

## 관개방법에 따른 논에서의 수문 및 수질특성에 미치는 영향

전지홍 · 윤춘경\* · 최진규<sup>1</sup> · 윤광식<sup>2</sup>

(건국대학교 지역건설환경공학과, <sup>1</sup>전북대학교 농업생명과학대학 농업과학기술연구소, <sup>2</sup>전남대학교 농업생명과학대학 농업과학기술연구소)

**The Comparison of Water Budget and Nutrient Loading from Paddy Field According to the Irrigation Methods. Jeon, Ji-Hong, Chun-Gyeong Yoon\*, Jin Kyu Choi<sup>1</sup> and Kwang-Sik Yoon<sup>2</sup> (Department of Rural Engineering, Konkuk University, Seoul 143-701, Korea; <sup>1</sup>College of Agriculture & Life Science, Inst. Agri. Science & Technology, Chonbuk National Univ., Jeonju 561-756, Korea; <sup>2</sup>College of Agriculture, Inst. Agri. Science & Technology, Chonnam National Univ., Kwangju 500-757, Korea)**

**The comparison of water balance and nutrient loading from paddy field with different irrigation management were carried out during 1999~2002 at two different sites; one is irrigated with groundwater and the other is irrigated with surface water. For the surface water irrigated paddy field, irrigation was performed continuously during growing season. Whereas, initial irrigation with groundwater was applied during initial growing season, and the ponded water depth was maintained by natural precipitation since initial irrigation. The runoff frequency of groundwater irrigated paddy field was less than that of surface water irrigated paddy field. The nutrient concentration of ponded water was high by fertilization at early cultural periods, so reducing surface drainage during fertilization period can reduce nutrient loading from paddy fields. Amount of irrigation water to surface water irrigated paddy field was higher than to groundwater irrigated paddy field and evapotranspiration was similar because it is influenced by climate. Overall input in and output from paddy field irrigated with groundwater were less than that with surface water. This study indicate that efficient water management can reduce surface drainage outflow, save water, and protect water quality. It might be important BMPs for paddy field.**

**Key words : paddy field, water balance, mass balance, BMPs, water management**

### 서 론

상수원 수질개선을 위하여 정부합동의 4대강 물관리종합대책이 1998년 유역별로 시차를 두고 3개년에 걸쳐 수립되었으며, 한강 수계의 경우 “팔당호 등 한강수계 상수원 수질관리 특별종합대책” 수립을 통해 오염총량관리

제도를 공식적으로 도입하게 되었다. 환경부는 지자체의 총량관리계획 수립지원을 위해 ‘총량관리계획수립지침(환경부고시 1999-143호)’을 고시하였으며 이를 근거로 하여 1999년 12월 광주군은 팔당호 상류수계 시군 중 최초로 오염총량관리 계획의 수립에 착수하여 최근 마무리 단계에 있으며, 현재는 양평군이 오염총량관리 계획을 수립 중이고 남양주시가 이와 관련된 예산을 확보한 상

\* Corresponding author: Tel: (02) 450-3747, Fax: (02) 446-2543, E-mail: chunyoonyoon@konkuk.ac.kr

태이다. 낙동강수계의 경우 1999년 “낙동강 수계 물관리 종합대책”을 수립하였으며, 금강 및 영산강 수계는 2000년 “대청호 등 금강 수계 물관리종합대책, 영산강 수계 물관리 종합대책”을 수립함으로써 오염총량관리제의 의무적 실시가 채택됨으로써, 앞으로의 수질오염관리는 점오염원 뿐만 아니라 비점오염원을 모두 고려하는 전환점을 마련하였다(Rhee and Jung, 2001).

우리나라의 총 면적 (99,408 km<sup>2</sup>) 중 토지이용별로 보면 임야가 65,274 km<sup>2</sup> (65.7%)로서 가장 큰 비중을 차지하고 있으며 농경지가 21,748 km<sup>2</sup> (21.9%), 하천 및 유지 3,882 km<sup>2</sup> (3.9%), 대지 2,265 km<sup>2</sup> (2.3%) 순이며, 이 중 인간의 활동에 의해 조성된 토지이용 중 농경지가 가장 많은 비중을 차지함으로써 농경지에 의한 비점오염원이 중요한 관심대상으로 부각되고 있다(환경백서, 2004).

비점원오염은 강우강도나 지속시간과 같은 강우특성과 지표수의 수리·수문학적 특성과 연계되어 있으므로 이를 파악하기 위해서는 많은 어려움이 있다. 특히 농경지 중 대부분을 차지하는 논은 경우에는 관개와 낙수라는 특수한 물관리가 이루어지기 때문에 다른 비점오염원보다 유출특성이 상이하며, 같은 논이라 할지라도 비료 사용량, 시비방법, 시비시기, 관개용수 및 강우의 양과 성분 등이 영양물질 유출량에 영향을 준다(윤 등, 2002). 따라서, 여러 조건에서 논에서의 영양물질 유출특성을 파악하여야만 합리적인 논에서의 원단위 산정이 가능하리라 판단된다.

논에서의 영양물질 배출에 관한 연구사례를 살펴보면, Kawara *et al.* (1996)는 Biwa호로 유입되는 점오염원과 비점오염원에 연구를 실시한 결과, 논으로부터의 비점오염원이 수질오염에 가장 큰 기여를 한 것으로 나타났다. 황 등(2002)과 최와 구(2001)는 필지논에서의 영양물질 수지를 고찰한 바 있으며, 윤 등(2002)과 김 등(1999), 오(2004)는 광역논에서 영농기간동안 영양물질수지를 분석하였다. 오(2002) 등은 지표수 관개 광역논에서의 오염 부하 원단위를 고찰한 바 있다. Cho *et al.* (2000)는 영농기와 비영농기간 동안 논에서의 영양물질 부하 특성을 연구하였으며 Ha *et al.* (2001) 베트남의 논에서 화학적 비료가 수계에 미치는 영향을 연구한 바 있다. 특히 윤 등(2002)은 오수 처리수를 관개수로 한 수도재배 실험을 실시함으로써 수확량 증대와 시비량 감소 뿐 아니라 논에서의 오염물질 정화기능에 대한 새로운 방향을 제시한 바 있다. 서 등(2002)은 CREAMS-PADDY모형을 이용하여 논에서의 유출특성을 파악하였으며, Jeon *et al.* (2004a, b)는 논에서의 수질예측을 위한 모형을 개발하고 이를 이용하여 논에서의 적용 가능한 BMPs를 제시한바

