

지하수 관개지역 논에서의 배출부하 특성

Characteristics of Pollutant Loading from Paddy Field Area with Groundwater Irrigation

윤 춘 경* · 김 병 희** · 전 지 홍** · 황 하 선**

Yoon, Chun Gyeong · Kim, Byoung Hee · Jeon, Ji Hong · Hwang, Ha Sun

Abstract

Discharge pattern and water quality were investigated in the drainage water from about 10 ha of groundwater-irrigated paddy field in the growing season of 2001. Total discharge quantity was about 1,117.2 mm in which about 75% was caused by management drainage due to cultural practice of paddy rice farming and the rest by rainfall runoff where total rainfall was about 515 mm. Dry-day sampling data showed wide variations in constituent concentrations with average of 26.14 mg/L, 0.37 mg/L, 3.54 mg/L at the inlet, and 43.60 mg/L, 0.34 mg/L, 3.58 mg/L at the outlet for COD_{cr}, T-P, and T-N, respectively. Wet-day sampling data demonstrated that generally COD_{cr} followed the discharge pattern and T-P was in opposite to the discharge pattern, but T-N did not show apparent pattern to the discharge. Discharge and load are in strong relationship. And based on regression equation, pollutant loads from groundwater irrigation area are estimated to be 288.34, 1.17, and 5.45 kg/ha for COD_{cr}, T-P, and T-N, respectively, which was relatively lower than the literature value from surface water irrigation area which implies that groundwater irrigation area might use less irrigation water and result in less drainage water. Therefore, total pollutant load from paddies irrigation with groundwater could be significantly lower than that with surface water. This study shows that agricultural drainage water management needs a good care of drainage outlet as well as rainfall runoff. This study was based on limited monitoring data of one year, and further monitoring and successive analysis are recommended for more generalized conclusion.

Keywords : Paddy field, Groundwater irrigation, Management drainage, Pollutant load, COD_{cr}, T-P, T-N

I. 서 론

비점오염원은 크게 농촌지역의 농경지와 산지 그리고 도시지역으로 나눌 수 있다. 우리나라 국토의 대부분이 논과 밭과 같은 농경지와 산지이며, 산지에 비해 농경지에서의 부하량이 클 것으로 예상되나 농경지에서의 비점오염원 부하특성에 대한 연

* 건국대학교 생명환경과학대학

** 건국대학교 대학원

* Corresponding author. Tel.: +82-2-450-3747

fax: +82-2-446-2543

E-mail address: chunyoan@konkuk.ac.kr

구는 부족하다. 특히 우리 나라에서 연간 사용하는 수자원의 50% 이상이 농업용수로 이용되며 거의 대부분이 벼재배에 사용되는 점을 고려하면, 관개한 농업용수가 얼마나 벼재배에 직접 이용되며, 얼마나 배수되고, 배수된 물이 하류 수자원의 수질에 얼마나 영향을 미치며, 수자원의 수질보전을 위해서는 농지배수를 어떻게 관리하고 처리해야 하는지에 관한 연구가 필요하다. 이는 또한 지속적인 농업발전을 위해서는 반드시 해결해야 할 과제이다.^{5),9)}

논에서의 영양물질 유입에 관련된 연구는 Kwun et al.⁸⁾(1993), Hong과 Kwun³⁾(1989), 그리고 신과 Kwun¹⁰⁾(1990)이 농경지 원단위 비점원오염에 대한 연구를 수행하여 수질관리 및 예측에 관한 기초자료를 제시하였으며, 최근에는 Kim et al.⁷⁾(1999)에 의해 광역논에서의 질소, 인의 농도와 오염부하량 특성에 대한 연구가 수행되었으며, 또한 Cho et al.²⁾(2000)은 비영농기간 단일필지논으로부터의 영양물질의 유출 부하량을 연구한 바 있다. 이러한 연구과정에서는 필요한 현장실측자료를 구하기 위하여 많은 노력이 필요하고, 특히 장기간의 실측자료가 뒷받침되어야 실질적인 대책을 세울 수 있다는 어려움이 있다.

수리시설은 저수지를 용수원으로 하는 것이 총관개면적의 절반(54.5%)을 차지하고 있으며, 이 밖에 양배수장(17.3%), 보(11.9%), 집수암거(2.3%), 관정(1.7%), 기타(12.3%) 등이 보완해 주고 있다. 이와 같이 주된 수리시설이 저수지가 된 이유는 강우조건이나 하천 유형으로 볼 때 저류시설이 가장 안전성을 보장할 수 있기 때문이다. 그러나 안정된 용수공급이 용이한 저수지나 하천과는 달리 지하수 관개지역은 강우에 의한 의존도가 높은 단점이 있으며, 이에 농지배수의 재 이용 및 효율적인 관리가 보다 필요한 실정이다. 그럼에도 불구하고 지하수 관개지역의 농지배수에 대한 연구 자료가 전무한 실정이다.

이에 본 연구에서는 지하수 관개지역에서의 광역

논을 대상으로 2001년도 수도채배 기간인 5월 중순부터 9월 말 까지 COD_{cr} , T-P, T-N의 3항목에 대하여 평상시와 강우시의 유출 특성에 대하여 고찰하여 지하수관개지역의 농지배수 기초자료를 통하여 농업용수 및 수질관리에 도움을 주고자 한다.

