

## 관개기 시험구 논에서의 오염물질의 농도특성

### Pollutant Concentrations at Experimental Paddy Plots during Irrigation Season

조재원\* · 김진수\*\* · 오광영\*\*\* · 오승영\*\*\*\*

Cho, Jae Won · Kim, Jin Soo · Oh, Kwang Young · Oh, Seung Young

#### Abstract

The pollutant concentrations at experimental paddy plots with three (excessive, standard, reduced) different fertilization rates were investigated during 2001-2002 irrigation seasons. Mean concentrations of pollutants in ponded water were not significantly different among three experimental plots, but the T-N concentrations in percolated water significantly depended on fertilization rates. The T-N, T-P and COD<sub>Cr</sub> concentrations in ponded water during early irrigation season (late May to mid-June) were much higher than those during later irrigation season likely due to fertilization and low uptake by young rice crops. The T-N concentrations decreased but the concentrations of T-P and COD<sub>Cr</sub> increased three days after tillering fertilization. The removal rates of T-N by paddy plots were 0.13-0.16 g/m<sup>2</sup> · d for an excessive fertilization plot, 0.08-0.25 g/m<sup>2</sup> · d for a standard fertilization plot, and 0.03-0.34 g/m<sup>2</sup> · d for a reduced fertilization plot three days after tillering fertilization. On the other hand, T-P and COD<sub>Cr</sub> were released three days after tillering fertilization.

*Keywords : Paddy field, Nitrogen, Phosphorous, Fertilization, Removal rate*

#### I. 서 론

최근 급진적인 산업화와 더불어 도시나 공업뿐만 아니라, 농업도 수질오염의 발생원이 되고 있다. 도

시하수나 공장폐수와 같이 오염물질의 출구가 명확한 점원오염은 수질정화기술의 진보에 의해 상당히 처리할 수 있게 되었으나, 농지배수와 같이 유출경로가 불특정적인 비점원오염은 유출특성이 아직 잘 파악되어 있지 않고 이에 대한 제어방법이 확립되어 있지 않은 실정이다.

일본에서 Tabuchi et al. (1979)는 논에서의 질소, 인의 농도 및 그 유출입을 조사하였다. 국내에서 Kim et al. (2000)과 Yoon et al. (2002)은 필지논의 영양물질 농도 변화에 대하여 조사하였

\* 동문과학상사  
\*\* 충북대학교 농업생명환경대학  
\*\*\* 충북대학교 농업과학기술연구소  
\*\*\*\* 국립환경과학원 수질총량관리센터  
\*\* Corresponding author. Tel.: +82-43-261-2573  
Fax: +82-43-271-5922  
E-mail address: jskim@cbnu.ac.kr

다. 광역논을 대상으로 Kim et al. (2001)은 관개기 오염물질의 농도 특성을 보고하였고, Oh et al. (2002)는 관개기의 오염부하 원단위를 산정하였고, Hwang et al. (2002)은 저장우연도 지하수 관개를 하는 필지논에서 수도재배기간 동안의 물질수지를 연구하였다. 논지역에서의 오염물질의 유출 특성을 알기 위해서는 다양한 논에서의 수질농도에 대한 데이터가 축적되어야 하는 데, 현재 우리나라에는 장기적으로 측정된 예가 미흡한 실정이다. 이에 본 연구에서는 시비량을 달리하는 시험구 논을 대상으로 2년간의 관개기 동안 오염물질(T-N, T-P 및 COD<sub>cr</sub>)의 농도특성을 파악하고 분얼비 직후의 오염부하량의 변화를 검토하고자 한다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 시험구의 개요 및 측정시설

본 연구는 2001년부터 2002년까지 2개년의 관개기 동안 충북대학교 부속농장에 조성된 3개의 시험구(5 m × 8 m) 논에서 수행되었다(Fig. 1). 용수는 부속농장 근처에 있는 소류지에서 공급되었는데, 소류지에는 부속농장을 포함한 유역으로부터의

유출수가 유입되고 있다. 각 시험구에는 유량계, 원통형 감수심계 및 침투량계를 1조씩 설치하였고, 심층침투수를 채수하기 위하여 Ø80 mm PVC 파이프를 지하 1.5 m에 1개씩 설치하였다.

### 2. 영농활동 및 시비현황

시험구의 공시품종은 일품벼로 재식밀도 15×30 cm로 기계이앙하였으며, 1주(株)당 3~4본씩 식재하였다. 관개는 3~4일 간격으로 실시하였고, 배수는 강우시를 제외하고는 가능한 한 억제하였다. 이앙은 5월 하순에, 추수는 10월 초순에 실시하였고, 기비, 분얼비 및 수비는 Table 1과 같이 시용(施用)되었다. 시비량은 농업과학기술원 고시 표준시비량인 N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O=11:4.5:5.7 kg으로 하였고 질소는 기비, 분얼비, 수비를 각각 50, 30, 20%의 비율로 시비하였으며, 인은 전량 기비로 하였다.

