

논에서의 강우 유출시 질소·인의 초기농도와 유출과정 평균농도 비교

Comparison of Initial and Mean Concentrations of Nitrogen and Phosphorus in Runoff from a Paddy Field

윤 광 식*, 최 진 규**, 조 재 영**, 손 재 권**, 구 자 웅**
Yoon, Kwang-sik, Choi, Jin-kyu, Cho, Jae-young, Son, Jae-gwon, Koo, Ja-wong

Abstract

To investigate the difference between initial and mean concentrations of nitrogen and phosphorus in runoff from a paddy field, water quality samples were taken for every two hours when runoff occurred by rainfall. The arithmetic mean concentration and weighted mean concentration considering flow rate were estimated for total nitrogen and total phosphorus in runoff. The results showed that difference between initial and weighted mean concentrations of total nitrogen and total phosphorus was more or less than 10% in most cases.

1. 서론

농경지로부터의 오염 부하량은 유량과 이에 상응하는 오염물질 농도를 곱하여 산정된다. 보통 유출 유량과 오염물질 농도는 유출과정중 시간에 따라 다르게 나타난다. 유량은 자기 수위계를 이용하여 연속적으로 측정할 수 있지만, 현재까지는 최근의 센서 기술의 발달에도 불구하고 유출수나 하천 내의 오염물질 농도를 연속 측정하기는 어려운 실정이다 (Novotny와 Harvey, 1994). 오염 부하량 산정의 정확성을 기하기 위해서는 많은 샘플링이 필요하며, 샘플 내의 오염물질 농도분석을 위한 실내 실험이 뒤따른다. 하지만, 많은 수의 샘플

채취와 실내 분석은 인력과 장비 및 소요 자금 때문에 제한 받지 않을 수 없다. 따라서, 일정 간격으로 측정된 수질자료를 이용하여 측정되지 않은 기간의 농도를 보간법으로부터 산정하여 오염 부하량을 추정하는 것이 일반적으로 시행되고 있는 방법이다.

외국의 경우 수질 조사를 위한 시료채취 빈도를 줄이기 위한 연구가 수행되었다. Shih 등 (1994)은 단일 폭우 사상의 유출 부하량 산정에 정확성을 기하기 위해서는 최소 8개의 농도자료가 필요하다 하였으며, Smith 등(1977)은 연속 측정된 유량자료와 일정 간격으로 조사된 수질 자료로부터 부하량 산정을 위한 수

* 전남대학교 농공대학

** 전북대학교 농공대학(농업과학기술연구소)

키워드: 비점오염, 시료 채취 빈도, 논, 오염부하량
강우시 평균 농도

질 농도 보간법의 8가지 통계학적 방법을 비교한 바 있다. 이에 대한 국내에서의 연구는 많지 않으며, 강 등(1998)이 채수빈도를 고려한 소하천의 수질오염부하량 산정을 연구한 바 있으며 홍(1997)이 미국의 자료를 이용하여 하천수질조사에 있어서 시료채취빈도와 오염부하량에 관해 발표한 바 있다.

우리 나라의 경우 농경지의 60% 이상이 논이며, 논 유역은 일반 유역과는 달리 논에서 많은 저류가 이루어지며, 유출특성이 배수구와 배수로에서 지체정도에 따라 그 특성이 결정된다고 볼 수 있다. 논으로 용수 유입량은 관개수량이 없는 경우 강우량에 의하여 결정되며, 유출량은 논 배수방식에 크게 영향을 받게 된다. 논에서 배수방식은 경작자에 따라 다르지만 대부분 적정담수심을 유지할 수 있는 배수물꼬를 만들거나 배수공을 설치하여 적정담수심 이상의 물은 자연적으로 배수되도록 하고 있다. 따라서 논과 배수물꼬는 각각의 논둑을 경계로 하는 저수지와 물넘이의 역할을 하는 것으로 생각할 수 있으며, 배수물꼬의 유출특성이 논에서의 유출특성을 결정하는 중요한 인자가 된다. 논에서의 유출현상에 대한 연구로는 임과 박(1997), 김 등(1998)이 있으며, 다양한 기상조건과 영농관행에 따른 유출에 관한 실측 조사연구는 많지 않은 편이다.

