

## 강우시 채수빈도가 논 오염부하량 산정에 미치는 영향

한국현\* · 김진호 · 이종식 · 이정택 · 조재영<sup>1)</sup> · 윤광식<sup>2)</sup>

농업과학기술원 환경생태과, <sup>1)</sup>전북대학교 농업과학기술연구소남대학교, <sup>2)</sup>전남대학교 농생대(농업과학기술연구소)  
(2005년 3월 7일 접수, 2005년 3월 22일 수리)

### Effect of Sampling Frequency During Storm Period on Estimation of Pollutant Load from Paddy Field

Kuk-Heon Han\*, Jin-Ho Kim, Jong-Sik Lee, Jeong-Taek Lee, Jae-Young Cho<sup>1)</sup> and Kwang-Sik Yoon<sup>2)</sup> (Div. of Environment & Ecology, National Institute of Agricultural Science and Technology, RDA, Suwon 441-707, Korea, <sup>1)</sup>Insti. of Agri. Sci. and Tech. Chonbuk National University, Chonju 561-756, Korea, <sup>2)</sup>College of Agricultural & Life Sciences, Chonnam National University, Gwangju 500-757, Korea)

**ABSTRACT:** In order to examine effects of sampling frequency during rainfall-runoff process from paddy field on the estimation of pollution load, EMCs of several water sampling frequencies were examined. Water quality samples were conducted by every two hours interval for each event. It was found that difference of load estimation between five times sampling and two hours consecutive sampling during rainfall-runoff showed 15.2~-15.2% for T-N, 20.0~-26.2% for T-P, 28.6~-35.7% for the SS, respectively. In the same way, the effects of number of sampling data on estimation of pollution load using runoff-mass load(L-Q) method were investigated. L-Q equation made of five times sampling data provided 10% differences in estimation of mass loads of T-N, T-P, and SS when compared to those by L-Q equation using entire two hours consecutive sampling data during runoff process.

**Key Words:** Sampling Frequency, pollution load, T-N, T-P, SS

## 서 론

우리나라의 논농사는 갖는 기능은 주식인 쌀 생산의 공급 효과 이외에도 홍수조절, 환경보전, 자연경관유지 및 사회·문화적 기능 등 여러 공익적 기능이 있지만 비료와 농약 등 화학적 투입재의 과다 사용시에는 토양과 수질오염을 유발시킬 수 있다. 최근 오염총량제 실시로 토지이용에 따른 오염부하 산정이 중요하여짐에 따라, 논에서의 오염 배출 특성 파악이 대두되고 있다.

국내에서의 논 배출부하 연구결과를 살펴보면 홍과 권(1989)은 5월 중순부터 9월 중순까지 배출되는 영양염류의 양은 T-N 12.37kg/ha, T-P 2.16kg/ha로 발표하였으며<sup>12)</sup>, 신과 권(1990)은 T-N 39.0kg/ha, T-P 9.0kg/ha 라고 보고하였다. 각 연구자마다 상이한 결과를 나타내었다. 이 등(1990)은 수도작에서 비료사용 형태 및 시비수준에 따른 토양, 작물의 영향

과 영양염류의 유출부하정도 및 그 특성을 조사한 결과 시비수준 및 시비 형태에 따른 T-N, T-P의 농경지 유출량이 상당한 차이를 보이는 것으로 보고하였다.<sup>14)</sup> 하지만, 논 배출부하 조사방법, 채수 빈도, 오염부하 산정 방법에 따른 배출부하 산정 결과 차이에 대한 연구는 미흡한 실정이다.

논에서의 오염부하량은 산정에 있어 유량과 오염물질 농도는 유출기간동안 시간에 따라 다르게 나타나고, 채수 빈도에 따라 부하량 추정 결과가 달라질 수 있다. 하천수질조사에 있어서 시료채취 빈도와 오염부하량 추정치 차이에 관해 일정간격 채취와 연속 채취를 비교해 보면 부유물질은 10배 이상의 차이, T-N의 경우 1.8배 차이가 나며 T-P의 경우는 큰 차이가 없다는 연구결과가 있고,<sup>5)</sup> 강 등(1998)이 채수 빈도를 고려한 소하천의 오염부하량 산정에 대한 연구를 실시한바 있다.<sup>1)</sup>

유량은 수위-유량 관계식을 유도하면 자기수위계를 이용하여 연속적으로 측정할 수 있지만, 유출수나 하천 내의 오염물질 농도는 연속 측정하기는 어려운 실정이며, 오염부하량 산정의 정확성을 기하기 위해서는 샘플 채수 회수가 많을수록 좋으나, 많은 수의 샘플 채수는 실험분석시 인력과 장비 및

\*연락처:

Tel: +82-31-290-0221 Fax: +82-31-290-0206  
E-mail: kuk0904@lycos.co.kr

소요경비 때문에 제한 받지 않을 수 없다.<sup>9)</sup> 따라서, 경제적인 채수 계획이 수립되기 위해서는 채수빈도와 부하량 산정오차가 규명될 필요가 있다. 자동 채수기를 이용하여도 장기간 지속되는 큰 강우시에는 채수 용량 한계가 있으며, 기계고장, 수작업에 의한 조사의 경우도 여러 가지 제약조건으로 인해 현장 작업의 어려움 등으로 채수가 이루어지지 않는 경우가 발생한다. 이때 측정된 자료만으로 오염부하량 추정시 신뢰도를 파악하는 것도 중요하다 하겠다.

