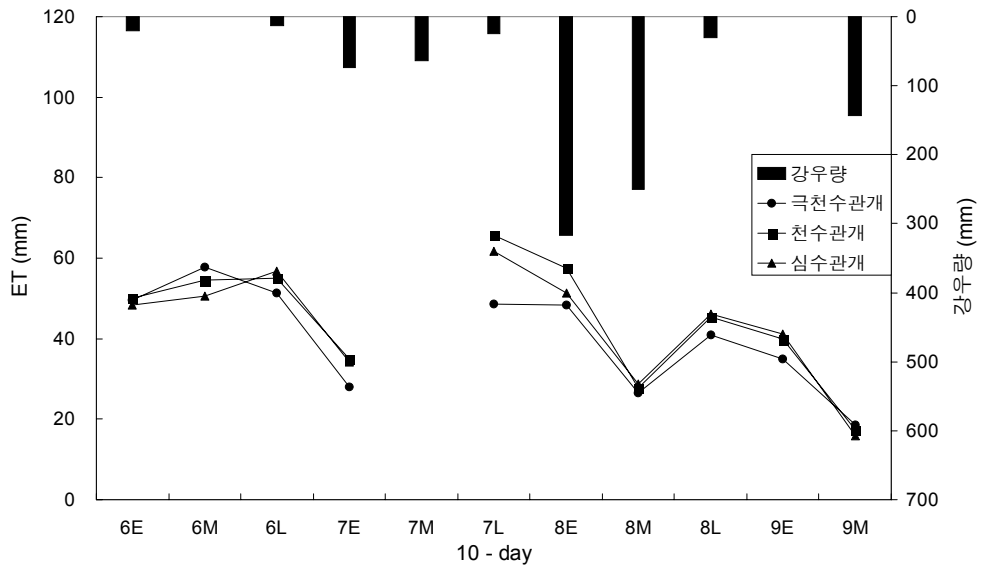
구의 증발산량이 높게 나타났으나, 중간낙수가 끝난 7월 하순부터 천수관개 처리구의 증발산량이 가장 높게 나타났다. 또한, 7월 초순에 집중호우와 8월 초순과 중순에 10일간에 걸쳐 연속강우가 발생하여 순별 증발산량이 급격히 감소하였다. 관개기간 중 총 증발산량은 천수관개 처리구가 448.2mm로 가장 높았다.

그림 3.19(c)는 2003년도 담수심 처리별 순별 증발산량을 나타내며, 전 관개기간동안 많은 강우가 발생하였기 때문에 증발산량이 2001년도와 2002년도에 비해 낮게 나타났다. 특히, 중간낙수 이후인 7월 하순에는 9일 동안 연속강우가 발생하여 2001도와 2002년도에 비해 15mm ~ 20mm 정도 낮게 나타났다. 천수관개 처리구의 총 증발산량이 430.4mm로 가장 높게 나타났으며, 극천수관개 처리구의 증발산량이 371.9mm로 가장 낮았다.

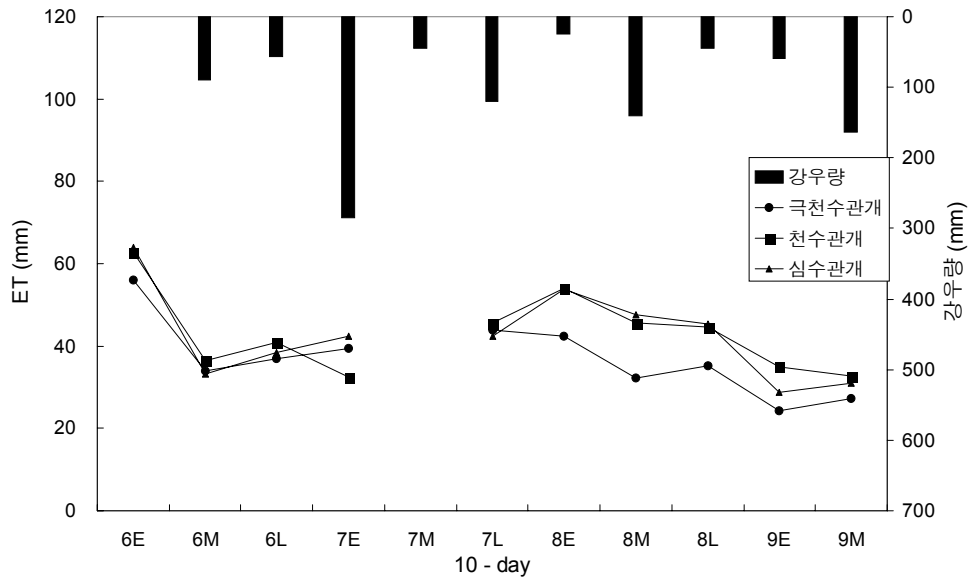
2001년도에 중간낙수는 7월 11일부터 7월 19일까지이었고 2002년도와 2003년도는 7월 13일부터 7월 23일까지이어서 7월 중순의 관측값을 그림 3.17에서는 제외하였고 관측이 되지는 않았으나 이 기간에도 증발산량은 발생하였을 것으로 판단된다. 그림 3.19(b)와 그림 3.19(c)의 7월 하순 순별 증발산량은 중간낙수가 끝난 후 7월 24일부터 31일까지 8일간의 관측값이며 실제 7월 하순의 증발산량은 더 크게 나타날 것이다.



(a) 2001



(b) 2002



(c) 2003

### 그림 3.19 순별 증발산량

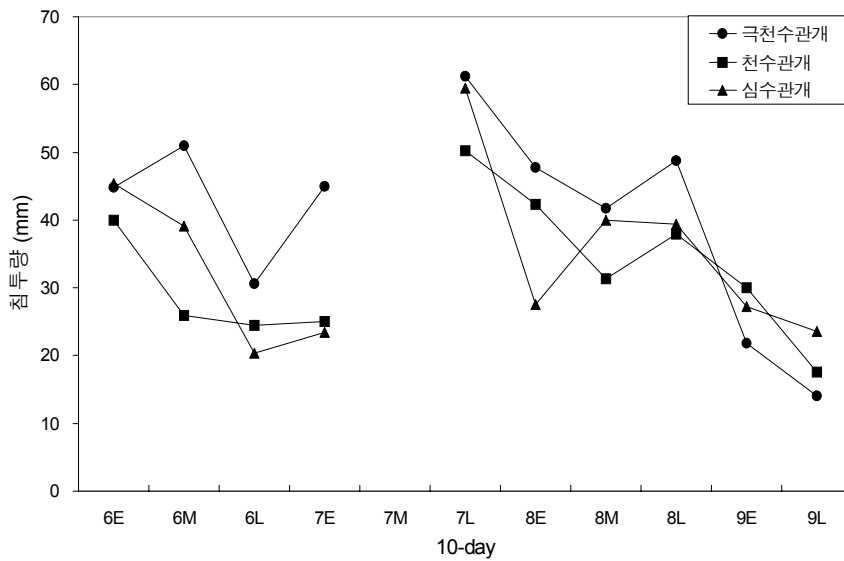
3개년에 걸쳐 천수관개가 증발산량이 가장 크게 나타났고, 일평균 증발산량은 2001년도에 4.5mm이었고 2002년도와 2003년도에는 각각 4.2mm와 4.1mm로 나타났다. 2001년도에 비하여 2002년도와 2003년도에 증발산량이 낮게 나타났는데 특히 2003년도에는 전 관개기간에 걸쳐 많은 강우가 발생하므로서 일평균 증발산량이 가장 낮게 나타났다.

#### 4.5 침투량

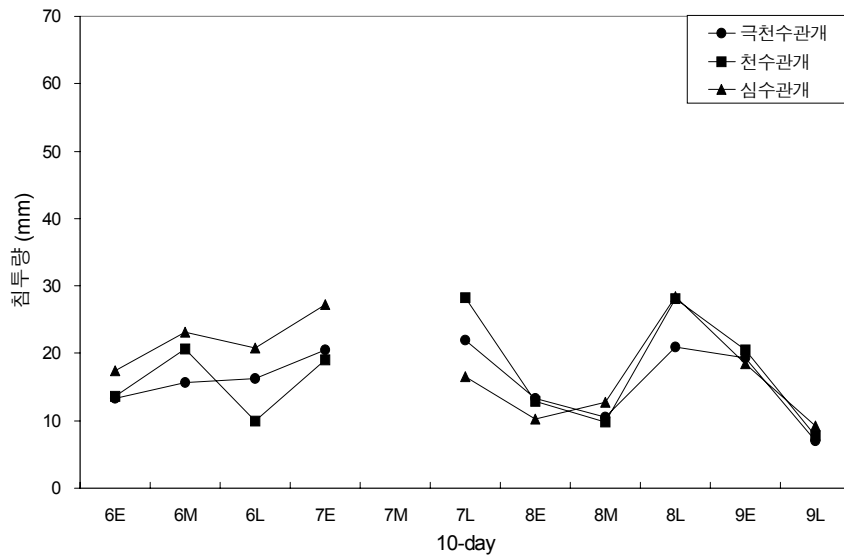
그림 3.20은 시험기간동안 담수심 처리별 순별 침투량을 나타낸다. 2001년도의 침투량은 2002년도와 2003년도에 비해 높게 나타났고 순별 침투량이 일정하지가 않았다. 이양초기에는 침투량이 컸으나 시간이 지날수록 침투량이 감소하였고, 중간낙수이후에 논에 담수를 시작하면서 침투량이 크게 증가하였다. 일별 평균침투량은 3.6mm로 나타났다. 2002년도에는 2001년도와는 달리 순별 침투량이 고르게 나타났으며 일별 평균침투량은 1.7mm로 2001년도에 비해 낮게 나타났다. 2003년도에는 일별 평균침투량이 2.4mm이었고 2001년과 2002년도의 평균치에 해당하는 값이 나타났다.

2001년도는 관측 첫해로서 라이시미터 매설과 논둑 아래에 차수막 설치를 위하여 논바닥을 굴착한 후에 되메움으로써 토양이 교란되어 침투량이 시험기간 중에 가장 크게 나타난 것으로 판단된다.

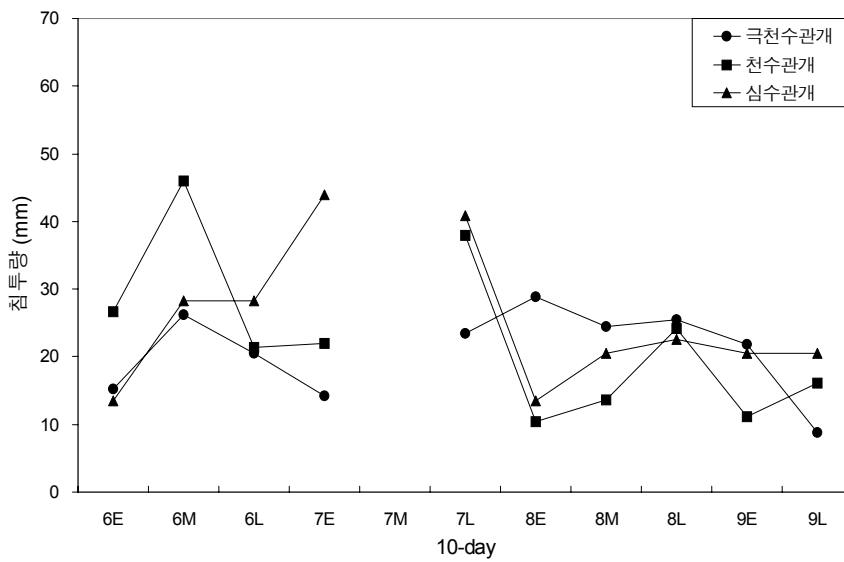
침투량은 관개기간동안 이양 직후와 중간낙수 이후에 큰 값이 나타났으며 중간낙수이후에는 논바닥이 마른 상태에서 담수를 다시 시작하기 때문에 침투량이 크게 나타난 것으로 분석되었다.



(a) 2001



(b) 2002



(c) 2003

그림 3.20 순별 침투량

그림 3.21은 유입량(관개량과 유효우량의 합)과 침투량을 비교한 그래프이다. 유입량은 논  
의 담수심에 영향을 미치는 요소로서 유입량이 많을수록 침투량도 유입량에 비례하여 증가  
하는 경향이 나타났다. 이는 유입량의 증가에 따라 논  
의 담수심이 상승하면서 압력수두가  
높아지므로 침투량이 증가한 것으로 분석된다.

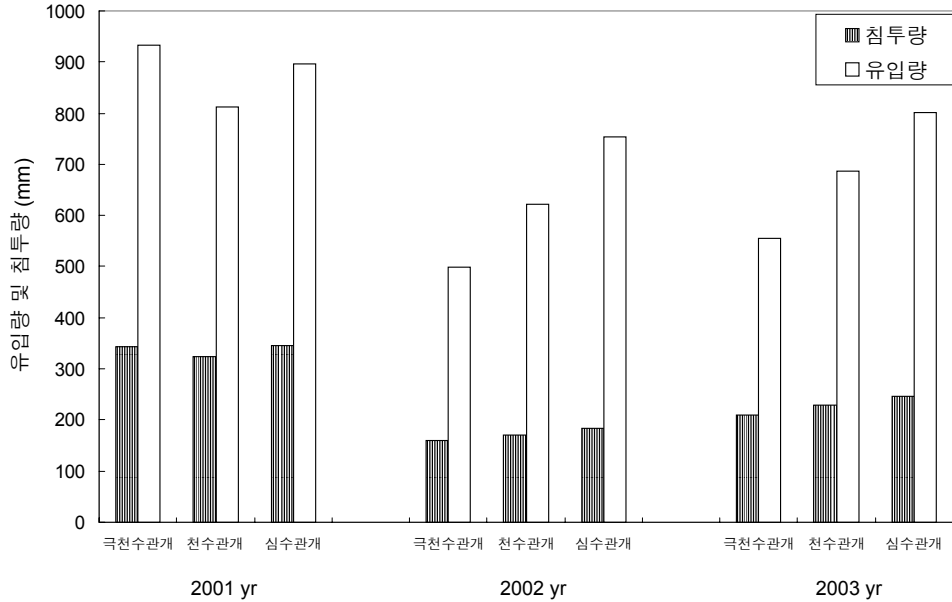


그림 3.21 침투량과 유입량의 비교

시험지구 내에 설치한 피에조미터의 수두변화는 그림 3.22와 그림 3.23과 같으며 같으며  
논바닥을 기준면으로 하였다. 그림 3.22는 극천수관개 처리구의 피에조미터의 수두의 변화를  
나타낸다. 매설깊이가 20cm와 50cm인 피에조미터의 수두가 이앙 초기에 증가하였다가 6월  
중순부터 감소하는 경향을 볼 수가 있는데 이앙 초기에 많은 양의 관개용수가 공급되어 침  
투량의 증가에 의한 지하의 공극수압이 증가하였으나, 이후 논  
의 담수를 2cm로 유지하였기  
에 벼의 증산과 지표면 증발 등에 관개용수가 소모되어 심층침투가 이루어지지 않았기 때문  
으로 판단된다.



반면 그림 3.23에는 5월 하순부터 6월 중순까지 피에조미터의 수두가 일정하게 유지되다가 6월 하순에 피에조미터의 수두가 급감하는 것을 볼 수 있으며, 이 시기에 지하층에 갑작스런 지하수위가 저하된 것으로 판단된다.

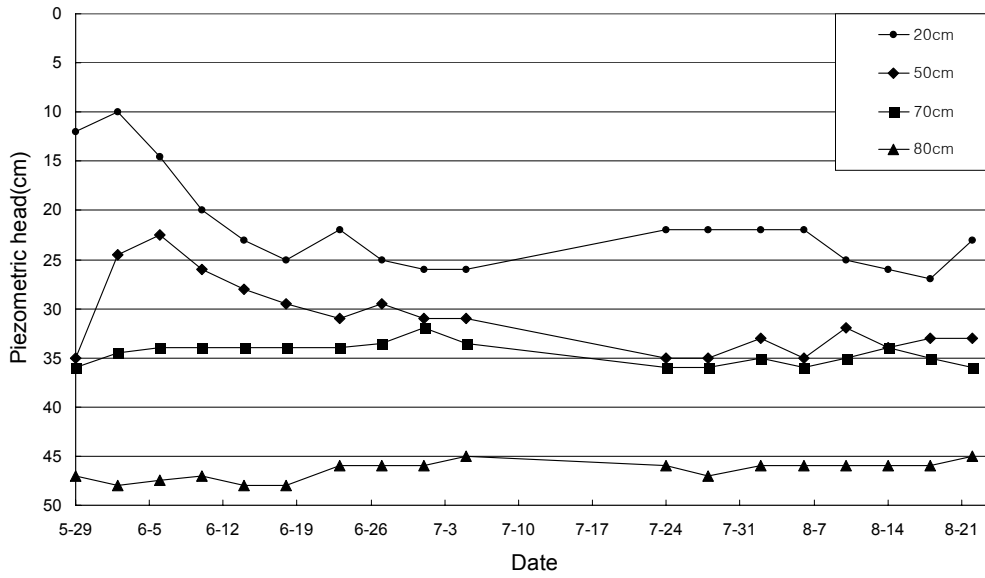


그림 3.22 천수관개 처리구의 피에조미터 수두변화

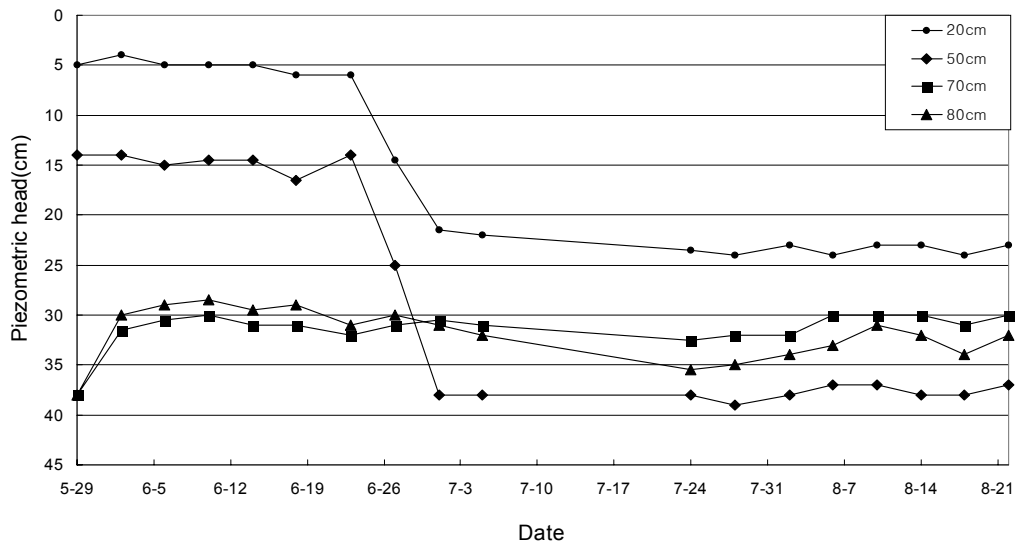


그림 3.23 침수관개 처리구의 피에조미터 수두변화

## 4.6 연도별 물수지 분석결과

### 4.6.1 2001년도 물수지

2001년도 담수심 처리구별 물수지 분석결과는 표 3.5와 같다. 시기별 용수량 비율을 살펴보면 이양후 6월 상순경에 가장 많은 용수가 소모되고 7월 중순이후 중간낙수가 끝나는 시점부터 용수소모량이 증가하는 것을 알 수가 있다. 실제로 어린 이삭이 생길때부터 이삭이 나오는 시기까지 약 15일간은 벼 생육기간 중에 물을 많이 필요로 하는 시기이다. 중간낙수 직후에 담수용량과 더불어 논 토양을 포화시키는데 많은 관개가 필요하다. 7월 10일에서 7월 19일까지 중간낙수를 실시하였다.

세 가지 담수심처리 중 관개량을 살펴보면 이양용수량을 제외하고 극천수관개가 688.9mm로 가장 많았고, 심수관개가 624.4mm, 천수관개가 513.6mm로 천수관개가 가장 적었으며, 천수관개가 심수관개에 비하여 17.7%의 물을 절약할 수 있었다.

관개기간 중 총 강우량은 499.8mm이었으며, 유효우량은 천수관개가 299.1mm로 유효율은 59.8%로 가장 높았으며, 극천수관개의 유효우량은 243.7mm(48.8%), 심수관개의 유효우량은 272.9mm(54.6%)이었다. 극천수관개에는 배수물꼬높이가 낮고 관개를 한 후에 강우가 발생한 경우가 많아서 유효율이 가장 낮게 나타났으며, 천수관개는 관개가 필요한 때에 강우가 발생하여 관개량이 적게 공급되었다. 또한, 강우 발생시 증가한 담수심은 유효우량이 되고 나머지는 배수되었기 때문에 유효우량이 가장 많은 천수관개의 배수량이 200.7mm로 가장 적게 나타났다.

증발산량은 천수관개가 484.1mm로 가장 높았으며, 극천수관개와 심수관개가 각각 464.9mm, 415.1mm이었다. 침투량은 심수관개가 345.7mm로 가장 많았다.

