

## 수도재배시 논에서의 영양물질 수지 분석

윤춘경\* · 황하선 · 전지홍 · 함종화

(건국대학교 지역건설환경공학과)

**Analysis of Nutrients Balance during Paddy Rice Cultivation. Yoon, Chun-Gyeong\*, Hasun Hwang, Jihong Jeon, Jong-Hwa Ham (Department of Rural Engineering, Konkuk University, Seoul, 143-701, Korea)**

**Field experimental study was performed to evaluate water and nutrient balances in paddy rice culture. The water balance showed that outflow generally balanced the inflow showing that about half (47~54%) of total outflow was lost by surface drainage. No significant effect of fertilization rate was observed from three treatments (150%, 100%, and 70% of standard fertilization) on both rice yield and nutrient outflow from surface drainage. Therefore, reducing nonpoint source nutrient loading by reducing fertilization may not work well in the range of normal paddy rice farming practice, and instead it could be achieved by reducing surface drainage outflow. Water-saving irrigation by reducing ponding depth, raising ridge height in rice field, and minimizing forced surface drainage are suggested to reduce surface drainage outflow. These practices can save water and protect water quality, however, deviation from conventional standard practices might affect the rice yield and further investigations are necessary. It was demonstrated that rainfall affects nutrient net outflow and paddy rice culture might be beneficial to water quality protection under normal rainfall condition.**

**Key words : paddy field, rice culture, nutrient loading, surface drainage, fertilization**

### 서 론

쌀은 인류의 반 이상의 주식이고, 많은 세계인들이 쌀로부터 그날의 칼로리의 반이상을 획득한다(Counce *et al.*, 2000). 특히, 논농사는 아시아 몬순지역의 많은 나라들에 있어 중요한 농업이며, 토지이용측면에서 많은 부분을 차지하고 있다. 세계 쌀 공급의 75% 이상은 아시아의 79백만 ha의 수리답(水利畝)에서 생산, 공급되며(Cabangon *et al.*, 2002), 벼(*Oryza sativa*)는 약 1.1백만 ha에서 일모작으로 경작된다. 영농기간동안 유입되는 관개량은 500~800 mm (De Datta *et al.*, 1973)에서 3,000

mm (Hukkeri and Sharma, 1980) 이상까지 다양하며, 우리나라의 경우 관개량은 약 1,250 mm로써 용수 이용 중 관개용수가 가장 많은 부분을 차지하고 있다 (Chae, 1998).

국가적인 환경문제는 1980대 후반까지 급격한 산업화 기간동안 심각하게 대두되었으나, 그 이후 지속적인 노력으로 개선, 복원 되었다. 2000년에 이르러서는 가정하수의 약 70%가 공공하수관을 통하여 차집, 처리되고 있으나 여전히 많은 강과 하천의 수질은 기준치를 초과하고 저수지에서는 주기적으로 조류가 번성하고 있다는 점을 비추어 볼 때, 수질관리에 더 많은 노력이 여전히 필요하다는 것을 암시하고 있다.

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

최근에 비점원 오염의 적절한 조절 없이는 수질 개선은 성취하기 어렵다는 것을 인식하였다. 특히 비점원 오염은 토지이용과 강우사상에 많은 관련이 있는데, 우리나라의 경우 토지이용의 약 65%가 산지이고, 약 20%가 농지이다. 산지로부터의 유출은 자연적인 것으로 간주되지만, 농지배수는 중요한 오염원으로 인식되고 있다. 특히, 우리나라를 포함하는 아시아 몬순지역의 강우는 영농기간동안 집중되므로 농지배수를 포함한 농촌유출은 특별히 수질에 영향을 미칠 것으로 판단된다.

벼는 다른 작물과 마찬가지로 16가지의 필수 요소가 필요하며, 벼가 자라는데 지장이 없을 만큼의 적정량과 흡수가 용이한 형태로 공급되어야 한다. 이들 중 질소와 인 그리고 칼륨은 가장 일반적으로 시비되며, 벼 흡수의 가장 많은 부분을 차지한다(Lee, 2001). 많은 부분의 영양물질은 지표유출, 침투, 침루 등과 같이 논으로부터의 유출로 인해 손실되며, 이로 인해 하류 수계에 부영양화 문제를 발생시킨다. 그러나, 어떤 연구에서는 논은 수질 정화, 공기냉각, 지하수 재충진, 토양침식조절 등과 같은 환경보호를 위한 공익적 기능이 있다는 상반된 내용의 연구결과가 발표되었다(Eom, 2001).

물은 자연생태를 지속시키고, 산업개발을 위한 필수요소 중 하나이다. 인구의 증가와 경제발전은 더 많은 물을 필요로 하고, 물 사용자간의 경쟁이 발생한다. 게다가 수질문제 또한 물사용에 제한을 주기 때문에 충분한 수량 확보 뿐 아니라 수질보호는 중요한 요소이다. 본 연구는 경기도 여주군에 위치한 지하수 관개지역의 논을 대

상으로 2001년 영농기간동안 논으로부터 시비와 강우에 따른 영양물질 부하량의 영향을 실험하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 연구지역 개요

연구지역은 경기도 여주군(37° 14', 127° 33')에 위치한 건국대학교 실습농장으로 2001년 영농기간동안 수행되었다(Fig. 1). 연구지역의 해발고도는 70 m이며, 주변지역은 수도작을 하는 전형적인 농업지역으로 일반적으로 지하수 관개가 이루어지며, 최근 10년간 연평균강우량은 1,265 mm이다.