Smith와 Stewart는 연속 측정된 유량자료와 일정간격으로 조사된 수질자료로부터 오염부하량 산정을 위한 수질농도 보간법에 대해 8가지 통계학적 방법을 비교한 바 있다.<sup>7)</sup> Yuan과 Mitchell(1999)은 부하량 산정에 있어서 유량과 유하부하량 관계식(L-Q식)을 이용하는 것이 기존의 보간법에 의해 추정하는 것 보다 합리적이라고 발표하였다.<sup>8)</sup> 국내에서는 오 등(2002)이 논에서의 오염부하 산정에 있어서 시기별로 시비에 큰 영향을 받는 3개의 L-Q식, 시비에 영향을 덜 받는 시기의 L-Q식 등 총 4개의 유량-유하부하량(L-Q)식을 사용한 바 있고,<sup>3)</sup> 윤 등(2002)은 T-P의 경우 년간 하나의 L-Q 식을 사용하여도 큰 차이가 없지만 T-N의 경우 시기별 L-Q 식이 달라지며, SS는 경우 전후 L-Q식이 달라진다고 하였다.<sup>10)</sup> Shih 등(1994)은 단일 폭우사상의 유출부하량 산정에 정확성을 기하기 위해서는 최소 8개의 농도자료가 필요하다고 하였다.<sup>6)</sup> 김 등(1999)이 충북지방 광역논의 배수로 말단에서 2~6시간 간격으로 채수하여 유출량과 T-N, T-P, COD 농도 변화를 조사하였다.<sup>2)</sup>

그러나 현재까지 논에서의 강우-유출시 채수 빈도가 오염부하 산정에 미치는 영향에 대한 연구는 이루어지지 않고 있어 한정된 수질 자료를 이용한 오염부하 산정시 집중적으로 샘플 채취한 경우에 비해 어느 정도 차이를 가지는지 규명하는 것은 모니터링에 따른 오염부하량 산정결과와 신뢰 범위 파악뿐만 아니라 경제적인 샘플 채수 빈도 수립에 필요하고도 중요하다.

따라서, 본 연구에서는 필지 논에서 강우 유출수를 2시간 간격으로 연속 채수한 일주기 수질측정자료를 이용하여 농도와 유출량의 상관관계를 살펴보았다. 또한, 강우-유출 발생시 집중적인 샘플링의 경우와 그렇지 않은 경우의 평균농도차이와 유량-유하부하량 관계식(L-Q식)을 이용한 오염부하량 산정시 사용된 수질 자료수에 따른 부하량 차이를 비교하였다.

## 재료 및 방법

### 시험포장 및 측정시설

본 연구에서 사용된 시험포장은 1995년 5월에 경지정리가 완료된 곳으로 전라북도 진안군 마령면 평지리에 위치하며, 축산폐수, 가정하수 및 산업폐수로부터 영향을 받지 않은 전형적인 수도작 농업지대로 시험포장 구획은 장변 100m와 단변 50m로서 면적은 5,000m<sup>2</sup>이고, 본 시험포장의 토양은 지산미사질양토(Jisan Silt loam, SiL ; fine loamy, mixed mesic

family of Fluventic Haplaguepts)이다. 시험포장에 설치된 시설로는 강수량 측정을 위한 우량계 1조, 관개수량 측정을 위해 관개수 유입구 옆에 유량계 1조, 유출수량 측정을 위해 자기수위계 및 웨어시설 1조를 설치하여 웨어에서 유출되는 수위를 측정하는 다음 웨어유량공식을 이용하여 일별 유출수량을 산정하였다. 모든 측정기기는 '97년 5월 1일부터 '98년 4월 30일까지 운영하였다.<sup>4)</sup>

### 시험포장의 운영

시험포장은 '97년 5월 13일에 논갈이를 하고 담수를 시킨 후, 5월 26일에 재배품종은 화성찰벼로 하여 1주당 3분씩 기계이앙을 실시하였고, 9월 29일에 수확하였다. 비영농기간 동안에는 수확후 벼짚을 전량 논토양에 살포하고 비경운 상태로 두었다가 '98년 3월 20일에 1차 논갈이를 한 다음, 4월 25일에 2차 논갈이를 실시하였다.

