

## 논에서의 질소·인의 시간별 유출농도 변화를 고려한 부하량 산정

○윤광식\* · 조재영\*\* · 최진규\*\*\* · 한국현\*

### I. 서론

우리나라의 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.

농경지로부터의 오염 부하량은 유량과 이에 상응하는 오염물질 농도를 곱하여 산정 된다. 오염 부하량 산정의 정확성을 기하기 위해서는 많은 샘플링이 필요하며, 샘플내의 오염물질 농도분석을 위한 실내 실험이 뒤따른다. 하지만, 많은 수의 샘플 채취와 실내분석은 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.

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

본 연구에서는 논에서의 오염부하량 산정을 위한 채수빈도를 줄이는 방안을 강구하기 위해, 강우시 필지논에서 유출수를 2시간 간격으로 연속 채수하여 유출 과정중 전질소(T-N)과 전인(T-P)의 농도 변화를 살펴보고, 유출이 시작되기전의 담수농도와 유출수중의 평균 농도를 비교하여 강우시 유출수 수질 자료가 충분치 않을 경우 담수농도를 이용하여 오염부하량을 산정하였을 경우의 추정오차를 고찰하였다.

---

\* 전남대학교 생물산업공학과 (농업과학기술연구소)

\*\* 전북대학교 농화학과 (농업과학기술연구소)

\*\*\* 전북대학교 농공학과 (농업과학기술연구소)

## II. 재료 및 방법

### 1. 시험포장 및 측정시설

본 실험에 사용된 시험포장은 전라북도 진안군 마령면 평지리에 위치하고 있으며, 장변 100m와 단변 50m로서 면적은 5,000m<sup>2</sup>이다. 본 시험포장의 토양은 지산 미사질 양토이었다. 시험포장에 설치된 시설로는 강우량 측정을 위한 우량계 1조, 관개수 유입량 측정을 위한 유량계 1조, 논에서 유출수량 측정을 위한 자기수위계 및 웨어 시설 1조, 논 토양에서 지하로 이동하는 영양물질의 양을 측정하기 위한 토양용액 채취기 4조를 각각 설치하였다.

### 2. 시험포장의 운영

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

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

1997년 5월 1일부터 1998년 4월 30일까지 12개월간 1,510.2mm의 강우량이 기록되었으며, 최대 일우량은 8월 4일의 133.5mm/일이었고, 최대 시우량은 7월 15일 20:00~21:00의 26.1mm/hr 이었다. 시험포장의 관수로 유입구에 설치된 유량계를 이용하여 관개수 유입량을 측정하였으며, 매 관개시마다 bucketing을 통하여 유량을 보정하였다. 유출수량 측정을 위한 웨어는 시기별로 일정한 담수 심을 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. 강우, 관개수, 유출수 및 침투수를 포함한 수질시료의 분석은 수질공정시험법(환경처, 1993)에 기준하였다. 전질소와 암모니아태질소는 수질시료 500mL를 취하여 각각 환원중류-킬달법과 중화적정법으로 분석하였다. 총인산은 수질시료 500mL를 취하여 50mL로 농축한 다음 ascorbic acid reduction법에 기준하여 분석하였다. 음이온은 이온크로마토그래피(Sykam 4260, Germany)를 이용하여 분석하였다.

## III. 결과 및 고찰

### 1. 논에서의 강우 유출시 T-N, T-P의 시간별 농도변화

Fig. 1과 Fig. 2는 각 강우사상의 유출수중의 T-N 과 T-P의 농도 변화를 보여주고 있다. 유출 과정에서 농도의 변화가 있음을 알 수 있다. 하지만 유출 과정중 농도변화에 대한 일반적인 경향을 파악할 수는 없었다.

