

광역논에서의 오염물질의 흐름특성

○오승영* · 김진수** · 조재원***

1. 서 론

유역에서 발생하는 오염원은 점원과 비점원으로 구분된다. 비점원 오염원은 주로 농경지, 임야 등지에서 지표유출이나 지하수 등에 의하여 확산되면서 이동되고 있다. 특히, 농경지에서는 비료 중의 질소와 인의 성분이 유출되면서 이에 대한 대책이 강구되어지고 있다. 장래의 수질관리 성공여부는 비점오염원의 효율적인 관리여부가 큰 변수로 작용할 것으로 본다. 따라서 공공수역의 수질관리를 위해서는 지역특성을 고려한 비점오염원 부하량의 합리적인 조사, 오염부하량 절감을 위한 관리기술의 개발, 비점오염원 관리정책의 개발 등이 필요하다.

현재까지의 농경지로부터의 오염물질의 유출에 대한 연구는 농도와 오염부하량과 같은 질적인 측면에서 접근하여, 평상시와 강우시의 오염물질의 흐름의 사이에는 차이가 있다고 밝혀져 왔다. 최근 연구 결과에 따르면 TN은 용존성(dissolved form)이 강한 것으로 나타났으며, TP는 입자성(particulate form)이 강하여 강우시 유사의 흐름과 함께 상당히 많은 양이 유출되는 것으로 나타났다. 그러나, 논에서의 질소나 인의 흐름 중에 용존성 및 입자성 성분에 대해서는 아직 잘 파악되지 않은 실정에 있다.

이에 본 연구에서는 관개기 동안의 광역논에서 유입, 유출되고 있는 TN(총질소)과 TP(총인)의 거동 및 각각의 용존성 및 입자성 성분의 흐름 특성에 대해서 고찰하고자 한다.

2. 조사 지구 및 조사 방법

2.1 조사 지구

본 연구의 조사지구는 충청북도 청원군에 옥산면 소로리에 위치한 대구획의 광역논 지구이다. 농경지 면적은 41.9ha이나, 강우시의 유역면적은 농로, 수로 및 제방까지의 분수선까지 포함하여 50.1ha가 된다. 본 지구는 금강수계의 지류인 미호천을 용수원으로 하여 충적평야에 위치하고 있으며, 1996년도에 대구획 경지정리 사업이 시행되어 단위구획 면적이 1ha(100m×100m)이다. 용·배수로는 콘크리트 개수로로 되어 있고 용·배수는 분리되어 있다. 본 지구의 토양은 미 농무성의 입도 조성에 의한 삼각 좌표 분류법에 의해 롬(loam)으로 나타났다.

유량 및 수질 측정점은 Fig. 1과 같이 용수로 1곳, 배수로 1곳, 조사유역의 배수 말단 1곳을 선정하여 측정하였다. 그림에서 □는 관개후 논으로부터 배수로만 이루어진 지점이며, ■은 용수와 배수가 합쳐져서 이루어진 지점이다.

* 충북대학교 대학원 농공학과 박사과정

** 충북대학교 교수

*** 충북대학교 대학원 농공학과 석사과정

2.2 조사방법

유량 및 수질측정은 Fig. 1과 같은 측정점에서 2001년 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, 용존성총질소), 및 TDP(total dissolved phosphorus, 용존성총인)를 분석하였다. TN과 TP는 환경부 공정시험법에 의한 흡광광도법으로 분석하였다. TDN(total dissolved nitrogen), TDP(total dissolved phosphorus)는 Membrane filters(0.45 μ m)로 통과시킨 후에 TN, TP의 분석과 같은 방법으로 실시하였다.

