

# 금호강 오염의 종합적 조사

배준웅\* · 이상학 · 이성호\*

경북대학교 자연과학대학 화학과,

\* 계명문화대학 식품과학과

(2001. 10. 10 접수)

## A Survey of the Kumho River Pollution

Zun-Ung Bae\* · Sang-Hak Lee · Sung-Ho Lee\*

Department of Chemistry, College of Natural Sciences, Kyungpook  
National University, Taegu 702-701, Korea

\*Department of Food Science, College of Keimyung, Taegu 704-703, Korea

(Received Oct. 10, 2001)

**요 약** : 금호강 수계의 수질관정과 낙동강 본류에 미치는 영향을 조사하기 위해 2000년 5월부터 2001년 2월까지 5월, 8월 및 12월 3회에 걸쳐 16개 지점에서 BOD 등 총 24개 항목의 수질을 측정하였다. 각 지점별 항목별 대표적인 특징을 조사기간 전 3년간의 연구결과(“전 연구결과”)와 비교하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

조사기간의 금호강 전 지점에 대한 각 항목의 평균값은 다음과 같다. 수온 17.71 °C, pH 8.06, BOD 2.26 µg/mL, COD 5.58 µg/mL, DO 7.13 µg/mL, SS 4.73 µg/mL, 전기전도도 570.0 µS/cm, 유지류 0.20 µg/mL, ABS 0.016 µg/mL, Phenol 0.29 µg/mL, 영양염류인 Total-N 5.03 µg/mL, Total-P 0.27 µg/mL이었다. 중금속류인 Cu 0.005 µg/mL, Zn 0.007 µg/mL, Fe 0.044 µg/mL, Mn 0.001 µg/mL이었다.

한편 As, Cd, Cr 및 Pb는 불검출 되었다.

금호강 전 지점에서 평균값으로 “전 연구결과”와 비교할 때에 오염이 증가된 항목은 페놀, NH<sub>3</sub>-N와 NO<sub>2</sub>-N이며, 감소된 항목은 BOD, COD, SS, 유지류, ABS 등이고, 기타 항목은 비슷한 결과를 보였다. 금호강 수질이 낙동강의 수질에 미치는 영향의 정도는 다음과 같다. 금호강 하천수의 유입 전 지점 14와 유입 후 지점 16의 평균값으로서 BOD 1.07에서 1.42 µg/mL, COD 1.99에서 2.44 µg/mL, 전기 전도도 221에서 392 µS/cm, 총질소 2.21에서 2.81 µg/mL, 총인 0.08에서 0.19 µg/mL, 유지류 0.15에서 0.16 µg/mL, ABS 0.006에서 0.015 µg/mL, 페놀 0.06에서 0.07 µg/mL으로 변화를 보였다.

**Abstract** : In order to study systematic survey of Kumho river pollution, water analysis for 24 items was conducted at 16 sites surrounding the Kumho river system for 3 times from May 2000 to February 2001. Analytical items for the study of water quality are as follows; water temperature, pH, BOD, COD, DO, SS, electrical conductivity, oil & grease, ABS, phenol, T-P, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-P, T-N, NH<sub>3</sub>-N, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N, Cu, Zn, Cr, Cd, Mn, Fe, Pb and As.

The mean values obtained for water temperature, pH, BOD, COD, DO, SS, electrical conductivity, oil & grease, ABS, phenol T-P, T-N, Cu, Zn, Fe and Mn showed 17.84 °C, 8.04, 2.54 µg/mL, 5.64 µg/mL,

★ Corresponding author

Phone : +82+(0)53-950-5336, Fax: +82+(0)53-950-5329

E-mail : zubaek@kyungpook.ac.kr

7.07  $\mu\text{g/mL}$ , 8.75  $\mu\text{g/mL}$ , 600.4  $\mu\text{S/cm}$ , 0.19  $\mu\text{g/mL}$ , 0.015  $\mu\text{g/mL}$ , 0.29  $\mu\text{g/mL}$ , 0.21  $\mu\text{g/mL}$ , 5.22  $\mu\text{g/mL}$ , 0.005  $\mu\text{g/mL}$ , 0.007  $\mu\text{g/mL}$ , 0.044  $\mu\text{g/mL}$  and 0.001  $\mu\text{g/mL}$  respectively. As, Cd, Cr and Pb are not detected.

The mean concentration of phenol,  $\text{NH}_3\text{-N}$  and  $\text{NO}_2\text{-N}$  were found to be increased compared to the prior study for 3 years from January 1997 to December 1999, that of BOD, COD, SS, oil & grease and ABS were found to be decreased and the others are nearly constant.

The effect of Kumho river to the Nakdong river pollution are as follows. The mean concentration of BOD changed from 1.07  $\mu\text{g/mL}$  to 1.42  $\mu\text{g/mL}$  before and after of introducing of Kumho river water respectively. The mean concentration of COD, electrical conductivity, oil & grease, ABS, phenol, T-N and T-P changed from 1.99  $\mu\text{g/mL}$ , 221  $\mu\text{S/cm}$ , 0.15  $\mu\text{g/mL}$ , 0.006  $\mu\text{g/mL}$ , 0.06  $\mu\text{g/mL}$ , 2.21  $\mu\text{g/mL}$  and 0.08  $\mu\text{g/mL}$  to 2.44  $\mu\text{g/mL}$ , 392  $\mu\text{S/cm}$ , 0.16  $\mu\text{g/mL}$ , 0.015  $\mu\text{g/mL}$ , 0.07  $\mu\text{g/mL}$ , 2.81  $\mu\text{g/mL}$  and 0.19  $\mu\text{g/mL}$  respectively.