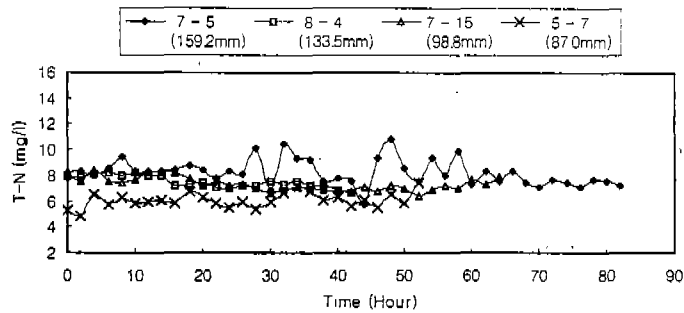


Fig. 1. Total Nitrogen concentration changes in runoff process

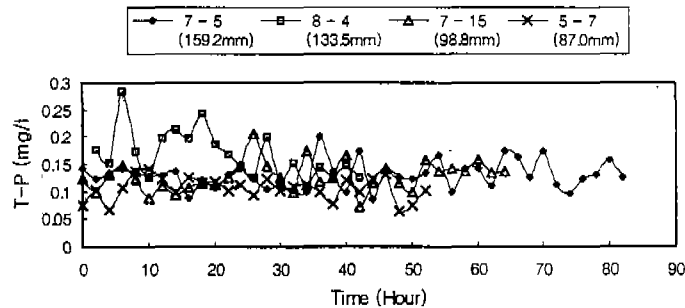


Fig. 2. Total Phosphorous concentration changes in runoff process

## 2. 강우 유출수 내 T-N, T-P 평균 농도

2시간간격으로 연속 측정된 T-N과 T-P 농도 자료를 이용하여 각 강우 유출 사상의 평균농도를 산정하였다 (Table 1). 97년 5월부터 98년 4월 중에 발생한 강우중에서 조사된 총 9개의 강우 유출의 경우를 살펴 보았으며, 강우 유출수내 T-N 과 T-P 농도의 산출 평균과 유출량을 고려한 가중평균을 산정하여 비교하였다. 일반적으로 강우량이 큰 경우의 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 평균농도는 13-15mg/L로 가장 높은 값을 보여주었는데, 이는 6월 13일에 이루어진 시비의 영향이 큰 것으로 판단된다. 논에서의 강우 유출시 T-N 농도는 강우량의 크기보다는 시비에 따른 영향이 더 큰 것으로 나타났다.

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

가중평균 농도를 살펴보면 T-N의 경우 97년 5월 7일 6.14 mg/L에서 6월 25일 13.9 mg/L로 증가한 농도를 보여주고 있다. 이는 6월 13일에 시비한 분얼비 영향인 것으로 판단된다. 이후 유출수 내 T-N의 평균 농도는 계속 감소하는 추세를 보이고 있다. 8월 4일 농도가 7월 15일 보다 높은 것은 7월 28일 수비 영향으로 사료되며 이후 비영농기에도 유출수에 대하여 6.1~3.9 mg/L 농도를

보여 주었다.

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

Table 1. Comparison of initial and flow rate weighted mean concentration of T-N and T-P in each runoff.

Date	Rainfall (mm)	No. of Samples	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	21	5.31	6.14	13.5	0.075	0.110	31.8
97-06-25	52.0	11	14.07	13.9	1.2	0.194	0.201	3.5
97-07-05	159.2	42	8.20	8.37	2.0	0.142	0.129	10.1
97-07-15	98.8	25	8.10	7.13	13.6	0.124	0.134	7.5
97-08-04	133.5	21	7.85	7.66	2.5	0.178	0.182	2.2
97-11-12	43.0	14	5.63	5.92	4.9	0.152	0.138	10.1
97-12-06	31.9	9	4.59	5.92	22.5	0.136	0.135	0.7
98-03-19	34.5	15	4.57	4.39	4.1	0.123	0.124	0.8
98-04-12	57.3	17	4.18	4.11	1.8	0.095	0.106	10.4

### 3. 유출직전 담수농도와 유출수 평균농도 비교

조사된 강우 유출 사상에 대해 유출 직전 담수농도와 강우 유출수 평균 농도를 비교하였다 (Table 1). Fig. 3은 각각 질소와 인의 담수농도인 초기농도와 유출 평균 농도와의 관계를 보여주는 것으로, 둘 사이에 높은 상관 관계가 있음을 보여주고 있다.



Figure 3. Relationship between initial concentration and flow rate weighted mean concentration of T-P in runoff from a paddy field.

### 3. 담수농도와 유출수 평균농도 사용시 T-N 및 T-P 유출 부하량 비교

조사된 강우 유출 사상에 대해 유출 직전 담수농도와 강우 유출수 평균 농도를 이용 유출 부하량을 산정 비교하였다 (Table 2). 강우시 수질 샘플링을 하지 못하였을 때 강우직전 담수농도를 이용 오염부하량을 산정하였을 경우 오차를 살펴본 결과 강우 유출 직전 농도와 유출과정 내의 평균 농도의 사용시 상대 오차는 대부분 10% 내외였다. 조사기간 중 측정된 9개의 강우사상에 대한 유출 부하량은 합을 살펴보면 T-N, T-P 모두 두 개의 농도에 대해 비슷한 값을 보여 주었다. 눈에서의 강우시 유출량이 정확히 측정된다면 시기별 담수농도 자료를 가지고 조사된 오차 범위 내에서 오염부하량을 산정할 수 있는 것으로 사료된다.

Table 2. T-N and T-P runoff load computed by using initial concentration and flow rate weighted mean concentration of each runoff.