각 시험구의 처리로서 표준시비구, 과다시비구 및 감비구(減肥區)로 하였는데, 표준시비구에는 추천시비량(11 kg N/10a)의 100%를, 과다시비구에는 추천시비량의 150%(16.5 kg N/10a), 감비구에는 추천시비량의 70%(7.7 kg N/10a)를 시용(施用)하였다(Table 2).

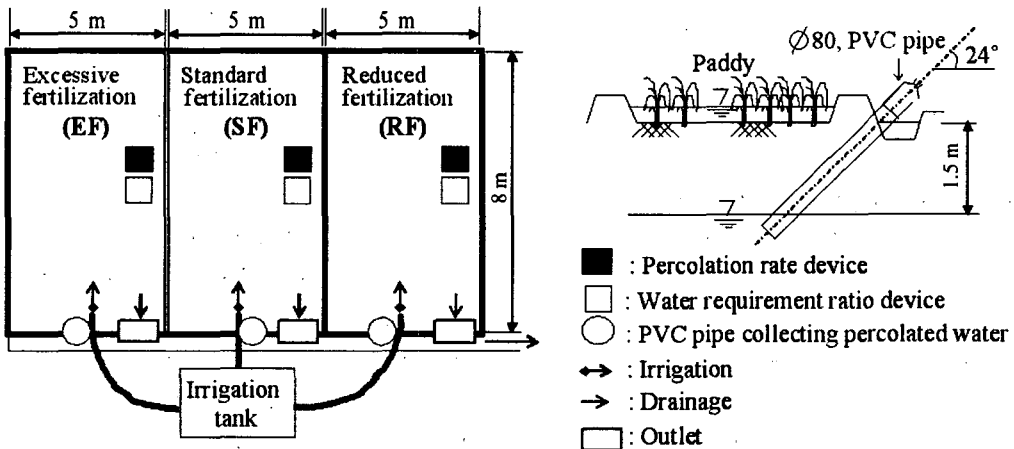


Fig. 1 Schematic of the experimental plots

Table 1 Fertilization and agricultural practices

Year	Basal dressing	Rice transplanting	Tillering fertilization	Panicle fertilization	Harvest
2001	May 17	May 25	June 11	July 19	Oct. 4
2002	May 22	May 22	June 14	July 20	Oct. 1

Table 2 Fertilizer application rate at experimental plots

Treatment	Nitrogen (kg/10a)			Phosphorus (kg/10a)	
	Basal dressing	Tillering fertilization	Panicle fertilization	Total	Basal dressing
EF(150%)	8.25	4.95	3.30	16.5	2.93
SF(100%)	5.50	3.30	2.20	11.0	1.95
RF(70%)	3.85	2.31	1.54	7.7	1.37

EF: Excessive fertilization, SF: Standard fertilization, RF: Reduced fertilization

### 3. 측정 및 분석

강우량은 시험구에서 약 1 km 거리에 있는 청주 기상대의 자료를 사용하였고, 증발산량과 심층침투량의 합은 원통형 감수심계를, 심층침투량은 원통형 침투량계를 이용하여 1~2일 간격으로 측정하였으며, 이 두 값의 차이를 증발산량으로 하였다.

용수, 논표면수 및 심층침투수의 채수는 농도변화가 심한 기비 후 1개월간(5월 하순~6월 25일)은 5일 간격, 그 외의 기간에는 10일 간격으로 실시하였고, 강우는 수 개의 강우사상에 대하여 충북대학교 농과대학에서 채수하였다. 수질항목은 총질소(T-N), 총인(T-P), 화학적산소요구량(COD<sub>Cr</sub>)의 세 가지로 T-N과 T-P는 환경부 공정시험법(Ministry of Environment, 1997)에 의한 흡광광도법으로 분석하였고, COD<sub>Cr</sub>는 Standard Methods(APHA, 1997)에 의하여 분석하였다.

각 시비구에서의 농도자료에 대한 통계분석은 분산분석(ANOVA)을 이용하여  $p < 0.05$ 에서 실시하였고, 유의적인 차이가 인정된 경우에는 Duncan의 다중분석(multiple range test) 통하여 비교하였다(SAS Institute, 1997). 단 2002년 표준시비구에서의 심층침투수 COD<sub>Cr</sub>농도는 고 농도의 이상

(異常)치 자료가 취득되어 본 분석에서 제외되었다.

## III. 결과 및 고찰

### 1. 토양의 물리적 및 화학적 특성

토양의 물리적 성질은 입도분석(KS 2302)에 의하여 모래 79.4%, 실트 14.1%, 점토 6.5%로 나타나, 미국 농무성의 삼각좌표 분류법에 의해 사질양토(loamy sand)로 판명되었다. 또한, 토양의 이화학적 특성과 토양성질은 Table 3과 같다.