II. 재료 및 방법

1. 연구대상 지역

연구대상 지구로는 경기도 여주군 가남면 오산리에 위치한 건국대학교 실습농장 부근의 광역논으로 총면적은 약 10 ha 정도이며 (Fig. 1) 지하수를 관개용수로 사용하고 있다. 배수로는 총 연장이 약 500 m이고 형태는 폭 1 m, 높이 0.8 m인 콘크리트 구조물의 장방형 수로로 되어있으며, 시료채취 및 유량측정은 유입구(No. 1)와 유출구(No. 2)에서 이루어졌다. 연구대상 지구 광역논에서의 영농 활동을 보면 4월 16일부터 물을 대기 시작하여 4월 30일까지 모든 광역논의 담수를 마쳤으며 5월 21일부터 5월 26일까지 경운 후 기비를 투여한 후에 5월 23일부터 5월 31일까지 재식거리 15×30 cm, 1주 4분씩 기계이앙을 실시하였다. 6월 7일부터 6월 9일까지 이삭비를 투여하였고, 7월 16일부터 7월 19일까지 분얼비를 투여하였다. 시비량은 농업과학기술원 고시 표준시비량을 기준으로 질소는 기비, 이삭비, 분얼비를 각각 50%, 30%, 20%의 비율로 시비하였으며, 인은 전량을 기비로 시비하였다.

2. 조사 방법

각 측정지점에서 유량 및 수질은 2001년 5월 중순부터 시작하여 9월 말까지 수도채배 기간중에 실시하였으며 평상시와 강우시로 구분하여 측정하였다. 평상시 유량 및 수질 측정은 1~2주일 간격으로 이루어졌으며, 강우시 유량 및 수질 측정은 수위의 변화를 기본으로 하여 일주기(강우초기부터

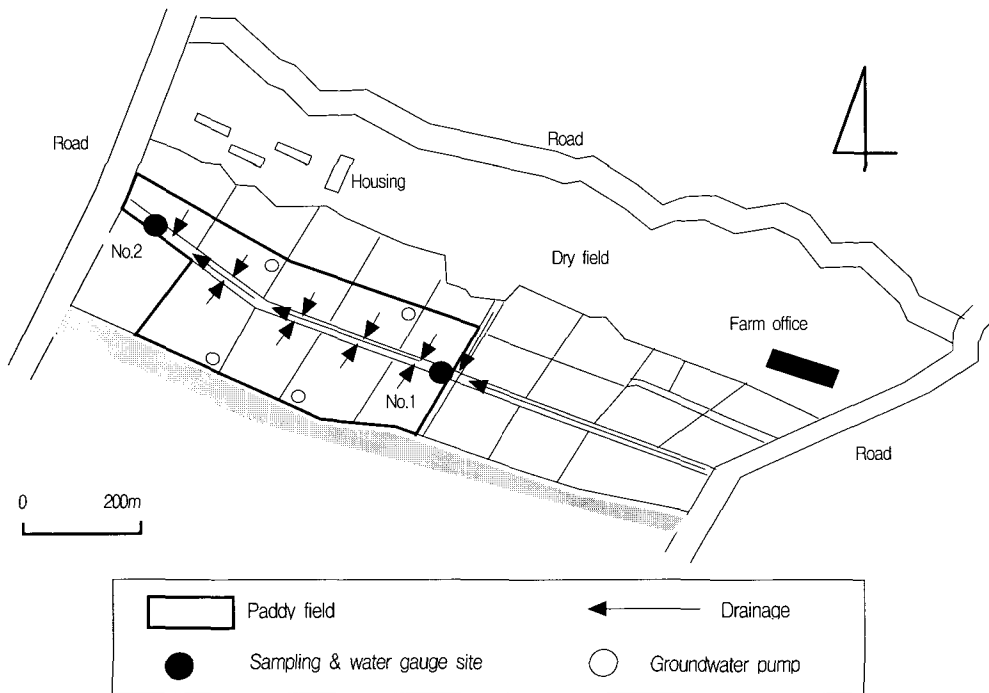


Fig. 1 Layout of study area

강우가 끝난 후 유량이 정상으로 돌아올 때까지 조사를 실시하였다. 또한 No. 1 과 No. 2 지점에 설치된 압력식 수위계의 압력값과 실측에 의해 계산된 유량과의 관계식을 도출함으로써 연속적인 유출량을 산정하였다. 배출 부하량 산정에 있어서는 평상시와 강우시 측정된 유량(m^3/s)과 농도(g/m^3)를 곱하여 배출 부하량(g/s)을 구한 후, 이때의 유량과의 회귀곡선식(L-Q식)을 산정한 후 압력식 수위계에 의해 산정된 유량을 L-Q식에 대입하여 영농기간 동안의 오염물질 부하량을 산정하였다. 수질분석은 농지배수에 있어서 COD_{cr} , T-P, T-N의 3항목에 대하여 Standard Methods¹⁾에 따라서 분석하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 농지배수량 측정

농지배수량을 측정하기 위해 압력식 수위계

(Global Water's WL-14 WaterLogger)를 배수로의 No. 1과 No. 2에 각각 설치하여 5월 15일부터 9월 30일까지 연속적인 압력변환식 수위계로부터 압력을 측정 한 후, 실측된 수위자료로부터 구한 P-H(압력-수위)식으로부터 연속된 수위자료를 획득하였다. 압력과 수위는 전형적인 양의 관계를 나타내었으며 No. 1과 No. 2 각각 0.9825, 0.9841로 높은 결정계수(R^2)를 나타내었다.