시비량은 5월 22일에 모내기 기비로 질소 107.2kg/ha, 용성인비 27.2kg/ha를 전층시비하였으며, 6월 13일에 분얼비로 질소 73.6kg/ha를, 7월 28일에 수비로 질소 36.8kg/ha 수준으로 시비된 것으로 조사되었다.(조, 1999) 본 시험포장에 시비된 화학비료의 양을 농촌진흥청의 추천시비량(N : P : K = 110 : 80 : 70kg/ha)과 비교하면 질소의 경우 약 198% 그리고 인의 경우는 약 34% 수준으로 시비되고 있었다.<sup>4)</sup>

### 시료채취 및 분석방법

유출수는 강우시 유출이 발생할 때마다 2시간 간격으로 시험포장의 웨어 유출구에서 채수하여 4°C이하의 온도에서 보관하여 분석시료로 사용하였다. 부유물질은 시료 1000mL를 취하여 유리섬유여지법으로, T-N은 수질시료 500mL를 취하여 각각 환원증류-킬달법과 중화적정법으로 분석하였고, T-P는 수질시료 500mL를 취하여 50mL로 농축한 다음 ascorbic acid reduction법에 기준하여 분석하였다.<sup>4)</sup>

### 강우-유출사상에 대한 오염부하 추정시 채수 빈도의 영향

강우유출사상 채수빈도에 따른 유출사상평균농도(EMC, Event Mean Concentration)와 유량가중평균농도와 차이를 고찰하기 위해 총 9개의 강우-유출사상 중 6개를 이용하여 각 강우-유출사상내 수질자료를 1, 2, …, n개(n = 최대 샘플수)까지 각 샘플횟수별로 무작위로 추출 가능한 모든 채수 조합을 가지고 평균농도(EMC)를 산정하여 최대 샘플수의 평균농도와 차이를 비교·고찰하였다.

또한, 논에서 강우-유출사상에 대해 일주기 수문·수질조사를 실시하여 유량-유하부하량 관계식(L-Q식)을 이용 오염부하량을 산정할 경우 채수 빈도가 미치는 영향을 알아보기 위해, 강우시 2시간 간격으로 연속 채수한 9개의 강우사상 중 3개를 이용하여 3회 이상 샘플횟수에 대해 3, 4, …, n개(n = 최대 샘플수)까지 각 횟수에 따른 무작위로 추출 가능한 모든 조합을 가지고 L-Q식을 산정하여 부하량을 산정하고 최대 샘플수로 구한 L-Q식에 의한 부하량과의 차이를 비교·고

찰하였다.

### 결과 및 고찰

#### 강우-유출사상별 평균농도(EMC)와 최대 및 최소 농도의 비교

본 연구에 이용된 수질자료에 대한 강우-유출사상별 평균 농도(EMC)와 최대 및 최소 농도의 비교는 윤 등(2002)에 의해 이미 발표된 바 있는데<sup>10,11)</sup>, 각 강우사상 유출수의 유량과 중평균농도는 T-N의 경우 3.645~11.580mg/L의 범위를 보였으며, 평균 6.024mg/L로 조사되었는데 T-N의 농도변화는 시비 후 많은 강수에 의한 유출에 대한 영향이 큰 것이라고 하였으며, T-P는 0.106~0.201mg/L 평균 0.140mg/L로 조사되었

으며, 인산비료의 경우 기비로 년중 1회 시비되며, 논 토양에 존재하는 인은 시비 직후 거의 대부분이 토양입자에 흡착되어 이동성이 낮은 형태로 전환되기 때문에 시비영향이 질소에 비해 적고 년중 농도 변화는 크지 않다고 하였다. 토사 유출을 나타내는 SS의 경우는 영농기간에는 124.5~164.4 mg/L, 비영농기간에는 76.6~114.8mg/L의 농도를 보여 비영농기가 영농기보다 약간 낮은 농도로 나타났다. 이는 영농기에 비해 비영농기 강수량이 작아 유출이 작은 이유와 수확 후 논에 살포된 볏짚의 영향과 동절기 저온에 의한 표면 동결현상에 기인하는 것으로 보인다고 하였으며, 하지만 '98년 3월 20일의 1차 논갈이의 후 '98년 4월 12일 57.3mm 강수에 의한 SS 평균농도는 531.4mg/L로 크게 높아진 것으로 조사되었다.<sup>10,11)</sup> Fig. 1은 강우사상별 T-N, T-P, SS 농도의 강우사상에 대한 평균농도와 최대 및 최소농도 변화를 나타낸 것이다.

