

담수심과 오수처리수 관개가 벼재배에 미치는 영향

Effects of Poned-Water Depth and Reclaimed Wastewater Irrigation on Paddy Rice Culture

윤 춘 경* · 황 하 선** · 정 광 욱** · 전 지 홍**

Chun G. Yoon · Ha-Sun Hwang · Kwang-Wook Jung · Ji-Hong Jeon

Abstract

Pilot study was conducted to examine the effects of ponded-water depth and reclaimed wastewater irrigation on paddy rice culture. For the ponded-water depth effect, three treatments of shallow, traditional, and deep water depths were applied, and each treatment was triplicated. The irrigation water for the treatment pots was an effluent from constructed wetland system for sewage treatment, while the control pot was irrigated with tap water kept traditional ponded-water depth. Irrigation water quantity varied with ponded-water depth as expected and drainage water quantity also varied similarly, which implies that shallow irrigation might save irrigation water and also reduce environmental impacts on downstream water quality. Rice growth and production were not significantly affected by ponded-water depth within the experimental condition, instead there was an indication of increased production in shallow and deep ponded-water depths compared to the traditional practice. Raising drainage outlet to the adequate height in paddy dike might be beneficial to save water resources within the paddy field. There was no adverse effect observed in reclaimed wastewater irrigation on the rice production, and mean yield was even greater than the control pots with tap water irrigation although statistically not significant. Water-saving irrigation by shallow ponded-water depth, raising the outlet height in diked rice paddy fields, minimizing forced surface drainage by well-planned irrigation, and reclaimed wastewater irrigation are suggested to save water and protect water quality. However, deviation from traditional farming practices might affect rice growth in long term, and therefore, further investigations are recommended before full scale application.

Keywords : Ponded-water depth, Outlet height, Reclaimed wastewater, Water reuse, Paddy rice culture, Shallow irrigation

* 건국대학교 지역건설환경공학과
** 건국대학교 대학원 지역건설환경공학과
* Corresponding author. Tel.: +82-2-450-3747
fax: +82-2-446-2543
E-mail address: chunyoona@konkuk.ac.kr

I. 서 론

우리나라에서 쌀은 매우 중요한 작물이며, 농경지 1,876 천ha 중 61.1%인 1,146 천ha가 논이고, 그 중 76.9%인 881 천ha가 수리답면적이다(MOAF, 2002). 영농기간 동안 유입되는 관개량은 500~800 mm (De Datta et al., 1973)에서 3,000 mm (Hukkeri and Sharma, 1980) 이상까지 범위가 넓으며, 우리나라의 경우 관개량은 약 1,250 mm로서 용수 이용 중 관개용수가 가장 많은 부분을 차지하고 있다(Chae, 1998). 우리나라는 물 부족국가로 분류되었으며 물 부족현상이 심화되고, 자원으로서의 물의 가치가 높아지고 있는 상황에서 물 소비량의 50% 이상을 차지하고 있는 농업용수의 확보 및 사용에 더욱 많은 어려움에 직면할 것으로 예상된다(Kim, 1997).

최근 하천 및 저수지의 수질오염에 관한 관심이 고조되면서 화학비료의 시비로 인한 농경지에서의 영양물질 유출에 대한 관심이 고조되고 있다. 특히, 가장 일반적으로 시비되는 질소와 인 그리고 칼륨은 대부분 벼에 의해 흡수되지만(Roh et al., 1999), 많은 부분의 영양물질은 지표유출, 침투, 침투 등과 같이 논으로부터의 유출로 인해 손실되며, 이로 인해 하류 수계에 부영양화와 조류번성(algal bloom)문제를 발생시키는 원인으로 인식되고 있다. 그러나, 논은 수질 정화, 공기냉각, 지하수 함양, 토양침식 조절 등과 같은 환경보호를 위한 공익적 기능이 있다는 상반된 내용의 연구결과가 발표되기도 하였다(Eom, 2001).

농지배수로 인한 수계의 악영향을 줄이기 위해서는 담수심을 낮게 유지하는 방법, 물꼬 높이를 높이는 방법, 계획적인 중간낙수 등과 같이 논에서의 배출을 억제하는 방법과 배수구 말단의 정화논, 인공습지 등 배출된 오염물질을 저감하여 수계로 방류하는 방법 등이 있으며, 그 중 농업용수의 안정적이고 지속적인 확보와 농지배수의 저감을 위한 방법으로는 용수 재이용과 담수심 조절을 들 수가

있다. 논 관개수의 재이용률은 토양의 종류와 관개 형태에 따라 달라지기 때문에 정확한 파악이 어렵지만, 생활용수의 경우는 환원율이 약 70% 정도로서 농업용수 재이용에 대한 타당성을 내포한다(Kim, 1998). 최근에 Ahn et al.(1998)은 축산폐수가 유입되는 논에서의 생태적 순기능을 연구한 바 있으며, Angelakis and Boneuxet(2001) 등은 유럽에서의 오수처리수의 재이용의 이익에 대하여 평가하였고, Yoon et al.(2001)은 수도재배에 있어 오수처리수를 관개용수로 재이용하여 그 영향과 효과를 연구한 바 있다.

