

# 오수처리수 관개 벼재배를 통한 농업용수 수질기준의 검토

## Review of the Agricultural Water Quality Standards through Rice Culture with Treated Sewage Irrigation

윤 춘 경\* · 권 순 국\*\* · 정 일 민\* · 권 태 영\*  
Yoon, Chun Gyeong · Kwun, Soon Kuk · Chung, Il Min · Kwon, Tae Young

### Abstract

Agricultural water quality standards were reviewed through rice culture using treated sewage irrigation. The sewage from school building of Konkuk University was treated by a constructed wetland system, and the effluent of the system was irrigated for rice culture after nutrient concentration adjusted by dilution. Average concentration of COD, SS, T-N, and T-P in irrigated water was 22.3mg/ℓ, 6.5mg/ℓ, 25.8mg/ℓ, and 2.2mg/ℓ, respectively. Treatments include irrigation of adjusted effluent with conventional fertilization (TWCF), adjusted effluent with half of conventional fertilization (TWHF), adjusted effluent with no fertilization (TWNF), and effluent of the wetland system as it was with no fertilization (SWNF). These treatment plots were compared with control plot irrigated by tap water with conventional fertilization (CONTROL). Other environments for rice culture were identical for all the plots. Among them, TWCF showed the best growth rate and the highest yield, and constituents in the harvested rice showed not much difference among them. Which implies that irrigation with relatively high nutrient concentration compared to the current water quality standards may cause no adverse effect on rice culture and could be even beneficial. Although T-N for this study was 25 times greater than the current standards, rice culture was not adversely affected by irrigation water quality and even better results were observed than the CONTROL. It could be mistakenly understood that clean irrigation water produces better agricultural product, however, it is not necessarily true. Irrigation water with moderate nutrient concentration can enhance the plant growth, and better result might be expected. Therefore, peer review and modification if necessary are needed to the current agricultural water quality standards, especially for the nutrient components.<sup>1)</sup>

\* 건국대학교 농업생명과학대학  
\*\* 서울대학교 농업생명과학대학

키워드 : 수질기준, 벼재배, 오수처리수, 농업용수관개  
수질, 영양분 농도, 시비, 인공습지

## I. 서 론

우리 나라는 세계적으로 물 부족 국가군에 속하는데, 수자원의 용도를 살펴보면 생활용수 62억<sup>3</sup>m<sup>3</sup> (21%), 공업용수 26억<sup>3</sup>m<sup>3</sup> (8%), 농업용수 149억<sup>3</sup>m<sup>3</sup> (50%), 하천유지용수 64억<sup>3</sup>m<sup>3</sup> (21%)으로서 전체 가용 수자원에서 농업용수가 차지하는 비중이 가장 크다.<sup>1)</sup> 농업용수 중 대부분은 관개용수이므로 관개용수를 효율적으로 이용 관리하는 것은 곧 수자원을 효율적으로 이용하는 것이라고 할 수 있다.

농업용수란 농업생산활동에 필요한 물을 말하며 가축의 사육 및 축사정소에 필요한 물에서부터 작물재배에 필요한 관개용수까지 모든 범위의 농업활동에 사용되는 물을 말한다. 우리 나라의 농업용수 수질기준은 별도로 규정되어 있지 않고 하천, 호소, 그리고 지하수의 수질기준에서 등급이 낮은 수질을 농업용수 수질기준으로 지정하고 있다.<sup>1b)</sup> 이러한 수질기준은 농업용수를 위한 기준이 기보다는 하천, 호소, 그리고 지하수 등의 수질관리 목표수질로서 지침성격을 띠고 있고 실제 농업용수 수질기준으로 사용하기에 어려움이 있는 것이 사실이다.

외국에서도 각자의 특성에 맞는 농업용수 수질기준을 설정하여 운영하고 있는데 FAO 등 구미의 수질기준은 주로 발관개를 위한 농업용수 중심으로 항목들이 설정되어 있다. 우리 나라에서는 농업용수 대부분이 논외의 관개용수로 사용되고 있어서 구미의 농업용수기준과는 직접 비교하기 어렵다. 일본과 중국의 경우가 우리와 비슷한 농업환경을 가지고 있는데 우리의 기준은 그들의 기준과 비교할 때 상대적으로 더 엄격한 상태이다. 예를 들면, 작물의 생육에 큰 영향을 주는 질소의 경우에, 일본의 경우는 1970년 농림성에서 발표한 기준은 T-N농도가 1mg/ℓ로 상당히 낮았으나, 1991년에 일본 千葉県의 권고치를 보면 NH<sub>3</sub>-N만으로는 3-5mg/ℓ 이고 T-N은 5-10mg/ℓ로 상향조정되었다.<sup>2)</sup> 1991년의 기준은 허용한계농도라는 표현을 썼지만 일반적으로 환경기준이 강화되는데

경향에 비추어 볼 때 관심을 가지고 살펴보아야 할 부분이다. 중국의 농업용수 수질기준은 작물의 종류에 따라 각각 다른 기준을 가지고 있으며 작물의 생육 특성에 따라 수질기준을 달리 제한하고 있어서, 일본 및 우리 나라 기준과 비교해 볼 때 항목에 따라서 큰 차이를 보이고 있다. 전반적으로 중국의 수질기준은 벼재배를 위한 질소기준만 보아도 T-N이 아닌 Kjeldahl 질소로서 12mg/ℓ로 규정하는 등 우리 나라의 수질기준보다 훨씬 완화된 상태이다.<sup>3)</sup>

작물재배에 사용되는 농업용수의 경우 영양물질의 농도를 지나치게 엄격하도록 규제하고 있지 않는지 작물의 생육에 장애를 초래하지 않는 범위에서 신중하게 검토해 볼 필요가 있다. 필요 이상으로 엄격한 농업용수 수질기준은 수질관리에 큰 부담으로 작용하며, 사용자들에게는 불필요한 혼란을 야기하고, 비전문인들에게는 환경정책에 대한 신뢰감을 잃게 할 수 있다.