**Key words :** water quality of the Kumho river, Nakdong river, water pollution.

## 1. 서 론

금호강은 경상북도 영일군 죽장면에서 발원하여 영천시, 경산시 및 인근 3개 군을 지나 대구광역시의 신천을 합한 뒤 낙동강 본류로 흘러드는 하천으로서 유로 연장 118.4 km와 유역면적 2,053.3  $\text{km}^2$ 로 낙동강 지류 중 그 규모가 2번째로 크다. 또한 이들 지역에 각종 공업, 농업 및 생활용수 등을 공급하며, 낙동강의 수질에도 많은 영향을 미치고 있다. 그러나 경제 성장에 따른 급속한 산업발전과 인구 집중화에 따른 수질 환경 보전의 불균형으로 금호강 하류의 수질은 도시하수와 공장폐수로 극도로 오염되어 그 오염도가 전국의 어느 지역보다 심각한 지경에 이르게 되었다. 이러한 극도의 수질오염을 인식한 정부 당국은 금호강 유역의 수질오염을 근본적으로 해결할 비상계획을 발표한 바 있으며, 많은 노력을 기울이고 있다.

지금까지 금호강 수계의 수질평가에 대한 연구는 비교적 많이 수행된 바 있다. 박영규<sup>1</sup> 등은 금호강 수계의 오염이 낙동강 수질에 미치는 영향을 조사·보고한 바 있다. 송승달<sup>2</sup>은 금호강 유역의 수질, 토양 및 무속의 중금속 함량에 대한 조사·보고를 한 바 있으며, 이정재<sup>3</sup> 등도 금호강 수질과 하상의 퇴적오니, 토양 및 농작물 중의 중금속 함량을 조사·보고한 바 있다. 또한 강화신<sup>4</sup>, 이철희<sup>5</sup> 및 이순탁<sup>6</sup>은 금호강 유역의 수질환경과 오염원 특성, 수질의 현황과 장래전망 그리고 금호강 유역의 환경보전 대책에 대하여 조

사·보고한 바 있다. 박영규<sup>7</sup> 등은 수년에 걸친 금호강 수질을 파악하여 수질관리에 필요한 모델을 제시하기도 하였다. 이태관<sup>8</sup> 등은 금호강 수질환경의 계절적 변동과 관리에 대한 보고를 하였다. 또한 배준웅<sup>9-12</sup> 등은 1990년 9월부터 1999년 8월까지 9년간의 금호강 수질의 변동에 관한 연구를 한 바 있다.

그러나 지금까지 대구지역 수계의 수질 조사는 한시적이며 극히 부분적인 측정이 실시되었으며, 이에 따른 평가와 대책수립도 이들 측정결과를 기초로 하여왔다. 그러나 하천의 수질을 지배하는 가장 큰 인자는 수권의 물질공급, 수권에서의 물의 대사 그리고 유량, 퇴적물 등의 수문인자가 있으며, 이들 인자는 다시 수계의 지형 및 기상상태, 산업의 종류와 규모 그리고 토지이용 인구의 영향을 받기 때문에 계절에 따른 차이는 물론 시간에 따라서도 수질의 상당한 차이를 나타내게 된다. 수질을 특정시기에 측정하면 순간적인 수질이 측정되고, 이 값은 여러 가지 인자에 대해서 가변적인 값이다. 따라서 하천수의 수질을 정확하게 측정하기 위해서는 오랜 기간에 걸쳐 많은 회수의 측정을 수행하여야 하고, 많은 지역의 시료를 분석하여야 한다.

따라서 본 연구는 대구지역 하천수계의 수질의 성분을 종합적으로 분석하여 대책수립에 필요한 자료를 제공하기 위해, 1990년부터 1999년까지 9년간의 금호강 수질의 변동에 관한 연구를 바탕으로, 금호강 하천수의 낙동강 유입으로 인한 오염 부하 정도를 조사하기 위하여 금호강 하천수가 낙동강에 유입되기 전의 본류인 다

사 지점과 유입 후의 화원지점과 고령지점인 3개 지점을 추가하여 16개 지점에서 실시하였다. 조사기간은 2000년 5월부터 2001년 2월까지이며, 측정회수는 2000년 5월, 8월 및 12월 3회 실시하였다. 조사항목으로서 pH, BOD, COD, DO, SS, 전기전도도인 일반항목과 유지류, 합성세제, 페놀 기타 오염물질 등 총 24개 항목이다.

## 2. 본 론

### 2.1. 조사내용 및 조사방법

#### 2.1.1. 채수지점의 선정

금호강 본류의 총 유로 연장은 118.4 km로서 많은 지류를 포함하고 있다. 그러므로 상류에서 하류에 걸쳐 각 지류의 특성 및 본류 수질에 미치는 지류 수질의 영향을 정확히 파악하고 오염원의 종류나 특성을 정확히 규명하기 위해서는 채수 위치의 선정이 중요하다. 그래서 본 연구에서는 지류가 있는 지점에서는 합류 전의 본류 지점과 오염물이 충분히 혼합된 후의 본류 지점 및 지류 지점을 각각 선정하였으며 지류가 없는 경우에 4~5 km 거리를 두고 각각 채수 지점을 선정하는 방법을 택하였다. 이상의 원칙으로 선정된 채수 지점의 수는 총 16개소로서 Fig. 1에 나타내었다.

