

# 시비조건에 따른 단위 논에서의 영양염류의 농도 특성

## Characteristics of Concentrations of Nutrients in Paddy Plots with Different Fertilizer Application Rates

김진수\*, 이종진\*, 오승영\*  
Kim, Jin-soo, Lee, Jong-jin, Oh, Seung-young

### Abstract

A study was performed to investigate the effect of fertilizer application on concentration of nutrients in ponded and percolated waters in experimental paddy fields. Three experimental plots, i.e., reduced, standard, and excessive plots, were laid out according to fertilizer application rates. The concentrations of T-N and T-P in ponded water are high shortly after application but rapidly decrease afterwards. For percolated water, the concentrations of T-N in a standard plot are higher than in a reduced plot while those of T-P are not significantly different between the two plots. The T-N/T-P ratios are smaller than 10 in ponded water but larger than 50 in percolated water. The concentrations of T-N and T-P in ponded water are highest for the excessive plot but rice yield is highest for the standard plot. The results of this study show that the proper fertilization and water management are recommended to reduce the runoff loading from paddy fields.

### I. 서론

최근, 호소와 같은 정체수계에서는 느린 물질 순환으로 인한 영양물질의 집적으로 조류가 과잉증식하여 부영양화가 자주 발생하고 있다. 호소에서 조류의 과잉번식의 주된 원인은 호소 내에 과다하게 유입되는 질소와 인으로 알려져 있다. 이러한 영양물질들은 도시의 생활하수나 공장폐수, 축산폐수 등과 같은 점원오염뿐만 아니라 농기배수와 같은 비점원오염으로부터 다량히 호소로 유입되고 있다.

우리 나라에서 논은 전 농지의 60% 이상을 차지하고 있어 논에 시비된 비료성분의 유출 문제는 비점원오염의 중요과제로 인식되어 왔다. 논으로부터의 영양물질의 유출특성은 크게 단위 논 수준과 수십개의 단위 논으로 구성된 광역 논 수준에서 파악할 수가 있다.

일본에서 부영양화와 관련된 논으로부터의 영양염류의 유출에 대한 연구로서는 田淵(1974)에 의한 논오염설에 대한 반론으로부터 시작하여, 단위 논에서의 연구(小川과 酒井, 1985; 石川 등, 1992)와 광역 논에서의 연구(田

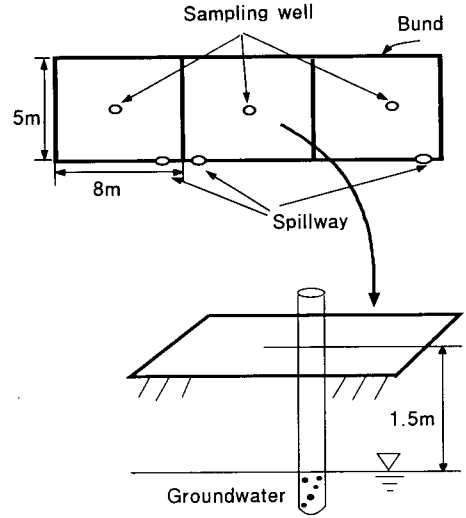
\* 충북대학교 농과대학

키워드: 단위논, 시비조건, 영양염류, 농도, 침투배출부하량

淵과 高村, 1985; 武田 등, 1990) 등이 상당히 축적되어 있다.

국내에서는 광역 논을 대상으로 영양염류의 유출특성에 관한 연구는 여러 연구자(홍과 권, 1989; 신과 권, 1990; 김 등, 1999)에 의해 수행되었다. 그러나, 단위 논을 대상으로 한 연구로서는 조 등(2000)이 비영농기 동안 강우시의 영양물질의 유출부하량에 대하여 추정한 바가 있으나, 관개기 동안의 영양염류의 유출에 관한 연구는 매우 미흡한 실정에 있다.

이에 본 연구에서는 시비조건을 달리하는 시험구를 대상으로 관개기 동안의 단위 논에서의 질소와 인의 농도 및 부하특성을 구명하고자 한다.