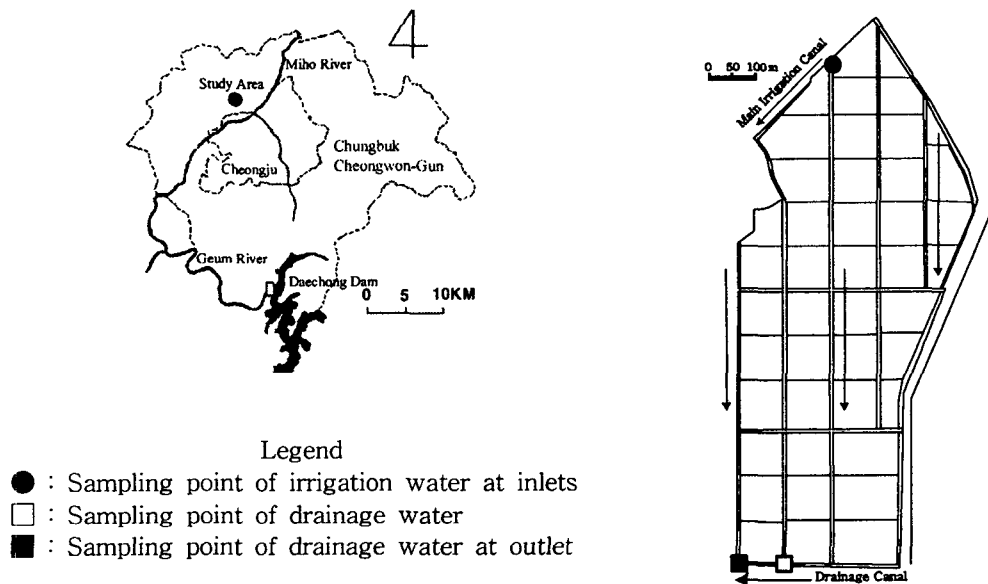


Fig. 1. Investigated paddy field area

3. 결과 및 고찰

3.1 평균농도

2001년 관개기 동안(4월 중순에서 9월 중순까지)의 조사지구 광역논에서의 TN, TDN, TP, TDP의 유량 가중 평균농도는 Table 1과 같다.

질소의 경우, 용수의 TN 농도는 2.31 mg/L, TDN 농도는 2.16 mg/L로 93.5%는 용존성으로 나타났으며, 배수의 TN 농도는 3.38 mg/L, TDN 농도는 3.26 mg/L로 96.4%는 용존성으로 존재하며, 말단배수의 TN 농도는 2.68 mg/L, TDN 농도는 2.57 mg/L로 96.1%는 용존성으로 나타났다. 인의 경우, 용수의 TP 농도는 0.097 mg/L, TDP 농도는 0.048 mg/L로 49.5%는 용존성으로 존재하며, 배수의 TP 농도는 0.102 mg/L, TDP 농도는 0.074 mg/L로 72.4%가 용존성으로 존재하며, 말단배수의 TP 농도는 0.078 mg/L, TDP 농도는 0.059 mg/L로 74.9%는 용존성인 것으로 나타났다.

TN에 대한 TDN의 비율(TDN/TN 비)은 용수>배수말단>배수의 순으로 나타났으며, TP에 대한 TDP의 비율(TDP/TP 비)은 용수>배수>배수말단의 순으로 나타났다. 이렇게 질소와 인은 논을 통과

하면서 TN 및 TP에 대한 용존성의 비율은 변화하는 것으로 나타났다. 질소의 경우 비율의 차이는 보였으나 유의성이 인정되지 않았고, 인의 경우 용수와 배수에서 비율의 차이가 유의 수준 5%에서 인정되는 것으로 나타났다. 용존성의 비율은 인보다 질소가 크게 나타났으며, 용수보다는 배수가 크게 나타났다. 특히 인은 용수가 논에 관개된 후 입자성 성분이 논에서 침전되어 배수의 용존성 비율이 크게 증가한 것으로 생각된다.

Table 1 Summary of water quality in paddy areas during irrigation season

	Number of samples	Constituent	Nitrogen			Phosphorus		
			① TN	② TDN	Ratio =②/①×100	③ TP	④ TDP	Ratio =④/③×100
Irrigation water	11	\bar{x} , mg/L	2.31	2.16	93.5 %	0.097	0.048	49.5%
		S	0.59	0.69		0.02	0.03	
		C_v	0.25	0.32		0.20	0.56	
Drainage water	16	\bar{x} , mg/L	3.38	3.26	96.4%	0.102	0.074	72.4%
		S	2.25	2.23		0.05	0.04	
		C_v	0.67	0.68		0.46	0.52	
Drainage water at outlet	17	\bar{x} , mg/L	2.68	2.57	96.1%	0.078	0.059	74.9%
		S	1.63	1.62		0.03	0.02	
		C_v	0.61	0.63		0.33	0.38	

TN: total nitrogen; TDN:total dissolved nitrogen; TP: total phosphorus; TDP: total dissolved phosphorus.

\bar{x} : flow-weighted mean; S :standard deviation; C_v :coefficient of variation.