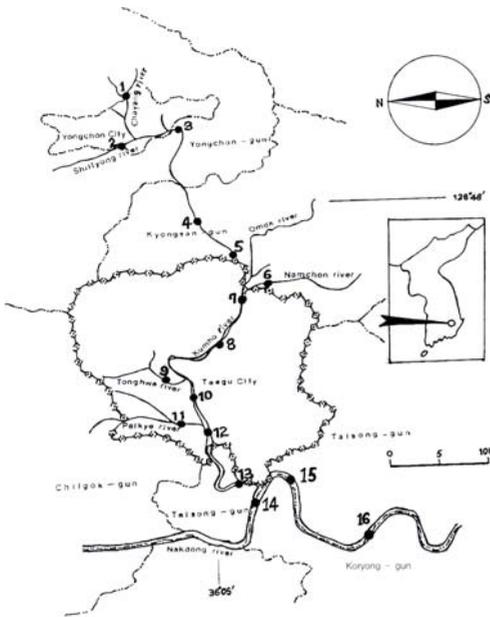


Fig. 1. Location of the sampling site in the Kumho River  
1. Danpo bridge 2. Seosan bridge 3. Youngcheon rail

bridge 4. Entrance of Taegu Univ. 5. Chungcheon resort 6. Seongdong bridge 7. Dongchon 8. Bullo-dong 9. Mutae 10. Mutae bridge 11. Maccheon bridge 12. Paldal bridge 13. Gangchang bridge 14. Dasa 15. Hwawon resort 16. Koryong bridge.

#### 2.1.2. 채수 및 시료수의 전처리

시료수는 맑은 질산으로 잘 세척한 10 L들이 폴리 에틸렌용기와 유리용기를 사용하여 채취하였다. 시료의 채수는 용기를 각 지점의 시료수로 여러 번 잘 세척한 후에 수질오염공정시험법<sup>13</sup>의 채수기준에 따라 하천의 수심이 가장 깊은 수면지점과 이 지점을 중심으로 좌우 수면폭을 2등분한 각 지점의 수면으로부터 수심이 2 m 미만일 때는 수심이 1/3되는 지점에서 채수하였다. 채수한 시료수는 수질의 변화를 방지하기 위하여 수질오염공정시험법의 시료 전처리 방법에 따라 COD 측정용 시료는 시료 1 L 당  $HgCl_2$  20~40 mg을 첨가하였으며, 중금속 측정용 시료는  $HNO_3$ 을 첨가하여 pH가 1정도 되게 전처리 하였다.

#### 2.1.3. 측정항목 및 측정방법

본 연구에서 화학적 수질 판정의 지표가 되는 측정항목으로는 수온, pH, BOD, COD, DO, SS, 전기전도도 등의 일반항목과  $NH_3-N$ ,  $NO_2-N$ ,  $NO_3-N$ , 총질소,  $PO_4^{3-}-P$  및 총인 등 영양염류 그리고 As, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Pb, Zn 등의 중금속류와 유지류, 합성세제 (ABS), 페놀 등 오염물질로서 총 24 개 항목이다.

실험에 사용한 증류수는 1차 증류수를 초순수 제조 장치(Mill-Q, Millipore Co., Ltd., Philadelphia, USA)를 통과시켜 얻은 탈염수( $\geq 18 M\Omega \cdot cm$ )를 사용하였다. 시료수 수질을 판정하기 위한 각 측정항목의 분석방법은 다음과 같다. 각 지점의 수질조사는 현장조사와 실험실 분석으로 나누어 수행하였다. 현장조사 항목으로 pH의 측정을 위해 pH meter(model Accumet 10, Fisher Scientific Co. Ltd., Springfield, USA)를 사용하였으며, 전기전도도와 수온의 측정을 위해 Conductivity/Temperature/Salinity meter(model 140, Orion Co. Ltd, Boston, USA)와 검교정한 온도계를 사용하였으며, DO는 DO meter(model 820, Orion Co. Ltd, Boston, USA)를 이용하여 현장에서 측정한 값을 Winkler azide법으로 보정하였다. 흡광도의 측정에는 분광광도계(model V-550, Jasco Co. Ltd., Tokyo, Japan)를 사용하였다. COD(KMnO<sub>4</sub>법), BOD, SS, 유지류, 합성세제(ABS), 페놀 등 분석항목은 수질

오염 공정시험법<sup>13</sup>과 부분적으로 AOAC 표준법<sup>14</sup> 등을 이용하여 구하였다. 시료수 중의 중금속 분석실험에 이용한 표준용액은 Junsei Chemical사(Tokyo, Japan)의 1000 µg/mL 표준용액을 단계적으로 증류수로 묽혀 사용하였다. 중금속 정량에 이용한 기기는 유도결합플라즈마 원자방출분광기(ICP-AES, JY50, Jobin-Yvon, France)로서 분광기의 제원과 분석조건은 다음과 같다. 분광기는 40.68 MHz의 R. F. generator, 최대 power 1.5 kW, holographic grating 및 PMT 검출기로 구성되어 있으며, 시료도입용 nebulizer로 concentric type을 사용하였으며, 아르곤 가스량(L/min)은 cooling, auxiliary 및 nebulizing 각각 13~15, 0.2~0.5, 0.3~0.8의 조건으로 시료량, power 및 관측높이 등을 조절한 최적조건에서 실험을 하였다. 측정과장으로는 Cu, Zn, Cd, Cr, Fe, Mn과 Pb 각각 324.654, 213.856, 214.438, 205.552, 238.204, 257.610과 220.353 nm를 이용하였으며, 원소별

3σ검출한계는 각각 0.18, 0.15, 0.09, 0.15, 0.19, 0.05와 1.50 ng/mL이다. 각 항목별 분석 데이터는 시료의 농도와 비슷한 농도의 표준물질을 이용하여 분석하였으며, 상대표준편차가 ±3% 이하가 되도록 하였다.

