

관개기 대구획 광역논에서의 오염부하 원단위

Unit Loads of Pollutants in a Paddy Fields Area with Large-Scaled Plots during Irrigation Seasons

오 승 영* · 김 진 수** · 김 규 성*** · 김 선 중* · 윤 춘 경****

Oh, Seung Young · Kim, Jin Soo · Kim, Kyu Seong · Kim, Seon Jong · Yoon, Chun Gyeong

Abstract

Characteristics of unit loads of pollutants were investigated at a paddy fields area(Soro-ri) with large-scaled plots on loam soil during irrigation seasons of 1999~2000. The average irrigation requirement of experimental paddy area are estimated at over 3,000 mm. The unit loads of pollutants in paddy fields area are determined by subtracting irrigation water load from outflow load (percolated and surface outflow loads). Surface outflow load in rainy days was calculated using the relationships of discharge and load, which are grouped into fertilizing and non-fertilizing periods. The ratios of the surface outflow load in rainy days to the total surface outflow load are 16.4% for T-N, 26.8% for T-P, and 23.3% for COD_{Cr}. The unit loads of pollutants show month-to-month and year-to-year variations, and monthly unit load of pollutants can show negative values, indicating that the paddy area acts as the pollutants sink. The average unit loads of the pollutants during irrigation seasons were estimated at 18.2 kg/ha for T-N, 0.31 kg/ha for T-P, and 43.3 kg/ha for COD_{Cr}, which are smaller than the reported values for Kosei area in Japan.

Keywords : Large-scaled plot, Paddy area, Pollutant unit load, Irrigation season, Runoff load

I. 서 론

산업체나 도시에서 유출된 점원오염이 오수 처리 기술의 진전과 함께 상당량 제거됨에 따라 호소와

같은 폐쇄성 수역에서 농업 등에 의한 비점원오염이 차지하는 비율은 점점 증대되고 있다.

논으로부터의 비점원오염은 비료성분이나 유사의 유출에 의하여 발생되는데 (Tabuchi et al., 1991), 이것은 농도는 작으나 수량이 많아서 폐쇄성 수역에서의 총오염부하량에 차지하는 비중은 크다. 유역의 오염부하량을 산정하는데 있어서 오염부하 원단위법은 간편함으로 인해 많이 사용되고 있는데, 일본에서는 여러 가지 형태의 논에 대한 오염부하 원단위(이하 '원단위'라고 함)가 제시되었다 (Kuni-

* 충북대학교 대학원

** 충북대학교 농과대학

*** 농업기반공사

**** 건국대학교 농업생명과학대학

** Corresponding author. Tel.: +82-43-261-2573

fax: +82-43-271-5922

E-mail address: jskim@cbucc.chungbuk.ac.kr

matsu and Muraoka, 1989).

농업생산성의 제고를 위하여 1993년부터 시작된 대구획(표준구획 1 ha) 경지정리는 1999년 현재 6만 7천 ha에 달하고 있다 (Ministry of Agriculture and Forestry, 2000). 대구획논은 금후 농업생산기반에서 중추적인 역할을 담당할 것으로 예상되는데, 대구획논에서의 오염물질의 농도 특성은 어느 정도 파악되었으나 (Kim et al., 1999; Kim et al., 2001), 이에 대한 원단위는 아직 신뢰성있는 자료를 얻고 있지 못한 실정에 있다.

이에 본 연구에서는 대구획 광역논을 대상으로 유량 및 수질 모니터링을 기초로 하여 1999년과 2000년도 관개기의 오염물질(질소, 인 및 COD)의 농도 및 부하 특성을 조사하고, 원단위를 산정함으로써 유역 수질관리의 기초 자료를 제시하고자 한다.

II. 조사지구 및 조사방법

1. 조사지구

본 연구의 조사지구는 충청북도 청원군 옥산면 소로리에 위치한 대구획의 광역논 지구이다. 농경지 면적은 41.9 ha이나, 강우시의 유역면적은 논, 수로 및 제방까지의 분수선까지 포함하여 50.1 ha가 된다. 본 지구는 금강수계의 지류인 미호천의 여천보를 용수원으로 하여 하천변의 충적 평야에 위치하고 있으며, 1996년도에 대구획 경지정리 사업이 시행되어 표준 단위구획 면적이 1 ha(100 m × 100 m)로 되어 있다. 용·배수로는 콘크리트 개수로로 되어 있고 용·배수는 분리되어 있다. 본 지구의 토양은 미 농무성의 삼각좌표 분류법에 의해 롬(loam)으로 나타났다.