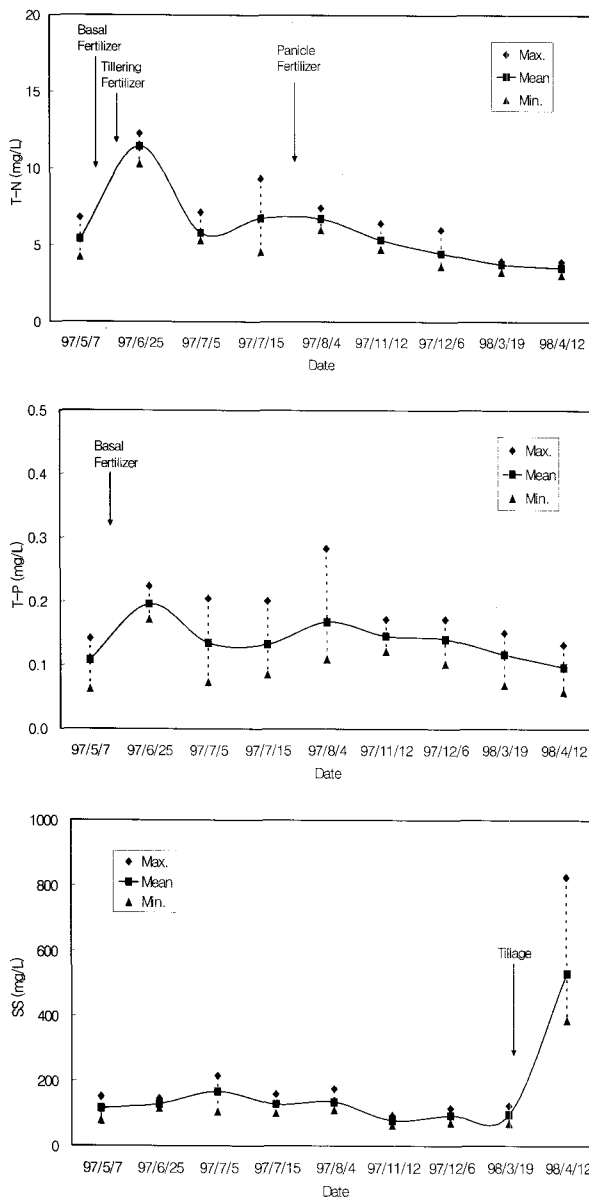


Fig. 1 Max., Mean, Min. concentrations of T-N, T-P, SS of each storm event

#### 유량과 T-N, T-P, SS 농도와의 상관관계

Fig. 2는 1997년 7월 5일부터 3일간 발생한 159.2mm 강우시 시간경과에 따른 유량과 농도와의 관계를 여주고 있다. 유출과정 중 T-N, T-P, SS 농도는 변동을 보여주고 있으며 유량과 수질간 관계를 파악하기어려움을 나타내고 있다. 농도와 유량 두 변량간의 상관관계를 알아보기 위해 조사 대상 9개 강우 사상을 대상으로 상관분석을 실시하였다.

상관분석은 각 강우사상별로 전체 수문곡선에 대한 상관계수와 상승기와 하강기를 분리하여 실시하였는데 그 결과는 Table 1과 같다. 전체 수문곡선을 대상으로 실시한 상관분석 결과 T-N, T-P, SS 모두  $\alpha=0.01$ 로 보았을 때 유의성이 없었다. 수문곡선 중 상승기때의 상관분석에 대해서는 '97년 7월 15일 98.8mm 강우에 대해서만이  $\alpha=0.01$ 에 대해 T-N의 경우만이 유의함을 알 수 있었고, 나머지 강우사상에 대해서는 유의하지 않았다.

수문곡선 중 하강기때의 상관분석에 대해서는 T-N의 경우 '97년 12월 6일 31.9mm와 T-P의 경우 '97년 8월 4일 133.5 mm에 대해서만  $\alpha=0.01$ 에 정상관의 관계임을 알 수 있었다. SS의 경우 '98년 3월 19일 34.5mm에 대해서만 유의한 역상관의 관계임을 알 수 있었다. 나머지 강우사상에 대해서는 유의하지 않았다.

#### 채수 빈도에 따른 유출사상평균농도(EMC) 차이

논에서 강수에 의한 유출이 발생할 때 샘플 채수 빈도가 오염부하 산정에 미치는 영향을 알아보기 위해 Fortran 프로그램을 작성하여 1, 2, 3, ..., n (n = 최대 샘플횟수)개의 샘플 횟수에 따른 모든 조합을 추출하여 각 샘플횟수별 산술평균을 구하였다. 이 값을 전체 관측한 경우의 평균값과 비교하여 최대, 최소 차이를 비교하여, 차이가 10% 범위 내에 들어갈 샘플횟수를 결정하고자 하였다.