본 연구에서는 현행 농업용수 수질기준을 초과한 농도의 오수처리수를 관개용수로 사용하는 벼재배실험을 통하여 농업용수 수질이 작물의 성장 및 수확, 그리고 종실의 성분에 미치는 영향 등을 조사하여 합리적인 농업용수 수질기준의 제정에 기초자료를 제공하고자 한다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 농업용수의 수질기준

우리 나라에서 농업용수에 관한 수질기준은 Table 1에서와 같이 세 군데에서 찾아볼 수 있다. 하천과 호소의 수질기준은 환경정책기본법 시행령에, 그리고 지하수 수질기준은 지하수법에 규정되어 있다. 일본과 중국의 농업용수 수질기준도 Table 1에 함께 비교되어 있다.

수질오염에 의한 농업 피해를 요약하면 질소과잉으로 인한 피해, 토양의 산성화 촉진, 토양의 물리성 악화, 토양의 환원화 촉진, 중금속 축적에 의한 생육저해 및 농산물 경제가치 손실 등이 있을 수 있다. 질소가 과잉 공급되었을 경우에 작물

Table 1. Water quality standards for agricultural use

Items (mg/ℓ unless specified)	Korea			Japan-I****	Japan-II****	China****		
	River*	Lake & reservoir**	Ground water***	Standards	Allowable limit	Paddy crop	Upland crop	Vegetables
pH	6.0~8.5	6.0~8.5	6.0~8.5	6.0~7.5	6.0~7.5	5.5~8.5	5.5~8.5	5.5~8.5
Temp(°C)	-	-	-	-	-	< 35	< 35	< 35
EC(mS/cm)	-	-	-	< 0.3	< 1	-	-	-
Salt	-	-	-	-	-	1,000(non saline, alkaline area) 2,000(saline, alkaline arca)		
BOD	< 8	-	-	-	-	< 80	< 150	< 80
COD	-	< 8	< 8	< 6	< 8	< 200	< 300	< 200
SS	< 100	< 15	-	< 100	< 100	< 150	< 200	< 100
DO	> 2	> 2	-	> 5	> 5	-	-	-
T-N	-	< 1.0	-	< 1	< 5~10	-	-	-
Kjeldahl-N	-	-	-	-	-	< 12	< 30	< 30
NO <sub>3</sub> -N	-	-	< 20	-	-	-	-	-
NH <sub>4</sub> -N	-	-	-	-	< 3~5	-	-	-
T-P	-	< 0.100	-	-	-	-	-	-
Cl	-	-	< 250	-	< 500~700	< 250	< 250	< 250
SO <sub>4</sub>	-	-	-	-	< 20~30	< 1	< 1	< 1
Cd	< 0.01	< 0.01	< 0.01	-	-	< 0.005	< 0.005	< 0.005
As	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	-	< 0.05	< 0.05	< 0.05
Zn	-	-	-	< 0.5	-	< 2.0	< 2.0	< 2.0
Cu	-	-	-	< 0.02	-	< 1.0	< 1.0	< 1.0
Se	-	-	-	-	-	< 0.02	< 0.02	< 0.02
F	-	-	-	-	-	<2.0 for high fluorine area <3.0 for others		
B	-	-	-	-	-	<1.0 for boron sensitive crops <2.0 for boron tolerant crops <3.0 for highly tolerant crops		
CN	ND	ND	ND	-	-	< 0.5	< 0.5	< 0.5
Hg	ND	ND	ND	-	-	< 0.001	< 0.001	< 0.001
Org-P	ND	ND	ND	-	-	-	-	-
Phenol	-	-	< 0.005	-	-	< 2.5	< 2.5	< 2.5
Volatile phenol	-	-	-	-	-	< 1.0	< 1.0	< 1.0
Pb	< 0.1	< 0.1	< 0.1	-	-	< 0.1	< 0.1	< 0.1
Cr <sup>6+</sup>	< 0.05	< 0.05	< 0.05	-	-	< 0.1	< 0.1	< 0.1
Anionic surfactant	< 0.5	< 0.5	< 0.5	-	< 5	-	-	-
PCB	ND	ND	-	-	-	-	-	-
Trichloro ethylene	-	-	< 0.03	-	-	-	-	-
Tetrachloro ethylene	-	-	< 0.01	-	-	-	-	-
Trichloro acetaldehyde	-	-	-	-	-	< 1.0	< 0.5	< 0.5
Propenol aldehyde	-	-	-	-	-	< 0.5	< 0.5	< 0.5
T.Coliform(mpn/ℓ)	-	-	-	-	-	<10,000	<10,000	<10,000
Roundworm eggs(cggs/ℓ)	-	-	-	-	-	< 2	< 2	< 2

\* Class IV, River Water Quality Standard, Basic Environmental Policy Act<sup>8)</sup>

\*\* Class IV, Lake Water Quality Standard, Basic Environmental Policy Act<sup>8)</sup>

\*\*\* Water Quality Standard for Groundwater<sup>1)</sup>

\*\*\*\* Rural Development Cooperation<sup>3)</sup>

에 미치는 영향은 경엽이 농녹색으로 변하고 웃자라며, 또한 성숙이 지연되고 도복을 일으켜 수확량이 감소되어, 질소는 특히 관개용수에서 관심을 가지고 관리하는 항목중의 하나이다.<sup>3)</sup>

일본의 수질환경기준은 수질보전행정의 목표로서 공공수역의 수질을 달성 유지하고자 설정하였고, 인간의 건강보호에 관한 환경기준과 생활환경에 관한 환경기준으로 구분하고 있다. 우리나라의 농업용수 수질기준도 이와 유사한 형태를 유지하고 있으며, 이러한 배경의 수질기준은 농업용수를 위한 기준이기보다는 수질보전 행정상의 목표이어서 실질적인 농업용수 수질기준으로 적용하기에는 어려움이 있다. 특히, 오염물질의 농도에 대한 예민도도는 작물의 종류, 개체, 생육시기, 재배법, 환경조건, 오염물질 상호간의 길항작용에 의하여 달라질 수 있으므로 농업용수 수질기준에 수질보전행정을 위한 기준을 확립적으로 적용함은 무리가 있다.