(Fig. 1) Schematic diagram of experimental plots

II. 실험구의 개요 및 실험방법

1. 시험구의 개요

본 연구의 실험포장은 충북대학교 농과대학 부속농장의 논으로서 <Fig. 1>과 같이 5×8m(40㎡)의 3개의 시험구로 구성되어 있다. 각 시험구 중앙부에는 지하 1.5m 지점에서 침투수를 채수할 수 있도록 <Fig. 1>과 같은 직경 75mm의 유공관(有孔管)이 설치되었고, 논둑에는 높이 약 7cm의 낙수구가 설치되어 있다. 이 곳의 용수는 부속농장 근처의 소류지에서 양수기로 1999년 5월 30일부터 9월 18일까지의 관개기 동안 약 3일 간격으로 약 50~60mm를 공급하였으며, 논으로부터 배수된 물은 다시 소류지로 유입되었다. 용수는 강우시의 월류를 제외하고 가능한 한 지표유출을 억제시키고 지하침투에 의해 배수시켰다.

2. 토양조건

실험포장의 토양은 통일분류법으로는 SM-SC(Silty sand-Clayey sand)로 나타났고, 미농

무성의 입도 조성에 의한 분류법에 의해 모래가 80%, 실트가 20%로 된 양토질 모래(Loamy sand)로 나타났다. 또한 토양의 포화 투수계수는  $1.2 \times 10^{-4}$ cm/s로 비교적 투수성이 큰 것으로 나타났다. 실험포장의 토양의 이화학적 성분은 <Table 1>과 같다.

(Table 1) Chemical characteristics of the experimental paddy plot soil

Item	Value	
pH(1 : 5)	5.48	
Organic matter(g/kg)	28.35	
Exchangeable cations (cmol <sup>+</sup> /kg)	K	0.30
	Ca	3.65
	Mg	1.07
EC(ds/m)	0.017	
T-N(mg/kg)	724	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/kg)	84.74	

3. 시비조건 및 경종(耕種)개요

본 실험은 ①감비구, ②표준시비구, ③과다시비구의 3개의 시비구에서 수행되었다. 시비

조건으로서는 <Table 2>와 같이 질소의 경우 감비구는 추천시비량인 11.0kgN/10a의 70%인 7.7kgN/10a을, 표준시비구는 추천시비량을, 과다 시비구는 추천시비량의 150%인 16.5kgN/10a를 시비했고, 인도 같은 비율로 시비하였다. 또한, 질소의 기비, 분얼비 및 수비의 양은 추천 시비 조건에 따라 5 : 3 : 2의 비율로 시비했다. 기비로서 6월 3일에 복합비료(21-17-17)를 시비했고, 분얼비는 6월 19일에 요소비료를 시비했으며, 수비는 8월 3일에 요소비료를 시비하였다.

벼품종은 중생종인 대진벼로서 6월 2일에 모내기를 평균 15×30cm의 간격으로 손으로 실시하였고, 9월 18일에 낫수, 10월 8일에 벼 수확이 이루어졌다. 모내기 전에는 짧게 잘린 벼짚을 논에 투입하였고 농약 살포는 관행적인 방법에 따라 이루어졌다.

격으로 강우시를 피하여 실시하였다. 수질항목은 총질소(T-N)와 총인(T-P)으로서 흡광광도법으로 분석하였다(환경부, 1997). 또한, 벼의 수확량은 중량법을 이용하여 측정하였다(이은용, 1986).



<Fig. 2> Percolation rate meter

<Table 2> Fertilizer application in experimental plots

Type of fertilizer rate	Nitrogen(kg/10a)				Phosphorus (kg/10a)
	Basal dressing	Topdressing I	Topdressing II	Total	Basal dressing
Reduced	3.85	2.31	1.54	7.70	1.36
Standard	5.50	3.30	2.20	11.0	1.94
Excessive	8.25	4.95	3.30	16.5	2.92

4. 침투량, 수질 및 수확량 측정

침투량은 각 시험구에 <Fig. 2>와 같이 제작한 침투량계를 설치하여 1999년 6월 초순부터 9월 중순까지 평균 1~2일 간격으로 측정하였다. 수질측정은 논표면수, 침투수 및 용수에 대하여 1999년 5월 하순부터 6월 중순까지의 시비기에는 5일 간격으로 6월 중순부터 9월 하순까지의 기간에는 평균 10일 간