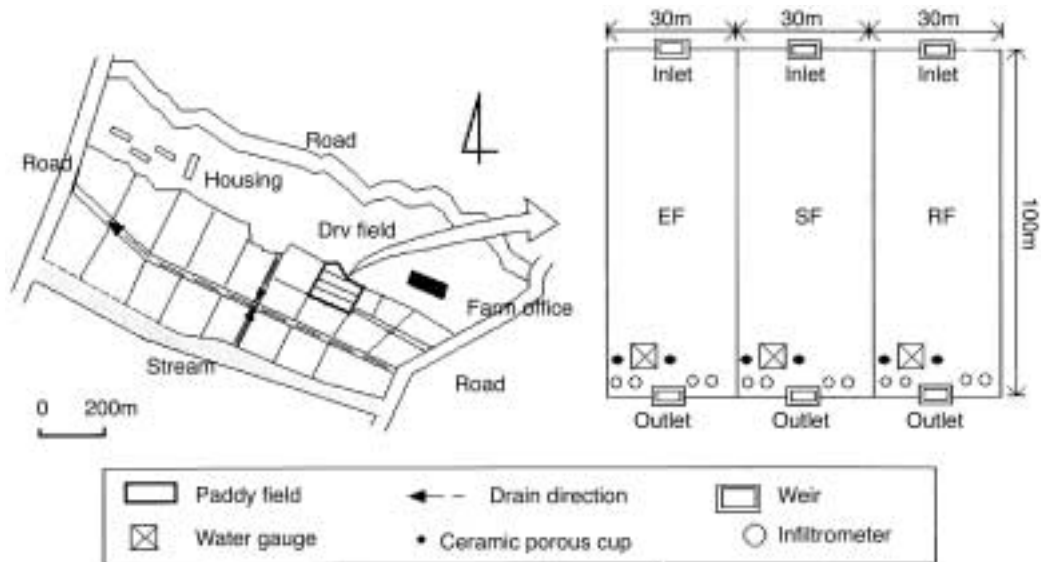
### 2. 처리구 및 영농 방법

영농방법은 중부지방 관행 재배법을 따랐으며, 처리구별 시비량은 Table 1과 같다. 본 연구에서는 3개의 처리구로 나누어 실험하였는데, 처리구의 조건은 농업과학기

**Table 1.** Fertilization rates for the treatments.

Treatments	N (kg ha <sup>-1</sup> )	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg ha <sup>-1</sup> )	K <sub>2</sub> O (kg ha <sup>-1</sup> )
EF	165.0	67.5	85.5
SF	110.0	45.0	57.0
RF	77.0	31.5	39.9

Note : EF: Excessive Fertilization  
 SF: Standard Fertilization  
 RF: Reduced Fertilization



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

**Table 2.** Characteristics of the soil in experimental plots.

Properties	EF	SF	RF
Sand (%)	42.2	35.1	34.0
Silt (%)	35.8	40.8	45.1
Clay (%)	22.0	24.1	20.9
Textural class	Clay loam	Clay loam	Clay loam
Particle density (Mg m <sup>-3</sup> )	2.68	2.66	2.67
PH (soil : water = 1 : 5)	5.20	5.09	5.14
CEC (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	7.05	7.30	7.65
EC (μs/cm)	2,193	2,833	2,167
Organic carbon (%)	1.62	1.60	1.72
Total N (mg kg <sup>-1</sup> )	1,078	1,197	1,463
Total P (mg kg <sup>-1</sup> )	284.28	346.01	413.49
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg kg <sup>-1</sup> )	15.68	24.31	16.91

Note : EF: Excessive Fertilization  
 SF: Standard Fertilization  
 RF: Reduced Fertilization

**Table 3.** Agricultural activities during the study period.

Date	Agricultural activity	Remarks
May 25	Ploughing and basal fertilization	Phosphorus (100%), Nitrogen (50%)
May 29	Rice transplanting	15 × 30 cm, four plants/hill
June 9	Tillering fertilization	Nitrogen (30%)
July 17	Panicle fertilization	Nitrogen (20%)
October 7	Harvest	-

슬원에서 권고한 시비량을 적용한 표준시비구(SF), 150%를 초과 적용한 과잉시비구(EF), 그리고 70%를 시비한 저감시비구(RF)이며, 각 처리구의 크기는 100 m × 30 m이다. 실험지역의 토양은 약산성이었으며, 물리, 화학적 특성은 Table 2와 같다. 인은 기비로 전량을 시비하였으며, 질소는 기비와 분얼비, 이삭비로 나누어 3회 시비하였다(Table 3). 공시품종은 일품벼이며, 5월 29일에 재식거리 30 cm × 15 cm로 1주 4본씩 기계 이앙하여 2001년 10월 7일에 수확하였다.

