

관개기 광역논에서의 오염물질의 농도 특성

Characteristics of Pollutants Concentrations at Paddy Field Areas during Irrigation Periods

김진수* · 오승영**
Kim, Jin Soo · Oh, Seung Young
김규성*** · 권순국****
Kim, Kyu Seong · Kwun, Soon Kuk

Abstract

This study describes the characteristics of concentrations of pollutants such as total nitrogen(T-N), total phosphorus(T-P), and chemical oxygen demand(COD) at paddy areas during 2-year irrigation periods. The most common order in average concentrations of T-P and COD is ponded water > irrigation(or drainage) water > percolated water. Most of pollutants concentrations in drainage water are lower than those in irrigation water after early July due to large uptake of pollutants by rice crop and denitrification. The exponential L(load)-Q(discharge) equations for classified irrigation periods are significant at 0.001 level for irrigation and drainage waters. For drainage water, the concentrations of T-N and COD slightly decrease with discharge, while the T-P concentrations slightly increase with discharge.

I. 서론

우리나라에서 논은 1998년 현재 약 116만 ha로 서 농경지의 약 61%를 차지하고 있어, 배수에 의한 비료성분의 유출은 호소와 같은 하류 폐쇄성 수역의 수질에 큰 영향을 미치고 있을 것으로 예상된다. 논으로부터의 배수와 같은 비점원(非点源) 오염은 저농도이나 수량이 많아 상당량의 오염부하량이 유출되고 있는데, 강우와 같은 자연적

요인 뿐만 아니라 물관리나 시비량과 같은 인위적인 요인에 크게 좌우되고 있는 것으로 알려져 있다(김 등, 2000). 비점원 오염은 그 발생원이 불특정하고 광범위하게 분포하고 있어 사후처리보다는 그 유출과정을 규명하여 발생원 대책을 취하는 것이 최선의 방법이라 할 수 있다.

일본에서는 1970년대부터 호소 부영양화 방지책의 일환으로서 논으로부터의 오염물질의 유출에 관한 연구가 시작되어 상당한 결과가 축적되어 있

*충북대학교 농과대학
**충북대학교 대학원
***농업기반공사 충북지사
****서울대학교 농업생명과학대학

키워드 : 광역논, 오염물질, 농도, L-Q식,
T-N/T-P비

다(田淵 등, 1974; 三澤, 1987; 近藤 등, 1992). 여러 필지로 이루어진 광역논에서의 수질 모니터링은 농업활동으로 인한 실제적인 논에서의 오염부하의 유출입 상태를 가장 잘 파악할 수 있다. 우리나라에서도 여러 연구자에 의하여 광역논에서의 수질에 관한 모니터링(홍과 권, 1989; 신과 권 1990; 김 등 1999)이 수행되어 일련의 연구성과를 얻고 있다. 그러나 이상의 연구는 모두 질소와 인을 중심으로 1 년간의 측정에 의한 것으로 오염물질의 유출입 특성을 정확히 파악하기 위해서는 보다 장기간에 걸친 수질관측이 요구되고 있다.

이에, 본 연구에서는 두 개의 광역논 지구에서 측정한 2 년간의 모니터링 자료를 이용하여 관개기 오염물질의 농도 변화 특성을 구명하고자 한다. 여기서 오염물질은 농업용수에서 주요 수질 항목인 T-N, T-P 및 COD(화학적산소요구량)을 대상으로 한다.

II. 조사지구의 개요 및 조사 방법

1 조사지구의 개요

본 연구의 조사지구는 충청북도 청원군 옥산면 소로리(이하 '소로지구'라 함)와 청주시 오동동(이하 '오동지구'라 함)의 충적평야 지대에 위치하고 있다(Fig. 1). 이 두 지구는 용·배수가 분리된 경지정리가 된 곳으로서 용·배수로 이외에는 외부로부터 물의 유출입이 없고, 이 곳의 용수는 금강수계 제1지류인 미호천에서 취수되어 관개 후에는 다시 미호천으로 배수되고 있다.

소로지구는 농경지 면적이 41.9 ha이며, 단위구획 면적이 1 ha(100×100 m)로서 용·배수로는 콘크리트로 되어 있다. 한편 오동지구는 농경지 면적이 25.4 ha이며, 단위구획 면적이 0.4 ha(40×100 m)로서 용·배수로는 흙수로 되어 있다. 조사지구의 토양은 미농무성의 삼각좌표 분류법에 의하면, 소로지구는 양토(loam), 오동지구는 사양토(sandy loam)로 나타났다.

2. 조사 방법

조사기간은 1998년과 1999년의 관개기 동안(5월 초순~9월 중순)이며 조사는 1998년에는 10일 간격으로, 1999년에는 5월 중순에서 6월 중순까지의 시비기에는 평균 5일 간격, 그 외에는 평균 10일 간격으로 실시하였다. 수질샘플은 소로지구에서는 용수로 시점 3곳, 용수로 말단 3곳, 배수로 3곳, 논표면수 2곳, 침투수 2곳에서 얻었고, 오동지구에서는 용수로 시점 3곳, 용수로 말단 3곳, 배수로 2곳, 논표면수 2곳, 침투수 2곳에서 얻었다 (Fig. 1).

또한, 유량은 용수로 시점과 말단 그리고 배수로 말단에서 측정하였다. 논표면수는 논의 중간부분에서 채수를 하였으며, 침투수는 PVC 유공관을 사용하여 논바닥 아래 약 1 m 되는 지점에서 채수하였다.