강우시와 평상시 실측된 유량과 수위와의 자료를 이용하여 수위-유량 곡선(H-Q 곡선)을 산출하였으며 그 결과는 Fig. 2와 같다. No. 1에서의 H-Q 상관식은 수위 20.7 cm를 기준으로 하여 다른 경향을 나타내었기 때문에 20.7 cm 이하일 경우와 20.7 cm를 넘었을 경우에 대하여 작성하였다. No. 2에서는 수위 21.2 cm를 기준으로 하여 다른 경향을 나타내었다. 그 결과 저수위 (No. 1 ($H \leq 20.7$ cm), No. 2 ($H \leq 21.2$ cm))와 고수위 (No.1 ($H > 20.7$ cm), No. 2 ($H > 21.2$ cm))에서 각각 수위-

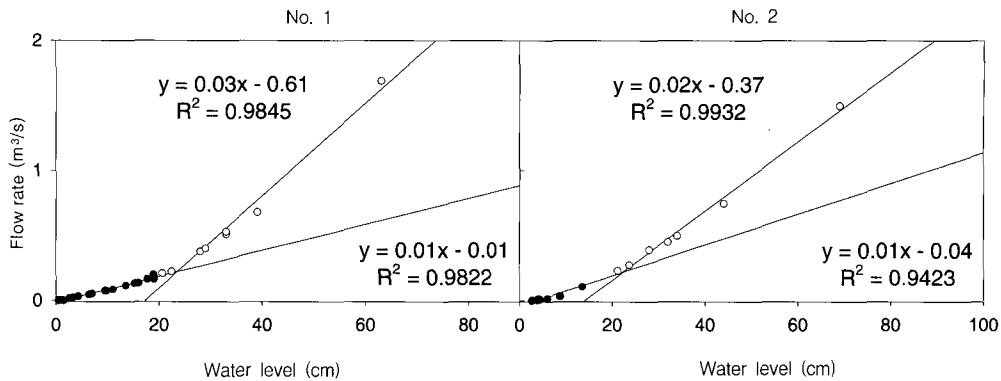


Fig. 2 Water level - Discharge equation (H-Q)

유량의 관계식은 Fig. 2와 같이 높은 결정계수를 나타내었다.

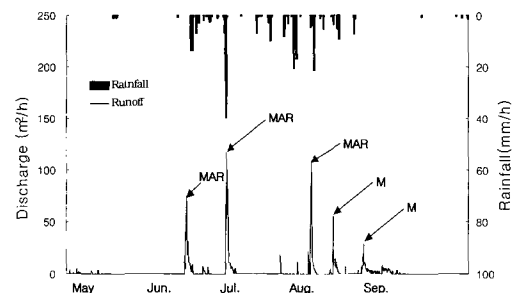
2. 농지배수 유출특성

논에서의 배출은 강우에 의한 유출(rainfall runoff)과 영농을 위한 누수에 의한 배출(management drainage)로 구분될 수 있다. 본 연구에서는 연속적으로 측정되는 압력자료와 압력-수위 관계식, 수위-유량 관계식을 이용하여 영농기간동안의 No. 1 지점과 No. 2 지점의 유량을 산정하였으며 그 결과는 Fig. 3과 같다. 대부분의 유출이 강우시 강우에 의한 유출과 낙수에 의한 배출이 동시에 일어났으나 영농 후기로 가서는 강우가 없었음에도 배출이 일어났는데 이는 낙수에 의한 배출로 생각된다. 따라서 지하수관개지역 농지배수의 경우, 강우시 강우에 의한 유출뿐 아니라 낙수에 의한 배출 또한 큰 부분을 차지하고 있으며, 강우에 의한 유출과 낙수에 의한 배출을 분리하여 순별 배출량을 구한 결과는 Table 1과 같다.

영농기간동안 총 강우량은 515.3 mm 였으며 이는 1999년 영농기간동안 총 강우량 1,353.5 mm와 2000년 1,132.5 mm 보다 현저히 작은 강우량을 보였으며(Table 2), 이 기간동안 총 배출량은 1,117.2 mm 였다. 이중 낙수에 의한 배출량은

831.2 mm 였으며 강우에 의한 배출량은 286.0 mm로써 낙수에 의한 배출량이 강우에 의한 유출량보다 현저히 크게 나타났다. 6월 중순과 말에는 중간낙수로 인한 배출이 일어났으며, 8월과 9월에는 완전 낙수에 의한 배출이 일어났다.

월별 유출특성을 보면 5월의 경우 총 강우량은 7 mm이었으며 29.5 mm의 유출이 일어났다. 이 기간은 영농 초기로 유출량은 강우량과 많은 상관성을 보이지 않으며, 수도재배를 위해 관개에 의해 유입된 필요수량의 잉여부분이 이양 후 유출된 것으로 생각된다. 6월과 7월에는 강우량은 212.5 mm와 202.4 mm로 비슷한 양을 나타내었다. 그러나, 6월 배출량은 낙수에 의한 619.9 mm와 강우



* MAR : Management drainage and rainfall runoff, M : Management drainage

Fig. 3 Rainfall and drainage during this study period (2001)