### 3. 물 수지 측정 및 분석 방법

각 처리구의 담수심은 각 처리구의 수위변화가 가장 작은 곳에 자기수위계를 설치하여 연속 측정하였으며, 유입량과 유출량은 각 처리구의 유입구와 유출구에 설치된 각 웨어를 통하여 측정되었다. 침투손실량을 측정하기 위해 간이 침투량계를 각 처리구에 4개씩 설치하였으며, 침투수의 수질분석을 위하여 지하 60 cm 위치에 심은 3개의 ceramic porous cups을 통해서 시료를 채취하였다. 강우량 측정을 위하여 실습농장 옥상에 우량계(tipping bucket rain gauge)를 설치하여 강우량을 측정하

였으며, 증발산량은 Penman-Monteith equation (Hillel, 1998)을 이용하여 계산하였다.

수질 분석은 Standard Methods (APHA, 1995)에 의하여 총질소(T-N)와 총인(T-P)를 분석하였으며, 토양분석은 각 처리구의 표토층 유기물을 제거한 후 표토 아래 3~20 cm 지점에서 토양 샘플을 채취하여 Methods of Soil Analysis (ASA and SSSA, 1982)에 의해 토양의 물리, 화학적 성분을 분석하였다. 식물체분석은 수확시에 3반복으로 샘플을 채집하여 Allen *et al.* (1986)에 의해 제안된 방법으로 총질소와 총인을 분석하였으며, 수확량 자료는 수확시에 줄기를 포함한 잎과 뿌리와 종실의 건물중을 측정하였다. 모든 자료는 SAS를 이용하여 통계 분석하였으며, 평균값은 유의수준 0.05의 최소유의수준(LSD)에 의해 구하였다.

### 4. 물수지 및 영양물질 수지

논에서의 물수지는 담수심의 변화로부터 평가되며 식은 다음과 같이 표현된다.

$$W_j = W_{j-1} + IR_{1j} + IR_{2j} + PR_j - (DR_j + ET_j + INF_j) \quad (1)$$

여기서,  $W_j$  = 당일 담수심 (mm),  $W_{j-1}$  = 전일 담수심 (mm),  $IR_{1j}$  = 당일 지하수 관개량 (mm),  $IR_{2j}$  = 당일 빗은 유입량 (mm),  $PR_j$  = 당일 일강우량 (mm),  $DR_j$  = 당일 배수량 (mm),  $ET_j$  = 당일 증발산량 (mm),  $INF_j$  = 당일 침투량 (mm)

첨자  $j$ 는  $j$ 번째 일자를 나타낸다.

논으로의 영양물질 유입은 대기에서의 강하와 관개수와 같은 자연공급과 무기, 유기물을 포함하는 시비로 크게 나누어 진다. 영양물질의 배출은 웨어를 통한 지표배수와 침투수, 식물의 흡수 등이다. 본 연구에서는 일반적으로 질소와 인의 영양물질 수지 식은 다음과 같이 표현된다.

$$I_{IR1} + I_{IR2} + I_{PR} + I_{FER} = O_{DR} + O_{INF} + O_{HRV} \quad (2)$$

여기서,  $I_{IR1}$  = 지하수 유입량,  $I_{IR2}$  = 빗은 유입량,

$I_{PR}$  = 강우 유입량,  $I_{FER}$  = 시비 유입량,  $O_{DR}$  = 배수 유출량,

$O_{INF}$  = 침투 유출량,  $O_{HRV}$  = 식물 수확량을 통한 유출량

논농사로 인한 수질의 효과를 고찰하기 위하여 논으로부터의 순배출부하량( $O_{Net}$ )은 시비와 식물체 수확을 배제한 영양물질 항으로 정의된다.

$$O_{Net} = O_{DR} + O_{INF} (I_{IR1} + I_{IR2} + I_{PR}) \quad (3)$$

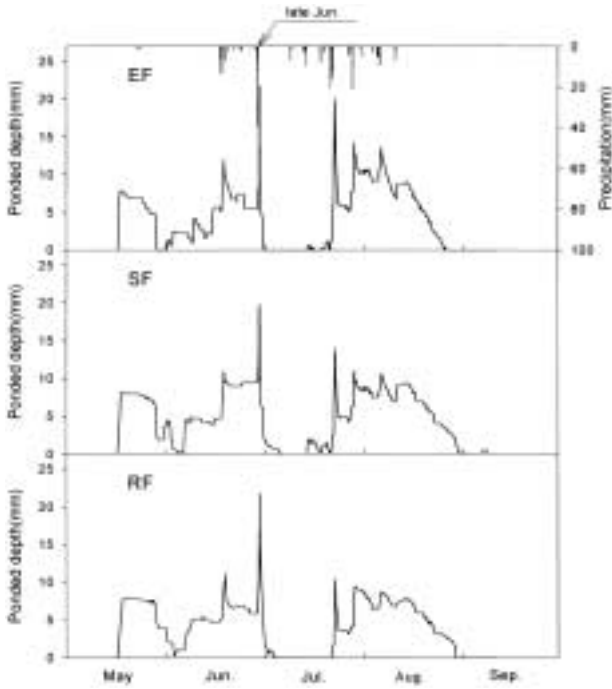


Fig. 2. Pondered water depth and rainfall record.

여기서,  $O_{Net}$ 이 (-)이면 정화형이며, (+)이면 배출형 논으로 분류된다.

