

# 하수종말처리장 방류수를 논 관개용수로 처리시 벼 생육 및 토양환경 영향 조사 - 라이시미터 재배실험 -

조재영 · 박승우\* · 손재권\*\* · 박봉주\*\*\* · 이용근\*\*\*\*

전북대학교 응용생물공학부 · \*서울대학교 조경 · 지역시스템공학부

\*\*전북대학교 생물자원시스템공학부 · \*\*\*건국대학교 자연과학연구소 · \*\*\*\*전북대학교 식물자원과학부

## Rice Growth Response and Soil Quality by Domestic Wastewater Irrigation on Rice Paddy Field - Lysimeter experiment -

Cho, Jae Young · Park, Seung Woo\* · Son, Jae Gwon\*\* · Park, Bong Ju\*\*\* · Li, Long Gen\*\*\*\*

*Division of Biotechnology, Chonbuk National University*

*\*Department of Landscape Architecture and Rural System Engineering, Seoul National University*

*\*\*Department of Agricultural Engineering, Chonbuk National University · \*\*\*Institute of Natural Science, Konkuk University*

*\*\*\*\*Department of Crop Production and Technology, Chonbuk National University*

**ABSTRACT** : The application of domestic wastewater on rice paddies results in the accumulation of sodium(Na<sup>+</sup>) to the soil. Excessive concentration of sodium may cause the deterioration of the physical characteristics of the soil, change in the osmosis of the soil, destruction of soil aggregates as well as ion toxicity due to sodium accumulation. Using domestic wastewater as irrigation water should be preceded by measures to prevent or control the soil salinization caused by sodium. Agricultural reuse of domestic wastewater were found not to cause serious problems with food safety due to heavy metals. However, pre-treatment using ultraviolet or ozone is recommended to reduce the number of bacteria and germs and for public health reasons. Using domestic wastewater has shown that reducing the standard application of chemical fertilizers by as much as 50% reduced the harvesting index by only 10%. This study has shown that it is feasible to reuse domestic wastewater on rice paddies. In order to facilitate the application, it is deemed necessary to establish wastewater treatment technologies in the future, to review criteria for recycling domestic wastewater for agricultural purposes such as conditions of soil and cropping system and to resolve conflicts with farmers and public health issues.

**Key words** : Agricultural water, Domestic wastewater, Rice paddy field, Salinization

### 1. 서론

우리나라의 용수 수요량은 1998년 기준으로 생활용수 73억m<sup>3</sup>, 공업용수 29억m<sup>3</sup>, 농업용수 158억m<sup>3</sup>, 하천 유지용수 71억m<sup>3</sup> 등 총 331억m<sup>3</sup>으로 추정하고 있다. 용수 수요량은 1988년 이후 10년간 총 33%가 증가하였으며, 이는 연평균 3.3%의 증가율을 나타내고 있다. 이와 같은 증가율을 감안하면, 수요량이 2배로 증가하는 데 불과 30년 정도

가 소요되는 것이다. 한편, 세계의 용수 수요는 매 21년마다 2배로 증가하고 있으며, 세계은행의 예측결과에 의하면 2025년까지는 세계 52개국에서 30억의 인구가 마실 물과 위생을 위한 물의 일시적인 부족을 경험할 것으로 경고하고 있다(과학기술부, 2004).

하수종말처리장 방류수를 농업용수로 재이용하기 위해서는 적정수준의 하수종말처리장 방류수 처리기술의 확립과 함께, 토양조건, 작부체계 등에 따른 농업용수 재이용수 처리기준의 검토, 그리고 관개방식, 환경조건 등에 따른 병원균의 생존율, 농민과 공공의 보건위생문제 등 여러 측면에서 재이용 기반기술의 확립이 필요할 것으로 생각된다

Corresponding author : Cho, Jae Young  
Tel : 063-270-2547  
E-mail : soilcosmos@chonbuk.ac.kr

다(강문성 등, 2004, 윤춘경 등, 1999, 윤춘경 등, 2001). Hussain과 Al-Saati(1999)는 사우디아라비아의 농업지역에서 하수종말처리장 방류수를 재이용하기 위한 수질 및 토양환경적인 측면에서 기준을 제안하였는데 첫째, 토양의 질적 보전과 식물생육을 위한 지표로서 관개수의 염분농도, 둘째, 토양의 물리적인 환경을 건전하게 유지하기 위한 나트륨 흡착율(sodium adsorption ratio, SAR), 셋째, 토양수중 SAR 값에 영향을 끼치는 잔류성 탄산나트륨 함량(residual sodium carbonate, RSC), 넷째, 식물의 생장이나 수량구성요소에 영향을 끼치는 Na, Cl, SO<sub>4</sub>와 B(Boron)와 같은 특이 이온들의 독성효과에 대해 집중적인 관리가 필요하다고 강조하였다.

그동안 국내에서 이루어진 하수종말처리장 방류수의 재이용과 관련된 대부분의 연구는 화장실 세척수나 공업용수 등을 위한 중수도 개발에 집중되어 왔다(강용태 등, 2003, 김기욱, 2001a, 2001b, 남영우, 2000, 강용태 등, 1993, 안규홍과 권지향, 1993). 우리나라에서 현재까지 하수종말처리장 방류수를 체계적이고, 계획적으로 농업용수로 재이용한 연구사례가 윤춘경 등(2001)과 강문성 등(2004)에 의해 일부 보고되어 있을 뿐이다.

