

# 논에서의 일주기 수질 조사로부터 유도된 오염물질의 강우 -유출 사상별 유량가중평균농도와 유출량- 유하부하량 관계

## Flow Weighted Mean Concentration and Runoff -Mass Load Relationship of Pollutants Derived from Intensively Sampled Water Quality Data of a Paddy Field

윤 광 식\* · 최 진 용\*\* · 한 국 현\*\*\* · 조 재 영\*\*\*\*  
Yoon, Kwang Sik · Choi, Jin-Yong · Han, Kuk Heon · Cho, Jae Young

### Abstract

Water quality samples were taken for every two hours whenever runoff occurred by rainfall to investigate concentration variations of T-N, T-P and SS during runoff process from a paddy field. The difference between the highest concentration in a runoff event and flow weighted mean concentration for T-N, T-P, SS placed between 3.07~40.16%, 11.44~60.80%, and 15.11~64.5%, respectively. The difference between the lowest concentration in event and event mean concentration for T-N, T-P, SS ranged between -7.24~-31.84%, -11.59~-47.86%, and -8.21~-36.20%, respectively. The relationship between runoff and mass load was derived for each storm event using observed data. The relationship between runoff and mass load showed linear relationship regardless of water quality constituents and rainfall amount. The results suggested that relationship between T-N and T-P loads and runoff should be prepared separately in considering of fertilization effect and seasonal conditions. The relationship between SS and runoff should be made to reflect seasonal conditions and tillage effect.

*Keywords : Pollutant load, Paddy field, T-N, T-P, SS, Runoff, Mass load*

### I. 서 론

비점원오염원인 농지로부터 배출되는 질소(N)와 인(P)의 경우 점원오염원에 비해 저농도이지만 유출량이 막대하여 유역의 오염부하량에 있어 큰 비중을 차지하고 있으며 하천의 수질 저하나 호수의 부영양화에 큰 영향을 미치고 있다. 이에 따라 최

\* 전남대학교 농대(농업과학기술연구소)  
\*\* Purdue University, Agricultural and Biological  
Engr. Dept.  
\*\*\* 전남대학교 대학원  
\*\*\*\* 전북대학교 농대(농업과학기술연구소)  
\* Corresponding author. Tel.: +82-62-530-2158  
fax: +82-62-530-2159  
E-mail address: ksyoon@chonnam.chonnam.ac.kr

근 농경지 특히 논에서의 모니터링을 통한 오염부하 계측 및 정량화 노력이 국내에서 이루어지고 있다(Shin and Kwun, 1990; Kim and Cho, 1995; Kim et al., 1999; Oh et al., 2002; Cho et al. 2002).<sup>9),4),3),7),1)</sup>

농경지로부터의 오염부하량은 유량과 이에 상응하는 오염물질 농도를 곱하여 산정된다. 보통 유출 유량과 오염물질 농도는 유출과정중 시간에 따라 다르게 나타난다. 유량은 수위-유량 관계식을 유도하면 자기수위계를 이용하여 연속적으로 측정할 수 있지만, 현재까지는 최근의 센서 기술의 발달에도 불구하고 유출수나 하천 내의 오염물질 농도를 연속 측정하기는 어려운 실정이다(Novotny and Harvey, 1994).<sup>6)</sup> 오염부하량 산정의 정확성을 기하기 위해서는 많은 채수가 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 오염부하량을 추정하는 것이 일반적으로 시행되고 있는 방법이다. 한정된 수질 자료를 이용 오염부하량 산정시 집중적으로 샘플 채취한 경우에 비해 어느 정도 오차를 가지는지 파악하는 것이 현장계측을 하는 연구자에게는 큰 관심거리이다.

