

농촌 소유역 유출수의 오염물질 농도특성

Characteristics of Pollutant Concentrations in Runoff Water from a Small Rural Watershed

오 광 영* · 김 진 수** , † · 조 재 원***

Oh, Kwang Young · Kim, Jin Soo · Cho, Jae Won

Abstract

The purpose of this study was to investigate characteristics of concentrations of pollutants such as TN (Total Nitrogen), TP (Total Phosphorus) and COD (Chemical Oxygen Demand) in outflow from a nonpoint source dominated watershed (6.7 km²). Regular flow measurement and water sampling were taken at five-day intervals during two years (February 2002 to January 2004) in the Ingyeong River, a tributary of the Han River. The mean concentrations of pollutants during rainy days were significantly ($p < 0.05$) higher than those during dry days. For dry days, the flow-weighted mean concentration (0.06 mg/L) of TP during paddy irrigation periods were higher than that (0.02 mg/L) during non-irrigation periods. The seasonal mean concentration of TN was highest in spring likely due to nitrogen fertilization, but those of TP and COD were highest in summer due to particulate phosphorus and sediment-associated organic matter caused by increased discharge. The pollutant concentrations significantly increased with discharge, suggesting that the measures to reduce the increase in the concentrations during storms are needed to control nonpoint source pollution.

Keywords : Flow-weighted mean concentration, Nonpoint source pollution, Nutrient, Paddy irrigation, Storm

I. 서 론

비점원오염은 유역특성 및 수문학적 조건에 따라 그 배출양상이 다양하므로 비점원오염이 하천 수질

에 미치는 영향을 파악하기 위해서는 많은 연구가 필요하다.

Pionke et al. (1988)은 미국 펜실베이니아주 내의 9.9 ha의 밭유역에서 강우시 화학적, 수문학적 반응에 관한 연구를 수행하였고, Cosser (1989)는 오스트레일리아 Queensland 주의 혼합토지이용 유역에서 인(P)에 대해 수질 모니터링을 실시하였다. 일본에서는 Tabuchi et al. (1991a, b)이 74 ha 농업유역으로부터의 유출수의 수질과 부하특성을 조사하였고, Kunimatsu and Sudo (1993)는

* 충북대학교 농업과학기술연구소

** 충북대학교 농업생명환경대학

*** 동문과학상사

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

Fax: +82-43-271-5922

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

산지하천에서의 질소(N), 인(P) 및 COD의 농도와 그 변동특성을 조사하였다. 또한, 우리나라에서는 Hong and Kwun (2001)은 경기도 북하천의 농촌 유역에서 수집된 수질측정자료를 이용하여 주요 오염원을 규명하였으며, Kim et al. (2003)은 산지계류수에서의 오염물질의 농도와 유출부하특성을 조사하였다. 또한, Shin et al. (2005)은 북한강 중류 산간농업 소하천에서의 수질 농도 및 오염부하 특성을 분석하였다.

토지이용상태나 농업활동으로 발생하는 비점원오염의 유출특성은 대규모 축산단지나 공장 등의 점오염원의 영향이 적은 소하천을 대상으로 파악할 필요가 있다. 이에 본 연구에서는 점원이 적은 농촌 소유역의 유출수를 대상으로 2년간 수질의 모니터링을 통하여 오염물질 TN(Total Nitrogen), TP(Total Phosphorus) 및 COD_{Cr}(Chemical Oxygen Demand)의 농도변화 특성을 파악하고자 한다.