있다. Jeon (2005)은 세계적으로 적용성이 널리 인정된 Hydrological Simulation Program-Fortran (HSPF)모형으로 논을 모의할 수 있도록 수정된, HSPF-Paddy 모델을 개발함으로써 논이 유역이나 수계에 미치는 영향을 평가할 수 있도록 하였다.

본 연구는 경기도 여주군의 지하수 관개논의 2001년에서 2002년 영농기간 동안(5월~9월)의 모니터링 자료와 전라북도 진안군의 지표수 관개논의 1999년에서 2000년 영농기간 동안(5월~9월)의 모니터링 자료를 이용하여 관개방법에 따른 논에서의 영양물질 유출특성을 파악하고자 한다.

## 재료 및 방법

### 1. 연구대상지역

관개방법이 상이한 지하수 관개논과 지표수 관개논을 선정하였다. 지하수 관개논은 건국대학교 부속농장(경기도 여주군 가남면)의 필지논(2,520 m<sup>2</sup>), 지표수 관개논은 전라북도 진안군 마령면 평지리의 필지논(5,000 m<sup>2</sup>)으로 하였다(Fig. 1).

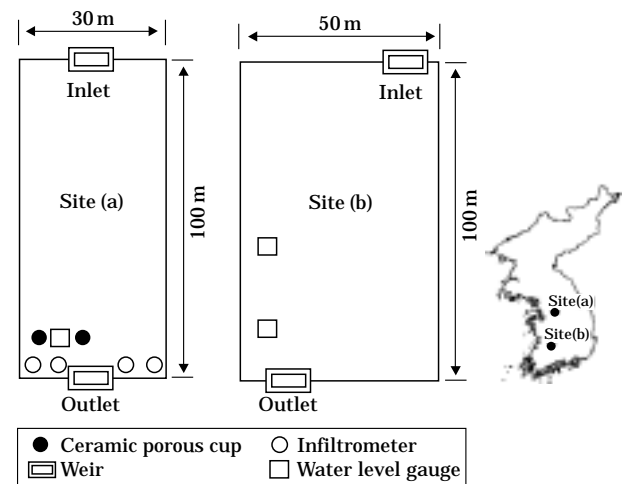


Fig. 1. Layout of study area and location of sampling stations.

### 2. 영농방법

연구대상지역의 영농활동은 Table 1과 같다. 비록 두 지역이 상이한 곳이라 할지라도 연구기간동안 이루어진 영농활동은 거의 유사한 시기에 이루어졌다. 5월 말에 경

**Table 1.** Agricultural activities during the study period.

## (a) Paddy field with surface water irrigation

1999	2000	Agricultural activity	Remark
May 22	May 20	Plowing and basal fertilization	Phosphorus (12.66 kg ha <sup>-1*</sup> , 13.54 kg ha <sup>-1**</sup> ), Nitrogen (76.00 kg ha <sup>-1*</sup> , 84.00 kg ha <sup>-1**</sup> )
May 25	June 2	Rice transplanting	15 × 30 cm, three plants/hill
June 15	June 14	Tillering fertilization	Nitrogen (28.00 kg ha <sup>-1</sup> )
July 30	July 23	Panicle fertilization	Nitrogen (18.00 kg ha <sup>-1*</sup> , 28.00 kg ha <sup>-1**</sup> )
October 2	October 10	Harvest	-

\* is for 1999, \*\*is for 2000

## (b) Paddy field with ground water irrigation

2001	2002	Agricultural activity	Remark
May 20	May 17	Plowing and basal fertilization	Phosphorus (19.64 kg ha <sup>-1</sup> ), Nitrogen (55.00 kg ha <sup>-1</sup> )
May 29	May 27	Rice transplanting	15 × 30cm, four plants/hill
June 9	June 7	Tillering fertilization	Nitrogen (33.00 kg ha <sup>-1</sup> )
July 17	July 26	Panicle fertilization	Nitrogen (22.00 kg ha <sup>-1</sup> )
October 7	October 12	Harvest	-

**Table 2.** Crop coefficient for estimating evapotranspiration.

	May		June		July			August			September		
	Last	Fir.	Mid.	Last	Fir.	Mid.	Last	Fir.	Mid.	Last	Fir.	Mid.	Last
Kc	1.29	1.29	1.54	1.65	1.76	2.14	2.18	2.21	1.91	1.98	1.64	1.64	1.77

운 후 기비를 투여하고 이앙이 이루어졌으며, 6월 중순에 이삭비 그리고 7월 중순에서 말경에는 분얼비를 각각 투여하였고 10월에 수확하였다. 지하수 관개논의 공시품종은 일품벼로써 5월 말경에 재식거리 15 × 30 cm로 1주 4본씩 기계이앙하였으며, 지표수 관개논의 공시품종은 화선찰벼이며 5월 25일에 재식거리 15 × 30 cm, 1주 당 3본씩 기계이앙을 실시하였다.

**3. 분석방법**

지하수 관개논의 경우 유입구와 유출구에 사각 weir를 각각 설치하였고 시험구내 자동수위계를 설치하여 논에서의 담수심과 관개수량을 측정하였다. 직경 22 cm의 침투량계와 침투수 시료채취용 ceramic porus cup을 이용하여 침투수량 및 부하량을 산정하였으며, 증발산량은 Penman-Monteith (Allen *et al.*, 1998)에 의해 산정된 잠재증발산량에 벼의 작물계수(Kc)(김 등, 1994)를 곱하여 실제증발산량을 산정하였다 (Table 2). 지표수 관개논의 경우 유출구에 사각 weir을 설치하고 시험구내 자기수위계를 설치하여 유출량을 산정하였다. 유입구에 설치된 유량계를 이용하여 관개수량을 측정하였으며, 침투량계 및

증발산량계를 이용하여 침투량 및 증발산량을 산정하였다.