외국의 경우 시료채취 빈도가 부하량 산정에 미치는 영향을 파악하기 위한 연구들이 수행되었다. Shih et al. (1994)<sup>8)</sup>은 단일 폭우 사상의 유출 부하량 산정에 정확성을 기하기 위해서는 최소 8개의 농도자료가 필요하다고 하였으며, Smith and Stewart (1977)<sup>10)</sup>은 연속 측정된 유량자료와 일정간격으로 조사된 수질 자료로부터 오염부하량 산정을 위한 수질 농도 보간법의 8가지 통계학적 방법을 비교한 바 있다. 단위시간에 흘러가는 물질량을 나타내는 유하부하량과 유량과의 관계를 규명하여 오염부하량을 추정하는 방법이 또 하나의 오염 부하량 산정 방법인데, Yuan and Mitchell

(1999)<sup>11)</sup>은 부하량 산정에 있어서 유량과 유하부하량 관계식(L-Q식)을 이용하는 것이 기존의 보간법에 의해 추정하는 것 보다 합리적이라고 발표하였다. 국내에서는 Kang et al.(1998)<sup>2)</sup>이 채수빈도를 고려한 소하천의 수질오염부하량 산정을 연구한 바 있으며, Hong(1997)<sup>5)</sup>이 미국의 자료를 이용하여 하천수질조사에 있어서 시료채취 빈도와 오염부하량 추정치 차이에 관해 일정간격 채취와 연속 채취를 비교해 보면 부유물질은 10배 이상의 차이, TKN의 경우 1.8배 차이가 나며 T-P의 경우는 큰 차이가 없었다고 발표한 바 있다.

국내에서 실시된 논에서의 영양염류인 질소와 인에 대한 모니터링 연구는 여러 연구자에 의해 이루어 졌지만 대부분의 연구가 강우시 수개의 수질자료를 선형적으로 보간하여 오염부하량을 산정한 경우가 대부분이며, 강우 유출시 수질이 유출 과정중 시간적으로 어떻게 변하는지 살펴본 연구는 매우 적은 실정이다. 국내에서는 Kim et al. (1999)<sup>4)</sup>이 충북지방 광역논의 배수로 말단에서 2~6시간 간격으로 채수하여 유출량과 T-N, T-P, COD 농도 변화를 살펴본 바 있다. 국내에서는 Oh et al. (2002)<sup>7)</sup>이 논에서의 오염부하 산정에 있어서 시기별로 시비에 큰 영향을 받는 3개의 L-Q 식, 시비에 영향을 덜 받는 시기의 L-Q 식등 총 4개의 유출량-유하부하량 (L-Q)식을 이용한 바 있다.

본 연구에서는 강우시 논에 유출수로부터 집중적으로 수질 샘플링 자료를 취득한 경우와 그렇지 않은 경우 오염부하량 산정의 차이를 분석하기 위하여, 필지논에서 유출수를 2시간 간격으로 연속 채수하여 일주기 수질측정자료를 수집하였으며, 이 자료를 이용하여 유출 과정중 T-N, T-P, SS의 농도 변화를 살펴보았다. 또한 이를 유량가중평균 농도와 비교하여 하나의 강우사상에서 일회 샘플링에 의하여 오염부하량을 산정하였을 경우의 오차를 추정하였으며, 각 강우사상별 일주기 측정자료로부터 L-Q식을 유도하여 그 차이를 고찰하였다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 시험포장 및 측정시설

본 실험에 사용된 시험포장은 1995년 5월에 경지정리가 완료된 곳으로 전라북도 진안군 마령면 평지리에 위치하고 있으며, 축산폐수, 가정하수 및 산업폐수로부터 영향을 받지 않은 전형적인 수도작 농업지대이다. 시험포장 구획은 장변 100 m와 단변 50 m로서 면적은 5,000 m<sup>2</sup>이다. 본 시험포장의 토양은 지산 미사질 양토(Jisan Silt loam, SIL; fine loamy, mixed mesic family of Fluventic Haplaguepts)로서 논 토양의 이화학적 특성은 Table 1과 같다.

시험포장에 설치된 시설로는 강우량 측정을 위한 우량계 1조, 관개수 유입량 측정을 위한 유량계 1조, 논에서 유출량 측정을 위한 자기수위계 및 웨어 시설 1조를 각각 설치하였다. 보다 정확한 현장의 강우량을 측정하기 위하여 시험포장에 인접한 용수로 옆에 우량계를 설치하였다. 우량계는 아나로그식 자기우량계로서, 1997년 5월 1일부터 1998년 4월 30일까지 운영하였다.