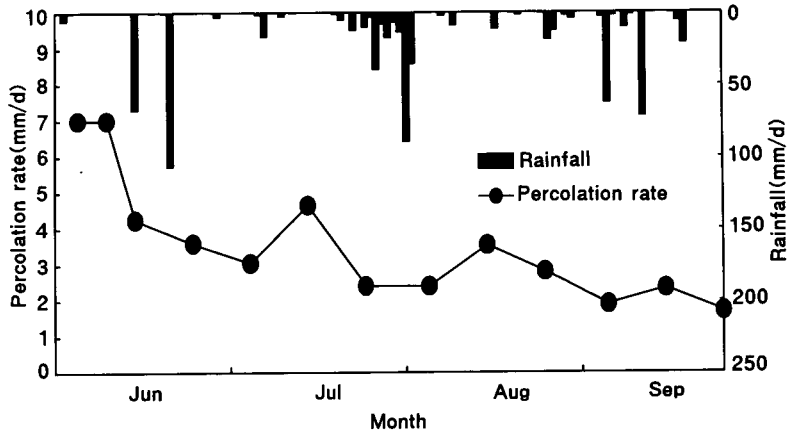
III. 결과 및 고찰

1. 강우량 및 침투량

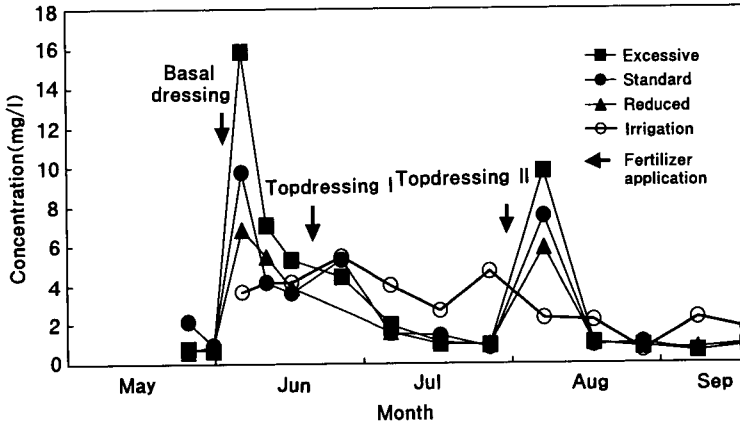
5월 30일부터 9월 25일까지의 영농기간 동안의 총 강우량은 797.6mm이었고, 최대 일우량은 6월 23일에 106.7mm를 나타냈다. 침투량은 6월 초순에는 최대 7.3mm/d로 나타났으나 시간의 경과와 함께 점점 감소하여 9월 중순에 최소 1.7mm/d로 나타났다<Fig. 3>. 이와 같은 관개 초기의 높은 침투량은 비영농기 동안의 발상태의 토양에 존재하고 있는 균열 때문으로 사료된다. 관개기 동안 침투량의 평균 값은 3.5mm/d로 논토양으로서는 중간정도의 침투량을 나타냈다.

2. 논표면수의 농도변화

T-N 농도는 시기별로 농도의 변화가 크게 나타났다<Fig. 4>. T-N 농도는 시비 직후에



<Fig. 3> Rainfall and percolation rate in growing season



<Fig. 4> Change in concentration of T-N in ponded water

는 매우 높게 나타나, 기비 직후(6월 초순)에는 과다시비구는 15.8mg/l, 표준시비구는 9.7mg/l, 그리고 감비구는 6.8mg/l를 나타냈고, 수비 직후(8월 초순)에는 과다시비구는 9.8mg/l, 표준시비구는 7.5mg/l, 그리고 감비구는 5.9mg/l를 나타냈다. 그러나 시비 후 시간의 경과와 함께 저하하여 시비의 영향이 적은 시기인 7월 초순부터 7월 하순까지, 또한, 8월 중순 이후에는 2mg/l 이하로서 용수농도보다 낮게 나타났다.