표 3.5 2001년도 물수지

(단위 : mm)

담수심처리	월	순별	관개량	배수량	강우량	유효우량	증발산량	침투량	저류량의 변화량	
극천수 관개	6	상	156.1	0.0	0.5	0.5	75.0	35.0	46.6	
		중	37.0	105.0	126.2	20.6	39.0	30.0	-11.4	
		하	62.2	108.2	150.6	41.8	39.2	28.2	37.2	
	7	상	49.5	0.0	16.1	16.1	56.3	28.0	-18.6	
		중	-	-	-	-	-	-	-	
		하	166.0	0.0	21.9	21.9	64.0	61.2	62.7	
	8	상	43.0	12.7	75.3	62.6	39.0	39.2	27.4	
		중	80.5	0.0	8.4	8.4	36.3	37.3	15.3	
		하	64.5	0.0	10.7	10.7	43.8	48.7	-17.3	
	9	상	30.1	29.0	54.1	25.1	43.7	21.8	-10.3	
		중	0.0	0.0	36.0	36.0	28.7	14.0	-6.7	
	합계			688.9	255.5	499.8	243.7	464.9	343.4	124.9
	천수관개	6	상	175.8	0.0	0.5	0.5	76.3	40.0	59.9
중			24.0	93.2	126.2	33.0	32.0	25.9	-0.9	
하			22.0	105.0	150.6	45.6	39.8	24.4	3.4	
7		상	37.0	0.0	16.1	16.1	59.3	25.0	-31.1	
		중	-	-	-	-	-	-	-	
		하	127.8	0.0	21.9	21.9	56.0	50.3	43.4	
8		상	14.7	2.3	75.3	73.0	39.0	42.3	6.4	
		중	42.3	0.0	8.4	8.4	46.0	31.4	-26.7	
		하	42.1	0.0	10.7	10.7	56.8	37.9	-41.9	
9		상	7.6	0.2	54.1	53.9	48.3	30.0	-16.7	
		중	20.3	0.0	36.0	36.0	30.6	17.6	9.1	
합계			513.6	200.7	499.8	299.1	484.1	324.8	3.8	
심수관개		6	상	174.6	0.0	0.5	0.5	59.3	45.4	70.3
	중		29.7	81.8	126.2	44.4	37.8	39.1	-2.8	
	하		23.7	110.0	150.6	40.6	28.8	20.3	15.1	
	7	상	31.7	0.0	16.1	16.1	44.6	23.5	-20.3	
		중	-	-	-	-	-	-	-	
		하	197.5	0.0	21.9	31.9	58.1	59.4	104.9	
	8	상	16.6	29.3	75.3	46.0	39.0	27.6	-4.0	
		중	47.6	0.0	8.4	8.4	38.0	40.0	-22.0	
		하	76.3	0.0	10.7	10.7	40.6	39.4	8.0	
	9	상	26.8	5.8	54.1	48.3	40.8	27.2	7.1	
		중	0.0	0.0	36.0	36.0	28.1	23.6	-15.7	
	합계			624.4	226.9	499.8	272.9	415.1	345.7	136.5

#### 4.6.2 2002년도 물수지

표 3.6은 2002년도 담수심처리별 물수지를 나타낸다. 시기별 용수량 비율을 살펴보면 이양 후 6월 상순경에 가장 많은 용수가 이용되고 7월 중순이후 중간낙수가 끝나는 시점부터 용수량이 증가하였다. 중간낙수는 7월 13일에서 7월 23일까지이다.

관개기간동안 총관개량은 극천수관개가 381.1mm, 천수관개가 455.4mm, 심수관개가 513.2mm로 나타났으며, 극천수관개가 심수관개에 비하여 약 25.7%의 관개량을 절약할 수 있었다. 2002년도에는 2001년도에 비해 관개가 많이 필요한 7월과 8월에 중간낙수에 연이어 잦은 강우로 인하여 무관개 일수가 많았기 때문에 용수량이 적었다.

관개기간 중 총 강우량은 869.6mm이었으며, 유효우량은 심수관개가 239.6mm(27.6%)로 가장 많았고 극천수관개의 유효우량은 118.1mm(13.6%), 천수관개의 유효우량은 166.2mm(19.1%)이었다. 2002년도의 총 강우량은 2001년에 비해 약 1.7배이상 높았으나 11일 연속강우 같은 집중호우로 인하여 유효율이 높지 못하였다. 배수량은 유효우량이 가장 많은 심수관개가 632.0mm로 가장 적었다.

증발산량은 천수관개가 448.3mm로 가장 높았으며, 극천수관개와 심수관개가 각각 435.1mm와 404.4mm이었다. 침투량은 심수관개가 184.2mm로 가장 많았다.

표 3.6 2002년도 물수지

(단위 : mm)

담수심처리	월	순별	관개량	배수량	강우량	유효우량	증발산량	침투량	저류량의 변화량
극천수 관개	6	상	89.7	0.0	19.7	19.7	48.3	13.3	-0.9
		중	22.7	0.0	0.0	0.0	50.7	15.7	-19.2
		하	50.2	0.0	13.2	13.2	56.8	16.2	-9.7
	7	상	37.3	41.0	73.1	32.1	34.1	20.5	14.8
		중	0.0	0.0	0.0	0.0	12.3	2.0	-14.3
		하	72.4	10.5	24.0	6.0	49.4	20.0	9.1
	8	상	59.8	305.0	316.5	11.5	51.4	13.3	6.5
		중	0.0	244.0	250.4	5.9	28.8	10.6	-33.5
		하	49.0	22.7	29.7	6.7	46.1	21.0	-11.4
	9	상	0.0	0.0	0.0	0.0	41.2	19.3	-60.5
		중	0.0	119.9	143.0	23.0	15.9	7.1	0.0
	합계			381.1	743.1	869.6	118.1	435.0	159.0
천수관개	6	상	131.8	0.0	19.7	19.7	50.0	13.7	87.8
		중	75.2	0.0	0.0	0.0	54.6	20.7	-0.1
		하	39.3	0.0	13.2	13.2	55.1	10.0	-12.6
	7	상	28.0	45.0	73.1	28.1	35.0	19.0	2.1
		중	0.0	0.0	0.0	0.0	9.8	2.0	-11.8
		하	86.3	7.0	24.0	6.0	55.8	26.3	10.3
	8	상	62.3	268.2	316.5	47.5	57.6	12.9	39.4
		중	0.0	248.3	250.4	2.0	27.7	9.8	-35.5
		하	32.4	23.3	29.7	6.7	45.3	28.2	-34.4
	9	상	0.0	0.0	0.0	0.0	39.9	20.5	-60.4
		중	0.0	99.7	143.0	43.0	17.4	7.7	17.9
	합계			455.4	691.5	869.6	166.2	448.2	170.7
심수관개	6	상	105.3	0.0	19.7	19.7	49.5	17.5	58.0
		중	102.1	0.0	0.0	0.0	57.7	23.2	21.2
		하	66.7	0.0	13.2	13.2	51.4	20.8	7.8
	7	상	53.5	51.4	73.1	23.9	28.1	27.2	22.1
		중	0.0	0.0	0.0	0.0	9.5	2.0	-11.5
		하	85.2	14.3	24.0	6.0	39.2	14.6	37.4
	8	상	70.9	248.6	316.5	67.5	48.3	10.3	79.9
		중	0.0	252.5	250.4	1.6	26.5	12.7	-37.6
		하	29.5	0.0	29.7	29.7	40.8	28.4	-10.0
	9	상	0.0	0.0	0.0	0.0	34.9	18.4	-53.3
		중	0.0	65.2	143.0	78.0	18.6	9.2	50.2
	합계			513.2	632.0	869.6	239.6	404.5	184.2

### 4.6.3 2003년도 물수지

표 3.7은 2003년도 담수심처리별 물수지를 나타낸다. 2003년도에는 관개기간동안 총강우량이 1028.3mm로 3개년 중 가장 많은 강우를 기록하였으며, 잦은 강우로 인해 관개량이 1차년도와 2차년도에 비해서 많이 감소하였다. 중간낙수는 7월 13일에서 7월 23일까지이다.

관개기간동안 총관개량은 극천수관개가 255.3mm, 천수관개가 226.6mm, 심수관개가 424.6mm로 나타났으며, 천수관개가 가장 적은 용수량을 필요로 하였으며 심수관개에 비하여 46.6%의 물을 절약할 수 있었다.

총 강우량은 1028.3mm으로 3개년 중 가장 많은 강우량을 나타냈으며, 유효우량은 천수관개가 460.4mm(44.8%)로 가장 많았고 극천수관개의 유효우량은 299.9mm(29.2%), 심수관개의 유효우량은 376.9mm(36.7%)이었다. 배수량은 천수관개가 568.0mm로 가장 적게 나타났다.

증발산량은 천수관개가 430.4mm로 가장 높게 나타났으며, 극천수관개와 심수관개가 각각 371.9mm와 426.6mm로 나타났다. 침투량은 심수관개가 246.8mm로 가장 많았다.

표 3.7 2003년도 물수지

(단위 : mm)

담수심처리	월	순별	관개량	배수량	강우량	유효우량	증발산량	침투량	저류량의 변화량
극천수 관개	6	상	142.0	0.0	0.0	0.0	56.1	15.2	70.8
		중	42.0	39.5	90.0	50.5	34.0	26.3	32.2
		하	9.5	47.1	56.5	9.4	37.0	20.5	-38.6
	7	상	0.0	257.6	284.8	27.2	39.3	14.1	-26.2
		중	0.0	45.5	45.5	0.0	7.7	3.3	-11.0
		하	0.0	62.6	119.5	56.9	36.3	20.1	0.5
	8	상	53.3	0.0	24.0	24.0	42.3	28.9	6.1
		중	8.5	115.0	140.5	25.5	32.3	24.3	-22.7
		하	0.0	6.1	44.5	38.4	35.2	25.5	-22.2
	9	상	0.0	0.0	59.0	59.0	24.3	21.8	12.8
		중	0.0	155.0	164.0	9.0	27.3	8.8	-27.1
	합계			255.3	728.3	1028.3	299.9	371.9	208.8
천수관개	6	상	145.3	0.0	0.0	0.0	62.7	26.7	56.0
		중	34.2	0.0	90.0	90.0	36.3	46.0	41.8
		하	0.0	34.6	56.5	21.9	41.0	21.3	-40.4
	7	상	0.0	191.1	284.8	93.8	32.5	22.0	39.2
		중	0.0	38.5	45.5	7.0	6.0	4.0	-3.0
		하	0.0	30.7	119.5	88.8	39.7	34.0	15.1
	8	상	40.8	0.0	24.0	24.0	54.2	10.3	0.3
		중	6.3	95.4	140.5	45.1	45.7	13.7	-8.0
		하	0.0	8.1	44.5	36.4	44.7	24.2	-32.4
	9	상	0.0	20.0	59.0	39.0	35.0	11.2	-7.2
		중	0.0	149.6	164.0	14.4	32.7	16.2	-34.4
	합계			226.6	568.0	1028.3	460.4	430.4	229.5
심수관개	6	상	189.9	0.0	0.0	0.0	64.0	13.5	112.4
		중	84.9	0.0	90.0	90.0	33.3	28.3	113.4
		하	10.1	9.8	56.5	46.7	38.5	22.8	-4.4
	7	상	0.0	227.2	284.8	57.6	42.3	44.0	-28.7
		중	0.0	45.5	45.5	0.0	7.3	8.8	-16.0
		하	75.2	92.4	119.5	27.1	35.0	32.0	35.4
	8	상	52.1	10.0	24.0	14.0	53.8	13.5	-1.1
		중	12.3	111.5	140.5	29.0	47.5	20.5	-26.7
		하	0.0	0.0	44.5	44.5	45.3	22.5	-23.3
	9	상	0.0	5.0	59.0	54.0	28.8	20.5	4.8
		중	0.0	150.0	164.0	14.0	31.0	20.5	-37.5
	합계			424.6	651.4	1028.3	376.9	426.6	246.8



### 제3절 모형을 이용한 관개량 모의발생

#### 1. 모형의 개요

논지대의 물수지 식을 이용하여 모형을 통한 관개량, 배수량 및 유효우량을 모의발생하여 보았다. 모형은 Microsoft Visual C++ ver. 6.0으로 작성되었고, 모형에 이용된 물수지 식은 식 (3.1)과 같다.

일반적으로 유효우량을 고려한 논에서의 담수심 추적식은 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$D(t) = D(t-1) + R_{eff}(t) + Q(t) - U(t) \quad (3.4)$$

여기서  $D(t)$ 는 t일의 담수심(mm),  $D(t-1)$ 은 전일의 담수심(mm),  $R_{eff}(t)$ 는 t일의 유효우량(mm),  $Q(t)$ 는 t일의 관개량(mm),  $U(t)$ 는 당일의 감수심(mm)이다.

식 (3.4)를 유효우량에 관하여 나타내면 식 (3.5)와 같다.

$$R_{eff}(t) = D(t) - D(t-1) - Q(t) + U(t) \quad (3.5)$$

$$U(t) = ET(t) + DP \quad (3.6)$$

식 (3.6)은 당일의 감수심이며 ET는 실제증발산량(mm)이고 DP는 침투량(mm)이다.

논지대 물수지에서 담수심, 강우량, 감수심, 배수물꼬높이의 관계는 다음과 같다.

$$D_{\max} \leq D(t-1) + R(t) - U(t) \text{이면} \\ Q(t) = 0 \text{이고 } Rep(t) = D_{\max} - D(t-1) + U(t) \text{이다.} \quad (3.7)$$

여기서  $D_{\max}$  : 최대담수심으로서 배수물꼬높이,  $R(t)$  : t일의 강우량,

$Rep(t)$  : t일의 가능유효우량.

유효강우량  $R_{eff}(t)$ 는 다음 관계에서 구할 수 있다.

$$R(t) \geq Rep(t) \text{이면 } R_{eff}(t) = Rep(t)$$

$$R(t) < Rep(t) \text{이면 } R_{eff}(t) = R(t)$$

여기서,  $5(mm) \leq R_{eff}(t) \leq D_{\max}$

최저담수심을 정하여 담수심 추적식을 통하여 최저담수심에 도달하면 관개를 시작하고, 강우가 발생할 경우에는 강우량을 유효우량으로 먼저 계산한 후에 관개여부를 결정하도록 하였다.

본 연구에서는 REF-ET 모형을 이용하여 추정한 증발산량에 작물계수를 곱하여 실제증발산량을 계산하고 이를 물수지 모형에 증발산량 입력자료로 이용하였다.

REF-ET 모형은 Utah State University에서 개발하였으며, 모형에 이용된 언어는 MicroSoft QuickBasic 4.5 이다(Utah State University, 1991). REF-ET 모형내에는 9가지 증발산량 추정방법이 포함되어 있다.

본 연구에 이용한 증발산량 추정 방법은 Doorenbos & Pruitt(1977)의 FAO-24 Corrected Penman 공식과 FAO-24 Blaney - Criddle 공식이다. FAO-24 Corrected Penman 공식은 복합적 기상요인을 많이 포함하고 있기 때문에 정확성이 높고 일 단위 잠재 증발산량을 산정할 수 있어 관개계획 수립, 수문모형 운용 등에 많이 이용하고 있다. FAO-24 Blaney - Criddle 공식은 우리 나라에서 농업용수 개발계획시의 증발산량 산정공식으로 널리 알려져 있으며, 온도와 주간시간 백분을 자료만 있으면 잠재증발산량을 쉽게 계산할 수 있는 장점을 가지고 있다. 그러나, 순 또는 월단위의 잠재증발산량 산정에는 적합하나 일 단위의 증발산량 산정에는 부적합한 것으로 알려져 있다.

#### 1) FAO-24 Corrected Penman 공식

$$ET_0 = c \left[ \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} R_n + \frac{\gamma}{\Delta + \gamma} f(u_2)(e_{sa} - e_a) \right] \quad (3.8)$$

$$R_n = R_{ns} - R_{nl} \quad (3.9)$$

$$f(u_2) = 0.27 \left( 1 + \frac{u_2}{100} \right) \quad (3.10)$$

여기서  $ET_0$  : 잠재증발산량 (mm/d),

$c$  : 주·야간 기상조건에 따른 보정계수,

$\Delta$  : 온도와 포화증기압 곡선의 기울기(mb/°C),

$\gamma$  : 건습계 정수(기온 15°C에서 0.66mb/°C),

$R_n$  : 증발수심으로 환산한 순복사량 (mm/d),

$f(u_2)$  : 풍속함수,  
 $e_{sa}$  : 포화 수증기압 (mb),  
 $e_a$  : 공기 중의 수증기압 (mb),  
 $R_{ns}$  : 증발수심으로 환산한 순단과 태양 복사량 (mm/d),  
 $R_{nl}$  : 증발수심으로 환산한 순장과 복사량 (mm/d),  
 $u_2$  : 지상 2m에서의 일평균 풍속 (km/d),  
 $R_s$  : 증발수심으로 환산한 태양 복사량 (mm/d).

2) FAO-24 Blaney - Criddle 공식

$$ET_0 = c [ P ( 0.46 T + 8 ) ] \quad (3.11)$$

여기서,  $c$  : 최소 상대습도, 일조시간 및 풍속에 따른 보정계수,  
 $P$  : 주간시간 백분율 (%),  
 $T$  : 평균기온 (°C).

실제 증발산량은 식 (3.8)과 (3.11)에서 얻은 잠재 증발산량에 작물계수를 곱하여 얻는다.

$$ET = K_c \times ET_0 \quad (3.12)$$

여기서,  $ET$  : 작물의 실제 증발산량 (mm)

$K_c$  : 작물계수

$ET_0$  : 기준작물 잠재 증발산량 (mm)

## 2. 입 · 출력 자료

물수지 모형의 입력자료는 강수량, 침투량, 증발산량이며 데이터 파일로 구성되어 있으며, 침투량과 강수량은 현장에서 관측된 값을 사용하였다.

물수지 모형에서 가장 중요한 입력변수는 배수물꼬의 높이로서 목표 최고담수심과 목표 최저담수심을 정한 후에 초기관개량을 입력하며 증발산량, 침투량, 및 강수량 데이터 파일을 입력

한다. 증발산량은 REF-ET 모형을 이용하여 계산하였다. 우리나라에서 많이 이용되는 FAO-24 Corrected Penman 공식과 FAO-24 Blaney - Criddle 공식으로 추정된 증발산량에 작물계수를 곱해서 구한 실제증발산량을 비교한 후에 하나를 선택하여 물수지 모형의 증발산량 입력자료로 이용하였다.

표 3.8은 물수지 모형의 입·출력자료의 내용을 나타내며, 그림 3.24는 관개량을 모의하기 위해서 작성된 물수지 모형의 흐름도를 나타낸다.

표 3.8 입력 및 출력파일

입력 및 출력	내용	비고
초기 입력치	목표 최고담수심, 목표 최저담수심, 초기관개량.	
Wea.dat	평균, 최고, 최저 기온. 평균이슬점온도, 최소 및 평균 상대습도, 평균 및 최고풍속, 증발량, 강우량, 일조시간, 수평면일사량.	REF-ET 모형의 입력자료로 이용
Et.dat	증발산량	
Rainf.dat	강우량	
Infil.dat	침투량	
*.out	유효우량, 관개량, 배수량, 일별 담수심.	



그림 3.24 물수지 모형의 흐름도

### 3. 모형의 검증 및 적용

#### 3.1 증발산량의 검증

작물계수는 FAO-24 Corrected Penman 공식과 FAO-24 Blaney - Criddle 공식로 계산한 잠재증발산량을 순별 평균한 값으로 실제 증발산량의 순별평균을 나누어서 구하였다. 그림 3.25과 그림 3.26은 순별 작물계수의 그래프이다. 순별 작물계수를 살펴보면 벼의 생육이 가장 활발한 7월과 8월에 작물계수의 값이 높게 나타났으며, 벼의 생육후기에 해당하는 9월 하순에 가장 낮아졌다. FAO-24 corrected Penman 공식에 의해 구한 작물계수의 최대값은 8월 중순에 천수관개에서 1.30으로 나타났으며, FAO-24 Blaney-Criddle 공식에 의해 구한 작물계수의 최대값은 6월 하순에 천수관개에서 1.17로 나타났다.

FAO-24 corrected Penman 공식과 FAO-24 Blaney-Criddle 공식에 작물계수를 곱하여 구한 추정증발산량을 실제증발산량과 비교한 결과 작물계수 1에 가까운 값들이 나타났으며, FAO-24 corrected Penman 공식과 FAO-24 Blaney-Criddle 공식으로 추정된 증발산량이 큰 차이가 없었다. 본 연구에서는 자료의 유용성과 사용자 편의성 측면에서 적은 기상자료들로 쉽게 증발산량을 추정할 수 있는 FAO-24 Blaney-Criddle 공식으로 추정된 증발산량을 물수지 모형의 입력자료로 이용하였다.