Japan-I은 일본의 농업(논벼)용수 수질기준으로서 각종 조사연구결과를 기초로 1970년에 농림성 공해연구회에서 작성하였다. 이 기준은 비에 대한 관개용수로서 유지되기를 기대하는 값이며 항목별로 피해·감수가 발생되지 않는 허용한계를 기준으로 설정한 것이다. 이후에 일본의 관개용수 수질은 권고치(guideline)의 개념으로 지역에 따라 수정 및 보완을 거쳐 적용하고 있는데, 한 예가 1991년 지바현(千葉県)에서 설정한 논벼용 수질의 허용한계농도인 Japan-II이다. Japan-II의 권고치는 Japan-I에 나타난 수질기준보다 현실성 있게 상당히 완화되었다. 예를 들면, EC, COD, T-N 등의 수질기준이 0.3 → 1, 6 → 8, 1 → 5~10로 각각 완화되었다. 한편 중국의 농업용수 수질기준은 1992년 1월 중국환경보호국에서 관개수질기준으로 제정하였으며, 기준은 물용도에 따라 다른데 일반적으로 한국과 일본에 비하여 상대적으로 덜 엄격한 편이다. 특히 유기물과 질소의 경우에는 현격한 차이를 나타낸다.<sup>3)</sup> 규제항목이 동일하지 않은 이유는 각 나라마다의 상황에 따라 수질오염을 유발하는 원인과 관심항목이 상이하기 때문이다.

현행 농업용수 수질기준은 하천, 호소, 지하수 수질기준 가운데 이용목적별 적용대상에 포함시켜 규정하고 있으나, 이러한 형태는 수질관리와 이수 목적을 포괄적으로 규정한 것으로서 운용에 혼란을 야기시키고 있다. 환경기준은 국민 건강을 보호하고 쾌적한 환경을 조성하기 위하여 공공수역의 수질관리를 목표로 하는 것이고, 이수기준은 사용목적에 합당한 기준이 되어야 하나, 농업용수로 사용하는데 지장이 없는 물도 환경기준에 미달하면 사용할 수 없는 물로 인식될 수 있다. 따라서, 물 부족 국가인 우리나라에서 한정된 수자원을 농업용수에 이용하면서 수질기준문제로 불필요한 혼란이 일어나지 않기 위해서는 우리나라 환경 및 농촌실정에 적합한 현실적인 농업용수의 수질기준 제정이 시급한 실정이다.

## 2. 관개용수 및 논토양의 특성

본 실험에 사용된 관개용수는 1996년부터 건국대학교 농생대에 설치하여 가동중인 '인공습지에 의한 농촌오수 처리시설'의 처리수를 사용하였으며, 오수처리시설에 관한 자세한 설명은 다른 문헌에 발표된 바 있다.<sup>6)</sup> 관개한 날짜에 채취한 처리수의 COD, SS, T-N, T-P를 분석한 결과가 Fig. 1에 요약되어 있다. 6월까지의 오수처리수의 T-N 농도가 100mg/ℓ를 넘는 높은 농도를 나타냈다. 또한 T-N중 대부분은 NH<sub>3</sub>-N이었으며, NO<sub>2</sub>-N은 거의 검출되지 않았고, NO<sub>3</sub>-N도 약 1mg/ℓ 정도의 낮은 수준이었다. T-P의 약 절반 정도는 PO<sub>4</sub>-P 상태이었다.

작물재배실험에서는 오수처리수를 농도에 관계없이 그대로 사용한 처리구와 유출수의 T-N 농도를 측정된 후 수돗물을 사용하여 희석하여 T-N 농도가 25mg/ℓ가 되도록 조절된 관개용수를 공급한 처리구를 사용하였다. 희석하여 관개한 관개용수의 수질은 Fig. 2와 같으며 인공습지의 처리율이 높아져 처리수의 T-N농도가 약 30mg/ℓ로 낮아진 7월 24일 부터는 희석하지 않고 오수처리수를 그대로 관개용수로 사용하였다. 결과적으로 영양물질을 조절치 않은 처리수를 관개한 포트에

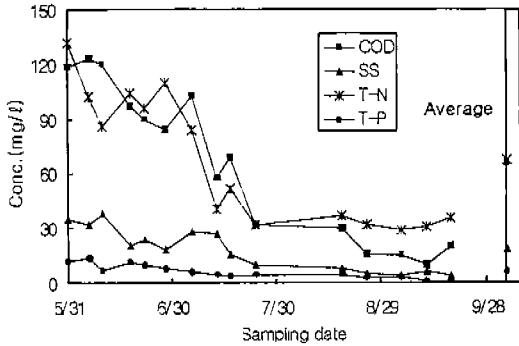


Fig. 1. Concentrations in treated sewage for irrigation without dilution

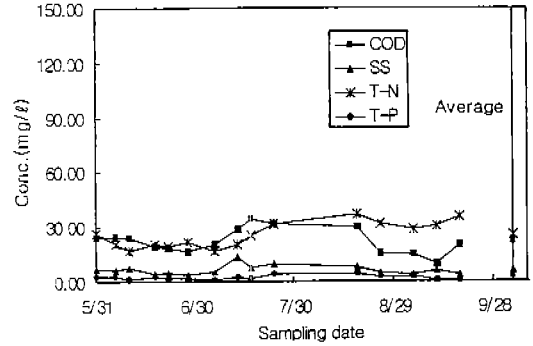


Fig. 2. Concentrations in adjusted irrigation water from treated sewage

는 약 20g의 질소와 1.8g의 인이 관개용수를 통하여 공급되었으며, 영양물질을 조절한 처리수는 약 7.5g의 질소와 0.6g의 인이 관개용수를 통하여

공급되었고, 이러한 관개용수의 수 질은 현재의 농업용수 수질기준으로 비교하면 영양물질이 과다한 상태이었다.