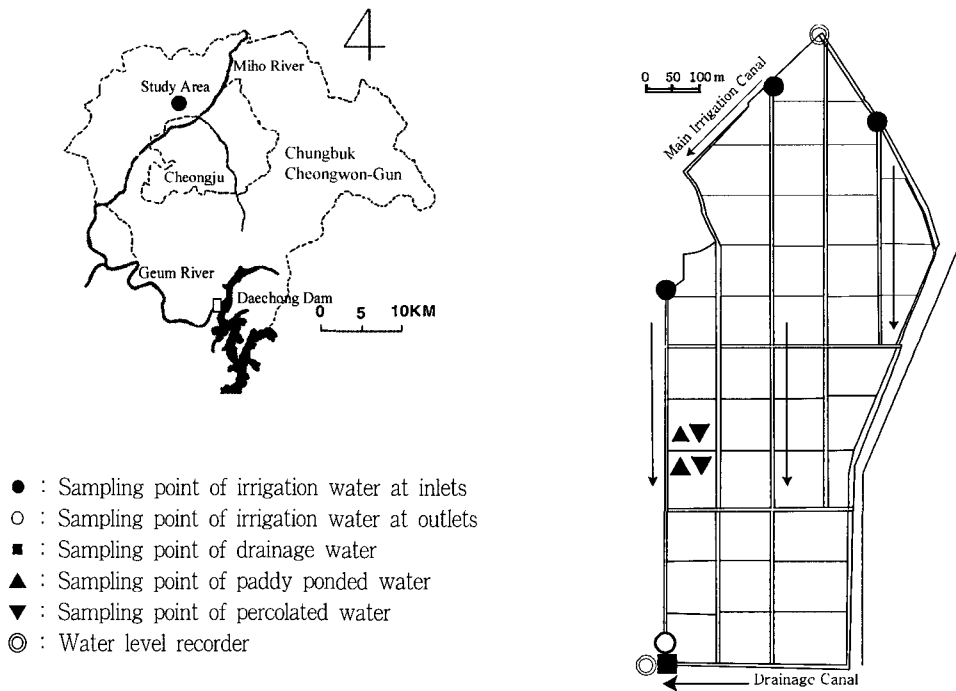


Fig. 1 Study area, Soro

유량 및 수질의 측정점으로서 Fig. 1과 같이 용수로 시점 3곳, 용수로 말단 1곳, 배수로 말단 1곳, 논 표면수 2곳, 침투수 2곳을 선정하였다.

2. 조사방법

유량 및 수질측정은 Fig. 1과 같은 측정점에서 1999년은 5월 1일부터 9월 23까지, 2000년은 5월 1일부터 9월 26일까지의 관개기 동안 이루어졌는데, 시비기인 5월 중순~6월 중순에는 5일 간격으로, 그 외의 기간에는 10일 간격으로 수행되었다. 용·배수로에 수위에 따라 선형으로 변동하는 압력식 수위계(Global water사의 WL-14 water level logger)를 설치하고 압력-유량의 관계식을 작성하여 압력값으로부터 용·배수의 유량을 산정하였다. 강우량으로서는 1999년도에는 조사 지구에서 약 5 km 떨어진 청주 기상대의 자료를 이용하였으며, 2000년에는 조사 지구 내에 설치된 자기강우계로부터 얻은 실측값을 이용하였다. 강우수질은 지구에서 약 6 km 떨어진 충북대학교 농과대학에서 채수한 것을 사용하였다. 침투수는 PVC 유공관을 막아 논의 지하 약 1 m 되는 지점에서 채수하였다. 침투량은 침투량계를 이용하여 측정하였고 증발산량은 감수심 측정계로부터 측정된 감수심에서 침투량을 감(減)함으로써 얻었다.

채수한 시료는 실험실로 가지고 와서 총질소(T-N), 총인(T-P), 화학적산소요구량(COD)의 농도를 분석하였다. T-N과 T-P는 환경부 공정시험법(Ministry of Environment, 1997)에 의한 흡광광도법으로 분석하였으며, COD는 Standard Methods(American Public Health Association, 1995)에 의한 중크롬산칼륨을 이용하여 분석하였다.

III. 광역논에서의 물수지와 물질수지

광역논에서의 오염물질의 유출입은 관개배수, 강우 등과 같은 물의 흐름에 크게 영향을 받고 있다.

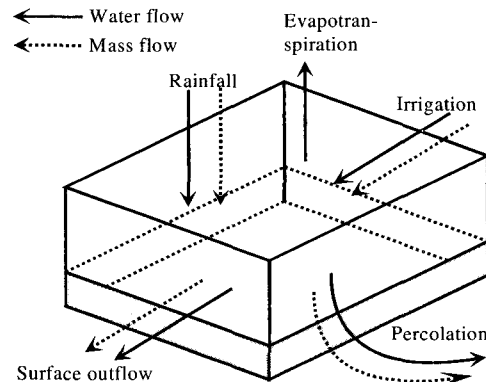


Fig. 2 Water and mass flows in paddy field area

광역논에서의 물수지(water balance)와 물질수지(mass balance)는 Fig. 2와 같다.

관개 기간중의 광역논에서의 물수지는 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\Delta W = R + I - SO - P - ET \dots\dots\dots(1)$$

여기서, ΔW : 저류량(貯留量) 변화, R : 강수량, I : 용수량, SO : 지표유출량, P : 침투유출량, ET : 증발산량이다.

물수지에서 유입량은 강수량과 용수량으로 구성되고, 유출량은 지표유출량, 침투량 및 증발산량으로 구성된다. 또한 물질수지에는 유입부하량(inflow load)과 유출부하량(outflow load)이 있는데, 유입부하량은 용수부하량과 강수부하량으로 구성되고, 유출부하량은 지표유출부하량과 침투유출부하량으로 구성된다.

