

# 광역논에서의 질소·인의 농도와 오염부하량 특성

## Characteristics of Concentration and Load of Nitrogen and Phosphorous in Paddy Field Areas

김진수\*·오승영\*·김규성\*\*  
Kim, Jin Soo · Oh, Seung Young · Kim, Kyu Sung

### Abstract

The concentration and load of T-N and T-P in paddy field areas in Chongwon, Chungbuk, Korea, were investigated during the irrigation period. The concentration of T-N and T-P in ponded water in paddies is higher than that in irrigation, drainage and percolation waters. For T-N, the average concentration in drainage water was higher than that in irrigation water until end of June, but lower thereafter. The average T-N concentration in irrigation water was 2.3~3.2mg/ℓ and therefore the agricultural water quality standard at on-farm level for T-N should be established realistically. The exponential L(load)-Q(discharge) equations have higher coefficients of determination than the linear L-Q equations. Especially, the exponential L-Q equation of T-N showed a coefficient of determination of over 0.9 for irrigation water.

### I. 서론

최근 농지로부터의 질소(N)와 인(P)의 유출부하는 하천의 수질 저하나 호수의 부영양화에 큰 영향을 미치고 있다. 농경지로부터의 비점원오염(非点源汚染)은 저농도이지만 유출량이 막대하여 유역의 오염부하량(汚染負荷量, 이하 부하량이라고 함)에 있어 큰 비중을 차지하고 있다.<sup>10,11)</sup> 도시의 생활하수나 공장폐수 등으로부터 발생하는 점오염은 처리시설로 부하량을 감소시킬 수 있으나, 농경지로부터의 비점원오염은 광범위한 면적으로부터 유출되어 시설에 의한 처리는 불가능하며 적

절한 관리에 의하여만 부하량을 감소시킬 수 있다. 일본에서는 논으로부터의 N과 P의 유출 실태를 1970년대부터 각지에서 조사하여 왔는데,<sup>4,6,7)</sup> 총질소(T-N)와 총인(T-P)의 부하량은 관개기간 중에 집중적으로 유출되고 있다고 알려져 있다.<sup>8,9)</sup> 현재 우리 나라 논에서의 T-N과 T-P의 유출 실태는 이에 관한 실측자료<sup>1,2)</sup>가 부족하여 아직 명확히 파악되지 않은 실정이다. 이와 같은 배경 속에서 본 연구에서는 여러 필지(筆地)로 구성된 광역논에서의 용·배수를 중심으로 하여 관개기간 중의 T-N과 T-P의 농도 및 부하량의 특성을 고찰하고자 한다.

\*충북대학교 농과대학

\*\*농어촌진흥공사

키워드 : 광역논, 질소, 인, 농도, 오염부하량, L-Q식

## II. 조사 지구 및 조사 방법

### 1. 조사지구의 개요

본 연구의 조사지구는 충청북도 청주시 교외에 위치한 곳으로서 ① 청주시 오동동의 25.4ha의 광역농 지역과 ② 청원군 옥산면 소로리에 위치한 43.5ha의 광역농 지역이다(Table 1, Fig. 1). 이 두 지구는 총적 평야에 위치하고 있으며 용·배수분리의 경지정리가 된 곳으로서 용·배수로 이외에는 외부로부터 물의 유출입이 없고, 이 곳의 용수는 금강수계의 제1지류인 미호천에서 취수하고 있다.

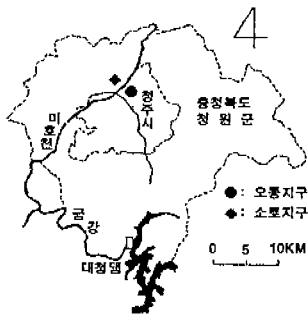
유량 및 수질의 측정점으로서 Fig. 1과 같이 오동지구는 용수로 시점 3곳, 용수로 말단 3곳, 배수로말단 2곳, 논 표면수 3곳, 침투수 4곳을 선정

하였고, 소로지구는 용수로 시점 3곳, 용수로 말단 2곳, 배수로 말단 3곳, 논 표면수 3곳, 침투수 2곳을 선정하였다.

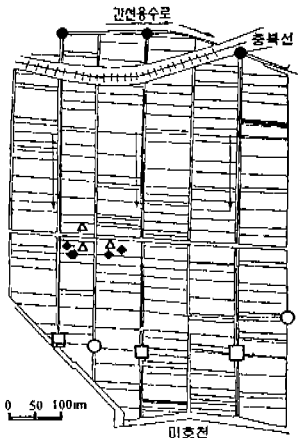
### 2. 조사 방법

유량과 수질 측정은 Fig. 1과 같은 측정점에서 1998년 5월 초순부터 시작하여 9월 중순까지 평균 10일 간격으로 실시하였다. 침투수는 PVC 유공(有孔) 파이프를 땅속에 박아 지하 50cm 되는 지점에서 채수하였다.