T-N과 T-P의 농도는 환경부의 환경오염공정시험법에 의한 흡광광도법으로 분석하였고(환경부, 1997), COD 농도는 Standard Methods에 의한 중크롬산칼륨을 이용하여 분석하였다(American Public Health Association, 1995).

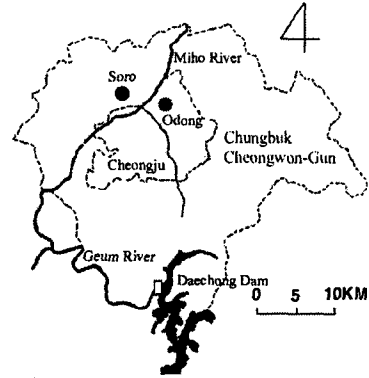
III. 결과 및 고찰

1. 시비시기와 시비량

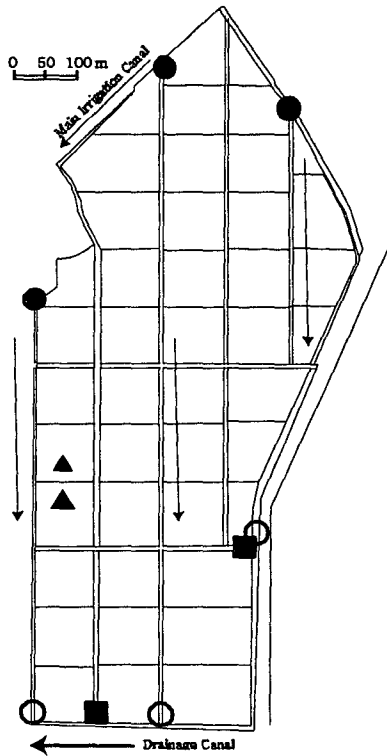
시비시기 및 시비량은 1998년 소로지구 44가구, 오동지구 31가구에 대하여 설문 조사하여 이에 대한 자료를 얻었다. 소로지구의 평균시비량은 질소가 164.3 kg/ha, 인이 21.4 kg/ha이고, 오동지구의 평균 시비량은 질소가 163.6 kg/ha, 인이 23.0 kg/ha로서 두 지구가 비슷하게 나타났다. 질소는 일반적으로 기비(基肥), 분얼비(分蘖肥), 수비(穗肥)로서 3회 시비되었고, 인은 기비로서 1회 시비되었다. 질소시비량의 최대값은 Fig. 2와 같이 소로지구에서 5월 초순에 40.6 kg/ha를 나타냈으며, 오동지구에서 5월 하순에 38.4 kg/ha로 나타났다. 인시비량의 최대값은 5월 초순에 소로지구에서

Legend

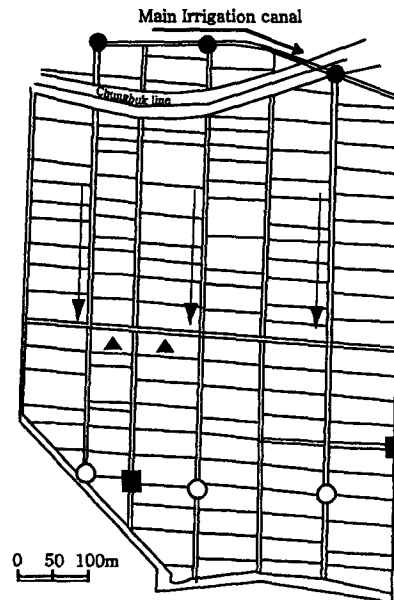
- : Irrigation water at inlets
- : Irrigation water at outlets
- : Drainage water at outlets
- ▲ : Pondered and percolated water



(a) Location of study area



(b) Soro area



(c) Odong area

Fig. 1 Outline of study areas

13.3 kg/ha, 오동지구에서 10.6 kg/ha로 나타났다.

2. 관개기 전체의 평균농도

1998~1999년의 2년간의 조사지구 광역논에서의 T-N과 T-P의 평균농도 및 1999년의 COD 평균농도는 Table 1과 같다. 여기서 용수와 배수는 유량

가중 평균값을 사용하였고, 논표면수와 침투수는 산술평균값을 사용하였다.

가. T-N

용수시점의 평균농도는 소로와 오동지구에서 각각 2.7 mg/L, 2.5 mg/L로서, 농업용수 수질 기준 (1.0 mg/L 이하) 보다 2~3배 정도 높게 나타났

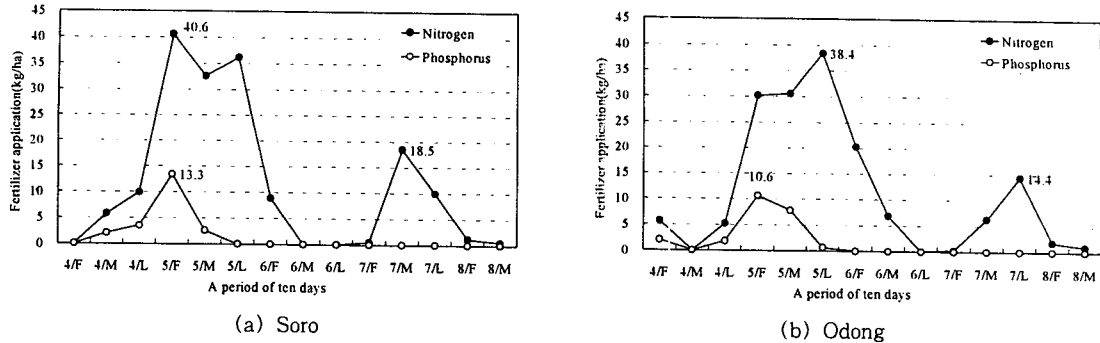


Fig. 2 Temporal change in fertilizer application rate

다. 또한 배수의 평균농도는 각각 2.3 mg/L, 3.1 mg/L으로서 소로지구에서는 용수의 평균농도보다 낮게 나타났으나, 오동지구에서는 높게 나타났다. 이와 같은 수질 농도 속에서도 조사지구에서 조사 기간 동안 수질에 의한 벼의 생육장애 및 도복은 거의 나타나지 않았다.