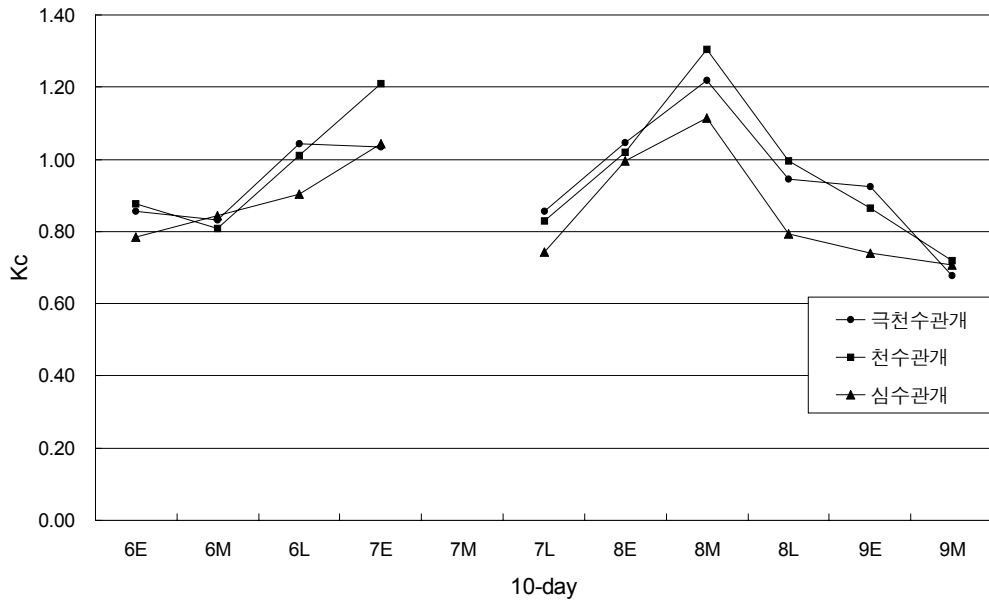


그림 3.25 FAO-24 Corrected Penman 공식으로 계산한 순별 작물계수

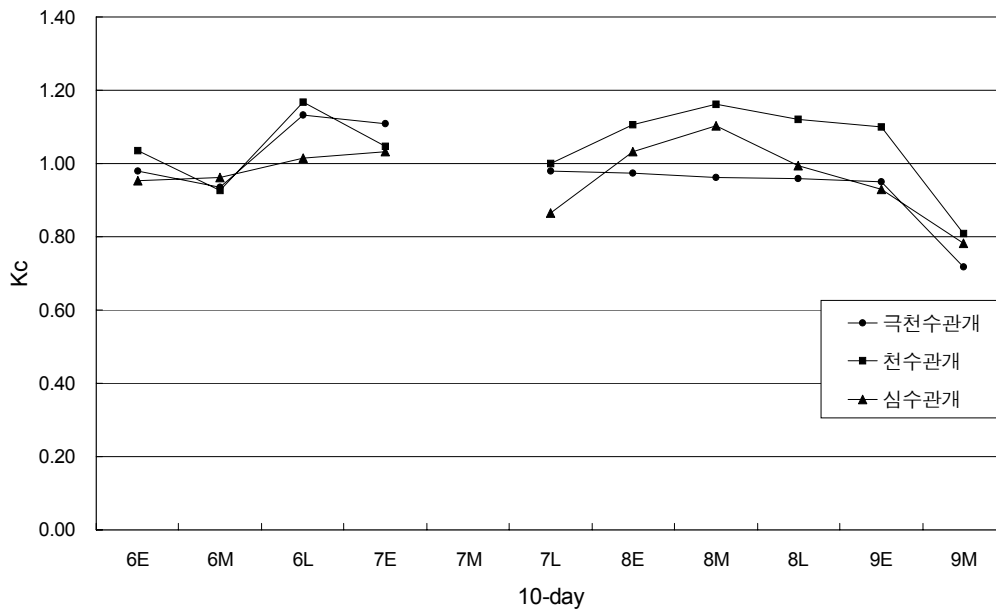


그림 3.26 FAO-24 Blaney - Criddle 공식으로 계산한 순별 작물계수

FAO-24 Blaney-Criddle 공식으로 구한 잠재증발산량에 작물계수를 곱하여 계산한 추정 증발산량은 표 3.9와 같으며 3개년 모두 천수관개의 증발산량이 383.8mm ~ 510.7mm 로 가장 크게 나타났다.

표 3.9 순별 증발산량 추정값

(단위 : mm)

월	순	2001			2002			2003		
		극천수	천수	심수	극천수	천수	심수	극천수	천수	심수
6	상	64.6	67.9	62.6	62.3	65.5	60.4	53.0	55.7	51.4
	중	38.6	38.2	39.5	51.8	51.2	52.9	34.1	33.8	34.8
	하	40.8	42.2	36.5	53.1	55.0	47.5	37.9	39.2	33.8
7	상	66.2	62.6	61.4	42.7	40.4	39.7	29.1	27.5	27.0
	중	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	하	57.2	58.4	50.8	50.1	51.1	44.5	41.1	41.9	36.5
8	상	45.6	52.2	48.4	42.5	48.6	45.1	44.9	51.4	47.7
	중	39.3	47.4	45.0	27.3	32.9	31.2	31.6	38.2	36.2
	하	54.2	63.3	55.9	39.6	46.3	40.9	34.2	39.9	35.2
9	상	40.6	47.0	39.7	39.8	46.1	39.0	27.3	31.6	26.7
	중	28.0	31.5	30.3	22.0	24.7	23.8	22.0	24.7	23.8
합계		475.1	510.7	470.1	431.2	461.9	424.9	355.0	383.8	353.1

- : 중간낙수

연도별 담수심 처리구별 관측된 실제 증발산량에 대한 추정 증발산량의 상관계수(r), 결정 계수(R<sup>2</sup>) 그리고 Root mean square error(RMSE)는 표 3.10과 같다. 담수심 처리구별 상관 계수는 0.8~1.0으로 매우 높은 상관성을 나타냈다. 결정계수는 천수관개가 1.0으로 가장 높게 나타났으며, RMSE는 극천수관개가 4.2mm로 가장 적게 나타났다.

FAO-24 Blaney-Criddle 공식에 의해 잠재증발산량을 구한 후에 작물계수를 곱하여 계산한 추정 증발산량의 값들은 물수지 모형의 입력자료로 이용 가능한 것으로 분석되었다.

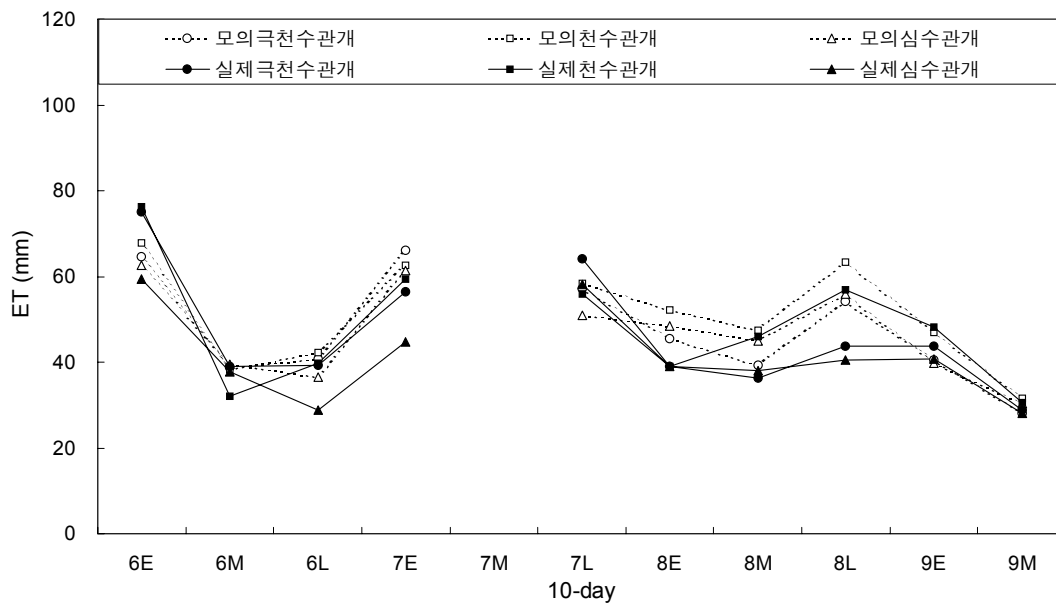
그림 3.27은 2001년, 2002년 그리고 2003년의 담수심 처리별 관측된 실제 증발산량과 계산에 의해 구한 추정 증발산량을 나타낸다. 그림 3.27(a)에서 8월 초순에 추정증발산량이 실제 증발산량에 비해 높게 나타났는데, 이는 강우 발생으로 인하여 실제증발산량은 낮아졌으나 FAO-24 Blaney-Criddle 공식이 강우의 영향을 제대로 고려하지 못하였기 때문으로 판단된다. 그림 3.27(b)에서 6월 초순에 같은 현상이 나타났는데, 이는 그림 3.27(a)와 그림 3.27(c)에서 6월 초순의 실제 증발산량이 그림 3.27(b)보다 높게 나타났음에 비추어볼 때 측정오차



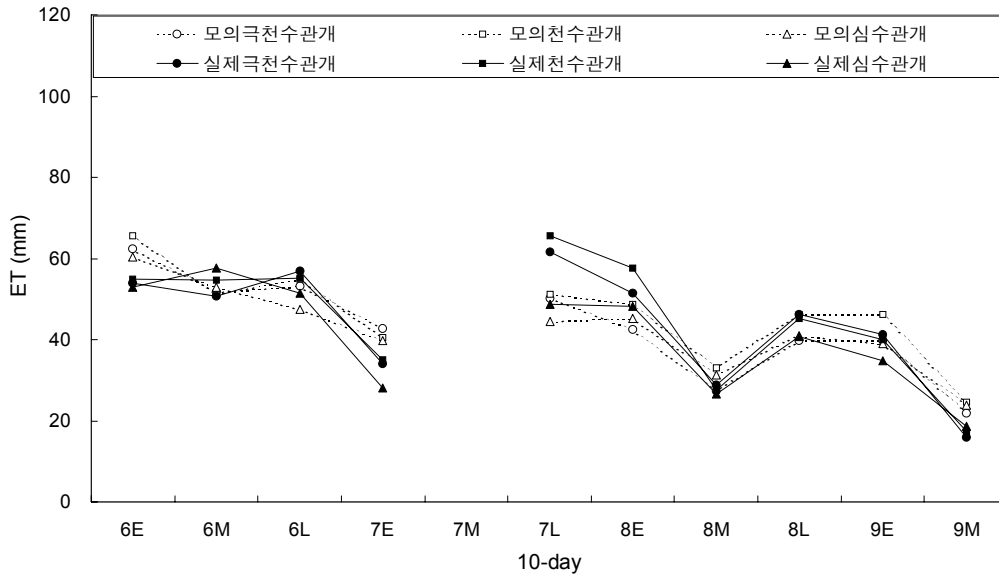
에 의한 차이로 여겨진다.

표 3.10 실제 증발산량과 추정 증발산량의 r, R<sup>2</sup> and RMSE

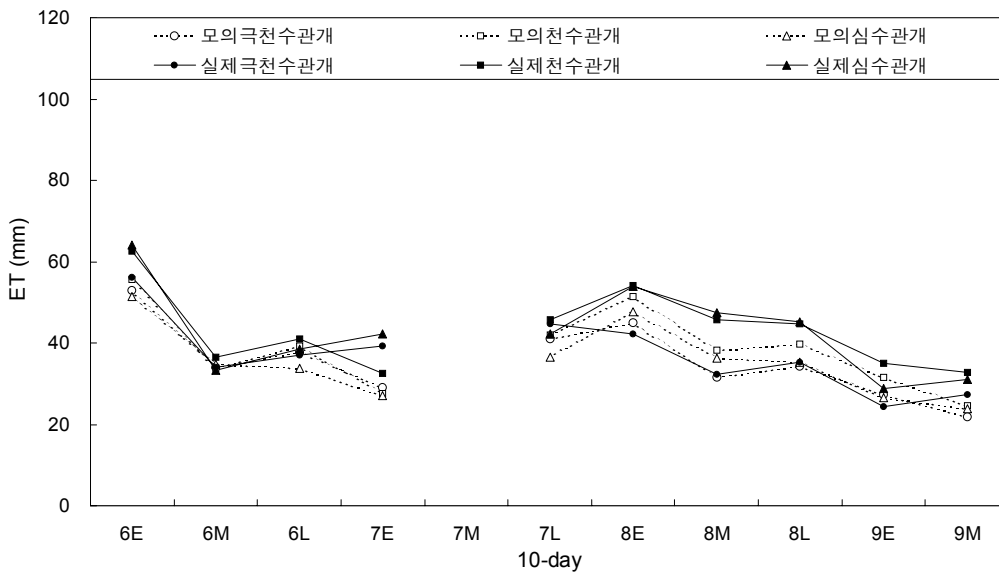
답수심 상관성	극천수관개	천수관개	심수관개
r	0.9	1.0	0.9
R <sup>2</sup>	0.8	1.0	0.8
RMSE (mm)	4.2	5.1	8.8



(a) 2001



(b) 2002



(c) 2003

그림 3.27 실제 증발산량과 추정 증발산량의 비교

### 3.2 유효우량의 검증

물수지 모형을 이용하여 유효우량을 검증한 결과는 표 3.11과 그림 3.28과 같다. 유효우량의 검증을 위하여 2003년도 강우량과 침투량, 그리고 검증된 증발산량의 자료를 이용하였다.

천수관개가 상관계수와 결정계수가 각각 0.9로 가장 높았고 RMSE는 극천수관개가 11.6mm로 가장 낮게 나타났다.

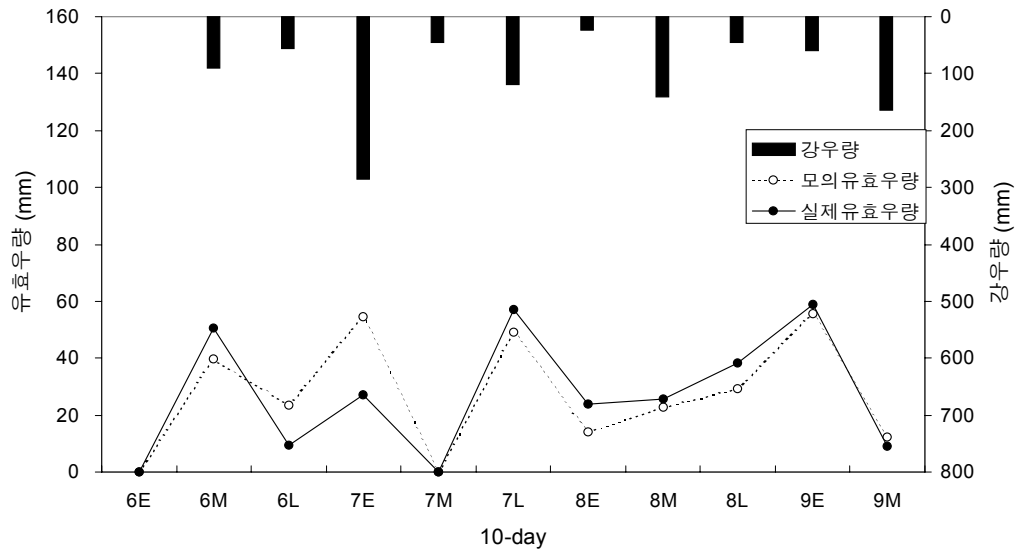
유효율이 실제 천수관개가 45.2%로 가장 높게 나타났고, 모의발생 유효우량은 심수관개가 50.1%로 가장 높게 나타났다. 이는 심수관개의 배수물꼬높이가 높고, 물수지 모형이 강우발생 후에 관개를 결정하기 때문에 실제 유효우량보다 많은 유효우량을 담수할 수 있다는 결과가 나타났다.

표 3.11 실제 유효우량과 모의 유효우량의 비교 (단위 : mm)

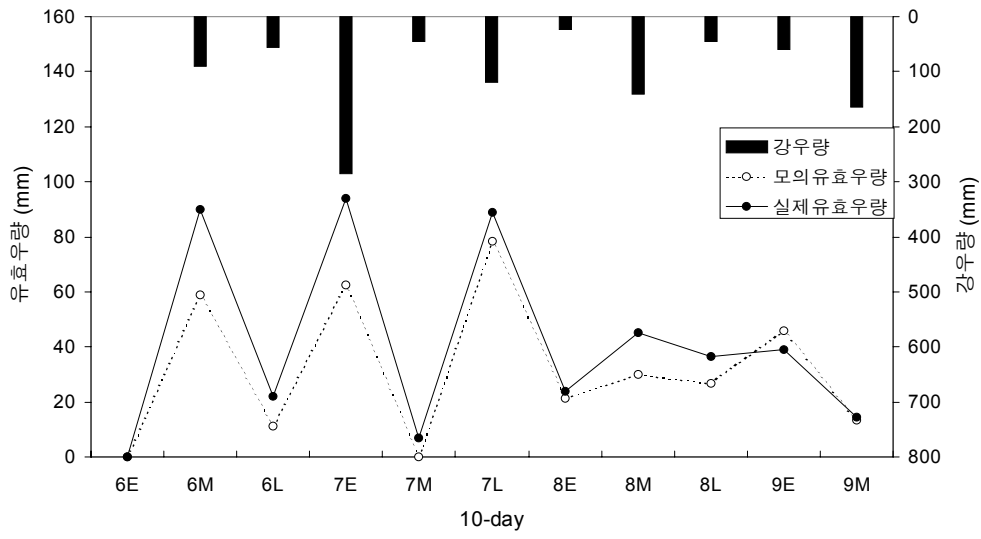
월	순	강우량	극천수관개		천수관개		심수관개	
			실제	모의	실제	모의	실제	모의
6	상	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	중	90.0	50.5	39.6	90.0	58.9	90.0	90.0
	하	56.5	9.4	23.5	21.9	11.2	46.7	56.5
7	상	284.8	27.2	54.7	93.8	62.5	57.6	87.6
	중	45.5	0.0	0.0	7.0	0.0	0.0	0.0
	하	119.5	56.9	49.2	88.8	78.2	27.1	98.3
8	상	24.0	24.0	14.0	24.0	21.2	14.0	24.0
	중	140.5	25.5	22.9	45.1	29.9	29.0	33.5
	하	44.5	38.4	29.1	36.4	26.6	44.5	44.5
9	상	59.0	59.0	55.8	39.0	46.0	54.0	59.0
	중	164.0	9.0	12.3	14.4	13.2	14.0	19.5
합계		1028.3	299.9	330.3	460.4	393.2	376.9	558.4
유효율 (%)			29.4	32.1	45.2	38.2	37.0	54.3
r			0.8		0.9		0.8	
R <sup>2</sup>			0.7		0.9		0.6	
RMSE (mm)			11.6		16.2		25.0	

그림 3.28(a), (b)에서 7월 초순에 모의발생 유효우량이 실제 유효우량보다 높게 나타났는데 이는 모의발생에서는 일 강우량 자료가 입력되므로 그날 오후 늦게라도 비가 온다면 관개를 하지 않으나 실제 포장에서는 아침에 관개의 필요여부를 판단하여 관개하므로써 오후

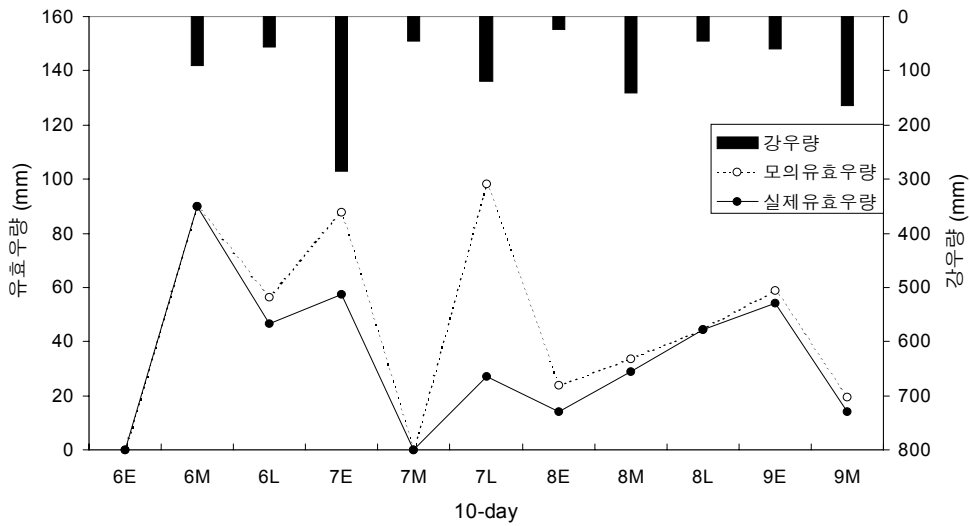
나 밤에 비가 오는 경우에도 아침에 관개하므로써 실제의 유효우량은 적게 된다. 그림 3.28(c)의 심수관개 처리구의 7월 초순과 하순에는 실제 유효우량이 모의발생 유효우량보다 낮게 나타났는데, 7월 초순에는 선행강우로 시험구의 담수심이 배수물꼬 높이까지 도달하였고 7월 하순에는 중간낙수이후에 관개를 배수물꼬 높이까지 하였기 때문으로 분석되었다.



(a) 극천수관개



(b) 천수관개



(c) 침수관개

그림 3.28 2003년도 실제 유효우량과 모의 유효우량의 비교

### 3.3 관개량의 검증

관개량의 검증을 위하여 2003년도 강우량, 침투량 및 검증된 증발산량을 물수지 모형의 입력자료로 이용하였다. 물수지 모형을 이용하여 관개량을 모의한 결과는 표 3.12와 그림 3.29에 나타나있다.

담수심 처리별 시험구에서 관측된 관개량과 모의발생 관개량의 상관성을 분석한 결과, 극천수관개와 천수관개의 상관계수가 0.9로 같았으나 결정계수는 천수관개가 0.8으로 높게 나타났고 RMSE는 극천수관개가 23.9mm로 가장 낮게 나타났다.

심수관개에서 모의발생한 관개량이 실제 관개량보다 높게 나타났는데, 이는 시험구의 관개시간이 길어서 주변 논의 관개시기와 일치하는 경우가 발생하였고 이 때 용수지거의 수위 저하로 충분한 관개를 하지 못하였기 때문이다.