### 3. 결과 및 고찰

금호강 수계의 수질관정과 낙동강 본류에 미치는 영향을 조사하기 위하여, 1990년부터 1999년까지 9년간의 금호강 수질의 변동에 관한 연구<sup>9-12</sup>를 바탕으로, 금호강 하천수가 낙동강에 유입되기 전의 본류인 다사지점과 유입 후의 화원지점, 곽령지점을 추가하여 총 16개 지점에서 실시하였다. 조사기간은 2000년 5월부터 2001년 2월까지이며, 조사기간 중인 2000년 5월, 8월 및 12월 3회 실시하였으며, 각각의 결과를 Table 1, Table 2 및 Table 3에 나타내었다. 조사항목은 BOD

Table 1. Water quality of Kum-ho River (2000. 5)\*

ITEM	SITE															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Temp.(°C)	24.6	24.3	19.1	21.8	22.8	22.2	28.0	29.0	20.5	24.8	29.3	24.9	26.3	26.5	25.8	-
pH	9.06	8.31	7.91	8.70	9.29	6.59	8.62	9.18	8.09	9.36	8.63	8.40	8.91	8.00	7.90	-
BOD	0.56	2.17	2.06	4.45	4.17	6.24	7.41	6.08	1.80	4.26	7.64	5.83	4.20	3.82	11.02	-
COD	3.68	6.94	3.14	9.43	10.06	18.32	17.68	12.03	2.82	18.44	17.28	12.33	16.68	7.58	13.51	-
DO	7.64	9.71	7.38	9.34	7.61	6.53	11.94	9.08	7.78	8.73	7.31	7.84	9.90	8.00	9.04	-
SS	4.50	2.90	0.10	5.00	4.80	12.00	8.60	2.40	1.10	10.80	5.40	6.20	10.80	9.10	100.00	-
Conductivity	186.5	361.0	253.0	470.0	512.0	1133.0	888.0	354.0	356.0	815.0	614.0	706.0	1373.0	295.0	1445.0	-
Phenol	0.64	0.67	0.50	0.61	0.58	1.34	1.01	0.76	0.51	0.95	0.83	0.83	1.11	0.54	0.93	-
NH <sub>3</sub> -N	0.03	0.18	0.01	1.00	0.35	3.82	0.46	0.20	0.01	0.08	3.90	0.59	0.03	0.15	0.50	-
NO <sub>2</sub> -N	0.20	0.44	0.12	0.92	0.36	0.76	2.04	1.68	0.16	1.72	0.88	1.08	0.56	0.50	0.40	-
NO <sub>3</sub> -N	0.13	2.16	0.05	0.17	0.08	1.14	0.36	0.14	0.66	0.34	0.10	0.16	0.57	0.11	0.51	-
Total-N	2.69	3.94	0.94	3.79	2.40	18.60	8.06	3.98	5.40	6.34	12.80	11.80	11.30	2.78	13.80	-
(PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> -P	0.02	0.02	0.04	0.05	0.02	0.40	0.34	0.26	0.03	0.13	0.49	0.48	0.63	N.D	0.70	-
Total-P	0.02	0.03	0.07	0.15	0.04	1.84	0.46	0.25	0.12	0.20	0.64	0.81	0.71	0.05	0.75	-
Oil & grease	0.06	0.33	0.07	0.25	0.03	3.03	N.D	N.D	0.04	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	-
ABS	8.20	N.D	3.50	7.90	6.00	77.60	14.10	20.10	N.D	77.50	62.50	16.50	54.80	1.80	15.90	-
Cd	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	-
Cr	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	-
Cu	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	-
Fe	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	-
Mn	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	-
Pb	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	-
Zn	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	-

\*All unit is µg/mL except ABS, heavy metals and conductivity(uS/cm). The unit of ABS and heavy metals is ng/mL.

Table 2. Water quality of Kum-ho River (2000. 8)\*

ITEM	SITE															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Temp.(°C)	25.1	26.3	27	26.3	25.9	24.3	27.4	29.3	26	27.9	28.2	28	28.2	25.6	27.4	26
pH	6.34	7.24	7.39	7.15	7.11	6.93	7.54	8.12	7.24	7.64	7.03	7.62	6.98	6.99	6.70	6.98
BOD	0.27	0.46	0.62	0.83	0.54	1.85	1.26	0.98	1.43	1.04	1.55	1.56	1.27	2.48	1.31	1.60
COD	1.06	1.38	2.12	2.24	2.10	3.75	2.60	1.99	2.19	2.20	2.89	2.93	3.03	2.66	3.30	3.27
DO	7.48	8.01	7.46	7.41	7.25	6.75	7.35	2.88	3.43	3.03	2.92	2.86	2.95	2.85	2.86	2.88
SS	5.50	0.10	0.30	2.00	4.50	1.60	3.10	4.50	7.20	5.00	5.80	4.50	3.40	60.00	28.50	32.40
Conductivity	271.0	231.0	212.0	272.0	244.0	474.0	331.0	290.0	178.0	249.0	332.0	324.0	483.0	147.0	520.0	193.0
Phenol	0.06	0.06	0.07	0.06	0.06	0.13	0.06	0.06	0.08	0.16	0.07	0.07	0.10	0.11	0.09	0.11
NH <sub>3</sub> -N	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.56	0.32	0.28	0.02	0.04	0.56	0.16	0.56	0.12	0.60	0.24
NO <sub>2</sub> -N	0.01	0.01	0.01	0.08	0.05	0.28	0.08	0.01	0.03	0.06	0.17	0.05	0.19	0.02	0.07	0.07
NO <sub>3</sub> -N	0.23	0.26	0.17	0.23	0.06	0.25	0.37	0.55	0.170	0.30	0.14	0.28	0.40	0.13	0.31	0.20
Total-N	7.46	7.51	5.38	5.52	5.21	8.28	3.91	10.50	5.28	3.53	5.26	6.14	5.71	6.84	3.55	4.22
(PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> -P	N.D	0.07	0.04	0.06	0.05	0.44	0.12	0.11	0.04	0.07	N.D	0.18	0.14	0.04	0.03	0.07
Total-P	0.04	0.12	0.13	0.12	0.11	0.56	0.17	0.16	0.15	0.13	0.16	0.23	0.39	0.08	0.33	0.25
Oil & grease	0.03	0.03	0.04	0.03	0.02	0.04	0.05	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.04	0.02
ABS	31.40	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Cd	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Cr	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Cu	50.00	N.D	N.D	N.D	10.00	N.D	5.00	N.D	N.D	3.00	10.00	4.00	N.D	N.D	N.D	N.D
Fe	80.00	80.00	90.00	100.00	70.00	90.00	80.00	100.00	90.00	90.00	100.00	80.00	70.00	200.00	60.00	100.00
Mn	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	1.00	1.00	N.D	N.D	4.00	N.D	1.00
Pb	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	1.00	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	3.00
Zn	10.00	20.00	20.00	20.00	9.00	30.00	9.00	20.00	10.00	10.00	20.00	10.00	10.00	10.00	8.00	10.00

