

농촌 소유역 유출수에서의 영양염류의 거동

Behavior of Nutrients in Runoff Water from a Small Rural Watershed

오광영* · 김진수**,* · 오승영*

Oh, Kwang Young* · Kim, Jin Soo**,* · Oh, Seung Young*

ABSTRACT

The purpose of this study was to investigate characteristics of behavior of nutrients such as TN (Total nitrogen), TDN (Total dissolved nitrogen), TP (Total phosphorus) TDP (Total dissolved phosphorous) in runoff water from a nonpoint source dominated watershed (6.67 km²). Regular and intensive flow measurement and water sampling were taken during two years (February 2002 to January 2004) in the Ingyeong River, a tributary of the Han River. The mean concentrations of nutrients during rainy days were significantly ($p < 0.05$) higher than those during dry days. The mean TDN/TN ratio in rainy days (95%) is almost identical to that in dry days (96%), but mean TDP/TP ratio in rainy days (24%) significantly decreased compared with that in dry days (66%), suggesting that dominant form of TP is shifted from dissolved form to particulate form. Accordingly, the measures (.eg. filter strips, cover crops) to reduce soil erosion for fallow upland in the rainy season should be taken to control particulate phosphorous.

Keywords: Nonpoint source pollution; dissolved form; particulate form, TDP/TP ratio

1. 서 론

영양염류인 질소 (N)와 인 (P)은 유역특성 및 수문학적 조건에 따라 그 배출양상이 달라, 다양한 토지이용 조건하에서의 영양염류 (N, P) 유출특성의 파악이 요구된다. 지표유출은 토양침식을 통하여 인을 이동시키는 데 중요한 역할을 하고 있다(Sharpley and Smith, 1990).

구미와 일본에서는 농촌유역에서의 영양염류의 거동을 파악하기 위해 구성성분의 유출특성에 관한 연구가 수행되었다. Pionke et al. (1988)은 미국 펜실베니아주 내의 9.9 ha의 밭유역에서 강우시 화학적, 수문학적 반응에 관한 연구를 수행하였다. Dils (1997)는 영국 Midlands 실험유역을 대상으로 농업유출에 기

여하는 경사진 수문학적 경로(지표유출, 지하유출)에서의 인의 구성성분을 조사하였다. 일본에서는 Tabuchi et al. (1991a, b)이 74 ha 농업유역으로부터의 유출수의 질소 농도와 부하특성을 조사하였고, Kunimatsu and Sudo (1993)는 산지하천에서의 질소와 인의 각 구성성분의 변동특성을 조사하였고, Okazawa et al. (2003)은 홋카이도 발지대에서의 강우시 하천수질 특성을 파악하였다.

그러나 우리나라 농촌유역에서의 영양염류 농도와 부하특성에 관한 연구는 주로 총질소 (TN)와 총인 (TP)에 대하여 접근하였다 (Shin et al., 2005; Oh et al. 2007). 이는 농촌유역으로부터의 오염물질의 원단위를 산정하는 데는 도움이 되나, 영양염류의 유출 메커니즘을 파악하는 데는 한계가 있어 유역의 수질관리기법을 제시하기 위해서는 농도를 구성하는 각 성분에 대한 세분화된 연구가 필요하다. 이에 본 연구에서는 농촌 소유역 유출수의 영양염류를 용존성 (dissolved form)과 입자성 (particulate form)으로 분리하여 평상시와 강우시의 영양염류의 거동 특성을 파악하고자 한다.