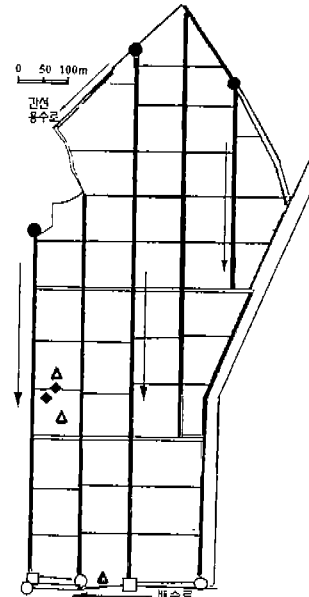
강우량은 조사 지구에서 약 5km 떨어진 청주 기상대의 기상자료를 이용하였으며, 강우 수질은 두 지구에서 약 6km 떨어진 충북대학교 농과대학



(a) Location of study area



(b) Odong area



(c) Sororo area

- Legend
- : Irrigation water at inlets
  - : Irrigation water at outlets
  - : Drainage water at outlets
  - ◆ : Percolation water
  - △ : Pondered water

Fig. 1. Sketch of study areas

Table 1. Outline of study areas

Irrigated area	Area (ha)	Standard plot size (ha)	Canal type	Length of irrigation canals (m)	Number of measurement points
Odong	25.4	0.3	Unlined	750	15
				780	
				730	
Soro	43.5	1.0	Lined	890	13
				1,150	
				1,010	

에서 채수한 것을 사용하였다. 채취한 시료는 가능한 한 빨리 실험실로 가지고 와서 T-N과 T-P의 농도를 흡광광도법<sup>3)</sup>으로 분석하였다. 시비시기 및 시비량은 두 조사지구를 답사하여 오동지구 23가구, 소로지구 35가구에 대하여 설문조사하여 이에 대한 자료를 얻었다.

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 시비량 조사

오동과 소로 지구의 생육기간 중 평균시비량은 N이 각각 163.1kg/ha과 164.0kg/ha이고 P는 각각

22.9kg/ha와 21.3kg/ha으로 비슷하게 나타났다. 질소는 일반적으로 기비(基肥), 분얼비(分蘖肥), 수비(穗肥) 3회에 걸쳐서 시비되고, 인은 기비만 시비되고 있다. 시기별 시비량을 보면 질소와 인의 최대값은 오동지구에서는 5월 하순에 40.5kg/ha로 나타나고 있으며, 소로지구는 5월 중순에 37.3kg/ha로 나타나고 있다.

#### 2. 물수지

5월초부터 열흘 간격으로 가능한 한 폭우시를 피하여 각 지구의 용·배수로의 유량을 측정하였는데, 시기별 각 지구에 대한 유입량  $D_1$ , 유출량  $D_2$  및 퇴수율(退水率)(=회귀율)( $D_2/D_1$ )을 나타내면 Table 2와 같다. 퇴수율은 강우가 없는 날은 일반적으로 1이하로 나타났으나, 강우의 영향을 받은 날(며칠전이나 당일 강우가 있던 날)은 일반적으로 유입량은 적고 유출량은 많아 1보다 높게 나타났다.

#### 3. 순(旬)별 수질농도 변화

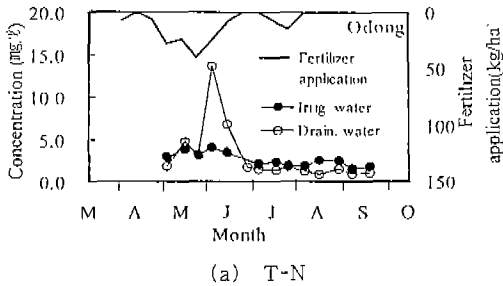
##### 가. 용수와 배수

용수와 배수에 있어서 관개기(5월초순~9월중순)동안의 광역논에서의 T-N과 T-P의 농도 변화

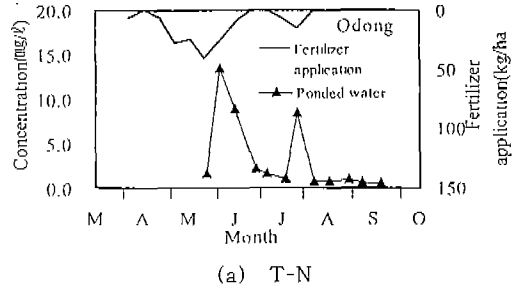
Table 2. Water balance in paddy fields areas during irrigation period