본 연구는 2002년과 2003년의 2작기 벼 재배기간 동안에 관개용수원으로 지하수, 하수종말처리장 방류수 그리고 자외선 살균처리된 하수종말처리장 방류수를 공급하였을 때 논토양의 화학적 특성 변화, 식물체로의 영양물질과 유해물질의 흡수 이행, 작물수량 구성요소 그리고 하수종말처리장 방류수에 다량 함유되어 있는 영양물질의 자연공급효과 등에 대한 검토를 수행하였다. 이와 함께 하수종말처리장 방류수를 논에 이용할 경우 환경부하량 경감, 토양생태계 보전과 화학비료 자원 절감에 기여할 수 있는 적정 화학비료 시비량을 산정하였다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 하수종말처리장 방류수

본 연구에 사용한 하수종말처리장 방류수는 전라북도 전주시 전미동에 위치한 전주하수종말처리장의 방류수를 이용하였다. 실험에 사용한 논 관개용수는 1) 전북대학교 부속 농장의 지하수(GF), 2) 하수종말처리장 방류수(WF), 3) 하수종말처리장 방류수를 수처리용 자외선 살균램프(Type: TUV16W, Lamp current(mA): 400, Ultraviolet output: 33μW/cm<sup>2</sup>)로 1시간 동안 살균한 살균수(WSF)로 분류하였다.

### 2. 라이시미터와 작물생육 조사

실험에 사용한 라이시미터는 플라스틱 포트로서 55 × 45 × 35cm 규모에 약 0.5m<sup>2</sup>의 표면적을 가지고 있다. 라이

시미터의 밑부분에는 배수밸브를 설치하였으며, 바닥에는 약 10cm의 자갈을 충전한 다음 그 위에 부직포를 덮은 후에 논토양을 약 35cm 정도 충전하였다. 흙 위에는 약 10cm의 여유공간이 있어서 관개용수를 충분히 공급할 수 있도록 하였다. 2002년도와 2003년도 영농기간 동안에 전북대학교 농과대학 시험포장에 설치한 30개의 라이시미터에 5월 25일경 기비 50%, 6월 9일경 분얼비 25%, 7월 28일경 수비 25%를 각각의 포트별로 화학비료 시비량을 조절하여 처리하였다. 병충해 및 잡초방제를 위해 6월 4일경에 부타입제, 카보입제 그리고 키타진 입제를 기준량 처리하였고, 7월 28일경에 카보입제와 키타진입제를, 그리고 8월 15일경에 키타진입제를 기준량 처리하였다. 벼는 동진벼를 공시품종으로 하여 1주 5분씩 포트 당 5개 채씩 이앙하였으며 10월 5일경에 벼를 수확하였다. 관개용수는 강우조건을 고려한 관행 물관리 방법에 기준하였다. 2002년도에는 5월 10일경 부터 9월 30일 경까지 1회 관개시 10리터를 기준으로 총 15회 관개하였으나, 2003년도에는 총 8회 관개하였다.

이같이 2002년도와 2003년도 영농기간에 관개횟수가 큰 차이를 보이는 것은 강우조건에 차이 때문에 발생한 것으로서 2002년도에는 5월부터 9월까지 총 강우량이 640 mm 정도였던 반면에 2003년도에는 1,395mm 정도로 2배 이상의 강우가 공급되었기 때문이다. 영농기간 동안 5mm 이상의 강우횟수를 비교해 보았을 때 2002년도에는 총 29회 강우 이벤트가 발생하였으나 2003년도에는 총 49회 강우 이벤트가 발생한 것으로 조사되었다.

수도 생육과정중에 매 1개월에 1회씩 벼 식물체의 초장과 분얼수를 조사하였으며, 수확후 각각의 개체를 수확하여 개체 당 이삭수와 이삭 당 영화수, 그리고 약 비중이 1.06의 소금물을 이용하여 등숙률을 구하고 갈아 앉은 낱알을 60℃에서 3일간 건조 한 후 무게를 달아 수확량을 산정하였으며, 이중에서 천개를 임의로 세어 무게를 달아 천립중을 구하였다. 이 결과를 단위면적과 개체수 등을 고려하여 수량구성요소 및 수확량을 계산하였다.