광역논에서의 원단위는 식(2)과 같이 산정된다(Kunimatsu and Muraoka, 1989).

$$\text{원단위} = \text{지표유출부하량} + \text{침투유출부하량} - \text{용수부하량} \dots\dots\dots(2)$$

IV. 결과 및 고찰

1. 시비량 조사

농가를 대상으로 한 시비량 조사는 1998년과

Table 1 Nitrogen and phosphorus application rate for a study area

Type of fertilizing	Period	Nitrogen (kg/ha)		Phosphorus (kg/ha)	
		1998	2000	1998	2000
Basal dressing	4/E~5/M	64.1	71.3	21.4	23.3
Topdressing at tillering stage	5/L~6/M	69.7	71.6	0.0	0.0
Topdressing at panicle formation stage	7/E~8/L	30.5	36.7	0.0	0.2
Total		164.3	179.6	21.4	23.5

2000년에 실시되었는데, 이에 대한 결과는 Table 1과 같다. 질소는 일반적으로 기비(基肥), 분얼비(分蘖肥), 수비(穗肥)로서 3회 시비되고, 인은 기비로서만 시비되고 있다. 관개기간 중 가구당 평균 시비량은 질소가 1998년도에는 164.3 kg/ha, 2000년도에는 179.6 kg/ha이었으며, 인은 각각 21.4 kg/ha, 23.5 kg/ha로서 2000년에는 시비량이 약간 증가한 것으로 나타났다.

2. 물수지

관개기간중의 물수지는 1999년 5월 1일부터 9월 23일과 2000년 5월 1일부터 9월 26일까지 조사하였다. 조사지구 대한 월별 총 유·출입량은 Table. 2와 같고, 강우량, 용수량, 유역말단의 배수량 등의 일별 변동은 Fig. 3과 같다. 조사기간 중 강우량은 1999년도 890 mm, 2000년도 1,212

Table 2 Inflow and outflows at the study area

Year	Month	Inflow (mm)			Outflow (mm)			
		Irrigation	Rainfall	Subtotal	Surface outflow	Percolated	Evapotranspiration	Subtotal
1999	May	959.6	102.4	1,062.0	943.0	31.3	NA	974.2
	Jun.	873.7	191.1	1,064.8	961.2	58.5	NA	1,019.8
	Jul.	657.8	122.4	780.2	520.0	13.5	NA	533.6
	Aug.	654.8	197.4	852.2	661.8	29.8	NA	691.6
	Sep.	544.5	276.8	821.3	969.1	14.2	NA	983.4
	Total	3,690.4	890.1	4,580.5	4,055.2	147.4	NA	4,202.5
2000	May	944.8	40.8	985.6	769.2	43.2	139.5	952.0
	Jun.	815.5	192.6	1,008.1	895.4	41.6	112.0	1,048.9
	Jul.	557.7	225.6	783.3	650.9	53.8	122.3	827.0
	Aug.	603.2	494.2	1,097.4	887.2	33.4	164.8	1,085.4
	Sep.	238.4	259.0	497.4	528.6	35.8	131.9	696.3
	Total	3,159.6	1,212.2	4,371.8	3,731.2	207.9	670.6	4,609.7

NA = Not available

* until Sep. 23

** until Sep. 26

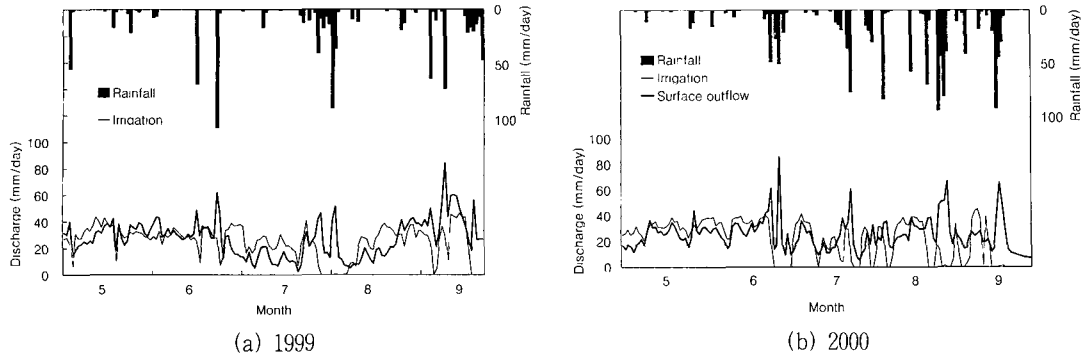


Fig. 3 Temporal variation of rainfall, irrigation water and surface outflow during irrigation seasons

mm를 나타냈고, 용수량(조용수량)은 각각 3,690 mm, 3,160 mm를 나타냈다. 1999년도 5일 또는 10일별로 측정된 결과, 용수량 중 44%는 논에 유입되지 않고 용수로 말단의 유말공(流末工)에서 배수로로 직접 방류되고 있는 것으로 나타났다.