논표면수의 평균농도는 소로와 오동지구에서 각각 3.5 mg/L, 3.2 mg/L으로 용·배수 농도보다 높게 나타났으며, 침투수의 평균농도는 2.0 mg/L, 2.9 mg/L로서 논표면수보다 낮게 나타났다.

나. T-P

용수시점의 평균농도는 소로와 오동지구에서 각각 0.09 mg/L, 0.07 mg/L로서 농업용수 수질 기준 (0.1 mg/L 이하)을 만족하는 것으로 나타났으며,

배수의 평균농도는 0.09 mg/L, 0.11 mg/L로서 소로지구는 용수와 같게 나타났으나 오동지구는 용수보다 높게 나타났다. 침투수의 평균농도는 각각 0.02 mg/L, 0.05 mg/L로서 용·배수나 논표면수의 평균농도에 비해 매우 낮게 나타났는데, 이것은 논표면수가 지하로 침투하면서 상당량의 T-P가 토양에 흡착되었기 때문으로 생각된다. 여기서 소로지구 침투수의 평균값 0.02 mg/L은 충북대학교 시험포장의 논(loamy sand)에서 김 등(2000)이 측정된 침투수의 평균값과 같은 값을 나타냈다.

다. CCD

용수시점의 평균농도는 소로와 오동지구에서 각각 12.1 mg/L, 11.0 mg/L, 배수의 평균농도는 각각 11.7 mg/L, 17.1 mg/L로서 흙수로인 오동지구

Table 1 Summary of water quality in paddy areas during irrigation periods

(Unit) mg/L

Pollutants		Type of water	Irrigation*		Drainage*		Ponded**		Percolated**	
			Soro	Odong	Soro	Odong	Soro	Odong	Soro	Odong
T-N	No. of samples		79	81	48	62	58	62	45	46
	Mean		2.7	2.5	2.3	3.1	3.5	3.2	2.0	2.9
T-P	No. of samples		79	81	48	62	58	62	45	44
	Mean		0.09	0.07	0.09	0.11	0.15	0.22	0.02	0.05
COD	No. of samples		40	41	34	34	29	32	25	23
	Mean		12.1	11.0	11.7	17.1	17.6	25.2	7.3	6.2

Note : * is the flow-weighted mean
 ** is the arithmetic mean

에서 배수농도가 용수농도보다 크게 증가하는 것으로 나타났다. T-P의 경우와 마찬가지로, 침투수의 평균농도는 각각 7.3 mg/L, 6.2 mg/L로서 용·배수나 논표면수에 비하여 낮게 나타났다.

이상의 결과로부터 두 지구 모두 T-P와 COD의 평균농도는 논표면수 > 용수(혹은 배수) > 침투수의 순으로 나타났고, 흠수로인 오동지구에서는 전수질 항목에서 배수농도가 용수농도보다 높게 되는 경향을 보였다.

3. 시간적 농도변화

1999년의 두 지구에서 측정한 용수, 배수, 논표면수 침투수 등의 농도 평균값의 5일 또는 10일 간격의 변화는 Fig. 3~5와 같다.

가. T-N

용수 농도는 5 mg/L이하로 거의 일정한 반면, 배수 농도는 소로지구에서는 시비의 영향으로 6월 초순에 11.7 mg/L를, 오동지구에서는 5월 20일경

에 8.2 mg/L, 6월 초순에 7.2 mg/L를 나타냈다가 감소하여 변동폭이 크게 나타났다. 수비기(7월 중순~7월 하순)에는 질소가 시비되었음에도 불구하고 배수 농도는 증가하지 않았으며, 두 지구 모두 7월 초순 이후로는 대부분의 배수 농도가 용수 농도보다 낮아지는 것으로 나타났다.

논표면수의 농도는 시비 직후에 높게 되어, 6월 중순에 소로지구에서는 최대 6.2 mg/L, 오동지구에서는 최대 8.2 mg/L를 나타냈고, 수비기인 7월 하순에 소로지구에서는 4.0 mg/L, 오동지구에서는 7.5 mg/L까지 증가하였다가 감소하는 것으로 나타났다. 침투수 농도는 소로지구에서는 5월 하순에 최대 6.6 mg/L까지 증가하였다가 감소하였다. 한편, 오동지구에서는 1998년에는 소로지구와 비슷하게 관개후기에 2.4 mg/L이하의 낮은 농도를 나타냈으나, 1999년에는 5월 하순에 4.1 mg/L을 보였다가 감소한 후, 다시 증가하여 8월 하순에 6.1 mg/L까지 기록하였다 (Fig. 3). 이와 같이 관개후기에 침투수의 질소농도가 상승하는 이유는

