

## 경안천의 오염현황

이동석<sup>†</sup> · 박갑성

한국의국어대학교 환경학과

## Status of Water Pollution of Gyeongan River, Korea

Dong-Seok Yi<sup>†</sup> · Kap-Song Park

Dept. of Environmental Science and Engineering, Hankuk University of Foreign Studies  
(Received 16 June 2004, Accepted 22 October 2004)

**Abstract** : At five stations in Gyeongan River, a tributary of Lake Paldang, physicochemical and biological environmental factors of water, particulate matters, and sediments were investigated biweekly from April 11 to December 22 in 2001. The studied area was characterized as a stream-lake system. The system is primarily referred to a place where the environmental factors had considerably changed depending on the amount of precipitation. As a result, the river turned out to be strongly eutrophicated. Also, some characteristics of the water and the particulate matters at midstream such as average concentrations of conductivity, nutrients, and chlorophyll *a* were higher than the characteristics of up and down-stream. However, the concentrations of organic matters and ratio of clay and silt of the midstream were determined to be higher than up and down-stream sediments. As the result of the factor analysis, 4 major different patterns for environmental factors are found from samples of water, particulate matters, and sediments.

**keywords** : Environmental factors, Eutrophication, Gyeongan River, Water, Particulate matters, Sediments

### 1. 서 론

수계의 부영양화는 외부로부터 영양염류가 유입되어 식물플랑크톤을 비롯한 미생물의 과도한 번식과 내부생성 유기물의 양이 증가하여 수중생태계의 구조와 기능의 불균형을 초래하는 현상을 말한다. 수계의 부영양화가 진행될수록 과도한 유기물의 생성으로 발생하는 침전량의 증가와 그에 따른 미생물의 분해로 인한 산소의 고갈은 심미적 효과와 더불어 호소의 이용가치 저하 등의 문제를 야기한다.

팔당호의 대표적 지류인 경안천은 지형적으로는 상류에서 중류까지 주변 농경지의 용수공급을 위해 많은 수중보가 설치되어 물의 흐름이 단절되었고, 하류로 갈수록 하천이 곡선의 형태로 흐르고 하폭 또한 급격하게 넓어져 자체생성 유기물의 발생이 증가하기 좋은 특성을 가지고 있다(NIER, 1995). 또한 유역 주변에는 약 20만 명의 인구, 100만 마리의 가축, 500여개의 사업체 등 다양한 오염원이 분포하고 있어 부영양화의 가속화가 예상되고 있다.

경안천 수계의 오염도를 파악하기 위해 진행되어온 연구를 살펴보면 문 등(1992)은 월 수질조사를 통해 BOD에 의한 상류지역 유기물 오염의 심각성을 보고한 바 있으며, 신 등(2000)은 경안천의 오염양상과 그 특성을 밝히고자 부영양화와 관련된 항목을 중심으로 수질오염 특성을 파악하였다. 이 등(2001)은 유기물 생성의 근원이 되는 식물플

랑크톤의 일차생산력을 측정하여 자체생성 유기물에 의한 경안천 수질의 오염도에 대해 보고하였다.

그러나 지금까지 경안천에 대한 연구는 수층의 오염도 파악에 국한되어 수행되어 왔으며, 입자물질이나 퇴적물과의 관계를 통해 수계 내의 오염과정을 파악할 수 있는 연구는 없었다. 따라서 본 연구에서는 경안천의 상류에서 하류까지 5개의 지점을 선정하여 수층, 입자물질과 퇴적물의 3가지 상태로 구분하여 부영양화 정도와 오염현황에 대하여 알아보고 수계의 전반적인 특성을 파악해 보고자 실시하였다.

### 2. 재료 및 방법

#### 2.1. 조사시기 및 정점

본 연구는 2001년 4월 11일부터 12월 22일까지 동절기를 제외한 시기에 격주 간격으로 실시하였다. 조사장소는 경안천을 대표하는 5개 지점으로 상, 중, 하류를 대표하는 지점 1, 3, 5와 용인시 하수종말처리장의 아래에 위치한 지점 2, 경안천 제 1의 지천인 곤지암천의 최하류에 위치한 지점 4였다(Fig. 1).