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 6.7 km², 하상경사가 약 0.015, 형상계수가 0.22로 하천길이에 비하여 폭이 좁은 형상을 하고 있다

(Table 1). 주 하천인 인경천은 한강의 지류로서 지방 2급 하천에 속하며, 유역은 해발 253~582 m에 위치하고 있다(Fig. 1). 토지이용 형태를 보면 산지 82.3%, 논 6.4%, 밭 9.1%로, 산지와 농지가 약 98%를 차지하고 있다. 산림의 식생은 침엽수림

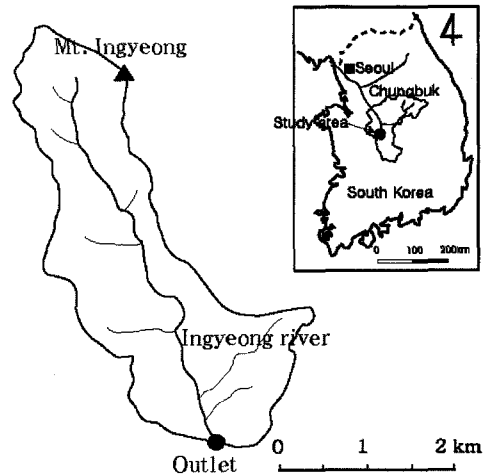


Fig. 1 Location and overview of study area

Table 1 Summary of the study area

Topographic characteristics						
Area (km ²)	River slope			Watershed shape factor		
6.67	0.015			0.22		
Land use						
	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

53%, 활엽수림 31%, 혼효림 16%로 소나무와 낙엽송이 주류를 이루고, 주요 발작물은 배추, 고추 등이 있다. 조사구역의 총인구는 240명이며 대규모의 축산단지나 공장 등의 점오염원이 조사구역에는 거의 존재하지 않는다. 축산단지로서 2002년에는 양계장이 있었으나, 이곳으로부터의 계분은 전량 수거되어 구역 외로 배출되었다(Table 2).

논에서의 시비는 3회(기비, 분얼비, 수비) 실시되었으며, 각 해의 질소(N)와 인(P)의 시비시기 및 양은 Table 3과 같다. 구역 내 밭에서 가장 큰 면적을 차지하는 배추는 년 2회 재배되며, 1회 재배시 기비는 3월 하순, 추비는 4월 중순에 실시되었으며, 2회 재배시 기비는 7월 중순, 추비는 8월 초순에 실시되었다. 밭에 시용된 N과 P의 양은 각각 315 kg N/ha, 72 kg P/ha이었다.

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, 수 개의 강우사상에서는 2~12시간 간격으로 유량 측정 및 채수를 실시하였다. 단, 2002년 11월 하순부터 2003년 1월 초순까지는 하상 평탄화 작업으로 인해 유량측정 및 채수가 불가능하여 데이터

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	May 20	73.4	25.1	Transplanting: May 25
	Topdressing at tillering stage	June 10	33.8		
	Topdressing at panicle formation stage	July 5	2.3	0.8	
	Total		109.5	25.9	
2003	Basal dressing	May 15	112.0	35.7	Transplanting: May 20
	Topdressing at tillering stage	June 5	59.3		
	Topdressing at panicle formation stage	July 5	8.5	1.0	
	Total		179.8	36.7	

를 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 유량을 추정하였다. 또한, 강우는 유역으로부터 약 1 km 떨어진 청원군 낭성면사무소에서 측정된 강우자료를 사용하였다.

수질은 TN, TP 및 COD_{Cr}의 3항목에 대하여 분석하였다. TN과 TP 농도는 환경부 수질 공정시험법에 의한 흡광광도법으로 분석하였고, COD 농도는 Standard Methods(American Public Health Association, 1998)에 의한 중크롬산칼륨(K₂Cr₂O₇)법을 이용하여 분석하였다. 또한, 강우시와 평상시, 논외의 관계기와 비관계기의 평균농도를 비교하기 위하여, t검정을 실시하였으며, p < 0.05의 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 기록하였

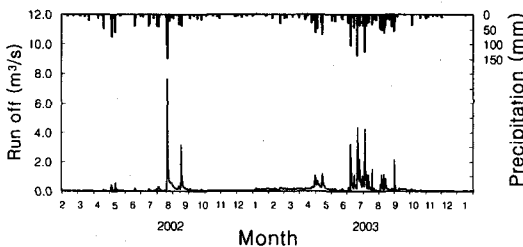


Fig. 2 Seasonal variation of precipitation and run off in study area

다. 또한, 1년차와 2년차의 유출량은 각각 605, 1,163 mm를 기록하여 각각 유출률 52%와 65%를 보였다(Fig. 2).