## 결 과

### 1. 물 수지 분석

각 처리구에 지하수관개가 처음으로 이루어진 이후 경운을 실시하였으며, 웨어의 높이에 의해 담수심을 조절하였다. 초기관개 이후 웨어를 통한 강제배수를 제외하고 담수심은 강우와 3번의 지하수관개에 의해 유지하였다. Fig. 2는 각 처리구별 강우량과 담수심의 변화를 보여주고 있는데, 전 처리구 모두 첫 달 동안의 유입은 관개로 이루어졌고, 그 이후 담수심은 강우와 빗논으로

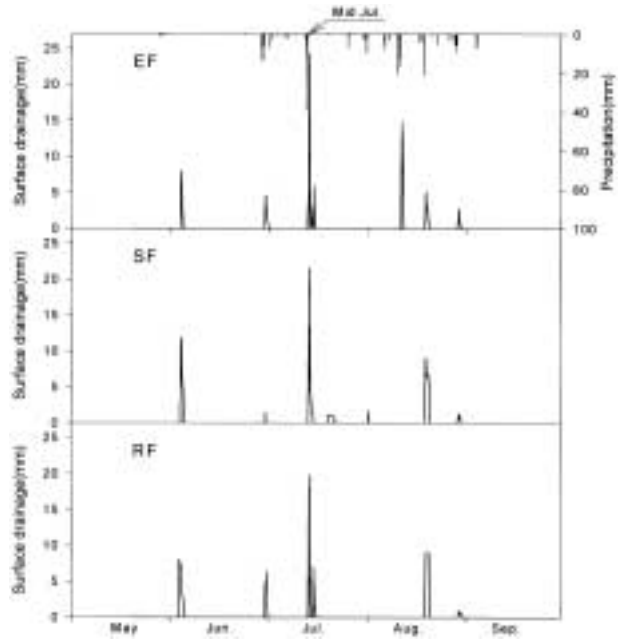


Fig. 3. Surface drainage from treatment plots and rainfall record.

부터의 유입수로 유지되었으며, 지표배수나 큰 강우가 없었던 9월 이후로는 기록되지 않았다.

지표유출의 경향은 모든 처리구가 일반적으로 비슷하였는데, 집중 강우에 의한 지표배수와 영농기간동안 강제배수에 의해 주로 발생되었다 (Fig. 3). 본 실험구는 완만한 경사를 가진 계단식 논으로 빗논으로부터 배수된 물이 실험구로 유입되고, 다음 아래논으로 배출된다.

처리구별 물수지 분석결과는 Table 4와 같다. 영농기간동안 논으로 유입되는 총 유입수는 1,070~1,232 mm 범위였으며, 이 중 약 41~48%가 강우에 의해 공급되었고, 나머지는 관개와 빗논으로부터 유입되었다. 총유출수는 총유입수와 거의 평형을 이루었는데, 지표배수와 증발산량이 가장 많은 부분을 차지하였고, 침투수는 상대적으로 적었다. 논에서의 물수지는 주로 영농기간동안 강우에 의해 영향을 받는 것으로 보여지나, 강우는 영농

Table 4. Water balance summary in the treatment plots during the study period.

Plots	Inflow (mm)				Outflow (mm)			
	IR1	IR2	PR	Total	DR	INF	ET	Total
EF	261.87 (24)	296.64 (28)	511.30 (48)	1,069.81 (100)	507.24 (47)	72.88 (7)	488.53 (46)	1,068.65 (100)
SF	312.46 (27)	357.84 (30)	511.30 (43)	1,181.60 (100)	593.21 (51)	77.01 (7)	488.53 (42)	1,159.45 (100)
RF	380.24 (31)	340.14 (28)	511.30 (41)	1,231.68 (100)	648.44 (54)	77.52 (6)	488.53 (40)	1,214.49 (100)

을 위한 필요수량 보다 적었으며 이러한 결과는 부분적으로 쌀 생산을 위한 관개의 시기가 총 필요수량 만큼 중요하다라는 것을 설명한다.

세 처리구 모두의 증발산량은 영농기간 초기에는 낮았으나, 영농 말기인 8월 초순에 6.63 mm/days로 최고치를 나타내었으며, 그 이후 작물 성숙기에는 감소하였다. 침투수량은 상대적으로 영농기간 초기에 최고 1.23 ~ 1.41 mm/days로 높았고, 8월에 출수기를 제외하고 시간이 갈수록 감소하였다.

## 2. 영양물질 수지 분석

유입과 유출에서 전체적인 영양물질 수지 분석 결과는 Table 5와 같다. SF (Standard Fertilization)는 유입과 유출사이에서 거의 평형을 이루었고, EF (Excessive Fertilization)는 유입량보다 유출량이 많았으며, RF (Reduced Fertilization)는 반대의 경향을 나타내었다. 본 연구에서 총 건물중은 EF가 15.4 ton/ha로 처리구 중 가장 높은 값을 나타내었으며, 다음으로 SF (13.5 ton/ha), RF (12.2 ton/ha)순으로 시비량이 증가할수록 건물중은 증가하여 시비량과 상관성이 있는 것으로 보여진다. 시비량의 변화에 따라 잎, 줄기, 뿌리의 건물중은 상당한 차이를 보였으나, 종실의 건물중은 EF, SF, RF가 각각 5.5 ton/ha, 5.2 ton/ha, 5.1 ton/ha로 차이가 크지 않은 것으로 보아 이는 과잉 시비가 생산량을 증대시키지 않는 것으로 보여진다 (Fig. 4).