* 국립환경과학원

** 충북대학교 농업생명환경대학

† Corresponding author. Tel.: +82-43-261-2573

Fax: +82-43-271-5922

E-mail address: jskim@chnu.ac.kr

2009년 3월 18일 투고

2009년 3월 24일 심사완료

2009년 3월 30일 게재확정

II. 조사지구의 개요 및 연구방법

1. 조사지구의 개요

본 연구는 충청북도 청원군 낭성면 (127° 35' ~ 127° 37' E, 36° 37' ~ 36° 40' N)의 농촌유역을 대상으로 수행하였다. 조사유역은 면적이 6.67 km², 하상경사가 약 0.015, 형상계수가 0.22로 하천길이에 비하여 폭이 좁은 형상을 하고 있다. 주 하천인 인경천은 한강의 지류로서 지방 2급 하천에 속하며, 유역은 해발 253~582 m에 위치하고 있다 (Fig. 1). 토지이용 형태를 보면 산지 81%, 논 8%, 밭 9%로, 산지와 농지가 약 98%를 차지하고 있다 (Table 1). 산림의 식생은 침엽수림 53%, 활엽수림 31%, 혼효림 16%로 소나무와 낙엽송이 주류를 이루고, 주요 밭작물은 배추, 고추 등이 있다. 조사유역의 총인구는 240명이며 대규모의 축산단지나 공장 등의 점오염원이 조사유역에는 거의 존재하지 않는다. 축산단지로서 2002년에는 양계장이 있었으나, 이곳으로부터의 계분은 전량 수거되어 유역 외로 배출되었다 (Table 2).

논에서의 시비는 3회 (기비, 분얼비, 수비) 실시되었으며, 각



Fig. 1 Location and overview of study area

해의 질소(N)와 인(P)의 시비시기 및 양은 Table 3과 같다. 유역 내 밭에서 가장 큰 면적을 차지하는 배추는 년 2회 재배되었으며, 1회 재배시 기비는 3월 하순에서 4월 상순 사이에 132 kg N/ha, 60 kg P/ha, 추비는 4월 중순에서 5월 초순 사이에 79 kg N/ha 시용(施用)되었으며, 2회 재배시 기비는 7월 초순에서 중순 사이에 116 kg N/ha, 43 kg P/ha, 추비는 7월 하순에서 8월 초순 사이에 37 kg N/ha 시용되었다.

토양의 특성은 임야의 경우, 표토는 황적색의 자갈이 있는 미사질양토이고 심토 및 기층은 적색, 농갈색, 흑색의 자갈이 있는 미사질양토이다. 논밭의 경우, 표토는 농암회갈색의 자갈이 있는 미사질양토이고, 심토 및 기층은 농암회갈색, 농암갈색의 자갈이 많은 미사질양토이다.

2. 연구방법

본 연구는 2년 (2002년 2월~2004년 1월)동안 수행되었으며, 정기측정에서는 평균 5일 간격으로, 3개의 강우사상에서는 2~12시간 간격으로 유량측정 및 채수를 실시하였다. 단, 2002년 11월 하순부터 2003년 1월 초순까지는 하상 평탄화 작업으로 인해 유량측정 및 채수가 불가능하여 데이터를 얻을 수 없었다.

유역말단에는 압력식 수위계 (WL-14 Water Level Logger)를 설치하여 1시간 간격으로 압력을 측정하였고, 측정된 압력과 정기적으로 측정된 유량과의 관계곡선을 이용하여 시간별 유량

Table 1 Land use of the study area

	Forest	Paddy	Upland	Residential	Others	Total
Area (km ²)	5.49	0.43	0.61	0.05	0.09	6.67
Percentage (%)	82.3	6.4	9.1	0.8	1.4	100.0

Table 2 Livestock farming in the study area

Year	Cattle (Head)	Pig (Head)	Chicken (Head)	Goat (Head)	Deer (Head)	Dog (Head)	Rabbit (Head)
2002	27	0	30,092	132	23	111	31
2003	18	11	-	76	9	352	-

Table 3 Fertilizer application rates and timing in paddy fields

Year	Fertilization	Date	Nitrogen (kg/ha)	Phosphorus (kg/ha)	Remark
2002	Basal dressing	Mid-May	73.4	25.1	Transplanting: Late May
	Topdressing at tillering stage	Early June	33.8		
	Topdressing at panicle formation stage	Early July	2.3	0.8	
	Total		109.5	25.9	
2003	Basal dressing	Mid-May	112.0	35.7	Transplanting: Late May
	Topdressing at tillering stage	Early June	59.3		
	Topdressing at panicle formation stage	Early July	8.5	1.0	
	Total		179.8	36.7	

을 추정하였다. 또한, 강우는 유역으로부터 약 1 km 떨어진 청원군 낭성면사무소에서 측정한 강우자료를 사용하였다.