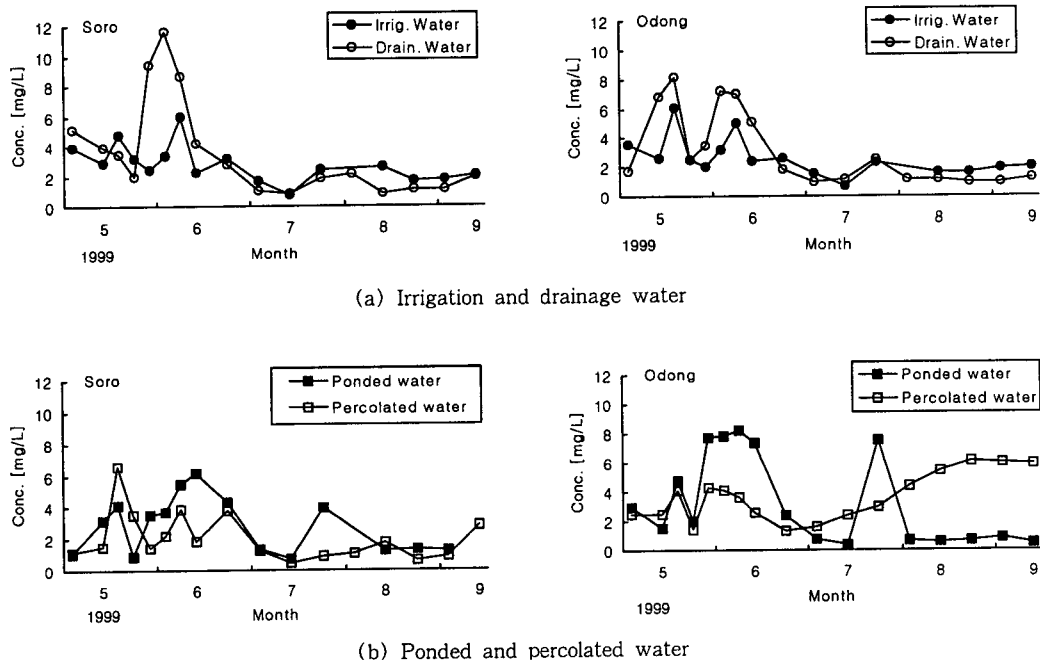


Fig. 3 Temporal variation in concentrations of T-N

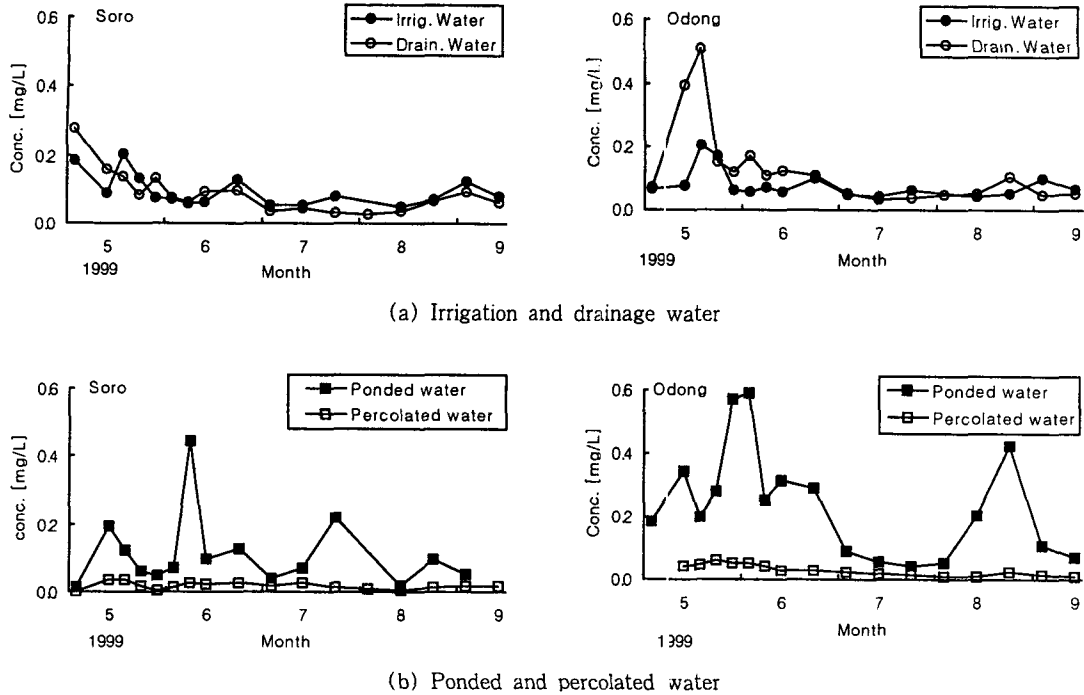


Fig. 4 Temporal variation in concentrations of T-P

아직 불명확하여 좀 더 장기적인 관측이 필요할 것으로 생각된다.

나. T-P

용수농도는 두 지구 모두 시비기인 5월 20일 경에 최대 0.20 mg/L까지 증가했으나 그 이후로는 대부분 0.10 mg/L 이하로 거의 일정하였다. 배수농도는 소로지구에서는 5월 초순에 최대 0.28 mg/L까지 증가했다가 감소하고, 오동지구에서는 5월 20일 경에 최대 0.51 mg/L를 기록했다가 감소하는 큰 변동폭을 나타냈다 (Fig. 4).

농표면수 농도는 소로지구에서는 6월 10일 경에 최대 0.44 mg/L까지 증가하였으며, 오동지구에서는 6월 초순에 최대 0.59 mg/L까지 증가하였다. 이와 같이 인이 실제로 투여되지 않는 분얼비기에 농도가 높아지는 것은 논 가운데에서의 시비작업으로 토양이 교란되어 토양 표면에 흡착되어 있던 인이 물에 용해되었기 때문으로 사료된다. 한편, 침투수 농도는 시비의 영향을 거의 받지 않아, 논

표면수에 비해 아주 낮고 시기별로 거의 일정하게 나타났다.