한편, 우리나라의 경우 담수심 관리는 주로 심수 관개가 행하여지고 있는데, 이러한 관리방법은 관개효율을 저하시키고 과도한 농업용수를 필요로 한다. 따라서 관개용수의 저감을 위해서는 적정 담수심 관리가 중요하다. Guerra et al.(1998)은 적은 물을 이용하여 물의 생산성을 증대시키면서 쌀 생산량을 증가시키는 방안을 연구하였으며, 물의 생산성을 분석하기 위해서는 정확한 물수지분석이 우선되어야 한다고 강조하였다. Hwang et al.(2002)은 지하수 관개지역에서 물수지 및 영양물질 수지를 분석하였으며, Kim et al.(1999)은 지표수 관개지역에서 물수지 및 영양물질 수지를 분석하였고, Choi et al.(2001)은 마령지구에서 물수지 및 영양물질 수지를 분석하였다. RDA(1993)에서의 연구 결과는 동일한 증발산량 조건하에서 정수위 관리 보다 변수위관리가 높은 수확량을 나타내었다. Anbumozhi et al.(1998)은 담수심의 변화에 따른 벼의 생육과 수확량을 연구하였으며, Son et al.(2002)은 극히 천수간단관개, 천수간단관개, 심수관개의 3가지 담수심 처리를 하여 실험한 결과, 천수간단관개가 전통적인 심수 관개에 비하여 관개수량이 절감되었으며 수확량에도 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

본 연구에서는 오수처리수를 이용한 벼 재배포트 실험을 통해 담수심 변화가 작물수확량 및 배출부하량에 미치는 영향을 조사하여 용수 재이용과 담

수심관리에 기초자료를 제공하고자 한다.

II. 재료 및 방법

1. 실험시설

건국대학교 생명환경과학대학에 설치하여 실험을 행중인 인공습지를 이용한 소규모 오수처리시설에서 처리된 처리수를 관개용수로 사용하여 Fig. 1과 같이 인공습지 옆에 총 12개의 실험포트를 설치하여 실험하였다. 작물재배 실험 포트는 100 cm × 90 cm × 75 cm 규모로 표면적이 약 1m² 인 합성수지용기이다.

실험구의 바닥에는 원활한 배수를 위해 약 10 cm 두께로 자갈을 채웠고, 그 위에 작물재배에 이용될 토양을 50 cm 정도 채웠으며, 상부 15 cm는 담수심을 위해 여유를 두었다. 자갈과 토양 사이에는 부직포를 깔아서 상층부의 토양이 자갈층의 공극을 배워 배수를 저해하는 일이 없도록 하였다. 담수심의 측정을 위하여 각 처리구에 담수심 측정자를 설치하였으며, 토양 표면으로부터 10 cm위치에 배수구를 설치하여 2L의 플라스틱 통에 배출수를 차집하였다.

2. 실험방법

가. 생육실험방법

오수처리수 관개에 의한 영향과 담수심에 따른 영향을 평가하기 위하여 담수심을 3~6 cm로 유지하는 대조구(control)는 수돗물 관개를 하였으며, 담수심을 0~3 cm로 유지하는 천수관개(shallow irrigation, SI), 3~6 cm로 유지하는 관행관개(traditional irrigation, TI), 6~9 cm로 유지하는 심수관개(deep irrigation, DI) 처리구는 인공습지 처리수를 관개수로 사용하여 실험하였다. 시비량은 모든 시험구에 농업과학기술원 고시 표준 권장시비량 N:P₂O₅:K₂O = 11:4.5:5.7 kg/ha을 시비하였으며, 질소는 기비, 이삭비, 분얼비를 각각 50, 30, 20%의 비율로 시비하였고, 인은 전량을 기비로 시비하였으며, 실험에 적용된 영농활동은 Table 1에 요약되어 있다. 5월 26일에 관개와 동시에 경운을 하였고, 5월 27일에 기비, 6월 11일에 분얼비, 7월 26일에는 이삭비를 주었다. 이앙은 5월 28일에 30 × 15 cm 간격으로 포트당 1주 1본으로 19주씩 이앙하였으며, 생육조사(초장, 분얼수, 건물중)는 최고분얼기(7월 29일)와 출수기(8월 29일)에 각 처리구당 3반복으로 채취하여 실시하였고(Roderick, 1990), 10월 18일에 수확량을 조사하