### 3. 시험구별 화학비료 처리량

하수종말처리장 방류수에는 다량의 질소와 인산을 포함한 식물영양물질이 함유되어 있는 것으로 알려져 있다. 이에 본 연구에서는 관개용수를 통한 비료성분의 자연유입을 감안하여, 논에 처리하는 화학비료의 시비량을 조절하였다. 이러한 과정을 통하여 하수종말처리장 방류수를 공급하였을 때 화학비료의 과다사용으로 인한 토양의 질적 악화, 벼의 생육불량, 그리고 농경지로부터 지표유출/지하침투를 통한 영양물질의 환경적인 부하를 최소화하고자 하였다. 실험에 처리된 화학비료의 양은 농업기술원(1999)

표 1. Application of chemical fertilizer in experimental lysimeter

Irrigation water	Application of chemical fertilizer	Code
Ground water	11.0 : 4.5 : 5.7 = N : P : K kg/10a	GFS
	8.3 : 3.4 : 5.7 = N : P : K kg/10a	GF75
Waste water	11.0 : 4.5 : 5.7 = N : P : K kg/10a	WFS
	8.3 : 3.4 : 5.7 = N : P : K kg/10a	WF75
	5.5 : 2.8 : 5.7 = N : P : K kg/10a	WF50
	No application	WF0
Waste water + UV sterilization	11.0 : 4.5 : 5.7 = N : P : K kg/10a	WSFS
	8.3 : 3.4 : 5.7 = N : P : K kg/10a	WSF75
	5.5 : 2.8 : 5.7 = N : P : K kg/10a	WSF50
	No application	WSF0

의 벼 재배 표준시비량(보통논)인 기비(질소 : 인산 : 칼리 = 5.5 : 4.5 : 4.0kg/10a) 그리고 추비(질소 : 인산 : 칼리 = 5.5 : 0 : 1.7kg/10a)를 기준으로 화학비료 무처리구, 표준시비량의 50% 시비구, 표준시비량의 75% 시비구, 표준시비량의 100% 시비구로 처리하였다. 시비량 조절은 질소와 인산비료를 대상으로 하였고, 칼리비료는 표준시비량을 동일하게 처리하였다<표 1>.

#### 4. 분석방법

수질시료의 분석은 수질공정시험법(환경처, 1993)에 기준하였다. pH와 EC는 현장에서 기기(Orion Model 840)를 이용하여 직접 측정하였으며, 총질소는 수질시료 100mL를 취하여 각각 환원증류-킬달법(reduction-distillation Kjeldahl method)으로 분석하였다. 대장균군은 최적확수시험법으로 조사하여 MPN/100mL로 나타내었고, 총인은 수질시료 100mL를 취하여 25mL로 농축한 다음 ascorbic acid reduction 법에 기준하여 분석하였다. 양이온(Ca<sup>++</sup>, Mg<sup>++</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>)과 중금속(Pb, Cd, Zn, Cu)은 수질시료 100mL에 진한 질산 5mL를 넣고 분해한 다음 25mL로 농축하여 유도결합플라즈마(Inductively coupled plasma, ICPS-7500)를 이용하여 분석하였다.

토양시료 분석은 실험전 토양과 각각 수확후 토양을 대상으로 하였으며, 토양화학분석법(농촌진흥청, 1983)에 기준하였다. 토양 pH는 토양과 증류수의 비율을 1 : 5로 희석한 현탁액에서 pH meter(TOA HM-20S)로 측정하였으며, 총질소는 Kjeldahl법, 유기물은 walkley-black법, 총인산은 Vanado-molybdate법, 유효인산은 Bray No. 2법, 치환성 양이온은 토양 10g을 1M-NH<sub>4</sub>OAc(pH : 7.0)에 의한 침출 후 유도결합플라즈마를 이용하여 분석하였다. 총 중금속은 시료 2g에 Conc. HNO<sub>3</sub> 20mL와 HClO<sub>4</sub> 10mL를 가하여 12시간 방치 후 분해액의 색이 거의 백색으로 될 때까지 가열 분해, 여과한 다음 유도결합플라즈마를 이용하여 분석하였다.

벼 식물체 성분분석은 Horner and Pratt(1961)의 방법에 기준하였다. 총질소는 벼 시료 2g을 취하여 Macro Kjeldahl 법으로, 총인산은 벼 시료 2g을 취하여 molybdenum blue법으로, 양이온과 중금속은 시료 2g을 취하여 진한 HNO<sub>3</sub> 20mL와 HClO<sub>4</sub> 10mL를 가하여 분해한 다음 유도결합플라즈마를 이용하여 분석하였다.

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 관개용수의 특성

본 실험에 사용된 하수종말처리장 방류수의 수질은 농업용 관개용수에 비해 총질소는 5배, 총인은 약 30배 정도 높게 나타났다. 양이온의 경우도 10-50배 정도 함량이 높게 나타났다. 하수처리 방류수의 자외선 살균에 따른 수질변화를 조사한 결과, 총질소, 총인 그리고 양이온의 함량은 큰 변화가 없었으나, 대장균 군수의 경우 자외선 살균처리에 의해 452MPN/100mL에서 2MPN/100mL로 크게 감소하였다<표 2>. 공공수역의 수질오염 방지를 위해 하수종말처리장의 방류수에 대해 수질환경보전법 제 32조 제2항의 규정에 의해 수질기준을 설정해 규제하고 있다. 방류수 수질기준은 1980년 BOD(20mg/L 이하)와 SS(20mg/L 이하)에 대한 규제치만은 설치하였고, 1996년 1월 1일부터 총인(8mg/L 이하), 총질소(60mg/L 이하) 항목이 추가되어 총 5개의 규제항목이 설정되어 있다. 전라북도 전주시 하수종말처리장의 2002년도와 2003년도 방류수를 대상으로 월 1회 수질을 조사한 결과, SS만 수질기준을 약간 초과하였을 뿐 기타 항목은 모두 방류수 수질기준을 만족시키고 있는 것으로 나타났다.