Table 1 Drainage depth of the study paddy field area by 10-day interval

Time*	Drainage (mm)			Rainfall (mm)	
	Management	Rainfall runoff	Total		
May	M	17.9	0.0	17.9	0.0
	L	11.6	0.0	11.6	7.0
	F	0.1	0.0	0.1	0.0
Jun	M	216.7	148.6	365.3	81.5
	L	403.1	61.9	465.0	131.0
	F	35.3	0.2	35.6	0.4
Jul.	M	0.0	2.5	2.5	48.4
	L	0.0	49.8	49.8	153.6
	F	18.3	22.9	41.2	67.6
Aug.	M	69.3	0.0	69.3	21.8
	L	21.3	0.0	21.3	0.0
	F	13.8	0.0	13.8	4.0
Sep.	M	5.1	0.0	5.1	0.0
	L	18.8	0.0	18.8	0.0
Total**		831.2 (74.4)	286.0 (25.6)	1,117.2 (100)	515.3

* F : First . M : Middle . L : Last

** Percent in ()

Table 2 Monthly rainfall of the study area in 1999, 2000, and 2001

	May	Jun	Jul.	Aug.	Sep.	Total
1999	124.0	134.0	280.0	244.0	571.5	1353.5
2000	67.0	146.0	322.0	386.0	211.5	1132.5
2001	7.0	212.5	202.4	89.4	4.0	515.3

에 의한 210.6 mm 로 총 830.4mm가 배출되었으며, 7월에는 낙수에 의한 35.3 mm와 강우에 의한 52.5 mm로 총 87.9 mm의 배출이 일어나서 낙수와 강우에 의해 발생된 배출량은 시기별로 많은 차이를 보였다. 이는 6월말 100 mm가 넘는 집중강우로 인하여 많은 양의 지표유출이 발생하였으며, 영농의 특성상 중간낙수를 위하여 물꼬를 완전 개방하였기 때문으로 생각되며, 7월은 분얼시기가 끝난 후 담수를 위하여 물꼬의 높이를 높였기 때문에 강우량에 비하여 유출이 작게 일어났다고 생각된다. 결국, 영농기간 동안의 배출량은 우선 강우의

Table 3 Pollutant concentrations during dry-day in drainage water (Unit: mg/L)

Date	COD _{cr}		T-P		T-N	
	No. 1	No. 2	No. 1	No. 2	No. 1	No. 2
5/17	45.24	79.70	0.44	0.46	2.60	3.20
5/25	19.69	28.16	0.23	0.23	1.90	1.96
6/20	19.14	29.26	0.21	0.24	1.75	2.04
6/24	15.00	52.50	0.26	0.18	2.75	2.61
7/01	10.00	10.00	0.17	0.13	2.37	4.56
7/22	16.79	30.76	0.16	0.25	1.12	2.13
8/17	21.08	26.53	0.26	0.21	2.25	1.70
8/30	68.56	98.62	1.38	0.95	15.07	10.77
9/03	21.31	45.48	0.27	0.40	2.34	4.08
9/21	24.61	35.03	0.34	0.30	3.23	2.77
Mean	26.14	43.60	0.37	0.34	3.54	3.58
Max.	68.56	98.62	1.38	0.95	15.07	10.77
Min.	10.00	10.00	0.16	0.13	1.12	1.70
S.D.*	17.57	26.91	0.36	0.24	4.09	2.69

* S.D. : standard deviation

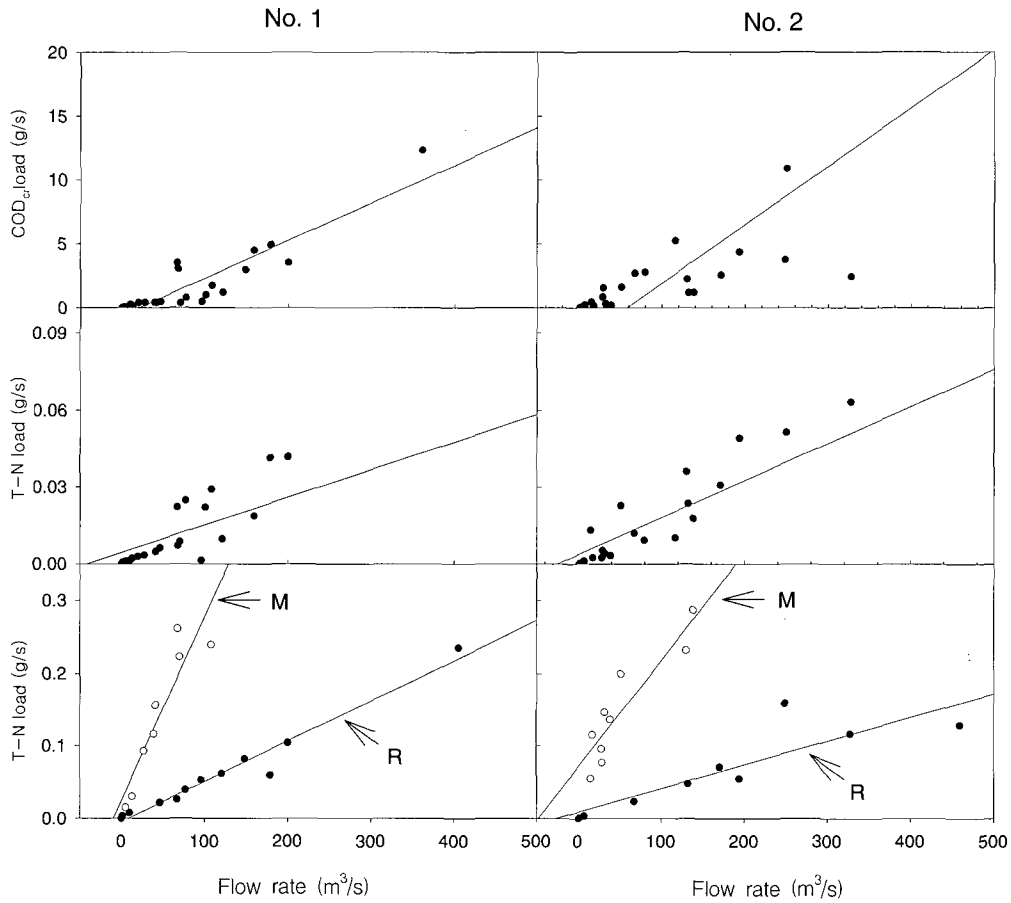
영향을 크게 받으나, 영농 특성에 따른 물꼬의 관리도 또한 크게 영향을 줄 것으로 판단된다.