#### 2.2. 물리·화학적, 생물학적 환경요인

측정항목으로 먼저 현장에서 수층의 물리·화학적 환경요인들로 표층수의 pH, 전도도 및 용존산소를 각각 pH meter(Orion, 920A), 전도도 meter(Orion, 125)와 DO meter(Orion, 810)를 사용하여 측정하였다. 영양염류인 암모니아

<sup>†</sup> To whom correspondence should be addressed.  
yids817@hanmail.net

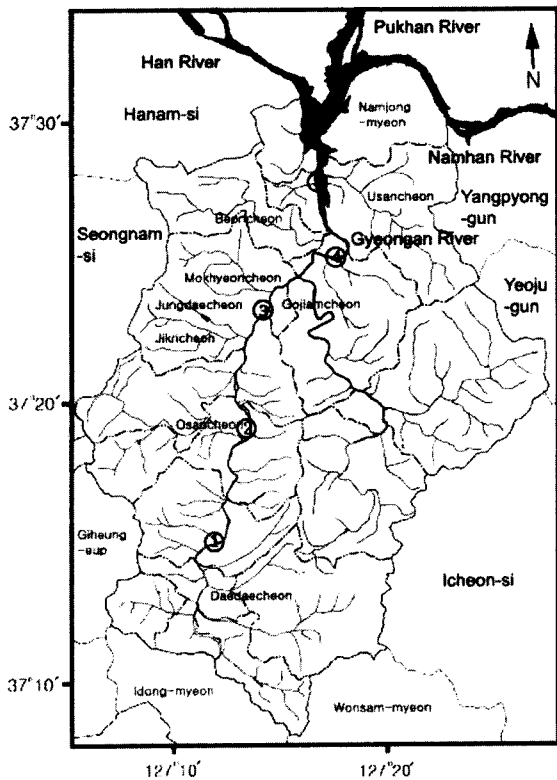


Fig. 1. Location of five sampling stations in Gyeongan River.

성 질소( $\text{NH}_4^+-\text{N}$ ), 질산성 질소( $\text{NO}_3^--\text{N}$ ), 아질산성 질소( $\text{NO}_2^--\text{N}$ ), 무기 인산염( $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$ )은 각각 Standard Methods (APHA *et al.*, 1998)의 phenate method, nitrate electrode method, colorimetric method와 ascorbic acid method를 이용하여 분석하였다.

입자물질과 관련된 항목으로 광합성 색소량(chlorophyll *a*)은 90% acetone으로 24시간 색소를 추출한 뒤 흡광광도계(Shimadzu, UV-160A)를 사용하여 측정하였다(Jeffrey and Humphrey, 1975). 총 유기탄소(total organic carbon)는 TOC meter(Sievers, Model 800)를 사용하여 측정하였다. 부유물질(suspended solids)은 GF/F 필터로 여과한 후 무게차를 구하여 측정하였다.

표층 5 cm의 이내에서 grab sampler로 채취한 퇴적물은 50°C의 건조기 안에서 충분히 건조시킨 후 2 mm의 체로 걸러준 다음 사용하였다. pH와 전도도는 건조 퇴적물에 증류수를 가하여 1:5 (w/v)의 비율로 만든 후 pH meter와 전도도 meter를 이용하여 측정하였다.

유기물 함량은 퇴적물에  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 과 농황산을 가한 뒤 여과한 여과액을 흡광광도계로 분석하는 Walkley-Black method를 이용하여 측정하였다(Nelson and Sommers, 1982).

토성분석은 퇴적물 10 g을  $\text{H}_2\text{O}_2$ 와 sodium hexameta-phosphate를 가한 뒤 진탕하여 분산시킨 후 1 L의 메스실린더와 지름 0.05 mm의 체를 이용하여 구한 값들을 미국 농무성 (UDSA)의 토성 분류 삼각도를 사용하여 결정하였다(Gee and Bauder, 1982).

실험 결과들의 통계 분석을 위해 컴퓨터 프로그램인 SPSS Ver. 10.0을 사용하여 One-way ANOVA 분석과 회전방식인 Varimax 방법으로 요인분석(factor analysis)을 실시하였다.