수질분석은 TN, TDN (Total Dissolved Nitrogen, 용존성총질소), TP 및 TDP (Total Dissolved Phosphorus, 용존성총인)의 항목에 대하여 실시하였다. TN과 TP 농도는 환경부 수질 공정시험법에 의한 흡광광도법으로 분석하였고, TDN과 TDP는 각각 TN과 TP의 샘플을 0.45 μm membrane filter를 통과시켜 TN과 TP의 분석방법으로 실시하였다 (American Public Health Association, 1985). TPN (Total Particulate Nitrogen, 입자성총질소)과 TPP (Total Particulate Phosphorus, 입자성총인)의 농도는 TN과 TP의 농도에서 TDN과 TDP의 농도를 각각 감(減)함으로써 계산하였다. 영양염류의 거동을 파악하기 위하여 평상시와 강우시의 TDN/TN비와 TDP/TP비의 변화, 평균부하량의 변화 등을 조사하였다.

또한, 강우시와 평상시의 평균농도를 비교하기 위하여, t검정을 실시하였으며, $p < 0.05$ 의 경우 유의적인 차가 있는 것으로 판단하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 유출량

조사기간중 1년차 (2002년 2월~2003년 1월)의 강우량은 1,165 mm, 2년차 (2003년 2월~2004년 1월)는 1,799 mm로 기록되어, 2003년의 강우량이 2002년보다 약 1.5배 가량 높게 나타났다. 1년차의 일최대강수량은 2002년 8월 7일에 149 mm, 2년차는 2003년 7월 7일에 138 mm를 기록하였다. 또한, 1년차와 2년차의 유출량은 각각 605, 1,163 mm를 기록하여 각각 유출률 52%와 65%를 보였다(Fig. 2).

2. 평상시와 강우시의 평균농도

5일간격의 정기측정과 3개의 강우사상 (48, 114, 36 mm)을

포함한 유량자료를 대상으로 강우의 영향을 받기 시작하는 유량 (약 0.22 m^3/s)을 기준으로 평상시와 강우시로 구분하였다.

평상시의 평균유량은 0.073 m^3/s . 유량가중평균농도는 TN이 1.9 mg/L, TDN이 1.8 mg/L, TP가 0.04 mg/L, TDP가 0.02 mg/L로 나타났다(Table 4). 이는 일본 산림유역 기저유출수의 3년간 산술평균농도 (TN 0.3 mg/L, TDN 0.2 mg/L, TP <0.01 mg/L, TDP <0.01 mg/L; Kunimatsu and Sudo, 1993)보다 높은 값에 해당된다.

또한, 강우시의 평균유량은 1.525 m^3/s , 유량가중평균농도는 TN이 3.1 mg/L, TDN이 2.9 mg/L, TP가 0.34 mg/L, TDP가 0.08 mg/L를 보였는데 (Table 4), 이것은 일본 산림유역 유출수의 강우시를 포함한 3년간 유량가중평균농도 (TN 0.5 mg/L, TDN 0.5 mg/L, TP 0.01 mg/L, TDP <0.01 mg/L; Kunimatsu and Sudo, 1993)보다 높았으며, 일본 밭주채 유역 (면적 4.4 km^2 , 밭 63%, 초지 19%, 산림 14%, 기타 4%)에서의 강우시 유량가중평균농도 (TN 10.1 mg/L, TDN 8.4 mg/L, TP 0.37 mg/L, $\text{PO}_4\text{-P}$ 0.18 mg/L; Okazawa et al., 2003) 보다는 낮게 나타나, 유역면적에 대한 발면적의 비율이 클수록 평균농도가 크게 되는 것으로 판단된다.

t검정 결과, TN, TDN, TP 및 TDP 모든 항목에서 강우시가 평상시보다 유의($p < 0.05$)하게 높은 것으로 나타났는데 (Table

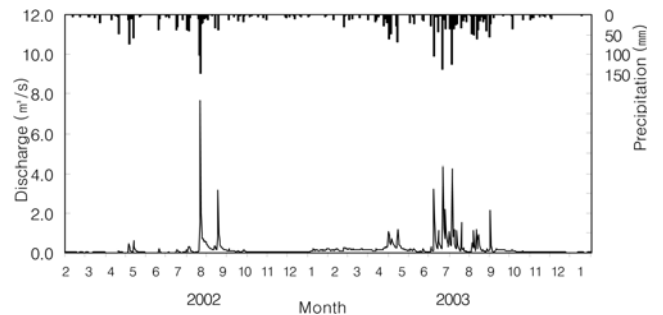


Fig. 2 Seasonal variation of precipitation and discharge in study area

Table 4. Summary of mean discharge and flow-weighted mean concentrations of nutrients in runoff water in several studies