웨어(weir)는 1개 필지논에서의 유출량을 측정

하기 위한 것으로 시험포장의 하류지점에 설치하였다. 웨어는 완전 월류의 조건을 만족시키고, 배수에 지장을 주지 않도록 폭 30 cm의 사각형 웨어로 제작하였으며, 완전한 배수가 이루어질 수 있도록 평균 논바닥 보다 약간 낮게 설치하였다. 이 웨어에는 직경 40 cm의 stilling well을 부착하여 내부에 자기수위계를 설치하였으며, 1997년 5월 1일부터 1998년 4월 30일까지 수위를 측정하였다.

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

### 2. 시험포장의 운영

시험포장은 1997년 5월 13일에 논갈이를 하고 담수를 시킨 후, 5월 26일에 재식거리 15×30 cm, 1주당 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 시험포장은 경지정리(1994년 11월~1995년 5월)가 완료된 곳으로 경지정리가 끝난 후 2년 동안 표준시비량(N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O = 110:80:70 kg/ha)의 2~3배에 해당하는 과잉의 질소비료가 시비되었으며, 인의 경우는 절반 수준으로 시비되었다. 1995년도에는 300 kg N/ha, 42 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha 에 해당하는 화학비료가 사용되었으며, 1996년도에는 260 kg N/ha, 38 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha 에 해당하는 화학비료를 사용된 것으로 조사되었다. 본 연구기간의 시비량은 1997년 5월 22일에 모내기 기비(基肥)로 107.2 kg N/ha, 27.2 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha를 전층시비

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		

(全層施肥)하였으며, 6월 13일에 분얼비(分蘖肥)로 73.6 kg N/ha을, 7월 28일에 수비(穗肥)로 36.8 kg N/ha 수준으로 시비하였다.

### 3. 시료채취 및 분석방법

유출수는 강우시 유출이 발생할 때마다 2시간 간격으로 시험포장의 웨어 유출구에서 폴리에틸렌 용기(2L)에 채수하여 4℃ 이하의 온도에서 보관하여 분석시료로 사용하였다. 부유물질(suspended solids)은 시료 1000 mL를 취하여 유리섬유 여지법으로, pH와 EC는 현장에서 기기(Orion Model 840)를 이용하여 직접 측정하였으며 T-N은 수질시료 500 mL를 취하여 각각 환원중류-킬달법과 중화 적정법으로 분석하였다. T-P는 수질시료 500 mL를 취하여 50 mL로 농축한 다음 ascorbic acid reduction법에 기준하여 분석하였다.

## III. 결과 및 고찰

### 1. 강우-유출사상별 유량가중평균농도와 최대 및 최소 농도 비교

Table 2 ~ Table 4는 조사된 강우-유출 사상별

강우량 및 T-N, T-P, SS 농도의 최대, 최소치와 유량가중평균농도를 보여주고 있다. 한편, 조사 기간 중 관개수의 유입수는 없었다. 각 강우사상의 수질 자료를 살펴보면 1997년 12월 6일 최소인 9개였고 최대 1997년 7월 5일~7월 6일 유출사상의 42개이었다. 각 강우사상 유출수의 유량가중평균농도를 살펴보면 T-N의 경우 1997년 5월 7일~5월 9일 유출사상의 5.426 mg/L 이었다가 5월 22일 기비와 6월 13일 분얼비 영향으로 6월 25일 11.58 mg/L의 최고치를 보였고, 이후 농도가 감소하다가 7월 28일 수비의 영향으로 8월 4일~8월 5일 유출사상 때 농도가 잠시 증가하였고 이후 점차 감소하였으며, 이듬해 비영농기인 1998년 4월 12일~4월 13일의 경우 3.645 mg/L를 보였다.

T-P의 경우 유량가중평균농도를 살펴보면 6월 25일 0.2 mg/L의 최대치를 보였고, 8월 4일~8월 5일 유출 사상을 제외하고는 0.106~0.140 mg/L의 범위를 보였다. 이는 인산비료가 년중 1회 시비 되어 시비영향이 질소에 비해 작고 가용성이 작아 년중 농도 변화는 크지 않는 것으로 사료된다.