2. 평상시와 강우시의 평균농도

유출수의 농도를 강우량 자료와 압력-유량 관계식으로부터 얻어진 유량자료를 토대로 강우의 영향을 받기 시작하는 유량(약 0.22 m³/s)을 기준으로 강우시와 평상시로 구분하였다.

2년간 본 유역에서의 평상시의 유량가중평균농도는 TN이 1.9 mg/L, TP가 0.04 mg/L, COD는 각각 3.7 mg/L로 나타났다(Table 4). 이는 우리나라 산림유역에서 측정된 평상시의 유량가중평균농도(TN: 0.6 mg/L, TP: 0.02 mg/L, COD: 2.2 mg/L) (Kim et al., 2003), 미국의 산림유역에서의 농도(TN: 0.05~0.9 mg/L, TP: 0.01 mg/L) (Novotny, 2003), 일본 산림유역에서의 평상시의 3년간 유량가중평균농도(TN: 0.3 mg/L, TP: <0.01 mg/L, COD_{Mn}: 0.9 mg/L) (Kunimatsu and Sudo, 1993)보다 높은 값에 해당된다.

또한, 강우시 유량가중평균농도는 TN 3.1 mg/L, TP 0.34 mg/L, COD 7.9 mg/L를 보였는데, 이것도 우리나라 산림유역에서 측정된 강우시의 오염물질의 평균농도(TN: 1.2 mg/L, TP: 0.03 mg/L, COD: 5.0 mg/L) (Kim et al., 2003)나, 일본 산림유역에서의 강우시를 포함한 3년간 유량가중평균농도(TN: 0.5 mg/L, TP: 0.01 mg/L, COD_{Mn}: 1.8 mg/L) (Kunimatsu and Sudo, 1993)보다 높은 값을 보였다. t검정 결과, TN, TP 및 COD 농도 모두 강우시가 평상시보다 유의(p < 0.05)하게 높은 것으로 나타났는데(Table 4), 이는 산림과 농지의 표면이나 하상 퇴적물에 있던 영양염류나 유기물이 강우시 한꺼번에 유출되기 때문으로 생각된다.

이와 같이 조사유역에는 산림이 82%를 차지하고 있음에도 불구하고, TN과 TP의 평균 농도가 산림유역보다 높게 나타난 것은 다량의 비로가 시

Table 4 Comparison of flow-weighted mean concentrations of pollutants between dry and rainy days

Day	Number of samples	Mean (mg/L)		
		TN	TP	COD
Dry	111	1.9	0.04	3.7
Rainy	78	3.1*	0.34*	7.9*

* Significant at $p < 0.05$

용된 하천변의 배추밭으로부터 영양물질이 쉽게 하천으로 유출되기 때문으로 생각된다. 특히 질소는 쉽게 이동하여(mobile), 농지로부터 질소 손실을 방지하기 위해서는 시비량 삭감과 같은 오염원 인자(source factor)의 제어가 무엇보다도 중요하다고 보고되었다(Beegle, 2000).

한편, 강우시 도시유역으로부터 유출되는 오염물질의 평균농도는 TN 15.9 mg/L, TP 12.7 mg/L, COD 395.0 mg/L(Yur and Kim, 2005)로서, 본 조사유역의 강우시의 값보다 TN은 5.1배, TP는 37.4배, COD는 50.0배 높게 나타났다. 도시유역으로부터의 높은 오염물질 농도는 평상시에 불투수층에 축적되거나 하수관거에 퇴적되어 있던 영양염류나 유기물이 강우시 일시에 유출되기 때문으로 생각된다.