(Unit: mm/d)

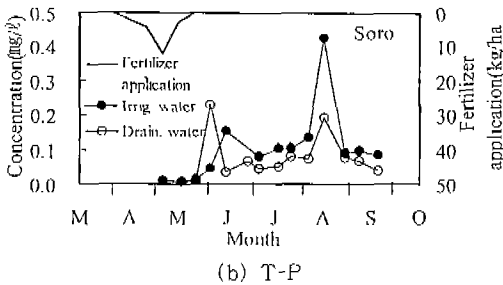
Month	May			Jun.			Jul.			Aug.			Sep.		
	F	M	L	F	M	L	F	M	L	F	M	L	F	M	
A period of 10 days															
	$D_1$	33.26	30.03	28.95	19.13	8.74	0.00	17.00	10.12	7.58	8.25	3.26	36.63	35.96	26.89
	$D_2$	30.74	45.03	15.08	22.38	100.68	8.75	34.43	28.36	23.48	24.45	83.21	25.91	34.46	25.20
	$D_2/D_1$	0.92	1.50	0.52	1.17	11.52		2.02	2.80	3.10	2.96	25.55	0.71	0.96	0.94
Odong	$D_1$	30.97	21.48	35.45	23.07	4.46	0.00	5.34	11.97	24.74	6.73	7.32	22.11	30.47	21.33
	$D_2$	18.61	32.83	35.21	33.88	27.50	5.25	19.78	13.18	25.78	7.11	66.49	10.32	29.06	16.79
	$D_2/D_1$	0.60	1.53	0.99	1.47	6.16		3.71	1.10	1.04	1.06	9.09	0.47	0.95	0.79
Soro															
Rainfall (in previous day t)		18 mm (1)		11mm	20mm	4mm	58mm (3)	13mm (1)	3mm	105mm (2)	51mm				



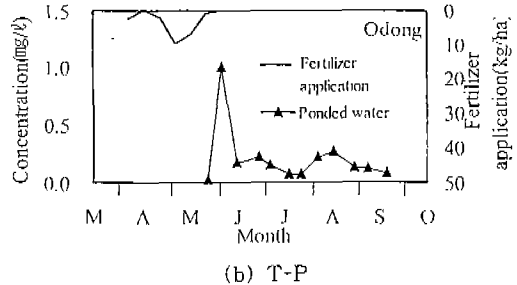
(a) T-N



(a) T-N



(b) T-P



(b) T-P

Fig. 2. Change of concentration of irrigation and drainage waters during irrigation period

Fig. 3. Change of concentration of ponded water during irrigation period

는 Fig. 2에서 보는 것과 같다. 여기서, 상단의 굵은 실선은 해당지구의 시비량(kg/ha)을 나타낸다.

T-N의 경우, 용수의 농도는 5mg/l 이하로 일정한 반면, 배수의 농도는 기비, 분얼비 및 수비의 영향을 받아 변동폭이 상당히 큰 것으로 나타났다. 하천수질 농도에 크게 영향을 주는 배수의 농도는 기비와 분얼비의 영향을 받은 5월 중순~6월 초순 사이에 13.6mg/l 이라는 높은 값을 나타내고 있다. 6월 중순 이후에는 약 2mg/l 이하로서 용수보다 작은 값을 나타내고 있다.

T-P의 농도도 T-N과 비슷하게 시비에 영향을 받아 관개초기에는 배수농도가 용수농도보다 높은 값을 나타내고 있으나, 6월 중순 이후에는 용수보다 작은 값을 나타낸다. 또한 8월 중순에 용수 및 배수 농도가 높게 올라가는 현상을 볼 수 있는데, 이것은 이 때 강우로 인한 많은 유사(流砂)의 유출입이 있었기 때문으로 생각된다.

#### 나. 논표면수

논표면수는 Fig. 3과 같이 시비의 영향을 크게

받아 시비직후 높게 나타났다. T-N의 경우, 기비, 분얼비의 영향을 받은 6월 초에 가장 높은 값 13.4mg/l 을 나타냈으며, 수비의 영향을 받은 7월 하순에도 높은 값 8.5mg/l 을 나타내고 있으며 그 이후는 2mg/l 이하의 일정한 값을 나타내고 있다. T-P에 있어서는 기비의 영향을 받아 T-N과 마찬가지로 관개초기인 6월초에 가장 큰 값 1.0mg/l 을 보이고 있으며, 8월에는 집중호우로 인한 유사 이동에 의해 논표면수의 T-P농도가 약간 높게 나타나고 있다.