Day	Source	No. of observation	Mean specific discharge ($\text{m}^3/\text{s} \cdot \text{km}^2$)	Mean concentration (mg/L)			
				TN	TDN	TP	TDP
Dry	This study	111	0.0109	1.9	1.8	0.04	0.02
	Kunimatsu and Sudo [1993]	38	0.0100	0.3	0.2	<0.01	<0.01
Rainy	This study	78	0.2286	3.1*	2.9*	0.34*	0.08*
	Kunimatsu and Sudo [1993]	156 ^a	0.0316	0.5	0.5	0.01	<0.01
	Okazawa et al. [2003]	N/A ^b	N/A	10.1	8.4	0.37	0.18 ^c

*Significant at $p < 0.05$

^aincludes baseflow

^bNot available

^cindicates $\text{PO}_4\text{-P}$

4), 이는 산림과 농지의 표면이나 하상 퇴적물에 있던 영양염류가 강우시 더 많이 유출되기 때문으로 생각된다.

4. 정기측정시 시기별 농도변화

2년간 정기측정에서 얻은 유량 및 영양염류의 농도 변화는 Fig. 3과 같다.

TN 농도는 2002년과 2003년 4월 하순에 각각 6.3, 6.0 mg/L의 높은 농도를 나타냈는데, 이는 밭에 시용(施用)된 비료성분이 각각 84, 82 mm의 강우로 인해 유출되었기 때문으로 생각된다. 또한, 2003년 6월 하순부터 9월 초순까지 지속적인 강우가 발생하였는데, 8월 초순에는 추비의 영향으로 5.2 mg/L의 높은 농도를 나타냈다. TDN 농도는 TN 농도보다 약간 작으나 비슷한 경향을 보였다.

TP와 TDP 농도는 2003년의 4월 하순에 강우의 영향으로 각각 0.23 mg/L, 0.07 mg/L의 높은 값을 나타냈고, 동년 9월 초순에 각각 0.34 mg/L, 0.16 mg/L의 최고값을 나타냈다.

