大韓環境工學會誌 · 논문 · pp. 262~272. 2005.

하구호 유입하천의 유역특성에 따른 장기 대표 수질결정

김영철† · 이동률 · 황길순*

한서대학교 환경공학과 · *한국건설연구원 수자원연구부 · 수환경연구소

(2004년 10월 18일 접수, 2005년 2월 21일 채택)

Determination of Representative Long-term Water Quality Parameters of the Streams in Estuarine Lake

Youngchul Kim† · Dong-Ryul Lee · Gilson Hwang*

Department of Environmental Engineering, Hanseo University

**Korea Institute of Construction Technology, Department of Water Resources · Water Environment Research Center*

ABSTRACT : This study was undertaken to obtain design concentrations for the natural system treating stream water flowing into estuarine lake(Sapgyo). This lake has three major, so called, national-class streams: one is Gokgyo flowing through two medium-size municipal areas and the others are Muhan and Sapgyo placed in mostly rural area nested with some small towns. The results of three year's investigation showed big changes in water quality during the period between dry and wet seasons. Nitrogen concentration usually decreases as the flow rate increases. The change of phosphorus concentration in Gokgyo was the same pattern as nitrogen, but in other two streams it was inversely related with flow rates. This is probably due to the chemical property of the particles washed out from the different stream basins during wet season. It was found that about 40 to 60% of the total nitrogen are in soluble form and on average, 35% of the total phosphorus consists of dissolved-P. Representative concentration of these streams has to be separately determined based on dry and wet season. TDS and SS could be indicating parameters useful to depict and characterize a change of water quality with respect to flow rate because their measurement is easy and also includes a small analytical error. TDS values measured during dry season are related with high nitrogen concentration while during wet season, SS values effectively reflect a high concentration of phosphorus. For design purpose, cumulative concentration distribution graph presented in this paper can be directly or indirectly applied to other streams through a brief comparative and verificative study.

Key Words : *Estuarine Lake, Nitrogen, Phosphorus, Stream*

요약 : 본 연구는 하구호 수질개선을 위한 유입하천정화 시설의 기초설계 자료를 마련하기 위한 일환으로 시작되었다. 조사대상 하천은 삽교호 유입 국가하천으로 도시관통 하천(곡교)과 농경지 관통하천(무한, 삽교)이었다. 3년 동안의 장기적인 수질관측결과 시기적으로 큰 변화를 나타내었다. 도시지역이나 농경지를 관통하는 하천에서 유량이 증가할수록 질소농도는 뚜렷이 감소하였다. 인 농도는 도시하천의 경우에는 질소와 마찬가지의 변화특성을 나타내었으나 반면에 농경지 유역하천의 경우에는 유량이 영향이 상대적으로 적었지만 유량이 크게 증가할 경우 오히려 크게 증가하였다. 그 이유는 강우에 따른 유량증가시 도시지역이나 농경지를 흐르는 하천수의 부유물질 농도는 크게 증가하지만 유출되는 부유물질의 화학적 특성이 전혀 다르기 때문으로 판단된다. 용존성 질소(*dissolved*-TN)는 대상하천에서 총질소의 약 40~60%를 차지하였으며 총인의 경우는 약 35% 가량이 용존성 인(*dissolved*-TP) 상태로 존재하였다. 하구호인 삽교호의 3개 유입하천에 대한 대표수질은 건기와 우기로 구분하여 결정하는 것이 타당하며, 대표수질 항목으로는 측정오차가 적고 유량변동에 따른 수질변화 특성을 가장 잘 표현하고 있는 TDS와 SS를 이용하는 것이 바람직할 것으로 사료된다. TDS는 건기의 총질소 농도 증가를 반영하며, SS는 우기의 총인 농도 증가를 설명하는데 효과적이다. 본 논문에서 제시된 누적확률그래프는 하천정화시설의 설계목적으로 다른 유역의 하천수질을 비교 평가하는데 유용하게 사용될 수 있을 것으로 사료된다.

주제어 : 하구호, 질소, 인, 하천

1. 서 론

도시화와 산업화에 따른 경제의 고도성장으로 배출되는 오염부하량이 자연정화능력을 초과하고 있는데 이와 같은 현상은 과거에 주로 도시지역에 국한되어 발생되었으나 이제는 농촌지역에서도 일반화되고 점차 가속화되어 가는 실정이다. 농촌의 도시화와 생활패턴의 변화 등으로 말미암아 유역의 말단부에 위치한 하구호 뿐만 아니라 유역의 상류에 위치한 농업용 저수지까지도 오염이 가속화되고 있는 실정이다.[1,2)]

근래에 들어 우리나라에서는 농업용 저수지와 담수호 유입하천 수질개선사업과 하천정비사업(자연형 하천조성사업),

† Corresponding author
E-mail: ykim@hanseo.ac.kr
Tel: 041-660-1432 Fax: 041-660-1119

하천유지용수 확보사업 등이 정부부처와 지자체에 의해 빠른 속도로 확산 진행되고 있다. 저수지와 담수호 유입하천 수질개선사업에서는 저수지 유입부에 인공습지 등과 같은 자연현상을 이용한 처리시설을 설치운영하고 있다. 자연형 하천조성 사업의 목표는 주로 친수환경의 확보에 있지만 점진적으로 생태계의 복원방향으로 바뀌고 있어 수질정화 시설의 설치가 활발하게 이루어질 전망이다. 하수처리장 방류수의 도심하천 유지용수 재이용은 과거와는 달리 지금은 설계단계에서부터 반영되고 있으며 전국의 많은 지자체에서 이미 시설을 완공하였거나 설계, 시공단계에 있다.

자연형 하천조성 사업 등에 종사하는 현장 기술자는 설계단계에서 하천의 설계수질농도, 변화패턴과 특성에 관한 자료의 부족으로 어려움을 호소하고 있다. 따라서 단 수회의 임의채취 수질조사 결과를 바탕으로 막대한 예산이 소요되는 사업의 설계가 이루어진 관계로 많은 사업이 초기단계에 계획된 목표가 달성되지 못하는 시행착오가 반복되고 있는 실정이다.

하천의 수질은 평상시나 강우시에 매우 다양한 복합적인 요인에 의해 영향을 받으므로 인과관계를 정확히 분석하는 것은 불가능한 일이다. 그러나 현황(상태)분석과 원인(인자)분석을 객관적으로 검증하기 위한 수질자료의 패턴분석(pattern analysis)의 도입이 반드시 필요하다. 이를 위해서는 과학적이고 체계적인 연구를 통한 적정 샘플수와 빈도를 정하는 일이 선행되어야 할 것이다.

현재까지 진행되어온 국내의 수질보전 정책은 수질보전 및 관리를 위한 조사가 수질측정망의 형태로 조사 자체가 형식적이었다. 환언하면 수질개선을 위해서는 측정망처럼 수질상태 정도를 파악하는 수준의 조사로는 적절한 방안이 수립될 수 없는 것이다. 수질상태나 현황에 대한 조사보다는 수질의 변동특성과 패턴을 조사 해석하고 이를 통해 관리대책을 수립하는 실질적이고 방법적인 접근이 필요하다.[3,4] 그러나 이러한 접근에는 많은 시간과 노동력, 재원이 소요되어 모든 사업대상 하천에 대해 장기적이고 집중적인 조사를 할 수 없으므로 일반적인 하천을 선정하여 다른 하천에도 적용될 수 있는 보편적인 수질요소를 추출해 내는 것이 바람직할 것이다.

본 연구는 농업용 저수지와 담수호의 수질개선방안 수립을 위한 유입하천 정화시설의 설계 기초자료를 마련하기 위한 일환으로 시작되었다. 본 연구의 목적은 3년 동안(2000~2002)의 장기적인 조사를 통하여 수질의 시간적 변화패턴과 오염물질의 형태를 규명하여 정화공정을 결정하고 처리목표 달성을 위해 필요한 수질정화시설의 용량을 결정하는데 도움이 되는 처리대상 하천의 대표수질을 결정하는데 있다.

