

광역논에서의 용존성과 입자성 영양물질의 거동 특성

## Behavior of the Dissolved and Particulate Nutrient at Paddy Field Area

오 승 영\*, 김 진 수\*\*, 정 구 영\*\*\*

Seung Young Oh, Jin Soo Kim, Gu Young Jung

### Abstract

Nutrients behavior were investigated at a paddy fields area(Soro-ri) with large-scaled plots on loam soil during irrigation seasons of 2001~2003. The average concentration of TN, TDN and TDP in drainage water was higher than that in irrigation water. On the other hand, the average concentration TP in irrigation water was higher than in drainage water. The ratio of TDN to TN accounted for over 90% and the ratio of TDP to TP accounted for 50~70%. Especially, the ratio of TDP to TP in drainage water was higher than that in irrigation water, suggesting that much of particulate component was reduced due to sedimentation and adsorption in paddy fields plots. Overall, particulate phosphorus usually account for 44 to 77% of the total phosphorus during storm events.

*Key words* : Paddy field, Dissolved, Particulate, Nutrient, Storm event

### 1. 서론

농업생산성의 제고를 위하여 1993년부터 시작된 대구획(표준구획 1 ha) 경지정리는 1999년 현재 6만 7천 ha에 달하고 있다. 대구획논은 금후 농업생산기반에서 중추적인 역할을 담당할 것으로 예상되는데, 지금까지의 우리나라 논에서의 오염물질의 농도, 부하 특성에 관한 연구는 주로 유입, 유출에 대한 양과 질적인 측면에서 접근하였다(김 등, 2001). 강우가 없는 평상시와 강우로 인한 강우시의 영양물질의 거동은 양적인 측면뿐만 아니라 질적인 측면에서도 상당히 다른 특성을 보인다고 보고되었다. 일반적으로 질소는 용존성(dissolved)이 강하고, 인은 입자성(particulate)이 강한 것으로 알려져 있다. 그러나 논에서의 질소나 인의 거동 중 용존성과 입자성 성분의 거동은 잘 알려져 있지 않다. 또한 논에서의 비점원오염은 강우량이나 물 관리 방법에 크게 좌우되는데, 강우량이 적은 갈수년에는 농민들이 적극적으로 논으로부터의 지표유출을 억제하여 논에서 발생하는 오염부하의 농도나 부하 특성은 평년과는 상당량 다르게 나타날 수 있다.

이에 본 연구에서는 관개기 동안의 지표수 관개를 하는 광역논에서 유출입되고 있는 질소와 인의 거동을 용존성과 입자성 성분을 분리하여 고찰하여 농업비점원 관리대책에 기초 자료를 제공하고자 한다.

### 2. 조사지구 및 조사방법

#### 2.1 조사지구의 개요

본 연구의 조사지구는 충청북도 청원군에 옥산면 소로리에 위치한 대구획의 광역논 지구이다. 농경지 면적은 41.9 ha이나, 강우시의 유역면적은 논로, 수로 및 제방까지의 분수선까지 포함하여 50.1 ha가 된다.

본 지구는 금강수계의 지류인 미호천 변의 충적 평야에 위치하고 있으며, 수원은 농업기반공사에서 관리하고 있는 청원군 오창면 여천리에 위치한 여천보(L×H=255 m×2.5 m)이다. 본 지구는 1996년도에 대구획 경지정리 사업이 시행되어 표준 단위구획 면적이 1.0 ha(100 m×100 m)이다. 용·배수로는 콘크리트 개수로로 되어 있고 용·배수는 분리되어 있다. 토양은 미 농무성의 입도 조성에 의한 삼각좌표 분류법에 의해 롬(loam)으로 나타났다.