### 2. 강우량 및 용수량

씨레질용수가 시험구에 공급된 시점부터 벼 수확 전 낙수시까지의 강우량은 2001년도에는 541 mm, 2002년도에는 785 mm로 나타났는데, 특히 2001년도는 30년간 같은 기간동안의 평균 강수량(844 mm)보다 약 300 mm 이상 적은 갈수년이 었다. 측정기간 동안의 월별 강수량은 Fig. 2와 같다. 용수는 평균 3~5일 간격으로 1회 약 40 mm를 관개하였고 총용수량은 2001년에는 648 mm(4.9 mm/d), 2002년에는 408 mm(3.4 mm/d)를

Table 3 Physical and chemical properties of the soil at experimental plots before 2002 irrigation season

Treatment	Chemical properties						Particle size fraction (%)
	OM (%)	pH	T-N (mg/kg)	T-P (mg/kg)	CEC (cmol <sup>+</sup> /kg)	EC (cmol <sup>+</sup> /kg)	
EF(150%)	0.68	5.1	345	442	43.3	140	Sand : 79.4 Silt : 14.1 Clay : 6.5
SF(100%)	0.72	5.1	442	290	39.6	110	
RF(70%)	0.82	5.3	501	349	46.7	120	

EF: Excessive fertilization, SF: Standard fertilization, RF: Reduced fertilization

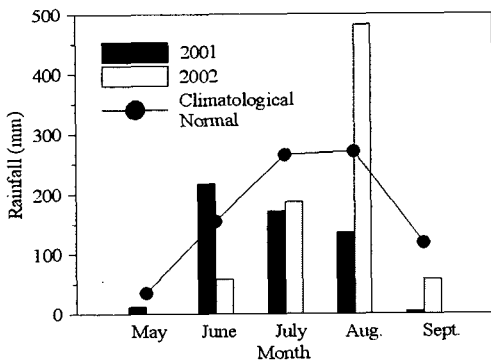


Fig. 2 Temporal variation of monthly rainfall during 2001~2002 irrigation periods

나타냈다.

2001년과 2002년의 평균 증발산량은 각각 4.7, 4.8 mm/d로 나타났고, 평균 침침투량은 각각 2.6, 2.4 mm/d로 나타났다.

### 3. 강우와 용수의 오염물질 평균농도

2001년과 2002년도 조사기간 동안의 강우와 용수의 오염물질 평균값은 Table 4와 같으며, 강우

와 용수 경우 모두 유량가중평균을 사용하였다. 강우의 오염물질 평균농도는 2개년이 비슷한 값을 보였고, 용수의 T-N 평균농도는 갈수년인 2001년도(2.9 mg/L)가 2002년도(2.2 mg/L)보다 약간 높게 나타났고, 두 해 모두 농업용수 수질기준(1 mg/L)을 만족하지 못하였다. 그러나 T-P 평균농도는 0.08~0.09 mg/L로 수질기준(0.1 mg/L)를 하회하는 것으로 나타났다.

## 4. 논표면수의 오염물질 농도

### 가. 평균농도

2개년 동안 시험구 논에서의 T-N, T-P 및 COD<sub>Cr</sub>의 평균농도는 산술평균하였으며 Table 5와 같다. 과다시비구, 표준시비구, 감비구에서의 T-N의 평균농도는 2001년에는 4.2, 3.4, 3.0 mg/L, 2002년에는 5.2, 3.8, 3.8 mg/L로 시비량이 높을수록 높게 나타났으나, 분산분석 결과 시비구별 유의적인 차이는 없는 것으로 나타났다.

과다시비구, 표준시비구 및 감비구에서의 T-P 평균농도는 2001년에 각각 0.20, 0.18, 0.17 mg/L,

Table 4 Mean concentrations of pollutants in rainfall and irrigation water

Water type	2001				2002			
	No. of samples	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)	COD <sub>Cr</sub> (mg/L)	No. of samples	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)	COD <sub>Cr</sub> (mg/L)
Rainfall	11	0.7	0.01	3.0	7	0.7	0.02	5.4
Irrigation	15	2.9	0.09	22.1	10	2.2	0.08	21.3

**Table 5 Mean concentrations of pollutants in ponded water at the experimental plots during 2001 ~2002 irrigation seasons**

Constituent	Year	Treatment	No. of samples	Mean±SE (mg/L)
T-N	2001	EF <sup>a</sup>	14	4.2±1.1a <sup>b</sup>
		SF	14	3.4±1.2a
		RF	14	3.0±1.0a
	2002	EF	12	5.2±1.6a
		SF	12	3.8±1.3a
		RF	12	3.8±1.3a
T-P	2001	EF	14	0.20±0.04a
		SF	13	0.18±0.03a
		RF	13	0.17±0.03a
	2002	EF	12	0.22±0.05a
		SF	12	0.20±0.02a
		RF	12	0.15±0.08a
COD <sub>Cr</sub>	2001	EF	14	35.3±7.5a
		SF	14	35.1±7.7a
		RF	14	33.8±7.1a
	2002	EF	12	45.2±9.8a
		SF	12	38.3±7.2a
		RF	12	32.8±7.5a