2. 연구방법

2.1. 연구대상 하천

본 연구는 삽교호의 유입하천인 삽교천(Sapgyo), 곡교천(Gokgyo), 무한천(Muhan)을 대상으로 하였다. 삽교호는 총면적 1,639.6 km^2로써 논 406.7 km^2, 밭 202.5 km^2를 포함하여 경작지가 609.2 km^2이며, 대지 56.0 km^2, 임야 741.2 km^2, 기타 233.5 km^2로 구성되어 있다. 각각의 구성비는 총면적대비 농경지 44.9%, 임야 48.7%, 대지 4.2%, 기타 6.0%를 차지하고 있다.

삽교천(S)은 유역면적이 569.9 km^2이고 유로연장은 63.5 km, 평균경사는 16.7%, 유역의 평균 폭은 9.0 km, 형상계수는 0.141, 하천밀도는 0.11로 동측이 높고 서측이 낮은 완만한 구릉사면을 형성하고 있고 본류 및 지류 연변에 농경지가 넓게 발달된 평야가 위치해 있다. 또한, 삽교천 하구에는 방조제가 축조되어 농·공용수의 수원으로 활용되고 있다. 토지이용도는 임야가 48.7%로 유역의 대부분을 차지하고 있으며 밭과 논이 각각 35.3%, 15.5%를 점유하고 있다.

곡교천(G)은 유역면적이 604.5 km^2이고 유로연장은 49.5 km, 평균경사는 19.9%, 유역의 평균 폭은 12.2 km, 형상계수는 0.247, 하천밀도는 0.08로 삽교천의 동쪽에 위치해 있으며 직사각형의 형상을 띄고 있다. 전체 유역 중 대부분이 임야이고 밭과 논이 각각 20.1%, 11.1%를 차지하고 있다.

무한천(M)은 유역면적이 465.2 km^2이고 유로연장은 48.3 km, 평균경사는 23.3%, 유역의 평균 폭은 9.6 km, 형상계수는 0.199, 하천밀도는 0.10로 삽교천의 동쪽에 위치해 있으며 농업용수 공급과 소규모 홍수조절이 가능한 저수지가 수계 중간에 위치해 있다. 전체 유역 중 대부분인 56.4%가 임야이며 밭과 논이 각각 18.1%, 10.1%를 차지하고 있는데 토지이용현황이 곡교천과 유사한 형태를 나타내고 있다.

2.2. 조사시기

연구대상 하천의 유량변화 특성을 Fig. 1에 모식도로 나타내었다. 곡교천과 삽교천은 강우현상에 의해 유량이 크게 영향을 받았다. 여름에는 풍수기, 봄과 겨울에 갈수기를 나타내어 전형적인 우리나라 하천의 유량변화를 보였다. 우기

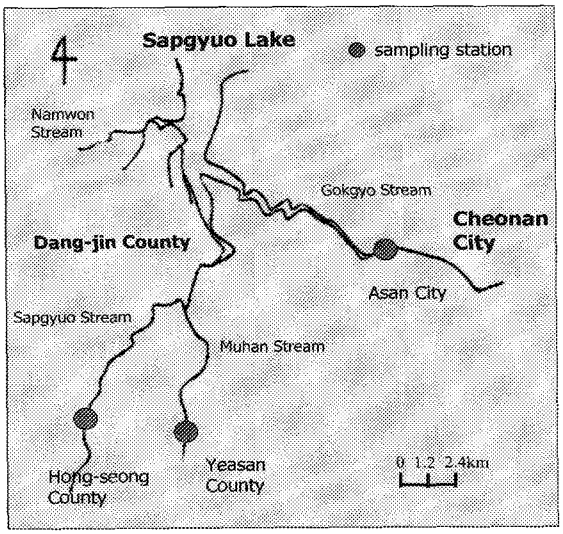

Fig. 1. (a) Sapgyo lake's tributary.

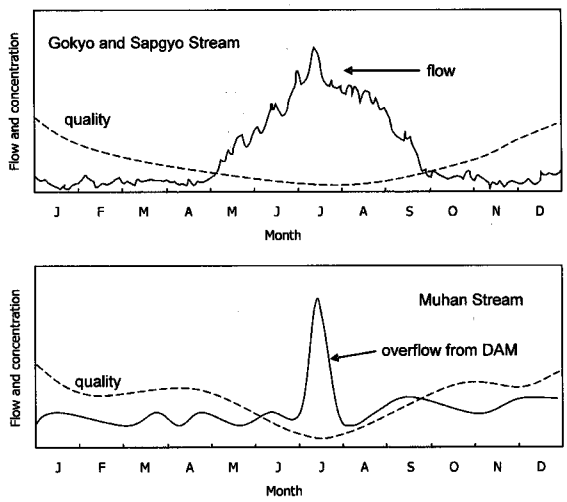

Fig. 1. (b) Flow pattern of the study stream.

인 여름에는 유량 변화가 크지만 동절기나 봄의 경우에는 하천이 동결상태이거나 바닥이 노출될 정도로 건조한 경우가 대부분이다. 반면에 무한천의 경우에는 시료채취지점의 상류에 대형 농업용 저수지가 있으므로 대부분의 시기에는 유량변화가 적지만 저수지의 방류여부에 따라 큰 수량변화를 나타내었다. 따라서 본 연구에서는 이러한 하천의 유량변화특성 등을 고려하여 월별조사와 함께 유량변화가 큰 6월부터 9월까지 집중적인 조사를 실시하였다.

Table 1은 하천별로 월별 및 연도별 조사빈도를 나타내었다. 시료채취는 강우여부와 관계없이 무작위로 이루어졌다. 각 하천별로 2000년에는 40회, 2001년 38회, 그리고 2002년에는 20회의 조사가 각각 실시되었다. 가뭄 등으로 인한 건천화로 시료채취가 불가능한 경우도 있어 하천에 따라 월별 조사 빈도가 상이하였다.