유출량은 지표유출량과 침투유출량의 합으로 구성되는데, 지표유출량은 1999년도에는 4,055 mm, 2000년도에는 3,731 mm를 나타냈다. 9월에는 유출량이 유입량보다 크게 나타났는데, 이는 용수공급은 9월 중순에 중단되나, 논으로부터의 유출은 9월 하순까지 계속되기 때문으로 생각된다.

침투유출량은 각각 147 mm (1.0 mm/d), 208 mm (1.4 mm/d)로써 논 토양으로서는 비교적 작은 값으로 나타났다. 증발산량은 2000년에만 측정

되었는데, 관개기 동안의 총 증발산량은 671 mm로서 평균 일증발산량은 4.5 mm/d를 나타냈다.

3. 수질의 평균농도

1999년과 2000년도 조사기간 동안의 용수, 유역말단의 배수, 논표면수, 침투수, 강우의 농도의 평균값, 최대값 및 최소값은 Table 3과 같다. 여기서 용수, 배수, 침투수 및 강우는 유량가중평균을 사용했으며, 논표면수는 산술평균을 사용하였다.

용수의 평균농도는, T-N이 2.7 mg/L, T-P가 0.09 mg/L, COD가 12.6 mg/L를 나타냈다. 용수 수질을 보면, T-N은 농업용수 수질기준(1 mg/L 이하)을 만족하지 못하나, T-P는 수질기준(0.1

Table 3 Summary of pollutants concentrations in the paddy area during irrigation seasons of 1999~2000

Water type	T-N (mg/L)			T-P (mg/L)			COD (mg/L)		
	Mean	Max	Min	Mean	Max	Min	Mean	Max	Min
Irrigation ^o	2.7	4.6	0.8	0.09	0.18	0.04	12.6	19.3	5.9
Surface outflow ^o	2.6	13.4	0.7	0.08	0.20	0.02	12.0	19.7	2.5
Ponded ^o	3.2	15.1	0.7	0.12	0.63	0.10	19.5	49.4	7.5
Percolated ^{oo}	2.6	6.5	0.4	0.02	0.07	0.00	7.7	18.1	1.0
Rainfall ^o	0.7	1.8	0.2	0.02	0.05	0.01	5.0	10.8	1.8

* : flow-weighted mean

** : arithmetic mean

mg/L 이하)를 만족하고, COD는 수질기준(12.0 mg/L 이하)에 근접하는 것으로 나타났다. 우리나라에서는 망간법에 의한 COD_{Mn}의 수질기준은 8.0 mg/L로 되어 있는데, 여기서는 크롬법에 의한 값으로 환산(약 1.5 배)하여 비교하였다.

T-N 평균농도는 논표면수가 가장 높고 용수, 배수 및 침투수 사이에서 뚜렷한 차를 보이지 않았으나, T-P와 COD의 평균농도는 논표면수>용수(혹은 배수)>침투수의 순으로 나타났다. 또한 강우의 평균수질은 모든 수질항목에서 용수, 배수, 논표면수에 비하여 가장 낮게 나타났다.

4. 유입부하량과 유출부하량의 산정

가. 부하량의 산정방법

유입부하량은 용수부하량과 강우부하량의 합으로, 유출부하량은 지표유출부하량과 침투유출부하량의 합으로 계산되었다. 관계기간 동안의 용수, 강우, 침투유출부하량 및 지표유출부하량은 각각 식(3a)~(3d)와 같이 산정되었다.

$$[\text{용수부하량}] = \Sigma[\text{5일 또는 10일별의 평균농도}] \times [\text{5일 또는 10일별의 총용수량}] \dots\dots (3a)$$

$$[\text{강우부하량}] = \Sigma[\text{월별 강우평균농도}] \times [\text{월별 강우량}] \dots\dots (3b)$$

$$[\text{침투유출부하량}] = \Sigma[\text{5일 또는 10일별의 평균농도}] \times [\text{5일 또는 10일별 총침투량}] \dots\dots (3c)$$

$$[\text{지표유출부하량}] = \Sigma[\text{5일 또는 10일별 평상시의 평균농도}] \times [\text{5일 또는 10일별 평상시의 총유출량}] + [\text{강우시 지표유출부하량}] \dots\dots (3d)$$

나. 강우시 지표유출부하량의 산정

광역으로부터의 지표유출부하량은 Fig. 4와 같이 평상시와 강우시의 지표유출부하량으로 구분하였다. 논에서는 강우시에 용수공급의 중지, 낙수와 같은 인위적인 물관리가 있어, 유출곡선에서 강우시의 지표유출량을 엄밀히 구별하기가 용이하지 않다. 본 논문에서는 강우로 인해 유출곡선이 상승한

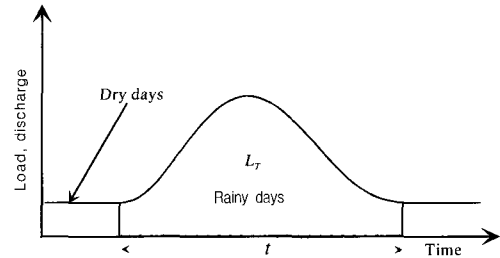


Fig. 4 Definition of surface outflow in rainy days

후 다시 하강하여 상승전의 유량으로 된 시점까지의 유출을 강우시 유출(Fig. 4에서 빗금친 부분)로 간주하였다.