**결과 및 고찰****1. 관개방법에 따른 수문특성 비교**

연구기간동안의 지표수 관개논과 지하수 관개논의 시간에 따른 관개량 및 지표유출 변화량은 Fig. 2와 같다. 지표수 관개논의 관개 및 지표유출특성을 살펴보면, 영농기간동안 꾸준하게 관개가 이루어지는 것으로 나타났으며, 지표유출은 강우사상에 반응하여 유출이 일어나는 것으로 나타났다. 반면에 지하수 관개논의 경우 관개는 영농초기인 6월 중순까지만 이루어지며 그 이후로는 필요수량은 강우에 크게 의존하는 것으로 나타나 rain-fed paddy rice field의 성격을 부분적으로 가지고 있는 것으로 나타났다. 따라서 지하수 관개논의 경우 논에서의 저류능력을 최대한 활용하였으며 논에서의 유출은 중간낙수나 큰 강우에만 발생하기 때문에 영농기간동안의 유출빈도는 지표수 관개논에 비해 낮은 것으로 나타났다. 이러한 농민들의 물관리기법의 차이점은 관개용수원의 가

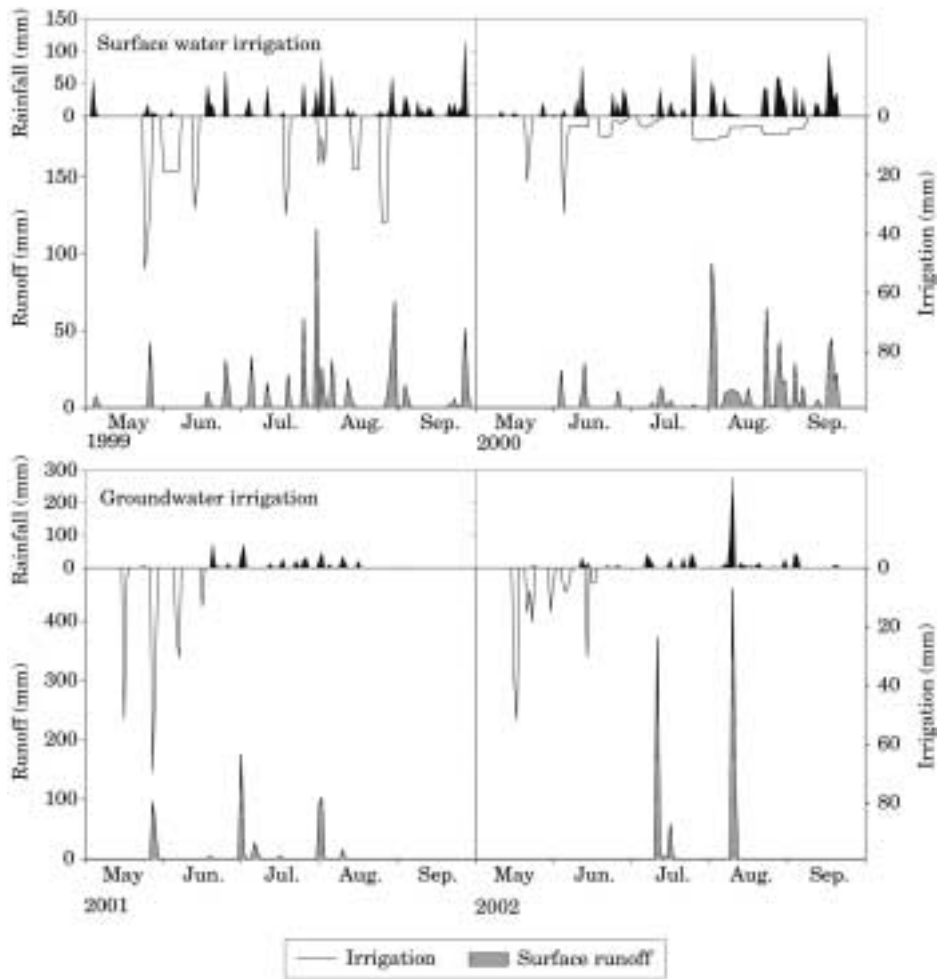


Fig. 2. Comparison of irrigation in and surface drainage from paddy field.

용성에 좌우되는 것으로 판단된다. 관개용수원이 상대적으로 부족한 경우 부족한 관개량을 지하수원과 강우량으로 보충하였기 때문에 그만큼 물관리기법이 중요한 요소로 작용하였다.

영농기간동안 관개방법에 따른 물수지 분석 결과는 Table 3과 같다. 지표수 관개논의 경우 1999년과 2000년 영농기간 동안의 총 유입량은 각각 1,595.6 mm, 1,626.7 mm로 나타났으며 관개량은 566.0 mm, 413.1 mm를, 강우량은 1,029.5 mm, 1,213.6 mm를 각각 나타내었다. 지하수 관개논의 경우 2001년과 2002년 영농기간 동안의 총 유입량은 1,043.9 mm, 1,865.9 mm, 관개량은 222.2 mm, 213.3 mm, 강우량은 511.3 mm, 865.54 mm, 외부시스템에서의 유입인 빗눈으로부터의 유입은 310.4 mm, 787.3 mm로 각각 나타났다. 작물생산과 관계가 없는 강우시 빗눈으로부터의 유입을 차감한다면 전반적으로 지

표수 관개논에 비해 유입량이 상대적으로 작은 것으로 나타났다.