강우-유출사상에 따른 2시간 간격 수질자료로부터 샘플횟수에 따른 모든 경우의 수에 대한 평균의 최대, 최소와 전체 산술평균과의 차이를 나타내면 Fig. 2와 같다. 강우-유출사상에

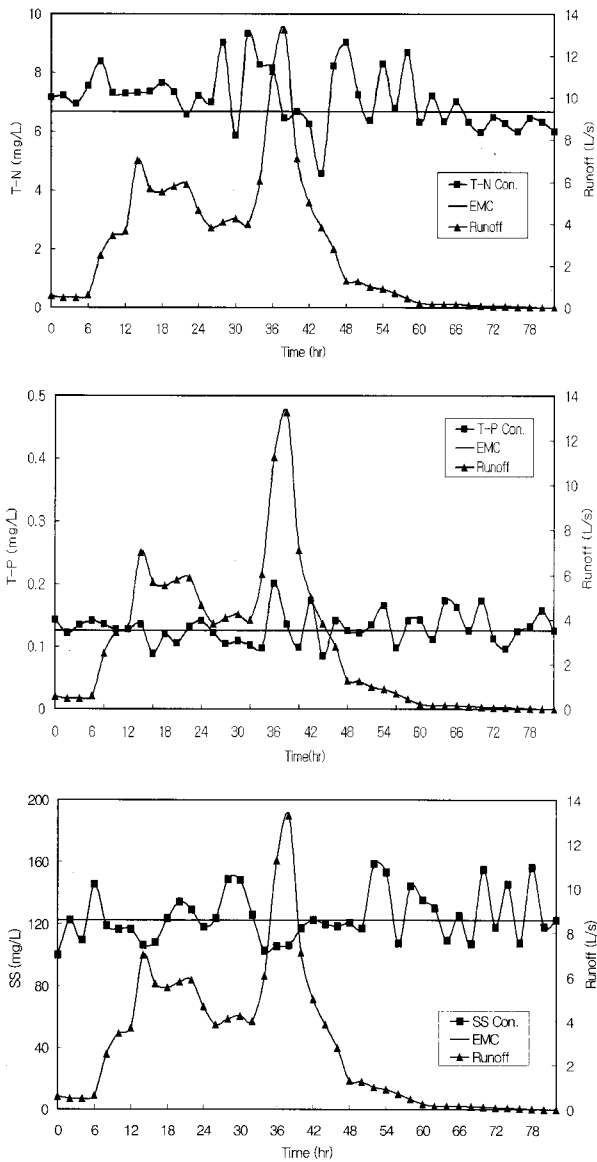


Fig. 2 Change of concentration T-N, T-P, SS in process of time

따른 2시간 간격 수질자료로부터 추출된 각 경우의 수에 대한 차이를 살펴보면, T-N의 경우 1회 추출시에 전체 산술평균과 최대 34.1%까지 농도가 크게 관측될 수도 있고, 19.1% 작게 차이가 생기는 경우도 있었다. 차이범위가 10% 내에 들어가기 위한 샘플수는 일주기 조사시 6회 정도 샘플을 실시하면 될 것으로 사료된다.

T-P의 경우에는 1회만 샘플 하였을 경우에는 최대 55.4%까지 차이가 생기는 경우도 발생하였는데, 전반적으로 20% 이상의 차이를 보였다. 또한, 장시간 유출이 발생할 때는 최대 11회 정도를 실시하면 차이가 10%이내가 되고, 단시간 유출이 발생할 경우에는 6회 정도 실시하면 될 것으로 판단된다.

SS의 경우에는 장시간 유출 발생시 초기에 농도는 높고 후기에는 농도가 낮아 농도변화가 커서, 1회 추출시 최대 68.5%까지 차이가 발생하였고, 전반적으로 25% 이상의 차이를 보였다. 그러나 단시간 유출 발생시는 4회 정도 실시하면 차이가 10%내외로 조사되었다.

L-Q식을 이용할 경우 채수 빈도가 오염부하량 산정에 미치는 영향

수위-유량 관계가 얻어지면 측정된 수위자료로부터 시간별 유량을 산정할 수 있고, 이것을 시간에 대해 적분하여 유출체적을 구할 수 있는 것처럼 유량과 유하부하량 관계식(L-Q식)을 얻을 수 있으면 유량자료로부터 유하부하량(mass load, g/s)을 산정할 수 있으며 이를 시간으로 적분하여 부하량을 추정할 수 있다.<sup>3)</sup>

각 강우사상의 전체 수질 자료로부터 유도된 L-Q 식을 이용 부하량을 산정하였고 직전 수질자료와 다음 수질 자료 평균치 및 측정 간격의 평균 유량을 곱하여 산정하는 방법(이하 적분법)과 부하량의 차이를 살펴보았다(Table. 2). 6월 25일(52mm), 11월 12일(43mm), 12월 6일(31.9mm) 강우 사상을 대상으로 실시된 두 방법간 부하량 차이는 T-N이 0.74~1.54%, T-P가 -1.18~2.99%, SS 가 -0.94~3.83% 이었다. 이로써 강우 사상의 수질 자료가 충분한 경우 적분법과 L-Q 식은

Table 1. Coefficient of correlation of runoff and T-N, T-P, SS concentrations.