유입부하량과 유출부하량의 차이 (outflow-inflow)는 Table 5와 같으며, (+)값은 논으로부터 감소된 것을 나타내고, (-)는 논에 축적된 것을 나타낸다. T-P와 T-N의 월별 유입과 유출은 Fig. 5와 Fig. 6과 같다. T-P 유

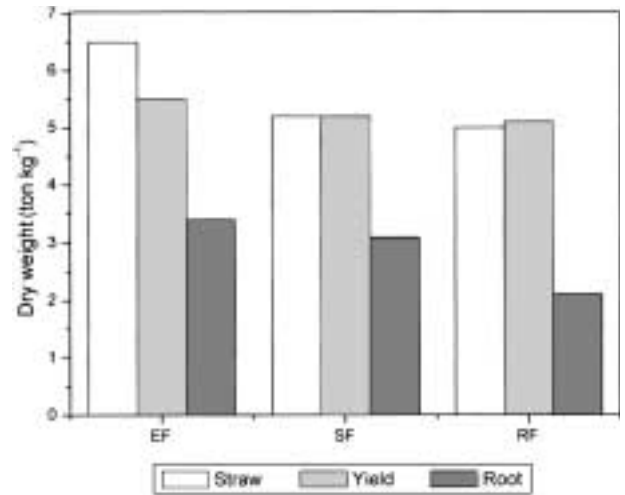


Fig. 4. Total (straw, yield, and root) dry weight of rice plants in paddy plots.

입의 대부분은 이앙시기의 시비에 의해 공급되었으며, 관개와 빗눈으로부터의 유입은 적은 부분을 차지하였다. T-N의 유입은 3번의 시비로 주로 공급되었는데, T-P와는 다르게 강우와 빗눈으로부터도 많은 양이 공급되었다. 지하수 관개는 상대적으로 깨끗한 물이므로 영양물질의 유입부하에는 많은 영향을 주지 않았다.

영양물질의 대부분의 유출은 Fig. 6에서 보여주는 바와 같이 식물의 흡수에 이루어졌지만, 지표배수에 의한 영양물질 손실은 T-N, T-P가 각각 10%와 7%로 많은 부분을 차지하였다. 질소 인 모두 침투에 의한 영양물질 손실은 거의 없었으며, 특히, T-P는 침투수에서 거의 검출되지 않았다.

Table 5. Nutrient balance summary in the treatment plots during the study period.

Items	Inflow (kg ha <sup>-1</sup> )					Outflow (kg ha <sup>-1</sup> )				Difference	
	I <sub>FER</sub>	I <sub>IR1</sub>	I <sub>IR2</sub>	I <sub>PR</sub>	Total	O <sub>DR</sub>	O <sub>INF</sub>	O <sub>HRV</sub>	Total		
T-P	EF	29.46 (96)	0.23 (1)	0.96 (3)	0.01 (0)	30.65 (100)	1.12 (6)	0.00 (0)	18.49 (94)	19.61 (100)	-11.03
	SF	19.64 (94)	0.27 (1)	0.98 (5)	0.01 (0)	20.89 (100)	1.21 (7)	0.00 (0)	16.34 (93)	17.56 (100)	-3.34
	RF	13.75 (92)	0.33 (2)	0.89 (6)	0.01 (0)	14.97 (100)	1.20 (7)	0.00 (0)	15.61 (93)	16.81 (100)	1.83
T-N	EF	165.00 (90)	2.72 (1)	6.89 (4)	7.97 (5)	182.58 (100)	12.64 (9)	1.81 (1)	126.27 (90)	140.71 (100)	-41.87
	SF	110.00 (85)	3.25 (3)	8.09 (6)	7.97 (6)	129.58 (100)	12.73 (10)	1.73 (1)	115.95 (89)	130.40 (100)	1.16
	RF	77.00 (78)	3.95 (4)	9.50 (10)	7.97 (8)	98.42 (100)	14.70 (12)	1.97 (2)	105.63 (86)	122.29 (100)	23.80

( ): Percentage

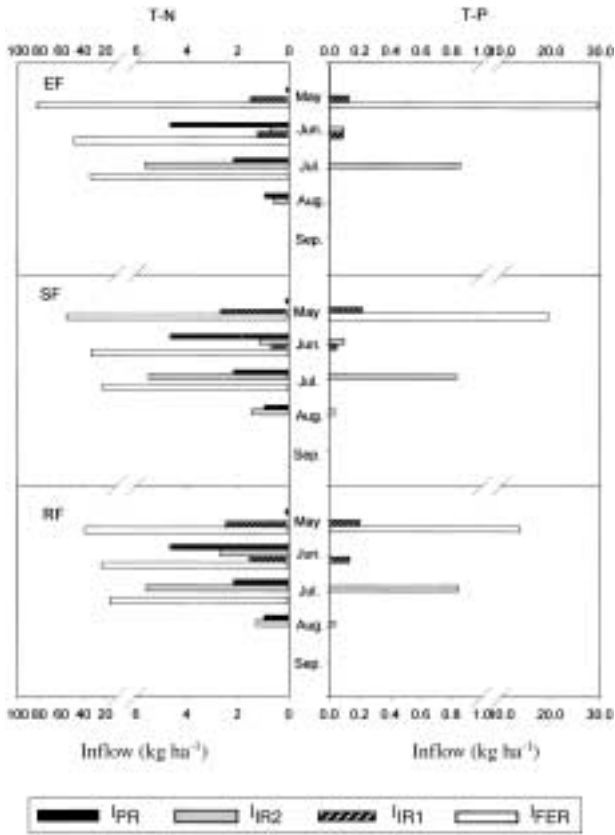


Fig. 5. Monthly nutrient inflow to the treatment plots.