지표수 관개논의 1999년과 2000년 영농기간 동안 총 유출량은 1,562.3 mm, 1,617.9 mm로 나타났으며, 지표유출량은 701.1 mm, 701.2 mm, 증발산량은 551.2 mm, 682.0 mm, 침투량은 310.1 mm, 234.6 mm로 나타났다. 지하수 관개논의 경우 2001년과 2002년 영농기간 동안 총 유출량은 1,155.3 mm, 1,657.1 mm로 나타났으며, 지표유출량은 593.2 mm, 1,036.2 mm, 증발산량은 486.3 mm, 527.8 mm, 침투량은 76.0 mm, 93.0 mm로 나타났다. 지하수 관개논의 지표유출의 경우 지표수 관개논과 큰 차이가 없는 것으로 보이나, 실제 강우시 빗눈으로부터의 월류에 의한 유입은 시스템을 거쳐 바로 유출이 되기 때문에 빗눈으로부터의 유입량만큼 지표유출량을 감산하여 고려한다면 지하수 관개논에서의 지표유출량이나 총유출

**Table 3.** Water balance analysis during growing season: IR1 is irrigation, IR2 is input from upper paddy field, RP is precipitation, DR is surface runoff, ET is evapotranspiration, INF is infiltration.

## (a) Paddy field with surface water irrigation

		Inflow (mm)				Outflow (mm)			
		IR1	IR2	PR	Sum	DR	ET	INF	Sum
1999	May	160.2	-	96.0	256.2	53.0	108.2	72.5	233.7
	Jun.	147.7	-	160.3	308.0	59.7	107.8	77.2	244.7
	Jul.	96.1	-	285.6	381.7	292.1	131.1	45.4	468.6
	Aug.	162.0	-	218.8	380.8	210.1	118.5	49.5	378.1
	Sep.	0.0	-	268.8	268.8	86.2	85.6	65.5	237.3
	Sum	566.0	-	1,029.5	1,595.6	701.1	551.2	310.1	1,562.3
2000	May	32.7	-	39.6	72.3	0.0	50.2	25.0	75.2
	Jun.	115.2	-	255.6	370.7	74.2	132.6	60.2	267.1
	Jul.	94.6	-	279.4	374.0	198.7	189.1	48.0	435.8
	Aug.	155.3	-	347.6	502.9	283.3	191.0	40.4	514.7
	Sep.	15.3	-	291.4	306.7	145.0	119.1	61.0	325.1
	Sum	413.1	-	1,213.6	1,626.7	701.2	682.0	234.6	1,617.9

## (b) Paddy field with ground water irrigation

		Inflow (mm)				Outflow (mm)			
		IR1	IR2	PR	Sum	DR	ET	INF	Sum
2001	May	156.7	0.0	7.0	163.7	143.1	51.0	23.2	217.2
	Jun.	65.5	41.9	212.5	319.8	182.4	100.0	32.9	325.1
	Jul.	0.0	257.6	202.4	460.0	252.9	160.6	5.5	409.1
	Aug.	0.0	11.0	89.4	100.4	14.8	174.7	14.4	203.9
	Sep.	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Sum	222.2	310.4	511.3	1043.9	593.2	486.3	76.0	1155.3
2002	May	151.7	0.0	7.0	158.7	0.0	58.6	23.1	81.7
	Jun.	61.6	0.0	61.4	123.0	0.0	111.9	33.8	145.7
	Jul.	0.0	461.6	217.2	678.8	452.9	137.1	13.8	603.8
	Aug.	0.0	325.6	531.6	857.2	583.3	135.0	14.9	733.3
	Sep.	0.0	0.0	48.2	48.2	0.0	85.2	7.4	92.6
	Sum	213.3	787.3	865.4	1865.9	1036.2	527.8	93.0	1657.1

량은 지표수 관개농보다 작은 것으로 나타났다.

## 2. 관개방법에 따른 수질 특성비교

영농기간동안 논표면수 농도변화는 Fig. 3과 같다. 일반적으로 논에서의 영양물질 농도변화는 시비에 영향을 받는 것으로 나타났으며 특히 질소의 경우 그 변화의 폭이 질소에 비해 높은 것으로 나타났다. 특히 다량의 시비가 집중적으로 이루어지는 영농초기의 경우 영양물질농도가 매우 높은 것으로 나타났다. 질소의 경우 일반적으로 10~20 mg L<sup>-1</sup>, 높게는 약 60 mg L<sup>-1</sup>를 나타내었으며, 인의 경우 0.2~5 mg L<sup>-1</sup>를 나타내었다. 몇몇 연구결과를 살펴보면, 시비 이후 암모니아성 질소의 농도는 약 25~100 mg L<sup>-1</sup>까지 나타나는 것으로 보고되고 있다 (Takamura *et al.*, 1977). 그러나 현저하게 많은 양의 질소나 인은 논에서 흡착이나 휘발, 탈질과정을 거치면서

손실된다. 침투율이 30 mm day<sup>-1</sup> 이하의 경우 영양물질은 침투과정을 거치면서 흡착에 의해 손실되며, 논에서 암모니아성 질소의 휘발에 의해 질소의 약 60%가 손실되는 것으로 나타났다 (Ghosh and Bhat, 1998; Ishikawa *et al.*, 2002). 또한 초기에 시비된 인성분은 논토양내의 철성분에 의해 현저한 양의 인이 Fe(II)-P의 형태로 흡착이나 침전된다 (Kirk *et al.*, 1990). 인의 경우 전량이 썩래질과 동시에 기비에 의해 시비되기 때문에 논 표면수에 용해성 형태로 용출되기 이전에 많은 양의 인이 토양과 함께 흡착되어 존재하였기 때문에 시비에 의한 논표면수 농도변화가 질소보다 현저하지 못한 것으로 판단된다.