논에서의 영양물질 순환기작인 암모니아 휘산, 논토양 내 질소와 인의 무기화, 질산화, 탈질 과정, 질소와 인의 흡착 및 용출 과정은 담수 상태에서 발생하므로 외국에서 많은 연구가 이루어진 밭의 경우와 상이하며, 이들 기작에 관한 실험연구로는 여러 연구(김과 김, 1983; 이 등, 1986; 김과 류, 1991; 오, 1980)가 있으나 모델링을 할 수 있을 정도로 이들 기작에 관련하는 요인들이 규명되어 있지 않다. 논에서의 물질기작에 관한 모델링 연구는 진

등(1997)에 의해 수행된 바 있다.

논에서의 영양염류인 질소와 인에 대한 모니터링 연구는 여러 연구자에 의해 이루어졌다(홍과 권, 1989; 신과 권, 1990; 김과 조, 1995; 박 등, 1997; 김 등, 1999). 하지만 대부분의 연구가 일정 간격으로 수질 샘플링을 하여 농도를 살펴본 경우가 대부분이며, 강우 유출시 수질이 유출 과정 중 시간적으로 어떻게 변하는지 살펴본 연구는 매우 적은 실정이다. 국내에서는 김 등(2000)이 충북지방 광역 논 배수로 말단에서 2~6시간 간격으로 채수하여 유출량과 T-N, T-P, COD 농도 변화를 살펴본 바 있다.

농경지 특히 논에서의 오염 부하량 산정을 위한 채수빈도를 줄이는 방안을 강구하기 위해, 본 연구에서는 강우시 필지 논에서 유출수를 2시간 간격으로 연속 채수하여 유출 과정 중 전질소(T-N)과 전인(T-P)의 농도 변화를 살펴보고, 유출이 시작되기 전의 담수농도와 유출수 중의 평균농도를 비교하여 강우시 수질 샘플링을 하지 못하였을 경우 담수농도를 이용하여 오염 부하량을 산정하였을 경우의 추정오차를 고찰하였다.

II. 재료 및 방법

1. 시험포장 및 측정시설

논에서 영양물질의 물질수지와 유출특성을 조사하는데 필요한 시험포장은 경지정리가 된 곳으로 월담배수(越畝排水)가 적고, 제반 관측시설의 설치 및 관리가 편리하며, 기상자료의 수집이 용이한 곳을 대상으로 선정하였다. 본 실험에 사용된 시험포장은 1995년 5월에 경지정리가 완료된 곳으로 전라북도 진안군 마령면 평지리에 위치하고 있으며, 축산폐수, 가정하수 및 산업폐수로부터 영향을 받지 않은 전

형적인 수도작 농업지대이다. 시험포장 구획은 장변 100m와 단변 50m로서 면적은 5,000m²이다. 본 시험포장의 토양은 지산 미사질 양토 (Jisan Silt loam, SiL ; fine loamy, mixed mesic family of Fluventic Haplaguepts)로서 논 토양의 이화학적 특성은 <Table 1>과 같다.

<Table 1> Physical and chemical properties of the test plot soil

Chemical properties		Particle size fraction (%)	
Organic matter(%)	2.15	Sand	29.5
pH(1:5)	5.81	Silt	55.3
Total-N(mg/kg)	856.47	Clay	15.2
Total-P(mg/kg)	246.34		
CEC(cmol+/kg)	10.54		
Exchangeable cations(cmol+/kg)			
Ca	4.35		
Mg	3.02		
Na	0.15		
K	0.45		

시험포장에 설치된 시설로는 강우량 측정을 위한 우량계 1조, 관개수 유입량 측정을 위한 자기수위계 1조, 논에서 유출수량 측정을 위한 자기수위계 및 웨어 시설 1조, 논 토양에서 지하로 이동하는 영양물질의 양을 측정하기 위한 토양용액 채취기 4조를 각각 설치하였다.