#### 2. 논 표면수중 화학성분의 함량 변화

2002년도와 2003년도 벼 재배기간 동안에 진행된 논 표면수중 화학성분의 함량 변화를 조사한 결과는 다음과 같다<그림 1과 2>. 여기에 제시된 데이터는 2002년도와 2003년도의 3반복 평균값을 나타내고 있다. 특별히 하수종말처리장 방류수중에 다량 함유되어 있는 것으로 조사된 총질소, 총인산 그리고 나트륨 이온의 함량을 중심으로

표 2. Water quality of irrigation water

Irrigation water	pH	T-N	T-P	Ca	Mg	Na	K	E. coli/100mL	BOD	COD	SS
TR#1	7.20	2.98	0.012	3.9	2.2	1.0	1.2	0	2.9	5.6	23.2
TR#2	7.17	15.32	0.311	6.2	5.1	59.9	3.1	452	14.1	19.2	45.6
TR#3	7.09	15.13	0.279	5.1	3.9	57.6	3.8	2	13.2	18.6	45.0

TR#1: Ground water, TR#2: Domestic wastewater, TR#3: Ultra-violet treatment of domestic wastewater

로 논의하였다.

첫째, 화학비료의 표준시비량을 기준으로 하수종말처리장 방류수의 처리에 따른 영향을 조사한 결과, 총질소와 총인의 함량은 지하수 관개구에 비해 하수종말처리장 방류수 관개구에서 높게 나타났으나 처리구별로 일정한 경향을 나타내지는 않았다. 양이온 성분 가운데 Ca, Mg, K는 일반 지하수 관개구와 하수종말처리장 방류수 관개구간에 큰 차이를 나타내지 않았으나, Na의 함량은 하수

종말처리장 방류수 관개구에서 훨씬 높게 나타났다.

둘째, 화학비료의 시비량 차이에 따른 화학성분의 변화를 조사한 결과, 하수종말처리장 방류수의 자외선 살균처리에 따른 영양물질의 함량은 큰 차이를 나타내지 않았다. 다만, 질소의 경우에는 하수종말처리장 방류수 관개구 + 화학비료 표준시비량의 50% 저감처리구가 지하수 관개처리구의 화학비료 표준시비량 처리구와 유사한 농도분포를 나타내었다.

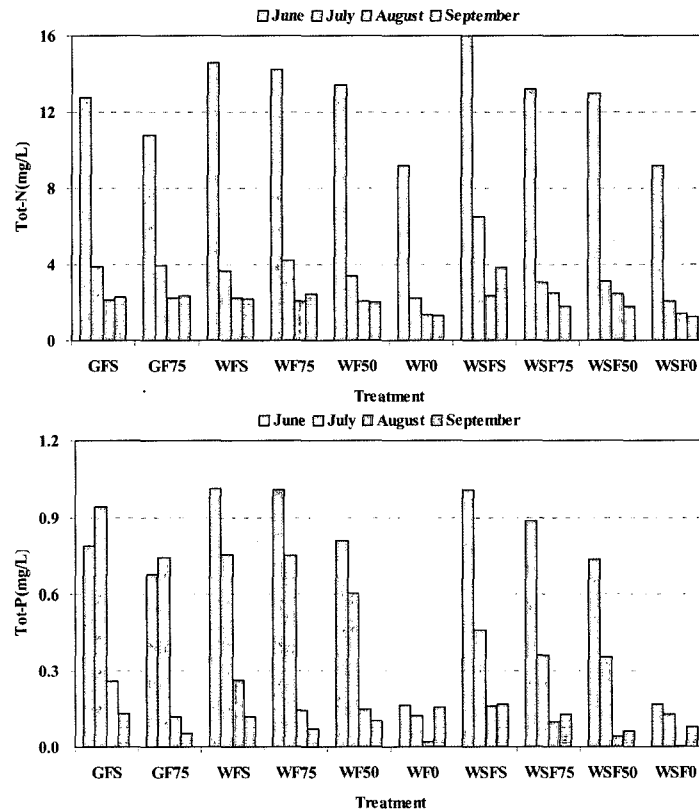


그림 1. Monthly changes of Tot-N and Tot-P in flooding water.

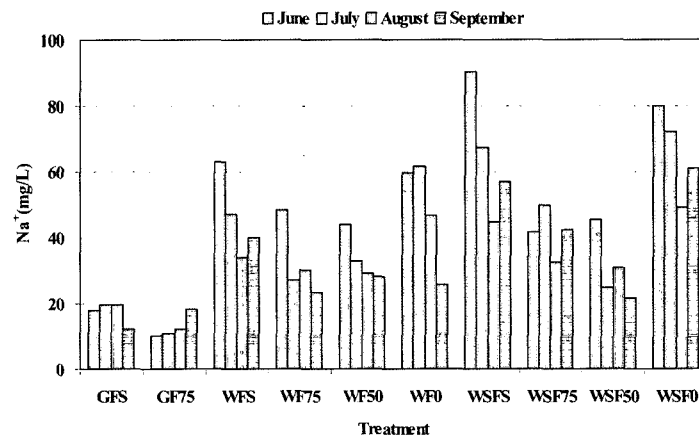


그림 2. Monthly changes of sodium ion in flooding water.