3. 평상시 관개기와 비관개기의 평균농도

논관개가 하천수의 수질에 미치는 영향을 파악하기 위하여 평상시를 논외 관개기(5~9월)와 비관개기(10~4월)로 구분하여 두 기간의 농도를 비교하였다. 2년간 비관개기와 관개기 오염물질의 유량이 중평균농도는 TN이 각각 1.7, 2.3 mg/L를, TP는 각각 0.02, 0.06 mg/L를, COD는 각각 3.6, 3.9 mg/L를 보였다(Table 5). t 검정 결과, 비관개기와 관개기의 평균농도는 TP 농도만이 관개기가 비관개기보다 유의($p < 0.001$)하게 높게 나타났다. TP 농도가 관개기에 높게 나타난 것은 유량 증가시에 유사에 부착된 인이 함께 이동하기 때문으로

Table 5 Comparison of flow-weighted mean concentrations of pollutants between non-irrigation and irrigation periods in regular sampling

Period	Number of samples	Mean (mg/L)		
		TN	TP	COD
Irrigation (May to Sept.)	74	1.7	0.02	3.6
Non-irrigation (Oct. to Apr.)	37	2.3	0.06***	3.9

*** Significant at $p < 0.001$

생각된다.

4. 정기측정시 시기별 농도변화

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

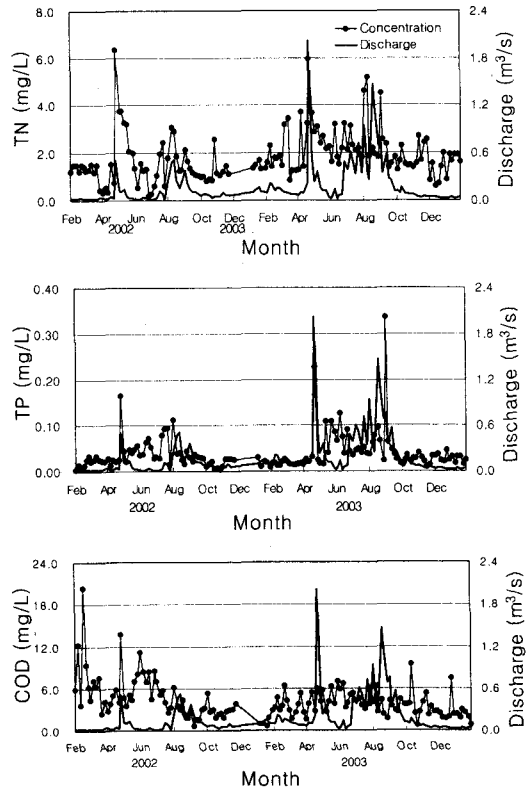


Fig. 3 Temporal variations of pollutant concentrations and discharge

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.

TP 농도는 2002년과 2003년의 4월 하순에 각각 0.17, 0.24 mg/L로 높은 값을 나타냈고, 특히, 2003년에는 6~8월 장마기의 강우로 인해 유출량의 증가와 함께 9월 초순에 농도가 0.34 mg/L까지 상승하는 것으로 나타났다.

COD 농도는 대부분 10 mg/L이하의 값을 보였으나 2002년 2월 중순에 최대값 20.4 mg/L를 기록하였다. 2월 중순에 높은 값을 보인 것은 해동과 용설시에 지표면, 토양 및 하상에 축적되어 있는 유기물이 용설수와 함께 유출되었기 때문으로 판단된다. 이와 같이 2월의 해동과 용설시 높은 COD 농도를 나타내는 현상은 산림유역에서도 보고되었다(Kim et al., 2003).