본 연구에 사용된 시험포장은 작은 면적이므로 지체시간이 짧아 강우강도의 변화에 따른 유출영향이 빠르게 나타나게 된다. 이러한 점을 고려하여 보다 정확한 강우량을 측정하기 위하여 웨어가 설치된 시험포장에 인접한 용수로 옆에 우량계를 설치하였다. 우량계는 아나로그식 자기우량계로서, 1997년 5월 1일부터 1998년 4월 30일까지 일별 누가강우량 자료를 수집하였다.

웨어(Weir)는 1개 필지 논에서의 유출량을 측정하기 위한 것으로 시험포장의 하류지점에 설치하였다. 웨어는 완전 월류의 조건을 만족시키고, 배수에 지장을 주지 않도록 폭 30cm

의 사각형 웨어로 제작하였으며, 완전한 배수가 이루어질 수 있도록 평균 논바닥 보다 약간 낮게 설치하였다. 이 웨어에는 직경 40cm의 Stilling well을 부착하여 내부에 자기수위계를 설치하였으며, 1997년 5월 1일부터 1998년 4월 30일까지 수위를 측정하였다.

2. 시험포장의 운영

시험포장은 1997년 5월 13일에 논갈이를 하고 담수를 시킨 후, 5월 26일에 재식거리 15×30cm, 1주당 3분씩 기계이앙을 실시하였다. 시험포장의 재배품종은 화선찰벼이며, 9월 29일에 수확하였다. 비영농기간 동안에는 수확 후 벼짚을 전량 논 토양에 살포하고 비경운 상태로 두었다가 1998년 3월 20일에 1차 논갈이를 한 다음, 4월 25일에 2차 논갈이를 실시하였다.

본 시험포장은 경지정리(1994년 11월~1995년 5월)가 완료된 논 토양으로 경지정리가 끝난 최근 3년 동안 표준시비량(N : P : K = 11 : 8 : 7kg/10a)의 2~3배에 해당하는 과잉의 화학비료가 시비되었다. 1995년도에는 30kg N/10a, 4.2kg P/10a, 6.8kg K/10a에 해당하는 화학비료가 사용되었으며, 1996년도에는 26kg N/10a, 3.8kg P/10a, 3.8kg K/10a에 해당하는 화학비료를 사용한 것으로 조사되었다. 본 연구기간의 시비량은 1997년 5월 22일에 모내기 기비(基肥)로 10.72kg N/10a, 2.72kg P/10a 그리고 2.72kg K/10a를 전층시비(全層施肥)하였으며, 6월 13일에 분얼비(分蘖肥)로 7.36kg N/10a을, 7월 28일에 수비(穗肥)로 3.68kg N/10a을, 1998년 3월 18일에 규산질비료를 200kg/10a 수준으로 시비하였다.

3. 강우 및 유량측정

강우자료는 시험포장 내에 설치된 자기우량

계의 자기기록지에 누가우량으로 기록된다. 1997년 5월 1일부터 1998년 4월 30일까지 12개월간 1,510.2mm의 강우량이 기록되었으며, 최대 일우량은 8월 4일의 129.8mm/일이었고, 최대 시우량은 7월 15일 20:00~21:00의 26.1mm/hr였다.

시험포장의 관수로 유입구에 설치된 유량계를 이용하여 관개수 유입량을 측정하였으며, 매 관개시마다 Bucketing을 통하여 유량을 보정하였다. 유출수량 측정을 위한 웨어는 시기별로 일정한 담수심을 유지하기 위하여 20cm 및 25cm의 각각판으로 경작자가 직접 논물수위를 조정하였으며, 수위계의 기록지는 매 6일마다 교체하였다.