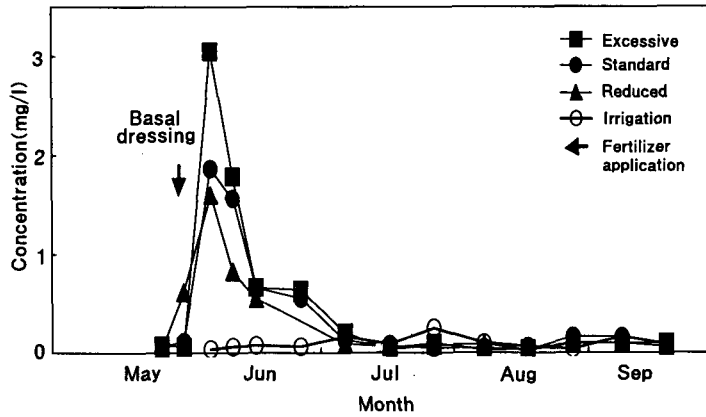
인은 기비에만 시비되었으므로 T-P 농도는 기비 직후(6월 초순)에는 과다시비구가 3.04mg/l, 표준시비구는 1.86mg/l, 그리고 감비구는 1.60mg/l로 매우 높게 나타났다<Fig. 5>. T-P의 농도도

T-N의 농도와 마찬가지로 시비 후 시간의 경과와 함께 저하하여 7월 중순 이후로는 세 시험구 모두 약 0.2mg/l 이하로 거의 같게 나타났다.

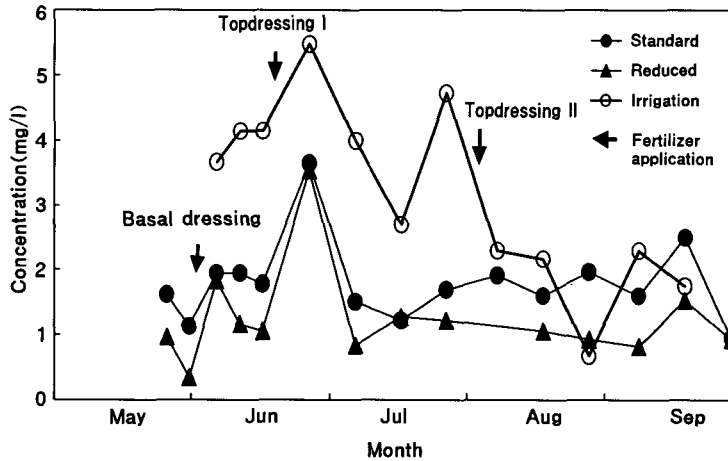
이와 같이 시비 직후에는 용해된 비료성분으로 표면수의 T-N과 T-P 농도가 높게 나타나므로, 배출부하량을 저감하기 위해서는, 시비 직후에 낙수와 같은 표면수의 유출을 적극적으로 억제시킬 필요가 있을 것으로 사료된다.

### 3. 침투수의 농도변화

과다시비구에서의 침투수의 농도자료는 오수의 침입 등과 같은 외부 영향으로 인하여



<Fig. 5> Change in concentration of T-P in ponded water



<Fig. 6> Change in concentration of T-N in percolated water

과다하게 나타난 것으로 사료되어 본 연구에서는 제외시켰다. 따라서 침투수에서는 감비구와 표준시비구의 자료만을 대상으로 했다.

T-N 농도는 대부분의 관개기간에 걸쳐 거의 2mg/l 이하로 용수보다 낮게 나타났고, 표준시비구가 감비구보다 높게 나타났다<Fig. 6>.

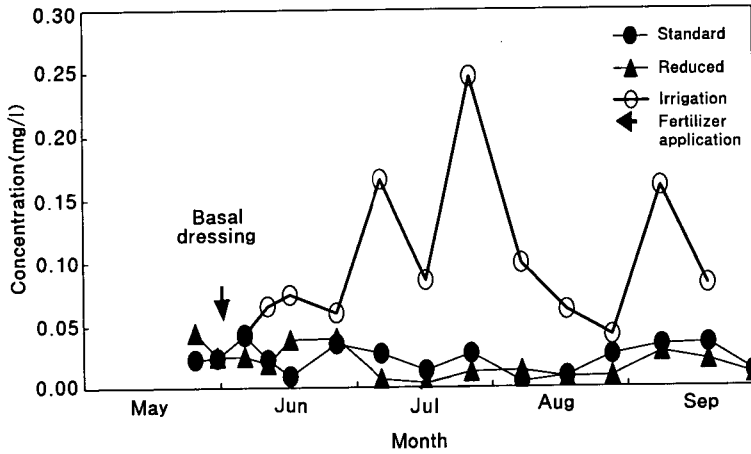
T-P 농도는 T-N과는 달리 표준시비구와 감비구 사이에 차이가 거의 없고 전 관개기간에서 농도가 거의 0.05mg/l 이하로 일정하고 용수보다 낮게 나타났다<Fig. 7>. 이와 같이 T-P 농도가 낮은 것은 토양에 의한 인의 흡착작용 때문으로 사료된다.