\*All unit is  $\mu\text{g}/\text{mL}$  except ABS, heavy metals and conductivity( $\text{uS}/\text{cm}$ ). The unit of ABS and heavy metals is  $\text{ng}/\text{mL}$ .

등 일반항목과 중금속, 유지류 등 총 24개 항목이다. 그리고 각 지점별 항목별 대표적인 특징을 검토하였으며, 또한 측정 결과를 조사기간 전인 1997년 1월부터 1999년 12까지의 3년간의 값<sup>10-12</sup>(이하 “전 연구결과”라 한다)과 비교 고찰하였다.

### 3.1. 일반 수질항목

#### 3.1.1. pH

조사기간 중 금호강 하천수계의 전 지점에서의 값을 Table 1, Table 2 및 Table 3에 나타내었다. Table들에서 보는 바와 같이 pH 평균값은 8.01이며, 최고값은 9.46(site 8)이고 최소값은 6.34(site 1)의 분포를 보였다. 97년 1월부터 99년 12월까지의 최근 3년간의 결과인 “전 연구결과”에서 얻은 pH 평균값 8.00, 최고값 9.85, 최소값 6.50과 비교할 때에 큰 차이는 없었다.

그리고 이들 측정치는 평균값으로 볼 때, 모두 상수원수 1급에 해당하는 pH 6.5~8.5의 값을 만족한다. 그러나 평균값으로 pH 8.5를 벗어난 지점으로는 site 3, site 5, site 8, site 10이었다.

순간적인 측정값으로 상수원수 1급의 기준을 벗어난 경우로서 pH가 8.5를 초과한 경우가 15회이고 pH 6.5 이하인 경우가 1회이며, 48회 측정 중 16회로 나타났다. 이는 “전 연구결과”에서 104회 측정 중 34회와 비교하면 비슷한 결과를 보였으나, 1급 기준을 상당 회수 벗어남을 간과해서는 안되겠다. 이와 같이 1급 기준을 벗어난 경우의 대부분이 5월과 12월의 측정결과에 분포하며, 8월의 측정결과에는 1회가 있었다. 이와 같은 경향은 “전 연구결과”와 동일한 현상으로 7, 8월의 우기 이후에 하천의 유지 수량이 다른 계절에 비해 많아진 결과로 여겨진다.

Table 3. Water quality of Kum-ho River (2000. 12)\*

ITEM	SITE															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Temp.(°C)	0.1	1.2	2.9	0.7	-0.2	8.3	2.4	2.4	8.2	1.6	3.8	3.9	5.5	3.7	5.5	3.2
pH	8.50	8.06	9.41	8.38	8.67	7.12	8.00	9.46	7.99	9.10	8.31	8.09	8.05	7.91	8.59	9.08
BOD	0.53	0.40	0.48	0.84	0.53	3.16	2.12	0.70	0.57	1.28	2.96	2.14	1.95	0.82	3.69	1.24
COD	1.13	1.44	0.82	2.20	2.16	5.51	3.84	1.37	0.95	3.86	5.57	3.80	5.59	1.31	2.48	1.60
DO	8.84	7.03	8.06	7.65	7.00	6.11	6.46	8.16	6.96	8.21	8.83	7.30	7.68	7.81	6.87	7.45
SS	2.40	5.00	1.10	1.30	1.90	5.80	11.30	0.20	0.30	3.30	4.90	3.70	21.30	24.30	61.00	23.20
Conductivity	190.4	422.0	282.0	555.0	525.0	976.0	750.0	300.0	395.0	790.0	772.0	752.0	1297.0	294.0	1021.0	591.0
Phenol	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.02
NH <sub>3</sub> -N	0.03	0.05	0.02	0.76	0.50	0.71	1.23	0.10	0.06	0.44	1.86	0.25	0.85	0.20	0.52	0.30
NO <sub>2</sub> -N	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.04	0.04	0.02	0.01	0.04	0.03	0.05	0.04	0.01	0.03	0.02
NO <sub>3</sub> -N	0.04	0.03	0.04	0.03	0.06	0.10	0.08	0.06	0.04	0.03	0.03	0.15	0.15	0.03	0.13	0.06
Total-N	0.82	1.23	0.99	1.50	1.43	3.76	2.19	2.49	1.73	1.75	1.60	2.56	2.67	0.86	2.26	1.39
(PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> -P	0.01	0.06	0.02	0.08	0.02	0.52	0.30	0.09	0.04	0.23	0.31	0.39	0.38	0.05	0.24	0.11
Total-P	0.04	0.04	0.03	0.10	0.04	0.55	0.30	0.11	0.05	0.25	0.33	0.43	0.43	0.08	0.29	0.12
Oil & grease	0.03	0.01	0.20	0.14	0.22	N.D	N.D	1.19	1.14	0.22	0.29	0.10	N.D	0.29	0.23	0.29
ABS	N.D	1.00	3.00	10.00	12.00	34.00	17.00	6.00	5.00	6.00	108.00	23.00	7.00	12.00	7.00	29.00
Cd	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D										
Cr	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D										
Cu	10.00	30.00	20.00	7.00	6.00	N.D	N.D	10.00	20.00	N.D	N.D	N.D	N.D	2.00	N.D	N.D
Fe	50.00	60.00	70.00	50.00	50.00	20.00	30.00	60.00	70.00	30.00	60.00	30.00	20.00	40.00	20.00	30.00
Mn	2.00	1.00	N.D	2.00	N.D	2.00	N.D	3.00	N.D	N.D	40.00	N.D	6.00	6.00	10.00	20.00
Pb	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	2.00	1.00	2.00	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Zn	10.00	20.00	7.00	5.00	4.00	6.00	4.00	6.00	6.00	4.00	4.00	4.00	3.00	5.00	4.00	5.00