4. 시료채취 및 분석방법

유출수는 유출이 발생할 때마다 2시간 간격으로 시험포장의 웨어 유출구에서 폴리에틸렌 용기(2L)에 채수하여 4℃ 이하의 온도에서 보관하여 분석시료로 사용하였다. 유출수 중에 함유된 유출토사 시료는 웨어 유출구에 직접 고무호스를 연결하여 특수제작한 200L 용량의 플라스틱 용기에 유출수가 통하도록 하였다. 유출수를 3일 동안 정치시킨 후 침강한 토사를 채취하여 풍건시킨 다음 2mm체를 통과시켜

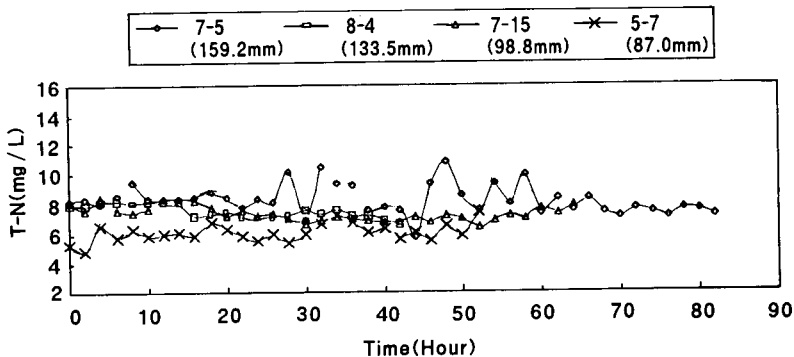
분석시료로 사용하였다.

강우, 관개수, 유출수 및 침투수를 포함한 수질시료의 분석은 수질공정시험법(환경처, 1993)에 기준하였다. 부유물질(Suspended solids)은 시료 1,000mL를 취하여 유리섬유여지법으로, pH와 EC는 현장에서 기기(Orion Model 840)를 이용하여 직접 측정하였으며, 화학적 산소요구량은 시료 100mL를 취하여 과망간산칼륨법에 준하여 분석하였다. 전질소와 암모니아태질소는 수질시료 500mL를 취하여 각각 환원증류-킬달법과 중화적정법으로 분석하였다. 총인산은 수질시료 500mL를 취하여 50mL로 농축한 다음 Ascorbic acid reduction법에 기준하여 분석하였다. 음이온(NO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-})은 0.45 μm 이하의 유리섬유여지(GF/C)를 사용하여 여과한 다음 이온크로마토그래피(Sykam 4260, Germany)를 이용하여 분석하였다.

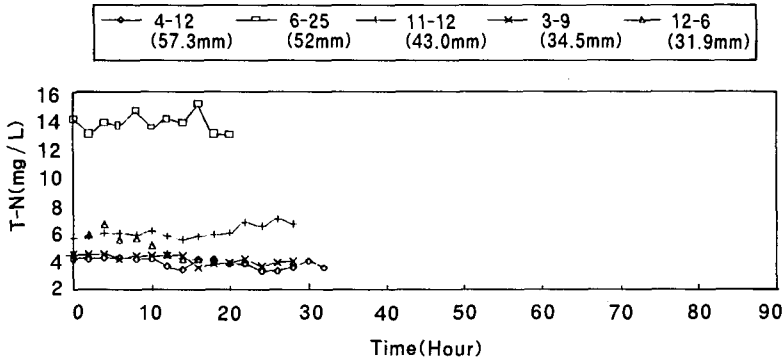
III. 결과 및 고찰

1. 논에서의 강우 유출시 T-N, T-P의 시간별 농도변화

<Fig. 1>과 <Fig. 2>는 각 강우 사상의 강우량이 80mm 이상인 경우와 이하인 경우에 대한 유출수 중의 T-N의 농도 변화를 보여주



<Fig. 1> Total Nitrogen concentration changes in runoff by rainfall above 80mm



<Fig. 2> Total Nitrogen concentration changes in runoff by rainfall less than 80 mm