다. COD

용수 농도는 두 지구 모두 5.8~19.3 mg/L 사이에서 비교적 일정하게 변동하고 있는 반면, 배수농도는 관개 초기에 증가하여 6월 중순에 소로지구에서는 34.1 mg/L, 오동지구에서는 44.2 mg/L를 기록하였다가 10.0 mg/L 이하로 용수 농도보다 낮아지는 경향을 나타냈다. 이와 같이 6월 초순~중순에 배수의 COD 농도가 높게 올라가는 것은 시비 및 Fig. 5(a)의 오동지구에서와 같이 6월 초순경의 배수 수온의 상승(23°C에서 30.5°C로)의 영향로 유기물이 증가하기 때문으로 생각된다.

농표면수 농도는 소로지구에서는 분얼비기인 6월 초순에 34.9 mg/L, 수비기인 7월 하순에 37.8 mg/L를 기록했으며, 오동지구에서는 배수와 같이 6월 중순에 최대 71.0 mg/L까지 기록하였으나 6월 하순 이후로는 10~20 mg/L로서 비교적 낮게 나

관개기 광역논에서의 오염물질의 농도 특성

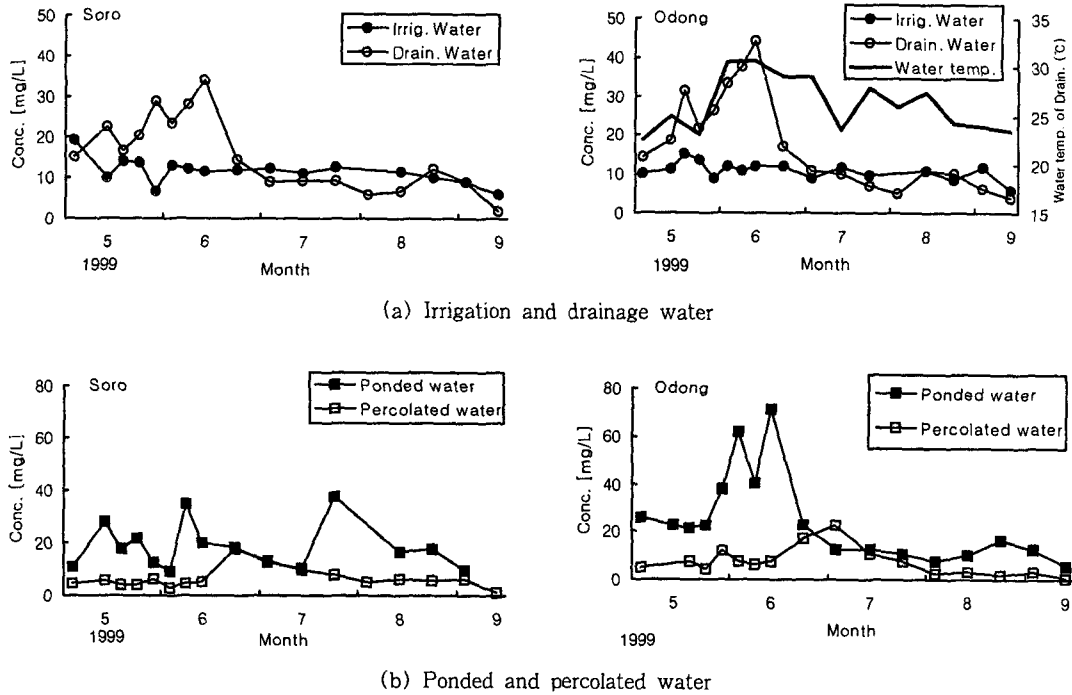


Fig. 5 Temporal variation in concentrations of COD

타났다. 침투수 농도는 소로지구에서는 항상 논표면수의 농도에 비하여 낮은 농도(1.0~17.6 mg/L)를 보였으며, 오동지구에서는 7월 초순(22.7 mg/L)를 제외하면 20.0 mg/L 이하로서 논표면수의 농도에 비하여 낮게 나타났다.

T-N, T-P 및 COD의 전 항목에서 7월 초순 이후로는 대부분의 배수농도가 용수농도보다 낮게 나타났는데, 이것은 이 시기에 벼에 의한 영양염류의 흡수 및 탈질작용이 상승하기 때문으로 생각된다(小川과 酒井, 1985).

4. 용·배수의 유량과 오염부하량의 관계식(L-Q식)

오염부하량(L)의 계산에는 유량(Q)을 함수로 한 지수형의 L-Q식($L = aQ^b$)이 많이 이용되고 있는데(Huber and Barnwell, 1988). 이것을 농도(C)와 유량의 관계로 표현하면 식(1)이 된다.

$$C = aQ^{b-1} \dots \dots \dots (1)$$

여기서 a와 b는 계수이다.

따라서, 식(1)에서 지수 b>1은 유량의 증가에 따른 농도의 증가를, b=1은 농도 변화가 없음을, b<1은 농도의 감소를 나타낸다.

가. 관개시기별 L-Q식

관개기를 관개초기(5월 초순~6월 중순), 관개중기(6월 하순~7월 하순) 및 관개후기(8월 초순~9월 중순)로 구분한 후, 각 시기별 용·배수의 T-N, T-P 및 COD에 대한 L-Q식을 나타내면 Table 2와 Fig. 6~7과 같다.