#### 4. 관개시기별 수질농도

관개기를 관개전기(5월 초순~6월 중순), 관개중기(6월 하순~7월 하순), 관개후기(8월 초순~9월 중순)로 나누어 오동지구와 소로지구에서 각 관개시기별 용수, 배수, 논표면수 등의 T-N과 T-P의 평균농도를 나타내면 Fig. 4와 같다.

T-N은 시비의 영향을 가장 많이 받는 관개전기에 높은 값을 나타내고 있으며 후기로 갈수록 점

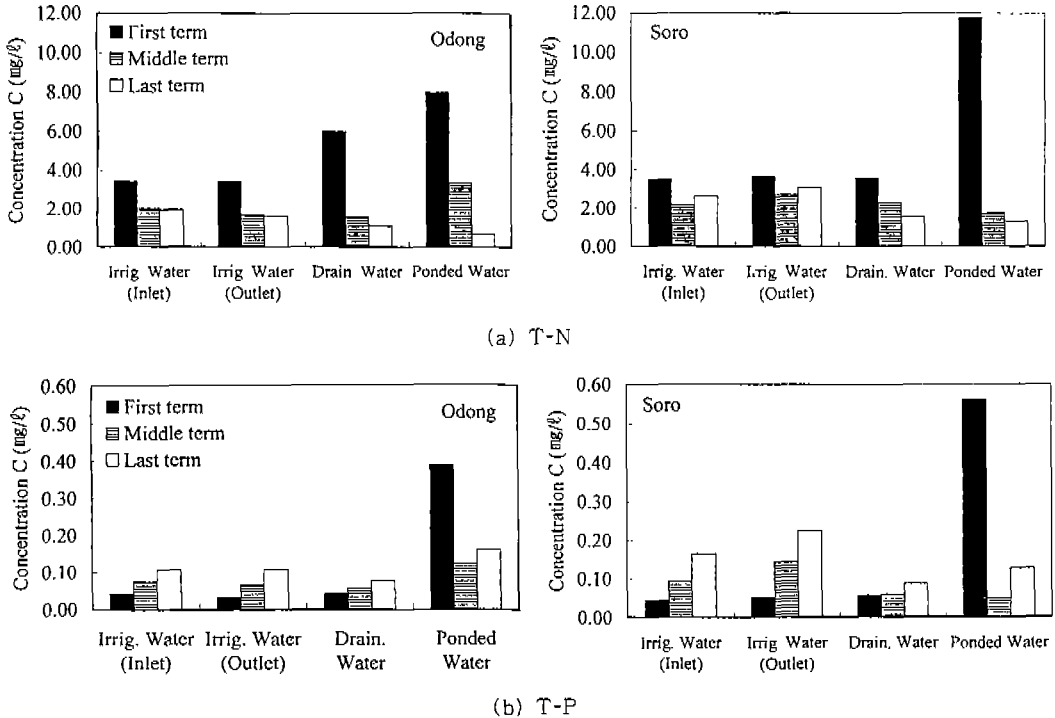


Fig. 4. Concentration of T-N and T-P during irrigation term

점 감소하는 경향을 보이고 있다. 특히, 논표면수는 기비와 분얼비의 영향을 크게 받아 관개전기에 가장 높게 나타났다. 또한, 관개전기에는 배수의 농도가 용수의 농도보다 높으나, 관개중기 이후로는 배수의 농도가 용수의 농도보다 낮게 나타났다.

T-P는 논표면수를 제외하고는 관개후기로 갈수록 점점 증가하는 경향을 보이고 있는데 이것은 7, 8월에 잦은 강우로 인한 유사 이동이 많고, 유사(流砂)에 부착된 인의 유출입이 컸기 때문으로 생각된다. 논표면수는 이와 같이 T-N, T-P 모두 시비의 영향을 크게 받는 관개전기에 가장 높은 값을 보이고 있다.

### 5. 관개기 전체의 수질농도

#### 가. 용수와 배수

Table 3은 전 관개기 동안의 각 지구별 T-N과 T-P의 평균값, 최대값, 최소값, 표준편차 및 변동계수를 나타낸다. 용수에 있어서 T-N의 평균 농

도를 보면 오동지구는 2.3~2.5mg/l 이고, 소로지구는 2.9~3.2mg/l로서 농업용수 수질기준 1mg/l 보다 약 3배정도 높게 나타난다. 한편, T-P의 평균 농도는 오동지구는 0.07mg/l, 소로지구는 0.10~0.13mg/l로서 농업용수 수질기준인 0.1mg/l 에 가까운 값을 나타내고 있다.