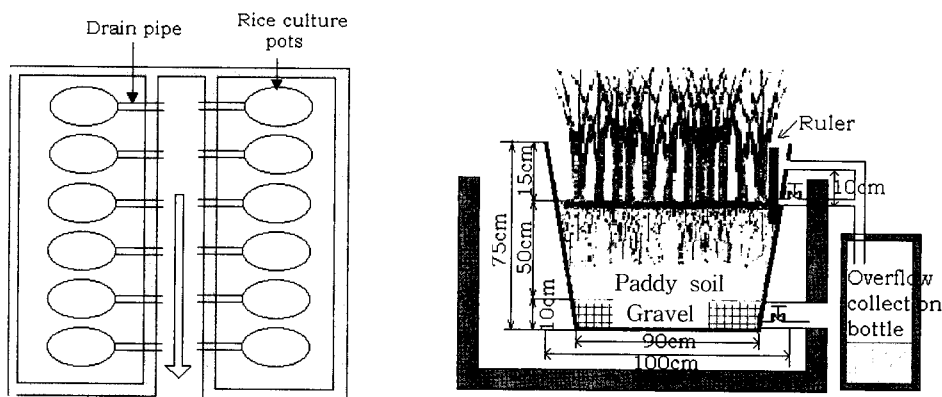


Fig. 1 Layout of treatment and section of experimental pot

Table 1 Agricultural activity during rice culture experiment

Date	Agricultural activity	Remark
May 27, 2002	Plowing and basal fertilization	Nitrogen (50%), Phosphorus (100%)
May 28, 2002	Rice transplanting	15 × 30 cm, one plant/hill
Jun 11, 2002	Tillering fertilization	Nitrogen (30%)
Jul 26, 2002	Panicle fertilization	Nitrogen (20%)
Oct 18, 2002	Harvest	

였으며, 각 자료는 SAS에 의해 통계분석 하였다. 관개용수는 인공습지 오수 처리수를 희석이나 추가 처리 없이 직접 관개하였으며, 지표배출수는 토양 표면에서 약 10 cm 지점에 설치된 유출구를 통하여 차집하여 유량과 수질을 측정하였다.

나. 수문자료 및 수질분석 방법

강우량은 서울 기상대 자료(KMA, 2002)를 사용하였으며, 증발산량은 담수심, 작물의 생장 등에 따라 영향을 받기 때문에 처리구별로 어느 정도의 변화는 있을 것으로 예상되지만, 본 연구에서는 수정 Penman Method(Allen, 1998)에 의하여 구하였으며, 각 처리구 증발산량은 동일하다고 추정하였다.

수질분석항목 중에서 영양물질인 질소와 인을 중심으로 Standard Methods (APHA, 1995)에 의해 T-N(총질소)과 T-P(총인)를 분석하였다. T-N은 Persulfate digestion method (SM 4500-N C.)에 따라 시료를 전처리 하여, Cadmium reduction method (SM 4500-NO3- E.)으로 구하였으며, T-P는 Persulfate digestion method에 의해 시료를 전처리하여 Vanadomolybdophosphoric acid colorimetric method에 따라 정량분석 하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 물수지

논에서의 유입과 유출은 강우에 많은 영향을 받는 것으로 알려져 있는데, 2002년 영농기간동안의

Table 2 Comparison of rainfall between annual average and 2002 (Unit : mm)

Rainfall	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Total
Annual average	105	137	339	484	110	65	1,240
2002	58	61	221	688	61	45	1,134

강우량은 1,134 mm로 지난 10년 평균값 1,239 mm보다 다소 적은 값을 나타내었다. 그러나, 2002년의 강우 분포를 살펴보면, 8월 중순에 688 mm의 강우가 집중되어 평균값 484 mm보다 많았으며, 8월을 제외하고는 평균강우량 보다 적었다 (Table 2).

담수심의 변화에 따른 관개수량과 벼의 생육 및 수확의 변화를 알아보기 위하여 3개의 다른 담수심 처리구를 가지고 실험하였으며, 물수지 실험 결과는 Fig. 2와 같다.

유입의 경우는 관개 초기(5월 26일)에 모든 처리구에 이양 용수량으로 110 mm가 관개 된 이후 각 처리구의 담수심에 따라 관개가 이루어졌다. 그러나, 심수관개처리구(DI)는 어린 벼의 초장을 고려하여 6월 6일까지는 3~6 cm로 유지하였다. 중간낙수는 강제로 배수를 시키지 않고 7월 초순에 관개를 중단하여 자연적으로 중간낙수를 시작하였으며, 7월 18일 강우에 의한 자연 관개를 실시하였다. 관개는 중단낙수 이전에는 전 처리구에서 이루어 졌으며, 중간낙수 이후에는 주로 심수관개처리구만 관개가 이루어 졌다. 지표유출은 중간낙수 이전에는 발생하지 않았으며, 주로 중간낙수 이후에 발생하였는데, 이는 중간낙수 이전에는 평년 강