Date (dd/mm/yy)	Rainfall (mm)	Sample Number	Total Hydrograph			Rising Hydrograph			Falling Hydrograph		
			T-N	T-P	SS	T-N	T-P	SS	T-N	T-P	SS
05/07/97	87.0	21	0.15	0.24	-0.19	0.62	0.09	-0.70	-0.13	0.20	-0.34
06/25/97	52.0	11	0.33	0.53	-0.43	0.27	0.58	-0.30	0.40	0.32	-0.61
07/05/97	159.2	42	0.12	0.00	-0.34	-0.02	0.38	-0.46	0.11	-0.34	-0.16
07/15/97	98.8	25	-0.02	0.06	-0.17	-0.98	0.81	0.70	0.17	0.11	0.06
08/04/97	133.5	21	0.21	0.31	-0.15	-0.29	-0.23	0.61	0.45	0.78	-0.47
11/12/97	43.0	14	-0.39	-0.49	0.67	0.26	-0.37	0.85	-0.62	-0.37	0.19
12/06/97	31.9	9	0.88	-0.30	0.15				0.92	-0.07	0.30
03/19/97	34.5	15	0.33	0.26	-0.63				0.30	0.35	-0.78
04/12/97	57.3	17	0.49	0.46	-0.27	0.79	0.38	-0.44	0.43	0.29	-0.05

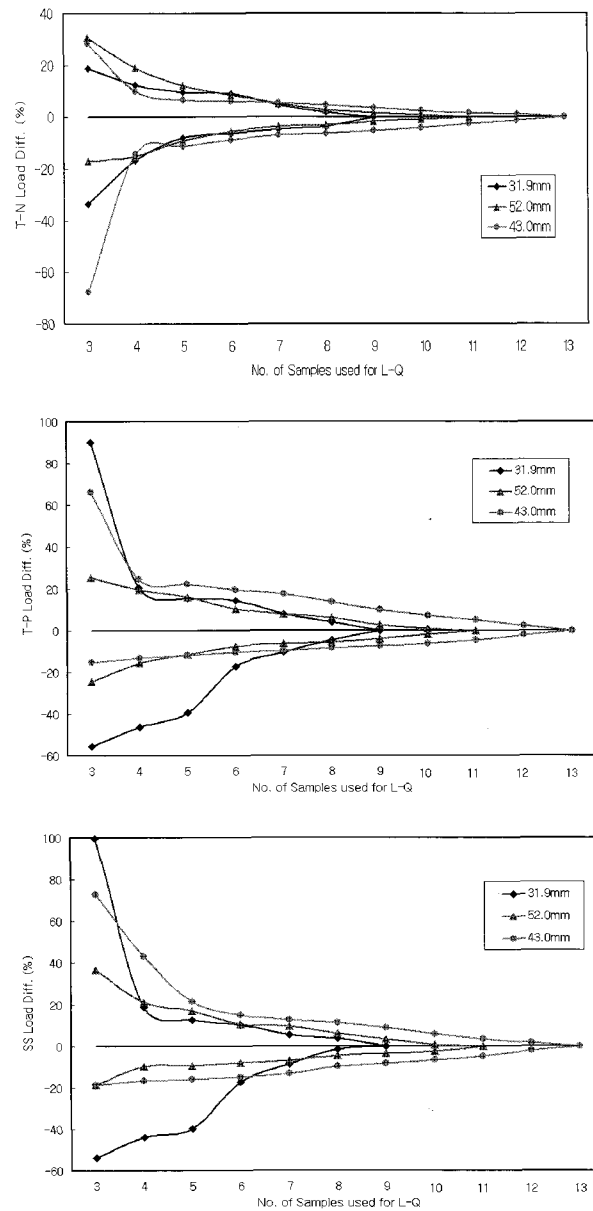
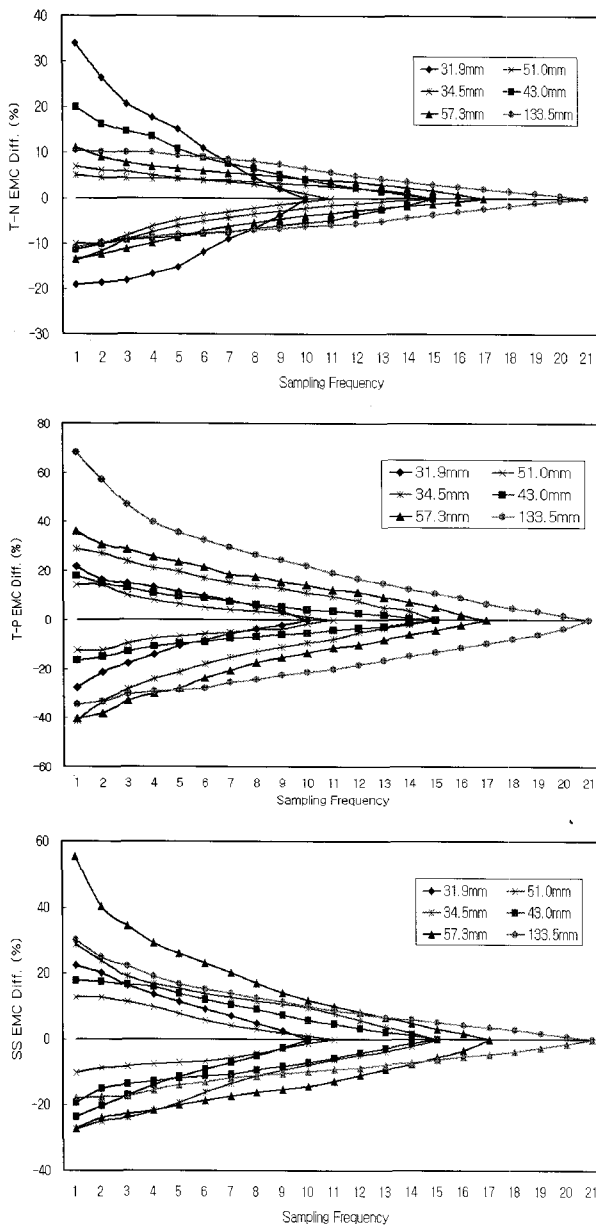