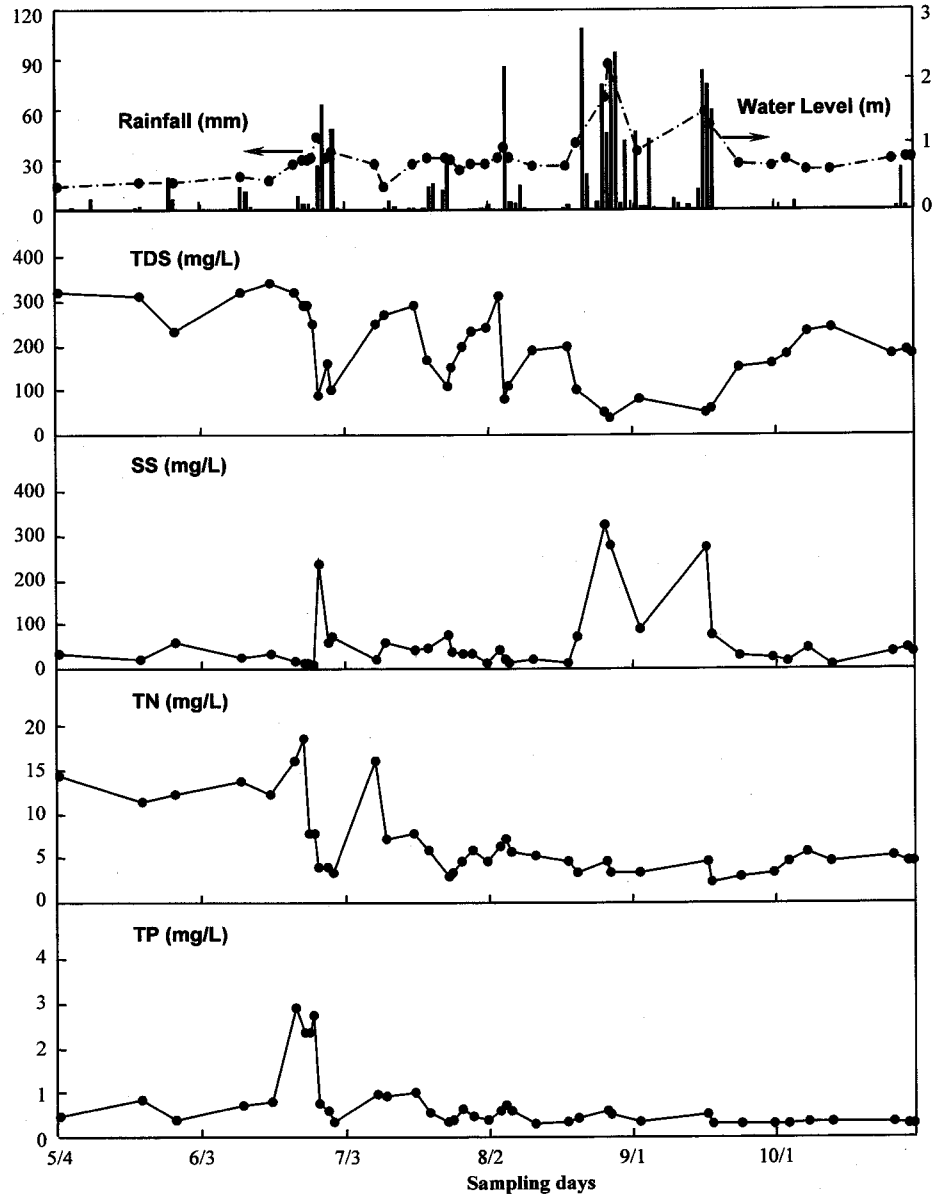

Fig. 2. Variation of the water quality in Gokgyo stream.

Table 1. Sampling distribution and frequency

Year	Stream	Apr.	May	June	July	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Total
2000	Sapgyo	0	3	9	8	9	5	6	0	40
	Muhan	0	3	9	8	8	5	6	0	39
	Gokgyo	0	3	9	8	8	5	6	0	39
2001	Sapgyo	0	4	6	9	13	3	3	0	38
	Muhan	0	4	6	9	13	3	3	0	38
	Gokgyo	0	4	6	9	13	3	3	0	38
2002	Sapgyo	1	2	3	4	5	5	0	0	20
	Muhan	1	2	3	4	5	5	0	0	20
	Gokgyo	1	2	3	4	5	5	0	0	20

2.3. 수질 및 유량 분석

채취된 시료는 Standard Methods(1998)[5]와 수질오염공정시험법(1999)[6]에 제시된 분석법에 따라 분석하였다. 시료내의 유기물질 함량을 나타내는 COD는 크롬법을 이용하여 측정하였다. 총질소는 시료를 분해병에 넣고 알칼리성 과황산칼륨 용액을 가하여 고압증기멸균기안에서 분해한 후 발색 후 자외선 흡광도를 측정하여 분석하였으며, 총인은 Stannous Chloride 법에 의해 분석하였다. TDS는 전기전도도기(HACH 사-TDS 자동환산)를 사용하여 분석하였다. 시료채취는 금강홍수통제소 수위계 설치지점 직 하류지점에서 이루어졌다. 수문자료는 금강홍수통제소의 관측 자료를 이용하였으며 강수량은 인근 천안기상관측소 자료를 이용하였다.

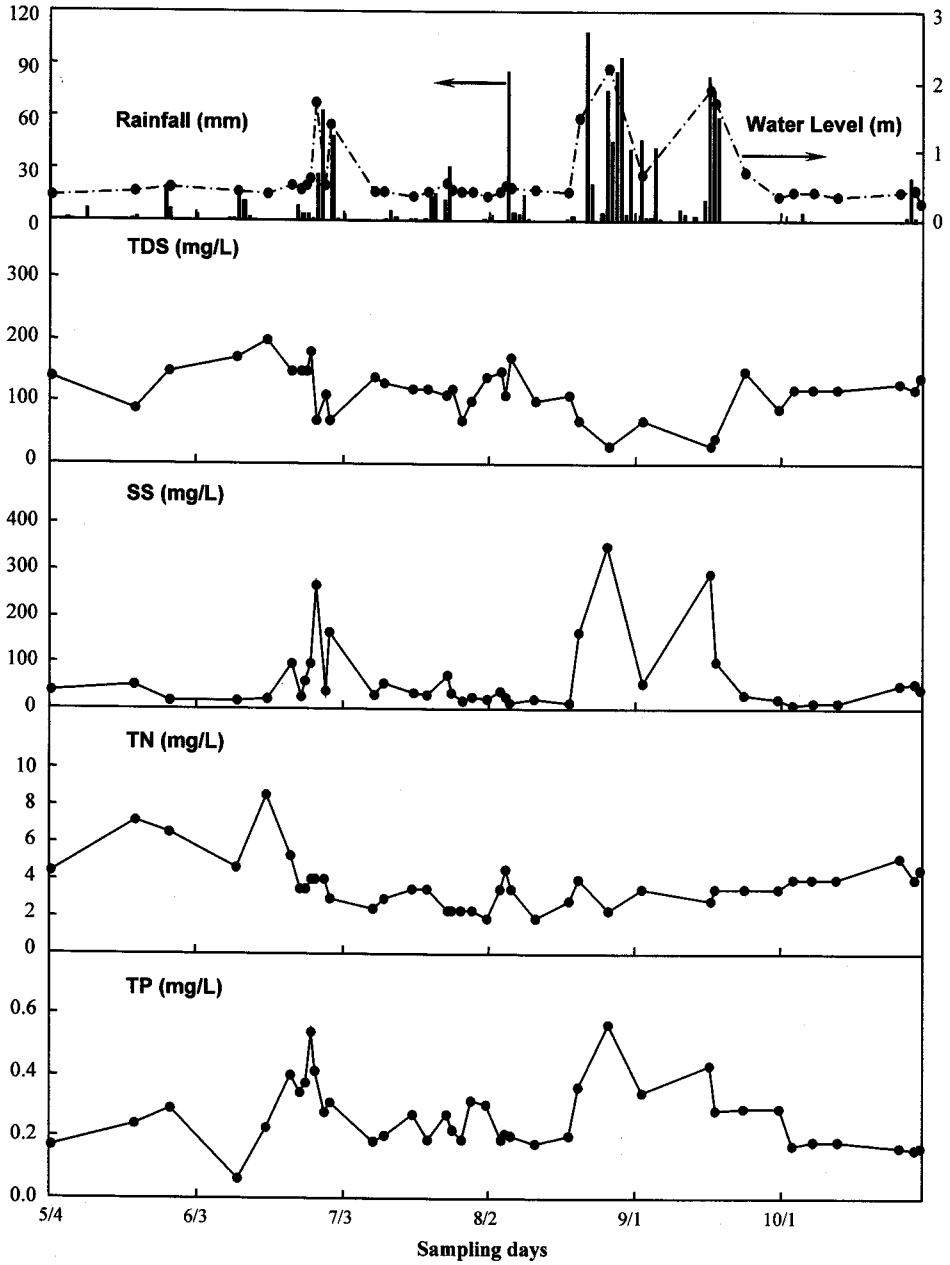

Fig. 3. Variation of the water quality in Sapgyo stream.