#### 4. 용수의 농도변화

T-N 농도는 관개 초기에는 높았다가 관개 후기로 갈수록 점점 저하하는 경향이 나타났다<Fig. 6>. 또한, T-P 농도는 일반적으로 0.1mg/l 보다 낮게 나타났지만 7월 초순과 하순 및 9월 초순에는 0.1mg/l 보다 높게 나타났다<Fig. 7>.

#### 5. 농도의 기본 통계치

전 관개기간에 걸친 시험구에서의 T-N과 T-P의 농도의 평균값, 표준편차, 변동계수 등



<Fig. 7> Change in concentration of T-P in percolated water

<Table 3> Summary of water quality in paddy plots

(a)T-N

(Unit : mg/ℓ)

Type of fertilizer rate	Water type	Number of samples	Mean $\bar{x}$	Max	Min	Standard deviation s	Coefficient of variation $s/\bar{x}(\%)$
	Irrigation	12	3.2	5.5	0.6	1.4	44
	Rainfall	10	0.8	1.7	0.1	0.5	71
Reduced	Ponded	13	2.4	6.8	0.6	2.3	96
	Percolation	14	1.2	3.5	0.3	0.7	60
Standard	Ponded	14	2.9	9.7	0.6	2.8	98
	Percolation	15	1.8	3.7	1.1	0.6	35
Excessive	Ponded	14	3.7	15.8	0.6	4.5	123

(b)T-P

(Unit : mg/ℓ)

Type of fertilizer rate	Water type	Number of samples	Mean $\bar{x}$	Max	Min	Standard deviation s	Coefficient of variation $s/\bar{x}(\%)$
	Irrigation	12	0.10	0.25	0.027	0.06	62
	Rainfall	10	0.01	0.03	0.003	0.01	61
Reduced	Ponded	13	0.33	1.60	0.027	0.47	143
	Percolated	14	0.02	0.04	0.003	0.01	64
Standard	Ponded	14	0.40	1.86	0.031	0.59	150
	Percolated	15	0.02	0.04	0.004	0.01	49
Excessive	Ponded	14	0.50	3.04	0.031	0.87	175

을 요약하면 <Table 3>과 같다.

표면수의 T-N의 평균농도는 감비구, 표준시비구, 과다시비구에서 각각 2.4, 2.9, 3.7mg/l로 시비량이 많을수록 높게 나타났다. 침투수의 T-N 평균농도는 감비구, 표준시비구에서 각각 1.2, 1.8mg/l로서 t검정 결과 유의수준 0.05 수준에서 표준시비구가 감비구보다 높게 나타났다. 변동계수는 감비구와 표준시비구에서 각각 60%와 35%로 표면수보다 낮게 나타났다.

표면수의 T-P 평균농도는 감비구, 표준시비구, 과다시비구에서 각각 0.33, 0.40, 0.50mg/l로 나타나, T-N과 같이 시비량이 많을수록 높게 나타났고, T-P의 변동계수는 감비구, 표준시비구, 과다시비구에서 각각 143%, 150%, 175%로서 T-N의 변동계수보다 높게 나타났다. 침투수의 T-P 평균농도는 감비구와 표준시비구에서 모두 0.02mg/l로서 t검정 결과 유의수준 0.05 수준에서 유의적인 차이를 보이지 않았고, 이것은 T-N 평균농도의 약 1/100, 용수의 T-P 평균농도인 0.1mg/l의 1/5로 매우 낮게 나타났다.