### 3. 결과 및 고찰

경안천의 수심은 하류에 위치한 지점 5를 제외한 대부분의 지점에서 갈수기에 평균수심이 1 m 이하로 나타났다. 유속은 상류에서 중류까지는 육안으로 관찰되나 지점 간에 다수의 수중보가 설치되어 물의 유동이 감소하고 있었다. 최하류에 위치한 팔당호 유입부인 지점 5에서 역시 홍수기와 팔당호 댐 수문조작 시기를 제외하고는 물의 유동이 급감하여 반 폐쇄적 정체수역을 이루고 있었다.

계절별로는 강우가 빈번했던 하계의 경우 모든 지점에서 팔당댐의 주기적 방류로 인해 빠른 유속이 관찰되는 전형적인 하천의 성격을 보이고 있었다. 하계를 제외한 대부분 시기에는 수중보와 팔당댐의 방류량 감소로 인한 체류시간의 증가로 안정된 수층을 형성하는 호수적 특성이 관찰되었다.

#### 3.1. 환경요인들의 계절별 변화

5개 지점에서 수층, 입자물질, 퇴적물의 물리·화학적 생물학적 환경요인들을 계절별로 평균한 결과 강우에 의한 영향을 뚜렷하게 볼 수 있었다(Fig. 2). 40 mm/일의 많은 강우량을 보인 6월 말, 7월 말, 8월 초, 10월 초의 경우 전도도, 용존 무기 질소와 인산염, 광합성 색소량 등 대부분의 항목에서 타시기에 비해 낮은 수치를 보이고 있었다. 퇴적물에서 유기물 함량의 경우 역시 강우가 집중되었던 하계에 평균값이 감소하는 경향을 보였다.

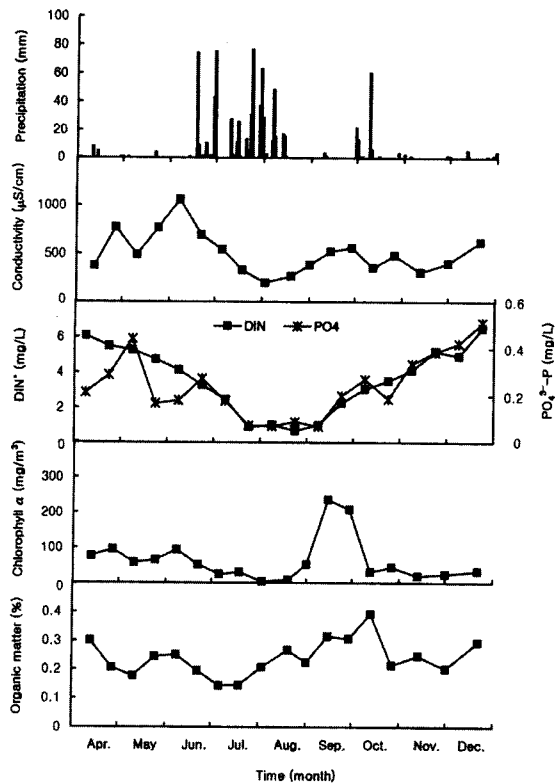
그래프로 나타낸 항목 이외의 용존산소, 총 유기탄소, 부유물질의 환경요인들에서도 이러한 경향이 뚜렷이 관찰되었다. 이것은 모두 하절기 집중되는 강우로 인한 유량 증가로 농도가 희석된 결과로 판단된다.

따라서 경안천의 경우 일반적인 우리나라의 하천과 같이 강우가 계절적 편중되며, 하천의 하상계수가 매우 크기 때문에 강우가 집중되는 시기를 제외하고는 평수기 이하의 유량이 장기화 되어 점오염원의 영향이 중요한 부분을 차지할 것으로 판단된다(신 등, 2000; 임 등, 2000).

한편, 남조류의 번성으로 광합성 색소량이 증가한 9월 이후 퇴적물의 유기물 함량 역시 다소 증가하고 있었다. 10월 초의 경우 많은 강우량을 보였지만 지점 1과 5에서 모두 높은 유기물 함량(data not shown)을 기록하여 가장 높은 평균값을 보이고 있었다. 한편 영양염류는 동계에 식물 플랑크톤 등 생물체의 활동 저하로 인한 이용 감소로 농도가 점차 증가하고 있었다.