3. 시기별 오염물질 배출특성

수질조사는 평상시와 강우시로 구분하여 평상시에는 정기적인 조사를 실시하여 시기별 수질특성을 파악하였고, 강우시에는 일주기 조사를 실시하였다. 평상시 광역논에서의 COD_{cr}, T-P, T-N 농도는 Table 3에 요약되었다.

영농기동안 평상시의 수질 농도는 No. 1 과 No. 2 지점에서 배수로의 흐름이 있을 경우에 한하여 측정을 하였다. No. 1 지점에서의 COD_{cr}, T-P, T-N 평균 농도는 각각 26.14 mg/L, 0.37 mg/L, 3.54 mg/L이었고, No. 2 지점에서는 각각 43.60 mg/L, 0.34 mg/L, 3.58 mg/L이었다.

No. 1과 No. 2 모두 5월 중순과 8월 말에 COD_{cr}과 T-P가 상대적으로 높게 나타났고 T-N은 8월말에 높게 나타났다. 5월 중순에 높은 농도를 보인 것은 경운을 위한 담수로 비경운기 동안



* M : Management drainage, R : Rainfall runoff

Fig. 5 Relationship between discharge rate and pollutant load in monitoring stations

축적되어 있던 영양물질이 이양 후 남은 관개수가 배출되면서 함께 영양물질이 배출된 것으로 생각된다. 8월 말에 높은 농도를 보인 것은 분얼비가 투입된 후 낙수를 하지 않다가 완전낙수기에 많은 양의 영양물질이 배출되었기 때문으로 판단된다. 농지배수의 농도는 영농 특성상 시비 후에는 높은 농도를 보이다가 점차 감소하는 경향을 나타내었다. 시기별로 배수되는 수질의 변화가 심하여 측정된 수질인자의 평균농도에 대한 표준편차가 매우 크게 나타났으며 이러한 특성을 파악하고 농지배수를 관리하여야 효과적인 수질관리가 가능할 것으로 생각된다.

영농기간 중 총 강우량은 515.3 mm이었으며 50 mm 이상 강우는 6월 19일에 74 mm, 6월 29일에 112.2 mm, 7월 30일에 70 mm로 세번이었는데 이때 일주기 조사 결과는 Fig. 4와 같다. 각 지점에서의 유량 변화를 보면 6월 19일 강우에서는 담수로 인하여 유출이 거의 일어나지 않아 유량의 변동폭이 작았으며, 6월 29일 강우에서는 강우와 함께 중간 낙수에 의한 배출이 동시에 일어남에 따라 유량의 변동폭이 크게 나타났다. 7월 30일 강우는 초기에 집중적이었으나 유량 변동폭은 크게 일어나지 않았다. 각 지점에서의 COD_{cr} 농도변화를 보면 초기 농도가 다소 높게 나타났다. T-P의 농

도변화는 강우 초기에 높게 나타났으며 유량이 증가할수록 농도가 감소되는 경향을 보였으며 강우 말기에는 다시 높아지는 경향을 보였다. Jeon et al.⁶⁾ (2001)은 비도시 유역에서의 유량과 농도와의 상관관계에서 유량과 COD_{cr}, T-P와는 양의 상관관

계를 나타내었다고 보고한 바 있으나, 본 연구에서는 농지배수 배출특성이기 때문에 유역의 경우와 다른 형태로서 유량과 COD_{cr}는 양의 상관관계를, 유량과 T-P는 음의 상관관계를 나타내었다. 일반적으로 오염물질의 형태가 용존성이면 유량과 농도