<sup>a</sup>EF: Excessive fertilization,

SF: Standard fertilization, RF: Reduced fertilization

<sup>b</sup>Within each column, means followed by the same letter are not significantly different ( $\alpha=0.05$ )

2002년에는 각각 0.22, 0.20, 0.15 mg/L으로 나타났고, COD<sub>Cr</sub> 평균농도는 2001년에 각각 35.3, 35.1, 33.8 mg/L, 2002년에 45.2, 38.3, 32.8 mg/L로 시비량이 큰 시비구에서 농도도 큰 값을 보였으나 통계적으로 시비구별 유의적인 차이는 보이지 않았다.

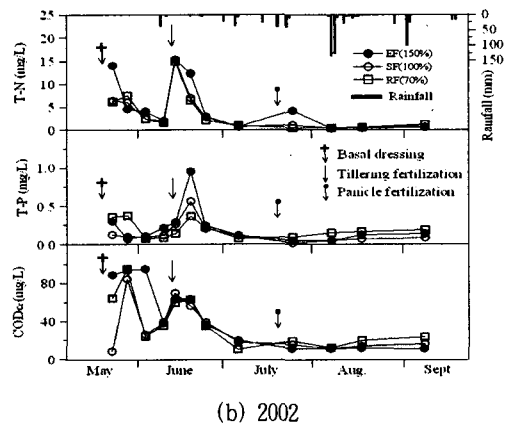
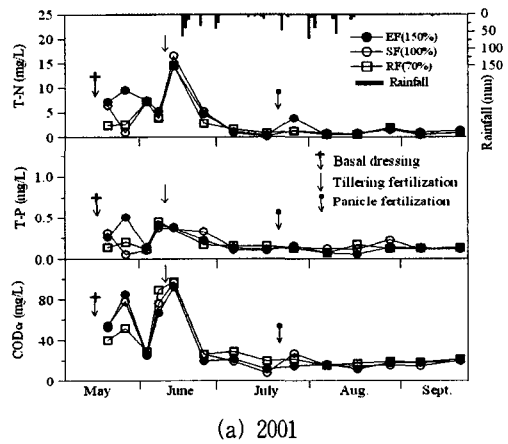
**나. 반순(半旬) 및 순(旬)별 농도변화**

논 표면수의 오염물질 농도는 모든 항목에서 5월 하순에서 6월 중순까지 비교적 높고 그 변화가 크게 나타났으나, 6월 하순부터 하강하여 낮고 거의

일정하게 나타났다(Fig. 3).

T-N농도는 각 시비구별로 큰 변화의 차이를 보이지 않았고 2001년과 2002년 모두 분얼비 직후에 가장 높은 농도(14.5~16.6 mg/L)를 보였으며, 수비 후에는 과다시비구에서는 약간 상승(3.8~4.2 mg/L)하였으나, 표준시비구와 감비구에서는 거의 변화가 없었다. T-N농도는 5월 하순에서 6월 중순 사이에 높게 나타난 것은 이 시기에 기비와 분얼비로서 많은 질소가 시용(施用)되었고, 벼의 생육 상태가 저조하여 작물흡수량이 적었기 때문으로 생각된다.

T-P농도는 기비와 분얼비 후에는 농도 증가를



**Fig. 3 Temporal variation of pollutant concentrations in ponded water**

보였으나 그 후로는 감소하였는데, 특히 2002년도 분얼비 직후에는 인이 시용(施用)되지 않았음에도 불구하고 농도가 0.38~0.95 mg/L까지 증가하였다. 이와 유사하게, 충북 청원군 소로지구의 논에서 분얼비 직후 표면수의 T-P농도가 0.45~0.60 mg/L까지 상승하는 것으로 보고되었다(Kim et al., 2001).

COD<sub>Cr</sub>농도도 6월 중순까지는 높게 나타났으나, 그 후로는 30 mg/L 이하의 값을 나타냈다. 최대값은 2001년에는 분얼비 후에 92.7~97.6 mg/L, 2002년에는 기비 후에 83.9~95.0 mg/L를 나타냈다. 충북 청원군 오동지구의 논에서 분얼비 후에 COD<sub>Cr</sub>농도는 71.0 mg/L를 나타냈다(Kim et al., 2001). COD<sub>Cr</sub>농도가 5, 6월에 높은 것은 시비(施肥)로 인한 영양염류가 풍부하고, 벼의 작은 초장(草長)으로 많은 일사량을 받고 수온이 높게 된 논 표면수에서 조류(algae)가 많이 발생했기 때문으로 생각된다. COD농도가 5, 6월에 높게 되는 현상은 순환관개를 하는 일본 논지구 지표배수에서도 보고되었다(Feng et al., 2004).