\*All unit is  $\mu\text{g}/\text{mL}$  except ABS, heavy metals and conductivity( $\text{uS}/\text{cm}$ ). The unit of ABS and heavy metals is  $\text{ng}/\text{mL}$ .

### 3.1.2. BOD와 COD

BOD는 COD와 함께 하천수의 유기물 오염에 대한 지표로 널리 이용되고 있다.

조사기간 중 금호강 하천수계의 전 지점에서의 값을 Table 1~3에 나타내었다. Table들에서 보는 바와 같이 주요 지점별의 분포(평균값)를 이용한 대표적인 특징은 다음과 같다.

BOD의 분포(평균값)를 보면 금호강의 최상류인 site 1에서  $0.27\sim 0.56(0.45 \mu\text{g}/\text{mL})$ 이며, 최하류인 site 13에서  $1.27\sim 4.20(2.47 \mu\text{g}/\text{mL})$ 이었다. 이는 “전 연구결과”의 값인 site 1에서  $0.34\sim 0.83(0.62 \mu\text{g}/\text{mL})$ 과 site 13에서  $3.14\sim 7.14(4.57 \mu\text{g}/\text{mL})$  값과 비교하여 볼 때에 전반적으로 수질이 개선됨을 알 수 있다. 이는 금호강 수질개선을 위한 하수 및 폐수처리장 등 투자의 결과로 생각된다.

BOD의 지점별 평균값을 나타내는 Fig. 2에서 보는 바와 같이 평균값으로  $3 \mu\text{g}/\text{mL}$  이상의 오염을 나타내

는 지점을 살펴보면 site 6에서  $1.85\sim 6.24(3.75 \mu\text{g}/\text{mL})$ 이며, site 7에서  $1.26\sim 7.41(3.60 \mu\text{g}/\text{mL})$ 이며, site 11에서  $1.55\sim 7.64(4.05 \mu\text{g}/\text{mL})$ 이며, 낙동강 본류인 site 15에서  $2.48\sim 11.02(5.73 \mu\text{g}/\text{mL})$ 의 가장 높은 값을 보였다. “전 연구결과”의 값인 site 6에서  $3.68\sim 8.75(6.08 \mu\text{g}/\text{mL})$ 이며, site 7에서  $1.94\sim 8.33(4.04 \mu\text{g}/\text{mL})$ 이며, site 11에서  $2.93\sim 11.22(6.22 \mu\text{g}/\text{mL})$ 이었다. 이 결과는 “전 연구결과”와 비교할 때에 평균값으로 site 6, site 7, site 11에서 각각  $1/1.70$ ,  $1/1.12$ 와  $1/1.54$ 로 감소된 결과이다.

금호강 하천수가 낙동강의 오염에 미치는 정도를 알아보기 위해, 금호강의 하천수가 유입되기 전의 낙동강 본류인 site 14와 유입 후의 site 15에서 그리고 금호강 하천수가 낙동강 본류에 유입되기 전의 최하류 지점인 site 13에서 BOD 평균값이 각각  $1.98 \mu\text{g}/\text{mL}$ ,  $5.73 \mu\text{g}/\text{mL}$ 과  $2.47 \mu\text{g}/\text{mL}$ 으로 이는 금호강 하천수의 유입 후에 site 14의 평균값과 비교할 때에 site 15에서

2.89배의 매우 큰 증가 현상이다. 또한 8월과 12월의 자료를 바탕으로 계산하면, site 14에서  $1.07 \mu\text{g}/\text{mL}$ 에서, site 15지점에서  $3.09 \mu\text{g}/\text{mL}$ 과 site 16에서  $1.42 \mu\text{g}/\text{mL}$ 이었다. 금호강의 최하류 지점인 site 13에서  $1.61 \mu\text{g}/\text{mL}$ 의 값으로 볼 때에 이는 금호강 하천수가 유입되기 전인 낙동강 본류인 site 14에서의 평균값과 비교할 때 site 15에서는 2.89 배, site 16에서는 1.33 배의 동일하게 큰 증가 현상을 보였다. 이는 site 15에서 크게 증가하였다가 약 15 km의 짧은 거리임에도 불구하고 하류인 site 16에서 대폭적으로 감소되는 특이한 현상을 보였다. 이와 같은 site 15의 오염도 증가는 주변 유원지 상가의 생활하수 등으로 생각되며, 이 지점의 오염이 낙동강 본류에 크게 영향을 주지 않음을 알 수 있다.

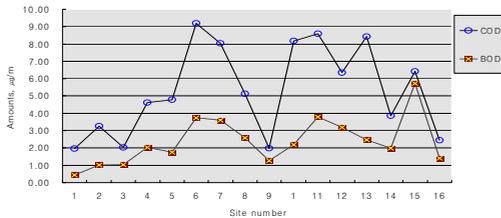


Fig. 2. Change of BOD and COD in the Kumho River. Site 2, 6, 9, 11 are branch streams and Site 14, 15, 16 are Nakdong River.

Fig. 2 Change of BOD and COD in Kumho River. Site 2,6,9,11 are branch streams and Site 14,15,16 are Nakdong River.