배수에 있어서 T-N의 평균농도는 오동지구가 3.0mg/l로서 용수보다 높고, 소로지구는 2.5mg/l로서 용수보다 약간 낮은 값을 나타낸다. T-P의 평균농도는 오동지구에서 0.06mg/l, 소로지구에서 0.07mg/l로서 두 지구 모두 용수보다 낮은 값을 나타낸다. 변동계수를 보면 T-N은 일반적으로 배수가 용수보다 높게 나타나고, T-P는 같거나 낮게 나타난다

#### 나. 논표면수와 침투수

논표면수에 있어서 T-N의 평균 농도는 오동지구에서 3.4mg/l, 소로지구에서 5.2mg/l이며, T-P는 각각 0.21mg/l와 0.26mg/l로서 용수나

Table 3. Summary of water quality in paddy areas during irrigation period

Irrigated area	Water type	Number of Samples	T-N					T-P				
			Mean $\bar{x}$ (mg/l)	Max. (mg/l)	Min. (mg/l)	Standard deviation $\sigma$	Coefficient of variation $\sigma/\bar{x}(\%)$	Mean $\bar{x}$ (mg/l)	Max. (mg/l)	Min. (mg/l)	Standard deviation $\sigma$	Coefficient of variation $\sigma/\bar{x}(\%)$
Odong	Irrigation (Inlet)	39	2.5	4.0	1.4	0.8	32.6	0.07	0.19	0.02	0.04	60.4
	Irrigation (Outlet)	41	2.3	4.2	1.2	1.0	44.2	0.07	0.20	0.01	0.05	73.6
	Drainage	28	3.0	13.6	0.8	3.5	117.7	0.06	0.14	0.01	0.04	61.6
	Percolation*	30	1.6	2.4	0.8	0.6	34.4	0.08	0.23	0.01	0.07	87.8
	Ponded	30	3.4	13.4	0.5	4.3	129.2	0.21	0.99	0.02	0.26	125.3
Soro	Irrigation (Inlet)	39	2.9	4.3	1.5	0.9	31.0	0.10	0.42	0.01	0.11	103.5
	Irrigation (Outlet)	21	3.2	4.4	1.4	1.1	33.7	0.13	0.51	0.01	0.14	101.4
	Drainage	14	2.5	4.6	0.8	1.1	43.7	0.07	0.23	0.01	0.06	92.9
	Percolation**	17	1.3	1.8	0.8	0.4	29.4	0.03	0.06	0.02	0.02	60.2
	Ponded	30	5.2	20.7	0.5	6.8	131.2	0.26	1.50	0.01	0.43	166.1
Rainfall		17	0.9	2.5	0.3	0.7	77.2	0.10	0.55	0.00	0.20	190.9

Note : \* Values after the 1st 10 days of June

\*\* Values after the last 10 days of June

배수의 농도보다 높게 나타났으며 변동계수가 100%를 넘을 정도로 심한 변동폭을 나타내고 있다. 침투수에 있어서 T-N의 평균 농도는 오동지구와 소로지구에서 각각 1.6mg/l, 1.3mg/l 이고, T-P의 경우는 각각의 지구에서 0.08mg/l 와 0.03mg/l 으로서 용수보다 낮게 나타났다.

이상의 결과로부터 T-N의 평균농도는 논표면수 >용수(혹은 배수)>침투수의 순으로 나타났으며, T-P의 평균농도는 논표면수>용수>배수(혹은 침투수) 순으로 나타났다.

다. 강우

강우에 있어서 T-N과 T-P의 평균농도는 각각 0.9mg/l 와 0.1mg/l 로 나타났다. T-N의 최대값은 2.5mg/l, T-P의 최대값은 0.55mg/l 를 나타냈으며, T-P의 변동계수는 190.9%로서 T-N의

77.2%보다 높게 나타났다.

6. 수로특성의 차이에 따른 용수로 시점과 말단의 농도비교

흙수로와 콘크리트수로의 차이에 따른 용수의 수질변화를 파악하기 위하여 용수로 시점과 말단에서의 수질 농도를 비교하였다. Fig. 5의 ●와 ○의 점들은 각각 흙수로(오동지구)와 콘크리트수로(소로지구)에서의 용수로 시점 및 말단에서의 측정값을 나타내며, □와 △는 각각 흙수로와 콘크리트수로의 용수로 시점과 말단에서의 평균 농도를 나타낸다.

T-N의 평균 농도를 보면 흙수로로 되어 있는 오동지구에서는 용수로 시점의 농도 2.5mg/l 가 용수로 말단의 농도 2.3mg/l 보다 높아 1:1경사선의 아래 부분에 존재하고 있다. 한편, 콘크리트

수로로 되어 있는 소로지구에서의 평균농도는 용수로말단의 농도 3.2mg/ℓ가 용수로시점의 농도 2.9mg/ℓ보다 더 높아 1:1 경사선의 윗부분에 존재하고 있다. 이와 같이, 흙수로에서는 말단의 농

도가 시점의 농도보다 더 작은 값을 나타내고 있는데, 이것은 흙수로에서의 용수의 유하에 따른 정화작용의 영향으로 사료된다.