## 5. 심층침투수의 오염물질 농도

### 가. 평균농도

2개년 관개기 동안의 시험구 논에서의 수질항목별 산술평균농도는 Table 6과 같다.

T-N 평균농도는 2001년에는 과다시비구(3.5 mg/L) > 표준시비구(2.4 mg/L) > 감비구(1.0 mg/L) 순으로 유의적인 차이를 보였고, 2002년에는 과다시비구(2.6 mg/L)와 표준시비구(2.4 mg/L)가 감비구(1.4 mg/L)와 유의적인 차를 보여 시비량에 의한 영향이 있는 것으로 나타났다.

T-P 평균농도는 2001년에는 과다시비구(0.025 mg/L)와 감비구(0.016 mg/L)간에 유의적인 차이를 보였으나, 2002년에는 모든 시비구에서 0.012~0.015 mg/L로 시비구간에 유의적인 차이는 없는 것으로 나타났다. 이는 충북 청원군 소로지구의

Table 6 Mean concentration of pollutants in percolated water at the experimental plots during 2001~2002 irrigation seasons

Constituent	Year	Treatment	No. of samples	Mean±SE (mg/L)
T-N	2001	EF <sup>a</sup>	14	3.5±0.3a <sup>b</sup>
		SF	14	2.4±0.3b
		RF	14	1.0±0.3c
	2002	EF	15	2.6±0.2a
		SF	15	2.4±0.2a
		RF	15	1.4±0.3b
T-P	2001	EF	15	0.025±0.004a
		SF	15	0.020±0.004ab
		RF	15	0.016±0.002b
	2002	EF	14	0.015±0.002a
		SF	14	0.014±0.002a
		RF	14	0.012±0.003a
COD <sub>Cr</sub>	2001	EF	14	12.1±0.9a
		SF	14	11.2±1.5a
		RF	14	4.8±0.5b
	2002	EF	16	9.4±0.7a
		SF	N/A <sup>c</sup>	N/A
		RF	14	9.7±0.8a

<sup>a</sup>EF: Excessive fertilization, SF: Standard fertilization, RF: Reduced fertilization

<sup>b</sup>Within each column, means followed by the same letter are not significantly different ( $\alpha=0.05$ )

<sup>c</sup>N/A: Not available

양토(loam)의 논에서의 평균값 0.02 mg/L와 비슷하나, 오동지구의 사양토(loamy sand)의 논에서의 평균값 (0.05 mg/L)보다 낮은 값에 해당된다(Kim et al., 2001). 또한, 전북 진안군의 실트질흙(silt loam)의 논에서는 T-P 농도가 0.010~0.075 mg/L로 비교적 큰 변동을 나타냈다(Yoon et al. 2002).

COD<sub>Cr</sub> 평균농도는 2001년에는 과다시비구와 표준시비구가 감비구와 유의적인 차이를 보였으나, 2002년에는 과다시비구와 감비구가 유의적인 차이를 보이지 않았다.

### 나. 반순(半旬) 및 순(旬)별 농도 변화

오염물질의 농도는 논표면수에서와는 달리 두해

모두 초기에 높았다가 낮아지는 경향을 보이지 않았다(Fig. 4).

T-N 농도는 2년 동안 0.1~4.9 mg/L의 범위에서 변동을 보여 2001년에 과다시비구에서 분얼비와 수비 후에는 상승하였으나, 2002년에는 과다시비구와 표준시비구에서 분얼비 후에 약간 상승하였다. 그러나, 심층침투수에서 T-N 농도의 시기별 변화와 시비와의 관계는 아직 명확하지 않다.

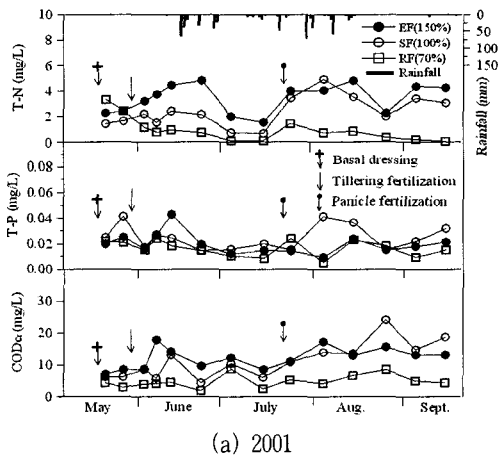
T-P 농도는 2년 동안 0.01~0.04 mg/L의 작은 범위에서 변동하였고 표면수 농도에 비하여 약 1/8~1/13정도로 낮게 나타났다.