용·배수의 L-Q식은 유의성 검정 결과 모든 경우에서 $p=0.001$ 의 수준에서 유의성이 있는 것으로 나타났다. 결정계수의 값(r^2)은 용수의 경우에는 T-N과 COD가 0.90 이상으로 T-P(0.70)보다 높게 나타났으나, 배수의 경우에는 모든 수질항목에서 용수보다는 낮고 0.67~0.68로 비슷하게 나타

Table 2 Load-discharge equations of irrigation and drainage waters

(Unit) L : mg/s, Q : L/s

Type of water	Periods	T-N			T-P			COD		
		No. of samples	L-Q equation	r^2	No. of samples	L-Q equation	r^2	No. of samples	L-Q equation	r^2
Irrig. water	Early	119	$L = 3.45Q^{0.98}$	0.95***	119	$L = 0.045Q^{1.03}$	0.54***	65	$L = 13.88Q^{0.97}$	0.93***
	Mid	77	$L = 1.62Q^{1.04}$	0.89***	77	$L = 0.076Q^{0.99}$	0.91***	42	$L = 12.20Q^{0.98}$	0.97***
	Late	88	$L = 2.06Q^{0.97}$	0.95***	88	$L = 0.113Q^{0.92}$	0.85***	37	$L = 9.28Q^{0.98}$	0.94***
	Total	284	$L = 2.06Q^{1.05}$	0.91***	284	$L = 0.085Q^{0.91}$	0.70***	144	$L = 10.99Q^{1.00}$	0.94***
Drain. water	Early	47	$L = 4.67Q^{0.98}$	0.73***	47	$L = 0.112Q^{0.89}$	0.37***	32	$L = 31.70Q^{0.92}$	0.88***
	Mid	28	$L = 1.49Q^{1.02}$	0.91***	28	$L = 0.057Q^{0.37}$	0.91***	16	$L = 11.62Q^{0.98}$	0.98***
	Late	35	$L = 1.36Q^{0.97}$	0.94***	35	$L = 0.017Q^{1.33}$	0.93***	20	$L = 4.70Q^{1.10}$	0.87***
	Total	110	$L = 2.72Q^{0.94}$	0.67***	110	$L = 0.055Q^{1.35}$	0.67***	68	$L = 18.74Q^{0.90}$	0.68***

*** : $p < 0.001$

났다. 관개초기는 관개중기와 관개후기에 비하여 낮은 결정계수의 값을 나타냈는데, 이것은 관개초기에는 비료가 시용(施用)되어 농도 변동의 폭이 크기 때문으로 사료된다.

나. 용수의 L-Q식

T-N은 관개초기가 다른 시기에 비하여 같은 유량에 대하여 높은 부하량을 나타냈는데, 이것은 용수원(用水源)인 하천수가 시비된 상류의 논으로부터 유출된 상당량의 질소 성분을 포함하고 있기 때문으로 사료된다. T-P는 1998년에는 관개초기가 관개중기나 후기보다도 부하량이 적게 나타났으나, 1999년도에는 관개초기가 관개중기나 후기에 비하여 높게 나타나, 관개초기의 부하량은 연별로 크게 변동하고 있는 것으로 나타났다. 한편, COD는 T-N과 T-P에 비하여 Fig. 6 (c)와 같이 관개시기별 차이가 거의 없는 것으로 나타났다.

유량의 증가와 함께 T-N 농도는 약간 증가하고 ($b=1.05$), T-P 농도는 약간 감소하며 ($b=0.91$), COD 농도는 거의 일정한 것 ($b=1.00$)으로 나타났다. 유량 증가에 따라 T-P 농도가 감소하는 것은 용수가 십여km의 콘크리트의 간선 용수로로 유하하면서 유사(流砂)를 용수로에 퇴적시키기 때

문으로 사료된다.

다. 배수의 L-Q식

배수는 시비의 영향으로 관개초기, 관개중기, 관개후기의 사이에는 용수보다는 큰 차이를 보이고 있다. T-N은 같은 유량에 대해 관개초기가 다른 시기보다 부하량이 높게 나타났으며, T-P는 관개후기로 갈수록 L-Q식의 지수(b)가 크게 되어 관개 후기에는 높은 유량에서 높은 부하량을 나타냈다. COD는 같은 유량에 대한 부하량의 크기가 관개초기>관개중기>관개후기의 순으로 나타났다.

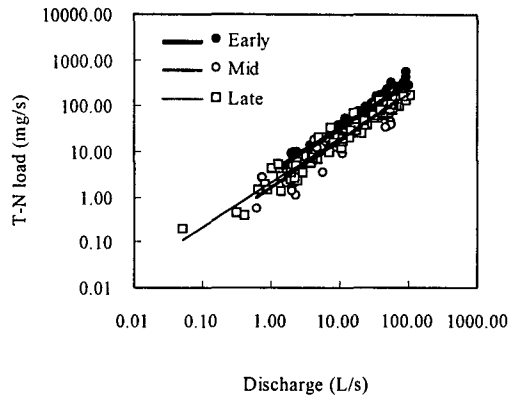
또한, 관개기 전체의 L-Q식에서, 유량의 증가와 함께 T-N과 COD 농도는 약간 감소하고(각각 $b=0.94, 0.90$), T-P 농도는 약간 증가($b=1.05$)하는 것으로 나타났다.

용수가 논을 통과하여 배수가 되면서 L-Q식의 지수값은, T-N과 COD에서는 감소하고, T-P에서는 증가하는 것으로 나타났다.