3. 결과 및 고찰

3.1. 하천의 시간적 수질변화 특성

3.1.1. 곡교천

Fig. 2는 2000년 곡교천의 강수활동에 따른 수위(유량)변화와 함께 TDS, SS, TN, TP농도를 나타낸 것이다. TDS와 TN은 5월에서 6월까지 즉, 본격적인 장마가 시작되기 전에는 매우 높은 농도를 나타내었고 장마개시 직후 갈수기 동안 하수관로나 지표면 등에 축적되어 있던 오염물질이 일시에 유출됨에 따라 급격한 농도증가 경향을 나타내다가 유량증가에 따라 점차 농도가 감소하였다. TDS의 경우 조사기간 동안 수위(유량)변화와 상반되는 변화패턴을 나타내었다. 한편 TP 농도는 유량변화와 유사한 패턴을 나타내었으며 8월 이후부터 유량변화에 크게 영향을 받지 않고 일정한 농도를 유지하였다. 한편 일반 농촌유역과는 달리 강우시 토사 유출로 인한 부유물질의 증가는 TN, TP의 증가에 전혀 영향을 미치지 않았다. Fig. 2의 결과와 마찬가지로 2001년과 2002년의 조사에서도 유사한 수질변화 특성을 나타내었다.

3.1.2. 삽교천

삽교천에서 주요 수질인자의 변화 특성을 Fig. 3에 나타내었다. TDS와 TN농도는 갈수기에 높게 나타났는데 평시에 유입되는 하수 등 유역 배출수의 오염도가 높기 때문이라고 판단되었다. TP의 증가는 유량과 SS의 농도에서 볼

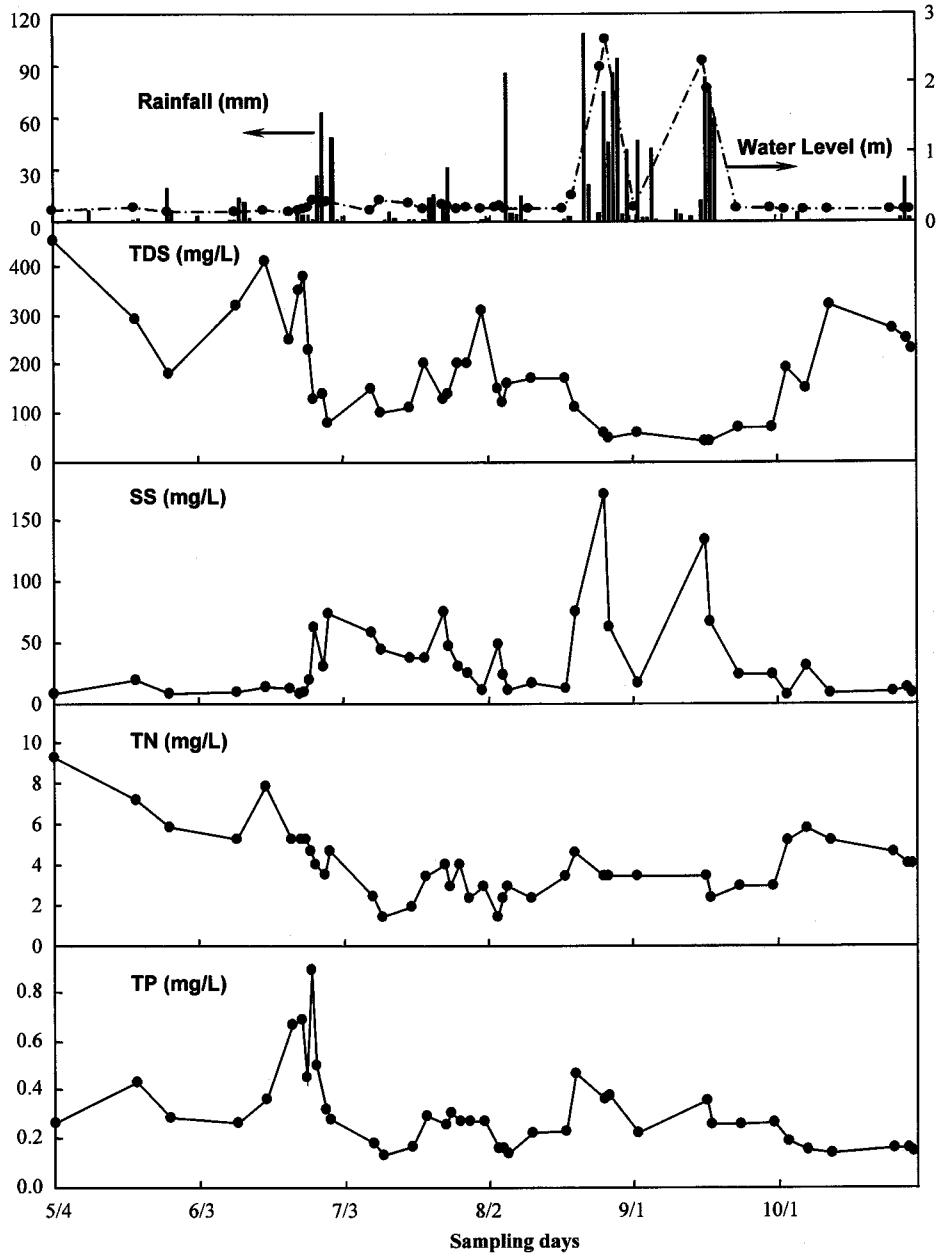

Fig. 4. Variation of the water quality in Muhan stream.

수 있듯이 강우시 농촌지역으로부터 대규모의 토사유출이 발생되는데 이로 말미암아 TP농도도 증가하고 있다. 결국 삽교천에서 TP의 증가는 강우에 의한 토사와 관련이 있음을 나타내고 있다. 따라서 TDS와 TN, TP의 수질변화특성을 살펴볼 때 삽교천의 경우는 도시를 관통하는 하천과 농경지를 관통하고 있는 하천의 특성을 모두 나타내고 있었다. 그렇지만 가뭄이 극심하였던 2001년에는 다른 변화양상을 나타내었는데 TN의 경우 2000년에 비해 5월과 6월 초순에는 오히려 낮은 농도를 보였는데, 그 이유는 가뭄으로 하천수의 관개용수 사용과 극심한 가뭄으로 경작지에서의 배출이 없었던 것이 원인이라고 여겨진다. TN과 TP농도는 변동을 보이기는 하였으나 연중 높은 수준을 유지하였으며, 강우에 의해 TP는 일시적인 고농도 유입, 그리고 TN은 저 농도 유입과 같수기에 고농도로 관측되었다.

3.1.3. 무한천

무한천의 수량과 수질은 시료채취 지점 인근에 위치한 농공단지와 저수지의 방류여부에 따라 크게 영향을 받기 때문에 소도시에서의 하천 특성과 농촌유역 관통하천의 특성을 나타낼 수 있다. 조사기간 동안 수량변화와 주요 수질항목의 변화특성을 Fig. 4에 나타내었다. 수위자료에서 첨두유량의 발생은 저수지의 방류에 기인된 것이다. 강우시 저수지의 방류가 없을 경우 무한천으로 유입되는 물은 대부분 도시의 강우 유출수이며 하천의 규모가 매우 크기 때문에 수위변화는 거의 나타나지 않았다. TDS와 TN의 농도는 저수지의 수위가 최고수위를 나타내는 기간동안 감소하는 경향을 보이는데 이는 희석효과에 기인하는 것으로 나타났다. TP의 경우 저수지의 방류로 인한 수위증가와 이에 따른 부유물질의 증가시에 동일하게 높은 농도를 나타내고 있어 수위 및 SS와 유사한 변화패턴을 나타내었다.

전술된 삽교호 유입하천의 월별 수질변동 자료를 이용하여 연중 수질변화 패턴을 일반화 하면 Fig. 5와 같다. 곡교천과 같이 대도시 관통하천인 경우 건기시에는 대체로 TDS와 TN농도가 매우 높고 건기기간 종료 후 우기 시작 직후에는 초기강우 유출효과에 의해 TDS, TN, TP의 농도가 매우 크게 증가하나 우기가 지속됨에 따라 TDS, TN농도는 점진적으로 감소하는 경향을 나타내었다. 강우시 지표면 유출로 인하여 부유물질 농도가 크게 증가하나 질소와 인의 농도에는 영향을 주지 않았다. 강우로 인하여 TP가 증가하지 않는 이유는 곡교천 유역에서 농경지의 기여가 크지 않기 때문으로 판단된다. 무한천의 경우도 변동 폭은 적지만 곡교천과 크게 다르지 않는 변화패턴을 나타내었다.