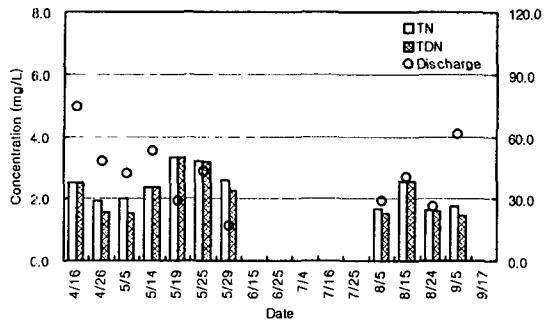
3.2 시기별 농도변화

용수, 배수 및 말단배수의 TN, TDN, TP, TDP 농도의 변화는 Fig. 2~3과 같다. 용수의 경우, 6월 중순부터 7월 25일까지 관개초기의 가뭄과 7월의 잦은 강우로 인해 용수공급이 차단되어 측정을 못하였다.

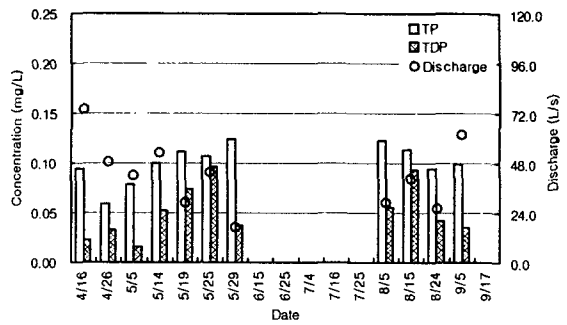
관개기 동안의 시기별 TN과 TDN 농도를 보면, 용수가 5월 19일에 TN, TDN 모두 최대값 3.3 mg/L로 나타났으며, 최소값은 TN은 8월 24일에 1.66 mg/L, TDN은 9월 5일에 1.45 mg/L를 나타냈다. 배수는 시비의 영향을 받아 기비와 분얼비기인 5월에 높은 농도를 나타냈으며, 가장 높은 농도는 5월 29일에 TN, TDN 모두 7.5 mg/L를 나타냈다. 수비기인 7월 4일에도 TN 7.2 mg/L, TDN 7.1 mg/L로 높은 농도를 나타냈는데, 이것은 수비의 영향과 측정당시 논에 담수량이 많아 배수량이 적은 상태(2.6 L/s)에서 측정함으로써 높은 농도를 나타낸 것으로 사료된다. 또한 말단배수의 농도 변화는 시비기에도 전반적으로 용수보다는 크고 배수보다는 작은 것으로 나타났다. 이는 관개에 사용되어지지 않고 유말공으로부터 배수로 말단으로 유출되는 방류량이 지구로 유입되는 용수량의 약 16%로 나타나, 이에 의한 희석효과 때문으로 사료된다.

TP와 TDP 사이의 농도차는 TN와 TDN보다 크게 나타났다. 용수의 시기별 농도변화는 약 0.10 mg/L 이하로 일정한 농도를 나타냈으며 TP의 최대 농도는 5월 29일에 0.12 mg/L를 나타냈으며, TDP의 최대농도는 5월 25일에 0.10 mg/L를 나타냈다. 배수의 시기별 농도변화는 기비기인 5월 5일

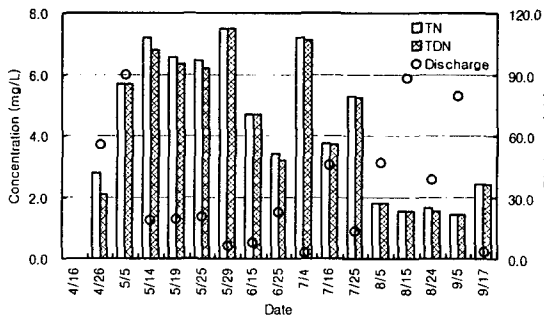
에 TP, TDP의 농도가 최대를 나타냈는데, 각각 0.23 mg/L, 0.19 mg/L를 기록했다. 말단배수의 시기 별 농도변화도 배수와 비슷한 경향을 나타냈지만, TN, TDN과 같이 용수에 의한 희석 효과가 일어나 적게 나타났다. 말단 배수의 최대 농도는 배수 농도와 같이 5월 5일에 높은 농도를 나타냈는데, TP, TDP 모두 0.12 mg/L를 나타냈다.