환편 COD의 경우는 금호강의 최상류인 site 1에서  $1.06 \sim 3.68 (1.96 \mu\text{g}/\text{mL})$ 이며, 최하류인 site 13에서  $3.03 \sim 16.68 (8.43 \mu\text{g}/\text{mL})$ 이었다. “전 연구결과”의 값인 site 1에서  $2.08 \sim 5.90 (3.50 \mu\text{g}/\text{mL})$ 이며, 하류인 site 13에서  $8.27 \sim 18.40 (11.94 \mu\text{g}/\text{mL})$  값과 비교하여 볼 때에 전반적으로 수질이 개선됨을 알 수 있다.

COD의 지점별 평균값을 나타내는 Fig. 2에서 보는 바와 같이 평균값으로  $8 \mu\text{g}/\text{mL}$  이상의 오염을 나타내는 지점을 살펴보면 site 6에서  $3.75 \sim 18.32 (9.19 \mu\text{g}/\text{mL})$ 이며, site 7에서  $2.60 \sim 17.68 (8.04 \mu\text{g}/\text{mL})$ 이며, site 11에서  $2.89 \sim 17.28 (8.58 \mu\text{g}/\text{mL})$ 이며, site 13에서  $3.03 \sim 16.68 (8.43 \mu\text{g}/\text{mL})$ 의 높은 값을 보였다. “전 연구결과”의 값인 site 6에서  $7.49 \sim 19.00 (13.49 \mu\text{g}/\text{mL})$ 이며, site 7에서  $6.12 \sim 17.96 (9.50 \mu\text{g}/\text{mL})$ 이며, site 11에서  $8.84 \sim 27.30 (13.56 \mu\text{g}/\text{mL})$ 이며, site 13에서  $7.18 \sim 14.50 (8.90 \mu\text{g}/\text{mL})$ 이다. 이 결과는 “전 연구결과”와 비

교할 때에 평균값으로 site 6, site 7, site 11, site 13에서 각각 1/1.47, 1/1.18, 1/1.58와 1/1.42로 감소된 결과이다.

금호강 하천수가 낙동강의 오염에 미치는 정도를 알아보기 위해, 금호강의 하천수가 유입되기 전의 낙동강 본류인 site 14지점과 유입 후의 site 15지점에서 그리고 금호강 하천수가 낙동강 본류에 유입되기 전의 최하류 지점인 site 13에서 COD 평균값이 각각  $3.85 \mu\text{g}/\text{mL}$ ,  $6.43 \mu\text{g}/\text{mL}$ 과  $8.43 \mu\text{g}/\text{mL}$ 으로 이는 금호강 하천수의 유입 후에 1.67 배의 큰 증가 현상이다. 또한 8월과 12월의 자료를 바탕으로 계산하면, 금호강 하천수가 낙동강에 유입 전 site 14에서  $1.99 \mu\text{g}/\text{mL}$ 에서, 유입 후의 site 15지점에서  $2.89 \mu\text{g}/\text{mL}$ 과 site 16에서  $2.44 \mu\text{g}/\text{mL}$ 이었다. 금호강의 최하류 지점인 site 13에서  $4.31 \mu\text{g}/\text{mL}$ 의 값으로 볼 때에 이는 금호강 하천수가 유입되기 전인 낙동강 본류인 site 14에서의 평균값과 비교할 때 site 15에서는 1.45 배, site 16에서는 1.23 배의 동일하게 증가 현상을 보였다. 이는 site 15에서 크게 증가하였다가 하류인 site 16에서 감소되는 BOD의 경우와 동일한 현상을 보였다.

하천의 용도별 환경기준치<sup>15</sup>에 따르면, 상수원수 1급은 BOD와 COD 모두  $1 \mu\text{g}/\text{mL}$  이하여야 하며, 2급은  $3 \mu\text{g}/\text{mL}$  이하, 3급은  $6 \mu\text{g}/\text{mL}$  이하이다. 그리고 농업용수는  $8 \mu\text{g}/\text{mL}$  이하이고, 특수처리 후에 사용할 수 있는 공업용수의 환경기준은  $10 \mu\text{g}/\text{mL}$  이하이다.

지역별 평균수질을 BOD 환경기준치를 참고하여 검토해 보면 전체 16개 지점 중 site 1 지점은 BOD 값이  $1 \mu\text{g}/\text{mL}$  이하로 상수원수 1급 수질에 해당하며, site 2, 3, 4, 5, 8, 9, 10, 13, 15, 16의 10개 지점은 2급수질 그리고 site 6, 7, 11, 12, 14의 5개 지점은 3급수질에 해당됨을 알 수 있다. 그러나 COD 환경기준치를 참고하여 검토해 보면 전체 16개 지점 중 site 1, 3, 9, 16의 4개 지점은  $3 \mu\text{g}/\text{mL}$  이하로서 2급수질, site 2, 4, 5, 8, 15의 4개 지점은  $6 \mu\text{g}/\text{mL}$  이하로서 3급수질에 해당하며, site 12, 14의 2개 지점은  $8 \mu\text{g}/\text{mL}$  이하이며, 오염이 심한 지점으로서 site 6, 7, 10, 11, 13의 5개 지점은  $10 \mu\text{g}/\text{mL}$  이하의 값을 보였다. 이와 같은 결과는 “전 연구결과”보다는 전반적인 수질이 개선되었음을 알 수 있으나, 오염이 심한 지점인 site 6에서 평균값으로 BOD는  $3.75 \mu\text{g}/\text{mL}$ 이며, COD는  $9.19 \mu\text{g}/\text{mL}$ 의 높은 값을 보였다. 이는 “전 연구결과”의 BOD  $6.08 \mu\text{g}/\text{mL}$ , COD  $13.49 \mu\text{g}/\text{mL}$ 의 값과 비

교하면 큰 폭의 감소를 보였으나, 다른 지점과 비교할 때에 여전히 높은 값을 알 수 있다. 또한 site 11에서는 BOD 4.05  $\mu\text{g}/\text{mL}$ , COD 8.58  $\mu\text{g}/\text{mL}$ 을 보였으며, 이는 “전 연구결과”에서 BOD 6.22  $\mu\text{g}/\text{mL}$ , COD 13.56  $\mu\text{g}/\text{mL}$ 의 값과 비교하면 큰 폭의 감소를 보였으나, 여전히 높은 값을 알 수 있다. 기타 지점에서도 전체적인 경향은 “전 연구결과”에서와 비슷하였다.