한편, 소도시와 농경지를 흐르는 삽교천의 수질변동 패턴은 농촌 소하천과 도시관통 하천의 중간적 특성을 가지고 있는 것으로 나타났다.[7] 하천유량이 적을 때 TDS, TN 농도는 매우 높고 우기 시작 후 초기강우 유출효과 등은 곡교천과 같으나 강우시 TP 농도가 크게 증가하는 특징을 나타내었다. 이것은 강우시 농경지로부터 유실되는 토사의 영향에 기인하는 것으로 판단된다. 삽교천에서는 강우시 부유물질의 농도가 크게 증가하는 특성을 보이고 있다.

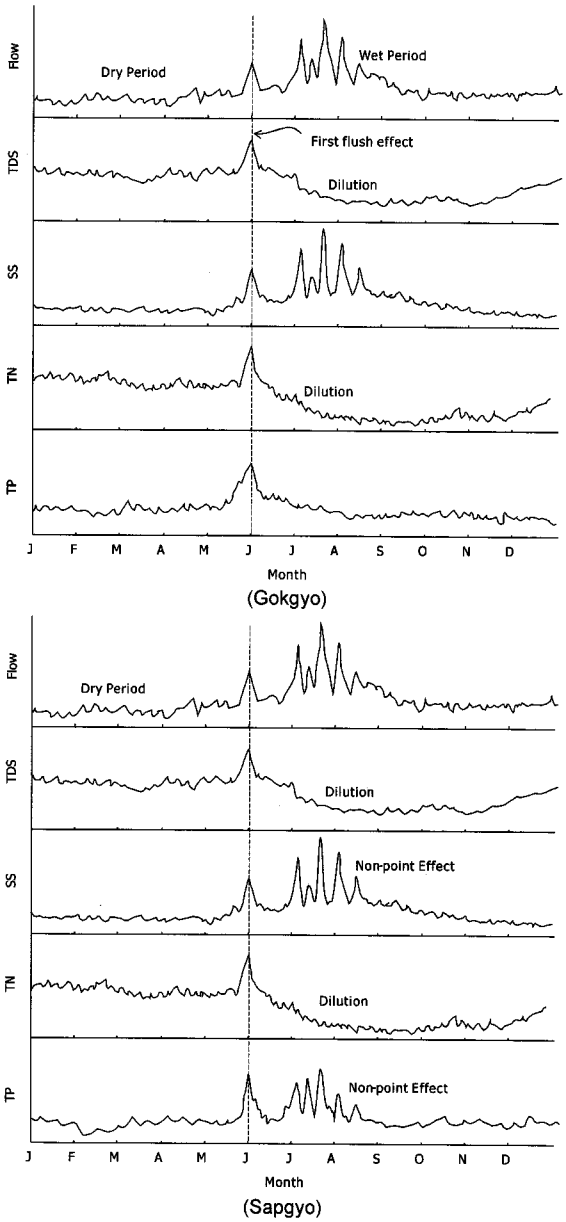

Fig. 5. Characterization of the water quality in study streams.

이처럼 하천 유역이 도시 또는 농촌지역의 여부에 따라 유출수의 농도 및 함량변화가 다르게 나타나는 것은 강우현상 또는 유역의 토지이용과 밀접과 관련되는 것으로 알려져 있다.[8~13] 또한, 하천수질 및 물질별 함량변화는 유역의 형상계수 또는 하천밀도 등과 밀접한 관계가 있어 형상계수가 커질수록 총질소의 함량이 증가하는 경향이 있으며,[8,10,11] 오염 배출원과의 거리와 수중의 물질농도는 역비례관계가 있다.[14]

3.2. 하천 수질의 통계학적 분포 특성

불확실성을 포함하고 있는 일련의 수문 및 수질 측정자료를 정량화하기 의하여 통계학적 기법이 사용되었다. Fig. 6에는 연구대상 하천 중 삽교천을 대상으로 연구기간 동안 측정된 수온, pH, 알칼리도, 용존산소, TDS 등과 같은 기

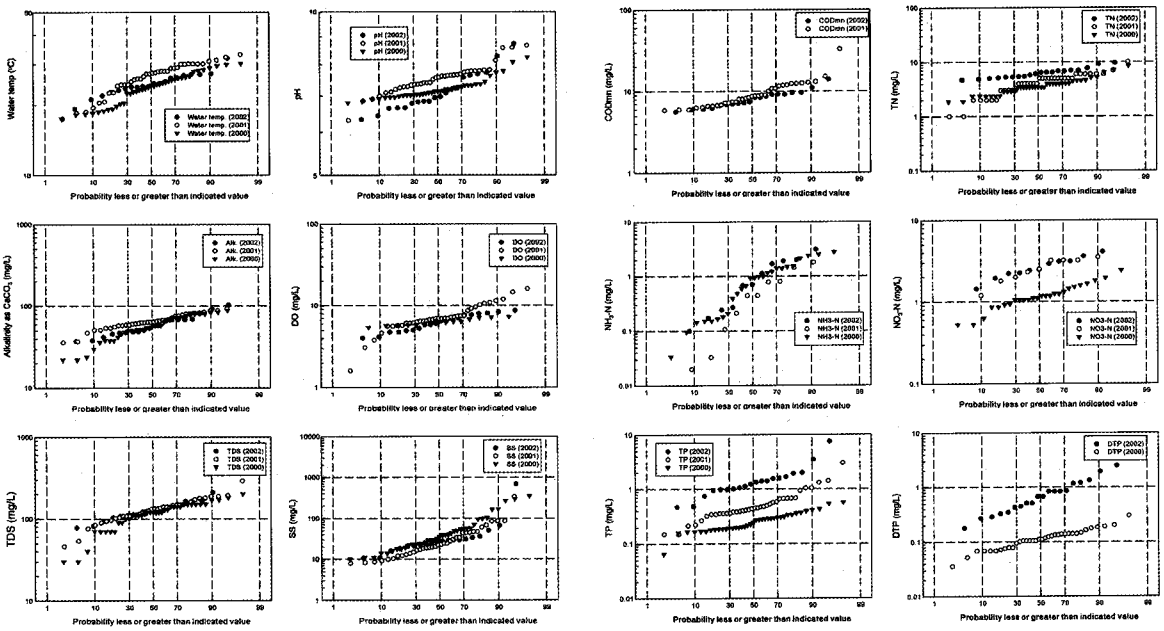

Fig. 6. Cumulative probability distribution of water quality in Sapgyo Stream(2000～2002). See number of the samples in Table 1.

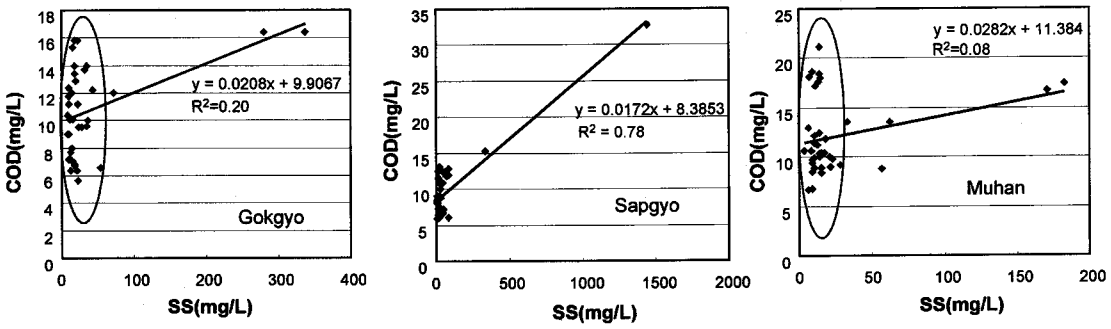

Fig. 7. Relationship between SS and COD.