유량 및 수질 측정점은 Fig. 1과 같이 용수로 1곳(●), 배수로 1곳(□), 조사유역의 유역말단 1곳(■)을 선

\* 정희원 · 충북대학교 농공학과 박사수료 · E-mail : [osyoung@magicn.com](mailto:osyoung@magicn.com)

\*\* 정희원 · 충북대학교 농과대학 교수 · E-mail : [jskim@cbnu.ac.kr](mailto:jskim@cbnu.ac.kr)

\*\*\* 정희원 · 충북대학교 농공학과 석사과정 · E-mail : [gguing@nate.com](mailto:gguing@nate.com)

정하여 측정하였다. 그림에서 □는 관개 후 논으로부터 배수로만 이루어진 지점이며, ■은 용수와 배수가 합류된 지점이다.

## 2.2 조사 방법

유량 및 수질측정은 그림 1과 같은 측정점에서 2001~2003 관개기 동안(4월 중순~9월 중순) 평균 5일 또는 10일 간격으로 조사하였다. 유역으로부터의 유량은 수로 하단부에서 수위와 유속을 측정하여 계산하였다. 수질분석용의 샘플은 각 수로에서의 유심에서 채수하였다. 채수된 시료는 실험실로 가지고 와서 TN, TP, TDN(total dissolved nitrogen, 용존성 총질소), 및 TDP(total dissolved phosphorus, 용존성 총인)를 분석하였다. TN과 TP는 환경부 공정시험법에 의한 흡광광도법으로 분석하였다. TDN(total dissolved nitrogen), TDP(total dissolved phosphorus)는 Membrane filters(0.45µm)로 통과시킨 후에 TN, TP의 분석과 같은 방법으로 실시하였다. TPN(total particulate nitrogen), TPP(total particulate phosphorus)는 TN, TP에서 TDN, TDP를 각각 감(減)함으로써 계산하였다.

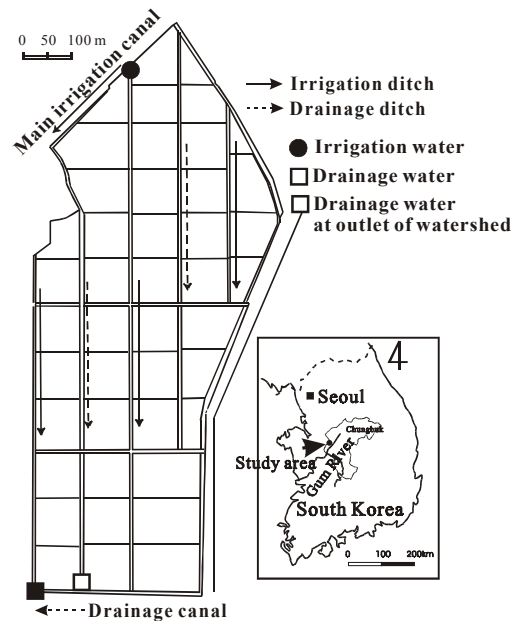


그림 1. 조사지구

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 관개기 동안의 평상시 평균농도

관개기 동안의 조사지구 광역논에서의 강우가 없는 평상시의 TN, TDN, TP, TDP의 유량 가중 평균 농도는 표 1과 같다. TN에 대한 TDN의 평균 비율은 용수 94.6%, 배수 96.6%, 유역말단배수 96.1%로 나타났으며 질소의 대부분이 용존성으로 존재하는 것으로 나타났다. 논에 관개를 한 후 배수된 배수와 유역말단배수가 용수에 비해 약 2%의 용존성 성분이 증가하는 것으로 나타났다. TP에 대한 TDP의 평균 비율은 용수 42.3%, 배수 61.0%, 유역말단배수 50.9%로 질소에 비해 용존성 성분이 낮게 나타났다. TN에 대한 TDN의 비율은 용수>유역말단배수>배수의 순으로 나타났으며, TP에 대한 TDP의 비율은 용수>배수>유역말단배수의 순으로 나타났다. 특히, 인의 경우 용수가 논을 통과하면서 입자성 성분은 크게 감소를 하게 되는데, 이것은 입자성 성분이 논에서 상당 부분 침전하거나 논 토양에 흡착하기 때문으로 생각된다.