Table 2. Soil characteristics of the plots before and after experiment

Items	Original soil	TWNF	TWCF	TWHF	SWNF	Control
pH (1:5)	5.47	6.02	6.31	6.34	6.14	6.32
EC(μS/cm)	54.8	20.7	17.7	18.7	18.9	20.1
OM(%)	0.789	0.890	0.991	0.840	0.974	1.008
T-N(%)	0.231	0.266	0.252	0.231	0.252	0.301
T-P(mg/kg)	472.9	417.0	502.5	483.4	409.3	493.0
AV.P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/kg)	541.93	261.11	280.05	268.10	303.03	283.17
CEC(meq/100g)	8.7	9.1	11.2	10.6	12.3	11.8
Zn(mg/kg)	2.025	2.468	3.055	2.53	2.315	2.588
Pb(mg/kg)	1.275	2.068	1.82	1.786	2.125	1.925
Cd(mg/kg)	0.005	0.018	0.02	0.025	0.023	0.043
Fe(mg/kg)	93.865	105.115	102.865	105.865	132.615	118.115
B(mg/kg)	1.1425	0.585	0.718	0.693	0.483	0.478
Mn(mg/kg)	14.225	57.5	50.325	61.75	70	68
Cr(mg/kg)	0.083	0.103	0.115	0.105	0.12	0.103
Mg(mg/kg)	85	83.73	91.23	93.48	95.73	99.98
Cu(mg/kg)	1.205	1.365	1.578	1.403	1.59	1.65
Al(mg/kg)	294.25	334.75	338	328.5	349.49	335.23
Na(mg/kg)	25.825	18.9	17.6	20.25	23.35	19.675
K(mg/kg)	88.75	66.5	70.5	65.75	71.5	77.75
As(mg/kg)	0.13	0.15	0.133	0.12	0.138	0.145

Note : Original soil-before experiment, others-after experiment

관개방법은 ① 대조구로서 수돗물을 관개용수로 사용하고 관행재배법에 의하여 시비한 경우 (CONTROL), ② 희석하여 농도를 조절한 오수처리수를 관개하고 비료를 사용하지 않은 처리구 (TWNF), ③ 희석하여 농도를 조절한 오수처리수를 관개하고 관행재배법에 의하여 시비한 처리구 (TWCF), ④ 희석하여 농도를 조절한 오수처리수를 관개하고 관행재배법의 절반에 해당하는 비료를 시비한 처리구(TWHF), ⑤ 오수처리수를 조절하지 않고 그대로 사용하고 비료를 사용하지 않은 처리구 (SWNF)의 5가지 경우로 실험하였다.

실험에 사용한 토양의 특성은 Table 2에 요약되어 있는데 원토양의 성분은 실험이 시작되기 전에 상태이고, 처리구 및 대조구의 성분은 실험이 종료된 후에 시료를 채취하여 분석한 결과이다. 실험기간동안 pH와 OM은 약간 증가하였고 EC는 감소하였으며, T-N에는 큰 변화가 없었으나, 인의 경우 available-P가 현저히 감소하였다. 그밖에 Mn이 증가한 것을 제외하고는 다른 성분의 경우에 큰 차이가 없었다.

### 3. 작물재배 실험시설

실험포트의 단면도는 Fig. 3, 그리고 실험 시설 전경은 Fig. 4에 각각 나타나 있다. 높이 1.0m, 나비 1.3m의 콘크리트 개거에 길이 110cm×폭 90cm×높이 70cm의 타원형 합성수지 용기를 설치하여 인공재배포트로 사용하였다. 밑부분에는 배수를 위해 밸브를 설치하였으며, 포트 바



Fig. 4. General view of experimental area for rice cultivation

닥에는 약 10cm의 자갈을 채우고 그 위에 부직포를 덮은 후에 논토양을 약 50cm 정도 채웠다. 흙 위에는 약 10cm의 공간이 있어서 관개용수를 충분히 공급할 수 있었으며, 포트주변은 흙으로 채워서 대기의 온도에 의한 영향을 최소화하여 실제 자연상태와 유사하도록 환경을 조성하였다.

### 4. 분석방법

수질측정항목은 농업용수 수질기준 중에서 일반적인 오수에서는 유독성물질의 함유가능성이 낮음을 고려하여, 분석시간이 비교적 빠르고 관개용수에 영향을 많이 주는 유기물과 영양물질 위주로 분석하였다. 온도, pH, COD, SS, T-P, 그리고 T-N을 측정하였으며, T-N은 Org-N, NH<sub>3</sub>-N, NO<sub>2</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N을 각각 분석한 후 합하여 구하였고, 모든 분석은 Standard Method<sup>10)</sup>에 따라 실시하였다.