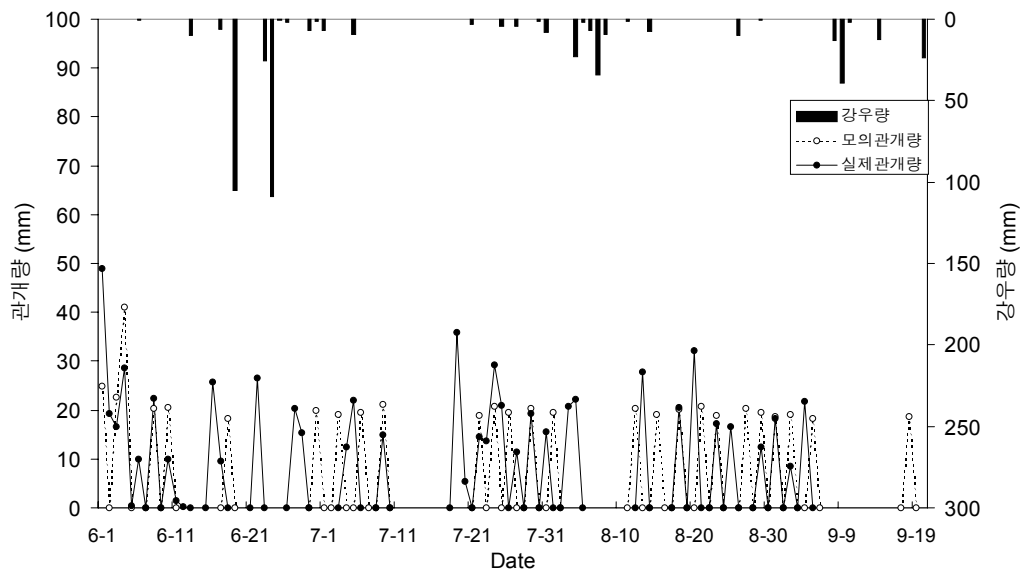
표 3.12 실제 관개량과 모의 관개량의 비교 (단위 : mm)

월	순	극천수관개		천수관개		심수관개	
		실제	모의	실제	모의	실제	모의
6	상	142.8	83.6	145.4	109.1	189.9	120.4
	중	42.0	25.7	34.2	34.4	84.9	0.0
	하	9.5	23.3	0.0	36.3	10.1	0.0
7	상	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	중	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	하	0.0	0.0	0.0	0.0	75.2	0.0
8	상	53.3	71.4	40.8	33.1	52.1	0.0
	중	8.5	27.9	6.3	35.8	12.3	65.1
	하	0.0	25.2	0.0	36.9	0.0	0.0
9	상	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	중	0.0	20.2	0.0	30.9	0.0	0.0
합계		256.1	277.3	226.6	316.5	424.6	185.5
r		0.9		0.9		0.7	
R <sup>2</sup>		0.8		0.8		0.5	
RMSE (mm)		23.9		24.3		48.3	

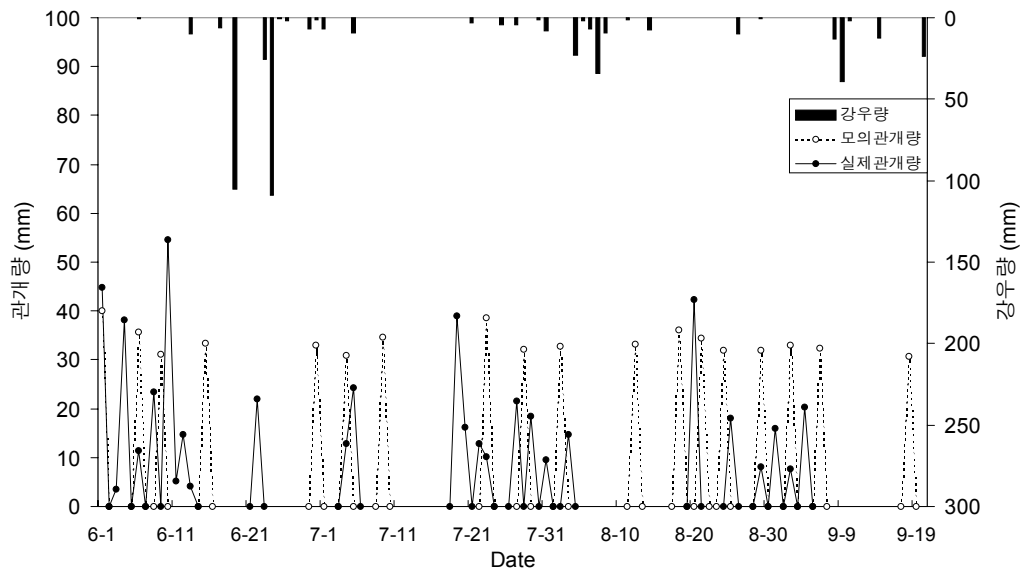
그림 3.29는 2001년도 실제 관개량과 모의발생한 관개량을 비교한 것으로 그림 3.29(a)에서 시험구에서는 배수물꼬의 높이가 낮고 논바닥의 요철 등으로 인하여 정확하게 물꼬높이 2cm만큼 관개하는 것이 어려웠으나 모형에서는 논바닥이 완전하게 균일한 상태로 가정하고

계산을 통한 정확한 관개량이 공급되었다. 그림 3.29(b)에서 9월 하순에 모의발생한 관개량이 공급된 것을 제외하고는 관개량이 없으며, 이는 9월 초순부터는 벼의 생육이 거의 끝난 시점이므로 관개가 불필요하였다. 그림 3.29(c)에서 실제 관개량이 모의발생한 관개량보다 적게 나타났는데, 이는 시험구의 관개시간이 길어서 주변 논의 관개시기와 일치하는 경우가 발생하였고 이 때 용수지거의 수위저하로 충분한 관개를 하지 못하였고 관개로 인한 월류를 방지하기 위하여 최대담수심과 배수물꼬높이까지 여유가 있도록 관개하였기 때문에 실제 관개량이 모의발생한 관개량보다 적었다.

극천수관개의 관개회수는 25회이고, 평균 관개량은 21.4mm였고, 천수관개의 관개회수는 18회, 평균 관개량은 33.6mm이고, 심수관개의 관개회수는 10회, 평균 관개량은 64.2mm였다. 극천수관개의 관개회수는 19회이고, 평균 관개량은 23.0mm였고, 천수관개의 관개회수는 15회, 평균 관개량은 33.4mm이고, 심수관개의 관개회수는 7회, 평균 관개량은 62.0mm였다. 표 3.4에 나타난 극천수관개의 실제 관개량의 관개회수는 41회보다 모의발생 관개회수가 16회가 적었으며 평균 관개량은 모의발생 관개량이 4.6mm가 많았다. 천수관개에는 모의발생 관개회수가 실제 관개회수보다 11회가 적었으며 평균 관개량은 모의발생 관개량이 15.9mm가 많았다. 심수관개에는 실제 관개회수는 32회인데 모의발생 관개회수는 7회로 모의발생 관개회수가 25회 적었으며 평균 관개량은 모의발생 관개량이 42.5mm가 많았다.

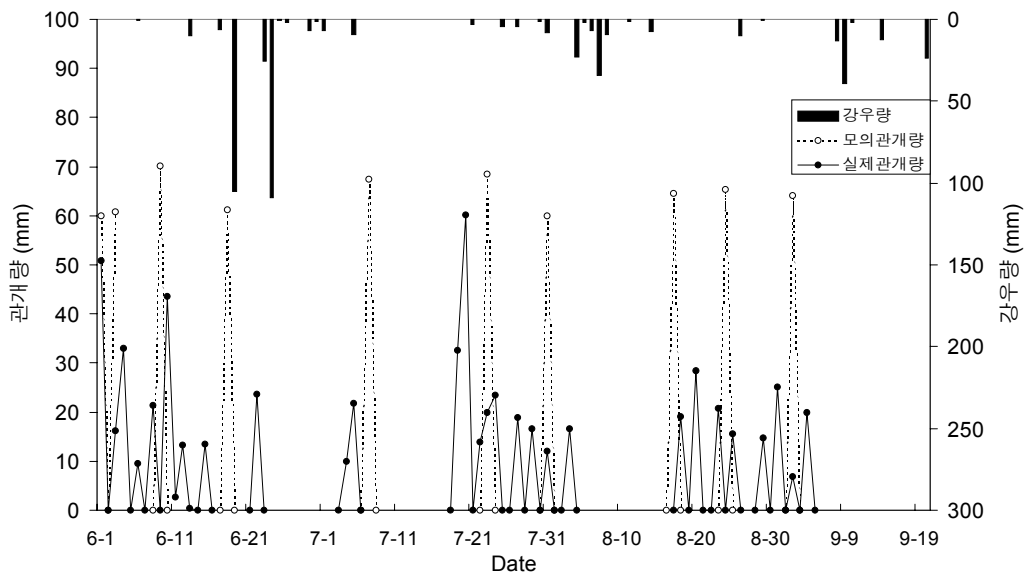


(a) 극천수관개



(b) 천수관개





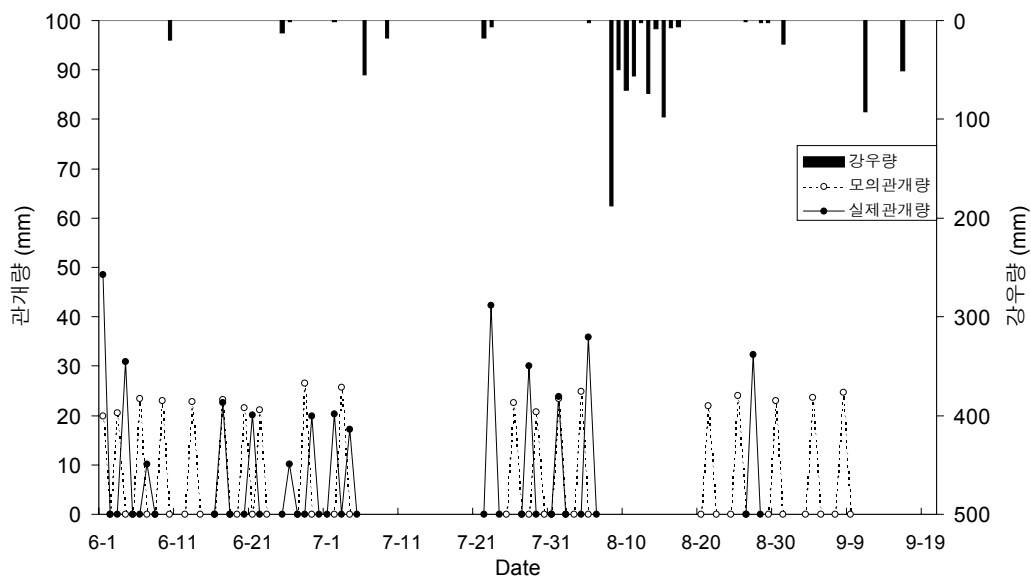
(c) 심수관개

그림 3.29 2001년도 실제 관개량과 모의 관개량의 비교

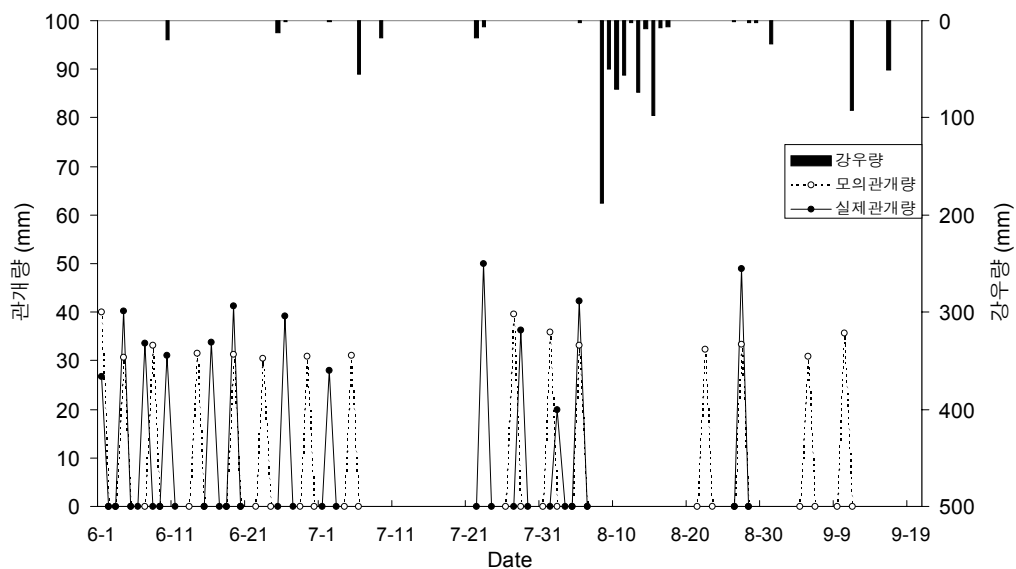
그림 3.30은 2002년도 실제 관개량과 모의발생한 관개량을 나타내며 그림 3.29와 같이 9월 초순부터 실제 관개는 중단되었으나, 모의발생한 관개량은 공급이 되었는데 이는 증발산량과 침투량에 의해 담수심이 감소하여 최저담수심이 되면서 관개량이 배수물꼬높이까지 공급되었기 때문이다. 그림 3.30(a)의 극천수관개와 그림 3.30(b)의 천수관개의 경우에 시험구에서의 실제 관개량은 8월 하순에 공급되고 이후의 관개는 강우량에 의존하였는데 모의발생에는 담수심 추적식에 의하여 최저담수위에 도달하면 관개를 하므로써 실제 관개량과의 차이를 보이고 있다.

극천수관개의 관개회수는 19회이고, 평균 관개량은 23.0mm였고, 천수관개의 관개회수는 15회, 평균 관개량은 33.4mm이고, 심수관개의 관개회수는 7회, 평균 관개량은 62.0mm였다. 표 3.4에 나타난 극천수관개의 실제 관개량의 관개회수 14회보다 모의발생 관개회수가 5회 많았으며 평균 관개량은 모의발생 관개량이 3.4mm가 적었다. 천수관개에는 모의발생 관개회수가 실제 관개회수보다 2회가 많았으며 평균 관개량은 모의발생 관개량이 3.5mm가 적었다. 심수관개에는 실제 관개회수는 11회인데 모의발생 관개회수는 7회로 관개회수가 4회 적

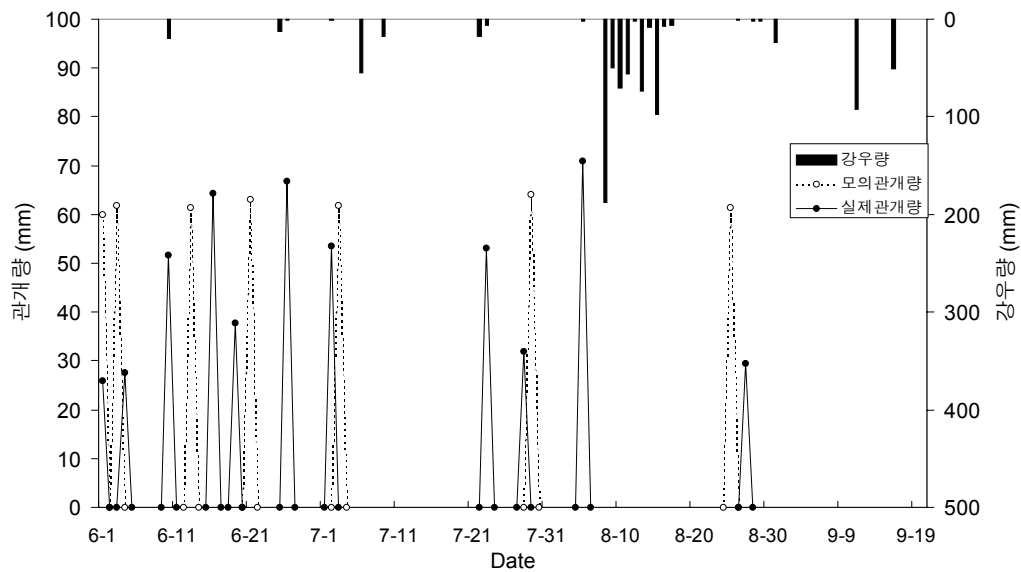
었으나 평균 관개량은 모의발생 관개량이 11.5mm가 많았다.



(a) 극천수관개



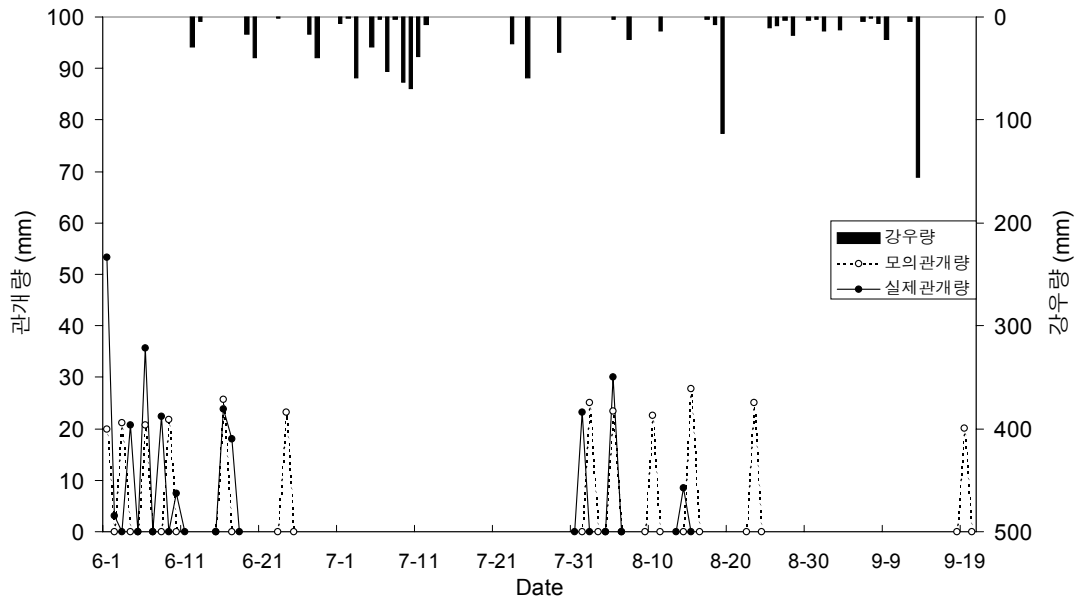
(b) 천수관개



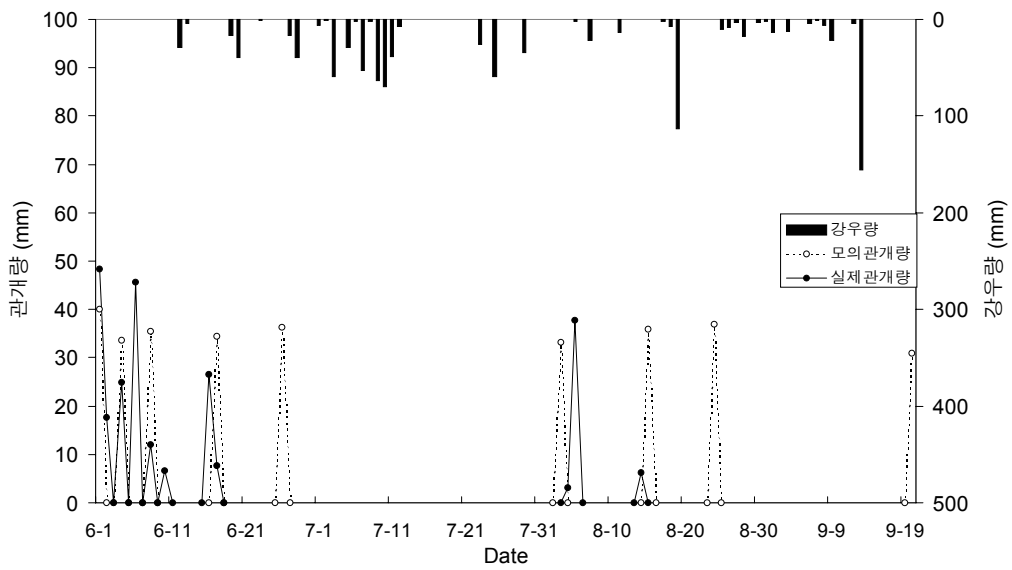
(c) 심수관개

그림 3.30 2002년도 실제 관개량과 모의 관개량의 비교

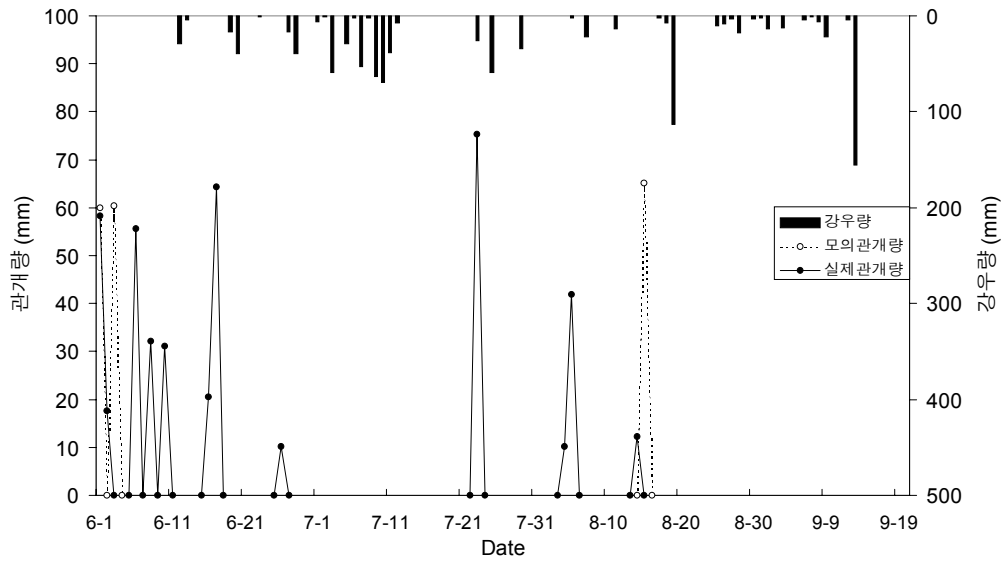
그림 3.31은 2003년도의 실제 관개량 및 모의발생한 관개량을 나타낸다. 2003년에는 전 관개기간에 걸쳐 많은 강우가 발생하였기 때문에 2001년도와 2002년도에 비해 관개회수가 많이 줄어들었다. 극천수관개의 관개회수는 12회이고, 평균 관개량은 23.1mm였고, 천수관개의 관개회수는 9회, 평균 관개량은 35.2mm이고, 심수관개의 관개회수는 3회, 평균 관개량은 61.8mm였다. 표 3.4에 나타난 극천수관개의 실제 관개량의 관개회수 10회보다 모의발생 관개회수가 2회 많았으며 평균 관개량은 모의발생 관개량이 2.9mm 적었다. 천수관개에는 모의발생 관개회수가 1회 적었으며 평균 관개량은 모의발생 관개량이 10.7mm가 많았다. 그림 3.31(a)의 극천수관개와 그림 3.31(b)의 천수관개의 실제 관개량과 모의발생 관개량 비교 그래프를 보면 6월 하순에 발생한 강우로 시험구에서의 관개량 공급은 중단되었으나 모의발생 관개량은 기상상태를 고려하지 않고 담수심 추적식에 의해 일별 담수심 계산을 하고 최저담수위에 도달하여 관개량이 공급되었다. 또한, 9월 하순에 최저담수위에 도달하면서 불필요한 관개량의 공급이 발생하였다. 심수관개에는 실제 관개회수는 12회였으나 모의발생 관개회수는 3회로 평균 관개량은 모의발생 관개량이 16.8mm 많았다.