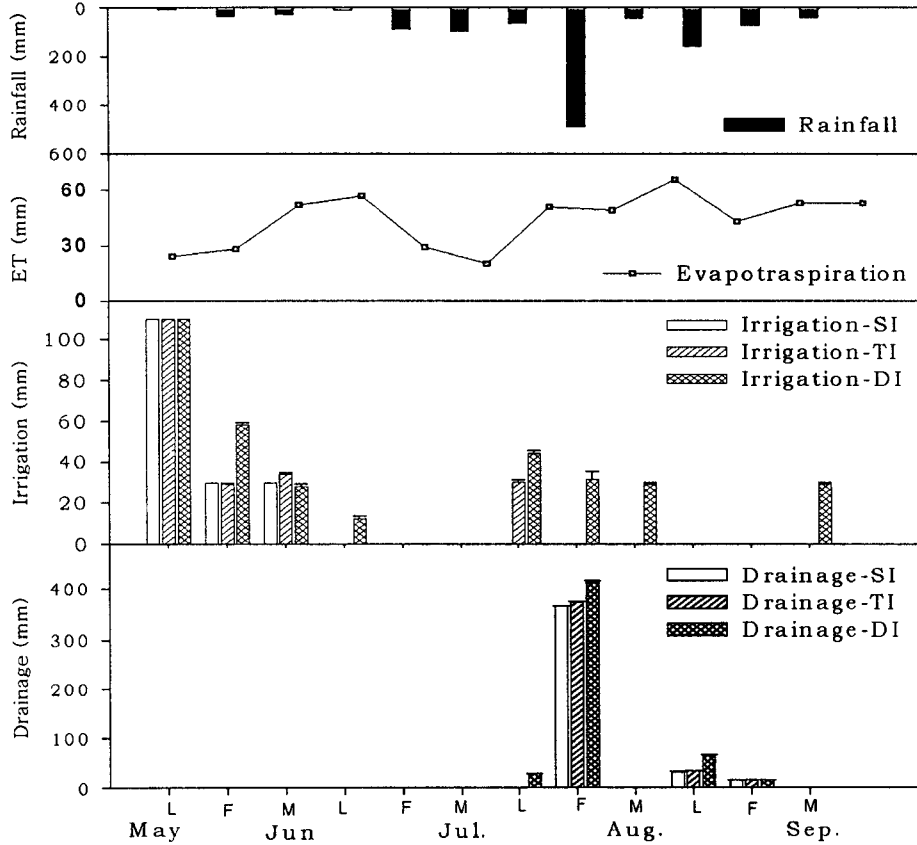


Fig. 2 Water balance at treatment pots (values are means±1 SE, n=3)

우량보다 적은 양으로 전 강우가 유효우량으로 사용되었으며, 중간낙수 이후에는 집중강우(8월 초순)의 영향으로 많은 양의 강우가 저류 되지 않고 지표배출 되었기 때문으로 생각된다.

영농기간 동안 처리구별 총관개량과 총지표배출량을 비교하면 Table 3과 같다. 관개량은 심수관개처리구가 343.33 mm로 가장 많았으며, 다음으로 관행관개(203.67 mm), 천수관개(170.00 mm) 순으로 나타나서 예상했던 바와 같이 담수심과 관개수량은 비례하는 것으로 나타내었다. 배수량의 경우도 심수관개처리구에서 526.17 mm로 가장 많은 배출이 일어났으며, 다음으로 관행관개처리구(423.84 mm), 천수관개처리구(413.84 mm) 순으

로 나타나서 담수심과 배출수량도 비례하는 것으로 나타났다. 특히, 심수관개처리구의 경우는 관개·배수량 모두 많은 양을 나타내었는데, 이는 높은 담수심으로 강우저류능의 저하로 인해 많은 양의 관개용수가 필요하고, 배출수량도 증가한 것으로써, 심수관개가 용수관리 측면 뿐만 아니라 환경오염부하 측면에서도 불리함을 알 수 있었다.

Table 3 Irrigation and drainage quantity at treatment plots during cropping season

	SI (mm)	TI (mm)	DI (mm)
Irrigation	170.00±0.00	203.67±0.33	343.33±6.49
Drainage	413.84±1.53	423.84±2.65	526.17±1.86

*Values are means±1 SE, n=3

Table 4 Effective rainfall at treatment plots during cropping season

Month*	SI (mm)	TI (mm)	DI (mm)
May L	6.50	6.50	6.50
Jun. F	33.70	33.70	33.70
Jun. M	24.40	24.40	24.40
Jun. L	9.50	9.50	9.50
Jul. F	87.00	87.00	87.00
Jul. M	94.00	94.00	94.00
Jul. L	63.60	63.60	34.27
Aug. F	122.50	114.50	73.83
Aug. M	41.50	41.50	41.50
Aug. L	126.00	124.00	91.67
Sep. F	55.56	55.56	55.56
Sep. M	39.80	39.80	39.80
Total	704.06	694.06	591.73

*F : First, M : Middle. L : Last

수도작에서 벼에 필요한 필요수량은 관개 또는 강우로 공급되는데, 이중 강우는 자연적인 현상으로 본 연구에서의 유효수량은 Table 4와 같다.

유효수량은 천수관개인 SI처리구가 704.06 mm로 가장 높았고, 다음으로 관행관개처리구, 심수관개처리구가 각각 694.06 mm, 591.73 mm 순으로 담수심과 유효수량은 반비례하는 것으로 나타났다. 이는 담수심을 낮게 유지할수록 유효수량은 증가하는 것으로 물생산성 측면에서 유리하다. 특히, 중간낙수 이후 본 연구에서는 7월 18일 강우 시점에서 물꼬를 막았기 때문에 7월 19~20일 2일간의 강우가 전량 유효수량이 되었다. 이는 수도재배의 영농 특성상 중간낙수 이후 재관개 시기의 결정이 관개용수량에 많은 영향을 미치는데, 기상조건을 고려하여 적절하게 관개시기를 조정하는 것이 중요할 것으로 생각된다.