5. 정기측정시 월별 평균농도변화

Fig. 4는 정기측정시 월별 유량·가중평균농도와 평균유량의 변동을 나타낸 것이다. 월평균 TN과 TDN 농도는 각각 4월에

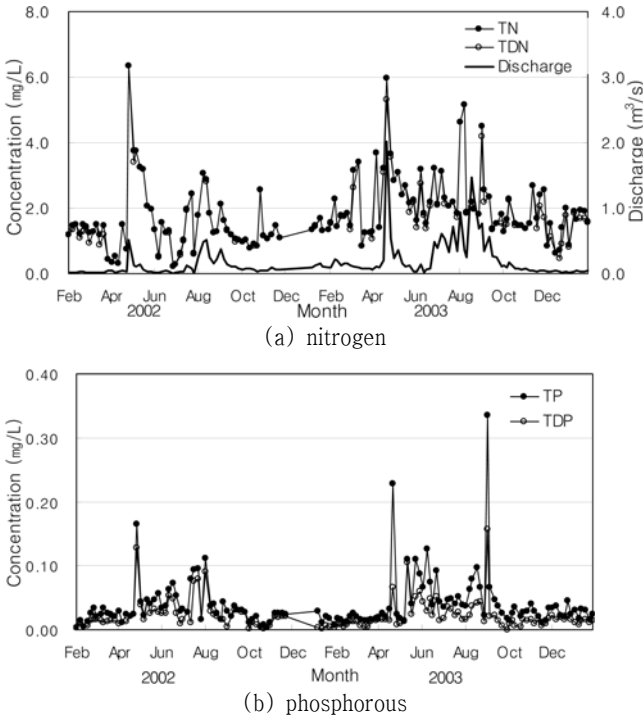


Fig. 3 Temporal variations of nutrient concentrations and discharge

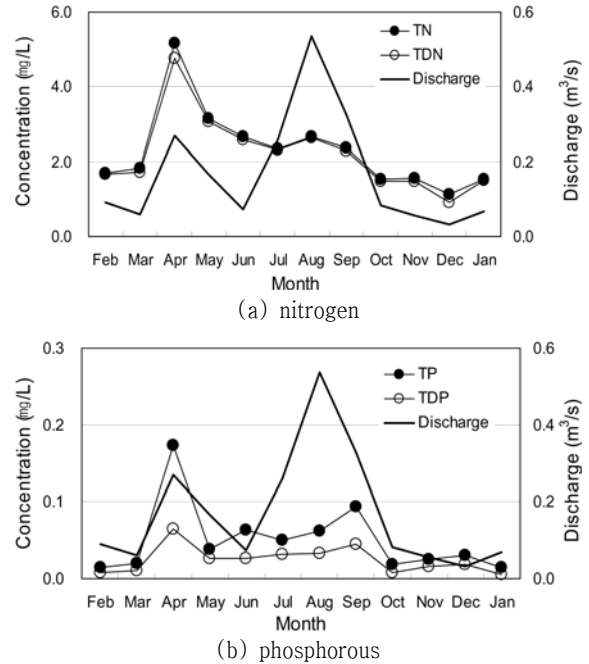


Fig. 4 Monthly variation of mean concentrations of nutrient and mean discharge

최대값 5.2, 4.8 mg/L, 12월에 최소값 1.1, 0.9 mg/L을 보였다. TN과 TDN 농도가 4월에 높게 나타나는 것은 밭에 투입된 질소성분이 맑은 날이 오래 지속된 후에 오는 강우로 인해 유출수와 함께 유출되었기 때문으로 판단된다. 일본의 농업유역(논 15%, 밭, 31%, 산림 51%, 기타 4%)에서의 TN 농도는 4월과 9월에 5.0 mg/L 이상의 높은 값을 보였다 (Tabuchi et al., 1991b).

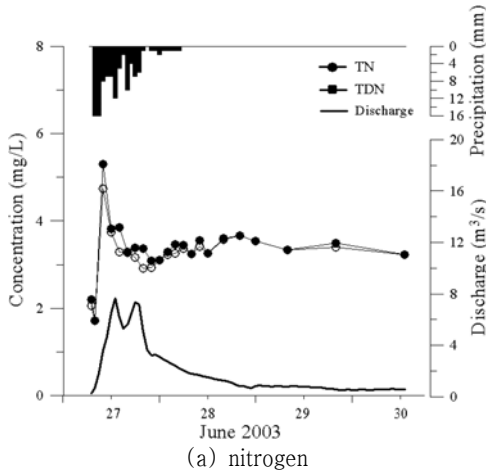
월평균 TP와 TDP 농도는 각각 4월에 최대값 0.17, 0.07 mg/L, 1-2월에 최소값 0.02, 0.01 mg/L를 보였다. 4월의 높은 농도는 봄에 오는 초기강우로 밭으로부터 토양에 부착된 입자성인이 많이 유출되기 때문으로 생각된다.

TN과 TP의 농도는 밭에서의 시비기인 4월에는 높고, 논에서의 시비는 5월에는 낮게 나타나, 유역으로부터의 영양염류의 유출에 밭에서의 시비가 크게 영향을 미치는 것으로 생각된다.

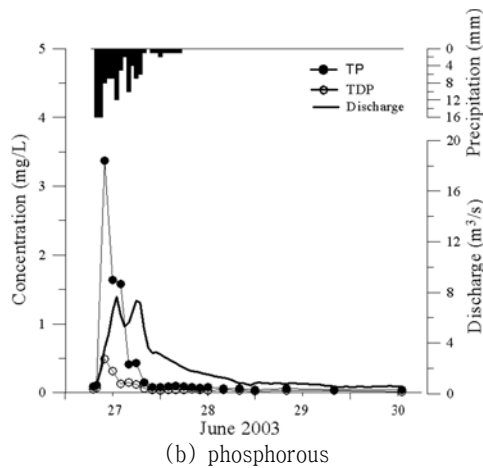
6. 강우사상에서의 농도변화

2003년 6월 27일부터 30일까지의 강우사상에 대한 강우량은 114 mm, 유출율은 58%를 나타냈다. 이 때, 시간의 경과에 따른 유량과 영양염류 농도의 변화는 Fig. 5와 같다.