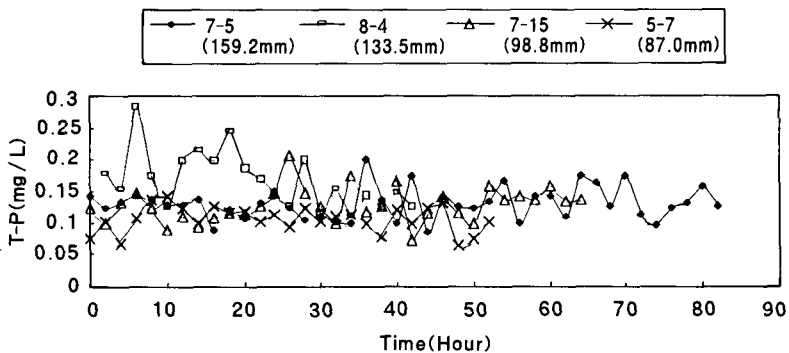
고 있다. 일반적으로 강우량이 큰 경우(80mm 이상)의 T-N의 농도가 강우량이 작을 때 보다 크게 나타나는 경향을 보여 주었다. 하지만 대부분의 큰 강우가 영농시기인 여름에 발생하였으며 상대적으로 작은 강우는 대부분 비영농기인 늦가을과 겨울, 봄에 관측된 것이다. 6월 25일에 관측된 강우량은 52mm이었지만 관측된 T-N 농도는 13~15mg/L로 가장 높은 값을보여주었는데, 이는 6월 13일에 이루어진 시비의 영향이 큰 것으로 판단된다. 논에서의 강우 유출시 T-N 농도는 강우량의 크기보다는 시비에 따른 영향이 더 큰 것으로 나타났다.

<Fig. 3>과 <Fig. 4>는 강우량 80mm 이상과 이하에 대한 유출수 중의 T-P의 농도 변화

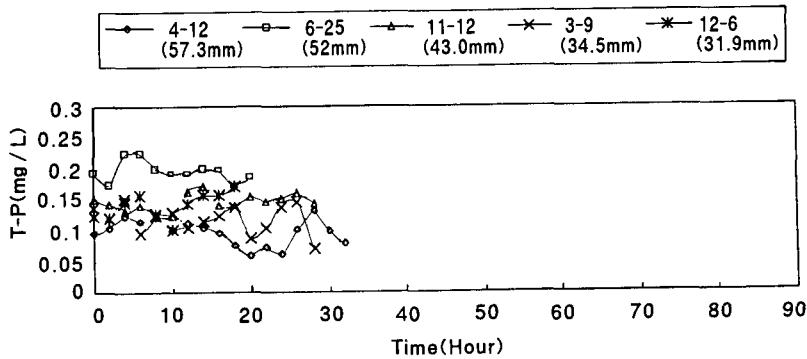
를 보여주고 있다. 조사대상인 9개 강우 유출 사상에서 관측된 농도는 0.05~0.3mg/L의 범위를 보여주고 있다. 이는 T-N에 비하여 작은 농도이다. 질소의 경우 세번에 걸쳐 217.6kg/ha의 양이 시비된 반면 인의 경우 일회 27.2 kg/ha 시비되어 상대적으로 시비량이 적으며 인의 용해성이 질소보다 작은데 기인하는 것으로 사료된다.

2. 강우 유출수 내 T-N, T-P 평균농도

2시간 간격으로 연속 측정된 T-N과 T-P 농도 자료를 이용하여 각 강우 유출 사상의 평균농도를 산정하였다<Table 2>. '97년 5월부터



<Fig. 3> Total Phosphorus concentration changes in runoff by rainfall above 80 mm



(Fig. 4) Total Phosphorous concentration changes in runoff by rainfall less than 80 mm

'98년 4월 중에 발생한 강우 중에서 조사된 총 9개의 강우 유출의 경우를 살펴 보았으며, 강우 유출수 내 T-N 과 T-P 농도의 산술평균과 유출량을 고려한 가중평균을 산정하여 비교하였다. T-N과 T-P의 산술평균과 유출량을 고려한 가중평균을 비교해 보면 상대오차가 대부분 5% 이내였다.