T-P의 평균농도는 오동지구에서는 용수로시점

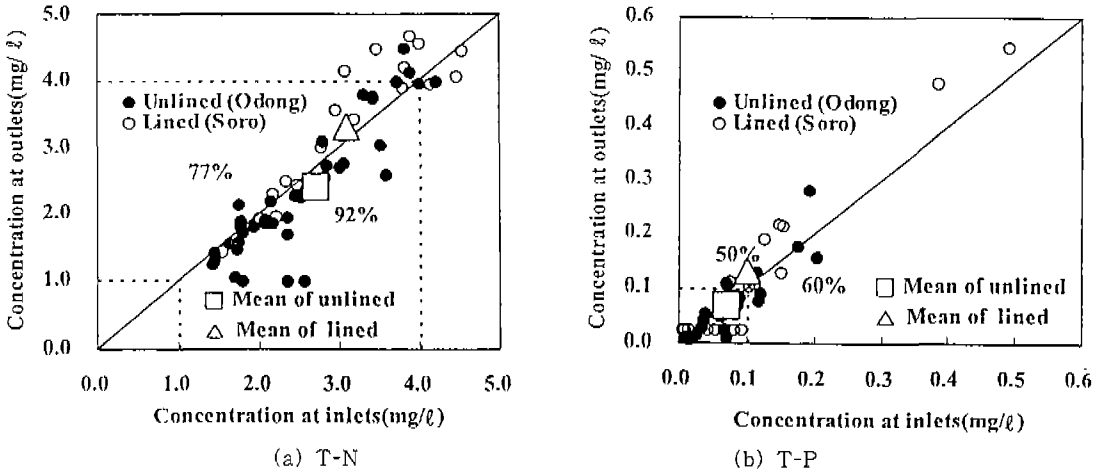


Fig. 5. Concentration at inlets versus concentration at outlets for irrigation water

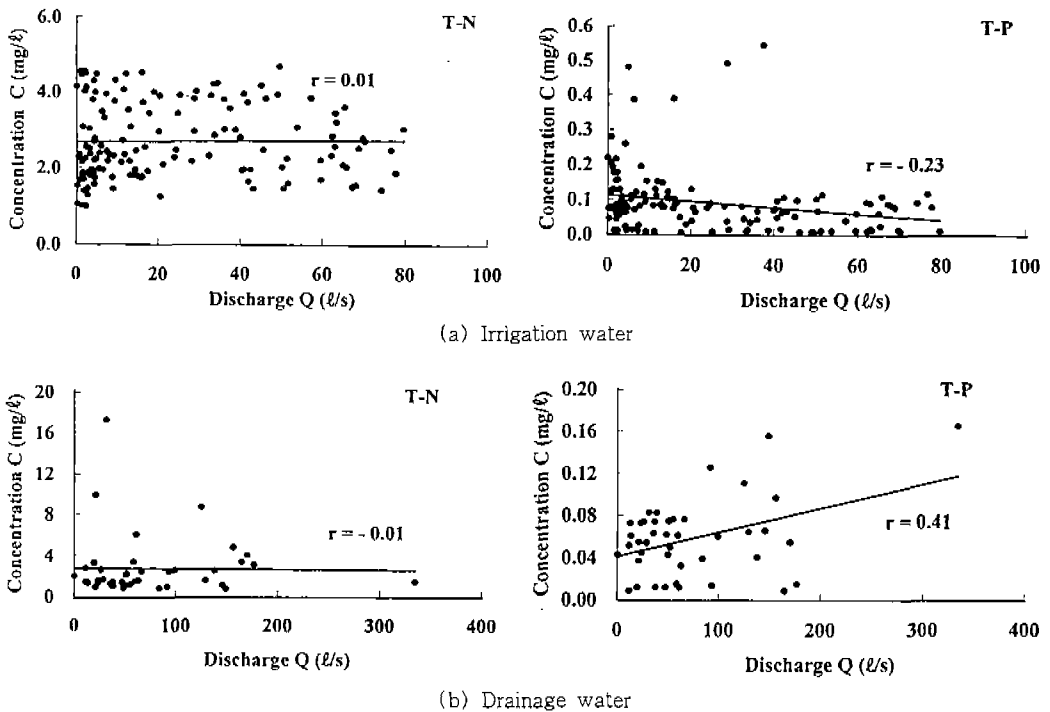


Fig. 6. Relationship between discharge and concentration

의 농도와 용수로말단의 농도는 0.07mg/l로 같았으며, 소로지구에서는 용수로시점의 농도 0.10 mg/l보다 용수로말단의 농도 0.13mg/l가 더 큰 값을 보이고 있어 T-N과 마찬가지로 말단이 시점보다 높게 나타난다.