표 3. Changes of chemical components in rice paddy soil by domestic wastewater irrigation

(unit : mg/kg)

Treatment	pH (1:5H <sub>2</sub> O)	Tot-P	Tot-N	CEC (cmol/kg)	O.M. (%)	Cu	Zn	Pb	Cd	Ca	Mg	K
BT	6.12	256.7	929.2	7.69	4.32	8.56	35.56	10.23	0.11	112	156	119
GFS	6.91	356.4	1622.1	8.19	5.73	9.16	37.74	9.61	0.05	154	194	180
GF75	6.66	254.4	1332.4	7.46	5.58	7.01	31.89	11.98	0.18	115	179	160
WFS	6.78	290.6	1171.7	7.97	4.94	6.07	31.13	13.68	0.19	115	158	230
WF75	6.57	252.4	1094.8	7.39	4.57	6.55	31.55	14.01	0.19	98	168	177
WF50	6.41	221.9	1071.7	7.55	5.74	5.76	29.72	16.62	0.19	96	145	199
WF0	6.86	157.1	811.0	7.88	4.76	8.14	24.23	12.12	0.18	107	125	204
WSFS	6.45	292.3	1434.6	7.31	4.53	6.44	38.22	6.33	0.09	178	187	138
WSF75	6.53	247.2	1282.8	7.98	4.72	5.37	27.76	12.07	0.12	114	164	134
WSF50	6.36	218.3	1071.7	7.55	4.02	5.86	26.81	14.02	0.12	125	136	129
WSF0	6.66	125.3	1000.6	7.81	4.86	6.81	30.17	10.60	0.12	175	168	112

BT : before domestic wastewater treatment

결론적으로, 하수종말처리장의 방류수를 그대로 관개한 경우와 이들 하수종말처리장의 방류수를 자외선으로 살균 처리한 경우에 논 표면수중 질소와 인의 함량은 큰 차이를 보이지 않았다. 그러나 일반 지하수 관개구와 비교시 하수종말처리장 방류수 관개구에서의 나트륨 이온의 함량이 매우 높게 나타났는데 이는 지속적으로 하수종말처리장 방류수를 논에 처리할 경우 토양내 나트륨 이온의 과다집적이 우려되고 최종적으로 염류집적으로 인한 토양입단 형성 불량, 수분흐름 저해 등 바람직하지 못한 문제가 야기될 수 있을 것으로 판단된다.

### 3. 논 토양중 화학성분의 시기별 변화

2002년 5월 초와 2년 동안의 벼 재배실험이 끝난 2003년 10월 중순경에 시험포트 내부의 표토시료를 채취하여 논 토양중 화학성분의 함량변화를 조사한 결과는 표 3과 그림 3에 나타나 있다. 하수종말처리장 방류수 관개구에서

자외선 살균처리에 따라 영양물질의 함량이 큰 차이를 나타내지 않았다. 지하수 관개구와 하수종말처리장 방류수 관개구간에는 영양물질의 토양내 집적현상이 차이를 보였는데 하수종말처리장 방류수 관개구에서 더 높은 경향이였다. 또한, 각 처리구에서 화학비료 시비량의 증가에 따라 논 토양중 영양물질의 함량이 증가하는 일반적인 경향을 나타내었다. 논 토양내에 분포하는 주요 양이온 가운데 Ca<sup>++</sup>, Mg<sup>++</sup>, K<sup>+</sup>의 함량은 지하수 관개구와 하수종말처리장 방류수 관개구 사이에 큰 차이를 보이지 않았으나, Na<sup>+</sup>의 함량은 지하수 관개구보다 하수종말처리장 방류수 관개구에서 훨씬 높게 나타나고 있었다. 중금속 오염물질은 지하수 관개구와 하수종말처리장 방류수 처리구간에 큰 차이가 나타나지 않았다. 하수종말처리장 방류수 처리시 논 표면수에서도 나트륨의 함량이 높게 나타나. 토양중 나트륨 집적의 우려가 제기되었는데 이러한 경향은 논 토양에서도 동일하게 나타났다. 따라서 하수종말처리

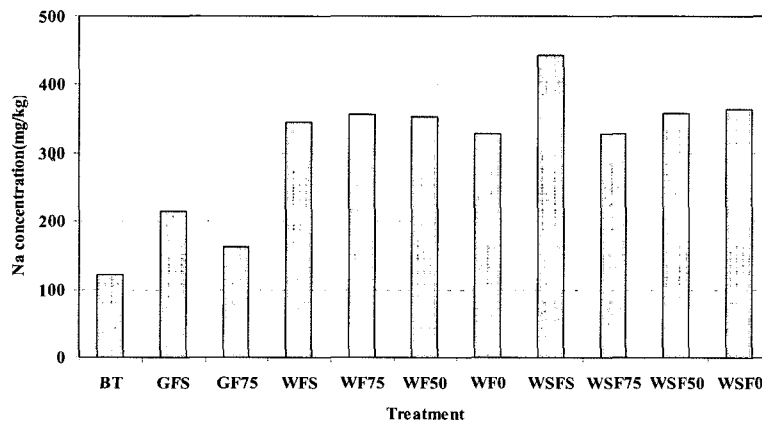


그림 3. Changes of sodium concentrations in rice paddy soil by domestic wastewater irrigation.