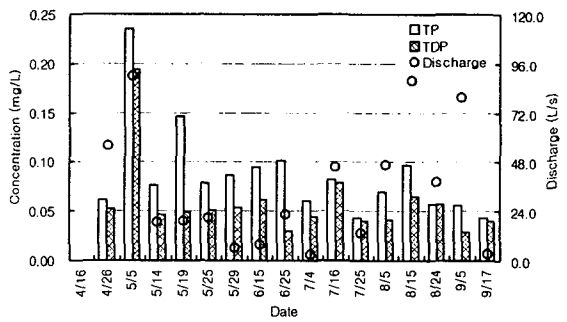
(a) Irrigation



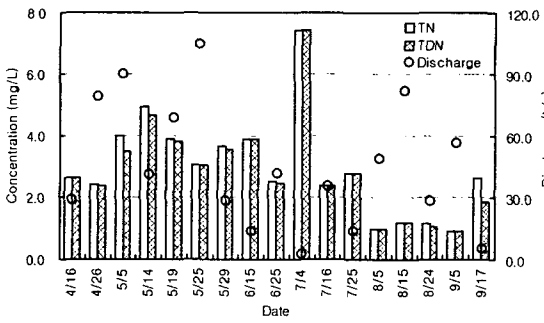
(a) Irrigation



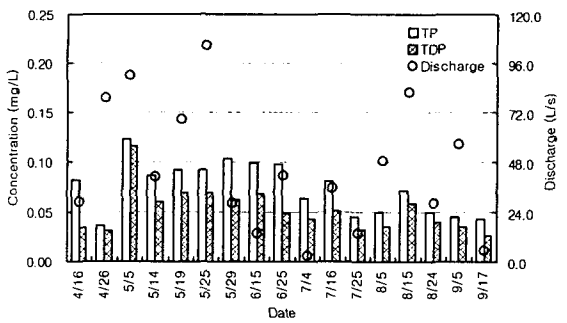
(b) Drainage



(b) Drainage



(c) Drainage at outlet



(c) Drainage at outlet

Fig. 2 Seasonal change in TN and TDN concentrations

Fig. 3 Seasonal change in TP and TDP concentrations

3.3 시기별 총농도에 대한 용존성 농도비의 변화

용수, 배수, 말단배수의 시기별 총농도에 대한 용존성 농도비(TDN/TN 및 TDP/TP)의 변화는 Fig. 4와 같다. 여기서, 실선은 TDN/TN의 평균비를 나타낸 것이고, 점선은 TDP/TP의 평균비를 나타낸 것이다.

용수의 경우, TDN/TN의 평균비는 93.5%로서 대부분 용존성으로 조사유역으로 유입되고 있었으며 최소값은 5월 5일의 76.8%이다. TDP/TP의 평균비는 49.5%로 최소값은 5월 5일에 19.8%이었으며, 최대값은 5월 25일의 89.8%로 나타났다.

배수의 경우, TDN/TN의 평균비는 96.4%로서 관개초기 4월 26일의 75.6%를 제외하고는 대부분 100%로써 TN성분은 대부분 용존성으로 배출되고 있었다. TDP/TP의 평균비는 용수보다 약 22.9%가 높게 나타났는데, 특히 관개후기가 관개전기보다 높게 나타났다. 용존성 성분의 비율이 가장 낮은 날은 6월 25일로 28.6%를 나타냈다.

용수와 배수가 합쳐서 이루어진 말단배수의 경우, TDN/TN의 평균비는 96.1%로 배수와 비슷한 비율을 나타냈으며, 5월 5일의 87.3%를 제외하고는 TN의 대부분은 용존성으로 나타나고 있다. TDP/TP의 74.9%를 나타냈으며, 최대값은 5월 5일에 94.6%, 최소값은 4월 16일에 41.2%를 나타냈다.