2. 유입 및 배출부하량 특성

관개유입 및 지표배수구를 통한 배출수의 질소와

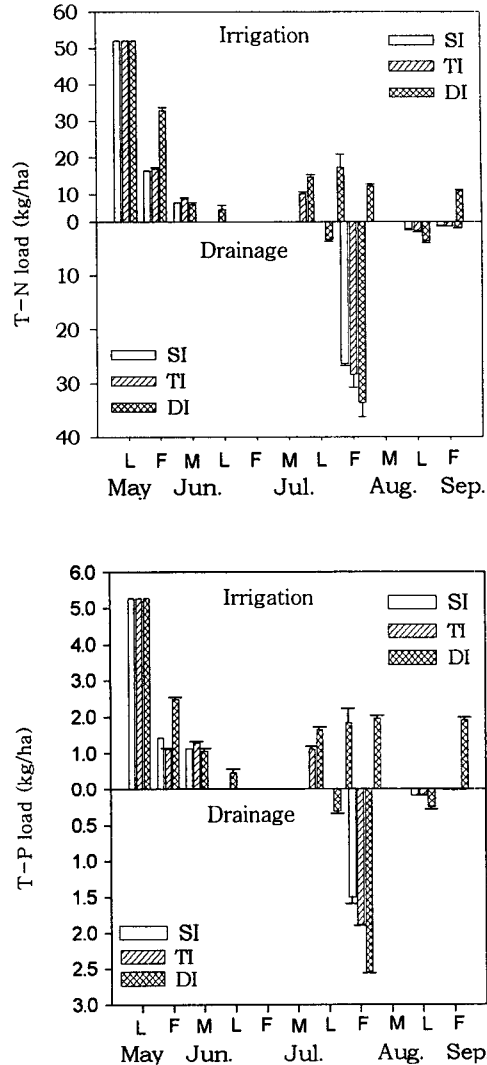


Fig. 3 Nutrients in irrigation and drainage water at treatment plots during cropping season. (values are means±1 SE, n=3)

인의 부하량은 Fig. 3과 같다. 관개수의 농도는 수도물의 경우는 질소와 인이 거의 없었으며, 오수처리수의 경우 평균 수질은 T-N이 44.34 mg/L, T-P가 4.84 mg/L였다. 관개 및 지표배출부하량은 수질의 농도 뿐 아니라 수량에 많은 영향을 받는다. 관개수를 통한 유입은 관개초기 이상 용수량으로 많은 부분이 유입되었으며, 배출부하는 주로

집중강우 기간인 8월 초순에 대부분이 발생되었다. 농경지에서의 지표배출부하는 주로 배출수량과 많은 상관성을 가지는데, 본 연구의 결과도 배출수량과 많은 상관성을 가지는 것으로 나타났다. 특히, 인의 경우는 영농초기 경운과 씨레질에 의해 토양이 교란된 상태이고, 시비의 특성상 인 시비량의 전량을 기비로 사용하기 때문에 영농초기의 배출시 많은 양의 인이 배출되는 것으로 알려져 있는데, 본 연구에서는 중간낙수를 제외한 기간은 물꼬 높이를 10 cm로 유지하여 배출을 억제 시켰기 때문에 중간낙수 이전에는 유출이 일어나지 않아 배출부하가 발생되지 않았다. 결국, 인의 경우 영농초기 물꼬 높이를 올리면 초기 배출부하량을 줄이는데 유리할 것으로 나타났다. 영농기간 동안 총배출부하량을 보면, T-N은 SI, TI, DI가 각각 28.46, 30.86, 41.66 kg/ha였으며, T-P는 SI, TI, DI가 각각 1.61, 1.98, 3.13 kg/ha로 담수심을 높게 유지할수록 영양물질의 배출 부하량은 증가하는 것으로 나타나서, 지표배출부하량은 담수심과 관계가 있는 것으로 나타났다. 담수심을 낮게 유지하는 방안은 Table 3과 같이 관개수량의 저감뿐만 아니라, 물꼬를 통한 배출부하량을 줄여 수계에 부영양화와 같은 수질문제를 줄일 수 있을 것으로 판단된다.

3. 벼 생육 및 수확량

담수심의 변화에 따른 벼의 생장을 알아보기 위해서 최고분얼기인 7월 29일과 출수기인 8월 29

일 2차에 걸쳐 생육조사를 하였다(Table 5). 담수심의 변화에 따른 초장, 분얼수, 건물중에서는 다소의 차이는 있었으나, 심수관개처리구 DI의 초장을 제외하고는 통계적인 유의성은 나타나지 않아서 대체적으로 담수심의 변화는 벼 생육에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다.

10월 19일 수확시에 수확량을 조사하였으며, 그 결과는 Table 5와 같다. 처리구별 수확량은 천수관개 처리구 SI(683.05 kg/10a, 0.68 kg/m²)가 가장 많은 수확량을 보였으며, 다음으로 심수관개 처리구 DI(644.10 kg/10a, 0.64 kg/m²), 관행관개 처리구 TI(595.33 kg/10a, 0.60 kg/m²)순으로 평균값에서는 수확량 사이에 차이가 나타났으나, 통계적으로는 유의성을 보이지 않아 담수심의 변화는 수확량에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다.