COD<sub>Cr</sub> 농도는 2001년에는 과다시비구와 표준시

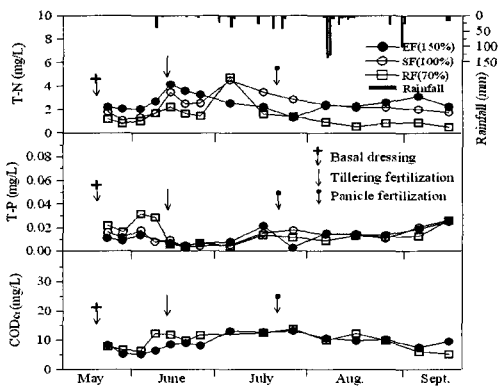
비구에서 수비 후에 약간 상승하는 경향이 있었고, 감비구에서는 시비와 관계없이 거의 일정하였다. 2002년에는 과다시비구와 감비구에서 15 mg/L 이하로 거의 같은 농도를 보여 시비와는 거의 관계가 없는 것으로 나타났다.

### 6. 분얼비 직후의 농도 및 오염부하량의 변화

질소만이 사용되는 분얼비 직후 각 시비구에서의 논표면수의 T-P와 COD<sub>Cr</sub> 농도는 상승하는 경향을 나타냈는데, 이 시기의 농도변화를 보기 위하여 2002년 분얼비(6월 14일) 후 4일 동안 매일 측정



(a) 2001



(b) 2002

Fig. 4 Temporal variation of pollutant concentrations in percolated water

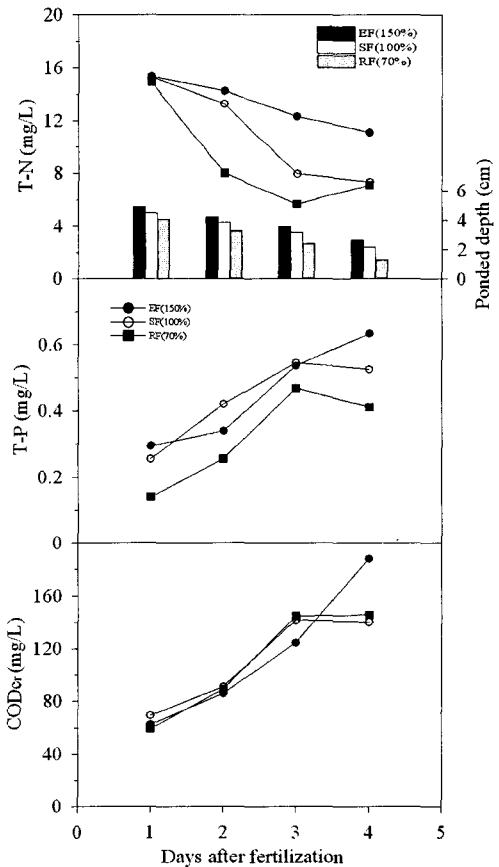


Fig. 5 Temporal variations of pollutant concentrations in ponded water after tillering fertilization, 2002

하였다. 이 때의 담수심과 오염물질 농도의 변화를 보면 Fig. 5와 같다.

담수심은 시비 1일 후의 4.1~4.9 cm로부터 4일 후에는 1.3~2.7 cm로 하강하였다. 평균 감수심은 과다시비구와 표준시비구에서 6.8 mm/d, 감비구에서는 10.0 mm/d로 나타났고, 침투량은 각 시비구에서 2.8, 4.1, 7.1 mm/d로 나타났다.

T-N농도는 과다시비구에서 거의 일정하게 감소하였으나 표준시비구에서는 2일 후에 급격히 하강하였고, 감비구에서 1일 후에 급격히 하강하였으나 3일 후에는 약간 상승하였다. 시비 1일 후에는 시험구 모두 약 15.0 mg/L로 나타났으나 4일 후에는 7.1~11.1 mg/L로 1일 후 농도의 47~74%를 나타냈다.

T-P농도는 T-N 농도와는 달리, 과다시비구에서는 상승하였고, 표준시비구와 감비구는 상승하다가 시비 3일 후에는 약간 하강하였다. 농도는 1일 후에는 0.14~0.30 mg/L, 4일 후에는 0.41~0.64 mg/L를 보여 1일 후 농도의 205~292%를 나타냈다.

COD<sub>Cr</sub>농도는 T-P농도와 같이 시간이 경과할수

록 상승하는 경향을 나타냈는데, 시비 1일 후에는 59.2~69.7 mg/L, 4일 후에는 140.5~188.7 mg/L로 4일 후의 농도가 1일 후 농도의 202~319%를 나타냈다.

무강우시이며 지표배출이 없는 경우, (i-1)일과 i일간의 오염부하의 변화량은 식(1)과 같다.

$$\Delta L_{i-1,i} = LF_i - LF_{i-1} + LP_{i-1,i} \dots\dots\dots (1)$$

여기서  $\Delta L_{i-1,i}$ : (i-1)일과 i일간의 오염부하의 변화량

$LF_i$ : i일째의 저류부하량

$LF_{i-1}$ : (i-1)일째의 저류부하량

$LP_{i-1,i}$ : (i-1)일과 i일간의 심층침투 배출부하량

여기서, 오염물질 변화량의 값이 음(-)인 경우에는 오염물질이 제거되는 것이고, 양(+ )인 경우는 용출되는 것을 의미한다. 식 (1)을 이용하여 각 시험구에서의 일별 오염부하량의 변화량을 계산하면 Table 7과 같다.