표 1. 광역논에서 관개기간 동안의 TN, TDN, TP 및 TDP 농도

	Year	Number of samples	Nitrogen			Phosphorus		
			①TN (mg/L)	②TDN (mg/L)	Ratio(%) =②/①×100	③TP (mg/L)	④TDP (mg/L)	Ratio(%) =④/③×100
Irrigation water	2001	12	2.21	2.05	92.4	0.096	0.044	46.5
	2002	14	2.76	2.62	95.0	0.091	0.051	56.5
	2003	15	3.27	3.14	96.1	0.116	0.043	37.4
	Mean	41	2.69	2.55	94.6	0.099	0.047	42.3
Drainage water	2001	16	3.16	3.05	96.5	0.102	0.075	73.8
	2002	18	4.78	4.63	96.7	0.074	0.038	51.6
	2003	33	3.09	2.99	96.6	0.098	0.042	42.3
	Mean	67	3.69	3.57	96.6	0.092	0.056	61.0
Drainage water at outlet of watershed	2001	17	2.49	2.39	95.6	0.076	0.057	75.4
	2002	18	3.54	3.54	98.0	0.072	0.052	71.5
	2003	33	2.97	2.85	96.1	0.014	0.036	34.7
	Mean	67	2.88	2.77	96.1	0.088	0.045	50.9

### 3.2 평상시 시기별 농도변화

2001~2003년 관개기 동안의 월별 용수와 배수의 TN(TDN+TPN), TP(TDP+TPP) 농도변화는 그림 2~4와 같다.

질소의 경우, 논에 관개된 후 배수된 배수의 TN농도는 시비의 영향을 받아 기비와 분얼비기인 5, 6월에 높은 농도를 나타냈다. TN에 대한 TDN의 월별 비율은 2001년 5월 76%를 제외하고 모두 90% 이상을 차지하는 것으로 나타났다. 2001년과 2002년에는 4~6월 보다는 7~9월로 가면서 용존성 성분의 비율은 서서히 증가하는 것으로 나타났다. 또한 9월에는 TN중 대부분(99%이상)이 용존성 성분으로 유출되고 있다.

인의 경우, 용수의 농도 변화(그림 3)는 약 0.10 mg/L 이하로 일정한 농도를 나타냈다. TP에 대한 TDP의 비율은 30~78%로 상당량 입자성 성분이 포함하고 있는 것으로 나타났다. 배수의 농도 변화(그림 4)는 기비기인 4~5월 높은 농도를 나타냈으며, TP에 대한 용존성 성분의 비는 질소보다 상당히 낮고(29~94%) 월별 변화가 큰 것으로 나타났다. 배수의 TDP/TP 비는 매년 서로 다른 경향을 보였다. 2001년 관개 초기(4~6월)에는 가뭄의 영향으로 관개 용수를 공급이 원활하지 않았기 때문에 대부분의 인이 지표유출을 억제하고 있었다. 이에 관개초기의 썩래질 및 이양을 함으로써 발생하는 입자성 성분이 배수로로 유출되지 않아 상대적으로 용존성 성분이 높게 나타난 것으로 사료된다. 2003년 7월에는 잦은 강우로 인해(384 mm/월) 대부분이 입자성 성분(69%)으로 유출되었다.