토사 유실을 나타내는 SS의 경우를 살펴보면 영농기간에는 122.45~165.82 mg/L의 변화를 보였

Table 2 Comparison of maximum, minimum and flow-weighted mean concentrations of T-N in each runoff

Date	Rainfall (mm)	No. of samples	T-N (mg/L)				
			Weighted mean	Max. conc.	Difference (%)	Min. conc.	Difference (%)
97.05.07~97.05.09	87.0	21	5.426	6.820	25.69	4.250	-21.67
97.06.25	52.0	11	11.580	12.260	5.87	10.300	-11.05
97.07.05~97.07.06	159.2	42	6.664	9.340	40.16	4.570	-31.42
97.07.15~97.07.17	98.8	25	5.735	7.150	24.67	5.320	-7.24
97.08.04~97.08.05	133.5	21	6.851	7.440	8.60	6.000	-12.42
97.11.12	43.0	14	5.147	6.420	24.73	4.740	-7.91
97.12.06	31.9	9	5.326	6.020	13.03	3.630	-31.84
98.03.19	34.5	15	3.842	3.960	3.07	3.250	-15.41
98.04.12~98.04.13	57.3	17	3.645	3.930	7.82	3.060	-16.05
Average			6.024	7.038	17.07	5.013	-17.22

Table 3 Comparison of maximum, minimum and flow-weighted mean concentrations of T-P in each runoff

Date	Rainfall (mm)	No. of samples	T-P (mg/L)				
			Weighted mean	Max. conc.	Difference (%)	Min. conc.	Difference (%)
97.05.07~97.05.09	87.0	21	0.110	0.142	29.09	0.063	-42.73
97.06.25	52.0	11	0.201	0.224	11.44	0.172	-14.43
97.07.05~97.07.06	159.2	42	0.125	0.201	60.80	0.085	-32.00
97.07.15~97.07.17	98.8	25	0.140	0.205	46.43	0.073	-47.86
97.08.04~97.08.05	133.5	21	0.182	0.283	55.49	0.110	-39.56
97.11.12	43.0	14	0.138	0.172	24.64	0.122	-11.59
97.12.06	31.9	9	0.135	0.172	27.41	0.102	-24.44
98.03.19	34.5	15	0.124	0.151	21.77	0.069	-44.35
98.04.12~98.04.13	57.3	17	0.106	0.132	24.53	0.058	-45.28
Average			0.140	0.187	33.51	0.095	-33.58

Table 4 Comparison of maximum, minimum and flow-weighted mean concentrations of SS in each runoff

Date	Rainfall (mm)	No. of samples	SS(mg/L)				
			Weighted mean	Max. conc.	Difference (%)	Min. conc.	Difference (%)
97.05.07~97.05.09	87.0	21	111.62	150.4	34.74	79.0	-29.22
97.06.25	52.0	11	126.05	145.1	15.11	115.7	-8.21
97.07.05~97.07.06	159.2	42	122.45	158.7	29.60	100.2	-18.17
97.07.15~97.07.17	98.8	25	165.82	215.0	29.66	105.8	-36.20
97.08.04~97.08.05	133.5	21	132.09	175.0	32.49	110.5	-16.34
97.11.12	43.0	14	82.27	92.4	12.31	63.4	-22.94
97.12.06	31.9	9	98.12	115.4	17.61	72.1	-26.52
98.03.19	34.5	15	85.25	123.6	44.99	69.7	-18.24
98.04.12~98.04.13	57.3	17	502.12	826.0	64.50	387.0	-22.93
Average			158.42	222.4	31.22	122.6	-22.09

고 비영농기간에는 82.87~111.62 mg/L의 농도를 보여 영농기보다 약간 작은 농도를 보였다. 이는 수확 후 살포된 볏짚 영향과 표면이 고결되는 데 기인하는 것으로 보인다. 하지만 1998년 3월 20일의 논갈이의 영향으로 1998년 4월 12일~4월 13일의 SS 유량가중평균농도는 502.12 mg/L로 급증하는 것이 관측되었다.