#### 3.2. 환경요인들의 장소별 변화

장소별로는 수층의 전도도와 영양염류의 경우 지점 2, 3, 4



**Fig. 2.** Biweekly average concentrations of conductivity, \*dissolved inorganic nitrogen ( $\text{NH}_4^+ + \text{NO}_2^- + \text{NO}_3^- - \text{N}$ ) and orthophosphate in water, chlorophyll *a* in particulate matter and organic matter in sediment of five sampling stations in Gyeongan River from Apr. to Dec. in 2001.

에서 평균값이 가장 높았으며, 입자물질의 광합성 색소량, 총 유기탄소, 부유물질의 경우 지점 3, 4에서 농도가 급격히 증가하고 있었다(Table 1). One-way ANOVA 분석에서 유의수준 5%에서 전도도와 영양염류의 경우 장소별로 차이( $F=2.48, p<0.05$ )를 보이는 것으로 나타났다.

지점 2의 경우 상류에 위치한 36,000  $\text{m}^3/\text{d}$ 의 처리용량을 가진 용인하수처리장에서 BOD 429 kg/d, TN 1,975 kg/d, TP 118 kg/d을 배출한다(한강수계관리위원회, 2001). 더욱이 시설 용량의 부족으로 처리되지 않고 방류되는 월류량이 10,000  $\text{m}^3/\text{일}$ , BOD가 59.2 mg/L임을 감안할 때, 이곳 방류량의 영향으로 전도도와 영양염류의 평균값이 급격히 증가한 것으로 생각된다.

지점 3, 4의 경우 지점 2에서 유입된 과도한 영양염류의 유입은 하류로 갈수록 식물플랑크톤의 번성을 유발할 수 있는 호조건으로 작용하여 광합성 색소량, 총 유기탄소, 부유물질 등의 입자물질의 평균값이 증가한 것으로 판단된다. 한편, 지점 5에 이르러 대부분의 오염물질들 농도가 감소하였으며, 이것은 팔당호의 유량과 혼합되어 희석된 원인이 크게 작용한 것으로 생각된다.

그러나, 퇴적물의 유기물 함유량의 경우 지점 1과 지점 5에서 타 지점에 비해 높은 평균값을 보이고 있었다. 이러한 결과는 지점 1의 경우 하천의 폭이 좁으며, 수중보가 위치한 지점으로 강우 시 상류에서 오염물이 축적되어 높은 유기물 함유량을 기록한 것으로 판단된다. 지점 5의 경우에는 경안천 최하류로 하폭이 급격히 넓어지며 유속이 느려지기 때문에 강우에 의한 상류의 퇴적물이 축적되어 높

**Table 1.** One-way ANOVA analysis of the environmental factors of three phases at five sampling stations in Gyeongan River ( $F_{0.05 [4,18]} = 2.48$ )

Phase	Factors	Mean concentrations $\pm$ Standard deviations					$F_s$
		Stn. 1	Stn. 2	Stn. 3	Stn. 4	Stn. 5	
Water	pH	7.7 $\pm$ 1.2	7.8 $\pm$ 0.8	7.7 $\pm$ 1.0	7.8 $\pm$ 1.0	7.9 $\pm$ 1.0	0.16
	DO (mg/L)	7.7 $\pm$ 1.9	7.4 $\pm$ 1.5	7.5 $\pm$ 1.9	7.4 $\pm$ 2.2	6.8 $\pm$ 1.7	0.64
	Cond. <sup>a)</sup> ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	342 $\pm$ 143	718 $\pm$ 467	607 $\pm$ 297	547 $\pm$ 280	315 $\pm$ 91	<u>6.50*</u>
	DIN <sup>b)</sup> (mg/L)	2.0 $\pm$ 3.4	5.7 $\pm$ 4.1	2.4 $\pm$ 2.6	4.2 $\pm$ 2.8	1.6 $\pm$ 1.4	<u>6.58</u>
	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P (mg/L)	0.02 $\pm$ 0.06	0.47 $\pm$ 0.38	0.36 $\pm$ 0.19	0.34 $\pm$ 0.18	0.02 $\pm$ 0.02	<u>18.06</u>
Particulate matter	Chl. <i>a</i> (mg/m <sup>3</sup> )	48 $\pm$ 76	38 $\pm$ 46	88 $\pm$ 107	83 $\pm$ 106	66 $\pm$ 36	1.28
	TOC <sup>c)</sup> (mg/L)	4.6 $\pm$ 2.4	5.2 $\pm$ 1.8	6.8 $\pm$ 3.1	6.1 $\pm$ 2.7	5.2 $\pm$ 2.3	2.18
	SS (mg/L)	6.7 $\pm$ 4.1	6.2 $\pm$ 4.5	9.2 $\pm$ 5.6	9.2 $\pm$ 7.4	7.9 $\pm$ 5.6	1.10
Sediment	pH	7.3 $\pm$ 0.3	7.2 $\pm$ 0.3	7.3 $\pm$ 0.3	7.2 $\pm$ 0.2	7.4 $\pm$ 0.1	1.21
	Cond. ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	71.5 $\pm$ 46.9	63.7 $\pm$ 25.4	64.4 $\pm$ 22.2	48.0 $\pm$ 17.4	62.0 $\pm$ 26.0	1.45
	O.M. <sup>d)</sup> (%)	0.33 $\pm$ 0.21	0.12 $\pm$ 0.06	0.21 $\pm$ 0.12	0.15 $\pm$ 0.09	0.30 $\pm$ 0.20	<u>5.31</u>