T-N에 있어서 농업용수 수질 기준농도 1mg/l 이하의 것은 용수로 시점과 말단 모두 하나도 존재하고 있지 않으며, 또한 4mg/l 이하의 범위에 들어가는 비율은 용수로 시점의 경우 92%, 용수로 말단의 경우 77%정도이다. 한편 T-P에 있어서는 농업용수 수질기준 0.1mg/l 이내의 범위에 들어가는 것이 용수로 시점에서는 60% 용수로 말단에서는 50%를 나타내고 있다. 이와 같은 수질 환경속에서 연구지구에서 용수수질에 의한 논벼피해는 발생하지 않았다. 따라서 현재 T-N의 농업용수 수질기준인 1mg/l는 너무 엄격하여 논에서의 T-N 농도를 3~4mg/l 정도까지 상향조정하더라도 무방하리라고 사료된다.

### 7. 유량-농도 및 유량-부하량의 관계

#### 가. 유량과 농도와의 관계

T-N과 T-P의 농도(C)와 유량(Q)과의 상관관계를 나타내면 Fig. 6과 같다. T-N은 용·배수 모두 상관계수( $\gamma$ )가 거의 0에 가깝고 농도는 0.05의 유의수준에서 유량의 크기에 관계가 없이 일정한 것으로 나타났다. 한편, T-P의 경우, 용수에서는 약한 음의 상관관계( $\gamma = -0.23$ )을 나타내고, 배수에서도 비교적 약한 양의 상관관계( $\gamma = 0.41$ )를 나타냈다.

#### 나. 유량과 부하량과의 관계

광역논의 용수와 배수에 대한 유량-부하량의 관계(L-Q식)를 직선식( $L = aQ + b$ )과 지수식( $L = aQ^b$ )으로 나타내면 Fig. 7과 Table 4와 같다. 직선식과 지수식의 결정계수( $r^2$ )의 값을 비교하면 모든 경우에 있어서 지수식이 직선식보다 높으며,