(a) 극천수관개



(b) 천수관개



(c) 침수관개

그림 3.31 2003년도 실제 관개량과 모의 관개량 비교

물수지 모형을 이용하여 관개량을 모의하여 시험구에서 관측한 관개량과 비교한 결과 2001년도에는 관개회수와 평균 관개량의 차이가 많이 났으나 2002년과 2003년도는 관개회수와 관개량이 유사하게 나타났다.

담수심 처리별 시험구에서 관측한 관개량과 모의발생한 관개량의 상관성을 분석한 결과 상관계수의 범위가 0.7~0.9로 상관성이 높은 것으로 나타났으며 물수지 모형을 이용한 관개량의 모의발생 적용이 적합한 것으로 판단되었다.

#### 4. 최적담수심 처리

본 연구에서 2001년부터 2003년까지 물수지 모형을 통해 배수물꼬와 담수심 변화에 따른 절수관개를 모의하였다. 배수물꼬와 담수심의 범위는 본 연구에 적용된 담수심 2cm에서 10cm를 5가지로 세분화하여 검증된 물수지 모형을 통해 절수관개를 위한 관개량 및 유효우량을 모의하였다.

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

표 3.13은 물수지 모형에 적용된 배수물꼬의 높이와 담수심을 나타낸다.

표 3.13 물수지 모형에서 사용된 물꼬높이와 담수심 (단위 : cm)

적 용	물꼬높이 변화시	담수심 변화시
물꼬높이	2, 4, 6, 8, 10	10으로 고정
담수심	2, 4, 6, 8, 10	2, 4, 6, 8, 10

#### 4.1 물꼬높이에 따른 관개량과 유효수량

물꼬높이에 따른 관개량의 변화를 알아보기 위하여 배수물꼬의 높이를 각각 2cm, 4cm, 6cm, 8cm 그리고 10cm로 하여 관개량과 유효수량을 모의하였다. 관개는 담수심이 0이 되었을 때 각각의 배수물꼬의 높이까지 공급하였다.

표 3.14는 배수물꼬의 높이를 조절에 따른 관개량 및 유효수량을 비교한 것이다. 배수물꼬의 높이에 따른 관개량의 모의 결과 2001년도에는 물꼬높이를 10cm로 모의한 경우에 578.3mm로 가장 적은 관개량이 공급되었고 물꼬높이를 2cm로 모의한 경우가 669.0mm로 가장 많은 관개량이 공급되었다. 이와 같은 결과는 유효수량의 차이에 따른 것으로 판단되며 유효수량은 물꼬높이 10cm로 모의한 경우에 362.3mm로 가장 많았으며, 물꼬높이 2cm의 유효수량은 209.6mm로 가장 적었다. 그러나 관개량과 유효수량을 합한 값인 유입량의 측면에서 살펴보면 물꼬높이 2cm의 유입량은 878.6mm인데 반하여 물꼬높이 10cm의 유입량은 940.6mm이었으며, 물꼬높이 2cm에 비해 물꼬높이 10cm의 유입량이 62mm 더 많았다.

2002년도에는 물꼬높이 2cm로 모의한 경우에 456.9mm로 가장 적은 관개량이 공급되었고 물꼬높이 10cm로 모의한 경우에 552.3mm로 가장 많은 관개량이 공급되었다. 물꼬높이가 높으면 중간낙수 전이나 벼의 생육후기에 이르러 출수를 위한 단수시기 전에 담수심이 0이 되어 관개량이 공급되는 경우에 물꼬높이가 낮은 경우보다 상대적으로 많은 관개량이 공급된 것으로 사료된다. 또한, 물꼬높이 2cm의 유입량은 605.8mm 이었으나 물꼬높이 10cm의 유입량은 806.9mm로 나타나서 물꼬높이 2cm보다 201.1mm가 많이 유입된 것을 알 수 있다. 물꼬높이 2cm의 유효수량이 148.9mm로 가장 적었으며, 물꼬높이 8cm로 모의한 유효수량이 261.8mm로 가장 많았다. 2003년도에는 물꼬높이를 8cm로 모의한 경우에 223.8mm로 가장 적은 관개량이 공급되었으며, 물꼬높이 4cm의 관개량이 306.8mm로 가장 많이 공급되었다. 유효수량은 물꼬높이 10cm의 경우에 580.1mm로 가장 많았고, 물꼬높이 2cm의 유효수량이 330.3mm로 가장 적었다.

2003년도 결과에 비추어 볼 때 강우가 많은 해에는 물꼬높이가 높은 경우에 많은 강우량을 담수할 수 있기 때문에 관개량을 줄이는데 유리한 것으로 나타났다.

표 3.14 물꼬높이 조절에 따른 모의 관개량과 유효우량

(단위 : mm)

물꼬높이 \ 연도	2cm		4cm		6cm		8cm		10cm	
	관개량	유효우량	관개량	유효우량	관개량	유효우량	관개량	유효우량	관개량	유효우량
2001	669.0	209.6	618.2	262.2	632.8	262.1	648.9	297.9	558.3	362.3
2002	456.9	148.9	477.6	211.9	492.4	237.1	477.8	261.8	552.3	234.6
2003	297.3	330.3	306.8	422.0	246.4	512.4	223.8	560.1	243.8	580.1
평균	474.4	229.6	467.5	298.7	457.2	337.2	450.2	373.3	451.5	392.3
유입량	704.0		766.2		794.4		823.4		843.8	

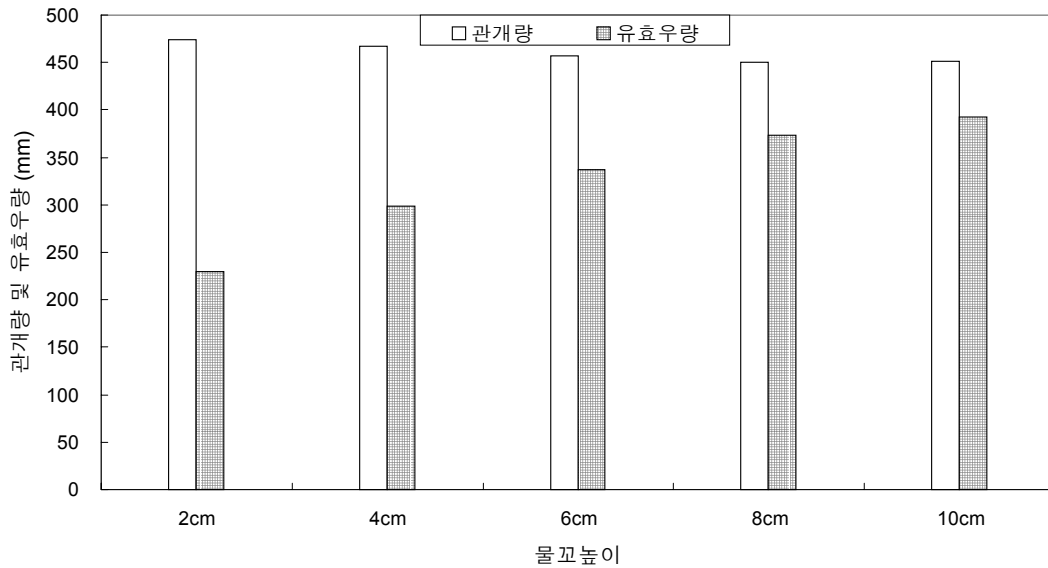


그림 3.32 물꼬높이에 따른 3개년 평균 모의 관개량과 유효우량

그림 3.32는 물꼬높이를 2cm, 4cm, 6cm, 8cm, 및 10cm로 조절하여 3개년의 평균 관개량



과 유효우량을 비교한 그래프이다. 2001년부터 2003까지의 관개량의 평균치는 물꼬높이 8cm의 경우에 450.2mm로 가장 적었으며, 물꼬높이 2cm가 474.4mm로 가장 많은 관개량이 공급되었다. 물꼬높이 2cm의 관개량은 474.4mm이고 물꼬높이 10cm의 관개량은 471.5mm로 관개량의 차이는 거의 없었다. 이는 물꼬높이 2cm의 경우에 물꼬높이가 낮아서 유효우량이 많지 않고 관개를 자주 하게 되며, 물꼬높이 10cm에는 물꼬높이가 높아서 한번 관개를 하게 되면 다음 관개시기까지 시간간격이 길어서 그 사이에 강우가 발생할 확률이 높고 강우발생 시에 많은 유효우량을 얻게 되므로 관개량의 차이가 줄어든 것으로 판단된다. 물꼬높이가 높을수록 관개량이 적게 공급되는 것으로 나타났다.

유효우량은 물꼬높이 2cm가 229.6mm로 가장 적었고, 물꼬높이 10cm의 유효우량은 392.3mm로 가장 많았다. 유입량의 측면에서 살펴보면 물꼬높이 2cm가 704.0mm로 유입량이 가장 적었고, 물꼬높이 10cm의 유입량은 863.8mm로 가장 많았으며, 물꼬높이가 높을수록 유입량은 많아지는 것으로 나타났다.

2001년부터 2003년까지 유효우량의 모의결과를 보면 물꼬높이가 높을수록 유효우량이 많아지는 경향이 나타났다. 관개량은 물꼬높이 10cm를 제외하고 물꼬높이가 높을수록 감소하였다. 물꼬높이 2cm와 10cm의 관개량의 차이가 거의 나지 않는 것은 물꼬높이 2cm는 관개량 공급회수가 많고 물꼬높이 10cm는 관개량 공급회수는 적으나 1회 공급 관개량이 많기 때문에 비슷하게 나타난 것으로 사료된다. 물꼬높이 10cm가 물꼬높이 8cm보다 모의 관개량이 증가한 이유는 관개회수는 비슷하고 관개량은 물꼬높이 차에 의하여 물꼬높이 10cm가 물꼬높이 8cm보다 약 2cm정도 많이 공급되기 때문으로 분석된다. 물꼬높이를 2cm부터 10cm까지 조절하여 모의한 결과, 관개량은 물꼬높이 8cm가 관개량이 가장 적게 공급되는 것으로 나타났으며 유효우량은 물꼬높이가 가장 높은 10cm일 경우에 가장 많은 것으로 나타났다.

## 4.2 담수심에 따른 관개량과 유효수량

담수심에 따른 관개량과 유효수량의 변화를 알아보기 위하여 배수물꼬의 높이를 10cm로 고정한 후에 담수심을 각각 2cm, 4cm, 6cm, 8cm 그리고 10cm로 모의하였고 표 3.15는 모의한 결과를 나타낸다. 관개는 담수심이 0이 되었을 때 각 배수물꼬의 높이까지 공급하였다.

담수심에 따른 관개량의 모의 결과 2001년도에는 물꼬높이를 2cm로 모의한 경우에 517.4mm로 가장 적은 관개량이 공급되었고 물꼬높이를 6cm로 모의한 경우가 632.8mm로 가장 많은 관개량이 공급되었다. 유효수량은 물꼬높이 2cm로 모의한 경우에 380.7mm로 가장 많았으며, 물꼬높이 8cm의 유효수량은 317.9mm로 가장 적었다. 2002년도에는 물꼬높이 2cm로 모의한 경우에 336.5mm로 관개량이 가장 적게 공급되었고 물꼬높이 10cm로 모의한 경우에 572.3mm로 관개량이 가장 많이 공급되었다. 물꼬높이 2cm의 유효수량이 393.5mm로 가장 많았으며, 물꼬높이 10cm로 모의한 유효수량이 234.6mm로 가장 적었다. 2003년도에는 물꼬높이를 2cm로 모의한 경우에 126.9mm로 관개량이 가장 적게 공급되었으며, 물꼬높이 10cm의 관개량이 263.8mm로 관개량이 가장 많이 공급되었다. 유효수량은 물꼬높이 4cm의 경우에 667.9mm로 가장 많았고, 물꼬높이 10cm의 유효수량이 580.1mm로 가장 적었다.

표 3.15 담수심 변화에 따른 모의 관개량과 유효수량

(단위 : mm)

담수심 \ 연도	2cm		4cm		6cm		8cm		10cm	
	관개량	유효수량	관개량	유효수량	관개량	유효수량	관개량	유효수량	관개량	유효수량
2001	517.4	380.7	581.6	357.5	632.8	337.5	564.1	317.9	558.3	362.3
2002	336.5	393.5	390.1	372.9	443.6	360.1	473.7	285.9	552.3	234.6
2003	126.9	656.8	170.9	667.9	180.3	658.5	223.8	600.1	243.8	580.1
평균	326.9	477.0	380.9	466.1	418.9	452.0	420.5	401.3	451.5	392.3
유입량	803.9		847.0		870.9		821.8		843.8	

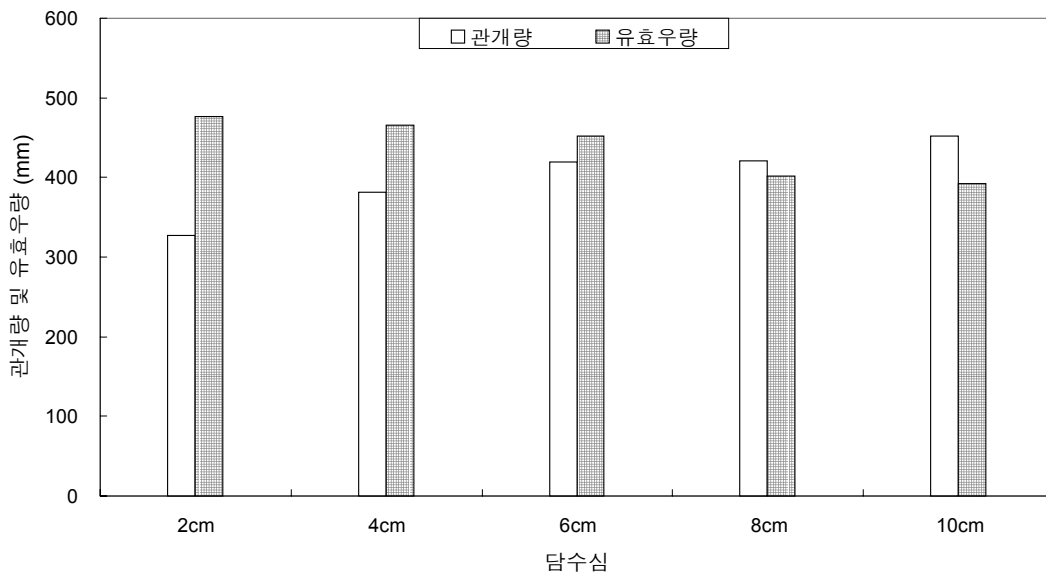


그림 3.33 담수심에 따른 3개년 평균 모의 관개량과 유효우량

그림 3.33은 배수물꼬의 높이를 10cm로 고정한 후에 담수심을 2cm, 4cm, 6cm, 8cm, 및 10cm로 조절하여 3개년간 모의한 결과를 평균 관개량과 유효우량으로 비교한 것이다. 담수심을 2cm로 하였을 때 관개량이 326.9mm로 가장 적게 공급되었고, 담수심을 10cm로 하였을 때 471.5mm로 가장 많았으며, 담수심이 높을수록 관개량이 많이 공급되는 경향이 나타났다. 유효우량은 담수심을 2cm로 하였을 때 477.0mm로 가장 많았고, 담수심을 10cm로 하였을 때 392.3mm로 유효우량이 가장 적었다. 배수물꼬의 높이를 10cm로 고정한 후에 담수심을 조절하였을 때 유효우량은 담수심이 낮을수록 많아지는 경향이 나타났다. 배수물꼬의 높이가 높고 담수심이 낮으면 강우량을 담수할 수 있는 공간이 많아지므로 배수물꼬의 높이를 최대한 높이고 담수심을 최소로 낮춘다면 관개량을 가장 적게 공급하고 유효우량을 가장 많이 얻을 수 있다는 결과를 도출할 수 있었다.

### 4.3 절수관개기법의 선정

본 절에서는 담수심 처리에 따른 벼 생육과 수확량에 차이가 없다는 결과로부터 물수지 모형을 이용하여 배수물꼬의 높이와 담수심을 조절함으로써 관개량을 모의발생하였다.

관개량의 모의발생은 배수물꼬의 높이를 조절하면서 관개를 하는 경우와 배수물꼬의 높이를 고정하고 담수심을 조절하는 경우로 구분하였다. 관개량의 모의발생을 위하여 배수물꼬 높이와 담수심은 실험포장에서 적용한 2cm에서 10cm의 범위 안에서 2cm 간격으로 5가지로 세분화하였으며, 모의한 관개량과 유효우량을 비교하였다. 모의한 관개량과 유효우량을 비교한 결과 배수물꼬의 높이를 조절한 경우에는 배수물꼬의 높이가 높을수록 유효우량이 증가하는 것으로 나타났으나 관개량은 2002년도에 배수물꼬의 높이 2cm 인 경우에 가장 적게 공급되고 2001년도와 2003년도에는 배수물꼬의 높이가 높을수록 관개량이 적게 공급되는 경향이 나타났다. 이는 배수물꼬의 높이가 낮은 경우에 유효우량을 많이 얻지 못하여 관개회수가 늘어나기 때문에 결과적으로 많은 관개량이 공급된 것으로 분석되었다.

배수물꼬의 높이를 10cm로 고정한 후에 담수심을 2cm부터 10cm의 범위 안에서 2cm 간격으로 담수심을 세분화하여 관개량과 유효우량을 모의한 결과, 담수심이 낮을수록 유효우량이 많고 관개량은 적게 공급되는 것으로 분석되었다. 배수물꼬의 높이가 높고 담수심이 낮으면 관개량의 공급이 적더라도 강우 발생시에 많은 유효우량을 얻을 수 있으므로 관개량은 감소하게 된다.

위와 같은 결과에 의하여 배수물꼬의 높이는 10cm로 하고 담수심은 2cm로 유지하는 방법이 관개량이 가장 적고 유효우량을 가장 많이 담수할 수 있는 절수관개기법으로 적합하다고 판단된다.

## 제4절 요약 및 결론

논 담수심 관리를 통한 용수절약형 관개기법을 개발하기 위하여 대구시 북구 동호동 소재 경북농업기술원 답작포 실험포장에서 25m×80m 크기의 포장을 3구역으로 나누어 극천수관개, 천수관개, 심수관개의 3가지 담수심 처리를 하여 2001년, 2002년, 그리고 2003년 벼의 생육기간동안 논 담수심 관리 방법별 물수지 및 관개량의 변화 분석을 실시하였다. 또한, 물수지 모형을 통해 관개량을 모의하여 관측치와 비교·분석하였으며, 절수관개를 위한 방안을 모색한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 담수심 처리에 따른 관개량을 조사분석한 결과 2001년도에는 천수관개의 관개량이 513.6mm로 심수관개에 비하여 17.7%의 물을 절약할 수 있었고, 2002년도에는 극천수관개의 관개량이 381.1mm로 심수관개에 비하여 약 25.7% 절약할 수 있었다. 2003년도에는 천수관개의 관개량이 226.6mm로 심수관개에 비하여 46.6%의 물을 절약할 수 있었다.
2. 관개기간 중에 총 강우량은 2001년도에는 499.8mm, 2002년도에는 869.6mm, 그리고 2003년도에는 1028.3mm로 나타났고, 2002년도와 2003년도에 많은 강우로 인해 2001년도에 비해서 관개량과 관개회수가 줄어들었다.
3. 유효우량은 2001년도에 천수관개가 299.1mm, 2002년도에는 심수관개가 239.6mm, 그리고 2003년도에는 천수관개의 유효우량이 460.4mm로 가장 많았다.  
배수량은 강우 발생시 증가한 담수심은 유효우량이 되고 나머지는 배수되는 것으로 하였기 때문에 유효우량이 가장 많은 담수심 처리구에서 배수량이 가장 적었다.
4. 증발산량은 천수관개가 2001년도, 2002년도, 및 2003년도에 각각 484.1mm, 448.3mm, 그리고 430.4mm로 가장 높았다. 일별 침투량은 2001년도, 2002년도, 그리고 2003년도에 각각 3.6mm, 1.7mm 그리고 2.4mm이었다.
5. 물수지 모형을 이용하여 관개량의 모의발생을 검증한 결과 상관계수가 0.7~0.9이고 RMSE는 23.9mm ~ 48.26mm로 나타났으며 물수지 모형을 이용한 관개량의 모의발생

적용이 적합한 것으로 판단되었다.