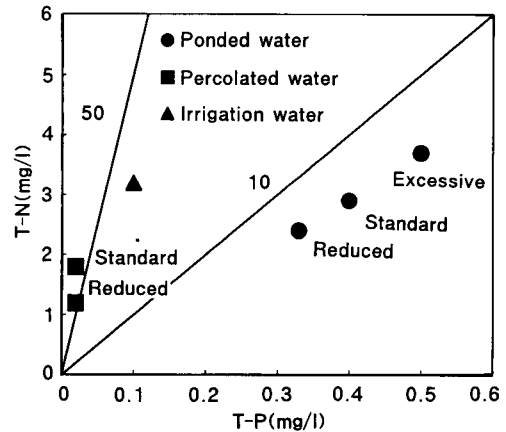
용수의 T-N과 T-P의 평균농도는 각각 3.2, 0.1mg/l로 나타났고, 강우의 T-N과 T-P의 평균농도는 각각 0.8, 0.01mg/l로 논표면수, 침투수 및 용수에 비하여 가장 낮게 나타났다. 용수의 T-N의 평균농도는 농업용수 수질기준인 1mg/l의 3배 이상인 3.2mg/l로 나타났지만, 실험포장과 같은 양토질 모래의 토양에서는 과다시비조건 하에서도 수확기에 도복은 발생하지 않았다.

6. T-N/T-P 비

표면수의 T-N/T-P 농도비의 평균값은 <Fig. 8>에서와 같이 감비구, 표준시비구, 과다시비구에서 각각 7.3, 7.4, 7.4로 거의 일정하게 나타났

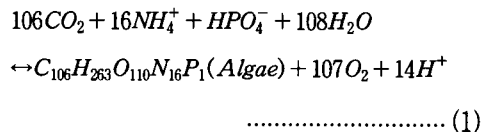
다. 이것은 시비량의 증가에 따라서 T-N과 T-P의 농도가 모두 증가하여 T-N/T-P 비는 거의 변화하지 않기 때문으로 판단된다.

침투수의 T-N/T-P 비는 감비구에서 60.0, 표준시비구에서 90.0으로 나타나 시비량이 증가함에 따라서 T-N/T-P 비도 크게 되는 경향을 나타냈다. 이것은 침투수에서는 시비량이 증가함에 따라 T-N 농도는 증가하나 T-P 농도는 거의 변하지 않기 때문으로 사료된다. 한편, 용수의 T-N/T-P 비는 31.7로 표면수와 침투수의 중간정도를 나타냈다.



(Fig. 8) Comparison of average concentrations of T-N versus T-P

조류(Algae)성장에 있어서 광합성과 호흡의 화학 평형식은 식(1)과 같이 표현된다(Chapra, 1997).



여기서 탄소 : 질소 : 인의 건조중량비는 다음과 같다.

$$C : N : P$$

$$106 \times 12 : 16 \times 14 : 1 \times 31$$

$$40\% : 7.2\% : 1\% \dots\dots\dots (2)$$

T-N/T-P 비가 7.2일 때 호소 부영양화의 원인이 되는 조류는 가장 잘 성장할 수 있는 조건이 되는데, 일반적으로 T-N/T-P 비가 20보다 크면 인이 제한인자가 되고 5보다 작으면 질소가 제한인자가 되는 것으로 알려져 있다(Thomann and Mueller, 1987). 침투수에서는 T-N/T-P 비가 50보다 높기 때문에 조류 성장에 있어서 인이 제약인자가 되고 있는 것으로 나타났다. 한편, 논표면수에서의 T-N/T-P 비는 7.3~7.4로서 질소 제약인자의 조건에 근접하는 것으로 나타났다.

7. 표준시비구에서의 침투배출부하량의 추정

침투배출부하량은 [침투수의 농도]×[침투량]에 의하여 산정된다.

표준시비구에서 T-N과 T-P의 침투배출부하량의 평균값은 각각  $6.3 \times 10^{-2}$ ,  $0.08 \times 10^{-2} \text{kg/ha/d}$ 로 나타났다. 또한, 최대값은 6월 초순에 T-N은  $14.4 \times 10^{-2} \text{kg/ha/d}$ , T-P는  $0.31 \times 10^{-2} \text{kg/ha/d}$ 로서 관개 초기에 나타났는데 이것은 높은 침투량 때문으로 사료된다. 최소값은 T-N은 9월 하순에  $2.0 \times 10^{-2} \text{kg/ha/d}$ , T-P

는 8월 초순에  $0.01 \times 10^{-2} \text{kg/ha/d}$ 로 나타났다 <Fig. 9>.