### 3. 영양물질 순배출부하량

일본 (Udo *et al.*, 2000)과 우리나라 (Yoon *et al.*, 2001)의 연구결과를 토대로 강우량에 따른 순 배출량은 Fig. 7과 같다. 본 연구 결과는 (\*)로 표시되었으며, 600 mm 이하의 강우를 나타내었다. 비록 값들은 다소 산발적이지만, T-N과 T-P의 순 배출량은 일반적으로 강우에 의해 증가하는 경향을 가지고 있었으며, 특히, T-N의 경우는 뚜렷한 경향을 나타내었다. Hikone City data를 제외하고 강우가 영농기간동안 800 mm보다 적었을 때 T-N 순배출부하는 음의 값을 나타내어 논은 강우가 800 mm보다 많지 않다면 오염배출 시스템 보다는 정화하는 기능을 가진 시스템임을 의미한다. 우리나라의 연 평균강우량은 1,200 mm이며, 영농기간동안은 800 mm (May~October) 이하이므로, 논농사가 수계로 질소를 포함한 영양물질의 배출원이라는 일반적인 개념과 다르게 우리나라의 논은 질소의 잠재 정화 기능이 높은 토지 이용으로 분류된다. T-P의 순배출부하량은 우리나라의 연구 결과에서는 비슷한 경향을 나타내었으나, 일본의 경우는

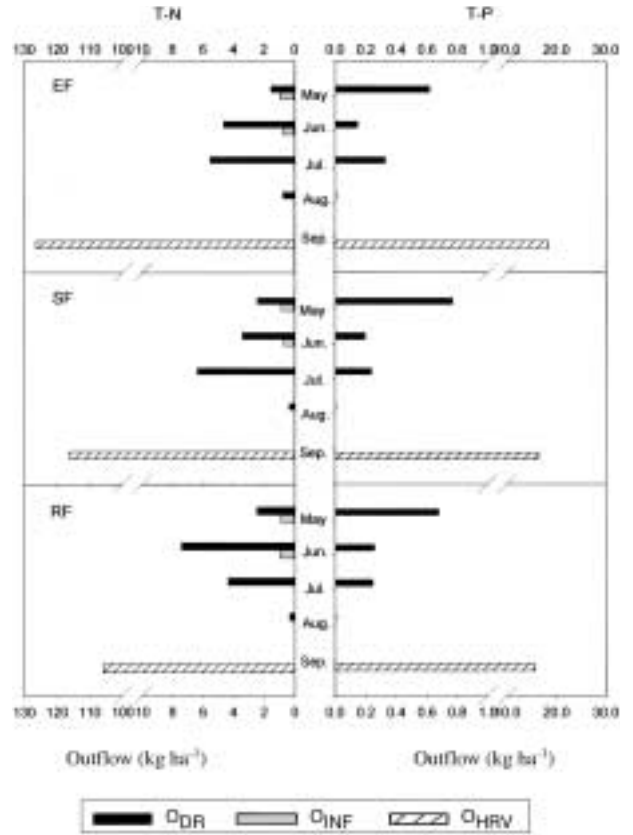


Fig. 6. Monthly nutrient outflow from the treatment plots.

(+)값을 나타내어 인이 배출되는 것으로 나타났는데, 이는 경작방법과 토양의 특성 강우강도와 지속기간이 다르기 때문으로 생각된다. 결국 우리나라의 경우 강우가 증가함에 따라 논에서의 영양물질의 순 배출부하량도 증가하는 것으로 나타나 논은 영농기간동안 강우가 800 mm를 초과하지 않는다면, 배출보다는 영양물질을 축적하는 공익적 기능을 가지고 있는 것으로 판단된다.

## 고찰

논농사는 많은 양의 관개용수와 영양물질을 필요로 하는데, 이 중 많은 양은 벼의 성장에 이용되지 않고 지표배수로 손실된다. 지표배수로 인한 영양물질의 손실은 수계로 유입되어 부영양화를 발생시키는데, 특히, 인과 질소는 벼 성장의 필수 영양물이면서 조류생산의 제한 영양물질이라는 상반되는 의미를 가진다. 본 연구에서는 하류의 수질보호를 위한 실질적인 대책을 제안하기 위해 시비량의 변화에 따라 지표 배수량과 배출부하량을