토양성분의 분석은 실험전의 토양과 각각 수확 후의 처리구와 대조구 토양의 일반적인 특성을 파악할 수 있는 항목으로서 pH, EC, OM, CEC, T-N, T-P, Av-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 등을 분석하였으며, 토양층의 무기물질인 K, Na, Mg, Mn, Fe, B, Al과 토양오염기준에 포함된 Cd, Pb, Cr, Zn, Cu와 As 등을 분석하였다.<sup>11,12)</sup>

### 5. 작물재배실험

작물재배실험은 1998년 5월 25일에 건국대학교

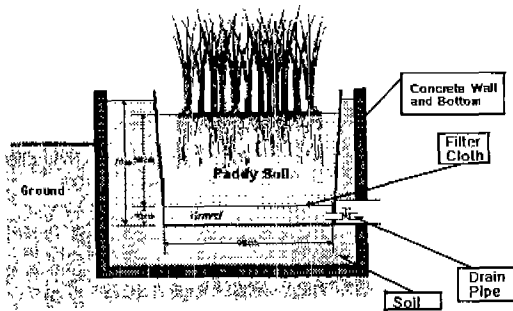


Fig. 3. Section of experimental plot for rice cultivation

농업생명과학대학 인공습지에 의한 오수처리시설 옆에 약 40m<sup>2</sup> 규모의 인공포장에서 앞에서 언급한 인공포트에 공시품종 일품 벼를 1주 1본씩 포트 당 22개체씩, 대조구 1개와 처리구 4개에 3반복 처리하여 총 15개 포트에 이양 하였다. 대조구의 경우 시비량은 N : P : K = 11kg : 7kg : 8kg (10a 기준)을 재배면적을 고려하여 시비하였으며, 처리구는 각각 처리형태에 따라 대조구를 기준으로 비율별로 시비하였다. 10월 21일 수확까지의 방제 및 기타 관리는 모두 중부지방 관행재배법을 따랐다.

관개용수는 일반적으로 10a당 500kl~2,000kl의 관개용수가 필요한데 포트의 표면적이 약 1m<sup>2</sup> 이므로 500 l ~ 2,000 l 가 된다.<sup>5)</sup> 따라서, 관개용수는 1회에 20 l 씩 15회에 걸쳐 300 l 를 관개하였고 강우의 양을 고려 할 때 500 l 이상으로 적정범위가 공급되었다.

이상의 조건으로 재배한 벼를 8월 3일부터는 7 일 간격으로 3개체씩 3반복으로 채취하여 초장과 분얼수를 조사하고, 기관별로 분리하여 Hayashi Denkoh사의 AAM-8 자동 엽면적 측정기로 엽면적을 측정한 후, 잎과 줄기로 나누어 종이 봉투에 담아 60°C의 건조기에서 1주일 건조시킨 후 잎과 줄기의 건물중을 측정하였다. 이 결과를 가지고 성장해석식으로 해석하였다.

10월 21일에 각각의 개체를 수확하여 수장 및 간장을 측정하고, 개체 당 이삭수와 이삭 당 영화수, 그리고 비중이 약 1.06의 소금물을 이용하여 등숙률을 구하고 가라 앉은 낱알을 60°C에서 3일간 건조 한 후 무게를 달아 수확량을 산정 하였다. 이 중에서 천개를 임의로 세어 무게를 확인하여 천립중을 구하였다. 이 결과를 단위면적과 개체수 등을 고려하여 수량구성요소 및 수확량을 계산하였다.

또한 수확물의 유해성을 평가하기 위해 현미의 중금속 농도를 분석하였는데 Teflon재질로 된 용기에 건조된 현미의 분쇄된 시료 일정량을 취한 후 혼합산 용액을 넣고 hot plate에서 용액이 될 때까지 완전 분해한 후 프랑스의 Jobin Yvon사의

JY-138 Utrace ICP-AES로 분석 하였다.<sup>9)</sup>

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 작물성장조사

작물생장의 특성을 분석하기 위하여 복합적인 양적 성장 해석에 널리 이용되는 개체군성장률(CGR, crop growth rate), 상대성장률(RGR; relative growth rate), 순동화률(NAR; net assimilation rate)을 사용하여 비교하였다. 개체군성장률은 단위기간 내에 증가한 단위면적 내의 건물중을 나타내며, 다른 표현으로는 기간내에 얻어진 저축의 이자에 상당하는데 식 (1)과 같이 계산한다.<sup>2)</sup>

$$CGR = \frac{w_2 - w_1}{t_2 - t_1} \dots\dots\dots(1)$$

여기에서  $w_1, w_2$ 는 단위기간 중  $t_1, t_2$ 시의 단위면적 내에 있는 전체의 건물중, 그리고  $t_1, t_2$ 는 단위기간의 시종점을 가리킨다.

위와 같은 관계식에 의한 대조구와 처리구의 생육조사기간 중 일주일 간격으로 조사하여 해석한 결과가 Fig. 5에 나타나 있는데, TWCF와 TWHF 그리고 대조구는 비슷한 곡선을 나타냈으나, 다른 처리구인 SWNF 및 TWNF는 다른 경향을 보였다. 다시말해 하루에 단위면적에서 증가한 건물생

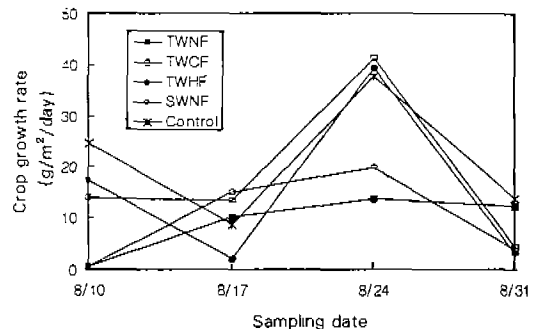


Fig. 5. Comparison of crop growth rate with treatment

산량은 TWCF, TWHF 및 CONTROL은 8/17~8/24일 사이에 가장 높아서 이 기간에 급격한 성장을 이룬 후에 성장률이 둔화되었음을 알 수 있었다. 반면에, 비료를 공급하지 않은 TWNF와 SWNF는 전체적으로 낮으며 완만한 증가의 성장을 나타냈다. 이는 작물이 활발히 성장해야 할 시기에 시비를 않고 관개용수에 함유된 영양물질만 공급받음으로서 필요한 영양성분이 충분하지 않았기 때문으로 생각된다.