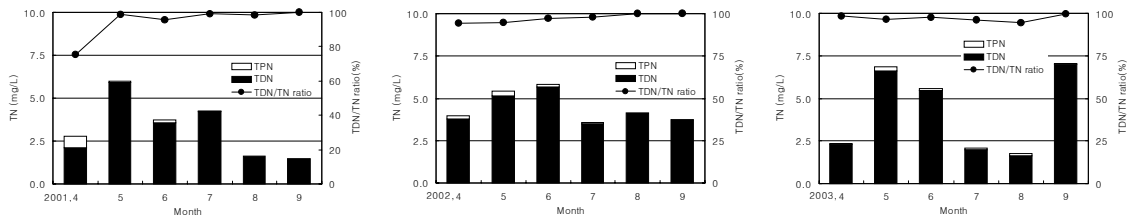


그림 2. 배수의 TDN, TPN 및 TDN/TN비의 월별변화

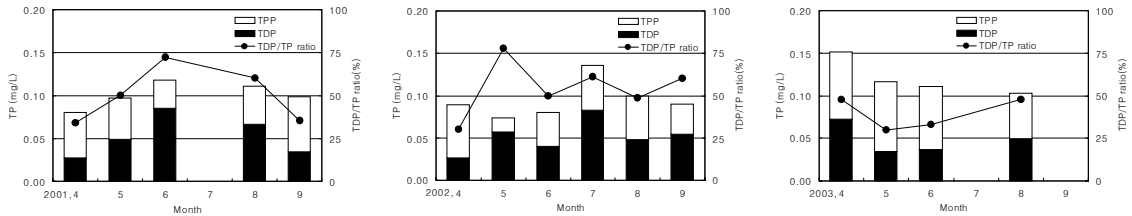


그림 3. 용수의 TDP, TPP 및 TDP/TP비의 월별변화

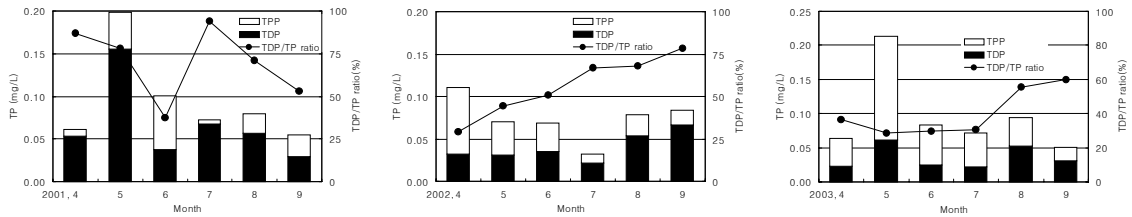


그림 4. 배수의 TDP, TPP 및 TDP/TP비의 월별변화

### 3.3 유역말단에서의 강우시 영양물질의 농도변화

유역말단에서 측정된 4개의 강우사상에 대한 TN, TDN, TP 및 TDP의 평균농도는 표 2와 같고, 시간별 TN과 TP에 대한 용존성과 입자성 성분 및 용존성 성분이 차지하는 비율은 그림 5와 같다.

질소의 경우, 강우사상에 대한 평균농도(EMC)는 TN이 0.74~5.49 mg/L이고 이중 TDN이 0.67~5.33 mg/L로써 용존성 성분의 비는 87.6~97.1%(평균 92%)로 평상시 유역말단의 평균 용존성 비(96%)에 비해 약 4%정도 약간 낮아졌다. 다시 말해 강우 유출로 인해 질소의 입자성 성분이 약간 증가하였다.

인의 경우, TP가 0.034~0.148 mg/L이고 이중 TDP가 0.019~0.051 mg/L로써 용존성 성분의 비는 25.2~

56.4%(평균 41%)로 평상시 유역말단의 평균 용존성 비(51%)에 비해 약 10% 감소해 강우 유출로 인해 입자성 성분이 상당량 유출되고 있다. 하지만 미국 경작지(Sharpley, 2000)에서 측정된 용존성 비가 10~25%보다 크고 우리나라 산림에서 측정된 27%보다도 크게 나타났다.

시간에 따른 용존성 비의 변화는 질소의 경우, 최소 Event 1은 82%, Event 2는 80%, Event 3은 89%, Event 4는 강우강도가 최대(13.4 mm/h)일 때 68% 이상으로 변화하고 있었다. 인의 경우, Event 1은 21~50%, Event 2는 30~85%, Event 3은 5~56%, Event 4는 24~73%로 질소에 비해 큰 변동폭을 나타냈다.