장 방류수를 논에 관개용수로 이용할 경우 나트륨 집적으로 인한 토양염류화 현상을 제어할 수 있는 방안이 마련되어야 할 것으로 판단된다.

#### 4. 벼 식물체중 영양물질과 유해성분의 함량변화

2002년도와 2003년도에 수확된 벼 식물체 시료를 대상으로 질소와 인산의 함량 및 중금속 유해성분의 함량을 조사한 결과는 다음과 같다<표 4, 그림 4>. 여기에 제시된 데이터는 벼 식물체 곡실 부분만을 분석한 결과로서 2년 동안의 평균값을 나타내고 있다.

벼 식물체 곡실중 총인산의 함량은 하수종말처리장 방류수 관개구에서 화학비료의 시비량을 표준시비량의 50%로 한 경우에 가장 높게 나타났다. 상대적으로 하수종말처리장 방류수만을 처리하고 화학비료를 전혀 처리하지 않은 처리구에서 가장 낮게 나타났으며, 자외선 살균처리 여부에 따라 큰 차이를 나타내지 않았다.

벼 식물체 곡실중 총질소의 함량은 화학비료의 시비량에 의존적이었으며, 하수종말처리장 방류수의 살균처리 유무에 따라 큰 차이를 나타내지 않았다.

표 4. Concentration of heavy metals in brown rice by domestic wastewater irrigation

(unit : mg/kg)

Treatment	Cu	Cd	Pb	Mn	Zn	As	Hg
GFS	0.73	0.049	0.37	77.55	19.80	0.097	0.023
GF75	0.53	0.047	0.35	90.25	19.10	0.101	0.024
WFS	2.08	0.049	0.70	95.80	28.90	0.101	0.024
WF75	1.20	0.050	0.88	85.35	29.05	0.106	0.025
WF50	1.73	0.047	0.70	92.35	29.25	0.087	0.021
WF0	0.20	0.047	0.98	68.30	45.45	0.105	0.025
WSFS	0.73	0.051	0.58	52.95	20.90	0.099	0.024
WSF75	0.88	0.050	0.97	89.60	21.35	0.095	0.023
WSF50	0.28	0.049	0.68	73.85	20.15	0.082	0.020
WSF0	0.28	0.046	1.03	49.95	22.30	0.110	0.026

벼 식물체로 흡수이행된 영양물질 이외에 본 연구에서 사용한 하수종말처리장 방류수를 농업용 관개용수로 사용하였을 경우 중금속과 같은 유해성분이 어느 정도 흡수이행되는지를 조사한 결과는 다음과 같다. 현재 국내의 중금속에 대한 식품기준은 Codex 기준을 원용하여 현미중

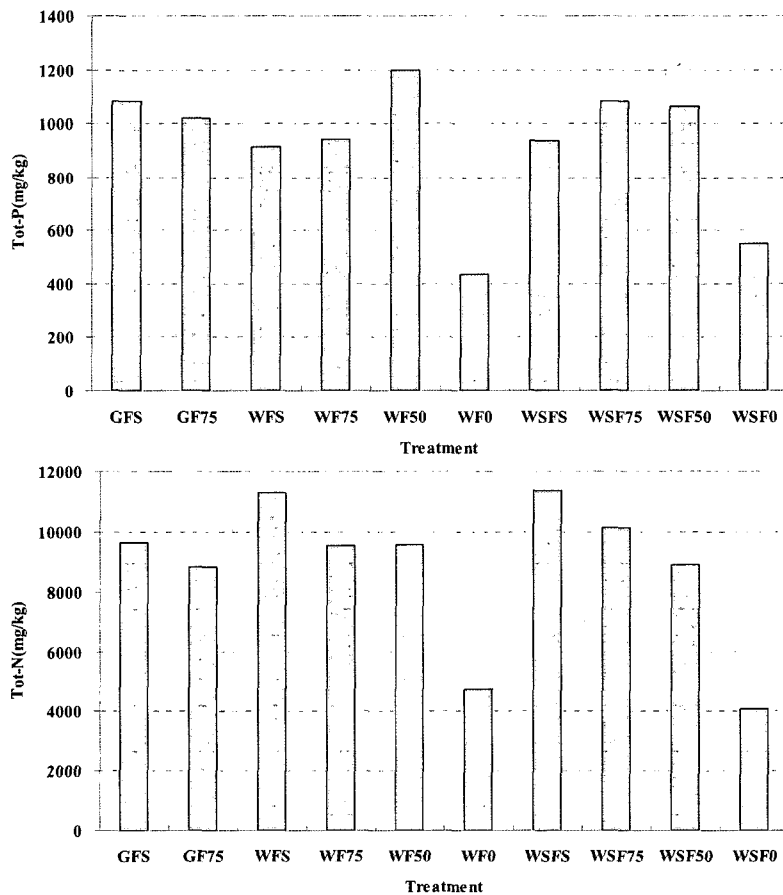


그림 4. Concentrations of Tot-N and Tot-P in brown rice by domestic wastewater irrigation.