<sup>a)</sup> Conductivity, <sup>b)</sup> Dissolved inorganic nitrogen ( $\text{NH}_4^+ + \text{NO}_2^- + \text{NO}_3^- - \text{N}$ ), <sup>c)</sup> Total organic carbon, <sup>d)</sup> Organic matter

\* The coefficients which are significant with 95% confidence levels are underlined.

은 결과값을 보이는 것으로 생각된다. 실험기간 동안 장소별로 수집한 퇴적물을 모두 혼합한 뒤 성분을 분석한 결과에서도 이들 두 지점에서만 점토(clay)와 미사토(silt)의 비율이 높은 양질사토(loamy sand)로 나타났다(Table 2).

**Table 2.** Characteristics of surface sediment at five sampling stations in Gyeongan River

Station (Unit)	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	Texture
1	87.22	2.12	10.66	Loamy sand
2	94.46	0.38	5.16	Sand
3	93.63	0.36	6.01	Sand
4	93.88	0.06	6.06	Sand
5	87.83	0.76	11.41	Loamy sand

지점 2, 3, 4의 경우 퇴적물에서 유기물 함량이 상하류에 비해 상대적으로 높지 않았으며, 성분은 모두 사토 (sand)로 구분되었다. 이들 지점의 경우 수중보가 위치하고 있지 않고 하폭이 좁은 지역으로 상하류에 비해 유속이 빠르며 수층과 입자물질의 영향이 상대적으로 작아 평균값 역시 낮게 나타난 것으로 판단된다.

### 3.3. 경안천 수질의 오염도 파악

경안천의 부영양화도를 파악하기 위하여 Forsberg와 Ryding(1980), OECD(1982), U.S. EPA(1976) 등의 기준치와 비교해 보았다(Table 3). 광합성 색소량의 과영양화 기준치의 경우 40 mg/m<sup>3</sup>로 규정하고 있으나 경안천에서 측정된 평균값은 65 mg/m<sup>3</sup>로 기준치를 상회하고 있었다. 총질소와 총인의 경우 과영양화 기준값을 각각 1.5 mg/L와 100 µg/L로 규정하고 있으나 경안천의 경우 총질소와 총인이 아닌 용존 무기질소(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>+NO<sub>2</sub><sup>-</sup>+NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N)와 인산염(PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-P)의 평균값이 각각 3.6 mg/L와 242 µg/L로 부영양

화 기준치를 넘고 있어 경안천의 현재 수질은 심각한 부영양화 상태에 이르렀다고 판단되었다.

### 3.4. 환경 요인들의 통계분석

경안천 수계의 수층, 입자물질, 퇴적물에서 측정된 여러 환경요인들 사이의 관계를 보다 객관적으로 설명하기 위하여 요인분석을 실시하였다(Table 4). 분석결과 총 분산의 69%를 설명하는 4가지 요인들로 나눌 수 있었다.