표 2. 강우시 영양물질의 평균 농도

No. of Storm events	Number of samples	Nitrogen			Phosphorus		
		TN (mg/L)	TDN (mg/L)	Ratio (%)	TP (mg/L)	TDP (mg/L)	Ratio (%)
1	18	2.03	1.78	87.6	0.148	0.051	34.9
2	17	1.20	1.14	94.4	0.034	0.019	56.4
3	14	5.49	5.33	97.1	0.107	0.027	25.2
4	16	0.74	0.67	90.6	0.100	0.048	47.9
Mean				92.4			41.1

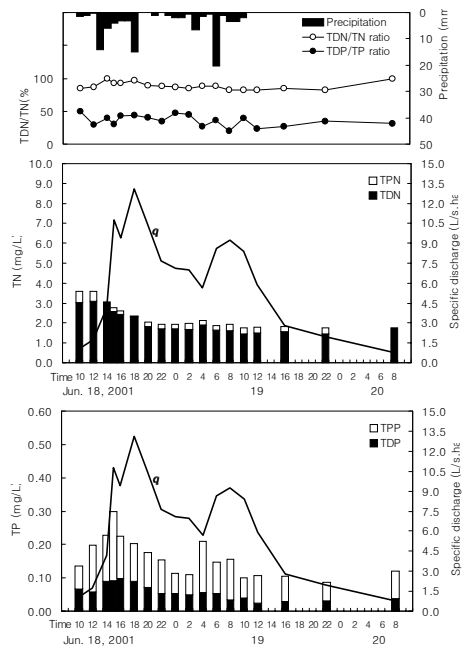


그림 5. 강우시 농도변화 (Event 1)

#### 4. 결론

본 논문에서는 2001~2003년 3년간의 관개기 동안 하천 관개를 하는 광역논을 대상으로 영양물질(TN, TP) 중 용존성 및 입자성 성분의 특성에 대해서 고찰하였다. 여기서 얻은 결과를 요약해보면 다음과 같다.

1. 강우가 없는 평상시 TN중 TDN이 차지하는 비율은 용수에서 94.6%, 배수에서 96.6%, 유역말단배수에서 96.1%를 나타내 용존성이 대부분 차지하는 것으로 나타났으며, TP중 TDP가 차지하는 비율은 용수에서 42.3%, 배수에서 61.0%, 유역말단배수에서 50.9%으로 나타났다.

2. 영양물질에 대한 입자성 성분의 비율은 용수보다 배수가 낮게 나타났다. 특히, 인의 경우 용수가 논을 통과하면서 입자성 성분은 크게 감소를 하게 되는데, 이것은 입자성 성분이 논에서 상당 부분 침전하거나 논 토양에 흡착하기 때문으로 생각된다.

3. 2001년 관개 초기의 TDP/TP 비는 2002년에 비하여 높게 나타났는데, 이는 썩레질시에 발생하는 입자성 성분이 가뭄으로 인한 낙수 억제로 배수로로 유출되지 않았기 때문으로 사료된다.

4. 강우시 용존성 인의 평균비율은 41%로 평상시 유역말단의 51%보다 약 10% 감소해 강우 유출로 인해 입자성 성분이 유출되고 있다. 하지만 미국 경작지에서 측정된 용존성 비가 10~25%보다 크고 우리나라 산림에서 측정된 27%보다도 크게 나타났다.

#### 감사의 글

본 연구는 21세기 프론티어 연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비지원(과제번호: 3-4-1)에 의해 수행되었습니다.

#### 참고문헌

1. 김진수, 오승영, 김규성, 권순국, 2001, 관개기 광역논에서의 오염물질의 농도 특성, 한국농공학회지, 43(6), pp. 163~173.
2. Sharpley, A. N., 2000, Agriculture and phosphorus management. pp. 43-553.