질소제거량은 과다시비구에서 0.13~0.16 g/m<sup>2</sup>·

Table 7 Change in pollutants flux at experimental plots after tillering fertilization

Constituent	Day (i)	EF(g/m <sup>2</sup> ·d)				SF(g/m <sup>2</sup> ·d)				RF(g/m <sup>2</sup> ·d)			
		LF <sub>i</sub>	LF <sub>i-1</sub>	LP <sub>i-1,i</sub>	ΔL <sub>i-1,i</sub>	LF <sub>i</sub>	LF <sub>i-1</sub>	LP <sub>i-1,i</sub>	ΔL <sub>i-1,i</sub>	LF <sub>i</sub>	LF <sub>i-1</sub>	LP <sub>i-1,i</sub>	ΔL <sub>i-1,i</sub>
T-N	2	0.60	0.75	0.01	-0.14	0.51	0.69	0.01	-0.17	0.26	0.61	0.01	-0.34
	3	0.44	0.60	0.01	-0.16	0.25	0.51	0.01	-0.25	0.14	0.26	0.01	-0.12
	4	0.30	0.44	0.01	-0.13	0.16	0.25	0.02	-0.08	0.09	0.14	0.01	-0.03
T-P	2	0.014	0.014	<0.001	<0.001	0.016	0.012	<0.001	0.005	0.008	0.006	<0.001	0.003
	3	0.019	0.014	<0.001	0.005	0.018	0.016	<0.001	0.001	0.011	0.008	<0.001	0.003
	4	0.017	0.019	<0.001	-0.002	0.012	0.018	<0.001	-0.006	0.005	0.011	<0.001	-0.006
COD <sub>Cr</sub>	2	3.65	3.07	0.03	0.61	3.52	3.14	0.06	0.44	2.91	2.43	0.07	0.55
	3	4.42	3.65	0.02	0.79	4.54	3.52	0.04	1.06	3.47	2.91	0.04	0.61
	4	5.09	4.42	0.03	0.70	3.09	4.54	0.09	-1.36	1.89	3.47	0.07	-1.51

LF<sub>i-1</sub>: Poned load of pollutants at (i-1)th day  
 LF<sub>i</sub>: Poned load of pollutants at ith day  
 LP<sub>i-1,i</sub>: Percolated load of pollutants during (i-1)th to ith days  
 ΔL<sub>i-1,i</sub>: Change in pollutants load during (i-1)th to ith days

EF: Excessive fertilization  
 SF: Standard fertilization  
 RF: Reduced fertilization



d, 표준시비구에서  $0.08 \sim 0.25 \text{ g/m}^2 \cdot \text{d}$ , 감비구에서  $0.03 \sim 0.34 \text{ g/m}^2 \cdot \text{d}$ 로 나타났다. 일본의 필지논에서 9월의 질산성 질소( $\text{NO}_3\text{-N}$ )의 제거량은 평균  $0.09 \text{ g/m}^2 \cdot \text{d}$  정도로 보고되었다(Tabuchi et al., 1987).

인은 모든 시비구에서 3일 후까지 최대  $0.005 \text{ g/m}^2 \cdot \text{d}$  정도 용출하였으나, 3개구 모두 4일 후에 제거되는 경향을 나타냈다. 인은 토양과 담수의 경계면이 혐기성 상태인 경우가 호기성 상태인 경우보다 약 1,000배 정도 빠르게 용출되는 것으로 알려져 있으나(Horne and Goldman, 1994), 분얼비 직후에 인이 용출하는 메커니즘을 파악하기 위해서는 추후 추가실험이 필요할 것으로 생각된다.

$\text{COD}_{\text{Cr}}$ 는 인과 같이 시비 3일 후까지 용출하는 경향을 보였으며, 그 동안의 용출량은 과다시비구에서  $0.61 \sim 0.79 \text{ g/m}^2 \cdot \text{d}$ , 표준시비구에서  $0.4 \sim 1.06 \text{ g/m}^2 \cdot \text{d}$ , 감비구에서  $0.55 \sim 0.61 \text{ g/m}^2 \cdot \text{d}$ 로 나타났다.

#### IV. 결 론

본 연구는 2001~2002년의 관개기간동안 시비량이 다른 세 개의 시험구(과다시비구, 표준시비구, 감비구)를 대상으로 오염물질(T-N, T-P 및  $\text{COD}_{\text{Cr}}$ )의 농도 변화 및 분얼비 후의 오염부하의 변화량을 파악하였는데, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 시비구별 논표면수의 오염물질 평균농도는 시비량에 따른 농도의 차를 보였으나 통계적으로 유의적인 차이는 없는 것으로 나타났다.