상대성장률은 어느 시점의 건물중당 건물생산능률을 나타내는데, 다른 표현으로는 저축의 이자율에 해당하며 식 (2)와 같이 계산한다.<sup>7)</sup> 조사 기간중의 상대성장률은 Fig. 6과 같이 대체적으로 CGR과 유사한 형태를 나타냈다.

$$RGR = \frac{1}{w} \times \frac{dw}{dt} \dots\dots\dots (2)$$

식물은 광합성에 의해 건물을 생산하기 때문에 단위 면적당 건물중 증가속도를 순동화율이라고 하며 식 (3)과 같이 계산한다.<sup>7)</sup>

$$NAR = \frac{2.30(w_2 - w_1)(\log A_2 - \log A_1)}{(t_2 - t_1)(A_2 - A_1)} \dots (3)$$

여기에서  $A_1, A_2$ 는 시점  $t_1, t_2$ 에서의 엽면적을 가리킨다. Fig. 7에는 처리방법에 따른 순동화율이 나타나 있는데, CGR이나 RGR과 비슷한 형태

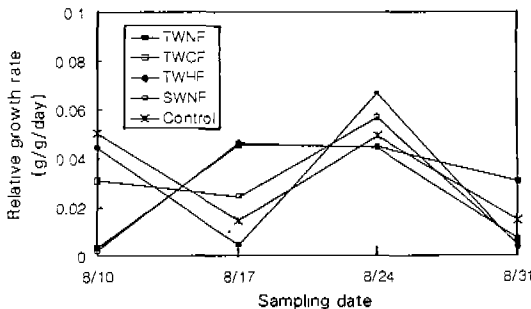


Fig. 6. Comparison of relative growth rate with treatment

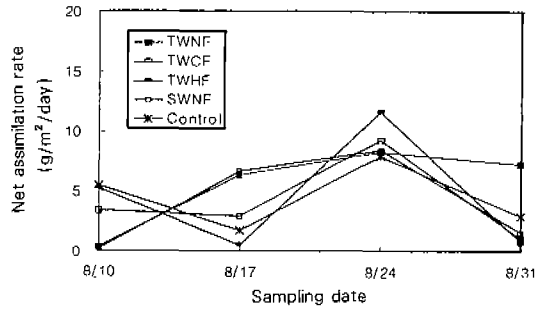


Fig. 7. Comparison of net assimilation rate with treatment

를 보여주고 있다.

이상과 같이 CGR, RGR, NAR 모두 유사한 형태로써 관개용수의 영양물질 함유량에 관계없이 비료를 공급한 경우는 공급하지 않은 처리구와 달리 8월 24일경에 높은 수치를 나타내어 이 기간중에 생장이 급격히 증가하였음을 보여주었다. 반면에 비료를 공급하지 않은 처리구에서는 작물의 완만한 성장을 보여주었다.

## 2. 작물의 수량구성요소 및 수확량 조사

수확은 1998년 10월 21일에 실시하였으며 대조구와 처리구의 수량구성요소와 수확량을 조사 비교한 결과가 Table 3에 요약되어 있다.

수량구성요소에는 단위면적당 이삭수, 이삭당 영화수, 등숙률, 그리고 천립중 등이 있으며 이 요소들을 이용하여 단위면적당 수확량을 계산할 수 있다.<sup>5)</sup> 위의 모든 수량구성요소를 종합하여 작물의 최종 산물인 수확량을 계산할 수 있으며, 일반적으로 수확량은 10a당 수확량(kg)으로 환산하여 나타내는데 그 결과가 Fig. 8에 요약되어 있다. 수확량은 TWCF가 대조구의 525.23kg/10a 보다 많은 573.38kg/10a를 나타냈으며, TWHF가 364.47kg/10a, TWNF가 258.38kg/10a, SWNF가 239.18 kg/10a순으로 나타났다. 지금까지의 결과를 종합하여 보면 TWCF가 대조구를 포함한 모든 경우보다 수확량이 가장 높았다.



Table 3. Comparison of yield component and grain yield with treatments

Plot	C.L. <sup>(1)</sup> (cm)	P.L. <sup>(2)</sup> (cm)	Yield component				Yields (kg/10a)
			P.U. <sup>(3)</sup> (m <sup>2</sup> )	M.S. <sup>(4)</sup>	R.G. <sup>(5)</sup> (%)	T.W. <sup>(6)</sup> (g)	
TWNF	103.8	23.3	39	118.0	82.28	24.4	258.38
TWCF	109.4	23.5	125	118.2	79.17	23.1	573.38
TWHF	104.2	22.1	82	112.5	80.61	23.1	364.47
SWNF	91.9	21.7	53	101.9	86.23	25.3	239.18
Control	109.4	22.5	115	116.6	79.13	23.5	525.23

- (1) C.L.: main culm length, (2) P.L.: panicle length,  
 (3) P.U.: panicle number per unit area, (4) M.S.: mean of spikelet number per panicle,  
 (5) R.G.: percent of ripened grain, (6) T.W.: weight of 1,000 grain.