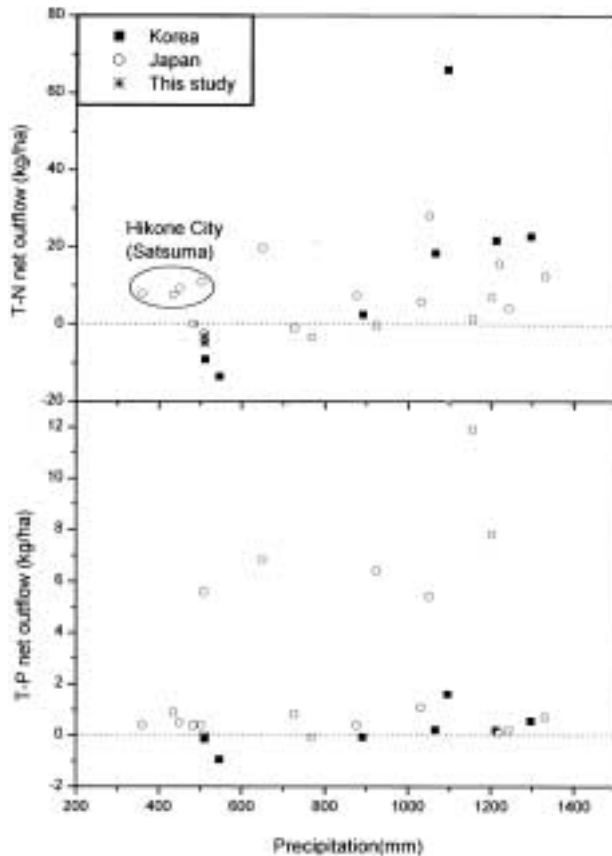


Fig. 7. Relationship between nutrient net outflow from paddy field and rainfall.

정량화하였다.

Table 4의 결과를 보면, 모든 처리구에서 지표배수는 증발산량보다 많았는데, 이는 총 유입량의 약 반을 차지한다. 수확량에 큰 영향을 미치지 않는 범위에서 유입수량을 제한하는 것은 논에서의 지표배수를 줄일 수 있을 것으로 생각된다. Bouman and Tuong (2001)는 담수심 5~10 cm에서 토양포화 수분상태까지 줄이면서 실험한 결과 23%의 물 절약효과와 6% 생산량 감소로 용수생산력증가는 토지생산성을 감소시키지 않는 것으로 나타났다. 대부분 공동 관개 시스템을 가지고 있는 아시아에서는 관개용수 사용료를 면적단위로 부담하거나, 전혀 부담하지 않기 때문에 관개용수를 절약하려는 노력은 부족하다. 그러므로, 관개용수사용료의 정책적 변환은 물 절약의 한 방법으로 보인다. 그러나, 영농을 위한 필요수량을 확보하기 위해서는 관개유입수의 보다 조심스러운 관리가 필요하며, 정확하고 적절한 물 공급이 요구된다.

논에서 물꼬 높이를 높이는 것은 강우의 저류능을 증

가시켜 지표배수를 통한 강우의 유출을 감소시킬 수 있다. 인디아에서 4 cm 간격으로 6 cm와 30 cm의 물꼬 높이를 증가시켜 3년간의 실험 결과 각각 56.75%, 99.5%의 강우 저류 효과가 있는 것으로 나타났다 (Mishra *et al.*, 1998). 본 연구에서는 물꼬 높이를 10 cm로 유지하였는데, 만일 필요하다면 물꼬 높이를 증가시켜 강우의 저류와 지표배수를 줄일 수 있을 것이다. 지표배수를 줄이는 다른 요인은 영농기간동안 관개방법이다. 본 연구기간동안 지표배수의 많은 양은 경작을 목적으로 발생하였는데, 중간낙수는 시비기간 동안 주로 실행되었기 때문에 지표배수는 중간낙수를 최소화함으로써 줄일 수 있을 것이다.

지표배수의 감소가 수계로의 비점원 영양물질 부하를 저감시킬 수 있기 때문에 중요한 의미를 가진다. 우리나라를 포함한 많은 나라에서 농촌지역에서의 수질 문제는 과잉시비와 농업배수가 큰 영향을 미치는 것으로 생각하고 있다. 논으로부터의 영양물질 부하량은 유출수에 의해 영양물질의 유출로 발생되므로, 지표배수의 감소는 비례적으로 영양물질 부하량을 감소시킬 수 있을 것이다. Table 5에서 보여주는 것과 같이 시비량은 지표배수로 영양물질의 손실에 큰 영향을 주지는 않는다. 따라서, 높은 시비량을 가진 논은 물꼬를 높여 지표배수를 최소화 함으로서 상당한 영양물질 부하를 감소시킬 수 있을 것으로 판단된다.

이상의 결과로 보면, 논에서의 영양물질 배출부하량을 감소시키기 위한 방법으로는 관개용수의 절약과 논둑에 있는 배수물꼬의 높이 조절, 강제배수를 최소화하는 방법 등이 있으며, 이를 통하여 1) 보다 효율적인 수자원 할당과 관개용수의 저감, 2) 지하수 재충전 효과와 강우 저류량의 증가로 홍수에방효과, 3) 영양물질 손실 감소, 영양물질 부하저감과 수질문제의 최소화 등을 기대할 수 있다.