각 강우사상의 농도 최대치와 유량가중평균농도의 차이는 T-N의 경우 3.07~40.16% 범위를 보였고 평균 17.07%였으며, T-P는 11.44~

60.80% 평균 33.5%, SS의 경우는 15.11~64.50% 평균 31.22%를 보였다. 각 강우사상의 농도최소치와 유량가중평균농도의 차이는 T-N의 경우 -7.24~-31.84%의 범위차이를 보였고 평균 -13.2%, T-P는 -11.59~-47.86% 평균 -33.6%, SS의 경우 -8.21~-36.20% 평균 -22.08%로 나타났다.

조사된 결과를 살펴보면 만일 모든 강우-유출사상에 대해 단 1회라도 수질 자료가 측정된다면 오염부하량 산정 결과는 충분한 수질자료를 이용한

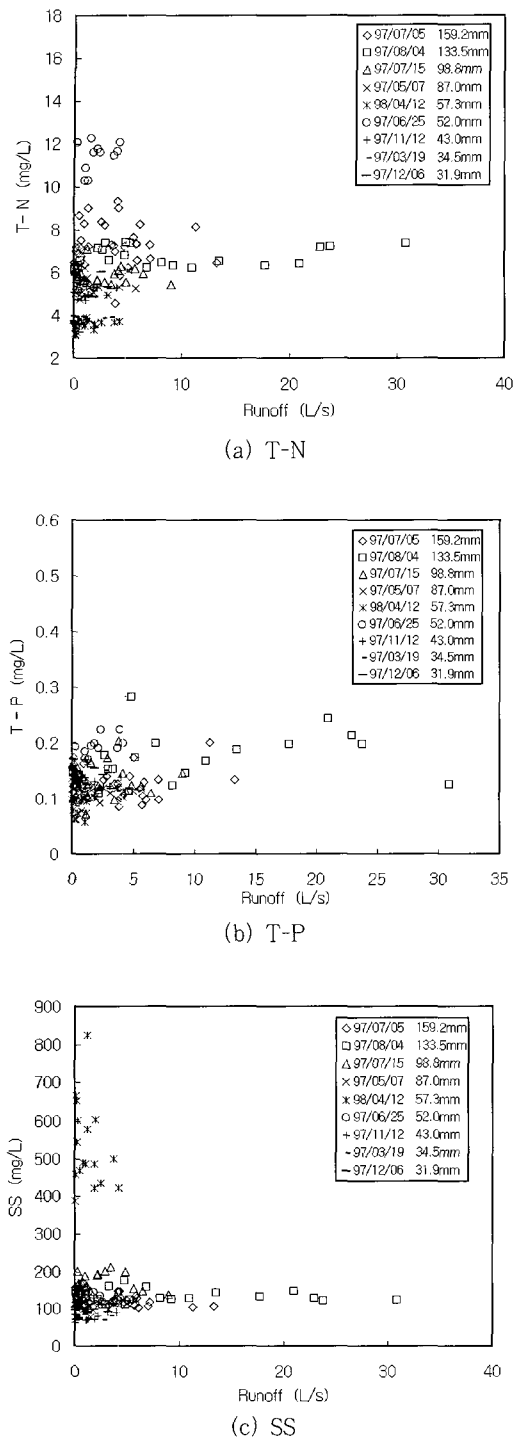


Fig. 1 Relationship between runoff and concentrations of T-N, T-P, and SS

경우에 비해 T-N 은 -31.84~40.16%, T-P는 -47.86~60.8%, SS는 -36.2~64.5% 내외의 차이를 가질 수 있으며, 유출-사상내 수질 자료 수가 늘어나면 조사된 범위보다 차이가 줄 수 있음을 나타내고 있다.

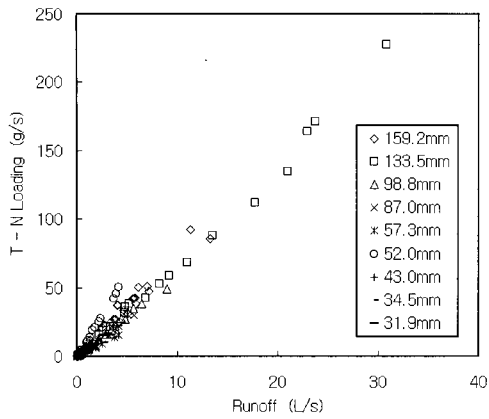
## 2. 논에서의 강우 유출시 T-N, T-P, SS의 유출량과 농도와의 관계