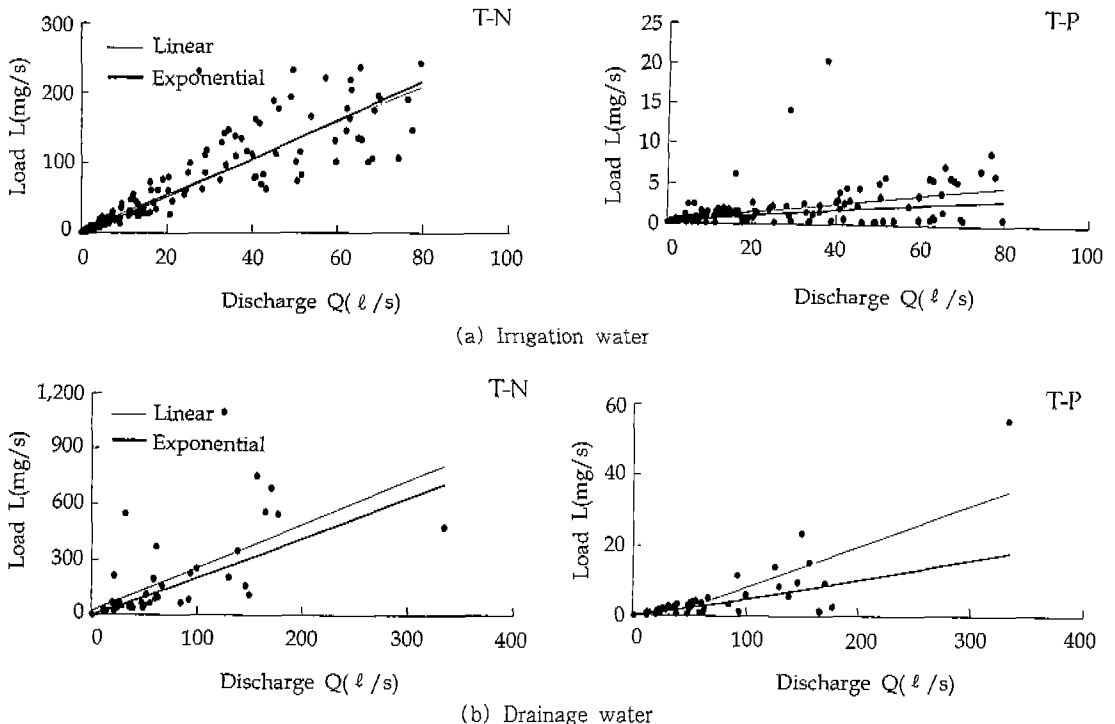


Fig. 7. Relationship between discharge and load



Table 4. Load-discharge equations of irrigation and drainage waters

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

Type	Number of samples	Regression equation	T-N		T-P	
			L-Q equation	r <sup>2</sup>	L-Q equation	r <sup>2</sup>
Irrigation water	138	Linear	$L = 2.53Q + 3.84^*$	0.82	$L = 0.05Q + 0.40^*$	0.23
		Exponential	$L = 2.30Q^{1.03}$	0.94	$L = 0.10Q^{0.78}$	0.60
Drainage water	42	Linear	$L = 2.33Q + 23.90^*$	0.40	$L = 0.11Q - 3.20^{**}$	0.66
		Exponential	$L = 1.71Q^{1.03}$	0.72	$L = 0.03Q^{1.03}$	0.70

Note : \* Slope is significant at 0.05 level

\*\* Slope and intercept are significant at 0.05 level

지수식은 0.6 이상의 상대적으로 높은 값을 나타내고 있다. 특히, T-N에 대한 용수의 경우 지수식은 0.9 이상의 높은 결정계수 값을 나타내고 있다. 따라서, L-Q 지수식은 용·배수의 유량으로부터 부하량을 추정하는데, 매우 유용하리라고 생각된다.

#### IV. 요약 및 결론

본 연구에서는 하천을 용수원으로 하는 2개의 광역논 지역을 대상으로 관개기 동안의 T-N과 T-P의 농도 변화 및 용·배수에서의 유량과 오염부하량의 관계에 대하여 고찰하였다. 여기서 얻은 주요 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 하천 수질에 영향을 미치는 배수나 논표면수의 T-N과 T-P 농도는 관개초기(5월 초순~6월 중순)의 시비기에 높게 나타나므로, 적절한 시비 관리 및 무효방류의 억제와 같은 물관리에 의하여 배출부하량을 감소시킬 필요성이 있다.
2. T-N은 관개초기에는 일반적으로 배수 농도가 용수 농도보다 높지만, 관개중기(6월 하순) 이후로는 배수 농도가 용수 농도보다도 낮다.
3. 관개기 동안의 수질의 평균농도를 보면 T-N은 논표면수>용수(혹은 배수)>침투수의 순이고, T-P는 논표면수>용수>배수(혹은 침투수)의 순으로, 둘 다 논표면수가 가장 높게 나타났다.
4. 용수의 T-N 평균농도는 2.3~3.2mg/l로서 호소 및 하천수의 농업용수 수질기준 1mg/l보다

약 3배 정도 높고, 또한, 4mg/l 이하에 속하는 것이 90% 이상을 차지하고 있는데, 수질에 의한 논벼피해는 발생하지 않았다. 따라서, 논에서의 T-N 수질기준은 적어도 3~4mg/l로 해도 무방하리라고 사료된다.

5. L-Q 지수식에서의 유량과 부하량의 결정계수(r<sup>2</sup>)는 모든 경우에 있어 0.6 이상의 상대적으로 높은 값을 나타내며, 특히 T-N에 대한 용수의 경우는 0.9 이상의 매우 높은 값을 나타냈다. 따라서, L-Q지수식에 의하여 유량으로부터 비교적 정확한 부하량의 추정이 가능하리라고 생각된다.

#### 참 고 문 헌

1. 洪性龜·權純國, 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.
2. 신동석·권순국, 1990. 논에서의 질소 및 인의 농도와 유출입, 한국환경농학회지, 9(2), pp. 133~141.
3. 환경부, 1997. 수질오염공정시험방법, pp. 199-200, pp. 208~209.
4. 近藤正, 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, 農土論集 159, pp. 17~27.
5. 田淵後雄, 1991. 灌漑期の農業集水域からの流出

- 水の水質と負荷特性, 農土論集 154, pp. 55~64.
6. 田淵後雄・高村義親, 1985, 集水域からの窒素リンの流出, 東京大學出版會, pp. 75~129.
  7. 平山 力・酒井 一, 1985, 水田からの肥料成分の流出とその対策 -第1報, 水田からの肥料成分の流出-, 茨城縣農試研報 25, pp. 133~146.
  8. 武田育郎, 國松孝男, 小林慎太郎, 丸山利輔, 1991, 水系における水田群の汚濁物質の收支と流出負荷量, 農土論集 153, pp. 63~72.
  9. 三澤眞一, 1987, 水田における水質變化機構について, 農土論集 127, pp. 69~78.
  10. 農業土木學會, 1987, 農業土木技術者のための水質入門, pp. 63~76.
  11. 技報堂出版, 1989, 河川汚濁のモデル解析, pp. 50~68.