5. 월별 평균농도변화

Fig. 4는 2년간 월별 유량가중평균농도와 평균유량의 변동을 나타낸 것이다. 월평균 TN 농도는 4월에 최대값 5.2 mg/L, 12월에 최소값 1.1 mg/L의 값을 보였다. 4월에 농도가 높게 나타나는 것은 밭에 투입된 질소성분이 많은 날이 오래 지속된 후에 오는 강우로 인해 유출수와 함께 유출되었기 때문으로 판단된다. 일본의 농업유역(논 15%, 밭 31%, 산림 51%, 기타 4%)에서는 4월과 9월에 5.0 mg/L 이상의 높은 값을 보였다(Tabuchi et al., 1991b).

월평균 TP 농도는 6월에 최대값 0.51 mg/L, 2월에 최소값 0.02 mg/L를 보였다. 6월의 높은 농도는 장마 초기에 오는 강우로 인해 밭에서 토양에 부착된 입자성 인이 많이 유출되었기 때문으로 생각

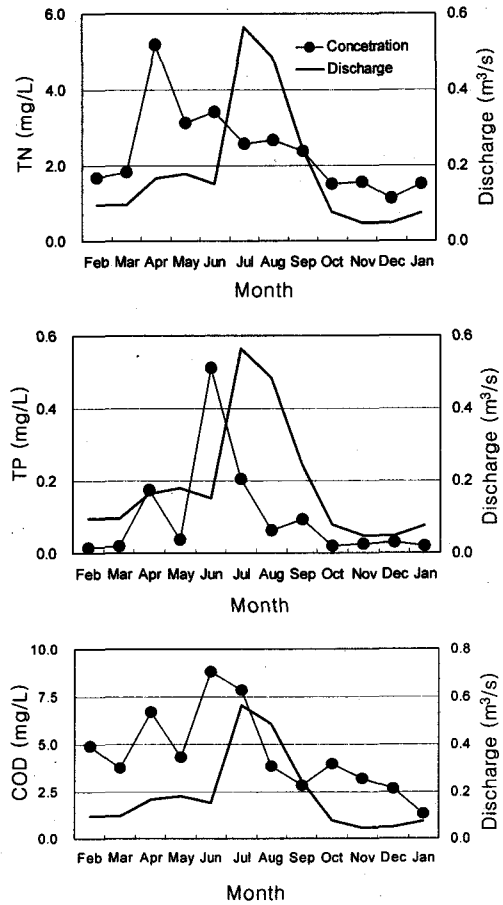


Fig. 4 Monthly variation of mean concentrations of pollutants and mean discharge

된다.

월평균 COD 농도는 6월과 7월에 각각, 8.8, 7.8 mg/L의 높은 값을 나타냈으며, 1월에 최소값 1.3 mg/L를 나타냈다. 6월의 높은 농도는 높은 수온으로 인해 조류가 급격히 성장한 논 배수의 영향 때문으로 생각된다. 우리나라 논(Kim et al., 2001)이나 일본 논(Feng et al., 2004)의 배수에서도 6월에 높은 COD 농도를 나타냈다. 또한 7월의 높은 농도는 강우 및 유량의 증가에 따라 지표 및 하상의 퇴적물에 함유된 유기물이 이동했기 때문으로 생각된다.

6. 계절별 평균농도 변화

계절별 농도를 봄은 3~5월, 여름은 6~8월, 가을은 9~11월, 겨울은 12~2월로 구분하여 비교하였는데, Fig. 5는 2년간 계절별 유량가중평균농도와 평균유량을 나타낸다. TN 농도는 봄에 4.1 mg/L로 최대값을, 겨울에 1.6 mg/L로 최소값을 보였다. 이와 같이, 봄에 높은 농도가 나타나는 것은 논밭에 사용된 질소비료의 영향 때문으로 생각된다.