Fig. 2 Relative differences of EMC according to sampling frequency compared to EMC of two hour interval maximum sampling

Fig. 3 Relative differences of pollutant load estimation by the L-Q derived by various no. of samples and by the L-Q using maximum observed samples

Table 2. Differences of pollutant load estimation by integral method and L-Q method

Date	Sample No.	T-N (kg/ha)			T-P (kg/ha)			SS (kg/ha)		
		Integral method	L-Q	R. D. <sup>a)</sup>	Integral method	L-Q	R. D.	Integral method	L-Q	R. D.
97/06/25	11	6.28	6.24	0.03 (0.55)	0.16	0.15	0.01 (2.99)	115.66	111.23	4.43 (3.83)
97/11/12	14	42.68	42.37	0.31 (0.74)	0.74	0.73	0.01 (1.00)	464.62	468.99	-4.38 (-0.94)
97/12/06	9	14.64	14.41	0.23 (1.54)	0.39	0.40	-0.01 (-1.18)	234.02	227.96	6.05 (2.59)

<sup>a)</sup> R. D. means relative difference. ( )는 %

부하량 추정에 큰 차이가 없음을 알 수 있었다. 각 강우 사상의 전체 자료를 이용한 L-Q 식은 윤 등(2002)에 의해 제안되었으며, 전체적으로 강우별 T-N, T-P, SS 모두 유출량과 유하부하량은 높은 상관관계를 보이고 있다고 하였다.<sup>10)</sup>

강우-유출사상에 대해 최대 수질자료로 부터 산정된 L-Q 식으로 추정된 부하량과 임의로 추출한 3개 이상의 수질자료로 만든 L-Q식을 이용시 부하량과의 차이를 비교하였다. 그 결과는 Fig. 3과 같다.

97년 6월 25일 52.0mm 강우 사상에 대한 (유량 및 농도 자료 11개) T-N 부하량은 최소자료인 임의의 3개의 수질 자료로 L-Q식을 산정하였을 때 전체 자료로 만든 L-Q식을 이용할 경우보다 -16.90~30.77%의 범위를 보였으며, T-P의 경우는 -24.40~25.44%이며, SS의 경우는 -18.67~36.56%로 나타났다.

'97년 12월 6일 31.9mm 강우 사상에 대한 (유량 및 농도 자료 9개) 최대샘플수의 L-Q식으로 산정한 부하량과의 차이가 T-P 90.13%, SS 99.60%로 높게 나타났고, T-N의 경우는 차이가 18.91%로 조사되었다. T-N -33.45%, T-P -55.70%, SS -53.73%였고, '97년 11월 12일 43.0mm 강수에 대한 유량 및 농도자료 13개로 실시한 결과는 샘플횟수가 3회일 경우 T-N 부하량 차이는 -67.61~28.32%, T-P 부하량 차이는 -15.39~66.38%, SS 부하량 차이는 -18.70~72.80%였다.  $\pm 10\%$  내의 샘플횟수는 T-N의 경우는 6회, T-P와 SS는 9회 정도 실시하면 되는 것으로 조사되었다.