TN 농도는 유량이 증가함에 따라 증가하여 최대값 (5.3 mg/L)을 보인 후, 유량감소에 비하여 농도는 매우 느리게 저하하였



(a) nitrogen



(b) phosphorus

Fig. 5 Temporal variation of nutrient concentrations and discharge during a storm

다. TDN농도는 TN농도보다 약간 작으나 농도 변화는 매우 유사한 경향을 보였다. TN 최대 농도시에 TDN 농도는 4.7 mg/L을 보여 TN 농도의 89%의 값을 보였다.

TP 농도는 유량증가에 따라 증가하여 침두유량 발생 직전에 최대농도 2.83 mg/L를 보인 후 급격히 감소하였다. TDP농도는 TP농도와 같이 유량증가시 상승하였으나, 농도의 상승폭은 TP 농도만큼 크지 않았다. TDP의 최대농도는 0.49 mg/L로 TP 최대농도의 15%에 불과하였다. 이와 같이 강우사상 최대농도시 인은 대부분 입자성으로 존재하고 있는 것으로 나타났다. 이와 같은 강우시의 영양염류 유출특성은 일본 받지대 (4.4 km²)에서도 보고되었다 (Okazawa et al., 2003)

7. 영양염류의 거동 특성

가. 평상시 평균 용존성비

평상시 평균 TDN/TN비는 96%를 보여 질소 (N)의 대부분

은 용존성으로 존재하는 것으로 나타났다. 한편, 평상시 평균 TDP/TP비는 66%로 평균 TDN/TN비보다는 낮으나, 인 (P)도 용존성 상태가 우세한 것으로 나타났다 (Table 5).

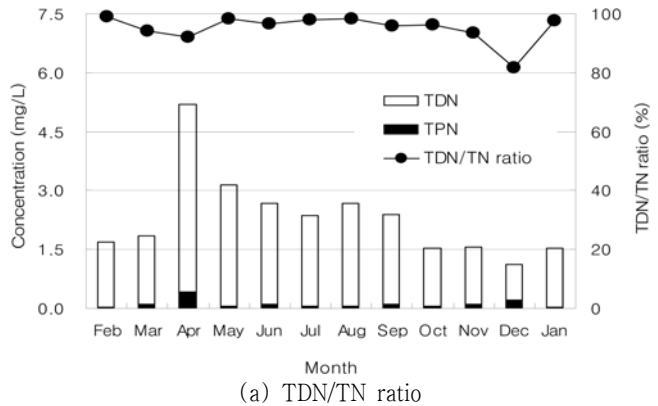
본 유역에서 측정된 평균 TDN/TN비 (96%)와 TDP/TP비 (66%)는 일본의 산지 하천(유역 면적, 23.8 ha)에서 3년간 측정된 평균 TDN/TN비 (88%)와 TDP/TP비 (79%)(Kunimatsu and Sudo, 1993)와 비교하면 TDN/TN비는 크게, TDP/TP비는 훨씬 작게 나타났는데, 조사유역의 낮은 TDP/TP 비는 조

Table 5. Ratios of TDN/TN and TDP/TP in runoff water in several studies

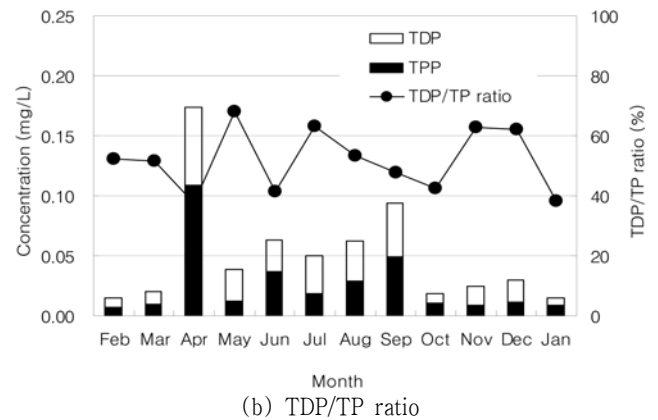
Day	Source	Land use	TDN/TN(%)	TDP/TP(%)
Dry	This study	Mixed	96	66
	Kunimatsu and Sudo [1993]	Forest	88	79
Rainy	This study	Mixed	95	24
	Oh [2004]	Paddy field	92	41
	Gburek and Sharpley, [1998]	Upland	N/A ^a	31-33
	Okazawa et al. [2003]	Mixed	83	49 ^b

^aNot available

^bindicates PO₄-P/TP



(a) TDN/TN ratio



(b) TDP/TP ratio

Fig. 6 Variation of monthly mean TDN/TN and TDP/TP ratios during regular water sampling

사유역이 밭을 포함하고 있어 산지하천보다는 입자성인을 많이 유출하고 있기 때문으로 판단된다.