6. 배수물꼬의 높이를 조절하면서 관개를 하는 경우와 배수물꼬의 높이를 고정하고 담수심을 조절하는 경우로 구분하여 절수관개를 모의한 결과, 배수물꼬의 높이는 10cm로 하고 담수심은 2cm로 유지하는 방법이 관개량이 가장 적고 유효우량을 가장 많이 담수할 수 있는 절수관개기법으로 적합하였다.

## 제4장 담수심 관리 방법별 벼 생육 및 수확량 조사

### 제1절 서론

벼는 생리적으로 필요수량은 많지 않으나 담수상태에서 잘 자라는 생리적 특성이 있고, 담수상태에서 재배하는 것이 잡초 방제가 용이하고 시비효율을 높일 수 있으므로, 물은 일조시간 및 온도와 함께 벼 재배에서 필수요소이다. 벼 재배의 물 공급원은 강우, 하천수 등의 관개수이나, 이상기상에 의한 빈번한 가뭄, 용수의 오염, 수리시설의 노후 등으로 최근 일시적 물 부족이 현상이 나타나므로, 논에서 최적 물 관리는 농업용수 절약과 쌀 생산량의 증가를 위하여 매우 중요하다. 그러나 지금까지의 논 물 관리는 관습적으로 주로 심수 관개를 하여왔으며, 이러한 관개방법은 관개효율을 낮게 하는 결과를 초래하여 과다한 농업용수를 필요로 하게 되었다. 또한 상시관개를 함으로서 유효분얼을 적게 하는 반면 무효분얼과 다로 후기 추락을 일으키는 등 작물 생육에 알맞은 관개관리를 하지 못하고 있다. 특히 유기물이 많은 습답에서는 고온이 되면 유해물질이 발생하여 근부 현상을 일으킴으로 감수를 초래하는 일이 많다. 그리고 벼는 물을 많이 필요로 하는 식물이기는 하지만 결코 수생식물은 아니므로 필요 이상의 물을 공급하면 발육기에는 연약하게 성장하여 병해충에 대한 저항력이 약화되어 도복 되기 쉬워지므로 논에서 기온, 발육시기, 토질, 토성 등을 참작하여 필요한 시기에 적량의 물을 관개하므로써 증수할 수 있다.

최근 벼 재배에서 절수관개에 대한 관심이 국내뿐만 아니라 일본, 중국, 동남아시아 벼 재배 지역에서 고조되고 있으며, Tuong and Bouman(2002)는 물 생산성(water productivity)을 제고시키는 전략으로 단위 증산량에 대한 수량 증대와 비생산적 물 유출 감소 측면을 제시하고 있다.

따라서 본 시험은 논에서의 담수심의 차이가 벼의 생육과 수확량에 미치는 영향을 조사하여 용수를 절약할 수 있는 관개방법 개발의 기초 자료를 얻고자 한다.

## 제2절 연구사

벼 재배에 있어 생육 단계별 알맞은 양의 물을 공급하는 일이란 벼의 생산량을 높이고 물의 경제적 이용을 위하여 가장 중요한 문제로서 이제까지 이에 관한 연구보고는 상당히 많다. 특히 우리나라, 일본 등과 같이 주작이 벼인 나라에서는 벼의 흉작이 곧 그 나라 농업전체의 풍·흉작을 지배하는 것이어서 관개용수의 합리적 이용을 위한 관개방식에 관하여 많은 학자들에 의하여 연구된 바 있다.

벼의 절수관개에 대한 연구의 시작은 우리나라에서는 1910년 勸業模範場에서부터 비롯되었으며, 미국에서는 Bond and Keeney(1902)가 벼에 대한 용수량 시험을 처음 시작하였고, 그 후 Biggs(1917), Adamas(1920)에 의해 벼의 관개시기에 관한 기초 자료가 제공되었다.

절수관개의 절수효과와 벼 수량에 미치는 영향에 대한 연구는 1912년 勸業模範場 大邱支場에서 수심 60mm의 5회 관수시 최대수량을 얻을 수 있다고 하였으며, 1966년 농촌진흥청의 보고에서 절수재배의 증수효과가 인정되었으며, 李 등(1966)도 역시 5일에 1일 관수하는 극절수재배가 8.2% 증수되었다고 하였고, 劉 등(1970)은 윤환관개 처리에 따른 절수효과, 수도 생육 및 수량에 미치는 영향을 밝히는 연구에서 윤환관개의 중요성을 주장하였다. 富士崗(1956)은 심수관개보다 천수관개가 수도의 생육 및 수확량에 좋은 영향을 미친다고 하였으며, 金崗(1945)은 유수형성기까지는 토양수분을 포화수분량의 70%정도로 유지하여도 담수관개에 못지않은 생육과 수확을 올릴 수 있다고 하였다. 또한 富士崗(1956)은 수심과 생육, 수확량과의 관계 및 관개적기에 관한 연구에서 초장 신장은 담수심과 관계가 없고, 분얼은 토양 함수량에 비례하며, 무효분얼은 10~75%가 최소이고 일반재배에서는 75% 이상의 토양수분이 필요하고, 최대 함수량은 10~30mm 깊이의 담수관개가 가장 적당하며, 수잉기 및 개화기에는 담수하고 기타 시기에는 75~100%정도의 토양수분만 유지시켜도 수확량에는 별 영향이 없었으며, 관개수를 1/2 정도로 절약할 수 있다고 하였다. 高井(1959)는 수도의 절수재배의 용수량과 수량의 비교 분석에서 절수재배는 일반재배의 76% 용수량으로도 수량이 오히려 110%에 달한다고 하였으며, 용수량 절약은 24%나 된다고 했다. 또한 Lee Chow (1950)는 대만의 관개방법에 관한 조사에서 윤환관개는 보통 60mm 담수군 보다는 25~50%의 관개수량을 절약할 수 있다고 지적하였고, 침투율이 높은 토질에서는 다른 토질에 비하여 상당히 많은 량을 절약할 수 있었다고 하였다.

절수시기가 벼 생육 및 수량에 미치는 연구로는 山口農業試驗場(1944~1945)에서 행한



토양수분의 차이와 벼의 생육수량에 관한 시험 결과는 피해가 가장 적은 시기에 중점적으로 절수한 후 유수형성기부터 관수하면 관수효과를 얻을 수 있다고 지적하였다. 또한 西農農事試驗場(1957)의 시험결과는 이양후 착근까지는 내한성이 약하나, 분얼기간 중에는 대단히 강하며, 유수형성기 이후 특히 유수분화기, 생식세포 감수분열기(출수 후 10일~14일) 및 출수 개화기가 가장 약하므로 이 시기에 절수재배를 하는 것이 가장 중요한 점이라 하였다. 또한 高井(1957)는 착근기와 유수형성기 및 수잉기가 물이 가장 필요하고 분얼기와 등숙기는 단수하여도 좋다고 하였다. 그러나 閔(1969)은 표준관개에 비해 모든 시기의 단수가 수량이 떨어지는 경향이 있다고 했는데 특히 수잉기, 출수기 초기, 수전기에서 현저히 감수하고 분얼 쇠퇴기에서는 증수의 효과가 있다고 했다. 木根淵(1968)은 낙수시기가 빠를수록 경수, 수수, 간장, 현미중 등이 떨어졌다고 하였으며, 李(1966,1968)는 천수관개가 좋고 분얼기와 등숙기에는 중간 낙수 하는 것이 수량이 많았으며, 수잉기에 단수하는 것은 불량하였다고 하였다.

절수방법이 벼 생육 및 수량에 미치는 영향에 대한 연구로는 농촌진흥청(1966)보고에 의하면 물을 대는 방법이 벼 수확량에 미치는 영향은 항상 물을 대는 것보다 4일 관수하고 2일 낙수하는 것이 좋다고 했으며, 관행재배법과 절수재배법의 수량비교에서는 절수재배법이 증수효과가 크다고 했다. 崔(1967)는 유수형성기와 출수기에는 뿌리의 활력이 쇠약할 때이므로 7~10일간 낙수 처리하거나 휴립 재배하는 것이 상시담수하는 것보다 등숙 및 천립중이 좋다고 했다. 그리고 崔(1968)는 절수시기 및 절수방법과 벼 수량과의 관계는 상시 절수구에 비해 생육후기 절수구, 중간 절수구, 초기 절수구 순으로 그 수량이 떨어지는 경향이 있었고 절수방법에 따라서는 보통구에 비해 절수구와 극절수구가 오히려 약간 증수된다는 사실을 보고하였다.

담수심과 도복형질 및 지하부 생육, 잡초 발생량 등에 미치는 영향에 대한 연구는 川田 등(1969, 1977, 1978)에 의하면 벼 근근의 발달은 토양조건 특히 물 관리의 영향을 크게 받으며, 결과적으로 지상부의 생육 및 수확물의 다소에도 영향을 미친다고 하였다. Terashima et al(1992, 1994, 1995)에 의하면 추도저항성의 경우 포장도복과 상관성이 높은 동시에 지하부 뿌리의 량과 분포와 밀접한 관계가 있다고 하였으며, 崔 등(1995), 朴 등 (1993)은 벼 생육기간 중 낙수를 자주한 절수관개는 상시 심수관개에 비해 뿌리량이 많아지고, 심층 분포비율이 많아진다는 하였고, 李 등(1966)은 절수재배는 관행 관수재배에 비해 벼 뿌리의 모근이 많고 뿌리의 신장도가 크게 되어 토양 하층까지 넓게 분포된다는 보고하였다. 具 등(1992)은 물 관리방법에 따른 잡초 발생양상은 벼 생육 초기에 담수하지 않으면 전체적인 잡초 발생량은 적어지나, 포화상태의 수분을 유지함에 따라 전체적인 발생량이 증가하며, 심수 상태나 건조

상태에서는 상대적으로 그들의 능력이 저하되며, 특히 잡초가 가장 많이 발생하는 포화수분 조건은 다년생 발생이 현저히 떨어지고, 일년생 잡초의 증가된다고 보고하였으며, 佐藤康(1952)는 수심을 10cm 이상으로 유지시키면 피의 발생이 억제된다고 보고하였다. 또한 具 등(1982), 金 등(1975)은 수심 및 수온에 따라 잡초의 발생양상이 및 생육반응이 달라지기도 하지만, 제초제의 약효의 반응이 달라진다고 보고하였다.

최근에 보고된 절수관개 기술에 대한 연구는 Tuong(2003)은 벼 관개시스템의 물 생산성 증대 전략 중 절수관개 기술로 Saturated Soil Culture(SSC)와 Alternate Wetting and Drying(AWD)관개방법이 비생산적 물 유출을 크게 감소시킬 수 있어 물 생산성을 높일 수 있으나, 이러한 관개시스템이 성공하려면 새로운 aerobic rice 품종 개발이 필요하다고 제시하였다. SSC 관개기술은 1cm 정도의 극천수관개로 토양수분을 포화상태로 유지하는 관개 방식이다. Tabbal et al(2002)는 SSC 조건 하에서 벼 재배는 30~60% 관수를 절약하나 수량은 4~9% 감소되는 반면에 물 생산성이 30~115% 증대된다고 하였다. Borell et al(1997)은 SSC 관개를 하면 담수벼 재배에 비해 관수 절약 34%, 수량감수 16~34%을 보고하였으며, Thompson(1999)은 호주의 New South Wales지역에서 60~100cm 폭의 육묘상면 형태로 SSC 관개하면 관개수와 수량이 10% 정도 감소되었다고 하였다. 그러나 Gupta et al(2002)는 인도의 벼-밀 작부체계에서 SSC 관개는 담수재배에 비해 관개수를 30~45% 절약할 수 있고 수량도 오히려 증가한다고 하였다. AWD관개기술은 주기적으로 2~7일간 2~5cm 의 담수심으로 관개하여 건답상태로 만든 후 다시 같은 수준으로 관개하여 벼가 수분 Stress를 받지 않는 정도로 관개하는 방법으로 상시담수에 비해 수량이 감소되지 않는다고 보고하였다(Wei and Song 1989, Mao Zhi 1993, Qinghua Shi et al. 2002).

### 제3절 연구방법

담수심 별 벼 생육 및 수량, 잡초 발생량과 병해충 발생 차이를 조사하기 위하여 경북농업기술원에서 미사질 식양토의 신흥동 보통답인 벼 시험포장 20a를 담수심 2cm(극단천수관개), 4cm(천수관개), 10cm(심수관개) 시험구로 3 등분하여 시험구 둘레에 P.E. 0.05mm 필름 2점의 차수막을 지하에 매립 설치한 후 경운·로터리 하였으며, 시험구별 동일 관개수량을 투입하여 기비를 사용하고 다시 로터리 한 후 논 고르기를 하였다. 시험품종 화영벼를 4월 28일에 파종하여 30일간 육묘한 묘를 재식거리 30cm×14cm로 5월 28일에 기계이앙하였다.

10a 당 시비량은 N 11kg, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 4.5kg, K<sub>2</sub>O 5.7kg을 농촌진흥청 표준 시비방법으로 시비 하였으며, 이앙후 20일, 최고분얼기, 출수기에 초장, 주당경수, 건물중을, 출수 후 10일에 간장, 수장, 수수를 각 시험구에서 임의로 20주를 선정하여 3반복 조사하였다. 수량구성요소 및 수량조사는 1구 당 100주를 3반복 수확한 후 10a당 수량으로 환산하였다.

지하부 생육조사는 출수 후 30일에 Weaver and Darland의 방법을 개량한 35cm×40cm×5cm 크기의 철제 모노리스를 제작하여 논 표면으로부터 40cm(길이)×15cm(폭)의 면적에 깊이 30cm까지 토양을 채취한 후 물로 세척하여 근폭, 근장을 측정하고, 10cm 간격 깊이별로 끊어 각각 근 분포량을 조사하였으며, 잡초 발생량은 벼 경합이 가장 심한 최고분얼기와 출수기에 시험구 당 50cm×50cm Quadrat로 2회 샘플링 한 후 초종 별 본수 및 건물중을 조사하여 m<sup>2</sup>당으로 환산하였다.

도복 형질 조사는 도복이 가장 일어나는 쉬운 출수 후 20일 경에 절간장, moment, 좌절 중 및 기타 도복 형질을 조사하였으며, Terashima 방법을 이용하여 지표에서 25cm 지점의 상부를 제거하고 난 후 지표에서 20cm 지점에 힘을 가해 식물체가 45°로 넘어지는 순간 식물체가 가지는 최고의 저항력을 Force gauge로 주당 추도저항성(Pushing resistance)을 측정하였다. 포장 도복과 엽노화는 농촌진흥청 조사기준에 준해 0~9의 단계로 달관 조사하였으며, 병해충 조사는 병해충 주 발생시기에 수시로 조사하였다.

외관상 미질조사는 Grain Inspector(Cervitec TM 1625, Foss), 쌀의 단백질 함량, 아밀로즈 함량은 Grain Analyzer(1241, Foss), 밥맛은 Toyo味度meter(MA90, Toyo)로 조사하였다.

## 제4절 연구내용 및 결과

### 1. 기상

그림 4.1은 벼 생육기간 중 평균기온의 변화를 나타낸다. 6월 상순은 3개년 모두 21.9℃ ~ 24.9℃로서 이양 직후 활착 최적온도 범위였으며, 분얼기는 2001년과 2002년은 24.4℃ ~ 29.6℃ 범위로 분얼 최적온도이었지만, 2003년은 21.9℃ ~ 23.7℃ 범위로 분얼을 지연하는 온도였다. 출수기 기온은 2002년, 2003년은 21.7℃ ~ 23.3℃ 범위로 2001년의 27.0℃에 비해 상당히 낮았지만, 임실장해에 영향 주는 온도는 아니었고, 2002년 성숙기 기온은 후기에 약간 낮았을 뿐 등숙에 지장 주는 온도는 아니었다.

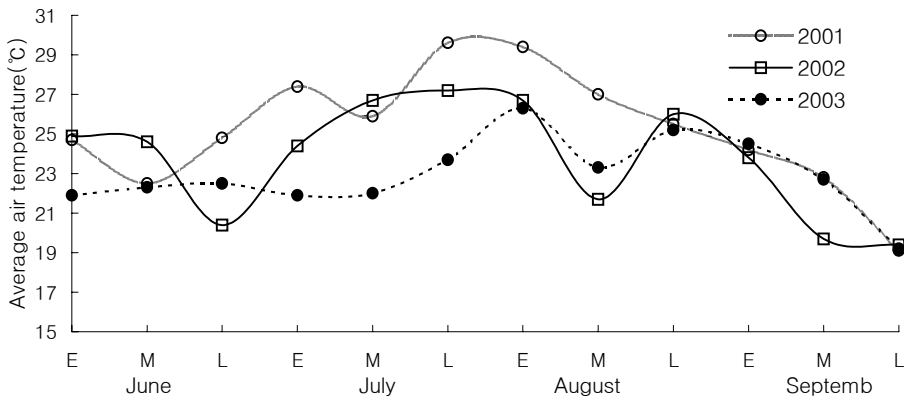


그림 4.1 벼 생육기간동안의 평균기온 변화

그림 4.2는 벼 생육기간동안의 강우량과 일조시간의 변화를 나타낸다. 강우량은 2001년은 6월 중순~하순사이에 순별 121.5~161.2mm 정도이었을 뿐 그 외 시기는 강우량이 적었으나, 2002년은 8월에 순별 149.2~331.5mm, 2003년은 7월에 순별 119.5~257.6mm, 9월 중순에 209.0mm로 강우량이 특히 많았으며, 이러한 강우량으로 인해 2002년은 8월에, 2003년은 7월부터 9월까지 일조시간이 낮았다. 특히 2003년은 생육 중기부터 잦은 강우에 의한 저온 및 일조시간 부족으로 벼 생육에 불리한 기상을 나타내었다.

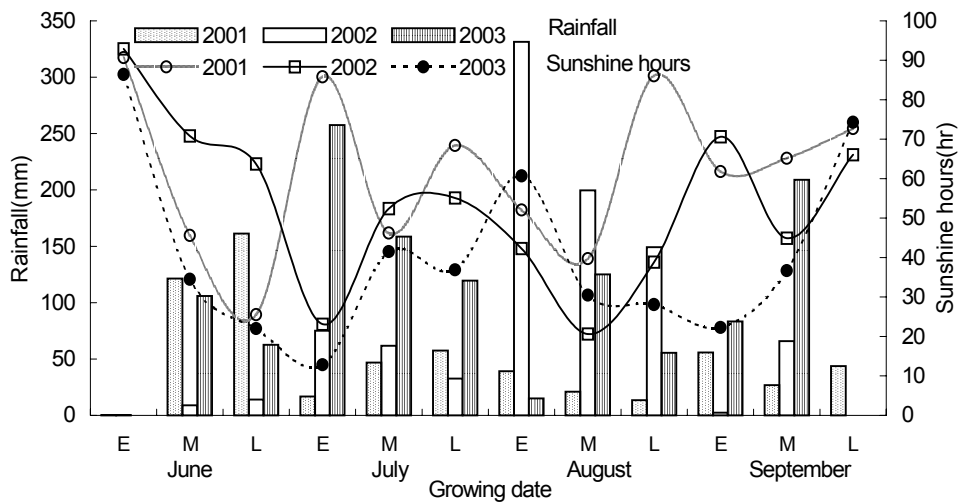


그림 4.2 벼 생육기간동안의 강우량과 일조시간의 변화

## 2. 생육 및 수량

벼의 생육 및 수량을 조사한 후에 Duncan's multiple range test(DMRT)를 실시하여 담수심 처리별 통계적 유의성을 분석하였다. 표에 나타난 수치에 표기된 영문자는 DMRT에 의해서 유의성 5% 수준에서 유의적인 차이를 비교하는 것으로서 같은 문자들간에 유의성이 없다는 것을 나타낸다.

표 4.1은 3개년간 관측한 담수심 처리별 벼 생육을 비교한 것이다. 이앙후 20일, 최고 분얼기에서는 초장, 경수가 담수심에 관계없이 비슷하였으나, 출수기에서는 담수심 10cm가 초장이 가장 길었고 경수가 가장 적었다. 건물중은 출수기까지 생육에서 담수심에 따라 차이가 없었으나, 담수심 4cm가 약간 많은 경향이였다. 그러나 담수심에 의한 이들 생육 특성치의 차이는 통계적 유의성이 없었다.