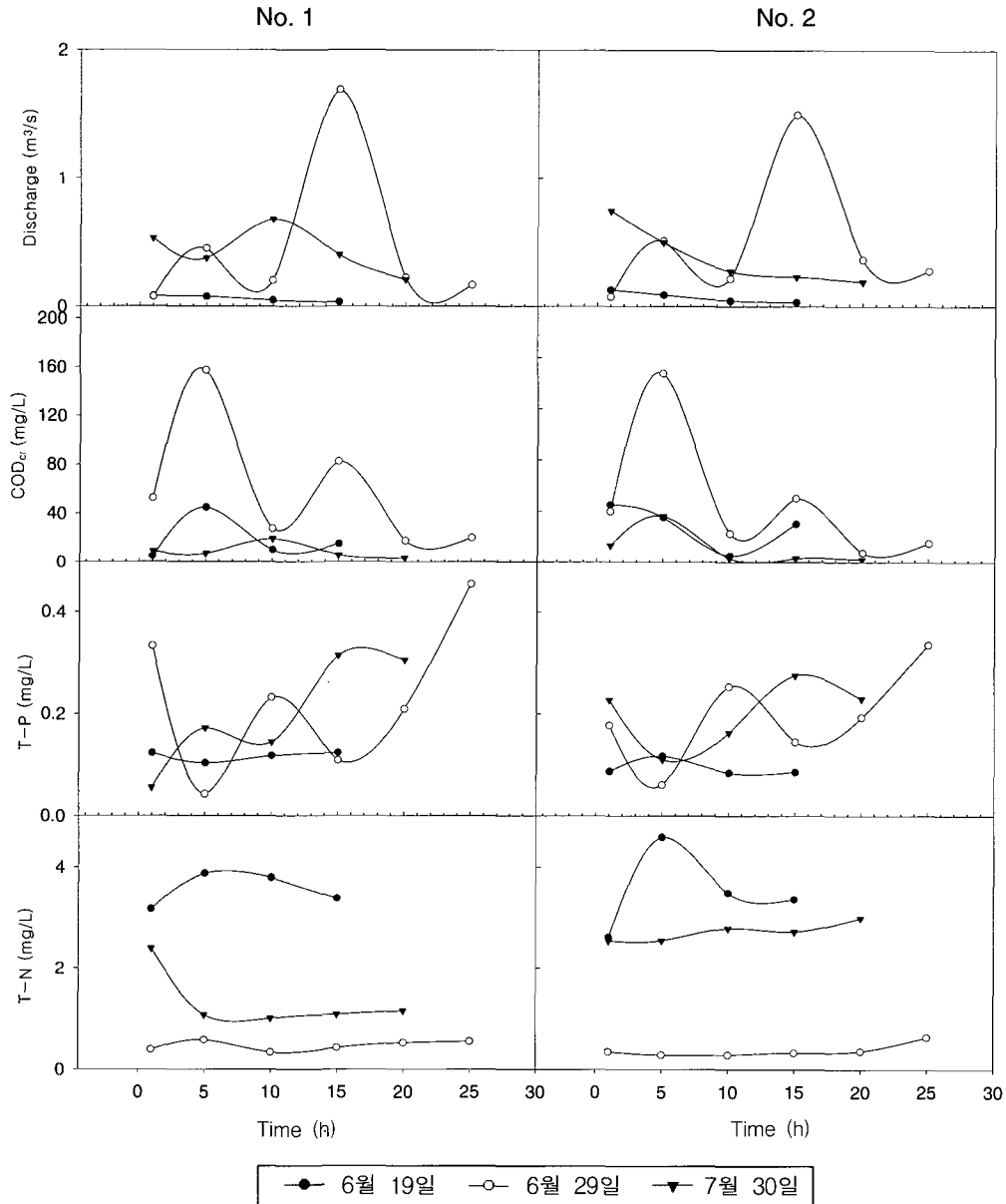


Fig. 4 Drainage flow, COD_{cr}, T-P and T-N variation during wet-day

와의 관계가 음의 상관관계를 나타내는 것으로 알려져 있다.⁴⁾ 농지배수의 경우 담수화로 인한 입자성 물질의 침전으로 인하여 배출되는 T-P의 형태는 대부분 용존성 물질이어서 음의 관계를 나타낸 것으로 판단된다. T-N은 배출량과 뚜렷한 경향을 나타내지 않았는데, 이는 Jeon et al.⁶⁾ 등(2001)의 연구내용과 일치하는 결과이었다.

4. 배출량과 오염물질 부하량과의 관계

오염물질 부하량과 배출량과의 관계식(L-Q)은 Table 4 및 Fig. 5와 같다. 실측자료는 21개였으며 이중 강우시는 11개, 평상시는 10개였다. No. 1에서의 COD_{cr}, T-P의 결정계수(R²)는 유의수준 1%내에서 각각 0.9656와 0.9418이었으며, No. 2에서는 각각 0.5488와 0.8693이었다. T-N은 평상시와 강우시에 각각 뚜렷한 경향의 L-Q식을 보였으며 No. 1에서의 평상시와 강우시의 T-N의 결정계수(R²)는 유의수준 1%내에서 각각 0.8355와 0.9882이었고, No. 2에서는 각각 0.8229와 0.9582이었다. T-P의 경우 유량과 농도가 반비례하는 반면 유량과 부하량에서는 양의 비례관계를 나타내었다. 이는 농도의 감소 폭보다 유량의 증가 폭이 상대적으로 크며, 따라서 두 값을 곱한 부하량이 결과적으로 증가되었기 때문이다. COD_{cr}와 T-P의 경우에는 평상시와 강우시에 유량과 부하량에 큰 구분이 없었지만, T-N의 경우 평상시와

강우시에 따라 뚜렷이 구분된 경향을 보인 것은 평상시에 영농초기와 시비 후 중간 낙수기에 남아있던 질소질 비료 성분이 배출되어 부하량이 증가되어 다른 오염물질의 L-Q식과는 다른 양상을 보인 것으로 판단된다. 그러므로 T-N에서는 평상시와 강우시에 서로 다른 상관식을 사용하여 부하량을 산정하는데, 이유는 논에서 다른 비료보다는 질소질 비료를 많이 사용하기 때문으로 생각된다.