## 요 약

한정된 수질자료를 이용 오염부하 산정시 집중적으로 많은 샘플을 채취한 경우에 비해 어느 정도 차이를 갖는지를 규명하는 것은 모니터링에 따른 오염부하량 산정결과의 신뢰 범위 파악뿐만 아니라 경제적인 수질 샘플 채수빈도 수립에 꼭 필요할 것으로 사료된다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

논에서의 강우-유출시 채수 빈도가 오염부하 산정에 미치는 영향을 파악하기 위해 9개의 강우사상에 대해 2시간 간격으로 연속 수질샘플을 실시하여 분석한 결과 전체적으로 강우-유출과정 중 T-N, T-P, SS 농도는 시간별로 증·감변동을 하였으나 유량과의 상관성은 나타나지 않았다. 수질샘플 횟수에 의한 영향은 강우-유출과정 중 5회 정도 샘플을 실시하면 많은 수의 샘플을 채수한 경우에 비해 T-N  $\pm 15.2\%$ , T-P는 -20.0~26.2%, SS는 -28.6~35.7% 범위안에서 오염부하를 추정할 수 있는 것으로 나타났으며, 차이범위가  $\pm 10\%$  내에 들어가기 위한 샘플수는 일주기 조사시 T-N, T-P의 경우는 6회, SS의 경우는 단기유출시는 4회 정도 실시하면 되고, 장기 유출시에는 11회 정도 실시하면 되는 것으로 조사되었다. 유량-유하부하량 관계식에서  $\pm 10\%$ 내의 차이를 보일 샘플횟수는 T-N의 경우는 6회 이상, T-P와 SS는 9회 이상 정도 실시하면 되는 것으로 조사되었다.

## 참고문헌

1. Kang, M. S., Park S. W., Yoon, K. S., (1998) Variation of estimated pollutant loading from rural streams with sampling intervals. *Proceedings of the 1998 Annual Conference. The Korean Society of Agricultural Engineers.* 552-557.
2. Kim, J. S., Oh, S. Y., and Kim, K. S. (1999) Characteristics of concentration and load of nitrogen and phosphorus in paddy field areas, *Journal of Korean society of Agricultural Engineering.* 41(4), 47-56.
3. Oh, S. Y., Kim, J. S., Kim, K. S., Kim, S. J., Yoon, C. G. (2002) Unit loads of pollutants in a paddy fields area with large-scaled polts during irrigation seasons. *Journal of the korean society of Agricultural Engineering.* 44(2), 136-147.
4. Cho, J. Y.,(1999) Nitrogen balance and pollutant loading from a paddy field. *A thesis for the degree of doctor, Jeonbuk National University.*
5. Hong, S. K. (1997) Effects of sampling frequency on stream water quality assessment. *Hankyong National University Annual Report.* 29(1), 103-108.
6. Shih, G., W. Abteu, and J. Obeysekera 1994. Accuracy of nutrient runoff load calculations using time-composite sampling. *Transactions of the ASAE* 37(2), 419-429.
7. 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.
8. Yuan, Y., and J. K. Mitchell (1999) A method to evaluate pollutant loads from tile drains. *Transactions of the ASAE* 42(5), 1313-1319.
9. Novotny, V., and Olem, H. (1994) Water quality prevention, identification and management of diffuse pollution, *Van Nostrand Reinhold New York, NY.*
10. Yoon, K. S., Choi, J. K., Cho, J. Y., Son, J. G., Koo, J. W. (2000) Comparison of initial and mean concentrations of Nitrogen and phosphorus in runoff from a paddy field. *Korean Committee Irrigation and Drainage Journal* 7(1), 27-35.
11. Yoon K. S., Choi, J. Y., Han, K. H., Cho, J. Y. (2002) Flow weighted mean concentration and runoff-mass load relationship of pollutants derived from intensively sampled water quality data of a paddy field, *Journal of the Korean Society of agricultural engineers* 44(5), 127-135.
12. Hong, S. G., Kwun, S. K. (1989) Characteristics of Pollutant Loading into Streams from Flooded Paddies, *Journal of the Korean Society of agricultural engineers* 31(3), 92-102.
13. Shin, D. S., Kwun, S. K (1990) The Concentration and Input/Output of Nitrogen and Phosphorus in Paddy

---

Fields, *Korean Society of Agricultural and Environment* 9(2), 133-141.

14. Lee, S. M., Yoo, S. H., Kim, K. H. (1995) Changes in

Concentrations of Urea-N ,  $\text{NH}_4\text{-N}$  and  $\text{NO}_3\text{-N}$  in Percolating Water During Rice Growing Season, *Korean Society of Soil Science and Fertilizer* 28(2), 160-164.