가중평균 농도를 살펴보면 T-N의 경우 '97년 5월 7일 6.14mg/L에서 6월 25일 13.9mg/L로 증가한 농도를 보여주고 있다. 이는 6월 13일에 시비한 분얼비 영향인 것으로 판단된다. 이후 유출수 내 T-N의 평균농도는 계

속 감소하는 추세를 보이고 있다. 8월 4일 농도가 7월 15일 보다 높은 것은 7월 28일 수비 영향으로 사료되며 이후 비영농기에도 유출수에 대하여 6.1~3.9mg/L농도를 보여 주었다.

T-P의 경우 5월 22일 시비의 영향으로 6월 25일 0.2mg/L을 보이다가 이후 감소하는 경향을 보여주고 있다. 8월 4일 일시 0.18mg/L로 증가된 경우 이외에는 각 강우 유출수 내 T-P 평균농도의 변동폭이 0.10~0.14mg/L로 연중 변화가 크지 않은 것으로 관측되었다. 이는 인이 질소에 비해 토양 내 흡착되기 쉬우며 용해성이 작기에 시기별 변화폭이 크지 않은

(Table 2) Comparison of arithmetic mean and flow rate weighted mean of T-N and T-P concentration in each runoff

Date	Rainfall (mm)	No. of samples	T-N (mg/L)			T-P (mg/L)		
			Mean	Weighted mean	Relative error(%)	Mean	Weighted mean	Relative error(%)
97-05-07	87.0	21	6.17	6.14	0.5	0.106	0.110	3.6
97-06-25	52.0	11	13.80	13.9	0.7	0.196	0.201	2.5
97-07-05	159.2	42	8.24	8.37	1.6	0.130	0.129	0.8
97-07-15	98.8	25	7.13	7.13	0	0.133	0.134	0.7
97-08-04	133.5	21	7.48	7.66	2.3	0.168	0.182	7.7
97-11-12	43.0	14	6.11	5.92	3.2	0.145	0.138	5.1
97-12-06	31.9	9	5.09	5.92	14	0.142	0.135	5.2
98-03-19	34.5	15	4.19	4.39	4.6	0.117	0.124	5.6
98-04-12	57.3	17	3.93	4.11	4.3	0.097	0.106	8.5

<Table 3> Comparison of initial and flow rate weighted mean concentration of T-N and T-P in each runoff

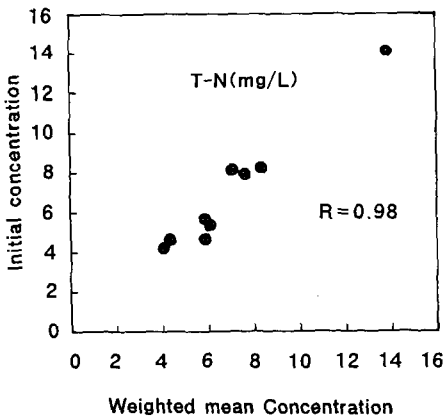
Date	Rainfall (mm)	T-N (mg/L)			T-P (mg/L)		
		Initial conc.	Weighted mean conc.	Relative error (%)	Initial conc.	Weighted mean conc.	Relative error (%)
97-05-07	87.0	5.31	6.14	13.5	0.075	0.110	31.8
97-06-25	52.0	14.07	13.9	1.2	0.194	0.201	3.5
97-07-05	159.2	8.20	8.37	2.0	0.142	0.129	10.1
97-07-15	98.8	8.10	7.13	13.6	0.124	0.134	7.5
97-08-04	133.5	7.85	7.66	2.5	0.178	0.182	2.2
97-11-12	43.0	5.63	5.92	4.9	0.152	0.138	10.1
97-12-06	31.9	4.59	5.92	22.5	0.136	0.135	0.7
98-03-19	34.5	4.57	4.39	4.1	0.123	0.124	0.8
98-04-12	57.3	4.18	4.11	1.8	0.095	0.106	10.4

것으로 사료된다.