강우시 총지표유출부하량은 식(4)와 같이 강우시 시간별 지표유출부하량의 합으로 표현된다.

$$L_T = \int l_T dt \dots\dots (4)$$

여기서, L_T : 강우시 총지표유출부하량(kg/ha),

l_T : 강우시 시간별 지표유출부하량(kg/ha · h)

강우시의 시간별 지표유출부하량(l_T)과 시간별 지표유출량(q_T)의 관계를 지수식으로 나타내면 식(5)과 같다.

$$l_T = a \cdot q_T^b \quad (a, b : \text{상수}) \dots\dots (5)$$

1999년과 2000년 관개기 동안 강우시의 지표유출부하량(l_T)과 지표유출량(q_T)의 관계는 Table 4와 Fig. 5에 나타났다.

1999년~2000년 동안 측정한 6개 강우사상에 대한 오염물질의 농도는 시비기와 비시비기 간에는 큰 차이가 있고, 또한, 비시비기에도 연도별(1999년과 2000년)로 차이가 있어 각각의 경우에 다른 지수식을 사용하였다.

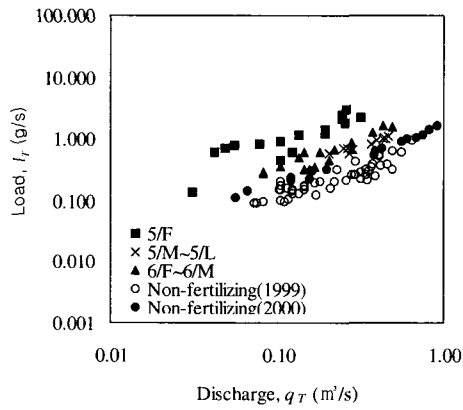
관개기 동안 같은 유량에 대한 지표유출부하량은 관개초기(5월 초순~6월 초순)와 그 외의 기간에는 시비의 영향으로 큰 차이를 보이고 있다(Kim et al., 2001). 따라서, 강우시 T-N, T-P 및

Table 4 Coefficients of the $l_T = aq_T^b$

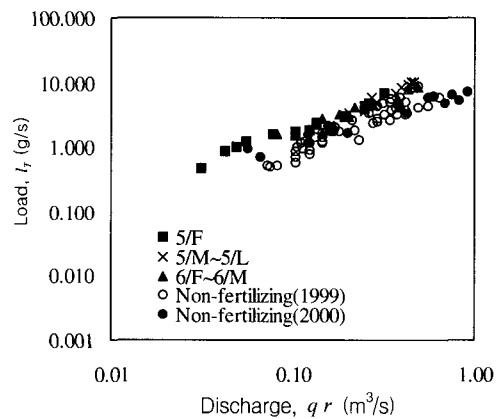
(Unit: l_T :g/s, q_T :m³/s)

Periods		Fertilizing			Non-fertilizing	
		5/E	5/M~5/L	6/E~6/M	1999	2000
No. of storm events		1	1	1	2	1
No. of samples		17	12	16	49	16
T-N	a	7.04	1.95	2.97	0.81	1.57
	b	0.91	0.80	0.99	0.83	0.92
	r ²	0.76 ^{***}	0.89 ^{***}	0.85 ^{***}	0.82 ^{***}	0.99 ^{***}
T-P	a	0.38	0.13	0.11	0.12	0.09
	b	0.94	1.13	1.21	1.38	1.06
	r ²	0.68 ^{***}	0.72 ^{***}	0.86 ^{***}	0.75 ^{***}	0.96 ^{***}
COD	a	16.62	31.24	15.20	13.95	7.84
	b	0.97	1.46	0.97	1.24	0.80
	r ²	0.97 ^{***}	0.94 ^{***}	0.90 ^{***}	0.90 ^{***}	0.94 ^{***}

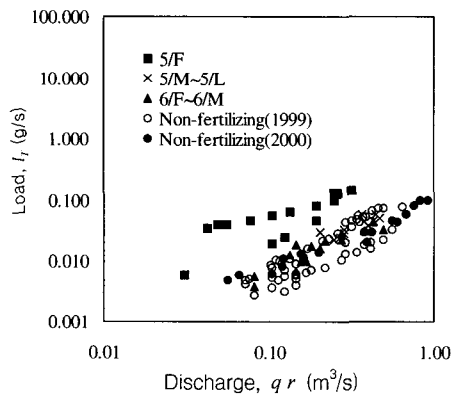
*** :Significant at $p < 0.001$ level



(a) T-N



(c) COD



(b) T-P

Fig. 5 Relationship between discharge and load in the storm events

COD의 관계식(L-Q식)은 기비와 분얼비가 시용(施用)되는 관개초기를 시비기로 간주하고, 또한, 시비기를 Table 4와 같이 3개의 시기로 구분하여 강우시의 지표유출부하량을 산정하였다.