나. 정기측정시 용존성비의 월별변화

정기측정 2년간 월별 평균 TDN/TN비와 TDP/TP비의 변화는 Fig. 6과 같다. TDN/TN비는 2월에 최대값 99%, 12월에 최소값 82%를 보이며, 큰 변동은 없는 것으로 나타났다. 한편, TDP/TP비는 모두 70% 이하로, 논에 기비가 사용되는 5월에 최대값 68%를 보였고, TP농도가 0.17 mg/L로 가장 높았던 4월에 최소값 37%를 보였다.

다. 강우시의 평균 용존성비.

강우시의 평균 TDN/TN비는 95%를 나타냈는데, 이는 평상시의 평균 TDN/TN비 96%와 큰 차이가 없다. 한편 강우시의 평균 TDP/TP비는 24%로 평상시의 평균 TDP/TP비 66%에 비하여 크게 감소하는 것으로 나타났다 (Table 5).

이를 대규모 광역논 (Oh, 2004)에서 측정된 강우시 TDN/TN비 (92%)와 TDP/TP비 (41%)와 비교하면 TDN/TN비는 거의 같으나, TDP/TP비는 약 17% 정도 낮았다. 담수된 논은 강우 충격을 줄여 토양침식에 의한 인의 유출을 상당히 억제하는 것으로 보고되었다 (Kim et al., 2006). 강우시 농촌 소유역은 토양침식을 억제하는 산림이 높은 비율 (81%)로 존재함에도 불구하고 논보다 낮은 TDP/TP비를 보여 경사진 밭에 대한 관리가 중요한 것으로 생각된다.

또한, 조사유역의 TDP/TP비는 미국 경작지에서의 지표수의 TDP/TP비 (10-25%)와 비슷한 값을 보였으나 (Coale, 2000), 미국 밭농업지역 (39.5 ha) 수 개의 강우사상에 대한 지표수의 DP/TP비 (31-33%; Gburek and Sharpley, 1998), 일본 밭지대에서의 PO₄-P/TP비 (49%; Okazawa et al, 2003)보다 낮은 값을 보였다.

라. 평상시와 강우시 영양염류의 평균부하량

TDN과 TPN의 평균부하량은 평상시에는 각각 0.134, 0.006 g/s, 강우시에는 각각 4.443, 0.220 g/s를 나타냈다. 또한, TDP와 TPP의 평균부하량은 평상시에는 각각 0.0017, 0.0009 g/s, 강우시에는 각각 0.1225, 0.3880 g/s를 나타냈다.

일반적으로 강우시는 평상시에 비하여 유량과 농도가 함께 증가하여 부하량이 크게 증가하는데, 평균부하량은 TDN과 TPN는 40배 이하, TDP가 약 70배 증가하는 데 반하여, TPP는 400배 이상 크게 증가하는 것으로 나타났다. 이는 강우시 밭토양에 부착된 인이 토양침식과 함께 유출되어 평상시보다 TPP 농도가 20배 이상 증가하고, 유량이 약 20배 증가했기 때문이다. 따라서 유역 비점오염원 관리에 있어서 TPP 유출의 억제

가 관건으로 생각된다.

IV. 결 론

본 연구에서는 2년간 (2002년 2월~2004년 1월) 점원오염이 적은 농촌 소유역을 대상으로 영양염류의 구성성분 (TDN, TPN, TDP 및 TPP)의 거동특성을 파악하였다. 영양염류의 유량가중 평균농도는 모든 항목에서 강우시가 평상시보다 유의하게 ($p < 0.05$) 높게 나타났다.

평균 TDN/TN비는 평상시와 강우시에 각각 96%, 95%로 거의 차이를 보이지 않았으나, 평균 TDP/TP비는 평상시 66%에서 강우시 24%로 크게 감소하는 것으로 나타났다. 이는 질소는 평상시나 강우시 모두 대부분 용존성 상태로 유출하나, 인의 유출은 평상시에는 용존성 상태가 우세하다가 강우시에는 입자성 상태로 변하고 있는 것을 의미한다. 또한, TPP 평균부하량은 강우시가 평상시에 비하여 400배 이상 크게 증가하는 것으로 나타났다.