Fig. 1은 유출량과 농도와의 상관성을 살펴보기 위해 도시한 그림이다. 일반적으로 유출량이 많아지면 농도가 떨어지는 것으로 예상하나 조사결과 T-N의 경우 유출량 증가에 대한 농도 변화 폭이 크지 않은 것으로 관측되었다. 이것은 희석과 토양내 질소 용출이 동시에 일어나기 때문으로 판단된다. 그러나 시비후 강우에 대해서는 유출량에 따라 다소 큰 변동폭을 보이는 것도 관측되었다.

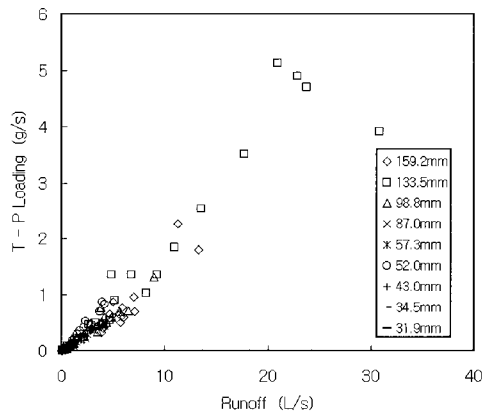
T-P의 경우 T-N보다는 상대적으로 유출량에 따른 농도 변화가 작게 관측되었지만 역시 선형에 가까운 관계를 보였다. 이 또한 유출량 증가에 의한 희석과 토양내 인 용출이 동시 또는 반복적으로 일어나기 때문으로 판단된다. SS의 경우 대부분 유출량 크기에 관계없이 농도가 큰 차이가 없는 편이었다. 그러나, 1998년 3월 20일 경운 후 4월 12일~4월 13일 유출에서는 유출량에 따라 농도변화가 큰 것으로 관측되었다. 이는 경운에 논표면이 교란되어 있으며 담수 상태가 아니기 때문에 유출량이 작더라도 유출 초기에 고농도를 보이는 것으로 판단된다.

## 3. 유출량과 유하부하량과의 관계

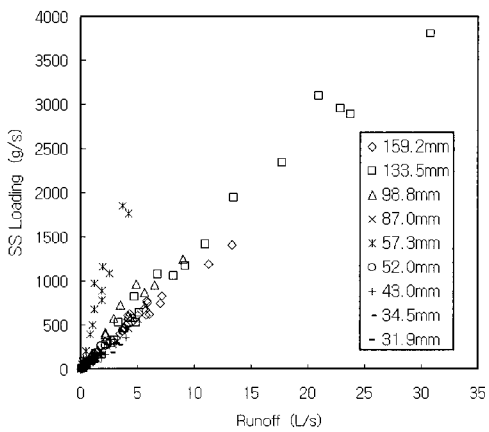
수위-유량 관계를 설정하면 수위 측정자료로부터 시간별 유출량을 산정할 수 있고 이것을 시간에 대해 적분하여 유출체적을 구할 수 있는 것처럼, 유출량과 유하부하량 관계를 얻을 수 있으면 유출량 자료로부터 유하부하량(mass load, g/s)을 산



(a) T-N



(b) T-P



(c) SS

Fig. 2 Relationship between runoff and mass load

정할 수 있으며 이를 시간으로 적분하여 부하량을 추정할 수 있다(Oh et al., 2002).<sup>7)</sup>

강우별 논에서 2시간 간격으로 측정된 수질자료와 유출량으로부터 유도된 유출량-유하부하량의 관계식(L-Q식)은 Fig. 2와 Table 5에 나타낸 바와 같다. 전체적으로 강우별 T-N, T-P, SS 모두 유출량과 유하부하량은 높은 상관관계를 보이고 있다. 따라서, L-Q 지수식은 논에서 유출량으로부터 부하량을 추정하는데 매우 유용하리라고 생각된다.