관개방법에 따른 논에서의 영양물질수지 분석 결과는 Figs. 4, 5와 같다. 지표수 관개농의 영양물질 총 유입량은 159.4~185.4 N kg ha<sup>-1</sup>, 13.6~14.0 P kg ha<sup>-1</sup> 범위로

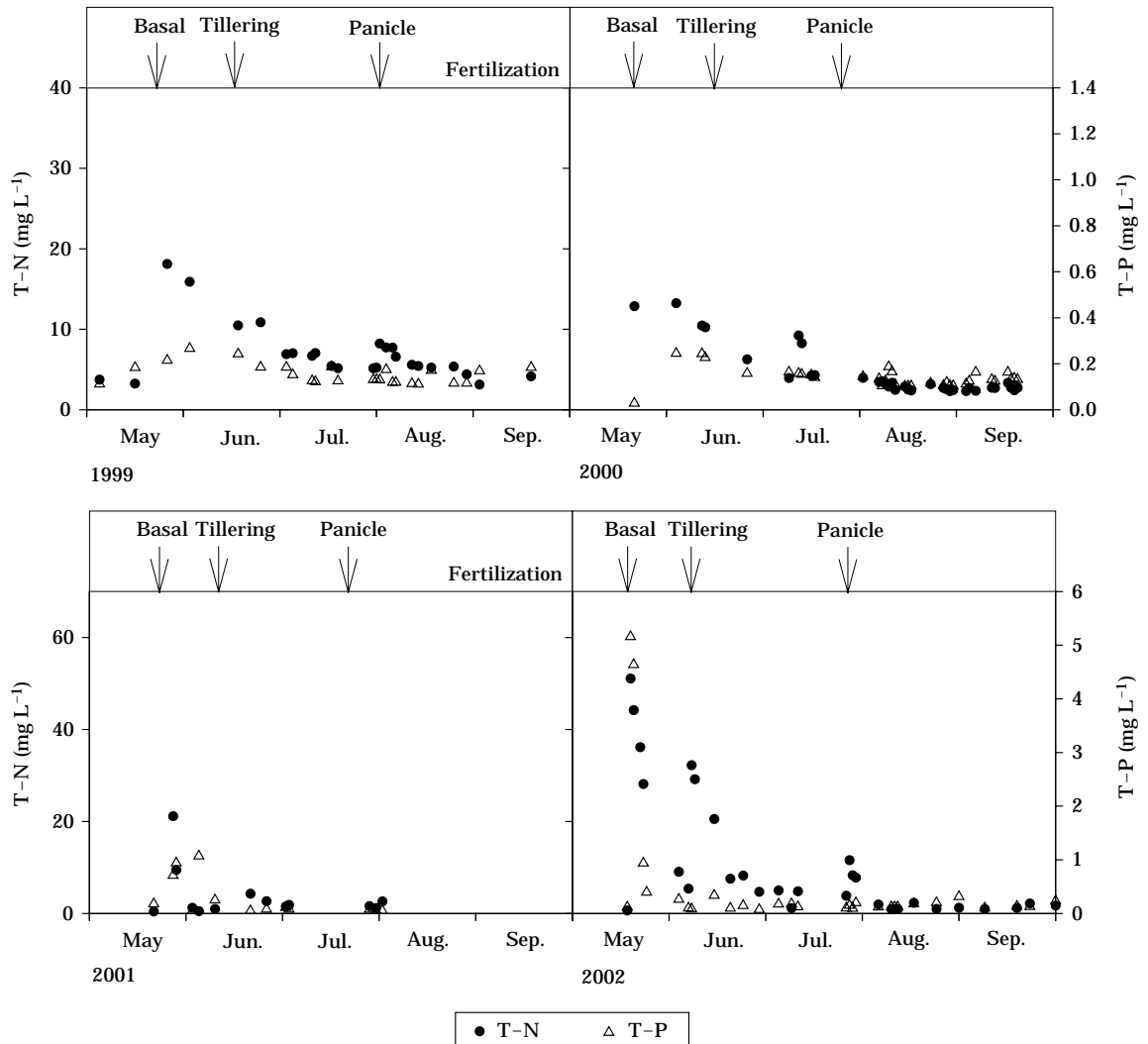


Fig. 3. Variations of nutrient concentration of ponded water in paddy field.

나타났으며, 지하수 관개논은  $128.3 \sim 155.0 \text{ N kg ha}^{-1}$ ,  $20.6 \sim 21.6 \text{ P kg ha}^{-1}$  범위로 나타났다. 지하수 관개논과 지표수 관개논 모두 시비량이 총 유입량에 차지하는 비율이 가장 높은 것으로 나타났다. 지표수 관개논의 유출 특성을 살펴보면, 총 유출량은  $72.8 \sim 46.4 \text{ N kg ha}^{-1}$ ,  $1.13 \sim 1.12 \text{ P kg ha}^{-1}$  범위로 나타났으며 지표유출이 차지하는 비율이 질소의 경우  $63.3 \sim 62.4\%$ , 인의 경우  $84.0 \sim 88.6\%$  범위를 나타내었다.

지하수 관개논의 유출특성을 살펴보면, 총 유출량은  $35.4 \sim 37.84 \text{ N kg ha}^{-1}$ ,  $1.25 \sim 1.43 \text{ P kg ha}^{-1}$  범위를 나타내었으며 대부분이 지표유출에 의해 손실된 것으로 나타났다. 뽕논에서의 유입량이  $8.47 \sim 28.4 \text{ N kg ha}^{-1}$ ,  $0.67 \sim 1.57 \text{ P kg ha}^{-1}$ 인 것을 감안해 볼 때 지하수 관개논에서

의 지표유출은 지표수 관개논에서의 유출보다 낮은 것으로 나타났다. 2001년의 유출을 살펴보면, 5월의 지표유출이 전체지표유출에 차지하는 비율이 질소의 경우  $76\%$ , 인의 경우  $54\%$ 의 매우 높은 비율을 나타내고 있다. 이는 썩레질 작업을 하기위한 농기계의 작업효율을 증진시키기 위해 논에 관개를 실시하며 썩레질과 동시에 기비를 투여하는데, 이때 어린묘의 모내기시 침수피해를 막기 위해 인위적인 낙수가 이루어졌다. 따라서 기비 이후의 매우 높은 고농도 영양물질이 인위적인 낙수와 함께 유출된 것으로 판단된다. 반면에 2002년의 경우 대부분의 지표유출은 큰 강우가 발생한 7월과 8월에 발생하였으며 이 중 많은 부분이 뽕논으로부터의 유입임을 감안해 볼 때 실제 연구대상지역에서의 지표배출은 지표수 관개논