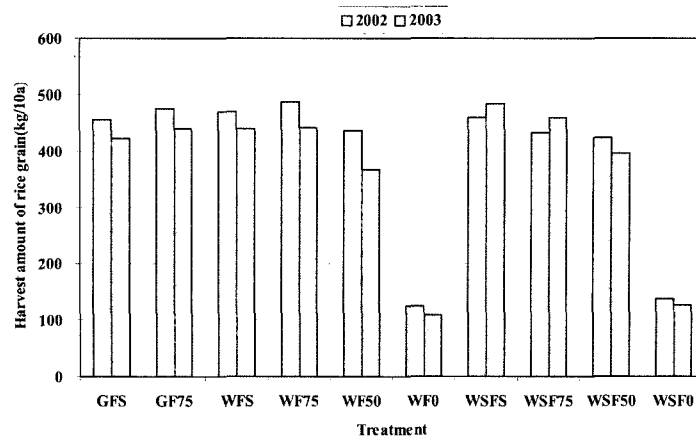


그림 5. Harvest amount of rice grain by domestic wastewater irrigation

카드뮴(Cd)의 함량을 0.2mg/kg 이하로 규정하고 있다. 유순호 등(1983)의 연구결과에 의하면, 비오염 농경지에서 재배되는 현미중 중금속의 함량은 Cu 3.31mg/kg, Cd 0.05mg/kg, Zn 20.6mg/kg 그리고 Pb 0.44mg/kg으로 나타났는데, 본 조사결과도 이와 유사한 수준이었다. 결론적으로 하수종말처리장 방류수를 논에 관개용수로 이용할 경우 중금속 오염을 우려할 수준은 아닌 것으로 나타났다.

### 5. 벼의 수량구성요소의 변화

2002년과 2003년 10월에 수확한 벼 식물체중 작물 수량구성요소 및 수확량을 조사한 결과는 다음과 같다(그림 5).

수량 구성요소로는 주당 이삭수, 이삭 당 영화수, 등숙률과 천립중을 조사하였으며, 이 수량구성요소의 결과를 이용하여 단위면적당 수확량을 계산하였다. 화학비료의 시비량의 증가에 따라 주당 이삭수가 증가하는 경향을 나타내었다. 또한 하수종말처리장 방류수의 자외선 살균 처리에 따른 차이를 조사한 결과, 커다란 차이를 나타내지 않았다. 이삭당 영화수는 일반 지하수 관개구에 비해 하수종말처리장 방류수 관개구에서 더 높게 나타났다. 화학비료의 시비량이 증가함에 따라 증가하는 경향이었으나, 화학비료 시비량 75%까지는 큰 차이를 나타내지 않았다. 또한 하수종말처리장 방류수의 처리형태별로는 유의성 있는 차이가 나타나지 않았다.

본 실험에서 일반 지하수 관개구와 하수종말처리장 방류수 관개구의 각 개체의 등숙률을 조사한 결과, 화학비료의 무처리구에서는 약 80%의 등숙율을 나타낸 반면 화학비료의 처리구에서는 90% 이상의 등숙율을 나타내었다. 이들 등숙율은 지하수 관개구 보다 하수종말처리장 방류수 관개구 사이에 약간 더 높게 나타났다. 일반적으로 단위면적 당 이삭수가 많으면 등숙률이 상대적으로 이삭수가 작은 것에 비하여 떨어지는 경향을 보이는 것으로 알려져 있는데, 본 조사결과에서는 일정한 경향을 보이지

않았다.

위의 모든 수량구성요소를 종합하여 작물의 최종 산물인 수확량을 계산할 수 있는데 수확량을 10a당 수확량 kg으로 환산하여 나타내었다. 일반 지하수 관개구에서 화학비료의 표준시비량구의 수확량은 약 439kg/10a, 표준시비량의 75%처리구에서 약 457kg/10a의 수확량으로 조사되어 화학비료의 표준시비량 처리보다 저감처리구에서 오히려 수확이 더 높게 나타났다. 하수종말처리장 방류수의 처리에 따른 수확량을 화학비료 표준시비구를 기준으로 비교한 결과, 하수종말처리장 방류수를 별도의 처리를 하지 않고 방류수의 형태로 관개수로 공급한 시험구에서 수확량은 455kg/10a, 하수종말처리장 방류수 자외선 살균수 관개구에서 472kg/10a의 수확량을 나타내었다. 또한 하수종말처리장 방류수 관개구와 일반 지하수 관개구에서의 수확량을 화학비료 표준시비구를 기준으로 비교한 결과, 하수종말처리장 방류수 관개구에서 수확량이 더 높게 나타나는 경향이였다. 이와 함께 하수종말처리장 방류수를 처리하고 현재의 화학비료의 표준시비량을 50%로 저감시켜 작물을 재배한 경우에도 일반 지하수 관개구보다 수확량이 5-7% 정도 밖에 감소하지 않은 것으로 조사되었다.