유출량-유하부하량 관계식을 살펴보면, T-N의 경우 강우-유출 사상별 지수 b값은 0.972~1.09로 큰 차이가 없으며, 유출량이 증가하면 유하부하량도 거의 선형적으로 증가함을 나타내었다. 한편 L-Q식의 기울기를 나타내는 상수 a 값은 전체 기간동안 3.57~11.37의 큰 변화를 보이고 있다. 1997년 6월 25일 자료의 경우 최고 11.37이었으며 이후 영농기 값은 5.83~7.058이었고 1997년과 1998년 비영농기 사이 값은 5.17~3.576이었다. T-N의 유하부하량 크기에 영향을 미치는 상수 a값은 시비기의 영향이 크므로 유출량-유하부하량 관계식을 이용해 부하량을 산정할 경우 시비에 영향을 크게 받는 시기와 그렇지 않은 시기의 시기별 관계식을 별도로 구하여 산정할 필요가 있을 것으로 사료된다.

T-P의 경우도 L-Q 식은 직선형에 가까운 모습을 보이고 있다. 전체기간 계수 a의 값이 0.096 ~ 0.191의 범위를 보였다. 1997년 6월 25일 자료의 경우 최고 0.191이었으며 이후 1998년 3월 19일까지 0.121~0.148로서 큰 차이를 보이지 않았다. T-P의 경우는 시비시를 제외하면 시기별 L-Q식을 유도하지 않아도 부하량 산정시 차이가 크지 않을 수 있음을 나타내고 있다.

대구회 광역논에서 Oh et al.(2002)<sup>7)</sup> 유도한 강우기 L-Q 식은 계수 b가 T-N은 0.8~0.99 범위를 T-P는 0.94~1.38를 보여주고 있어 본 연구결과보다는 유출량에 따른 유하부하량 관계가 덜 선형적임을 보이고 있다.

Table 5 Coefficients of the runoff-mass load equation  $l = a \cdot q^b$   
 [Unit :  $l(g/s), q(L/s)$ ]

Date		97-5-7	97-6-25	97-7-5	97-7-15	97-8-4	97-11-12	97-12-6	98-3-19	98-4-12
Rainfall(mm)		87.0	52.0	159.2	98.8	133.5	43.0	31.9	34.5	57.3
No. of samples		21	11	42	25	21	14	9	15	17
T-N	a	5.361	11.371	7.058	5.830	6.619	5.170	4.983	3.780	3.576
	b	1.012	1.011	1.024	0.999	1.012	0.972	1.086	1.005	1.023
	r <sup>2</sup>	0.9985	0.995	0.994	0.997	0.998	0.999	0.999	0.999	0.999
T-P	a	0.105	0.191	0.127	0.130	0.148	0.142	0.134	0.121	0.096
	b	1.023	1.045	0.985	0.997	1.066	0.980	0.964	1.045	1.032
	r <sup>2</sup>	0.984	0.992	0.988	0.967	0.979	0.998	0.994	0.989	0.981
SS	a	112.83	129.66	123.79	162.74	136.18	78.41	94.64	89.54	519.7
	b	0.951	0.979	0.980	0.989	0.987	1.030	0.996	0.949	0.995
	r <sup>2</sup>	0.991	0.990	0.995	0.979	0.993	0.998	0.995	0.993	0.985

SS의 경우 a값이 1997년 영농기는 123.79~162.74의 범위를 비영농기는 78.41~94.64의 값을 보이고 있다. 하지만 1998년 4월 12일에 519.7의 값을 보여 다른 기간과 차별된 값을 보이고 있다. 이는 경운의 영향을 받아 토사 유실이 쉽게 일어나는 기간에는 그렇지 않은 기간과 다른 유출량-유하부하량 관계식을 이용하는 것이 타당함을 나타낸다.

#### IV. 요약 및 결론

본 연구에서는 필지논에서 오염부하량 추정시 오차를 추정하기 위해 강우사상에 의한 유출수를 2시간 간격으로 채수하여 유출 과정 중 T-N, T-P, SS의 농도 변화를 살펴보고, 이를 유출과정 중의 평균농도와 비교하였으며, L-Q식을 사용 오염부하량 추정시 문제점을 고찰하였다. 그 결과는 다음과 같이 요약될 수 있다.