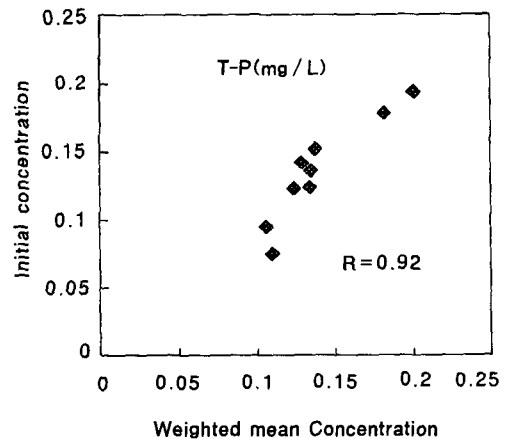
3. 유출 직전 담수농도와 유출수 평균농도 비교

조사된 강우 유출 사상에 대해 유출 직전 담수농도와 강우 유출수 평균농도를 비교하

였다 <Table 3>. <Fig. 5>와 <Fig. 6>은 각각 질소와 인의 담수농도인 초기농도와 유출 평균농도와의 관계를 보여주는 것으로, 둘 사이에 높은 상관관계가 있음을 보여주고 있다. 강우시 수질 샘플링을 하지 못하였을 때 담수농도를 이용 오염 부하량을 산정하였을 경우 오차를 살펴본 결과 강우 유출 직전 농도와 유출 과정 내의 평균농도의 상대오차는 대부



<Fig. 5> Relationship between initial concentration and flow rate weighted mean concentration of T-N in runoff from a paddy field



<Fig. 6> Relationship between initial concentration and flow rate weighted mean concentration of T-P in runoff from a paddy field

분 10% 내외였다. 논에서의 강우시 유출량이 정확히 측정된다면 시기별 담수농도 자료를 가지고 조사된 오차 범위 내에서 오염 부하량을 산정할 수 있는 것으로 사료된다.

IV. 요약 및 결론

본 연구에서는 필지 논에서 강우 사상에 의한 유출수를 2시간 간격으로 채수하여 유출 과정 중 전질소(T-N)와 전인(T-P)의 농도 변화를 살펴보고, 유출 직전의 초기농도와 유출과정 중의 평균농도를 비교하였으며, 그 결과는 다음과 같이 요약될 수 있다.

1. 유출 과정 중 T-N과 T-P 농도는 시간별로 증감 변동하였으며 뚜렷한 경향을 보이지 않았다.
2. 유출 과정 중 2시간 간격으로 측정된 T-N 및 T-P 농도와 연속 측정된 유량자료를 이용하여 각 강우 유출 사상의 평균농도를 구하였다. 강우 유출수 내 T-N 과 T-P 농도의 산술평균과 유량을 고려한 가중평균을 비교한 결과 대부분의 경우 5% 이내의 오차를 보였다.
3. 논에서 T-N의 강우 유출수 내의 농도는 강우량 크기보다는 시비량 및 시비시기와 강우 유출의 발생시기에 큰 영향을 받는 것으로 나타났다. 각 강우 사상의 유출 과정의 평균농도를 살펴보면 영농기에는 13.8mg/L에서 7.13mg/L까지 측정되었으며, 비영농기에는 6.17mg/L에서 3.93mg/L까지 관측되었다. T-N의 경우 연중 시비 후 시간이 경과함에 따라 유출수 내 농도가 감소하는 경향이 뚜렷하였다.
4. T-P의 경우 기비로 일회 시비되었으며, 강우 유출수의 평균농도의 최고치는 0.2mg/L이었으며, 일반적으로 강우 유출수 내 평균농도는 0.11~0.14 mg/L로 연중 변화가 크지 않은 것으로 관측되었다.
5. 조사된 강우 유출 사상에 대하여 유출이