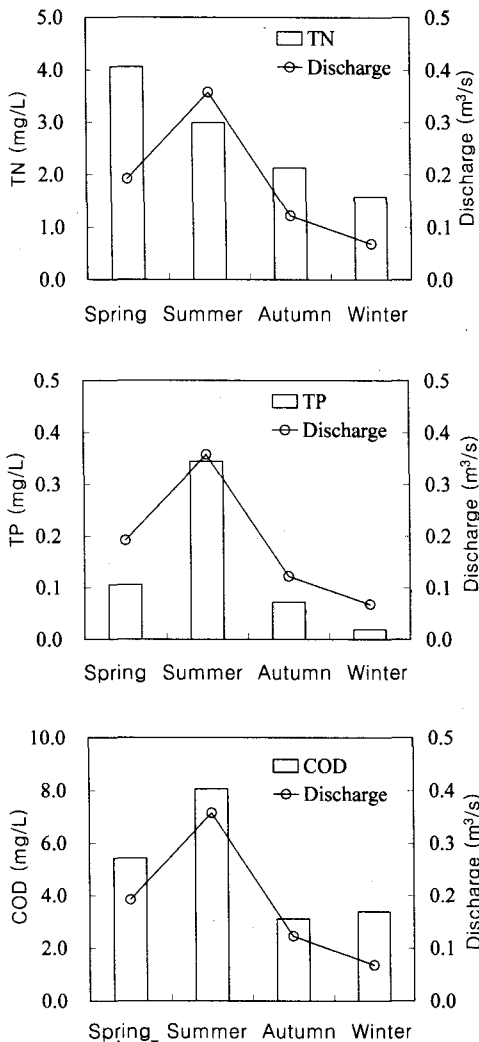


Fig. 5 Seasonal variation of mean concentration of pollutants and mean discharge

TP와 COD 농도는 여름에 각각 0.34, 8.1 mg/L로 최대값을 보였는데, 이는 증가된 하천유량에 따른 유사의 영향 때문으로 생각된다. TP와 COD 농도가 여름에 높고, 겨울에 낮게 되는 현상은 일본의 산지하천에서도 보고되었다(Kunimatsu and Sudo, 1992).

7. 강우사상의 농도변화

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

TN 농도는 초기농도 2.1 mg/L에서 상승하여 침투유량 발생 전에 5.3 mg/L의 최대값을 나타냈고, 그 후 하강하여 3.2~3.9 mg/L를 나타냈다. TN 농도는 유량이 증가함에 따라 증가하여 최대값을 보인 후, 유량감소에 비하여 농도의 저하가 매우 느린 경향을 보였다. 이는 TN 농도의 상당부분을 차지하는 NO₃-N 농도가 강우의 영향을 받는 중간류(interflow)에서 지하수류(groundwater flow)에서보다 높기 때문이다(Muraoka and Hirata, 1988). 이런 경향은 일본의 산림유역(Kunimatsu and Sudo, 1993), 중국의 혼합 토지이용 농촌유역(Gao et al., 2004)에서도 나타났다.

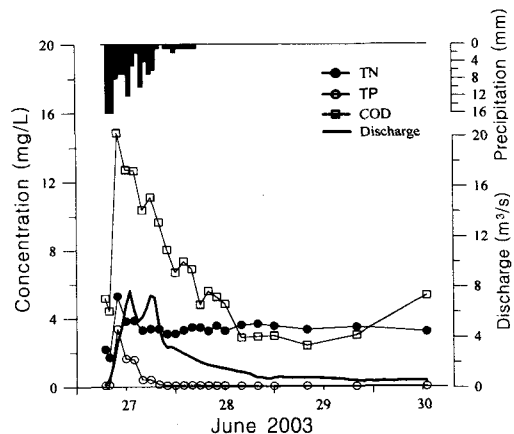


Fig. 6 Temporal variation of pollutant concentrations and discharge during a storm

TP 농도는 초기농도 0.09 mg/L에서 상승하여 침투유량 발생 직전에 최대농도 2.83 mg/L를 보인 후 급격히 감소하는 경향을 나타냈다. 이와 같이, TP 농도가 유량의 증가와 함께 급상승하는 현상은 일본의 농업유역 소하천(Suzuki and Tabuchi, 1984)과 미국 Pennsylvania주 내의 9.9 ha의 밭(옥수수, 밀 등) 유역(Pionke et al., 1988)에서도 발견되었다.