1. 각 강우사상의 유출시 T-N의 유량기중평균농도는 영농기에는 5.735~11.580 mg/L이며, 비영농기에는 3.645~5.426 mg/L로 나타났다. 논에서 T-N의 강우사상별 유출수 내의 농도는 강우량 크기보다는 시비량 및 시비시기와 강우 유출의 발

생시기에 큰 영향을 받는 것으로 나타났다. T-N의 경우 연중 시비후 시간이 경과함에 따라 유량기중평균농도가 감소하는 경향이 뚜렷하였다.

2. T-P의 경우 강우 유출수의 유량기중평균농도의 최고치는 시비영향을 받은 유출 사상에서 0.2 mg/L이었으며, 일반적으로 강우 유출수 내 유량기중평균농도는 일반적으로 0.11~0.14 mg/L로 연중 변화가 크지 않은 것으로 관측되었다.

3. SS의 경우 일반적으로 강우 유출수 내 유량기중평균농도는 영농기에는 122.45~165.82 mg/L이었으며, 비영농기인 겨울동안 82.27~111.62 mg/L로 나타났다. 그러나 1998년 봄 논갈이의 영향을 받아 502.12 mg/L 값이 관측되었다.

4. 조사된 결과는 만일 모든 강우-유출 사상에 대해 단 1회라도 수질 자료가 측정된다면 오염부하량 산정 결과는 충분한 수질자료를 이용한 경우에 비해 T-N은 -31.84~40.16%, T-P는 -47.86~60.8%, SS는 -36.2~64.5% 내외의 오차를 가질 수 있음을 보였다.

5. 강우-유출 일주기 조사로부터 유출량-유하부하량 관계식을 얻어 오염부하량을 추정하기 위해서는 T-N은 여러 시기로, T-P는 시비에 영향을 받는 시기와 나머지 시기를 구분하여 관계식을 도출



하여야 하며, SS의 경우는 영농기 및 비영농기 그리고 경운의 영향이 있는 시기로 나누어 관계식을 도출할 필요가 있는 것으로 판단된다.

이 논문은 1999년도 학술진흥재단의 연구비에 의해 지원되었음  
(KRF-99-042-G00002 G1105)

### References

1. Cho, J. Y., K. W. Han, J. K. Choi, Y. J. Kim, and K. S. Yoon. 2002. N and P losses from a paddy field plot in central Korea. *Soil Science Plant Nutrient*, 48(3): 301-306.
2. Kang, M. S., S. W. Park, and K. S. Yoon. 1998. Variations of estimated pollutant loading from rural streams with sampling intervals. In *Proceedings of the Annual Conference of the KSAE*: 552-557. (in Korean)
3. Kim, B. Y. and Cho, J. K. 1995. Nutrient effluence by the outflowing water from the paddy field during rice growing season. *Korean Committee Irrigation and Drainage Journal*, 2(2): 150-156. (in Korean)
4. Kim, J. S., S. Y. Oh, and K. S. Kim. 1999. Characteristics of concentration and load of nitrogen and phosphorous in paddy fields. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*, 41(4): 47-56. (in Korean)
5. Hong, S. G. 1997. Effects of sampling frequency on stream water quality assessment. In *Research Report of Ansung National University*, 29(1): 103-108. (in Korean)
6. Novotny, V. and O. Harvey. 1994. *Water Quality*. Van Nostrand Reinhold, New York.
7. Oh S. Y., J. S. Kim, K. S. Kim, S. J. Kim., C. G. Yoon. 2002. Unit loads of pollutants in a paddy fields area with large-scaled plots during irrigation seasons. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*, 44(2): 136-147. (in Korean)
8. 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.
9. Shin, D. S. and S. K. Kwun. 1990. Input/output of nitrogen and phosphorous in a paddy field. *Korean Journal of Environmental Agriculture*, 9: 133-141. (in Korean)
10. Smith, R. V. and D. A. Stewart. 1977. Statistical models of river loading of nitrogen and phosphorous in the Lough Neagh System. *Water Research*, 11(8): 631-636
11. Yuan, Y. and J. K. Mitchell. 1999. A method to evaluate pollutant loads from tile drains. *Transactions of the ASAE*, 42(5): 1313-1319.