5. 평상시와 강우시의 유출부하량의 비교

측정기간 동안의 평상시와 강우시의 유출량과 유출부하량을 정리하면 Table 5와 같다. 1999년과

Table 5 Ratios of the runoff load in rainy days to total runoff load

Year	Item	Surface outflow ($\times 10^3 \text{ m}^3$)	T-N (kg)	T-P (kg)	COD (kg)
1999	① Dry days	1,405.6	3,658.8	116.0	15,251.9
	② Rainy days	341.0	579.2	35.8	4,098.0
	③=①+② Total	1,746.6	4,237.9	151.8	19,349.8
	④=②/③ (%)	19.5	13.7	23.6	21.2
2000	⑤ Dry days	1,151.7	3,756.5	91.0	14,939.4
	⑥ Rainy days	484.6	874.9	40.1	5,094.8
	⑦=⑤+⑥ Total	1,636.3	4,631.4	131.1	20,034.2
	⑧=⑥/⑦ (%)	29.6	18.9	30.6	25.4
Mean	⑨=(②+⑥)/(③+⑦) (%)	24.4	16.4	26.8	23.3

2000년의 총유출량에 대한 강우시 유출량의 비율은 각각 19.5와 29.6%로서 2년 간의 평균값은 24.4%를 나타냈다. 이 평균값 24.4%는 총면적 11.6 ha(단일 필지 0.3 ha)로 경지정리가 이루어진 일본 코세이(甲西)지구의 값 19.9%(Takeda et al., 1991)보다 약간 높은 값에 해당된다.

2년 간의 총유출부하량에 대한 강우시 유출부하량의 비는 T-N이 16.4%, T-P가 26.8%, COD가 23.3%로 나타나, T-P와 COD가 각각 T-N의 1.6, 1.4배의 값을 보였다. 이는 일본 코세이지구에서의 총유출부하량에 대한 강우시 유출부하량의 비인 T-N 10.8%, T-P 20.9%보다 큰 것으로 나타났다.

6. 월별 오염부하 원단위

가. T-N

1999년과 2000년 관개기 동안의 T-N의 월별 유입부하량, 유출부하량, 원단위는 Table 6과 같다. 총유입부하량은 1999년에는 104.4 kg/ha, 2000년에는 94.4 kg/ha로 나타났으며, 총유출부하량은 각각 102.6 kg/ha, 113.5 kg/ha로 나타났다. 총유출부하량중 5월과 6월의 유출부하량이 차지하는 비율은, 1999년도에는 70%, 2000년도에는

53%로 나타났다. T-N의 원단위는 월별, 연별로 크게 변동하며, 음(-)인 경우도 있으나 6월, 9월에는 양(+)의 값으로 나타났다. 여기서 원단위가 음(-)이라는 것은 논이 오염물질을 흡수하는 곳(sink)으로서 작용하고 있다는 것을 의미한다.

나. T-P

관개기중 T-P의 총유입부하량은 1999년은 3.59 kg/ha, 2000년은 2.82 kg/ha로 나타났으며, 총유출부하량은 1999년은 3.53 kg/ha, 2000년은 3.03 kg/ha로 나타났다(Table 7). 총유출부하량중 시비의 영향을 받은 5월과 6월의 유출부하량의 비율은 1999년에는 66%, 2000년에는 53%로 50%이상이 유출되는 것으로 나타났다. 두 해 모두 T-P도 T-N과 마찬가지로 원단위는 6, 9월에는 양(+)의 값을 나타냈다.

다. COD

관개기중 COD의 총유입부하량은 1999년에는 462.4 kg/ha, 2000년에는 500.8 kg/ha로 나타났으며, 총유출부하량은 1999년에 458.1 kg/ha, 2000년에 476.9 kg/ha로 나타났다(Table 8). 총유출부하량중 5, 6월이 차지하는 유출부하량은 1999년에 59%, 2000년에 55%를 차지하고 있는

Table 6 Inflow and outflow loads of the T-N at the paddy field area

(Unit:kg/ha)

Year	Month	Inflow			Outflow			Unit load ⑥-②
		① Rainfall	② Irrigation	③ Subtotal ①+②	④ Percolated	⑤ Surface outflow	⑥ Subtotal ④+⑤	
1999	May	1.8	33.9	35.7	0.79	34.3	35.1	1.2
	Jun.	3.1	30.0	33.1	1.75	35.4	37.2	7.2
	Jul.	0.8	10.2	11.0	0.13	6.9	7.0	-3.2
	Aug.	0.3	13.8	14.2	0.30	7.7	8.0	-5.9
	Sep.	1.2	9.2	10.3	0.28	15.1	15.3	6.2
	Total	7.2	97.1	104.4	3.26	99.3	102.6	5.5
2000	May	0.6	29.7	30.3	0.63	28.9	29.5	-0.2
	Jun.	1.7	30.3	32.0	2.20	28.8	31.0	0.7
	Jul.	1.0	12.5	13.5	2.64	16.0	18.7	6.2
	Aug.	2.5	8.7	11.2	0.38	12.9	13.3	4.5
	Sep.**	1.5	6.0	7.5	0.25	20.8	21.1	15.1
	Total	7.2	87.2	94.4	6.11	107.4	113.5	26.3

* until Sep. 23

** until Sep. 26

Table 7 Inflow and outflow loads of the T-P at the paddy field area

(Unit:kg/ha)