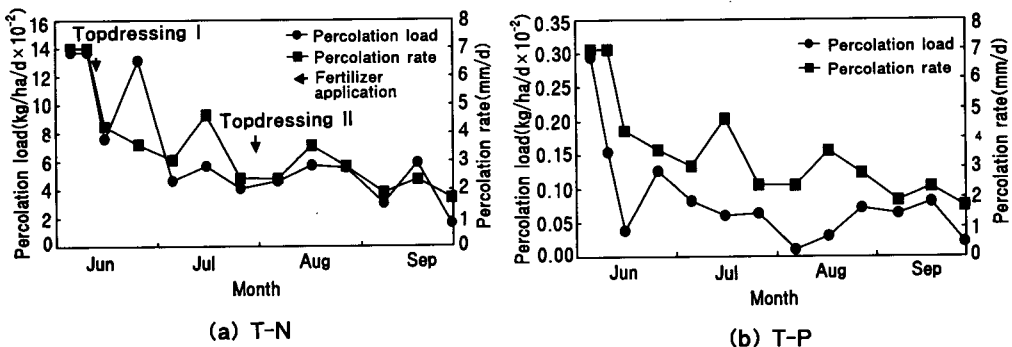
5월 30일부터 9월 25일까지의 영농기간 119일 동안의 표준시비구에서의 총 침투배출부하량은 T-N은 7.5kg/ha, T-P는 0.086kg/ha 정도가 될 것으로 추정된다.

8. 벼의 수확량

단위면적당 정조(正租, rough rice) 즉 왕겨까지 포함한 벼의 수확량은 다음과 같은 중량법으로 구했다.

$$\text{단위면적당 수확량(중량)} = \text{단위면적당 이삭수} \times 1\text{이삭의 평균 영화수(平均穎花數)} \times \text{등숙률} \times \text{평균 1립중}$$

여기서, 단위면적당 이삭(Panicle)수는 1m<sup>2</sup>당 이삭수로 한다. 1이삭의 평균 영화(Spikelet)수는 중간치를 나타내는 이삭의 입수인데, 전체 영화수를 이삭수로 나눈 평균치이다. 등숙률(登熟率)은 총 영화수, 즉 이삭에 붙어 있는 총 입수(總粒數)에 대한 충실히 여문 등숙립수(登熟粒數)의 비율(%)을 말한다. 여기서 등숙립(登熟粒)이란 수확된 낱알을 선정했을 때 쌀알로서 상품적 가치가 있을 정도로 여문 벼알



(Fig. 9) Percolation load and percolation rate of T-N and T-P in a standard plot



즉, 쪽정이를 제거한 총실립을 말한다. 평균 1립중(粒重)은 쪽정이를 제거한 등숙립을 임의로 100개를 취해 중량을 잰 후 100으로 나누어 구한 낱알의 무게를 말한다.

백미(白米, Milled rice)의 수확량은 [정조의 수확량]×0.7로 산정하는데, 시험구에서의 단위면적당 백미의 수확량은 감비구에서 366.7kg/ha, 표준시비구에서 438.6kg/ha, 과다시비구에서 366.3kg/ha으로 표준시비구에서 가장 크게 나타났다<Table 4>.

한편, 초장(草長)은 감비구, 표준시비구, 과다시비구에서 각각 65, 68, 72cm로 과다시비구>표준시비구>감비구 순으로 나타났으나, 수확량은 시비량에 관계없이 표준시비구가 가장 많고, 감비구와 과다시비구는 거의 차이가 없었다. 이와 같이 관행적인 시비구인 과다시비구에서 초장은 가장 컸지만 수확량은 표준시비구에서 가장 크게 나타나 수확량이 시비량에 항상 비례하지는 않는 것으로 나타났다. 따라서 농촌에서 많은 수확량을 얻기 위하여 관행적으로 시비량을 과다 투입하는 경향이 있으나, 이는 지양되어야 할 것으로 사료된다

<Table 4> Rice yield and length of rice plant in experimental plots

Item	Reduced	Standard	Excessive
Number of panicle per 1 m <sup>2</sup>	306.6	386.6	386.6
Number of average spikelet per panicle	61.5	55.4	51.3
Percent of ripened grain(%)	97.9	98	97.5
100 grain weight(g)	2.837	2.988	2.704
Rough rice yield(kg/10a)	523.7	627.2	522.9
Milled rice yield(kg/10a)	366.7	438.6	366.3
Length of rice plant(cm)	65	68	72

#### IV. 결 론

본 연구에서는 시비량이 다른 3개의 단위 논을 대상으로 관개기 동안의 논표면수와 침투수를 중심으로 T-N과 T-P의 농도 특성과 벼의 수확량에 대하여 고찰하였다. 여기서 얻은 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 각 시험구에서의 논표면수의 T-N과 T-P 농도는 시기별 변화가 심하여 시비 직후에는 높게 나타났으나 시간의 경과와 함께 강하하여, T-N은 7월 초순~하순 또한, 8월 중순 이후에는 2mg/l 이하를 나타냈고, T-P는 7월 중순 이후에는 0.2mg/l 이하로서 낮게 나타났다.