COD 농도도 유량의 증가에 따라 상승하는 경향을 보였다. COD 농도는 초기농도 5.2 mg/L로부터 상승하여 침투유량 전에 최대값 14.9 mg/L를 나타냈고 유량의 감소에 따라 2.4 mg/L까지 낮아졌다가, 강우초기 유량과 유사한 유량을 보이는 시간에는 4.2 mg/L로 약간 상승하였다. COD 농도가 유량의 증가와 함께 상승하는 현상은 일본의 농업유역 소하천(유역면적, 1~28 km²)에서도 보고된 바 있다(Suzuki and Tabuchi, 1984).

8. 유량과 농도의 관계

2년간 TN, TP 및 COD의 농도(C)와 유량(Q)과의 관계를 지수식($C = aQ^b$)으로 나타내면 Fig. 7과 같다. TN, TP 및 COD 농도는 유량 증가와 함께 유의($p < 0.001$)하게 증가하는 것으로 나타났다. 이 때, 지수값(b)은 TP > TN > COD의 순으로, 유량 증가에 따른 농도의 증가는 TP가 가장 큰 것으로 나타났는데, 이는 유량 증가시 토양에 부착된 인이 많이 유출되기 때문으로 생각된다.

유량 증가에 따라 한국의 산림유역(Kim et al., 2003)과 미국의 혼합 토지유역(Schnabel et al., 1983)에서는 각각 TN과 NO₃-N의 농도가 증가하였으나, 일본의 농업유역(Tabuchi et al., 1991b)과 우리나라 논유역(Kim et al., 2006)에서는 많은 경우 TN 농도가 감소하는 경향을 보였다. 한편, TP 농도는 우리나라의 산림유역(Kim et al., 2003), 논유역(Kim et al., 2006) 및 일본의 농업유역(Tabuchi et al., 1991b)에서 모두 유량증가

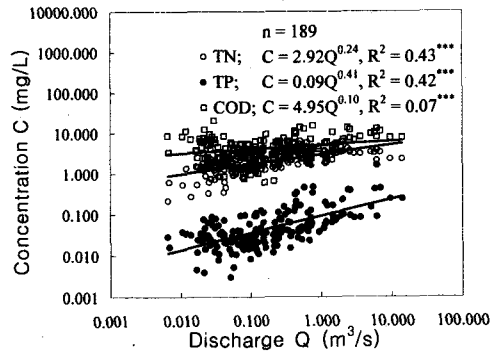


Fig. 7 Relationship between discharges and pollutant concentrations in the study area.

***: Significant at $p < 0.001$

와 함께 유의하게 증가하는 경향을 보였다. 오스트레일리아의 혼합토지유역(Cosser, 1989)에서도 TP의 구성성분인 용존성 인(total dissolved phosphorus)과 입자성 인(particulate phosphorus)의 농도 모두가 유량 증가와 함께 유의하게 증가하는 경향을 보였다.

IV. 결 론

본 연구에서는 2년간(2002년 2월~2004년 1월) 점원오염이 거의 없는 농촌 소유역을 대상으로 오염물질(TN, TP 및 COD)의 농도특성을 파악하였다. 오염물질의 유량가중 평균농도는 모든 항목에서 강우시가 평상시보다 유의하게 높게 나타났고, 평상시 관개기와 비관개기의 평균농도는 TP 농도만이 관개기가 비관개기보다 유의하게 높은 것으로 나타났다. 오염물질의 계절별 유량가중 평균농도는 수질 항목에 따라 달라, TN 농도는 질소비료가 많이 사용되는 봄에 가장 높게 나타났고, TP와 COD 농도는 유량과 이에 따른 유사이동량이 많은 여름에 가장 높게 나타났다.