다른 연구결과를 보면, Bouman and Tuong (2001)는 담수심 5~10 cm에서 토양포화 수분상태까지 줄이면서 실험한 결과 23 %의 물 절약효과와 6 % 생산량 감소로 용수생산성 증가는 토지생산성을 감소시키지 않는 것으로 나타났으며, Tabbal et al.(1992)은 논 담수심을 매우 얇게 유지하거나, 토양만 포화시키거나, 습윤과 건조를 교대로 하는 논의 물관리는 전통적인 방법과 비교하여 수확량 감소가 없었으며, 관개수량을 약 40~70% 저감할 수 있다고 보고하였고, Son et al.(2002)은 극히 천수간단관개, 천수간단관개, 심수관개의 3가지 담수심 처리를 하여 실험한 결과

Table 5 Growth and yield at treatment pots

Treatment	Max tillering stage			Heading stage			Yield (kg/10a)
	Plant height (cm)	Tiller number	Dry weight (g)	Plant height (cm)	Tiller number	Dry weight (g)	
SI	99.7	10.7	16.0	113.3	11.0	41.0	683.05
TI	94.7	11.0	14.3	113.3	10.7	45.0	595.33
DI	97.3	11.3	15.0	117.7*	10.3	48.0	644.10

*Means are significantly different at P=0.05

천수간단관개가 전통적인 심수 관개에 비하여 관개 수량이 절감되었으며 수확량에도 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

본 연구 결과에 의하면 수확량에 있어서 천수관개가 관행관개나 심수관개에 비하여 악영향이 없었으며, 오히려 천수관개에서 수확량이 증가하는 경향이 나타나서 오수처리수를 관개할 때 천수관개가 불리한 방법이 아닌 것으로 나타났다.

이상의 결과를 종합해 볼 때, 벼 재배시 물꼬높이를 일정하게 하고 담수심을 낮게 유지하는 것은 논에서의 저류기능을 증가시켜 강우시 유출을 억제하는 기능이 있는 것으로 나타났다. 특히, 시비 후 강우에 의한 유출은 고농도의 영양물질이 수계로 유입되어 큰 영향을 미치므로 담수심을 낮추어 영농초기의 유출을 억제시킴으로써 수계의 충격을 감소시킬 수 있을 것으로 판단된다. 뿐만 아니라 담수심 감소를 통한 관개용수 절약의 효과까지 기대할 수 있어 농지배수 관리기법으로 평가된다. 또한, 중간낙수시 강제 배수가 아닌 적절한 관개계획조절에 의하여 자연 배수시키고, 가능한 강우에 의한 자연 재관개를 시도함으로써 관개용수를 줄이고 배수량을 감소시키면, 물생산성 증가 및 수계에 대한 환경적 부담을 줄일 수 있을 것으로 판단된다. 다만, 담수심 감소 및 중간낙수의 조절을 위해서는 작물생육에 따라서 정확한 관개시기 및 방법의 적용, 기상상태와 관개시기와의 연계, 그리고 농민들에 대한 꾸준한 교육 및 홍보 등이 필요할 것으로 생각된다.

4. 오수처리수의 관개용수 이용

오수처리수를 관개용수로 이용시 배출부하량 및 수확량에 대한 영향을 평가하기 위하여 수돗물 관개와 오수처리수 관개수 두 처리구를 비교 실험하였다. 물수지는 담수심을 3~6 cm로 동일하게 유지하였기 때문에 거의 차이를 나타내지 않았다.

관개수의 농도에 따른 생육의 차이는 Table 6과 같다. 1차 생육 조사시기인 최고 분얼기에는 두 처리구 사이에 차이는 적어서 통계적인 유의성은 없었으나, 2차 생육 조사 시기인 출수기에는 오수관개수처리구가 초장, 분얼수, 건물중 모두 높게 나타났다. 벼의 양분 흡수는 일반적으로 생육 초기에 왕성하고 각 양분의 흡수속도는 출수 전에 최대치를 나타내는데, 8월 집중호우로 인하여 시비한 비료의 많은 부분이 손실되었고, 오수관개수처리구는 그 이후에도 관개로 인한 영양물질의 투입이 이루어져 벼의 생육에 긍정적인 영향을 미친 것으로 생각된다.

수확량의 비교에서는 오수관개처리구가 595.33 kg/10a, 대조구가 489.57 kg/10a로 오수관개처리구가 평균에서는 높았으나 통계적인 유의성은 나타나지 않았다. 결국, 오수처리수를 관개수로 이용할 경우 벼의 생육뿐만 아니라 수확량에서도 악영향을 나타내지 않았고 오히려 긍정적인 효과가 나타나는 경향이 있었다. 영농초기 고농도의 관개수로 인하여 어린 벼의 성장에 영향을 미칠 것으로 우려하였으나, 벼의 성장에서 통계적인 유의성은 없었으며 오히려 긍정적인 측면이 나타났다.

Table 6 Growth and yield at treatments plots during cropping season

Treatment	Max. tillering stage			Heading stage			Yield (kg/10a)
	Plant height (cm)	Tillering number	Dry weight (g)	Plant height (cm)*	Tillering number*	Dry weight (g)*	
control	96.17	9.89	12.84	107.78	8.67	30.47	489.57
TI	99.67	11.00	15.88	113.44	11.11	40.86	595.33

*Means are significantly different at P=0.05.