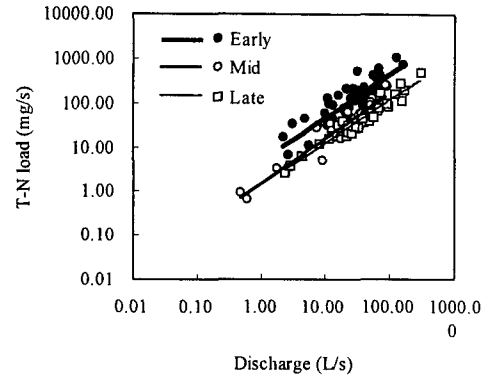
5. T-N/T-P 비

N/P비는 호소 부영양화의 원인이 되는 조류 성장에 크게 영향을 미치고 있는데, 이 값이 7.2일

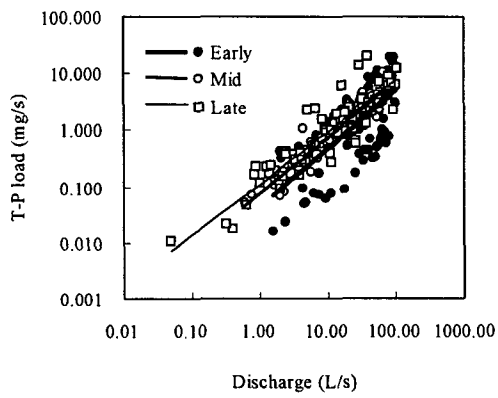
관개기 광역논에서의 오염물질의 농도 특성



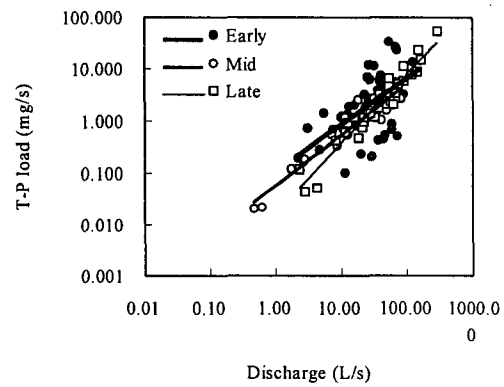
(a) T-N



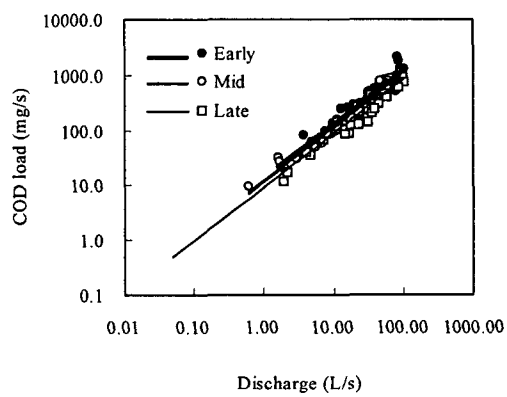
(a) T-N



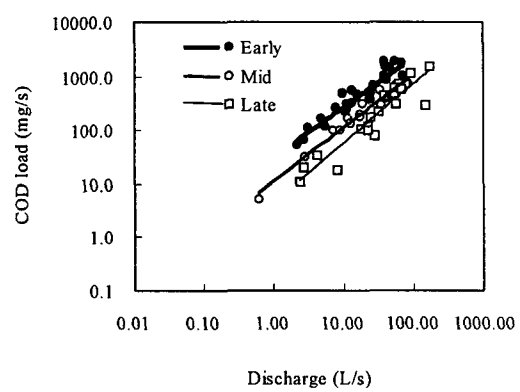
(b) T-P



(b) T-P



(c) COD



(c) COD

Fig. 6 Relationship between discharge and load of irrigation water

Fig. 7 Relationship between discharge and load of drainage water

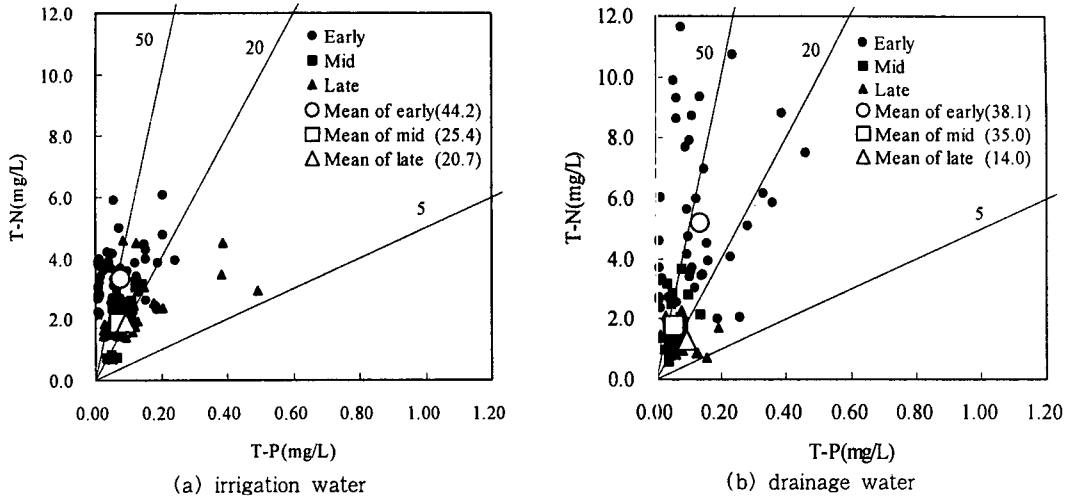


Fig. 8 Comparison of concentrations between T-N and T-P

때 조류 생물량의 구성비(중량비)로 되어 조류 성장에 최적조건이 되고 있다. 일반적으로 N/P비가 20보다 크면 인이 제약인자가 되고, 5보다 작으면 질소가 제약인자가 되는 것으로 알려져 있다 (Thomann and Mueller, 1987). 본 연구에서는 N/P비로서 T-N/T-P비를 사용하였다.