일반적인 개념과 대조적으로 논에서의 수도작은 Fig. 7에서 보여주는 것과 같이 수질측면에서 이롭다. 논은 강우량이 많지 않은 경우 쌀 생산 뿐만 아니라 시스템안에 영양물질을 함유할 수 있으며, 만일 물꼬 높이를 증가시켜 강우 저류량을 증가시키면 영양물질 보유능력은 상당히 증가하여 보다 이로운 것이다. 그러므로 물꼬 높이의 증가는 쌀 수확량의 중대한 감소를 가지지 않는 범위 내에서 강우저류 뿐 아니라 수질보호를 위해 권장된다.

## 적 요

본 연구에서는 총 유입 (1,100 mm)의 반 정도가 강우

로부터 유입되었고, 나머지는 관개로부터 유입되었다. 유출은 총 유출량의 반 정도(47~54%)가 배수에 의한 유출이었으며, 식물의 성장을 위한 증발산량이 40~46%이었다. 지표배수의 경우 강우에 의한 유출과 중간낙수가 대부분을 차지하였다.

인과 질소의 영양물질 수지는 유입수의 대부분은 시비로부터 공급되고(78~96%), 대부분의 유출은 식물체 생산(86~94%)으로 발생되었으나, 지표배수를 통한 영양물질의 손실량(6~12%)도 많은 부분을 차지하였다. 시비량의 차이는 지표배수를 통한 영양물질 손실과 수확량에 적은 영향을 미치는 것으로 보아 낮은 시비량 적용만으로는 영양물질 유출을 감소시키기에는 큰 효과를 기대할 수 없다. 순배출부하량의 분석결과 논농사는 일반적인 강우량의 범위에서 오염물질배출원 보다는 수질 보호의 순기능이 있는 것으로 나타났다.

지표배수를 통한 영양물질 손실의 감소는 지표배수를 줄임으로써 효과를 기대할 수 있다. 담수심을 줄여 관개수를 절약하고, 논둑에서 물꼬의 높이를 증가시키고, 강제배수를 최소화 하는 방법들은 지표배수를 저감하기 위한 대안으로 제안된다. 이러한 영농방법은 물 절약과 수질 보호가 가능하지만, 영농방법의 변화는 수확량에 영향을 줄 것이라 생각되며 더 많은 연구를 필요로 할 것으로 판단된다.

## 사 사

본 연구(2001년)는 농림부 농림기술개발연구과제(농지배수의 친환경적 관리 및 처리기법 개발)의 지원에 의하여 수행되었음.

## 인 용 문 헌

- Allen, S.E., H.M. Grimshaw and A.P. Rowland. 1986. Chemical analysis, pp. 285-344. *In: Methods in Plant Ecology*. P.D. Moore and S.B. Chapman (eds.), Blackwell Science Publishers, Oxford.
- APHA. 1995. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 19<sup>th</sup> Ed. pp.4: 99-153. American Public Health Association, Washington, D.C.
- ASA and SSSA. 1982. Methods of Soil Analysis, Part 2: Chemical and Microbiological Properties, 2<sup>nd</sup> Ed. pp. 403-430 and 581-624. American Society of Agronomy, and Soil Science Society of America, Madison, WI.
- Bouman, B.A.M. and T.P. Tuong. 2001. Field water management to save water and increase its productivity in irrigated lowland rice. *Agricultural Water Management* **49**: 11-30.
- Cabangon, R.J., T.P. Tuong and N.B. Abdullah. 2002. Comparing water input and water productivity of transplanted and direct-seed rice production systems. *Agricultural Water Management* **57**: 11-31.
- Chae, J.C. 1998. Effect of tillage and seeding methods on percolation and irrigation requirement in rice paddy condition. *Korean J. of Crop Science*. **43**: 264-268.
- Counce, P.A., T.C. Keisling and A.J. Mitchell. 2000. A uniform objective and adaptive system for expressing rice development. *Crop Science* **40**: 436-443.
- De Datta, S.K., W.P. Abilay and G.N. Kalwar. 1973. Water stress effects in flooded tropical rice, pp. 19-36. *In: Water Management in Philippine Irrigation Systems: Research and Operations*. International Rice Research Institute, Los Banos, Philippines.
- Eom, K.C. 2001. Environmentally beneficial function of rice culture and paddy soil, pp. 28-35. *In: Rice Culture in Asia*. International Commission on Irrigation and Drainage, and Korean National Committee on Irrigation and Drainage, Korea.
- Hillel, D. 1998. Environmental Soil Physics, pp. 602-607. Academic Press, New York.
- Hukkeri, S.B. and A.K. Sharma. 1980. Water-use efficiency of transplanted and direct-sown rice under different water management practices, *Indian Journal of Agricultural Science* **50**: 240-243.
- Lee, B.W. 2001. Rice cultural practices in Asia, pp. 36-54. *In: Rice Culture in Asia*. International Commission on Irrigation and Drainage, and Korean National Committee on Irrigation and Drainage, Korea.
- 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.
- Udo, A., F. Jiku, T. Okubo and M. Nakamura. 2000. Mass balances of water and nutrients in a paddy field. *Journal of Japanese Society of Water Environment* **23**(5): 298-304 (in Japanese).
- Yoon, K.S., K.H. Han, J.Y. Cho, C.H. Choi, J.G. Son and J.K. Choi. 2002. Water and Nutrient Balance of Paddy Field Irrigated from a Pumping Station during Cropping Period. *Journal of Korean Society of Rural Planning*, **8**(1): 15-25 (in Korean).