다른 연구 결과를 보면, Kim et al.(1993)은 오수 관개수가 벼 생육 및 미질에 미치는 영향을 평가한 결과 벼의 생육 및 수확량에 변화가 없다고 하였으며, Yoon et al.(2001)의 실험결과에 의하면 수도재배에 있어서 오수처리수 관개에 의한 영양물질의 유입은 수확량 증대에 보조적 역할을 할 수 있다고 하였다. 본 연구 결과는 다른 연구결과와 일치하는 것으로서 용수재이용에 의한 관개용수 공급에 대한 보다 적극적인 관심을 가질 필요가 있다고 생각된다. 일반적으로 자연정화처리가 식물을 이용한다는 측면에서 적절한 처리과정을 거친 오수처리수를 농업용수로 재이용하는 것은 부족한 관개용수의 확보 뿐 아니라, 오수처리수를 논이라는 또 하나의 자연정화시설을 통해 방류함으로써 수계에 환경적인 이익을 줄 것으로 판단된다. 그러나, 오수처리수가 벼 재배에 있어 질소와 인을 포함한 영양물질 공급원으로서 유익한 역할을 할 것으로 판단되지만, 농작물에 유용한 영양물질 이외에 유해한 성분이 포함되어 있을 수 있기 때문에 무분별하고 무계획적인 사용은 오히려 농작물의 생육을 저해하고 수질오염을 악화시킬 수 있는 가능성도 있다. 또한, 오수처리수에 함유된 세균성미생물들이 공중위생에 악영향을 미칠 수 있기 때문에 이 부분에 대한 철저한 규명이 병행되어야 한다. 따라서, 오수처리수의 본격적인 현장적용을 위해서는 작물생장이나 수확량뿐만 아니라 수질개선효과, 토양의 특성변화, 그리고 공중위생문제 등 전반적으로 눈을 중심으로 한 주변환경에 대한 신중하고 상세한 연구가 지속되어야 할 것이다.

IV. 요약 및 결론

본 연구에서는 오수처리수를 이용한 벼 재배실험을 통해 담수심 변화가 작물수확량 및 부하량에 미치는 영향을 조사, 분석하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 담수심에 따른 관개량은 SI가 170.00 mm,

TI가 203.67 mm, DI가 343.33 mm였으며, 배수량은 SI가 413.84 mm, TI가 423.84 mm, DI가 526.17 mm로 담수심은 관개 및 배수량에 비례하는 것으로 나타났다. 따라서, 담수심을 줄이는 것은 관개용수 절약 효과 및 배수구를 통한 지표배출량을 줄임으로서 물생산량의 증가 및 논에서의 배출 부하량도 현저히 줄일 수 있을 것으로 판단된다.

2. 수도작의 영농 특성상 발생하는 중간낙수시 강제 배수가 아닌 적절한 담수심관리 계획에 의해 자연 배수를 시키고, 되도록이면 강우에 의한 자연 재관개를 실시함으로써 관개용수사용량을 줄이고 배수량도 줄여, 물생산성 증대 및 수계에 대한 환경적 부담의 저감에 기여할 수 있을 것으로 생각된다.

3. 담수심에 따른 생육과정은 통계적인 유의성이 나타나지 않았고, 수확량에서도 SI가 683.05 kg/10a, TI가 595.33 kg/10a, DI가 644.10 kg/10a로 통계적인 유의성은 없었으나, 담수심을 관행관개와 달리 적용하였을 때 벼의 생육 및 수확량에 나쁜 영향을 미치지 않았으며 오히려 긍정적인 효과를 나타내는 경향이 있었다.

4. 오수처리수를 관개용수로 재이용시 벼의 생육 및 수확량에 나쁜 영향은 나타나지 않았고 오히려 긍정적인 영향이 나타나는 경향이 있었다. 따라서, 적절한 처리과정을 거친 오수처리수를 농업용수로 재이용하는 것은 부족한 관개용수의 확보 뿐 아니라, 오수처리수를 논이라는 또 하나의 자연정화시설에서 추가적인 수질정화를 거친 후에 방류함으로써 수계에 환경적인 이익을 줄 것으로 판단된다.

5. 결론적으로 담수심을 줄이는 것은 물생산성이나 환경적인 측면을 고려할 때 벼 재배에 유리할 수 있으며, 오수처리수의 농업용수 재이용도 용수 확보 뿐 아니라 환경적 이익을 고려할 때 유리한 관개방법이 될 수 있을 것으로 나타났다. 그러나, 담수심 감소를 위해서는 벼 발육과 연계한 정밀관개 및 농민교육이 필요하며, 오수처리수의 본격적인 재이용을 위해서도 수인성 세균과 같은 위생적

측면과 벼의 도복, 토양에 미치는 영향, 그리고 병충해 발생과 같은 부수적인 측면에 대한 연구가 광범위하게 수행되어야 할 것으로 판단된다.