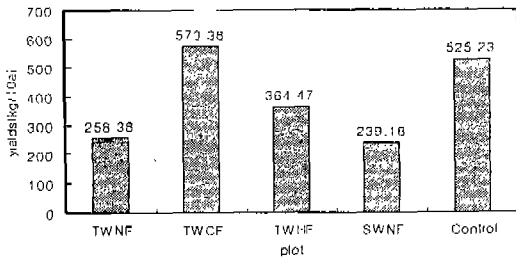


Fig. 8. Comparison of yields per unit area with treatment

### 3. 유해성분조사

오수처리수를 관개용수로 사용했으므로 작물의 종실에 관한 유해성분에 관하여 관심이 있으므로 중금속 및 비소에 관하여 분석하였다. 이 항목들은 관개용수 및 토양의 오염을 조사하기 위해 흔히 검사하는 항목들이다. 본실험에서 대조구 및 처리구의 수확물에 관한 중금속 및 비소 함량은 Table 4에 나타나 있다.

Table 5는 농업과학기술원과 국립환경연구원에서 조사한 비오염지에서 생산된 현미중 중금속 자

Table 4. Concentration of toxic heavy metal and arsenic in harvested rice

Element	TWNF	TWCF	TWHF	SWNF	Control
Zn	24.738	37.481	30.579	40.513	36.965
Pb	0.372	0.638	0.433	0.53	0.4
Cd	0.012	0.062	0.031	0.053	0.06
Cr	0.263	0.297	0.68	0.424	0.52
Cu	3.957	6.328	3.905	4.599	5.178
As	0.033	0.025	0.031	0.04	0.032

Note: All metal concentrations are total contents with mixture acid digested.

연함유량과 일본의 자료를 함께 요약한 것인데,<sup>2)</sup> 본 연구의 실험결과인 Table 4의 내용과 비교하여 큰 차이가 없음을 알 수 있다.

본 연구에서 현미중 중금속성분의 분석에는 혼합산에 의한 습식분해방법<sup>9,12)</sup>을 사용하였는데 이 방법에 의한 결과는 상대적으로 침출법 등 다른 방법에 비하여 큰 값을 나타낸다. 대조구와 처리구 모두 우려할 수준의 중금속은 검출되지 않았다. 아연의 함량이 비오염지에서의 자연함유량보다 다

Table 5. Heavy metal concentrations of rice cultivated in non-polluted area<sup>2)</sup>

Experiment authority	Experimental period	Sample No.	Cd	Cu	Pb	Zn	As
National Institute of Agricultural Science and Technology	1980-81	407	0.05	3.31	0.44	20.6	-
National Institute of Environmental Research	1987-88	50	0.06	2.31	0.43	16.6	0.08
Japan	1974	51	0.05	3.23	0.13	27.1	0.14

소 높으나 대조구와 비교하여 큰 차이를 나타내지 않았으며, 자연함유량과의 차이는 분석방법의 차이에서 발생할 수 있는 수준이라고 생각된다.

#### 4. 종합고찰

본 연구결과를 종합적으로 고찰해 보면 현행 농업용수 수질기준을 초과한 용수를 관개하여 재배한 벼재배의 경우에 생장, 수확, 그리고 종실의 성분의 모든 부분에서 뚜렷한 부작용이 나타나지 않았다. 깨끗한 물을 관개하여 재배한 대조구보다 농도가 조절된 오수처리수를 관개하였을 때, 시비를 대조구와 동일하게 하였음에도 불구하고, 부작용이 발견되지 않았으며 수확량이 대조구보다 오히려 약 10% 정도 증가하였다. 이러한 결과는 적절히 처리된 오수처리수는 일반적으로 관개용수에 일정한 수준까지는 희석·혼합되어 사용되어도 벼재배에 지장이 없을 수 있다는 것을 의미한다.

수질기준면에서 살펴보면, 벼재배에 매우 민감한 총질소가 현행기준보다 25배 이상 높았는데도 부작용이 없었으며 오히려 긍정적인 효과가 나타났다는 점에 유의해야 한다. 수질환경을 관리하는데 사용되는 용어로서 준거치(criteria), 권고치(guideline), 그리고 기준치(standard) 등이 있다. 준거치는 자연생태계나 인간 건강에 절대적으로 유해하지 않은 수질을 보장할 수 있는 수준으로 이상적인 수질상태를 나타내며, 권고치는 이상적인 수질은 아니어도 위해성이 적거나 무시할 수 있는 수준의 수질을 나타낸다. 권고치는 현재의 과학적 기술과 경제적 여건을 감안하여 설정되며 법적 구속력이 없다.<sup>3)</sup> 반면에 기준치는 준거치를 법적으로 구속력을 갖도록 전환시킨 상태이며, 일반적으로 준거치와 같거나 약간 완화된 상태이다. 따라서, 일단 수질기준으로 설정되면 법적인 구속력을 가지게 되고 관리자나 사용자는 이 기준을 지키도록 노력해야 한다.

이와 같이 법적 구속력이 있는 수질기준이 비현실적으로 엄격하게 설정되어 있다면, 그 불합리한 기준을 지키기 위하여 많은 노력과 자원을 소모시켜야 하고 또한 사용자들 입장에서는 농업용수로

사용하여도 문제가 없는 물을 사용하면서도 오염된 물로 농작물을 재배하고 있다는 불필요한 혼란을 유발시킬 수 있다. 본 연구 결과에 의하면 현행 농업용수 수질기준이 너무 엄격한 것으로 판단되며, 적어도 총질소의 경우는 그렇다고 생각된다. 이러한 수질기준에 의하면 농업용수로 사용되는 저수지나 호소의 수질이 현행 수질기준을 초과한 경우에 처리해야 한다는 의견도 생길 수 있다.