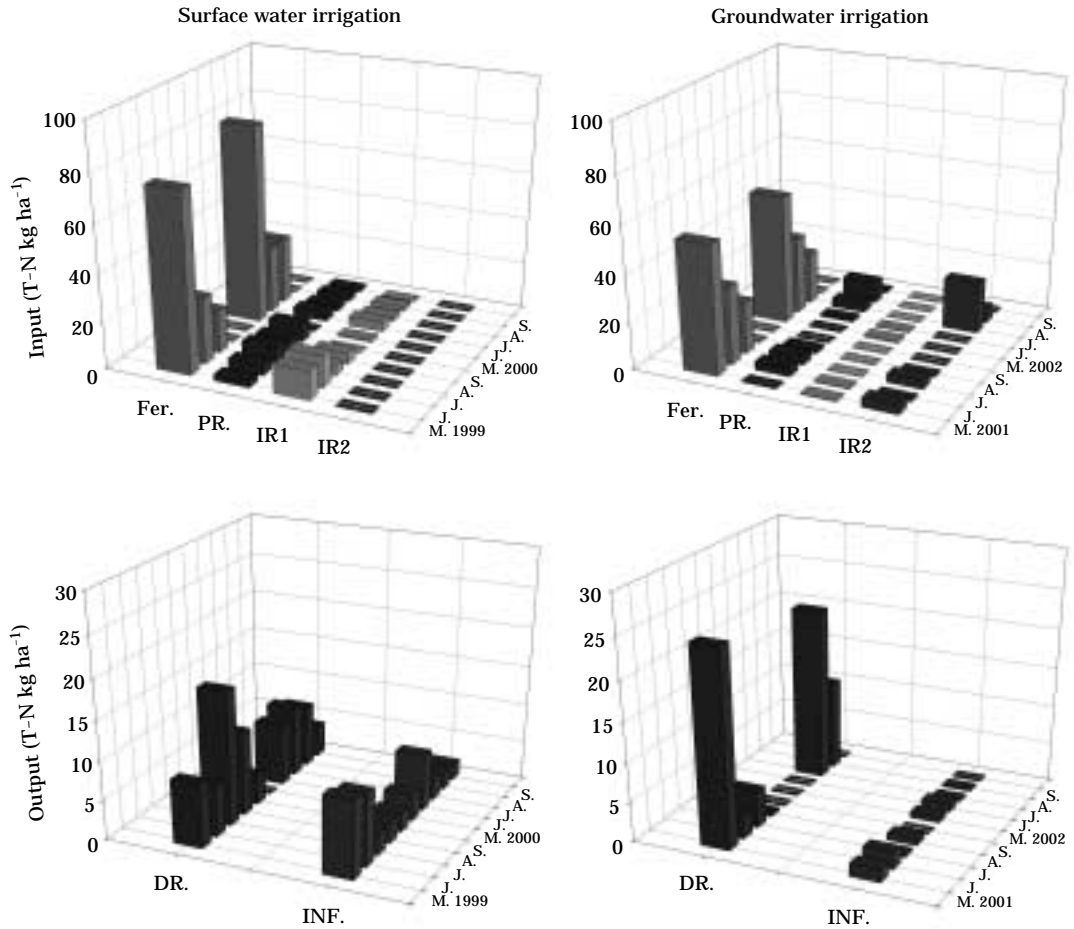


Fig. 4. Monthly nitrogen inflow in and outflow from paddy field.

보다 더욱 작을 것으로 판단된다.

지하수 관개논과 지표수 관개논에 대한 수문특성과 수질특성을 종합해 볼 때 논에서의 비점오염관리기법에 대한 중요한 정보를 유추할 수 있다. Fig. 3에서 나타내는 바와 같이 논에서의 영양물질변화는 시비에 크게 영향을 받으며, 다량의 시비가 집중적으로 이루어지는 영농초기(5~6월 중순)에는 높은 영양물질 농도를 나타낸다. 이시기에 유출이 발생한다면 논으로부터의 유출은 하류수계의 수질에 큰 영향을 미칠 것으로 판단된다. 그러나 다행히 논은 담수의 기능을 가지고 있어 강우-유출반응을 다른 토지상태에 비해 감소시킬 수 있다. Fig. 2에서 보는 바와 같이, 관개용수량과 강우량에 의한 담수관리와 물꼬 높이의 관리를 어떻게 하느냐에 따라 논에서의 유출특성은 상이하게 나타났으며, 우리나라의 5월에서 6월 중순 사이의 강우특성을 고려해 볼 때 효율적인 물관리기법으로도 강우에 의한 논에서의 영양물질 유출을 억제시킬

수 있을 것으로 판단된다. 따라서, 현재 논에서의 중요한 비점오염관리기법인 시비량 감소와 함께 효율적인 물관리기법 또한 고려되어야 할 사항이다.