본 연구는 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비 지원(과제번호: 4-5-1)에 의해 수행되었습니다.

References

1. Ahn, Y. S., K. K. Kang, S. G. Kim, K. A. Roh, M. E. Park. 1998. Assessment of the functions of vegetation and soil on the nutrient cycling in paddy field ecosystem with inflow of animal wastes. *Journal of Korean Society of Soil Science and Fertilizer* Vol.31 (2):162-169. (in Korean)
2. Angelakis, A. N. and Boneux, L. 2001. Wastewater reclamation and reuse in Eureau countries. *Water Policy* 3(2001)47-59
3. APHA. 1995. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 19th Ed. pp. 4:99-153. American Public Health Association, Washington, D.C.
4. Bouman, B. A. M. and Toung, T. P. 2001. Field water management to save water and increase its productivity in irrigated lowland rice. *Agricultural Water Management*, 49:11-30.
5. Chae, J. C. 1998. Effect of tillage and seeding methods on percolation and irrigation requirement in rice paddy condition. *Korean J. of Crop Science*. 43:264-26. (in Korean)
6. Choi, J. K., J. W. Koo, J. G. Son, K. S. Yoon, J. Y. Cho. 2001. Nutrient balance and runoff loading during cropping period from a paddy plot in maryeong irrigation district. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* Vol.43(5):153-162. (in Korean)
7. De Datta, S. K., W. P. Abilay, G. N. Kalwar. 1973. Water stress effects in flooded tropical rice, pp. 19-36. In *Water Management in Philippine Irrigation Systems*. Research and Operations. International Rice Research Institute, Los Baños, Philippines.
8. Doorenboss, J. and Pruitt, W. O. 1997. *Guidelines for Prediction Crop Water Requirement*. Irrigation and Drainage Paper No. 24. FAO. Rome.
9. Eom, K. C. 2001. Environmentally beneficial function of rice culture and paddy soil, pp. 28-35. In: *Rice Culture in Asia*. International Commission on Irrigation and Drainage, and Korean National Committee on Irrigation and Drainage, Korea. (in Korean)
10. Guerra, L. C., S. I. Bhuiyan, T. P. Tuong, and R. Barker. 1998. Producing more rice with less water from irrigated systems. SWIM Paper 5, International Water Management Institute. Colombo, SriLanka. 24P
11. Hukkeri, S. B. and Sharma, A. K. 1980. Water-use efficiency of transplanted and direct-sown rice under different water management practices, *Indian Journal of Agricultural Science*, 50:240-243.
12. Hwang, H. S., C. G. Yoon, J. H. Jeon, B. H. Kim. 2002. Water and nutrient mass balances in paddy field with groundwater irrigation in low-rainfall year. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* Vol.44 (4):39-50. (in Korean)
13. Korea Agricultural & Rural Infrastructure Corporation, Ministry of Agriculture and Forestry. 2002. 2002 year book of Agriculture land and water Development Statistics.
14. Kim, J. S., K. B. Pai., J. Y. Choi. 1993. Effect of Polluted Irrigation Water on the Rice Growth and the Grain Quality. *Korean Journal of Soil Science & Fertilizer* Vol.26

- (2):132-137. (in Korean)
15. Kim, J. S. and Oh, S. Y. 1999. Characteristics of Concentration and Load of Nitrogen and Phosphorous. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* Vol.41 (4):47-56. (in Korean)
 16. Kim T. C. 1997. Sustainable Irrigated Agriculture & Environmental Conservation. *Water in the Year 2000's- Efficient Management of Fresh Water Reservoir and Environmental Considerations on the Reservoir Watershed* pp.175-217. KCID. (in Korean)
 17. KMA. Climate data. <http://www.kma.go.kr>. Accessed 16 Dec. 2002. (in Korean)
 18. Kwun, S. K., Environmental Roles and Value of Paddies(I) : Preservative Functions of Environment in Paddy Fields, Information provider of Agriculture and Life Science Research Information Center. (in Korean)
 19. Roderick H. 1990, *Basic Growth Analysis*, Unwin Hyman Ltd.
 20. Roh, K. A., P. J. Kim, K. K. Kang, Y. S. Yun, S. H. Ahn, 1999. Reduction of nutrient infiltration by supplement of organic matter in paddy soil. *Korean Journal of Environmental Agriculture* Vol.18(3):196-203. (in Korean)
 21. Son. S. H. and Chung, S. O. 2002, Effects of ponding depth treatment on water balance in paddy fields. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* Vol.44(2):67-74. (in Korean)
 22. Tabbal, D. F. et al. 1992. Water-efficient irrigation technique for rice. In *Soil and water engineering for paddy field management*, Proceeding of the International workshop. 146-159. January 1992. Asian Institute of Technology. Bangkok. Thailand.
 23. Anbumozhi. V., E. Yamaji, T. Tabuchi, 1998, Rice crop and yield as influenced by changes in ponding water depth, water regime and fertigation level. *Agricultural Water Management* 37:241-253
 24. Yoon, C. G., S. K. Kwun, J. H. Ham. 2001. Effects of treated sewage irrigation on paddy rice culture and its soil. *Irrigation and Drainage*, 50:227-236. (in Korean)