초항목 자료와 SS, COD_{Cr}, TN, NH_3-N, NO_3-N, TP, DTP의 자료를 누적 확률지에 도시하였다. Fig. 6에서 보는 바와 같이 대부분의 자료가 직선을 나타내고 있어 로그 확률분포를 가짐을 알 수 있다.

곡교천과 무한천의 경우에서도 동일한 수질 분포양상을 나타내었다. 앞서 제시한 방법에 의하여 삽교호 유입 하천수의 수질변화 특성을 정량화하기 위하여 기초 환경자료를 포함한 SS, COD, TN, NH_3-N, NO_3-N, TP, DTP, PO_4-P 자료의 median 농도, 90% 농도, 표준편차, Cov(coefficient of variation) 값을 계산하여 Table 2에 나타내었다.

3.3. 오염물질의 형태적 특성

3.3.1. 유기물질

Fig. 7에는 삽교호 유입하천의 부유물질과 유기물질과의 관계를 나타내었다. 곡교천과 무한천의 경우에는 부유물질의 농도와 관계없이 상하로 분포하고 있는데, 이는 용존성 유기물질이 일정한 비율로 유입된 것을 의미한다. 한편, 삽교천에서는 유기물질의 변화폭이 매우 적으며 유기물질의 증가는 부유물질 농도의 매우 높은 증가와 관련이 있었다. 따라서 곡교천과 무한천에서는 부유물질을 저감하기 위한 침전시설의 설치는 유기물질 저감에 도움이 되지 못하나, 삽교천에서는 강우시 매우 효과적일 것으로 판단되었다.

3.3.2. 질소

삽교호 유입하천에 질소의 형태 변화를 살펴보기 위하여 총질소(TN) 분석자료와 총용존성 질소(DTN) 자료의 상관관계를 조사하였다. 총용존성 질소는 용존 유기질소, 이온성 질소(NH_4^+, NO_2^-, NO_3^-) 전체를 분석한 것으로 총질소 중에 용존상태로 존재하는 질소를 나타낸다. Fig. 8에는 2000년에 조사된 TN 자료와 DTN 자료를 나타내었는데 모든 삽교호 유입하천에서 TN의 증가는 DTN의 증가와 관련이 있음을 보여주고 있다. TN과 DTN자료를 최적으로 통과하는 직선의 기울기는 두 성분의 평균 조성비를 나타낸다. 곡교천에서는 TN의 약 60%가 DTN이고 나머지 약 40%가 입자성 질소이다. 삽교천에서는 TN의 약 40%, 그리고 무한천에서는 약 50% 정도가 DTN임을 알 수 있는데 TN 농도가 증가할수록 일정한 비율로 DTN 농도가 증가하였음을 나타내고 있다.

Table 2. Summarized statistics of the water quality in study streams(2000～2002)

Parameters	Statistical	Gokgyo	Muhan	Sapgyo
Water Temperature (℃)	Median	24.6～28.1	24.9～28.5	24.3～27.3
	90%	28.7～31.3	28.7～31.5	27.1～30.3
	SD*	3.3～4.1	2.9～4.1	2.7～4.8
	CV.**	0.1～0.2	0.1～0.2	0.1～0.2
pH	Median	7.04～7.45	6.98～7.59	6.97～7.57
	90%	7.45～7.73	7.37～8.29	7.65～7.92
	SD.	0.30～0.44	0.43～0.48	0.32～0.62
	CV.	0.04～0.06	0.06～0.07	0.04～0.09
Alkalinity (mg/L as $CaCO_3$)	Median	70～93	65～70	56～64
	90%	122～164	100～126	81～85
	SD	31～40	25～43	18～48
	CV.	0.4～0.4	0.4～0.5	0.3～0.7
TDS (mg/L)	Median	190～222	165～317	120～133
	90%	311～342	323～801	154～182
	SD	56～180	106～297	40～114
	CV.	0.4～0.7	0.6～0.8	0.3～0.7
SS (mg/L)	Median	15～36	14～23	23～35
	90%	32～102	40～76	52～164
	SD	21～77	29～38	79～234
	CV.	1.0～1.8	0.9～1.6	1.2～3.1
DO (mg/L)	Median	4.82～6.56	5.70～6.97	6.15～6.95
	90%	6.11～11.30	6.45～12.13	7.18～11.15
	SD	1.10～3.01	1.03～3.21	0.60～2.89
	CV.	0.21～0.42	0.25～1.17	0.10～0.38
COD (mg/L)	Median	8.7～10.3	9.0～10.5	7.9～8.7
	90%	11.4～15.5	12.8～18.0	9.8～12.7
	SD	2.2～3.2	3.0～4.2	2.0～4.7
	CV.	0.3～0.3	0.3～0.4	0.2～0.5
TN (mg/L)	Median	6.9～8.0	3.7～6.4	3.5～6.2
	90%	10.5～16.3	5.8～9.0	5.2～7.8
	SD	2.7～4.4	1.6～1.7	1.4～1.8
	CV.	0.3～0.5	0.2～0.4	0.2～0.4
NH_3-N (mg/L)	Median	1.69～2.90	1.32～2.53	0.44～0.93
	90%	7.27～9.05	3.07～5.26	1.47～2.25
	SD.	2.33～3.69	1.26～2.15	0.60～0.97
	CV.	0.56～0.96	0.77～0.81	0.84～1.00
NO_3-N (mg/L)	Median	0.96～2.24	0.53～1.99	1.14～2.50
	90%	1.37～2.80	1.76～3.32	1.73～3.60
	SD	0.39～0.87	0.75～0.87	0.43～0.78
	CV.	0.26～0.50	0.39～0.91	0.29～0.36
TP (mg/L)	Median	0.5～1.7	0.3～0.9	0.2～0.4
	90%	1.2～4.2	0.5～2.2	0.4～2.2
	SD.	0.6～1.4	0.2～0.8	0.1～1.5
	CV.	0.5～0.9	0.5～0.6	0.4～0.9
DTP (mg/L)	Median	0.26～1.21	0.12～0.41	0.11～0.67
	90%	0.50～1.72	0.24～1.19	0.18～1.40
	SD	0.22～0.70	0.08～4.44	0.05～0.59
	CV.	0.50～0.57	0.66～0.71	0.42～0.73
PO_4-P (mg/L)	Median	0.30～0.74	0.11～0.12	0.09～0.10
	90%	0.50～1.89	0.12～1.33	0.26～0.36
	SD	0.18～1.66	0.05～0.55	0.09～0.19
	CV.	0.52～1.39	0.58～1.33	0.74～1.29

*Standard Deviation, ** Coefficient of Variation

DTN/TN 비율과 NH_3-N, NO_3-N 농도자료를 이용하여 유입하천별 DTN에 대한 %성분을 살펴보면 곡교천에서 DTN의 41～60%가 NH_3-N이고 NO_3-N이 23～46%를 나타내어 암모니아성 질소가 많은 것으로 나타났으나 삽교천에서는 NH_3-N이 약 30%이고 반면에 NO_3-N이 81～100%를 보였다. 무한천의 경우에는 대부분이 NH_3-N 형태로 나타났다. 농촌지역의 소하천에서는 유역면적이 적어 유달시간이 짧은 경우에 NH_3-N 형태의 함량이 높게 나타난다고 보고 된 적이 있으며[7] 본 조사의 결과에서도 오염물질 배출원과의 거리에 따라 NH_3-N의 농도변화가 발생하였다.