표 4.2는 3개년간 관측한 담수심 처리별 벼 수량구성요소와 수확량을 비교한 것이다. 유효경 비율은 담수심 10cm가 다른 담수심에 비해 약간 높았으며, 출수기는 담수심에 따라 변동이 없었고, 성숙기의 간장은 담수심 10cm가 담수심 2cm에 비해 3cm 길었을 뿐 수장, 수수는 거의 비슷하였다. 수량구성요소중  $m^2$ 당 영화수, 현미천립중은 거의 비슷하였으나, 등숙

비율은 담수심 2cm가 다른 담수심에 비해 1% 적었으며, 쌀 수량은 담수심 2cm가 담수심 10cm에 비해 2.1% 적었다. 그러나 담수심에 따른 수량구성요소 및 수량의 차이는 모두 통계적 유의성은 없었다.

표 4.1 담수심 처리별 생육비교

담수심	초장 (cm)			분얼수(개/주)			건물중(g/주)		
	20 DAT <sup>#</sup>	최고 분얼기	출수기	20DAT	최고 분얼기	출수기	20DAT	최고 분얼기	출수기
2cm	28.4a*	60.3a	88.7a	10.2a	22.2a	16.1a	1.5a	10.9a	30.4a
4cm	28.5a	61.6a	90.7a	10.2a	22.3a	16.1a	1.7a	12.0a	31.0a
10cm	28.8a	62.2a	91.2a	9.0a	20.8a	15.5a	1.5a	11.5a	30.6a

\* DMRT at 5% level

<sup>#</sup> days after transplanting

표 4.2 담수심 처리별 수량구성요소와 수확량

담수심	유효분얼 (%)	출수일	간장 (cm)	수장 (cm)	수수 (/주)	영화수 (개/수)	등숙율 (%)	현미 천립중(g)	쌀수량 (kg/10a)
2cm	69.4b*	Aug. 13	77a	20.3a	15.4a	29,700a	87.1a	22.5a	513a
4cm	68.2ab	Aug. 13	78a	20.4a	15.2a	29,906a	88.1a	22.3a	524a
10cm	71.6a	Aug. 13	80a	20.4a	14.9a	30,156a	88.1a	22.3a	524a

\* DMRT at 5% level

심수관개는 벼의 일부분이 물속에 잠기게 되므로 이미 분화되어 있는 분얼아는 물속에서 생장이 멈추고 분얼이 억제되는 특성이 있다고 하였고(Choji and al. 1985, 大江直道 등 1991), 元 등(1997)은 담수심 20cm의 심수관개는 5cm의 담수심에 비해 출수기에서의 분얼수가 적은 경향이었으며, 劉 등(1970)은 심수관개는 엽수, 초장에는 영향이 적지만, 경수에는 수중 산소공급의 부족 등으로 감수된다는 보고와 본 시험의 결과는 비슷한 경향이였다.

유효경 비율은 극담수심시 분얼경의 생장에 크게 영향 주어, 무효경 비율이 감소되어 유

효경 비율이 증가될 수 있지만, 富士崗(1950, 1956, 1968,1968)은 수심과 생육 및 수량과의 관계 및 관개적기에 관한 연구에서 초장, 간장은 담수의 심천과 관계가 없고 분얼은 토양함수량에 비례하며, 무효분얼은 토양수분이 75~100% 정도의 극천수는 지하부 생육을 좋게 하므로 오히려 유효경 비율을 증대시킬 수 있다고 하므로, 벼 재배에서 중요한 유효경 비율을 증대시킬 수 있는 최적 담수심은 금후 재검토가 필요하다고 생각된다.

富士崗(1950, 1956, 1968,1968)은 수잉기 및 개화기에는 담수하고 기타 시기에는 75~100% 정도의 토양수분만 유지시켜 주면 수확량에는 별 영향을 미치지 않는다고 한 보고와 본 시험의 담수심별 수량과 관계와 비슷한 경향이였다. 그러나 Tabbal et al(2002)는 1cm 정도의 극천수관계에 의한 Saturated Soil Culture(SSC) 조건하에서 벼 재배는 30~60% 관수를 절약할수 있지만 수량은 4~9% 감소되었고, Borell et al(1997) 은 SSC 관개기법은 관수를 34% 절약할 수 있지만, 수량감수는 16~34% 이었으며, Thompson(1999)은 호주의 New South Wales지역에서 SSC 조건으로 관개하면 관개수와 수량이 10% 정도 감소되었다고 하는 보고와는 반대로 Gupta et al(2002)는 인도의 벼-밀 작부체계에서 SSC 관개는 담수재배에 비해 관개수를 30~45% 절약할 수 있고, 수량도 오히려 증가한다고 하였고, 李 등(1966)은 역시 5일에 1일관수하는 극절수재배시 8.2%의 증수를 보고한 바 있기 때문에 절수재배는 연구자의 지역 및 재배조건 등에 따라 수량이 감소 및 증대될 수 있으므로 절수재배가 수량에 미치는 영향에 대해 정확히 결론짓기가 어렵다고 생각된다.

### 3. 담수심이 도복형질과 지하부 생육에 미치는 영향

표 4.3과 표 4.4는 3개년간 관측한 담수심 처리별 도복 관련 형질을 비교한 것이다. 도복 관련 형질 중 간벽두께, 간기중, 줄기직경은 담수심 10cm에서 감소하였으나, 그 외 다른 형질은 담수심에 따라 차이가 적었다. 그러나 내도복의 주요 지표인 좌절중, 추도저항성은 담수심 2cm가 담수심 10cm에 비해 매우 높고 도복지수가 낮아 포장에서도 도복 되지 않았다. 절간장은 이삭목절인  $N_0$ 과  $N_1$ ,  $N_4$ 절은 담수심에 따라 차이가 적었지만,  $N_2$ ,  $N_3$  절은 담수심이 깊을수록 길어져서 담수심 10cm에서는 3정도의 완곡도복이 발생되었다.

심수관계는 천수관계에 비해 절간장의 신장이 현저하다는 元 등(1997)의 보고와 본시험의 결과와 비슷한 경향이였지만, 간벽두께, 줄기직경은 심수관계에서 오히려 감소한 결과는 元 등(1997)은 엽초를 포함한 줄기의 외경, 간벽두께가 천수관계에 비해 심수관계가 컸으

며, Steven 등(1991)도 심수관개는 무효분얼을 억제시켜 확보된 경을 튼튼하게 하여 준다고 한 보고와는 상이한데, 이러한 상이점은 본 시험에서는 도복형질 조사시 엽초를 포함하여 조사하면 엽초의 함수정도에 따라 변이가 심하기 때문에 엽초를 완전히 벗기고 내부 줄기에 대해 조사한 결과에 기인된 것으로 생각된다.

표 4.3 담수심 처리별 도복관련형질의 비교

담수심	생체중 (g/줄기)	중심고 (cm)	간경(mm)		간벽두께 (mm)	간기중** (D.W. mg /stem)
			장경	단경		
2cm	14.7a*	35.5a	3.64a	3.20a	0.60a	209a
4cm	15.0a	36.5a	3.66a	3.20a	0.59a	196a
10cm	15.0a	36.8a	3.58a	3.07a	0.48a	177b

\* DMRT at 5% level

\*\* 지표에서 10cm 높이까지 줄기의 무게

표 4.3 (계속)

담수심	좌절중(g)	Bending moment (g · cm)	도복지수	추도저항성 (g/주)	포장도복 (0-9)
2cm	617a ↓	1,008a	163	1,091a	0
4cm	532b	1,069a	201	880b	0
10cm	466b	1,104a	237	722b	3

표 4.4 담수심 처리별 절간장의 비교

담수심	절간장 (cm)				
	N <sub>0</sub>	N <sub>1</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>3</sub>	N <sub>4</sub>
2cm	36.6a*	17.4a	8.9b	5.0b	0.7a
4cm	36.3a	18.0a	9.7ab	6.0ab	0.8a
10cm	36.7a	18.9a	10.1a	7.0a	0.9a



\* DMRT at 5% level

표 4.5는 3개년간 관측한 담수심 처리별 지하부 뿌리 발생량을 비교한 것이다. 성숙기의 지하부 뿌리생육은 담수심 2cm가 근장이 27cm로 담수심 10cm보다 4cm 깊게 내려갔으며, 근폭은 담수심별 비슷하였다. 토양 표면으로부터 10cm 간격 깊이별 뿌리 발생량은 담수심 10cm의 경우 토양 표면으로부터 10cm 깊이까지는 담수심 2cm, 4cm에 비해 뿌리 발생량이 많았지만 토양 표면으로부터 10cm 이상 깊이에서는 적었고, 오히려 담수심 2cm가 담수심 10cm, 4cm에 비해 많았다. 전체 뿌리 발생량은 담수심 4cm가 약간 적었고 담수심 2cm, 10cm는 비슷하였다. 그리고 뿌리분포는 깊이 20cm 부근에 형성된 경반층을 통과하지 못하여, 20~30cm 깊이에서는 담수심에 관계없이 모두 뿌리가 적었다.

川田 등(1969, 1977, 1978)에 의하면 벼 근근의 발달은 토양조건 특히 물 관리의 영향을 크게 받으며, 결과적으로 지상부의 생육 및 수확물의 다소에도 영향을 미친다고 하였고, Terashima et al(1992, 1994, 1995)에 의하면 추도 저항성의 경우 포장도복과 상관성이 높은 동시에 지하부 뿌리의 양과 분포와 밀접한 관계가 있다고 하였으며, 崔 등 (1995), 朴 등 (1993)은 벼 생육기간 중 낙수를 자주한 절수관개는 상시 심수관개에 비해 뿌리량이 많아지고, 심층 분포비율이 많아진다는 보고와 李 등(1966)은 절수재배는 보통관수 재배에 비해 벼 뿌리의 모근이 많고 뿌리의 신장도가 크게 되어 토양 하층까지 넓게 분포된다는 보고와 본 시험의 결과와는 비슷하였다. 한편 극천수관개에 의한 심층부까지의 뿌리분포(표 5)는 추도 저항성을 증대시킴으로 벼의 내도복성을 향상시켜 포장에서 도복이 일어나지 않은 것으로 추측된다.

표 4.5 담수심 처리별 뿌리 발생량

담수심	뿌리 길이(cm)		뿌리 발생량(D.W g /m <sup>2</sup> )			합계
	길이	폭	0~10cm<**	10~20cm	>20~30cm	
2cm	27.0a*	24.3a	262.8(71.5)	87.1(23.7)	17.4(4.8)	367.3
4cm	25.7ab	22.7a	272.6(79.7)	56.2(16.4)	13.3(3.9)	342.1
10cm	23.0b	21.7a	318.1(87.2)	41.1(11.3)	5.7(1.5)	364.9

\* DMRT at 5% level, \*\* 지표에서 지하깊이

( ) : 뿌리 분포율(%)

#### 4. 담수심이 잡초 및 병충해 발생에 미치는 영향

표 4.6은 3개년간 관측한 담수심 처리별 잡초 발생량을 비교한 것이다. 담수심에 따른 잡초 발생양상은 최고 분얼기에는 담수심 2cm 가 담수심 10cm에 비해 일년생잡초와 다년생 잡초 모두 본수가 2배 이상 많았다. 그러나 출수기에는 일년생 잡초 본수는 담수심에 관계 없이 비슷하였으나, 다년생 잡초본수는 담수심 2cm는 담수심 10cm에 비해 3배 이상 많았다. 그리고 잡초 건물중은 담수심에 따라 잡초 본수와 비슷한 경향이였다.

표 4.6 담수심 처리별 잡초발생량

담수심	잡초발생량 (개/m <sup>2</sup> )				건물중 (g/m <sup>2</sup> )			
	최고분얼기		출수기		최고분얼기		출수기	
	일년생	다년생	일년생	다년생	일년생	다년생	일년생	다년생
2cm	18.3a*	10.6a	12.5a	23.2a	0.50a	1.31a	3.05a	9.25a
4cm	9.4b	8.5ab	16.8a	16.0ab	0.22a	0.86a	3.93a	5.02ab
10cm	7.5b	4.4b	13.5a	7.5c	0.33a	0.15ab	4.91a	2.55b

\* DMRT at 5% level

具 등(1992)은 물관리 방법에 따른 잡초발생 양상은 벼 생육 초기에 담수하지 않으면 전체적인 잡초 발생량은 적어지나, 포화상태의 수분을 유지함에 따라 전체적인 발생량이 증가하며, 침수 상태나 건조상태에서는 상대적으로 그들의 능력이 저하되며, 특히 잡초가 가장 많이 발생하는 포화수분 조건은 다년생 잡초발생이 현저히 떨어지나, 일년생 잡초는 증가되며, 佐藤康(1952)는 수심을 10cm 이상으로 유지시키면 피의 발생이 억제된다고 한 보고와 본 시험의 최고분얼기 잡초 발생량 결과와 비슷한 경향이였지만, 출수기에서는 상이하였다. 이는 具 등(1982), 金 등(1975)은 수심 및 수온에 따라 잡초의 발생양상 및 생육반응이 달라지기도 하지만, 제초제의 약효 반응이 달라진다고 한 바, 초기 제초제를 처리한 후 경과에 따라 극천수관개는 물의 수직 이동의 반복에 따른 제초제 성분의 이동 및 제초제 처리 피막면의 파괴 등의 요인에 의한 약효 저하와, 토양 표면으로부터 깊게 매몰된 다년생 잡초 피경의 후기 출아 등으로 인해 담수심 2cm의 극천수관개에서 출수기의 다년생 잡초의 발생이

많아진 것으로 추정되므로, 극천수관개 재배는 생육 후기로 갈수록 다년생 잡초의 발생이 많으므로 다년생 잡초방제에 대한 대책이 필요하다고 생각되어 진다.

그리고 엽노화는 담수심 2cm가 약간 빨랐으나 담수심 사이에는 별 차이가 없었으며, 문고병은 담수심 10cm가 3정도 발생하였고, 잎도열병 등 기타 병해충은 발생하지 않았다.

담수심이 도복관련 형질 및 지하부 뿌리 생육에 미치는 영향은 간벽 두께, 간기중, 줄기 직경은 담수심 10cm에서 약간 감소하였으나, 그 외 다른 형질은 담수심에 따라 차이가 적었다. 그러나 절간장은  $N_2$ ,  $N_3$  절은 담수심이 얕을수록 짧아졌고 내도복의 주요 지표인 좌절중, 추도저항성은 담수심 2cm가 담수심 10cm에 비해 매우 높고 도복지수가 낮아 포장에서도 도복 되지 않았으며, 이러한 담수심에 따른 도복 관련형질의 변화는 元 등(1997)의 보고와 비슷한 경향이였다.

## 5. 담수심이 미질에 미치는 영향

표 4.1은 3개년간 관측한 담수심 처리별 미질을 비교한 것이다. 담수심에 따른 외관상 미질의 차이는 담수심 2cm는 담수심 10cm에 비해 완전미 비율이 3.9% 높고, 심복백미 비율이 3.6% 낮았으며, 이화학 성분 중 단백질의 함량이 1.0% 낮았고, Toyo 식미치 값도 8.8 낮았으며 그 외 성분은 차이가 거의 없었다.

이와 같은 결과는 Yang 등(2003)에 의하면 단백질 함량, 아밀로즈 함량, 완전미 비율, 심복백미 비율 등의 미질 지표는 상시 담수관개와 절수관개에서 차이가 없다고 한 보고와 상당히 상이하였는데, 이 등(1966)에 의하면 심수 하에서 농토양은 산소가 결핍하고, 메탄가스, 유화수소 등 기타 유해가스발생이 많아 뿌리의 활동이 제약됨으로 양분흡수에 지장을 주게 되어 등숙 후기까지 꾸준히 양분공급을 하지 못할 수 있다고 하며, 표 4.3에서 보면 담수심 10cm는 포장에서 3정도의 만곡도복이 일어났고, 표 4.5에서와 같이 뿌리가 심층 깊이 내려가지 못하므로 등숙기에 필요한 양분 흡수가 부진함에 따라 심복백미 발생이 많아져 Toyo 식미치의 값이 떨어진 것으로 추정되나, 이러한 결과는 추후 담수심에 따른 등숙기 뿌리의 활력과 양분흡수 관계, 이삭으로의 양분전류 관계 등 여러 측면에서 면밀한 검토가 필요하다고 생각된다.

표 4.7 담수심 처리별 미질의 물리화학적 특성

담수심	미질 발생 분포율(%)						단백질 (%)	아밀로즈 (%)	Toyo 식미치
	Head rice	Broken	Chalky	Damaged	Colored	Crack			
2cm	95.1a*	1.6a	3.1b	0.2a	0.0a	30.2a	7.4b	15.9a	76.3a
4cm	94.1a	1.6a	3.9b	0.3a	0.1a	33.8a	8.0a	15.3a	69.4b
10cm	91.2ab	1.7a	6.7a	0.3a	0.1a	31.0a	8.4a	15.3a	67.5b

\* DMRT at 5% level

이상의 결과를 종합하면 담수심이 벼 생육 및 수량에 미치는 영향은 생육초기 및 최고분얼기에서는 담수심에 따라 차이가 거의 없었으나, 출수기 이후에는 담수심 10cm의 심수관개는 담수심 2cm의 극천수관개에 비해 초장이 길어졌고 경수가 적었으며, 유효경비율이 약간 높았고, 간장은 3cm 길었다. 수량구성요소 중 등숙비율은 담수심 2cm가 담수심 10cm에 비해 1% 낮았고, 수량은 2.1% 적었으나 통계적 유의성은 없었다. 이러한 결과는 벼 생육의 경우 Choji and al(1985), 大江直道 등(1991), 元 등(1997), 李 등(1966)의 극심수관개에서 분얼경이 감소한다는 보고와 비슷하였다. 수량은 崔(1968), Tabbal et al(2002), Borell et al(1997), Thompson(1999) 등은 절수관개가 수량이 감소한다고 하였으나, Gupta et al.(2002), 李 등(1966)은 오히려 증가한다고 보고하고 있어 절수재배는 연구자의 지역 및 재배조건 등에 따라 수량이 감소 및 증대될 수 있으므로 절수재배가 수량에 미치는 영향에 대해 정확히 결론짓기가 어렵다고 생각된다.

성숙기의 지하부 뿌리생육은 담수심 2cm가 담수심 10cm보다 깊게 내려갔었는데, 川田 등(1969, 1977, 1978), Tera-shima et al.(1992, 1994, 1995), 崔 등(1995), 朴 등(1993), 李 등(1966)의 벼 절수관개와 지하부 생육 및 분포에 대한 보고와 본 시험의 결과는 비슷하였으며, 또한 극천수관개의 뿌리분포는 벼 추도저항성, 내도복성과 관계가 큰 것으로 추측된다.

담수심에 따른 외관상 미질의 차이는 담수심 2cm는 담수심 10cm에 비해 완전미 비율이 3.9% 높고, 심복백미 비율이 3.6% 낮았으며, 이화학 성분 중 단백질의 함량이 1.0% 낮았고, Toyo 식미치 값도 8.8 높았으며 그 외 성분은 차이가 거의 없었는데, 이와 같은 결과는 Yang 등(2003)에 의하면 미질은 상시 담수관개와 절수관개에서 차이가 없다고 한 보고와 상당히 상이하였는데, 李 등(1966)에 의하면 심수관개에서 뿌리의 활동의 제약에 의한 등숙 후기까지의 지속적 양분공급 저하와 표 4.3과 표 4.5에서와 같이 토양 표면으로부터 10cm이

내의 천근분포와 도복관련 형질의 약화 등에 의해 발생된 만곡도복 등에 의해 Toyo 식미치의 값을 떨어진 것으로 추정되나, 이러한 결과는 추후 담수심에 따른 등숙기 뿌리의 활력과 양분흡수 관계, 이삭으로의 양분전류 관계 등 여러 측면에서 면밀한 검토가 필요하다고 생각된다.

담수심에 따른 잡초 발생양상은 최고분얼기에는 담수심 2cm 가 담수심 10cm에 비해 일년생잡초, 다년생잡초 모두 본수가 2배 이상 많았다. 그러나 출수기에는 일년생 잡초 본수는 담수심에 관계없이 비슷하였으나, 다년생 잡초본수는 담수심 2cm는 담수심 10cm에 비해 3배 이상 많았는데, 최고분얼기의 잡초발생 양상은 具 등(1992), 佐藤康(1952)의 결과와 비슷하였지만, 출수기의 잡초발생 양상이 상이한 것은 극천수 관계는 물의 반복적 수직 이동 등에 의해 초기 제초제 처리층의 파괴에 의한 약효 저하 및 깊게 매몰된 다년생 잡초 피경의 후기 출아 등으로 인해 다년생 잡초의 발생이 많은 것으로 추정된다.

## 제5절 요약 및 결론

효율적인 담수심 관리방식 개발의 기초 자료를 얻고자 경북농업기술원 벼 포장에서 논의 담수심 차이가 벼의 생육과 수확량에 미치는 영향을 2001년부터 2003년까지 3개년간 조사한 결과는 다음과 같다.