물꼬높이의 증가와 천수간단관개방법은 강우에 의한 유출억제를 위한 대안들 중 하나이다. Mishra *et al.* (1998)의 3년간의 연구결과에 따르면, 물꼬높이를 6~30 cm 범위사이에서 4 cm를 증가시킨 결과 물꼬 높이 6 cm에서는 전체 강우량의 57%를, 30 cm에서는 100%를 저류할 수 있는 것으로 나타났으며, 작물생산에는 현저한 영향을 미치지 않은 것으로 나타났다. 손과 정(2002)은 담수심 처리가 논의 물수지에 미치는 영향을 고찰하였으며 3년간의 연구결과 천수간단관개는 심수간단관개에 비해 관개용수량을 17.7~46.6% 범위 수준으로 절약할 수 있었으며, 천수간단관개는 전체 강우량의 68.9%를, 심수간단관개는 54.6%를 저류할 수 있으며, 벼 수확량에는 큰 차이가 없는 것으로 보고하고 있다. 또한 Hatta (1967)은 논

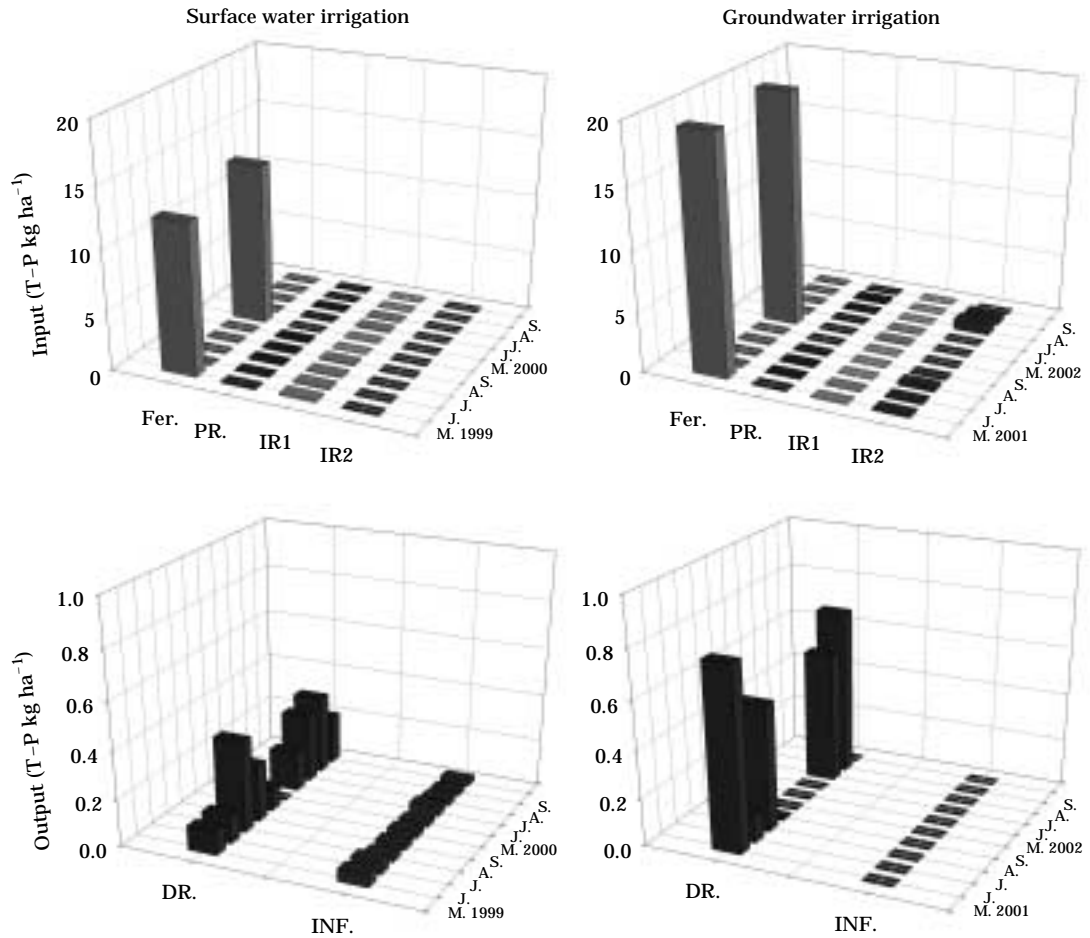


Fig. 5. Monthly phosphorus inflow in and outflow from paddy field.

의 담수심을 매우 낮게 하거나 토양만 포화시키거나, 습윤과 건조를 교대로 할 경우 전통적인 방법에 비해 수확량 감소는 없었으며 관개용수량의 40~70% 범위로 절약할 수 있다고 보고하고 있다.

## 적 요

관개방법이 논에서의 수문 및 수질특성에 미치는 영향을 파악하기 위하여 관개용수가 풍부한 지표수 관개지역과 관개용수가 부족한 지하수관개지역에서의 물수지 및 영양물질수지 분석을 실시하였다. 지표수 관개논은 영농기간동안 지속적으로 관개가 이루어졌으나, 지하수 관개논은 영농초기에만 이루어졌으며 그 이후에는 강우에 의해 담수심이 유지되어 지표유출은 지표수 관개논에 비해 상대적으로 낮은 빈도를 나타내었다. 지표수의 영양물질

농도는 시비에 의해 크게 영향을 받는 것으로 나타났으며, 특히 다량의 시비가 이루어지는 영농초기(5~6월 중순)에는 높은 영양물질 농도를 나타내어 이 시기에 논에서 유출이 이루어진다면 하류 수계에 영향을 줄 것으로 판단되었다. 물수지 분석결과 지하수 관개논의 관개량, 지표유출량 등이 상대적으로 지표수 관개논에 비해 낮은 값을 나타내었다. 영양물질수지분석 결과 대부분의 유입은 시비에 의해 이루어졌으며, 유출은 지표유출이 많은 비중을 차지하였으나 지표유출과 침투유출사이의 비율은 토양의 특성에 좌우되는 것으로 판단된다. 외부에서의 유입을 제외하고 시스템내에서의 유출입만 고려한다면, 물관리가 효율적으로 이루어진 지하수 관개논에서 낮은 부하량을 나타내었다. 그러나 기비가 이루어지고 인위적인 낙수나 강우에 의한 유출이 발생할 경우, 높은 부하량 뿐만 아니라 고농도의 영양물질질이 수계로 유입되는 것으로 나타났다. 논에서의 비점오염관리를 위한 대안으로 현



재 시행되고 있는 시비량 감소 뿐 아니라, 효율적인 물관리기법 개발이 포함되어야 할 것으로 판단된다. 특히 영농초기의 강우특성과 논에서의 담수기능을 고려해 볼 때 시비에 의한 높은 영양물질 농도를 나타내는 논 표면수의 유출을 효율적으로 억제할 수 있을 것으로 판단된다. 물꼬높이의 증가와 천수간단관개 영농초기의 강우에 의한 유출을 억제시킴으로써 부족한 관개용수의 절약 뿐만 아니라 하류수계의 수질보호에 기여를 할 것으로 판단되며, 다양한 조건에 따른 환경적인 측면 뿐 아니라 벼의 생리적인 측면은 장기적인 모니터링을 통해 반드시 고려되어야 할 것이다.