유량변화에 따른 질소변화를 살펴보기 위하여 각각의 하천에서 측정된 수위와 TN농도와의 관계를 Fig. 9에 나타내었다. 곡교천과 삽교천에서는 유량의 증가에 의해 TN농도의 감소가 분명히 나타나고 있으며, 무한천에서는 저수지의 방류에 의한 유량증가로 인해 약간 모호하게 보이나 TN농도의 감소경향이 있었다. 곡교천에서는 수위가 약 2배 증가할 때 TN 농도는 2배가량 감소하였으며 삽교천에서도 비슷한 경향을 나타내었다.

3.3.3. 인

Fig. 10에는 삽교호 유입하천에서 조사된 TP와 DTP를 나타내었는데 TN과 DTN의 자료와는 달리 자료의 분산이 매우 크게 나타났다. 삽교천에서는 TP의 변화와 DTP의 변화는 상관성이 전혀 나타나지 않았다. 따라서 삽교천 유량변동 또는 계절별로 침강성 물질과 관련된 인(입자성 TP) 성분과 DTP 성분의 변화가 독립적으로 이루어지고 있음을 알 수 있다. 한편, TP에 대한 DTP의 비율은 곡교천과 무한천에서 각각 35%이며, 나머지 65%는 입자성 인으로 볼 수 있다.

유량(수위)과 총인 농도 사이의 상관관계를 Fig. 11에 나타내었는데 곡교천에서는 유량이 증가함에 따라 TP가 감소하는 경향을 보였으나 삽교천에서는 수위가 낮은 경우에는 TP농도는 산만한 분포를 보이다가 수위 증가시 크게 증가하는 양상을 나타내었다. 무한천에서는 TN과 마찬가지로 저수지의 월류 여부에 따라 총인 농도가 결정되는 것으로 나타났다.

3.5. 자료의 활용

지금까지 호수의 수질정화는 호내 또는 유입수의 직접정화 방식과 유역관리 방안이 주로 이용되어 왔다. 그러나 본 연구에서와 같이 유입 하천수의 수질현황과 수질변화특성을 조사하여 수질정화 방안을 도출한 사례가 국내에서는 많지 않다. 그것은 호수의 수질이 일반적인 처리시설을 도입하기에는 매우 낮은 농도수준에 있고 강우기에 일시에 유입되는 하천수를 처리대상으로 하기도 어렵기 때문이지만 지점과 조사빈도를 적정한 수준에서 수행하는데 현실적으로 많은 제약이 따르기 때문이다. 한편, 농업용수원으로 이용되고 있는 하구호는 국내의 다른 대형 인공댐호와는 다른 수질특성과 농도분포를 보이고 있다.[15,16] 하구호는 상

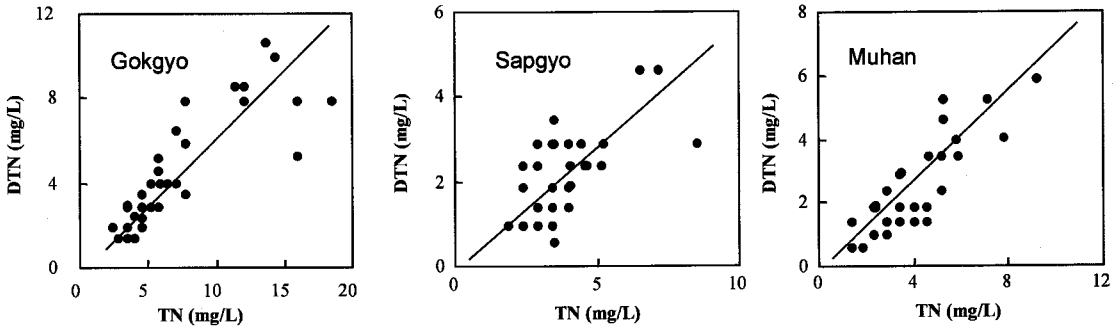

Fig. 8. Relationship between total and dissolved nitrogen.

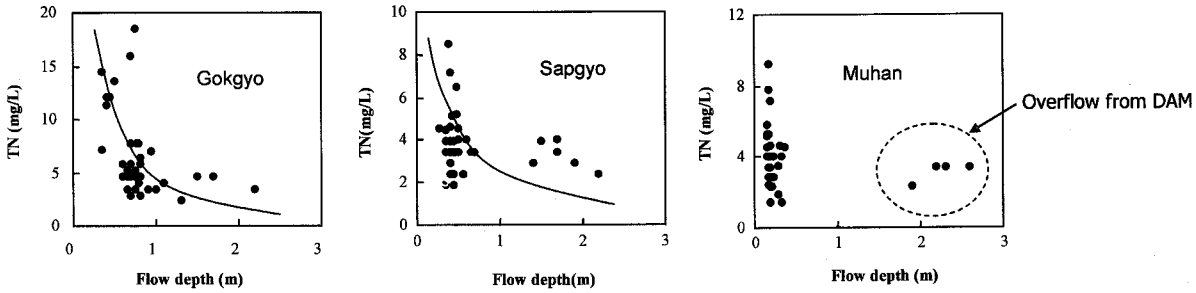

Fig. 9. Relationship between total nitrogen and flow depth.

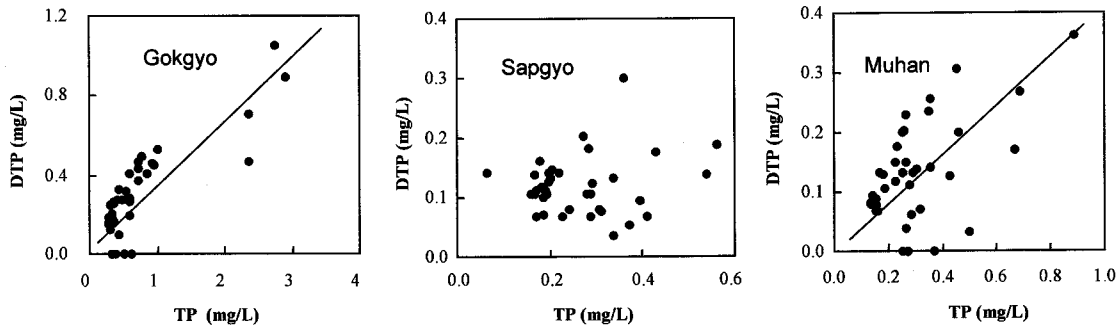

Fig. 10. Relationship between total and dissolved phosphorus.

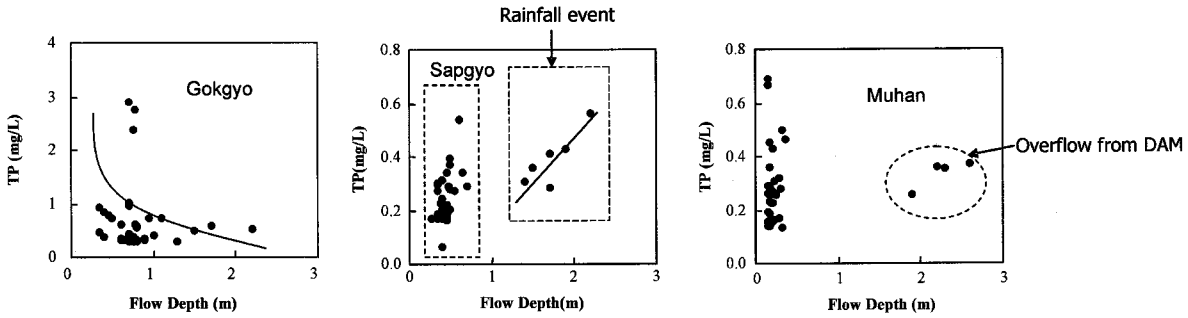

Fig. 11. Relationship between flow depth and total phosphorus.