따라서, 질소와 인의 관리방법이 달라, N은 용존성 상태의 유출을 억제하기 위하여 농경지에 대한 시비량 삭감이 중요하며, P는 입자성 인을 유출하는 토양침식의 억제가 필요하며 이를 위해서는 장미기에 적합한 밭 피복작물 (cover crop)의 선정이 중요할 것으로 생각된다.

이 논문은 2007년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비지원에 의하여 연구되었습니다.

REFERENCES

1. American Public Health Association, 1998. *Standard Methods for the Water and Wastewater Examination*, 20th ed., Washington, DC, USA.
2. Coale, F. J., 2000. Phosphorus dynamics in soils of the Chesapeake Bay watershed: A primer, in Sharpley, A. N., Ed. *Agriculture and Phosphorus Management*, Lewis, 43-55.
3. Gao, C., J. G. Zhu, J. Y. Zhu, X. Gao, Y. J. Dou, and Y. Hosen, 2004. Nitrogen export from an agriculture watershed in the Taihu Lake area, China, *Environ. Geochem. and Hlth.* 26: 199-207.
4. Dils, R. M., 1997. Phosphorous fractions in hillslope hydrological pathways contributing to agricultural runoff, Ph.D. thesis, University of Sheffield. 431.

5. Gburek, W. J. and A. N. Sharpley, 1998. Hydrological controls of phosphorous loss from upland agricultural watersheds, *J. Environ. Qual.*, 27: 267-277.
6. Kim, J. S., S. Y. Oh, and K. Y. Oh, 2006. Nutrient runoff from a Korean rice paddy watershed during multiple storm events in the growing season, *J. Hydrol.*, 327: 128-139.
7. Kunimatsu, T., and M. Sudo, 1993. Fluctuation of the concentrations of nitrogen, phosphorus and COD in stream water discharging through a forested catchment, -Studies on the mechanism of pollutants loading from a forest (Mt. Aburahi study area)(I)-, *Trans. JSIDRE*, 166: 35-43 (in Japanese).
8. Oh, K. Y., J. S. Kim, and J. W. Cho, 2007. Characteristics of pollutant concentrations in runoff water from a small rural watershed, *KSAE*, 49(2): 99-108 (in Korean).
9. Oh, S. Y., 2004. Nutrient behavior at paddy field area with large-scaled plots during irrigation periods, Ph.D. thesis, Chungbuk National University, 96 (in Korean).
10. Okazawa, H., T. Inoue, T. Yamamoto, T. Nagasawa, and J. Unoki, 2003. Characteristics of stream water quality during rainfall runoff on an upland field area of eastern Hokkaido, Japan. *Trans. JSIDRE*, 227: 33-40 (in Japanese).
11. Pionke, H. B., J. R. Hoover, R. R. Schnabel, W. J. Gburek, J. B. Urban, and A. S. Rogowski, 1988. Chemical-hydrologic interactions in the near-stream zone. *Water Resour. Res.* 24: 1101-1110.
12. Sharpley, A. N. and S. J. Smith, 1990. Phosphorous transport in agricultural runoff: the role of soil erosion, in J. Boardmann, I. D. L. Foster, and J. A. Dearing, Eds., *Soil Erosion on Agricultural Land*, John and Wiley & Sons, Chichester. 351-356.
13. Shin Y. J. Choi. K. Lim, H. Shim, C. Lyou, J. E. Yang, and K. Y. Yoo, 2005. Pollutant load characteristics from a small mountainous agricultural watershed in the North Han River Basin, *J. KSAE*, 47(6): 83-92 (in Korean).
14. Tabuchi, T., H. Kuroda, A. Inaba, H. Kawano, Y. Ebina, and K. Horizumi, 1991a. Nitrogen outflow during non-irrigation period from a small agricultural area, Research on outflow load from an agricultural area without a point source (I), *Trans. JSIDRE*, 154: 45-53 (in Japanese).
15. Tabuchi, T., H. Kuroda, H. Saito, K. Takahashi, and T. Muroya, 1991b. Nitrogen outflow during irrigation period from a small agricultural area, Research on outflow load from an agricultural area without a point source (II), *Trans. JSIDRE*, 154: 55-64 (in Japanese).