Year	Month	Inflow			Outflow			Unit load ⑥-②
		① Rainfall	② Irrigation	③ Subtotal ①+②	④ Percolated	⑤ Surface outflow	⑥ Subtotal ④+⑤	
1999	May	0.01	1.41	1.42	0.005	1.38	1.39	-0.02
	Jun.	0.03	0.79	0.82	0.014	0.92	0.93	0.15
	Jul.	0.01	0.39	0.40	0.002	0.24	0.24	-0.15
	Aug.	0.02	0.41	0.43	0.003	0.40	0.40	-0.01
	Sep.	0.03	0.49	0.52	0.002	0.56	0.56	0.07
	Total	0.10	3.49	3.59	0.027	3.50	3.53	0.04
2000	May	0.02	0.98	0.99	0.017	0.82	0.83	-0.14
	Jun.	0.03	0.56	0.59	0.008	0.76	0.77	0.21
	Jul.	0.11	0.42	0.52	0.007	0.50	0.51	0.09
	Aug.	0.04	0.32	0.36	0.005	0.57	0.58	0.26
	Sep.**	0.09	0.27	0.36	0.010	0.33	0.34	0.07
	Total	0.28	2.54	2.82	0.047	2.98	3.03	0.49

* until Sep. 23

** until Sep. 26

Table 8 Inflow and outflow loads of the COD at the paddy field area

(Unit:kg/ha)

Year	Month	Inflow			Outflow			Unit load ⑥-②
		① Rainfall	② Irrigation	③ Subtotal ①+②	④ Percolated	⑤ Surface outflow	⑥ Subtotal ④+⑤	
1999	May	4.8	136.7	141.5	1.5	150.4	151.9	15.2
	Jun.	5.9	102.0	107.9	5.5	110.8	116.3	14.2
	Jul.	12.0	78.7	90.6	1.0	53.0	54.0	-24.7
	Aug.	12.1	69.8	81.9	1.8	68.7	70.5	0.6
	Sep. [*]	4.8	35.6	40.5	0.4	65.2	65.5	29.9
	Total	39.6	422.8	462.4	10.1	448.0	458.1	35.3
2000	May	4.4	158.6	163.0	1.5	122.5	124.0	-34.6
	Jun.	5.8	124.4	130.2	2.9	137.6	140.5	16.1
	Jul.	11.6	83.6	95.2	4.6	72.6	77.2	-6.4
	Aug.	28.7	49.2	77.9	5.2	83.9	89.0	39.8
	Sep. ^{**}	14.5	20.1	34.6	3.0	43.2	46.2	26.0
	Total	64.9	436.0	500.8	17.2	459.7	476.9	40.9

* until Sep. 23

** until Sep. 26

며, COD는 6, 8, 9월에는 양(+)의 값을 나타냈다.

이와 같이 월별원단위는 용·배수의 유량 및 농도에 따라 크게 변동하는데, 6월과 9월에는 양의 값을 나타냈다. 월별원단위가 6월과 9월에 양의 값을 나타내는 이유는 6월에는 시비의 영향으로 배수 농도가 용수 농도보다 높고, 9월에는 배수량이 용수량보다 많기 때문으로 생각된다.

7. 관개기의 원단위

1999년과 2000년의 조사일수는 각각 146일과 149일이었는데, 이 동안의 원단위 평균값은 T-N이 16.0 kg/ha, T-P가 0.27 kg/ha, COD가 38.1 kg/ha로 나타났다 (Table 9의 ⑤). 그러나 실제로 못자리용수를 위하여 관개가 개시된 것은 4월 11일 경이므로 실제의 관개기간은 각각 166일과 169일에 해당한다. 따라서, 평균 관개기간을 168일로 간주하여 환산하면 원단위의 평균값은 T-N

이 18.2 kg/ha, T-P가 0.31 kg/ha, COD가 43.3 kg/ha로 된다 (Table 9의 ⑥). 원단위는 시비조건, 유출입량 등에 크게 좌우되어 월별, 연별로 변동하는 것으로 나타났다.

소로지구의 원단위를 일본 코세이지구의 값과 비교하였는데, 코세이지구의 1987년과 1988년의 평균 용수량은 3,735 mm, 강수량은 1,970 mm, 유출량은 4,075 mm이었으며, 평균 시비량은 질소가 106.4 kg/ha, 인이 51.4 kg/ha이었다 (Takeda et al., 1991).