## 사 사

이 논문은 2004학년도 건국대학교 학술진흥 연구비 지원에 의해 수행되었으며, 연구 지원에 대해 감사드립니다.

## 인 용 문 헌

- 김시원, 김철기, 이기춘. 1994. 농업수리학. 향문사, 서울.
- 김진수, 오승영, 김규성. 1999. 광역논에서의 질소·인의 농도와 오염부하량 특성, 한국농공학회지 **41**: 47-56.
- 서춘석, 박승우, 임상준, 윤광식, 김상민, 강문성. 2002. 관개논에서의 영양물질 추정 모형의 개발. 한국농공학회지 **44**(3): 146-156.
- 손정호, 정삼욱. 2002. 담수심 처리가 논의 물수지에 미치는 영향. 한국농공학회지 **44**: 67-74.
- 오승영, 김진수, 김규성, 김선중, 윤춘경. 2002. 관개기 대구획 광역논에서의 오염부하 원단위. 한국농공학회지 **44**: 136-147.
- 오승영. 2004. 관개기 대구획 광역논에서의 영양물질 거동, 충북대학교 대학원 박사 학위 논문.
- 윤광식, 한국현, 조재영, 최창현, 손재권, 최진규. 2002. 양수장 지구 광역논으로부터 영농기간 영양물질수지의 유출 및 물질수지. 한국농촌계획학회지 **8**: 15-25.
- 윤춘경, 김병희, 전지홍, 황하선. 2002. 지하수 관개지역 논에서의 배출부하특성, 한국농공학회지 **44**: 116-126.
- 최진규, 구자용. 2001. 마령지구 필지 논으로부터 영농기 영양물질수지와 유출부하량. 한국농공학회지 **43**: 153-508.
- 환경부. 2004. 환경백서.
- 황하선, 윤춘경, 전지홍, 김병희. 2002. 저강우연도 지하수 관개 필지논에서 수도재배기간 동안의 물질수지, 한국농공학회지 **44**: 39-50.
- Allen, R.G., L.S. Pereira, D. Raes and M. Smith. 1998. *Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements*. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome, Italy.
- Cho, J.Y. and K.W. Han. 2000. Nutrient Losses from a Paddy Field. *Agric. Chem. Biotechnol.* **43**: 258-263.
- Ghosh, B.C. and R. Bhat. 1998. Environmental hazards of nitrogen loading in wetland rice fields. *Environmental Pollution* **102**(1): 123-126.
- Ha, S.R., P.A. Dung and B.H. Lee. 2001. Impacts of agrochemical fertilizer on the aquatic environment of paddy fields in Vietnam. *Water Science and Technology* **43**: 193-202.
- Hatta, S. 1967. Water consumption in paddy field and water saving rice culture in tropical zone. *Japanese Tropical Agriculture* **11**(3): 106-112.
- Ishikawa, M., T. Tabuchi and E. Yamaji. 2003. Clarification of adsorption and movement by predicting ammonia nitrogen concentrations in paddy percolation water. *Paddy Water Environment* **1**(1): 27-3.
- Jeon, J.H. 2005. BASINS/HSPF-Paddy development for watershed management in Korea. Ph.D. diss., Konkuk University.
- Jeon, J.H., C.G. Yoon, J.H. Ham and K.W. Jung. 2004a. Model development for nutrient loading estimates from paddy rice field in Korea. *Journal of Environmental Science and Health* **B36**: 847-862.
- Jeon, J.H., C.G. Yoon, H.S. Hwang and K.W. Jung. 2004b. Water quality model development and BMPs evaluation for loading reduction from paddy rice fields. *Proceeding of the 8th International Conference on Diffuse/Nonpoint Source Pollution*, 24-29 Oct., 2004, Kyoto, Japan.
- Kawara, O., H. Katsuya and T. Kunimatsu. 1996. A study on pollutant loads from the forest and rice paddy fields. *Water Science and Technology* **33**(4-5): 159-165.
- Kirk, G.J.D., T.R. Yu and F.A. Choudhury. 1990. Phosphorus chemistry in relation to water regime. *In: Phosphorus Requirements for Sustainable Agriculture in Asia and Oceania*. International Rice Research Institute, Los Banos, Philippines, pp.211-223.
- Mishra, A., A.K. Ghorai and S.R. Singh. 1998. Rainwater, soil and nutrient conservation in rainfed rice lands in eastern India. *Agricultural Water Management* **38**: 45-57.
- Rhee, D.G. and D.I. Jung. 2001. Proceedings of International Seminar on Integrated Watershed Management toward 21st Century, National Institute of Environmental Research, Seoul, Korea.
- Takamura, Y., T. Tabuchi, S. Suzuki, T. Cho, T. Ueno and

H. Kubota. 1977. Study on material balance in paddy field (2). Nitrogen and phosphorus balance and drainage in ill-drained paddy fields at Tonegawa watershed. *Jpn J Soil Sci Plant Nutr* **48**(9, 10): 431-436.

Yoon, C.G., J.H. Ham and J.H. Jeon. 2002. Reuse of reclai-

med water for irrigation on paddy rice culture and its effect, *Journal of KSAE* **44**: 14-24.

(Manuscript received 31 December 2004,  
Revision accepted 28 February 2005)