1. 담수심별 벼 생육 및 수량은 담수심 10cm 심수관개는 담수심 2cm 극천수관개에 비해 출수기의 초장이 길었고, 경수가 적었으나 유효경 비율은 약간 높았고, 성숙기의 간장은 3cm 길었으며 이들 생육 특성치는 통계적 유의성은 없었고, 그 외 생육은 관수심에 관계없이 비슷하였다.
2. 담수심 2cm 극천수관개의 등숙비율은 다른 담수심에 비해 1% 낮았고 쌀 수량은 2.1% 적었으나 통계적 유의성은 없었다
3. 절간장은 N<sub>2</sub>, N<sub>3</sub>절은 담수심이 깊을수록 길었으며, 간벽두께, 간기중, 줄기직경은 담수심 10cm 심수관개에서 감소하였으나, 좌절중, 추도저항성은 담수심 2cm 극천수관개가 담수심 10cm 심수관개에 비해 매우 높고 도복지수가 낮았다.
4. 담수심 2cm 극천수관개의 성숙기 근장은 27cm로 담수심 10cm 심수관개보다 깊게 내려 갔으며, 토양 표면으로부터 10cm이상 깊이에서는 담수심 2cm 극천수관개의 뿌리 발생량이 많았으나, 토양 표면으로부터 10cm까지는 담수심 10cm 심수관개의 뿌리 발생량이 많았다.
5. 담수심 차이에 따른 외관상 미질은 담수심 2cm 극천수관개는 담수심 10cm 심수관개에 비해 완전미 비율이 3.9% 높았고, 심복백미 비율이 3.6% 낮았으며, 단백질의 함량은 1.0% 낮았고, Toyo 식미치 값도 8.8 높았으며 그 외 성분은 담수심에 따라 차이가 거의 없었다
6. 담수심 차이에 따른 잡초 발생양상은 최고 분얼기에는 담수심 2cm 극천수관개가 담

수심 10cm에 심수관개 비해 일년생 잡초와 다년생 잡초 모두 본수가 2배 이상 많았으며, 출수기에는 일년생 잡초 본수는 담수심 차이에 관계없이 비슷하였으나, 다년생 잡초 본수는 담수심 2cm 극천수관개는 담수심 10cm 심수관개에 비해 3배 이상 많았다.

7. 이상의 결과에서 담수심을 알게 하여도 관행 심수관개 방식에 비해 벼 생육 및 수량에는 차이가 없었고, 오히려 내도복성과 미질을 향상시킬 수 향상시킬 수 있었으므로 최적 용수 공급량 산출의 기초 자료로 활용할 수 있을 것이다.

## 제5장 종합결론

본 연구는 논 담수심 관리를 통한 절수관개기법을 개발하기 위하여 대구시 북구 동호동 소재 경북농업기술원 답작포 실험포장에서 25m×80m 크기의 포장을 3구역으로 나누어 극천수관개, 천수관개, 심수관개의 3가지 담수심 처리를 하여 2001년, 2002년, 그리고 2003년 벼의 생육기간동안 논 담수심 관리 방법별 물수지 및 관개량의 변화 분석을 실시하고 벼 생육 및 수확량 변화를 분석하고, 논 담수심 관리 방법이 벼 도복에 미치는 영향과 잡초발생량을 조사하였다. 또한, 물수지 모형을 이용하여 관개량을 모의하고 절수관개기법을 모색하였다.

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 지역별 논 담수심관리 실태를 살펴본 결과, 주로 8cm 내지 10cm 깊이의 관행적인 심수관개를 행하므로써 유효우량을 적절히 이용하지 못하였다.
2. 2001년도에는 천수관개의 관개량이 513.6mm로 심수관개에 비하여 17.7%의 물을 절약할 수 있었고, 2002년도에는 극천수관개의 관개량이 381.1mm로 심수관개에 비하여 약 25.7% 절약할 수 있었다. 2003년도에는 천수관개의 관개량이 226.6mm로 심수관개에 비하여 46.6%의 물을 절약할 수 있었다.
3. 관개기간 중에 총 강우량은 2001년도에는 499.8mm, 2002년도에는 869.6mm, 그리고 2003년도에는 1028.3mm로 나타났고, 2002년도와 2003년도에 많은 강우로 인해 2001년도에 비해서 관개량과 관개회수가 줄어들었다.
4. 유효우량은 2001년도에 천수관개가 299.1mm, 2002년도에는 심수관개가 239.6mm, 그리고 2003년도에는 천수관개의 유효우량이 460.4mm로 가장 높게 나타났으며, 2002년도에는 2001년도에 비해서 강우량이 많았으나 연속강우로 인해서 대부분의 강우가 유효우량이 되지 못하고 배수된 것으로 분석되었다.
5. 증발산량은 천수관개의 경우에 2001년도, 2002년도, 그리고 2003년도에 각각 484.1mm,



448.3mm, 그리고 430.4mm로 가장 높게 나타났다.

일별 침투량은 2001년도, 2002년도, 그리고 2003년도에 각각 3.6mm, 1.7mm 그리고 2.4mm로 나타났으며, 2001년도에는 라이시미터 매설과 논둑 아래에 차수막 설치를 위하여 논바닥을 굴착한 후에 되메움으로써 침투량이 시험기간 중에 가장 크게 나타난 것으로 판단된다.

6. 벼의 생육은 담수심 처리에 따른 차이가 거의 없었으며, 수확량은 2001년도는 극천수관개, 천수관개, 그리고 심수관개가 10a 당 각각 556kg, 576kg, 그리고 563kg으로 나타났고 2002년도는 각각 519kg, 525kg, 그리고 524kg 이었으며 2003년도는 각각 464kg, 471kg, 그리고 484kg으로 나타났다.

7. 도복시험 결과 극천수관개가 도복저항성이 가장 뛰어났으며 심수관개는 도복에 대한 저항성이 떨어지는 것으로 나타났다.

잡초발생량은 최고 분얼기에는 극천수관개가 심수관개 비해 일년생 잡초와 다년생 잡초 모두 본수가 2배 이상 많았으며, 출수기에는 일년생 잡초 본수는 담수심 차이에 관계없이 비슷하였으나, 다년생 잡초 본수는 극천수관개가 심수관개에 비해 3배 이상 많았다.

8. 배수물꼬의 높이를 조절하면서 관개를 하는 경우와 배수물꼬의 높이를 고정하고 담수심을 조절하는 경우로 구분하여 관개량을 모의발생한 결과, 배수물꼬의 높이는 10cm로 하고 담수심은 2cm로 유지하는 방법이 관개량이 가장 적고 유효수량을 가장 많이 담수할 수 있는 절수관개기법으로 적합하였다.

관개량의 공급은 강우 발생 시기와 배수물꼬의 높이에 영향을 받는다. 강우 발생 시기와 예상 강우량을 정확하게 예측할 수 있다면 관개의 시기와 양을 조절하여 불필요한 관개량의 공급으로 물을 낭비하는 것을 막을 수 있을 것이다. 본 연구와 관련하여 벼의 생육에 영향을 미치지 않는 배수물꼬의 최대높이와 최저 담수심을 구하는 연구가 필요할 것이며, 아울러 소량의 물에서도 생육과 수확량이 좋은 품종의 벼를 개발하는 것이 필요할 것으로 판단된다.

## 참고문헌

1. 강양순, 2001, 벼농사에서 절수재배기술. 농어촌과 환경, pp. 70-76
2. 慶尙北道, 2002, 2002 물관리백서, pp. 47-57.
4. 具滋玉, 任日彬, 1992, 直播栽培로의 樣式 轉換에 따른 雜草問題의 變化, 韓國雜草學會誌, 12(3), pp. 223-229.
5. 具然忠, 吳潤鎭, 李鐘熏, 1982, 湛水深에 따른 雜草發生狀態와 除草劑 效果에 미치는 影響, 韓國雜草學會誌, 2, pp. 47-52.
6. 金吉雄, 安壽奉, 1975, 除草劑에 對한 水稻 品種間 反應. 1. 水深 및 溫度處理가 除草劑의 作用에 미치는 影響, 韓國作物學會誌, 20, pp. 148-151.
7. 김시원 외, 1986, 신고 농업수리학, 향문사.
8. 김현수, 정상욱, 1997, 지역별 관개 계획기준년 선정과 기준작물 잠재증발산량 비교, 경북대학교 환경과학연구소, 환경과학논문집, Vol. 11, pp. 99-107.
9. 김현영, 1998, 농업용수 수요량의 새로운 추정기법, 농공기술, pp. 101-112.
10. 농업진흥공사, 1989, 소비수량 산정방법 실용화연구, pp. 184.
11. 농림부, 1995, 영농방식 변화에 따른 필요수량 변화 연구(I).
12. 농림부, 1997, 영농방식 변화에 따른 필요수량 변화 연구(II).
13. 농림부·농어촌진흥공사, 1999, 농촌용수 수요량 조사 종합보고서.
14. 농림부, 2002, 물관리 생력화 기술의 실용화, 최종연구보고서.
16. 농수산부, 1998, 농지개량사업계획설계기준(관개편).
17. 농촌진흥청, 1966, 논에 물을 대는 요령, 농업기술 1(3), pp. 5-8.
18. 농촌진흥청, 1993, 논 물관리체계의 자동화 연구(III).
19. 閔炳燮, 1969, 水稻 生育期間中에 畓에서의 水分消費에 關한 研究(I,II,III), 農工學會誌, 11 (2,3,4).
20. 박기중, 1999, 기준작물의 증발산량 실측치와 모형 추정치의 비교, 석사학위논문, 경북대학교.
21. 朴成泰, 張安徹, 李壽寬, 1993, 湛水深 差異가 벼 品種과 피의 初期生育에 미치는 影響, 韓國作物學會誌, 38(5), pp. 405-41.
22. 박중수, 주영철, 한상욱, 박경열, 1999, 담수표면직과 재배시 물관리 및 생장억제제 처리가 도복에 미치는 영향, 한국작물학회지, 44권 별책 1호, pp. 75-79.

23. 손성호, 2000, 논지대에서의 물수지 분석, 석사학위논문, 경북대학교.
24. 손성호, 정상옥, 2002, 답수심 처리가 논외 물수지에 미치는 영향, 한국농공학회지, Vol. 44(2), pp. 67-74.
25. 손성호, 박기중, 정상옥, 2002, 답수심 처리가 논외 증발산량에 미치는 영향, 한국농공학회 학술발표회 논문집, pp. 9-12.
26. 안세영, 1989, 답지대의 물수지와 용수의 반복이용에 관한 연구. 박사학위논문, 경상대학교.
27. 유한열, 이창구, 1970, 輪換灌溉方法과 適正施設研究, 한국농공학회지, Vol. 12(2), pp. 15.
28. 이창구, 김철희, 1966, 水稻作의 節水栽培에 關한 研究, 한국농공학회지 Vol. 8(3): 11-16.
29. 이창구, 1966, 물 관리에 의한 실험연구, 농업토목학회, 2, pp. 91.
30. 이창구, 김철희, 1966, 수도작에 있어서 물관리에 대한 연구, 한국농공학회지 Vol. 8(2), pp. 11-16.
31. 이창구, 1968, 절수의 시기 및 방법의 차이가 수도생육 수량과 기타 실용형질에 미치는 영향, 한국농공학회지, Vol. 10(1), pp. 32-37.
32. 임상준 외, 1997, 논외 유출곡선번호 추정, 한국수자원학회논문집, pp. 379-387.
33. 정운태, 이근후. 1998, 양수장 용수공급 논 지대의 물수지, 한국농공학회 학술발표회 논문집, pp. 1-7.
34. 정상옥, 1998, 물수지분석 기법에 의한 논에서의 회귀율 조사분석, 한국학술진흥재단연구보고서.
35. 정상옥, 1998, 관개계획을 위한 기준작물 증발산량 산정, 한국농공학회지, Vol. 40(1), pp. 43-48.
36. 정상옥, 김지용, 안태홍, 2000, 직파재배 벼의 영농기법 및 비용 절감 효과 - 현장 사례 연구, 2000년도 한국농공학회 학술발표회 논문집, pp. 114-150.
37. 정하우외, 1999, 관개배수공학, 동명사.
38. 崔鉉玉, 1967, 水稻에 있어서의 土壤과 물 管理에 關한 研究, 作試研報(水稻編), pp. 793-809.
39. 최남규, 1968, 水稻에 있어서의 물 管理와 水稻生長 考察, 부농, pp. 89-95.
40. 崔旻圭, 金尙洙, 李善龍, 崔善英, 1995, 벼 乾畚直播 栽培時 中間落水가 生育 및 倒伏에 미치는 影響, 韓國作物學會誌, 40(5), pp. 574-579.

41. 한국수자원공사, 1997, 운문댐 하류 냉해방지 대책 용역보고서.
42. 한국건설기술연구원, 1997, 낙동강유역 농업용수 회귀율조사.
43. 高井靜雄, 1959, 水稻の節水栽培法, 全天候 農業用水 資源開發을 爲한 基本計劃의 樹立에 關한 調査研究報告書, 韓國經濟開發協會, pp. 132- 135.
44. 大江直道, 星川清親, 後藤雄佐, 1991, 段階的深水處理が分けつ期の水稻の生長に及ぼ影響, 日作記, 60(別 1號), pp. 23-24.
45. 金崗金市, 三宅章, 1945, 水稻の灌漑に關する研究, 農及園, 20(4), pp. 17-18,
46. 木根淵旨光, 1968, 水の管理と水稻の養分吸收, 農業及園藝, 43(7), pp. 1091-1094,
47. 富士崗義一, 1950, 水田常態の浸透て對して, 農土研, 18(3), pp. 57.
48. 富士崗義一, 1956, 適期水灌漑と用水量の節水可能, 農土研 24(1): pp. 37.
49. 富士崗義一, 佐藤見, 1968, 粘土質土壤水田の乾燥について(I), 農土論集, 25, pp. 21-26.
50. 富士崗義一, 佐藤見, 1968, 粘土質土壤水田の乾燥について(II), 農土論集, 26, pp. 1-7.
51. 富士崗義一, 佐藤見, 1968, 粘土質土壤水田の乾燥について(III), 農土論集, 26, pp. 8-14.
52. 山口縣農業試驗場, 1944-1945, 土壤水分の差異か水稻生育收量に關する試験, 農土研, 28(8), pp. 46.
53. 向井章惠 등. 1999, 稻作ごよみに見る水田圃場水管理-水田稻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. 日本農業土木學會. pp. 246-247.
54. 西原農業試驗場, 1957, 適正用水量について, 農土研, 24(8), pp. 44.
55. 元鐘建, 崔忠惇, 李外鉉, 金七龍, 李相哲, 1997, 벼 乾畝直播 栽培時 深水灌漑가 生育과 收量에 미치는 影響, 韓國作物學會誌, 42(2), pp. 166-172.
56. 和田保, 立花一雄, 山澤新吾, 穴濱眞, 1958, 多收穫田に於ける水の管理について, 農土研, 25(8), pp. 46.
57. 佐藤康, 1952, 野生稗に關する研究概觀, 農及園, 26(10), pp. 1047-1050
58. 川田信一郎, 山岐耕宇, 石原邦, 1969, 水稻1個體における根數と冠根數との關係, 日作記, 38 卷別 1號, pp. 181-182.
59. 川田信一郎, 片野學, 1977, 水稻における根群形成について, とくに濕田, 乾畝に著目した 場合の一例, 日作記, 46, pp. 261-268.
60. 川田信一郎, 副島増大, 1978, 水稻根における“うわ根”形成に及ぼす遮光, 除穂およびブドウ糖, 尿素の葉面撒布の影響, 日作記, 47, pp. 300-311.
61. Adams F., 1920, Rice irrigation measurements and experiments in Sacraments Valley, California Agriculture Exp. Sta., Bulletin, 325, pp. 125-183.

62. Anbumozhi, V., Yamaji, E., and Tabuchi, T. 1998, Rice crop growth and yield as influenced by changes in ponding water depth, water regime and fertigation level. *Agricultural Water management*. Vol 37, Issue 3, pp. 241-253.
63. Barker, R. and Molden, D. 1999, Water saving irrigation for paddy rice : Perceptions and Misperceptions. Paper presented at the Symposium on water saving irrigation for paddy rice. Guilin, China, 10-13 October. pp. 1-17.
64. Biggs, 1917, Rice Field Station in California, The California Cooperative Rice Research Foundation, Inc., Bulletin, 279, pp.134-138.
65. Bond, F., Keeney, G. H., 1902, Irrigation of rice in United States, U.S. Department of Agriculture. Bulletin, 113, pp. 91-97.
66. Borell, A., Garside, A., Fukai, S., 1977, Improving efficiency of water for irrigated rice in a semi-arid tropical environment, *Field Crops Research*, 52, Australia, pp. 231-248.
67. Kawashima, C., Murakami, T., 1985, An example of growth and yield of rice plant growth in deeply-submerged paddy field, *Tohoku Br. Crop Sci. Soc. Japan*, 28, pp. 3-35.
68. Chung, Sang Ok. 1998, A Study on the Return Flow of Irrigation Water in Paddy Fields. *Journal of the KSAE*, Vol. 40, pp. 1-6.
69. 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. Japanese National Committee of ICID. pp. 276-280.
70. Doorenbos, J. and Pruitt, W. O., 1977, Guidelines for predicting Crop Water Requirement, *Irrigation and Drainage Paper No. 24*, FAO, Rome, Italy.
71. Gupta, R. K., Naresh, R. K., Hobbs, P. R., and Ladha, J. K., 2002, Adopting conservation agriculture in the rice-wheat system of the Indo-Gangetic Plains : new opportunities for saving water. In: Bouman BAM, Hengsdijk H, Hardy B, Bindraban PS, Tuong TP, Ladha JK, editors. *Water-wise rice production*, Los Banos(Philippines), International Rice Research Institute, pp. 207-222.
72. Hansen, V. E. et al. 1979, *Irrigation principles and practices*. The United States of America.

73. Hatta, S. 1967, Water consumption in paddy field and water saving rice culture in the tropical zone. *Japanese Tropical Agriculture* 11(3):106-112.
74. 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.
75. Hengsdijk, H., Hardy, B., Bindraban, P. S., Tuong, T. P., and Ladha, J. K. editors. *Water-wise rice production, LOS Banos (Philippines), International Rice Research Institute*, pp. 3-13.
76. James, L. G. 1988, *Principles of farm irrigation system design*. The United States of America.
77. Koneko, R., 1969, Studies on the groundwater flow by water balance method, *Japanese of Research. Agriculture Engineering*. 27, pp. 1-22.
78. Lee Chow, 1950, *Discussion on Taiwan's Irrigation Method*.
79. Mao Zhi., 1993, Study on evaluation of irrigation performance in China. In: *Maintenance and operation of irrigation/drainage scheme and improved performance. Proceedings of Asian Regional Symposium, Beijing, China*, pp. 6-35.
80. Mizutani, M. et. al. 1999, *Advanced Paddy Field Engineering*. pp. 43-45.
81. Qinghua Shi, Xiaochun Zeng, Muying Li, Xueming Tan, and Fengfeng Xu, 2002, Effects of different water management practices on rice growth. In: *Bouman BAM, Steven C. Scardaci, Jack Williams, 1991. Rice water management demonstration project. United of California. , Coop. Extension*.
82. Tabbal, D. F. et al. 1992, Water-efficient irrigation technique for rice. *Soil and water engineering for paddy field management, Proceedings of the International workshop. January 1992. Asian Institute of Technology. Bangkok, Thailand*. pp. 146-159.
83. Terashima K., Akita S., Sakai N., 1992, Eco-physiological characteristics related with lodging tolerance of rice in direct sowing cultivation. I. Comparison of the root lodging tolerance among cultivars by the measurement of pushing resistance, *Japan J. Crop Sci.*, 61(3), pp. 380-387.
84. Terashima, K., Ogata, T., Akita, S., 1994, Eco-physiological characteristics related

- with lodging tolerance of rice in direct sowing cultivation. II. Root growth characteristics of tolerant cultivars to root lodging, *Japan J. Crop Sci.*, 63(1), pp. 34-41.
85. Terashima, K., Akita, S., Sakai, N., 1995, Eco-physiological characteristics related with lodging tolerance of rice in direct sowing cultivation. III. Relationship between the characteristics of root distribution in the soil and lodging tolerance, *Japan J. Crop Sci.*, 64(2), pp. 243-250.
86. Tuong To Phuc, 2003, Strategies for increasing water productivity in rice irrigation: water-saving irrigation technologies, *International Symposium on Enhancement of Water Use Efficiency in Lowland rice Cultivation*, pp. 41-65.
87. Tuong TP, Bouman BAM. 2002 . Rice production in water-scarce environments. In : *kijne JW, Barker R, Molden D(eds.), Water Productivity in Agriculture : Limits and Opportunities for Improvement, The Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture Series, Volume 1, CABI Publishing, Wallingford, UK, pp. 1-342.*
88. Utah State University. 1991, REF-ET: Reference evapotranspiration calculation software.
89. Wei Zhang, Si-tu Song, 1989, Irrigation model of water-saving high yield at lowland paddy field, *Seventh Afro-Asian Regional Conference. International Commission on Irrigation and Drainage, Tokyo, Japan, 15-25 October 1989. Vol. I-C, pp. 480-496.*
90. Xu, Z. 2000. Water Saving Irrigation for Paddy Rice in China. *Asian Regional Workshop on Sustainable Development of Irrigation and Drainage for Rice Paddy fields. Japanese National Committee of ICID. pp. 167-176.*
91. Yang Jianchang, Zhu Qingsen, 2003, Recent status of irrigation water using and water saving strategies in paddy rice system in China, *International Symposium on Enhancement of Water Use Efficiency in Lowland Rice Cultivation*, pp. 69-92.

## 주 의

1. 이 보고서는 농림부에서 시행한 농림기술개발사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 농림부에서 시행한 농림기술개발사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.



	용수절약형 논 관개기법 개발  농 림 부	
--	---	--