농업용수는 수자원 용도면에서 가장 많은 부분을 차지하고 있다. 이러한 농업용수를 별도의 수질기준이 없이 하천, 호소, 지하수의 포괄적인 수질복표에 포함시켜 관리한다는 것은 불합리하다. 수질기준은 사용목적에 맞게 제정되어야 하는데, 모든 사용처에 적합한 수많은 기준을 제정하기는 어렵겠으나 적어도 최대 사용처인 농업용수의 경우는 별도의 수질기준을 제정하여 관리해야 한다고 생각한다. 농업용수 수질기준은 우리 나라 농촌유역을 고려하고 농업형태에 적합하도록 제정되어야 하며, 이러한 기준을 제정하기 위해서는 이를 뒷받침할 수 있는 충분한 연구와 관심이 요구된다.

## VI. 요약 및 결론

본 연구에서는 작물의 생리적인 특성을 고려하여 지하수수질기준, 호소수질기준, 하천수수질기준 등으로 규정하고 있는 현행 농업용수 수질기준을 합리적으로 조정하는데 필요한 기초자료를 제공하고자 벼재배실험을 수행하였다. 영양물질 함유량이 현행 수질기준보다 높은 농도 범위를 가지는 인공습지의 오수처리수를 사용하면서 질소농도를 기준으로 처리수를 희석하여 관개용수로 사용하였으며, 비료사용량을 조절한 처리구의 실험결과를 관행재배법으로 재배한 대조구와 비교하였는데 결과는 다음과 같다.

1. 과도하게 영양물질이 함유된 처리수를 그대로 관개하면서 비료를 공급하지 않은 처리구(SWNF)에서는 벼의 생장이 저조하였다. 이는 다량의 암모니아성 질소나 부유물질 등이 뿌리의 호흡을 방해하고 양분 흡수를 저해하는 역할을 한

것으로 생각된다. 수확량이 대조구나 다른 처리구에 비하여 50%에도 못 미치는 매우 부진한 결과를 나타냈다.

2. 처리수의 농도를 총질소가 약 25mg/l가 되도록 조절한 처리수를 관개하고, 관행재배법에 의하여 시비한 처리구(TWCF)는 대조구와 거의 동일하거나 우수한 결과를 보였다. 이러한 결과는 오수처리수가 적절히 회석되어 관개용수로 사용되어도 벼의 생육에 큰 장애를 일으키지 않을 수 있음을 의미한다.

3. 총질소를 기준으로 농도를 조절한 처리수를 관개하고 시비량을 50% 감량한 처리구(TWHF)의 결과는 대조구와 비교하여 생장해석 결과에서는 유사한 경향을 나타내었으며 생육에 이상징후도 보이지 않았으나 수확량에서는 약 70%로 저조하였다. 이것은 비료성분이 대조구나 TWCF보다는 부족하게 공급되었으므로 저조한 수확을 나타냈으나 이 처리구 결과를 양분효율 측면에서는 살펴보면 유리하게 해석할 수도 있다.

4. 총질소를 기준으로 농도를 조절한 처리수를 관개하고 전혀 시비를 하지 않은 처리구는 수확량이 대조구의 절반에도 못미치게 저조하였다. 이는 작물 생육에는 양분의 흡수시기에 맞는 적절한 시비 및 비료 형태가 중요하며 관개용수의 영양물질만으로는 높은 수확이 어렵다는 것을 보여준다.

5. 수확량을 요약 비교하면 TWCF가 573.38, 대조구가 525.23, TWHF가 364.47, TWNF가 258.38, 그리고 SWNF가 239.18 kg/10a순으로 각각 나타났다.

6. 수확한 현미중의 중금속 및 비소 함량을 자연함유량과 비교 해 본 결과는 큰 차이가 없었으며, 본 실험과 같이 생활오수의 처리수를 회석하여 관개용수로 사용하였을 경우에 중금속 오염은 우려하지 않아도 될 것으로 판단된다.

7. 현행 환경정책기본법의 농업용수에 해당하는 수질기준보다 과도한 영양물질을 함유한 관개용수를 사용하고 관행재배법에 의하여 시비하였을 경

우에 오히려 작물생장과 수확면에서 모두 우수한 결과를 나타내었음은 현행 농업용수 수질기준의 적합성에 의문을 가지게 한다. 수질기준의 조정에는 많은 실험과 검증이 요구된다. 따라서, 이 분야에 대한 보다 종합적인 연구를 통하여 현행 수질기준을 재검토하고, 비현실적으로 엄격한 부분이 있다면 과학적인 근거에 의한 합리적인 개정이 필요할 것으로 판단된다.

## 참 고 문 헌

1. 건설교통부, 1996, 수자원 장기종합계획.
2. 김복영, 1997, 환경오염의 실태와 대책, 농업과학기술원, pp. 27~53.
3. 농어촌진흥공사, 1997, 농업용수 수질기준 제정 등 제도개선에 관한 연구. 97-05-25, pp. 204.
4. 농어촌진흥공사, 1995, 지하수 수질기준, pp. 93.
5. 농촌진흥청, 1997, 농업과학기술서(2), 작물재배원리의 이론과 실험, pp. 732~747.
6. 윤준경, 권순국, 권태영, 1998, 인공습지의 농촌 지역 오수정화시설에 적용가능성 연구, 한국농공학회지, 40(3), pp. 83~93.
7. 조동삼외 14인, 1995, 벼의 생리와 생태, 향문사
8. 홍문관, 1996, 환경정책기본법, pp. 260.
9. Association of Official Analytical Chemists, 1995, Official Method of Analysis, 16th Edition., AOAC International, Arlington, VA.
10. American Public Health Association, 1995, Standard Methods for the Water and Wastewater Examination, 19th ed., Washington, D. C.
11. American Society of Agronomy, and Soil Science Society of America, 1992, Methods of Soil Analysis, Part 2: Chemical and microbial Properties, 2nd ed., Madison, Wisconsin.
12. U. S. EPA, 1992, Method for the Determination of Metals in Environmental Sample, Washington, D. C.