**Table 4.** Results of principal component analysis between the physicochemical and biological environmental factors

Phase	Factor	1	2	3	4
	% var*	26.9	19.5	11.7	10.9
Water	Temperature	x	x	0.574	x
	pH	0.733	x	x	x
	DO	x	x	-0.614	x
	Conductivity	0.503	x	x	x
	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	x	0.890	x	x
	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N	x	x	x	x
	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	x	x	x	x
	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P	x	0.907	x	x
Particulate matter	Chl. <i>a</i>	0.809	x	x	x
	TOC	0.877	x	x	x
	SS	0.888	x	x	x
Sediment	pH	x	x	-0.767	x
	Conductivity	x	x	x	0.813
	Organic matter	x	x	x	0.816

\*Percentage of total variability explained.

**Table 3.** Different criteria of lake trophic states

Items	Oligotrophic	Mesotrophic	Eutrophic	Reference
Chl. <i>a</i> (mg/m <sup>3</sup> )	< 3	3~7	7~40	Forsberg and Ryding (1980)
	< 2.5	2.5~8	8~25	OECD (1982)
	< 4	4~10	> 10	US EPA (1976)
	(Mean ± SD)			65 ± 84 This study
T-N (mg/L)	< 0.4	0.4~0.6	0.6~1.5	Forsberg and Ryding (1980)
	< 0.35	0.35~0.65	0.65~1.2	Nurnberg (1996)
	< 0.7	0.7~1.5	> 1.5	Dodds et al. (1998)*
	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N (Mean ± SD)			3.6 ± 3.4 This study
T-P (µg/L)	< 15	15~25	25~100	Forsberg and Ryding (1980)
	< 10	10~35	35~100	OECD (1982)
	< 10	10~20	> 20	US EPA (1976)
	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P (Mean ± SD)			242 ± 277 This study

\*Stream

요인 1의 경우 총 분산의 26.9%를 설명하는 요인으로 수층의 pH, 전도도와 입자물질들의 광합성 색소량, 총 유기탄소, 부유물질이 서로 양의 적재값(loadings value)을 보이고 있었다. 요인 1의 경우 부영양화에 따른 식물플랑크톤의 변성과 관련된 항목들로 이들에 의해 수층의 전도도, 총 유기탄소와 부유물질의 농도가 증가되었으며, 광합성에 의해 수층의 pH가 높아진다고 해석된다.

요인 2의 경우 수층의 영양염류인  $\text{NH}_4^+$ -N과  $\text{PO}_4^{3-}$ -P가 양의 적재값을 보이고 있었으며, 이들 항목들은 요인 1에 포함되지 않았다. 따라서 식물플랑크톤의 변성과 같은 생물증식에 의한 소모 보다는 주변에 분포한 오염원에 의한 유입이 이들의 농도변화에 더욱 크게 작용하는 것으로 판단된다.

요인 3의 경우 수층의 수온, 용존산소와 퇴적물의 pH가 서로 양극을 보여, 계절별 수온 변화가 용존산소와 퇴적물의 pH와 같은 환경요인의 변화를 유발하는 주요인으로 생각된다.

요인 4의 경우 퇴적물의 전도도와 유기물 함량이 높은 적재값을 갖는 요인으로 총 분산의 10.9%를 설명하였다. 이들 퇴적물 환경요인들은 수층이나 입자물질 보다는 수중보, 유속, 유량, 하폭 등과 같은 장소별 특성에 의해 더욱 크게 영향받고 있다고 판단된다.

결국 4가지로 구분된 요인들로부터 수층, 입자물질, 퇴적물에서 측정된 여러 환경요인들은 서로 연관성을 갖거나 상호 독립적인 관계를 보이고 있음을 알 수 있었다. 따라서 한 수계를 효율적으로 관리하기 위해서는 수층의 오염도 측정에만 국한되지 않고 입자물질, 퇴적물 등 여러 환경요인들의 전반적인 조사와 함께 상호작용에 대한 이해를 통한 종합적인 대책마련이 필요하다고 생각된다.

#### 4. 결론

경안천의 부영양화와 오염 특성을 파악하기 위하여 수층, 입자물질, 퇴적물의 3가지 상태로 나누어 실시한 실험을 통하여 얻어진 결론은 다음과 같았다.