수원으로 이용되는 댐호보다 유역면적이 넓어 오염물질의 단위유입량이 많고 따라서 수질이 비교적 열악한 상태에 있다. 다만 수위의 변동이 적어 수변이 비교적 잘 발달하여 있고 하천변이나 유입부 등에는 자연정화에 의한 수질정화기법을 도입할 여유부지가 풍부하여 이러한 공간을 활용한 처리시설의 도입이 요구되고 있다.

이러한 부지를 활용한 처리시설의 도입을 위해서는 유입하천수의 수질 수준과 오염특성에 대한 이해가 필수적인데 아직 국내에서는 이러한 자료를 기반으로 하여 호수 수질개선을 시도한 사례가 거의 없다. 앞서 기술한 바와 같이 하구호는 호수면적에 비하여 상대적으로 유역면적이 넓어 강우기에 체류시간이 급격히 줄어들고, 반면에 대부분의 농

업용수 관개기에 해당하는 갈수기에는 지나치게 체류시간이 길어지는 특성을 갖고 있다. 국내 하구호의 수질은 이러한 갈수기에 급격히 악화되며, 오염물질의 부하량이 많은 강우기와 그 이후에는 오히려 수질이 양호한 상태에 있다. 또한 이러한 체류시간의 증가에 의한 정체효과는 하구호의 하천유입부에서 가장 크게 나타나 유입부의 수질이 호수의 하류보다 수질이 악화되는 현상이 관찰된다.[17] 따라서 하구호의 수질개선을 위한 처리시설의 도입은 강우기보다는 건기의 인과 질소와 같은 오염물질 제거를 위해 노력해야 한다. 특히 삽교호와 같이 인과 질소 등의 영양물질이 높은 농도를 보이는 유입하천수를 갖는 하구호에서는 유입수의 처리를 위한 자연정화시설의 도입이 필요하다.

하구호의 수질관리와 유입하천의 수질개선 사업의 수행 시 대두되는 문제의 하나가 대표수질을 결정하기 위한 유입하천수의 조사빈도 및 조사시기의 결정이다. 현재까지는 과학적인 근거 없이 하천의 규모에 따라 연 중 월별 조사만을 규정하고 있는 실정이다. 특정 하천의 대표수질을 확보하기 위하여 조사빈도가 많으면 많을수록 유리하겠지만 재정적인 현실 등을 감안할 때 시료채취와 분석에 소요되는 노동력과 비용을 최소화하면서 가급적 대표수질과의 오차를 최소화할 수 있는 방향으로 결정되어야 한다.

따라서 본 연구자료 중에 시료채취 및 분석오차가 가장 작고 총질소의 농도를 예측하는데 용이한 TDS자료와 총인의 변동을 쉽고 빠르게 판단할 수 있는 SS(또는 탁도-현장측정이 용이하고 SS와의 상관성이 높기 때문) 자료를 대표항목으로 설정하는 것이 바람직 할 것이다. 항목별 Median 값을 건기와 우기로 나누어 대표농도로 설정하면 적절한 채취시점과 빈도를 추정하는데 유리하다. 본 조사의 결과 TDS는 유량변동과 밀접한 관련을 가지므로 건기에는 월 1회 정도의 조사로 충분하며, 우기에는 강우 직후와 유량이 평시의 수준으로 회복되는 시기를 포함하여 2~3회 실시하는 것이 바람직할 것이다.

4. 결 론

수중의 이온농도를 나타내는 TDS는 곡교천의 경우 190~222 mg/L(변동계수 : ±40~70%), 무한천의 경우 165~317 mg/L(변동계수 : ±60~80%), 삽교천의 경우 120~133 mg/L(변동계수 : ±30~70%)를 각각 나타내었는데 무한천의 경우가 변동 폭이 가장 컸다.

부유물질은 불투수층 지역에서의 초기강우에 의한 유실과 경작지로부터의 토양 침식 등 강우활동에 의해 크게 영향을 받아 큰 변동을 나타내었다. 용존산소는 40~70%의 포화도를 나타내었다. 유기물질량을 나타내는 COD는 Median 농도로 곡교천 8.7~10.3 mg/L, 무한천 9.0~10.5 mg/L, 그리고 삽교천이 7.9~8.7 mg/L를 나타내었다.

총질소 농도는 Median 농도로 곡교천이 6.9~8.0 mg/L, 무한천이 3.7~6.4 mg/L, 그리고 삽교천이 3.5~6.2 mg/L를 나타내었다. 변동폭은 곡교천이 가장 크게 나타났으며 무한천과 삽교천은 ±20~40%를 나타내었다. 암모니아 질소는 삽교천이 가장 낮은 0.44~0.99 mg/L이고 문학천은 1.32~2.53 mg/L이었다. 곡교천은 가장 높은 1.69~2.90 mg/L를 나타내었으며 총질소와 마찬가지로 변동폭도 가장 컸다. 반면에 질산성질소는 삽교천에서 1.14~2.50 mg/L로 가장 높게 나타났다.

총인은 삽교천이 0.2~0.4 mg/L, 무한천이 0.3~0.9 mg/L, 곡교천이 0.5~1.7 mg/L의 농도 분포를 보였다.

사 사

본 연구는 농어촌연구원 "저수지와 담수호의 수질개선방안 연구 사업"의 지원으로 수행되었고 부분적으로 추가조사 및 자료의 정리분석 등은 21세기 프론티어 연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비지원(과제번호# 1-5-2)에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

1. 윤경섭, 김영철, "저수지와 담수호의 수질개선방안"(최종 보고서), 농업기반공사, 농어촌연구원(2000).
2. 농림부, "전국 농업용수 조사보고서"(2001).
3. 농업기반공사, 농어촌연구원 "저수지와 담수호의 수질개선 방안"(2002).
4. 윤경섭, 김선주, "농어촌지역 소하천의 환경정비기법 개발," 농어촌연구원, 농업기반공사(1998).
5. APHA, AWWA and WEF, Standard Methods for Examinations of Water and Wastewater, 20th edition, Washington D.C., USA(1998).
6. 환경부, 수질오염 공정시험법(1999).
7. 김영철, 박재홍, 이동률, "농업용 저수지 소하천의 통계학적 수질변화 특성," 한국물환경학회지, **19**(6), 685~697(2003).
8. 이호준, 방제용, "이원천 유역의 하천수질에 미치는 지형요인," 한국생태학회지, **22**(3), 101~108(1999).
9. 정용태, 이용환, "강우시 하천수질의 변동특성(II)," 환경관리학회지, **5**(2), 247~250(1999).
10. 이호준, 방제용, 김용옥, "토지이용이 이원천 유역의 하천수질에 미치는 영향," 한국생태학회지, **22**(5), 235~240(1999).
11. 임양재, 김윤동, 방제용, "경안천 유역의 토지이용에 따른 하천수질의 변화," 한국생태학회지, **18**, 341~352(1995).
12. 황선출, 이봉헌, 박원우, 이성욱, 이부용, 박홍재, "부산지역 3개 하천의 수질 특성 비교," 한국환경과학회지, **7**(2), 165~169(1998).
13. 한상욱, 홍사욱, "도시 하천의 수질특성에 관한 연구(I)-중랑천을 중심으로-," 한국육수학회지, **18**(3), 1~14(1985).
14. Osborne, L. L. and Wiley, M. J., "Empirical relationships between land use cover and stream water quality

in an agricultural watershed," *J. Environmental Management*, **26**, 9~27(1988).
15. 박병흔, 장정렬, 권순국, "저수지 수질개선을 위한 저수지내 침전지 조성," 한국농공학회지, **42**(1), 73~82(2000).
16. 이재수, 김영철, 황길순, "장마 전후의 농업용 저수지 퇴적물의 변화분석," 대한토목학회논문집, **23**, 359~368(2003).
17. Kors, L. J. and Bosch, A. D., "Catchment protechtion of a multi-functional reservoir," *J. Water SRT-Aqua*, **44**(1), 80~84(1995).