산정된 L-Q식으로부터 조사한 지하수관개지역의 농지배수 배출부하량을 산정하였는데 그 결과는 Table 5와 같다. 관개기간동안 총부하량은 COD_{cr}, T-P, T-N이 각각 288.34 kg/ha, 1.17 kg/ha, 5.45 kg/ha이었다. 이 중 낙수에 의한 부하량은 각각 217.69 kg/ha, 0.62 kg/ha, 2.74 kg/ha로 전체 부하량의 75.50%, 52.55%, 50.30%를 차지하였으며, 강우에 의한 부하량은 각각 70.65 kg/ha, 0.56 kg/ha, 2.71 kg/ha로 전체 부하량에 각각 24.50%, 47.45%, 49.70%이었다. COD_{cr}의 경우는 낙수에 의한 부하량이 전체에 대해 차지하는 비율이 높은 반면, T-P와 T-N은 낙수에 의한 부하량과 강우에 의한 부하량이 거의 같았다. 조사연도 강우량이 상대적으로 적었고 연구지역인 지하수 관개지역에서는 T-N의 배출 형태가 대부분 용존성이며, 평상시에도 기저유출이 일어나므로 강우시 유출에 적게 영향을 받아서 낙수에 의한 부하량과 강우에 의한 부하량의 차이가 크지 않은 것으로 생각된다. 본 연구에서 조사한 기간에는 6월 초까

Table 4 Load-Flow(L-Q) equations of the study paddy field

[Unit: L(g/s), Q(m³/s)]

L = a*Q + b	No. 1			No. 2			Number of samples	
	a	b	R ²	a	b	R ²		
COD _{cr}	0.0817	-4.6331	0.9656*	0.0154	0.4567	0.5488*	21	
T-P	0.0001	0.0045	0.9418*	0.0001	0.0049	0.8693*		
T-N	Management	0.0025	0.0241	0.8355*	0.0015	0.0705		0.8229*
	Runoff	0.0004	0.0098	0.9882*	0.0003	0.0103		0.9582*

* Significant in p=0.01 level

Table 5 Summary of pollutant load from the study paddy field by 10-day interval

		Pollutant load (kg/ha)								
		Management			Rainfall runoff			Total		
		COD _{cr}	T-P	T-N	COD _{cr}	T-P	T-N	COD _{cr}	T-P	T-N
May.	M	12.90	0.02	0.18	0.00	0.00	0.00	12.90	0.02	0.18
	L	8.54	0.01	0.09	0.00	0.00	0.00	8.54	0.01	0.09
Jun.	F	0.41	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.41	0.00	0.01
	M	43.09	0.22	0.71	11.35	0.15	0.94	54.44	0.37	1.65
Jul.	L	23.94	0.16	0.55	19.07	0.33	0.84	43.01	0.49	1.39
	F	20.03	0.04	0.14	0.00	0.00	0.00	20.03	0.04	0.14
Aug.	M	0.00	0.00	0.00	0.29	0.00	0.00	0.29	0.00	0.00
	L	0.00	0.00	0.00	25.00	0.05	0.83	25.00	0.05	0.83
Sep.	F	17.56	0.02	0.11	14.94	0.03	0.09	32.50	0.05	0.19
	M	57.88	0.08	0.39	0.00	0.00	0.00	57.88	0.08	0.39
Total	L	14.68	0.02	0.17	0.00	0.00	0.00	14.68	0.02	0.17
	F	7.59	0.02	0.16	0.00	0.00	0.00	7.59	0.02	0.16
Total	M	3.18	0.00	0.07	0.00	0.00	0.00	3.18	0.00	0.07
	L	7.88	0.02	0.17	0.00	0.00	0.00	7.88	0.02	0.17
Total		217.69 (75.50)	0.62 (52.55)	2.74 (50.30)	70.65 (24.50)	0.56 (47.45)	2.71 (49.70)	288.34 (100)	1.17 (100)	5.45 (100)

* percent in ()

지는 낙수에 의한 배출로 부하량이 발생하였으며, 6월 중순과 6월 말에는 강우에 의한 부하량과 낙수에 의한 부하량이 동시에 발생하였다. 5월 중순에 썩레질을 실시하고 기비가 투여됨에 따라 배출수의 부하량이 증가되는 경향을 보였으며, 7월 초순에는 분얼기에 분얼비가 투여되므로써 부하량이 증가되었다. 9월에는 강우에 의한 부하량은 없었으며 완전낙수에 의한 부하량만이 발생하였다.

본 연구지역의 관개기간 농지배수 배출부하량을 지표수(저수지, 하천수) 관개지역인 경기도 화성군 정남면 패광리에 위치한 광역논의 연구 결과와 충청북도 청원군 옥산면 소로리에 위치한 대구혁의 광역논 지구의 연구결과와 비교하였는데 그 결과는 Table 6과 같다. 하천수 관개지역과 비교하여 지하수 관개지역의 부하량이 대체적으로 낮았으며, 이는 지하수 관개지역에서는 농업용수의 사용이 상대적으로 작아서 이에 따른 배수량이 감소하여 전체적으로 오염물질의 배출량이 감소한 것으로 생각

된다. T-P의 경우는 같은 범위에서 비교적 낮게 나타났으나, T-N의 경우에는 지나치게 큰 차이는 것으로 나타났는데 이유는 용수량이나 배수량 이외에도 토양의 특성이나 시비량과 시비방법 등에 대한 보다 상세한 조사가 있어야 설명 가능할 것으로 생각된다.