조사유역에서는 유량이 증가함에 따라 TN, TP 및 COD 농도는 모두 유의하게 상승하는 것으로 나타났다. 한편, 다른 토지이용상태에서는 유량 증가에 따라 TN 농도는 증가하거나 감소하는 경향을

나타냈으나, TP 농도는 항상 증가하는 경향을 나타냈다. 유량 증가에 따른 오염물질의 농도 변화의 특성 및 그 메커니즘은 추후 다양한 토지이용상태 및 유역을 대상으로 조사할 필요가 있다. 또한, 조사유역은 많은(82%)의 산림지역을 가지고 있음에도 불구하고, TN과 TP의 평균농도가 산림유역에 비하여 상당히 높고, 강우시 크게 증가하므로 이를 제어하기 위해서는 시비량이 많은 밭에서의 적절한 시비관리나 토양피복과 같은 대책이 필요할 것으로 생각된다.

이 논문은 2006년도 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. Beegle, D. (2000) Integrating and phosphorus and nitrogen management at the farm level. In: Sharpley A. N. (ed) *Agriculture and Phosphorus Management: the Chesapeake Bay*, Lewis Publishers, Boca Raton, Florida, pp. 159-168.
3. Cosser, P. R., 1989, Nutrient concentration-flow relationships and loads in the South Pine River, South-eastern Queensland. I. Phosphorus loads. *Aust. J. Mar. Fresh. Res.* 40: 613-630.
4. Feng, Y. W., I. Yoshinaga, E. Shiratani, T. Hitomi, and H. Hasebe, 2004, Characteristics and behavior of nutrients in a paddy field area equipped with a recycling irrigation system, *Agri. Water Manage.* 68: 47-60.
5. 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,
6. Hong, S. G. and S. K. Kwun, 2001, Identification of critical source areas on water quality in rural watershed, *J. KSAE*, 43(5): 145-152.
7. Kim, J. S., S. J. Kim, K. Y. Oh, S. Y. Oh, J. S. Kim, and Y. H. Jeong, 2003, Outflow loads of total nitrogen, total phosphorus, and COD in mountain stream water, *J. KWRA*, 36(5): 787-797. (in Korean)
8. Kim, J. S., S. Y. Oh, K. S. Kim, and S. K. Kwun, 2001. Characteristics of pollutant concentrations at paddy field areas during irrigation periods, *J. KSAE*, 43(6): 163-173. (in Korean)
9. 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.
10. 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)
11. Muraoka K., and T. Hirata, 1988, Stream-water chemistry during rainfall events in a forestd basin, *J. Hydrol.*, 102: 235-253.
12. Novotny, 2003, *Water Quality: Diffuse pollution and Watershed Management*, Wiley, pp. 530-531.
13. Pionke, H. B., J. R. Hoover, R. R. Schnabel, W. J. Gbruek, J. B. Urban, and A. S. Rogowski, 1988, Chemical-Hydrologic interactions in the near-stream zone. *Water Resour. Res.* 24: 1101-1110.
14. Schnabel, R. R., J. B. Urban, and W. J.

- Gburek, 1883, Hydrologic controls in nitrate, sulfate and chloride concentrations, *J. Environ. Qual.* 22: 589-596.
15. 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.
 16. Suzuki, S. and T. Tabuchi, 1984, Study on the nutrients of direct runoff in a stream flowing agricultural area, *Trans. JSIDRE*, 114: 21-31. (in Japanese)
 17. 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)
 18. Tabuchi, T., H. Kuroda, H. Saito, K. Takahashi, 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)
 19. Yur, J. H., and G. H. Kim, 2005, Comparison of discharge characteristics of NPS pollutant loads from urban, agricultural and forestry watersheds, *J. KSWQ*, 21(2): 184-189. (in Korean)