2. 논표면수의 시기별 T-N, T-P 및  $\text{COD}_{\text{Cr}}$  농도는 관개초기(5월 중순~6월 중순)가 다른 시기보다 훨씬 높게 나타났으나, 그 후로는 크게 감소하였는데, 특히  $\text{COD}_{\text{Cr}}$ 농도가 5, 6월에 높은 것은 시비에 의한 풍부한 영양염류, 벼의 작은 초장에 의해 많은 일사량을 받은 논표면수의 높은 온도 등으로 조류가 많이 발생했기 때문으로 생각된다.

3. 심층침투수 농도는 T-N의 경우에는 두 해 모두 시비량에 따른 유의적인 차이가 인정되었으나 T-P와  $\text{COD}_{\text{Cr}}$ 의 경우에는 2001년에만 과다시비구와 감비구 간에 유의적인 차이를 보였다. T-P농도는  $0.01 \sim 0.04 \text{ mg/L}$ 의 작은 범위에서 변동하였으며 논표면수 농도의 약 8~10% 정도로 낮게 나타났다.

4. 질소성분 만이 사용되는 분얼비 직후 T-N 농도는 시비 1일 후부터 지속적으로 감소한 반면, T-P와  $\text{COD}_{\text{Cr}}$  농도는 시비 1일 후부터 수일 동안 상승한 후 감소하였다. 특히, T-P농도는 인성분이 시비되지 않았음에도 불구하고 최대  $0.47 \sim 0.64 \text{ mg/L}$ 까지 상승하였다.

5. 분얼비 직후 T-N은  $0.03 \sim 0.34 \text{ g/m}^2 \cdot \text{d}$ 만큼 제거되는 것으로 나타났으나, T-P와  $\text{COD}_{\text{Cr}}$ 는 모든 시비구에서 시비 1일 후부터 3일 후까지 용출하는 것으로 나타났다. 분얼비 직후 T-P와  $\text{COD}_{\text{Cr}}$ 가 용출하는 메커니즘은 추후 추가실험을 통하여 구명할 필요가 있다고 생각된다.

#### 감사의 글

이 논문은 2005년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비지원에 의하여 연구되었습니다.

#### References

1. APHA (American Public Health Association), 1998, *Standard Methods for Water and Wastewater Examination*, 20th ed. Washington, DC, USA.
2. Feng, Y. M., I. Yoshinaga, E. Shiratani, T. Hitomi, H. Hasebe, 2004, Characteristics and behavior of nutrient in a paddy field area with a recycling irrigation system. *Agr. Wat. Manage.*, 68: 47-60.
3. Horne, A. J., and C. R. Goldman, 1994, *Limnology*, pp. 155-163, McGraw-Hill.

4. Hwang, H. S., C. G. Yoon, J. H. Jeon, and B. H. Kim, 2002, Water and nutrient mass balances in paddy field with groundwater irrigation in low-rainfall year, *Journal of the KSAE*, 44(4): 39-50. (in Korean)
5. Kim, J. S., J. J. Lee, and S. Y. Oh, 2000, Characteristics of concentrations of nutrients in paddy plots with different fertilizer application rates, *Journal of KCID*, 7(1): 47-56. (in Korean)
6. Kim, J. S., S. Y. Oh, K. S. Kim, and S. K. Kwun, 2001, Characteristics of pollutants concentrations at paddy fields area during irrigation periods, *Journal of the KSAE*, 43(6): 163-173. (in Korean)
7. Ministry of Environment, 1997, *Standard Methods for Water Quality*, pp. 199-204, 208-209. (in Korean)
8. Mitsch, W. J., and J. G. Gosselink, 1993, *Wetlands*, pp. 139-142, Wiley.
9. Oh, S. Y., J. S. Kim, K. S. Kim, S. J. Kim, and C. G. Yoon, 2002, Unit loads of pollutants in a paddy fields area with large-scaled plots during irrigation season, *Journal of the KSAE*, 44(2): 136-147. (in Korean)
10. SAS Institute, 1997, *Applied Statistics and the SAS Programming Language*, SAS Inst., NC.
11. Tabuchi, T., T. Takamura, H. Kubota, and S. Suzuki, 1979, Concentrations of nitrogen and phosphorus in paddy fields, *Trans. Jpn. Soc. Irrig. Drain. Reclam. Engrg.* 47(11): 859-864. (in Japanese)
12. Tabuchi, T., N. Suemasa., M. Takanashi, 1987, Nitrate removal by flooding of paddy field, *J. of Jpn. Soc. Irrig. Drain. Reclam. Engrg.*, 55(8): 53-58. (in Japanese)
13. Yoon, K. S., J. Y. Cho, J. K. Choi, J. G. Son, K. H. Han, Y. J. Kim, and J. Y. Choi, 2002, Changes of nutrient concentrations in root zone of a paddy plot and nutrient losses via infiltration during the rice cultivation period, *Journal of the KCID*, 10(2): 59-69. (in Korean)