2. 침투수의 농도는 논표면수에 비하여 시기별 변화가 작았으며, t검정 결과 0.05 유의수준에서 T-N 농도는 표준시비구가 감비구보다 높게 나타났으나, T-P 농도는 표준시비구와 감비구가 같게 나타났다.

3. T-N/T-P 비의 평균값은 논표면수에서는 7.3~7.4로 낮게 나타났으나, 침투수에서는 50 이상으로 높게 나타났다. 이와 같이 조류성장에 있어서 침투수에서는 인이 제약인자가 되고 있고, 논표면수에서는 질소가 제약인자가 되는 조건에 근접하는 것으로 나타났다.

4. 단위 논에서의 침투배출부하량을 산출함으로써 논 오염원단위의 기초자료가 제공되었는 바, 표준시비구에서의 침투배출부하량의 평균값은 T-N이 6.3×10<sup>-2</sup>kg/ha/d, T-P가 0.08×10<sup>-2</sup>kg/ha/d로 나타났다.

5. 벼의 초장(草長)은 시비량에 비례하여 과다시비구>표준시비구>감비구 순으로 나타났으나, 수확량은 적정시비량이 투입된 표준시비구에서 가장 높게 나타났다.

논표면수의 농도는 시비 직후에는 시비량에 비례하여 크게 나타나는 경향이 있으나, 작물의 수확량은 적정량이 시비된 표준시비구에서

가장 크게 나타났다. 따라서 수질보전을 위해서는 시비량의 절감과 같은 시비관리, 시비 직후의 낙수의 억제와 같은 적절한 물 관리 등에 의해 배출부하량을 감소시킬 필요성이 있으리라고 생각된다.

본 연구에서는 완전한 물 수지의 측정이 이루어지지 않아, 논에서의 정확한 물질수지를 파악할 수 없었다. 이에 관한 연구는 금후의 과제로 하려고 한다.

### 참고문헌

1. 김진수, 오승영, 김규성, 1999. 광역논에서의 질소·인의 농도와 오염부하량 특성, 한국농공학회지, 41(4), pp.47~56.
2. 신동석, 권순국, 1990. 논에서의 질소 및 인의 농도와 유출입, 한국환경농학회지, 9(2), pp.133~141.
3. 李殷雄, 1986. 四訂 水稻作, 향문사, pp. 86~93.
4. 조재영, 한강완, 최진규, 구자용, 손재권, 2000. 비영농기간 단일필지 논으로부터의 영양물질의 유출부하량, 한국농공학회지, 42(2), pp.63~70.
5. 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.
6. 환경부, 1997. 수질오염공정시험방법, pp.199~209.
7. Chapra, S. C., 1997. Surface water-quality modeling, McGraw-Hill, Inc., pp.527~528.
8. Thomann, R. V., and Mueller, J. R., 1987. Principles of surface water quality modeling and control, Harper and Row, pp.399~404.
9. 武田育郎, 國松孝男, 小林愼太郎, 丸山利輔, 1990. 降雨時における水田からの汚濁負荷流出, 水田からの汚濁負荷流出に関する研究(I), 農業土木學會論文集, 147, pp.79~85.
10. 石川雅也, 田淵俊雄, 山路永司, 中島淳, 1992. 暗渠浸透による水田の水質淨化試験, 水田土壤の水質淨化機能に関する研究(I), 農業土木學會論文集, 159, pp.81~89.
11. 小川吉雄, 酒井一, 1985. 水田における窒素淨化機能の解明, 日本土壤肥料雜誌, 56(1), pp.1~9.
12. 田淵俊雄, 1974. 農地汚濁説への驚きと疑問, 水溫の研究, 18(1), pp.32~34.
13. 田淵俊雄, 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.