코세이지구의 평균 관개기간은 138일이었는데, 이 동안의 원단위는 T-N이 22.1 kg/ha, T-P가 7.48 kg/ha, COD_{Min}가 62.0 kg/ha로 산정되었다. 소로지구의 원단위를 코세이지구와 비교하면, 관개기간이 30일 정도 길었음에도 불구하고 T-N은 약간 낮고 T-P는 매우 낮게 나타났다. 특히 T-P의 값이 낮은 것은 인의 시비량이 소로지구가 22.5 kg/ha로서 코세이지구의 1/2 이하로 낮기 때문으

Table 9 Unit loads of pollutants in a paddy fields area during irrigation seasons

(Unit: kg/ha)

Constituent	Year	① Irrigation water	② Surface outflow	③ Percolated outflow	④ Unit loads of pollutants ②+③-①	⑤ Average unit loads of pollutants (148 days)	⑥ Average unit loads of pollutants during irrigation seasons (168 days)	Average unit loads of pollutants at Kosei in Japan (138 days)
T-N	1999	97.1	99.3	3.3	5.5	16.0	18.2	22.1
	2000	87.2	107.4	6.1	26.3			
T-P	1999	3.49	3.50	0.03	0.05	0.27	0.31	7.48
	2000	2.54	2.98	0.05	0.49			
COD	1999	422.8	448.0	10.1	35.3	38.1	43.3	62.0*
	2000	436.0	459.7	17.2	40.9			

Note : * indicates COD_{Mn}

로 사료된다. 한편, COD의 경우, 망간법으로 분석한 코세이지구에서의 값 62 kg/ha를 1.5배하여 크롬법으로 환산하면 93 kg/ha 정도로 추정되어 소로지구의 원단위는 코세이지구보다 낮은 것으로 판단된다.

V. 결 론

본 논문에서는 하천관개를 하는 대구획 광역논을 대상으로 1999~2000년 관개기 동안의 오염물질(질소, 인 및 COD)의 물질수지 특성을 파악하고 오염부하 원단위를 산정하였다. 여기서 얻은 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 조사지구의 조용수량은 1999년에는 3,690 mm, 2000년에는 3,160 mm로 논용수량으로는 많은 양을 나타냈는데, 1999년도에는 이 중 44%가 논으로 유입되지 않고 용수로 말단의 유말공(流末工)에서 방류되고 있는 것으로 나타났다.

2. 지표유출부하량은 평상시와 강우시로 구분하여 산정하였는데, 강우시의 지표유출부하량 산정에는 지수식으로 된 유출부하량과 유출량의 관계식(L-Q식)을 사용하였으며, L-Q식은 시비기와 비시비기로 구분하였고, 더욱이 비시비기는 연도별로 구분하였다.

3. 총지표유출부하량에 대한 강우시의 지표유출부하량의 비는 T-N이 16.4%, T-P가 26.8%, COD가 23.3%로서, T-P와 COD는 T-N보다 각각 1.6, 1.4배의 높은 값을 나타냈다.

4. 원단위는 월별, 연별로 크게 변동하며, 월별 원단위는 음(-)의 경우도 있으나, 6월과 9월에는 양(+)의 값을 나타냈다. 월별원단위가 6월과 9월에 양의 값을 나타내는 이유는 6월에는 배수 농도가 용수 농도보다 높고, 9월에는 배수량이 용수량보다 많기 때문으로 생각된다.

5. 2년 관개기 동안(약 168일간)의 원단위 평균 값은 T-N이 18.2 kg/ha, T-P가 0.31 kg/ha, COD가 43.3 kg/ha로 산정되었는데, 이것을 일본 코세이(甲西)지구의 광역논에서의 값과 비교하면 관개기간이 30일 정도 길었음에도 불구하고 모든 수질항목에서 낮게 나타났다.

여기서 산정된 원단위는 하천관개지구로서 내리 흘림식 관개에 의해 용수량이 많은 광역논에 한정된 것으로, 이 값의 무분별한 사용에는 주의가 요망된다. 또한, 정도(精度)가 높은 원단위 특성을 파악하기 위해서는 비관개기를 포함한 장기간의 모니터링이 필요할 것으로 생각된다.

본 연구는 농림부 농림기술개발연구과제(농지배수의 친환경적 관리 및 처리기법 개발)의 지원에 의하여 수행되었습.

References

1. Kim, J. S., S. Y. Oh, and K. S. Kim. 1999. Characteristics of concentration and load of nitrogen and phosphorus in paddy field areas, *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*, 41(4): 47-56. (in Korean)
2. Kim, J. S., S. Y. Oh, K. S. Kim, and S. K. Kwun. 2001. Characteristics of pollutants concentration at paddy field areas during irrigation periods, *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*, 43(6): 163-173. (in Korean)
3. Ministry of Agriculture and Forestry, 2000, *Yearbook of Agricultural Land and Water Development Statistics*. (in Korean)
4. Ministry of Environment, 1997, *Standard Methods for Water Quality*, 199-204, 208-209. (in Korean)
5. American Public Health Association, 1995, *Standard Methods for the Water and Wastewater Examination*, 19th ed., Washington, D. C.
6. Kunimatsu, T., K. Muraoka, 1989, *Analysis of River Pollution Model*, Kibodo Press, 50-60. (in Japanese)
7. Tabuchi, T., H. Kuroda, H. Saito, T. Takahashi, and T. Muroya, 1991, Nitrogen outflow during irrigation period from a small agricultural area - Research on outflow load from an agricultural area without a point source(II) -, *Trans. of the JSIDRE* 154: 55-64. (in Japanese)
8. Takeda, I., T. Kunimatsu, S. Kobayashi, and T. Maruyama., 1991, Pollutants balance of a paddy field area and its loadings in the water system - Studies on pollution loadings from a paddy field area(II) -, *Trans. of the JSIDRE* 153: 63-72. (in Japanese)