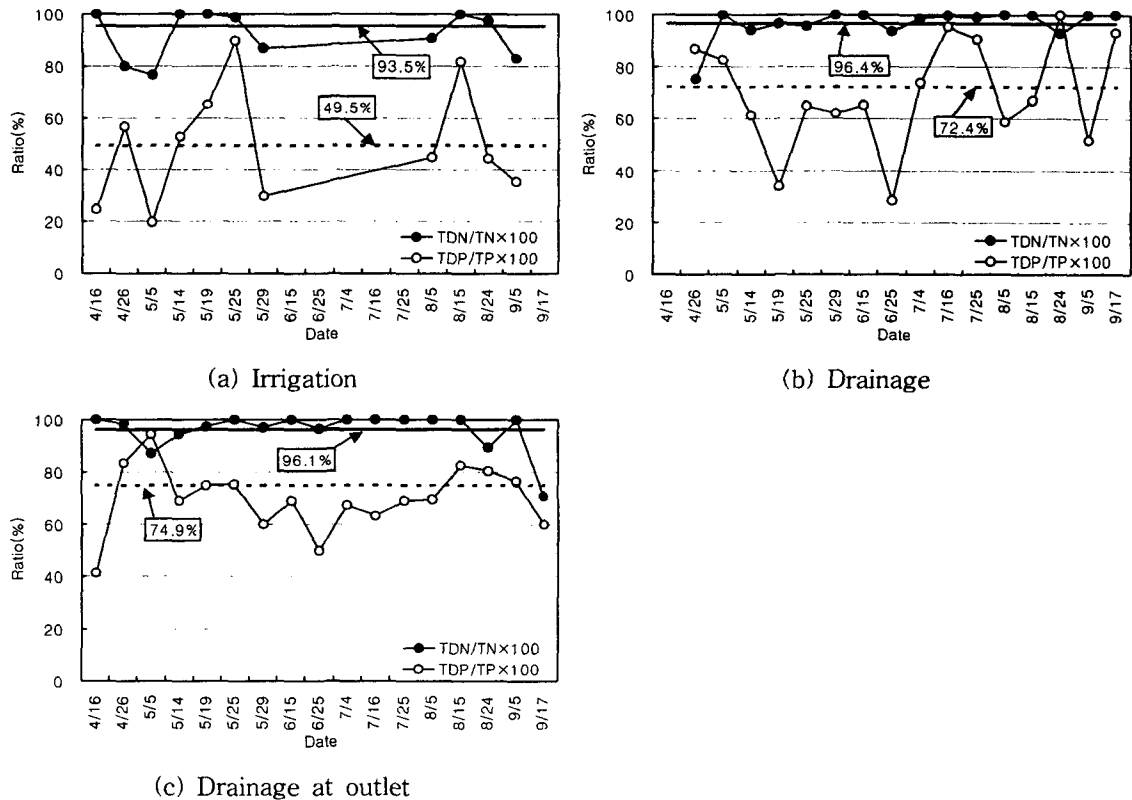


Fig. 4 The ratios of TDN/TN and TDP/TP

4. 결론

본 논문에서는 2001년 관개기 동안 하천관개를 하는 광역논을 대상으로 오염물질(TN, TP) 중 용존성 성분(TDN, TDP)이 차지하는 비율과 유출 특성에 대해서 고찰하였다. 여기서 얻은 결과를 요약해보면 다음과 같다.

1. 용수, 배수, 말단배수의 평균농도는 TN과 TDN은 배수>말단배수>용수의 순으로 나타났으며, TP는 배수>용수>말단배수의 순으로 나타난 반면에 TDP는 TN과 같은 순으로 나타났다.
2. 질소와 인의 TN중 TDN이 차지하는 비율은 용수에서 93.5%, 배수에서 96.4%, 말단배수에서 96.1%를 나타내 용존성이 대부분 차지하는 것으로 나타났으며, TP중 TDP가 차지하는 비율은 용수에서 49.5%, 배수에서 72.4%, 말단배수에서 74.9%으로 나타났다.
3. 용존성 비율은 인보다는 질소가 크게 나타났으며, 용수보다는 배수가 크게 나타났다. 특히 인의 경우, 배수의 용존성 비율이 크게 증대하는 것은 용수가 논에 관개된 후 입자성 성분이 논에 침전되기 때문으로 사료된다.

5. 참고문헌

1. 김진수, 오승영, 김규성, 권순국, 2001, 관개기 광역논에서의 오염물질의 농도 특성, 한국농공학회지, 43(6), pp. 163~173.
2. H. B. Pionke, W. J. Gburek, A. N. Sharpley, and R. R. Schnabel, 1996, Flow and nutrient export patterns for an agricultural hill-land watershed, Water Resources Research, pp. 1795~1804.
3. 農業土木學會, 1998, 清らかな水のためのサイエンス, pp. 49~56.