Fig. 8은 용·배수의 T-N/T-P비를 나타내는데, 검은 점은 각 측정 샘플을 나타내며, 흰 점은 관개시기별 평균값을 나타낸다. 관개기 전체의 용수와 배수의 평균 T-N/T-P비는 각각 32.7과 28.5을 나타냈다. 하천을 수원으로 하는 이 곳 용수의 값은 소류지를 수원으로 하는 경우의 값인 31.7(김, 2000)과 비슷하였고, 호소 수질에 크게 영향을 미치는 배수의 값은 미국에서 제시된 농업비점원 유출수의 평균값인 28(Thomann and Mueller, 1987)과 거의 같게 나타났다. 이와 같이 용·배수는 모두 조류 성장에 있어서 T-P가 제약인자로 되고 있는 것으로 나타났다.

관개시기별 평균 T-N/T-P비는, 용수의 경우 관개초기에 44.2, 관개중기에 25.4, 관개후기에 20.7이며, 배수의 경우 관개초기에 38.1, 관개중기에 35.0, 관개후기에 14.0를 나타냈다. 관개시기별 평균 T-N/T-P비는 용·배수 모두 관개후기로 갈

수록 점점 저하하고 있는데, 특히 배수는 T-P의 제약인자로서의 조건이 관개후기에 크게 약화되고 있는 것으로 나타났다.

IV. 결 론

본 논문에서는 1998~99년의 관개기 동안 하천 관개를 하는 두 개의 광역논을 대상으로 오염물질(T-N, T-P 및 COD)의 농도 변화 특성을 검토하였다. 여기서 얻은 주요 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 관개기 전체의 T-P와 COD의 평균농도는 논 표면수>용수(혹은 배수)>침투수의 순으로 나타났는데, 침투수의 낮은 T-P 농도는 논표면수가 지하로 침투하면서 상당량의 T-P가 토양에 흡착되었기 때문으로 사료된다.
2. 7월 초순 이후로는 배수농도가 대부분 용수 농도보다 낮게 나타났는데, 이것은 이 시기에 벼에 의한 영양염류의 흡수작용 및 탈질작용이 증가하기 때문으로 생각된다.
3. 관개시기별로 구분한 지수형 L-Q식은 용·배수의 모든 경우에서 고도의 유의성($p < 0.001$)이 있는 것으로 나타났다. 또한, L-Q식의 결정계수

(r^2)는 용수에서는 T-N과 COD가 0.90 이상으로 T-P(0.70)보다 높게 나타났으나, 배수에서는 모든 수질 항목에서 용수보다 낮고 0.67~0.68로 비슷하게 나타났다.

4. 용수에서는 유량의 증가와 함께 T-N 농도는 약간 증가하고($b=1.05$), T-P 농도는 약간 감소하며($b=0.91$), COD 농도는 거의 일정한 것($b=1.00$)으로 나타났으나, 배수에서는 유량의 증가와 함께 T-N과 COD 농도는 약간 감소하고(각각, $b=0.94, 0.90$), T-P 농도는 약간 증가하는($b=1.05$) 것으로 나타났다.

5. 용수와 배수의 T-N/T-P비의 평균값은 각각 32.7과 28.5로서, 조류성장에 있어서 인이 제약인자가 되고 있으나, 특히 배수는 관개후기에 T-N/T-P비가 크게 저하하여 인의 제약인자로서의 조건이 약화하는 것으로 나타났다.

본 연구는 농림부의 첨단농업개발사업 과제인 "농촌하천유역의 종합적 수질관리 시스템의 개발"의 연구비 지원에 의하여 수행되었음.

참 고 문 헌

1. 김진수, 오승영, 김규성, 1999, 광역논에서의 질소·인의 농도와 오염부하량 특성, 한국농공학회지, 41(4), pp. 47~56.
2. 김진수, 이종진, 오승영, 2000, 시비조건에 따른 단위 논에서의 영양염류의 농도 특성, 한국관개배수, 7(1), pp. 47~56.
3. 신동석, 권순국, 1990, 논에서의 질소 및 인의 농도와 유출입, 한국환경농학회지, 9(2), pp. 133~141.
4. 홍성구, 권순국, 1988, 農耕地로부터의 汚染物 質 流出負荷特性, -全Kjeldahl 窒素 및 全磷을 中心으로-, 한국농공학회지, 31(3), pp. 92~102.
5. 환경부, 1997, 수질오염공정시험방법, pp.199~204, pp.208~209.
6. American Public Health Association, 1995, Standard methods for the water and wastewater examination, 19th ed., Washington, D. C.
7. Huber W. C. and Barnwell T. O., 1988, Stormwater management model, Version 4: user's manual, US. EPA, Athens, Georgia, pp. 59~282.
8. Thomann, R. V., and Mueller, J. R., 1987, Principles of surface water quality modeling and control, Harper and Row, pp. 399~404.
9. 近藤正, 三澤眞一, 豊田勝, 1991, 北陸地方の沖積低平地水田におけるN,P負荷量の流出特性, 農業土木學會論文集, 159, pp. 17~27.
10. 三澤眞一, 1987, 水田における水質変化機構について, 農業土木學會論文集, 127, pp. 69~78.
11. 小川吉雄, 酒井一, 1985, 水田における窒素淨化作用の解明, 日本土壤肥料雜誌, 56(1), pp. 1~9.
12. 田淵俊雄, 高村義親, 久保田治夫, 鈴木誠治, 1979, 水田における窒素とリンの濃度と流出入, 農業土木學會誌, 47(11), pp. 859~864.