Date	Rainfall (mm)	Runoff (mm)	T-N (kg/ha)			T-P (kg/ha)		
			Using Initial Conc.	Using Weighted Mean Conc.	Relative Error (%)	Using Initial Conc.	Using Weighted Mean Conc.	Relative Error (%)
97-05-07	87.0	50.2	2.67	3.08	13.5	0.038	0.055	31.8
97-06-25	52.0	21.4	3.01	2.97	1.2	0.042	0.043	3.5
97-07-05	159.2	138.8	11.38	11.62	2.0	0.197	0.179	10.1
97-07-15	98.8	69.0	5.59	4.92	13.6	0.086	0.092	7.5
97-08-04	133.5	185.8	14.59	14.23	2.5	0.331	0.338	2.2
97-11-12	43.0	15.0	0.84	0.89	4.9	0.023	0.021	10.1
97-12-06	31.9	21.2	0.97	1.26	22.5	0.029	0.029	0.7
98-03-19	34.5	22.0	1.01	0.97	4.1	0.027	0.027	0.8
98-04-12	57.3	44.0	1.84	1.81	1.7	0.042	0.047	10.4
sum			41.89	41.74	0.4	0.813	0.831	2.2

## IV. 요약 및 결론

본 연구에서는 필지논에서 강우사상에 의한 유출수를 2시간 간격으로 채수하여 유출 과정중 전 질소(T-N) 와 전인(T-P)의 농도 변화를 살펴보고, 유출직전의 초기농도와 유출과정중의 평균농도를 비교하였으며, 그 결과는 다음과 같이 요약될 수 있다.

1. 유출과정 중 T-N 과 T-P 농도는 시간별로 증감 변동하였으며 뚜렷한 경향을 보이지 않았다.
2. 눈에서 T-N의 강우 유출수 내의 농도는 강우량 크기보다는 시비량 및 시비시기와 강우 유출의 발생시기에 큰 영향을 받는 것으로 나타났다. 각 강우사상의 유출과정의 평균 농도를 살펴보면 영농기에는 13.8 mg/L에서 7.13 mg/L까지 측정되었으며, 비영농기에는 6.17mg/L에서 3.93 mg/L까지 관측되었다. T-N의 경우 연중 시비후 시간이 경과함에 따라 유출수내 농도가 감소하는 경향이 뚜렷하였다.

3. 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.

4. 조사된 강우 유출 사상에 대하여 유출이 시작되기전의 담수농도와 강우 유출수의 평균 농도를 비교하였으며, 강우시 수질 샘플링에 대한 자료가 부족하여 담수농도를 이용하여 오염부하량을 산정한 경우에 대한 추정오차를 살펴보았다. 강우 유출 직전 농도와 유출과정 전체의 평균 농도의 상대 오차는 대부분 10% 내외였다. 논에서의 강우시 유출량이 측정된다면 시기별 담수농도 자료를 가지고 조사된 오차 내에서 오염부하량을 산정할 수 있는 것으로 사료된다.

### 참고문헌

1. 강문성, 박승우, 윤광식. 1998. 채수빈도를 고려한 소하천의 수질오염부하량 특성연구, 한국농공학회 학술발표회 발표논문집. pp.552-557.
2. 김광식, 김용용. 1983. 논 토양성분의 용탈에 관한연구. 한국토양비료학회지 16(4): 311-317.
3. 김복영, 조재규. 1995. 벼 재배에서 방류수에 의한 영양염류의 유실. 한국관개배수지 2(2): 150-156.
4. 김진수, 오승영, 김규성. 1999. 광역논에서의 질소·인의 농도와 오염부하량 특성. 한국농공학회지 41(4):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 인산흡착 특성에 미치는 영향. 한국토양비료학회지 24(2):109-115.
7. 김현영, 활철상, 강석만, 이광야. 1998. 논유출 특성을 고려한 홍수분석 시스템 개발. 한국농공학회 학술발표회 발표논문집. pp34-40.
8. 박승우, 윤광식, 진영민, 이변우, 1997. 논외 물질순환 모니터링, 서울대농학연구지 22(1):19-27.
9. 신동석, 권순국. 1990. 논에서의 질소 및 인의 농도와 유출입. 한국환경농학회지. 9(2):133-141.
10. 임상준, 박승우. 1997. 논외 유출곡선번호 추정. 한국수자원학회논문집. pp379-387.
11. 홍성구, 권순국. 1989. 농경지로부터의 오염물질 유출부하특성. 한국농공학회지 31(3):92-102.
12. 홍성구. 1997. 하천수질조사에 있어서 시료채취빈도와 오염부하량. 안성산업대학교 논문집 29(1):103-108.
13. 환경처. 1993. 수질오염공정시험법.
14. Novotny, V., and O. Harvey. 1994. Water Quality. New York, N.Y.: Van Nostrand Reinhold.
15. Shih, G., W. Abtew, and J. Obeysekera. 1994. Accuracy of nutrient runoff load calculations using time-composite sampling. Transactions of the ASAE 37(2):419-429.
16. 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):631-636.