윤춘경 등(1999)이 하수종말처리장 방류수 관개구를 대상으로 농업용수 수질기준을 합리적으로 조정하는데 필요한 기초실험을 수행한 결과, 총질소를 기준으로 농도를 조절한 처리수를 관개하고 시비량을 50% 감량한 처리구의 결과는 대조구와 비교하여 생장해석 결과 유사한 경향을 나타내었으며 생육에 이상 징후도 나타나지 않았다고 하였는데 본 조사결과도 이와 유사한 경향이였다. 이같은 결과는 하수종말처리장 방류수 중에 다량으로 함유되어 있는 질소, 인과 같은 영양물질 그리고 다량의 양이온 성분들이 벼 식물체의 생육에 영향을 끼쳤기 때문인 것으로 판단된다. 결론적으로 하수종말처리장 방류수를 논에 공급할 경우 현재의 화학비료의 표준시비량을 최대 50%까지

저감시켜도 벼의 수확량은 최대 10% 정도밖에 감소하지 않을 것으로 추정되었다.

#### IV. 요약 및 결론

벼 재배기간 동안에 관개용수원으로 지하수, 하수종말처리장 방류수 그리고 자외선 살균처리된 하수종말처리장 방류수를 공급하였을 때 토양양의 화학적 특성 변화, 식물체로의 영양물질과 유해물질의 흡수 이행, 작물수량 구성요소 그리고 하수종말처리장 방류수에 다량 함유되어 있는 영양물질의 자연공급효과 등을 감안한 적정 화학비료 시비량을 산정하였다.

1) 하수종말처리장 방류수를 논에 처리시 논 표면수와 논 토양에서 나트륨의 농도가 높게 나타났는데 이는 나트륨 집적으로 인한 토양염류화의 가능성을 보여주는 것으로서 추후 하수종말처리장 방류수의 농경지 이용시 염류 집적 현상을 제어할 수 있는 방안이 우선적으로 마련되어야 할 것으로 판단된다.

2) 하수종말처리장 방류수를 논에 관개용수로 이용할 경우 중금속 오염물질로 인한 식품 안전성의 우려는 없을 것으로 조사되었으며, 대장균군의 저감 및 보건위생적인 차원에서 자외선이나 오존을 이용한 사전처리가 필요할 것으로 판단된다. 하수종말처리장 방류수를 논에 공급할 경우 현재의 화학비료의 표준시비량을 최대 50%까지 저감시켜도 벼의 수확량은 최대 10% 정도밖에 감소하지 않을 것으로 추정되었다.

3) 본 조사결과 대체용수원으로 하수종말처리장 방류수의 벼 재배지역으로의 활용이 가능할 것으로 판단되며, 추후 생활하수 처리기술의 확립, 토양조건 및 작부체계 등에 따른 농업용수 재이용수 처리기준의 검토, 그리고 농민과 공공의 보건위생문제 등 여러 측면에서 재이용 기반기술의 확립이 필요할 것으로 생각된다.

본 연구는 과학기술부에서 시행한 21세기 프론티어연구개발사업 ‘수자원의 지속적 확보기술 개발사업’의 연구비(과제번호: 4-5-2)에 의해 수행되었습니다.

#### 참고문헌

1. 강문성, 박승우, 김상민, 성충현, 2004, 하수처리수의 재이용을 위한 벼 재배시험, 한국농공학회지 46(1) : 75-86
2. 강용태, 김태기, 조용현, 장성부, 장영일, 2003, BMB 시스템의 중수도 적용성 평가에 관한 연구, 수처리기술 11 : 65-76
3. 강용태, 정동찬, 김정현, 류성룡, 1993, 하수 고도처리와 중수도의 활용, 수처리기술 1 : 91-106
4. 과학기술부, 2004, 대체용수 활용기반 기술개발
5. 김기옥, 2001a, 수자원으로서 중수도의 도입, 활용방안 (상), 도시문제 36 : 98-109
6. 김기옥, 2001b, 수자원으로서 중수도의 도입, 활용방안 (하), 도시문제 36 : 107-116
7. 남영우, 2000, 경제성분석을 이용한 접촉폭기방식 중수도의 설치규모분석에 관한 연구, 대한환경공학회지 22 : 1945-1954
8. 농업과학기술원, 1999, 작물별 시비처방 기준
9. 농촌진흥청, 1983, 토양화학분석법
10. 안규홍, 권지향, 1993, 폐수처리 막기술, 막분리를 이용한 중수도 기술, 화학공업과 기술 11 : 466-471
11. 유순호, 박무언, 노희명, 1983, 아연광산 인근 담 토양중 중금속 함량과 현미중 함량과의 관계, 한국환경농학회지 2(1) : 18-23
12. 윤춘경, 권순국, 정일민, 권태영, 1999, 벼 재배시 생활하수 처리수 관개효과, 한국환경농학회지 18(3) : 236-244
13. 윤춘경, 함종화, 우선호, 김민희, 2001, 인공습지 오수처리수를 이용한 벼재배 실험, 한국농공학회지 43(2) : 94-104
14. 환경처, 1993, 수질오염 공정시험법
15. Homer, D. C. and P. F. Pratt, 1961, Methods of analysis for soils, plants and water
16. Hussain, G. and A. J. Al-Saati, 1999, Wastewater quality and its reuse in agriculture in Saudi Arabia, Desalination 123 : 241-251