1. 여러 환경요인들의 측정을 통해 살펴본 경안천 수질은 심각한 부영양화 상태에 있었으며, 하절기 집중되는 강우에 의한 계절별 특징을 보이고 있었다.
2. 장소별로는 중류에서 수층과 입자물질에 관련된 환경요인들의 평균값들이 상류와 하류에 비해 높게 측정되었다.
3. 퇴적물의 경우 수중보 아래에 위치한 지점 1과 퇴적물의 활발한 침전이 예상되는 지점 5에서 점토와 미사토의 비율이 높았으며, 유기물 함량 역시 높게 나타났다.
4. 요인분석 결과 경안천 수계의 수층, 입자물질, 퇴적물의 여러 환경요인들은 1) 식물플랑크톤의 변성에 영향 받는 수층과 입자물질의 항목들, 2) 외부 오염원의 영향이 큰 영양염류, 3) 계절변화에 민감한 항목들, 4) 장소별 특성에 크게 영향 받는 퇴적물의 환경요인들 등 4가지로 구분되는 요인들이 서로 연관성을 갖거나 독립적으로 작용하고 있었다.

## 사 사

본 연구는 2004년도 한국외국어대학교 교내학술 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

## 참고문헌

- 문경환, 김영규, 정문호, 경안천의 수질과 주변역의 오염부하, *한국유수학회지*, **25**, pp. 285-288 (1992).
- 신재기, 조주래, 황순진, 조경제, 경안천~팔당호의 부영양화와 수질오염의 특성, *한국유수학회지*, **33**, pp. 387-394 (2000).
- 이동석, 한명수, 박갑성, 광합성-광도 모델을 이용한 경안천 식물플랑크톤의 일차생산력 결정, *한국물환경학회지*, **17**, pp. 25-33 (2001).
- 임창수, 신재기, 조경제, 금강 중, 하류에서 오염양상과 수질평가, *한국유수학회지*, **33**, pp. 51-60 (2000).
- 한강수계관리위원회, *경안천 유역의 오염부하량 조사, 한강 유역관리청*, 하남, pp. 203-217 (2001).
- APHA, AWWA, and WPCF, *Standard methods for the examination of water and wastewater*, 20th ed. APHA, AWWA, WPCF, Washington, D.C., U.S.A. (1998).
- Dodds, W. K., Jones, J. R., and Welch, E. B., Suggested classification of stream trophic state; distribution of temperate stream types by chlorophyll, total nitrogen, and phosphorus, *Wat. Res.*, **32**, pp. 1455-1462 (1998).
- Forsberg, C., and Ryding, S. O., Eutrophication parameters and trophic state indices in 30 swedish waste-resceiving lakes, *Arch. Hydrobiol.*, **89**, pp. 189-207 (1980).
- Gee, G. W., and Bauder, J. W., Particle-size analysis. In *Methods of soil analysis, Part 1, Physical and mineralogical methods*, A. Klute (ed.), American Society of Agronomy, Madison, WI, U.S.A. pp 383-411 (1982).
- Jeffrey, S. W., and Humphrey, G. F., New spectrophotometric equations for determining chlorophyll *a*, *b*, *c1* and *c2* in higher plants, algae and natural phytoplankton, *Biochem. Physiol. Pflanz.*, **167**, pp. 194-197 (1975).
- National institute of environmental research, *Water purification by macrophytes in the polluted confluence zone of the lake (I) : Limnological characteristics of Lake Paldang and Kyeongan sector*, NIER, Seoul, (in Korean), pp. 4-121 (1995).
- Nelson, D. W., and Sommers, L. E., Total carbon, organic carbon and organic matter. In *Methods of soil analysis, Part 2, Chemical and microbiological properties*, A. L. Page et al. (ed.), American Society of Agronomy Madison, WI, U.S.A. pp. 539-579 (1982).
- Nurnberg, G. K., Trophic state of clear and colored, soft- and hard-water lakes with special consideration of nutrients, anoxia, phytoplankton and fish, *Lake and Res. Manage.*, **12**, pp. 432-447 (1996).
- OECD, *Eutrophication of water: monitoring, assessment and control*, OECD, Paris (1982).
- U.S. EPA, *Water quality criteria research of the U.S. environmental protection agency*. Proceedings of an EPA sponsored symposium, EPA-600/3-76-079, 18 (1976).