시작되기 전의 담수농도와 강우 유출수의 평균농도를 비교하였으며, 강우시 수질 샘플링에 대한 자료가 부족하여 담수농도를 이용하여 오염 부하량을 산정한 경우에 대한 추정오차를 살펴보았다. 강우 유출 직전 농도와 유출 과정 전체의 평균농도의 상대오차는 대부분 10% 내외였다. 논에서의 강우시 유출량이 측정된다면 시기별 담수농도 자료를 가지고 조사된 오차 내에서 오염 부하량을 산정할 수 있는 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 강문성, 박승우, 윤광식, 1998. 채수빈도를 고려한 소하천의 수질오염부하량 특성연구, 한국농공학회, 학술발표회 발표논문집, pp.552~557.
2. 김광식, 김용웅, 1983. 논 토양성분의 용탈에 관한연구, 한국토양비료학회지, 16(4), pp.311~317.
3. 김복영, 조재규, 1995. 벼 재배에서 방류수에 의한 영양염류의 유실, 한국관개배수지, 2(2), pp.150~156.
4. 김진수, 오승영, 김규성, 1999. 광역논에서의 질소·인의 농도와 오염부하량 특성, 한국농공학회지, 41(4), pp.47~56.
5. 김진수, 오승영, 김규성, 이종진, 오광영, 2000. 강우시 광역논으로부터의 영양염류의 유출특성, 한국수자원학회, 학술발표회 논문집, pp.726~731.
6. 김찬섭, 류순호, 1991. 담수처리가 토양의 인산 흡착 특성에 미치는 영향, 한국토양비료학회지, 24(2), pp.109~115.
7. 김현영, 황철상, 강석만, 이광야, 1998. 논유출 특성을 고려한 홍수분석 시스템 개발, 한국농공학회, 학술발표회 발표논문집, pp.34~40.

8. 박승우, 윤광식, 진영민, 이변우, 1997. 논외 물 질순환 모니터링, 서울대농학연구지, 22(1), pp.19~27.
9. 신동석, 권순국, 1990. 논에서의 질소 및 인의 농도와 유출입, 한국환경농학회지, 9(2), pp.133~141.
10. 오왕근, 1980. 토양의 반응과 질소의 사용량에 따른 암모니아의 휘산, 한국토양비료학회지, 13(1), pp.7~11.
11. 이상규, 김승환, 박준규, 안상배, 1986. 논토양의 탈질작용에 관한연구, 한국토양비료학회지, 19(1), pp.76~82.
12. 임상준, 박승우, 1997. 논외 유출곡선번호 추정, 한국수자원학회논문집, pp.379~387.
13. 진영민, 박승우, 윤광식, 1997. CREAMS-PADDY, 한국농공학회, 학술발표회 발표논문집, pp.61~65.
14. 홍성구, 권순국, 1989. 농경지로부터의 오염물질 유출부하특성, 한국농공학회지, 31(3), pp.92~102.
15. 홍성구, 1997. 하천수질조사에 있어서 시료채취 빈도와 오염부하량, 안성산업대학교 논문집, 29(1), pp.103~108.
16. 환경처, 1993. 수질오염공정시험법.
17. Novotny, V., and O. Harvey, 1994. Water Quality, New York, N.Y.: Van Nostrand Reinhold.
18. Shih, G., W. Abtew, and J. Obeysekera., 1994. Accuracy of nutrient runoff load calculations using time-composite sampling, Transactions of the ASAE, 37(2), pp.419~429.
19. Smith, R.V., and D.A. Stewart, 1977. Statistical models of river loading of nitrogen and phosphorous in the Lough Neagh System, Water Res., 11(8), pp.631~636.