IV. 요약 및 결론

본 연구는 2001년 5월 중순부터 9월말까지의 관개기간동안 경기도 여주군 가남면 오산리에 위치한 건국대학교 실습농장 부근의 10ha의 지하수관개논에서의 유출량, COD_{cr}, T-P, 그리고 T-N 등의 배출특성에 관한 측정자료를 분석하였으며 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 연구기간 중 총 강우량은 515.3 mm이었으며 총배출량은 약 1,117.24 mm를 나타내었는데, 낙수와 강우에 의한 배출량이 각각 74.40과 25.60%

Table 6 Comparison of pollutant loads between ground-water and surface-water irrigation paddy fields

(Unit: kg/ha)

	Ground-water irrigation	Surface-water irrigation	
	This study (2001)	Kyunggi (1990) ¹⁰⁾	Chungbuk (2001) ¹¹⁾
T-P	1.17	9.19	1.44
T-N	5.45	38.97	46.60
Rainfall (mm)	515.3	808.6	551.2

로서 낙수에 의한 배출이 훨씬 크게 나타나서, 영농기간 동안의 배출량은 강우의 영향 뿐 아니라, 영농 특성에 따른 물꼬의 관리도 많은 영향을 주는 것으로 보인다.

2. 영농기 동안 평상시의 수질 농도는 시기별 변화폭이 컸으며 일반적으로 5월 중순과 8월말에 매우 높은 값을 나타내었다. 이는 논에서의 시비, 이앙, 그리고 낙수 등에 의한 영농형태에 따른 영향으로 판단된다. 강우시 유량과 수질 사이의 관계에서는 COD_{cr}는 배출량과 양의 상관관계를 보였고 T-P는 배출량과 음의 상관관계를 나타내었으나, T-N은 배출량에 크게 영향을 받지 않는 것으로 나타났다.

3. 농지배수에서의 배출량(Q)과 오염부하량(L)과는 뚜렷한 선형관계를 나타냈었으며 회귀식을 이용하여 농경지에서 배출된 오염물질부하량을 산정한 결과에 의하면, 지하수관개지역 농지배수의 영농기 동안 총부하량은 COD_{cr}, T-P, T-N이 각각 288.34 kg/ha, 1.17 kg/ha, 5.45 kg/ha로서 지표수관개지역에 비하면 상대적으로 낮은 것으로 나타났다. 부하량도 배출량과 유사하게 강우에 의한 영향보다 낙수에 의한 영향이 많아서 지하수관개지역에서의 농지배수관리를 위해서는 강우유출과 함께 물꼬조정 등이 중요함을 알 수 있었다.

4. 본 연구결과는 지하수관개지역에서 2001년 1년간 영농기간 동안 농지배수 배출량 및 오염부하량을 측정된 자료를 분석한 내용으로서, 2001년은 평년에 비하여 강우가 적었던 조건에서 연구한 내용이다. 이 연구결과는 지하수관개지역의 농지배수량 산정에 기초자료로서 유익하게 사용할 수 있을

것으로 생각되나, 좀더 보편화된 자료구축을 위해서는 다양한 조건에서 장기간에 걸친 지속적인 모니터링이 필요하다고 생각한다.

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

References

1. APHA, 1995, Standard Methods for the examination of water and wastewater, 19th Edition, American Public Health Association, Standard Method.
2. Cho, J. Y., Han, K. W., Choi, J. K., Goo, J. W., Son, J. G. 2000. Runoff Loading of Nutrients from a Paddy Field during Non-Cropping Season. *Journal of the KSAE* 42(2): 63~70. (in Korean)
3. Hong, S. K., Kwun, S. K. 1989. Characteristics of Pollutant Loading into Streams from Flooded Paddies - On the Special Reference to Total Kjeldahl Nitrogen and Total phosphorous. *Journal of the KSAE* 31(3):92~102. (in Korean)
4. Huber, W. C. and R. E. Dickinson, 1988, Stom Water Management Model, version 4: user's manual EPA/600/3~88/001a.
5. Hwang, H. S. 2002. Mass Balance Analysis and Loading Estimate of Nutrients in Paddy Field Area. M.S. Konkuk univercity.

6. Jeon, J. H., Yoon, C. K., Ham, J. H. 2001. Analysis of Relationships Among the Pollutant Concentrations in Non-urban Area. *Korea Journal of Limnology* 34(3): 215~223.
7. Kim, J. S., Oh, S. Y., Kim, K. S. 1999. Characteristics of Concentration and Load of Nitrogen and Phosphorus in Paddy Field Area. *Journal of the KSAE* 41(4): 47~56. (in Korean)
8. Kwun, S. K., Kim, H. T. 1993. A Study on the Characteristics of Water Pollution in Rural Areas. *Korea Journal of Environmental Agriculture* 12(2): 129~143. (in Korean)
9. Kwun, S. K., Kim, B. Y., Kim, J. S., Kim, T. C., Yoon, C. G., Jung, J. C., Hong, S. G. 1998. Rural Environmental Engineering. Seoul : Hyangmoonsa
10. Shin, D. S., Kwun, S. K. 1990. The Concentration and Input / Output of Nitrogen and Phosphorus in Paddy Fields. *Korea Journal of Environmental Agriculture* 9(2): 133~141. (in Korean)
11. Yoon, C. K. 2001 The eco-environmental management and development of treatment for drainage paddy fields