이와 같은 오염의 감소를 보인 주요원인으로는 금호강 수질개선을 위한 하수종말처리시설 등 투자의 결과로 생각된다. 그러나 BOD값의 감소에 비해 상대적으로 낮은 COD 제거효율의 문제점과 BOD 값으로 2급 수질에 미치지 못하는 지점들의 수질에 대한 계속적인 감소 노력이 필요한 것으로 판단된다.

그리고, 오염이 심한 것으로 알려지고 있는 영산강의 수질과 비교하면 다음과 같다. 영산강은 상류에 광주광역시와 중류에 나주시 등의 소도시가 위치하고 있어 오염이 심한 것으로 알려져 있다. 영산강의 하류인 영산호에서 1997년 7월부터 1998년 6월까지 조사된 값이 BOD와 COD 경우 각각 0.8~6.4  $\mu\text{g}/\text{mL}$ 과 4.6~9.0  $\mu\text{g}/\text{mL}$ 의 분포를 보고한 값<sup>16</sup>과 비교할 때, 조사기간 중의 금호강 전 지점에서의 값은 각각 0.27~11.02  $\mu\text{g}/\text{mL}$ 과 0.82~18.44  $\mu\text{g}/\text{mL}$ 으로 최소값은 낮으나, 최대값은 높음을 알 수 있었다. 이러한 결과는 아직도 금호강의 유기물 오염이 안심할 수준이 아님을 보여준 것이고, 계속하여 감시하고 투자해야 할 사항임을 말해준다.

### 3.1.3. DO

DO는 수질 중에 녹아 있는 산소의 양을 나타내는 수치이지만 하천수의 오염에 대한 간접적인 지표로 이용될 수 있다.

조사기간의 분포(평균값)를 보면 금호강의 최상류인 site 1에서 7.48~8.84(7.99  $\mu\text{g}/\text{mL}$ )이며, 최하류인 site 13에서 2.95~9.90(6.84  $\mu\text{g}/\text{mL}$ )이며, 낙동강 본류인 site 14에서 2.85~8.00(6.22  $\mu\text{g}/\text{mL}$ )과 site 15에서 2.86~9.04(6.26  $\mu\text{g}/\text{mL}$ )이었다. 상류에서 하류로 내려감에 따라 DO의 감소 경향은 전체적인 오염의 증가와 반비례하여 감소되는 경향으로서 이는 “전 연구결과”와 동일한 현상이다.

낙동강의 오염에 미치는 정도를 알아보면, 금호강의 하천수가 유입되기 전의 낙동강 본류인 site 14지점과 유입 후의 site 15지점에서 그리고 금호강 하천수가 낙

동강 본류에 유입되기 전의 최하류 지점인 site 13에서 DO 평균값이 6.22  $\mu\text{g}/\text{mL}$ , 6.26  $\mu\text{g}/\text{mL}$ 과 6.84  $\mu\text{g}/\text{mL}$ 으로 큰 변화는 없었다. 그리고, 오염이 심한 것으로 알려지고 있는 영산호에서 1997년 7월부터 1998년 6월까지 조사된 값이 4.0~13.5  $\mu\text{g}/\text{mL}$ 의 분포를 보고한 값<sup>16</sup>과 비교할 때, 조사된 금호강 전 지점에서의 값은 각각 2.86~11.94  $\mu\text{g}/\text{mL}$ 으로 낮음을 알 수 있었다.

### 3.1.4. SS

SS는 수질 중에 존재하는 부유물의 양을 나타내는 수치로서, 하천의 용도별 수질환경기준치에 의하면, 상수원수 1급, 2급, 3급 모두 25  $\mu\text{g}/\text{mL}$  이하로 규정되어 있다.

조사기간의 분포(평균값)를 보면 금호강의 최상류인 site 1에서 2.40~5.50(4.13  $\mu\text{g}/\text{mL}$ )이며, 최하류인 site 13에서 3.40~21.30(11.83  $\mu\text{g}/\text{mL}$ ), 낙동강 본류인 site 14에서 3.90~60.0(24.33  $\mu\text{g}/\text{mL}$ ), site 15에서 28.50~100.0(60.97  $\mu\text{g}/\text{mL}$ )과 site 16에서 13.90~32.40(23.15  $\mu\text{g}/\text{mL}$ )이었다. 낙동강 본류인 site 15에서 평균값으로 60.97  $\mu\text{g}/\text{mL}$ 으로 가장 심한 오염을 보였다. “전 연구결과”와 비교할 때 site 1에서 평균값으로 0.73  $\mu\text{g}/\text{mL}$ 에서 4.13  $\mu\text{g}/\text{mL}$ 으로 높아진 결과를 제외하고는 전반적으로 비슷한 결과를 보였다. 금호강 전 지점인 site 1에서 site 13까지는 평균값으로 상수원수 1급, 2급, 3급 모두의 기준인 25  $\mu\text{g}/\text{mL}$  이하를 만족하나 낙동강 본류인 site 14와 site 16은 24.33  $\mu\text{g}/\text{mL}$ 과 23.15  $\mu\text{g}/\text{mL}$ 으로 환경기준인 25  $\mu\text{g}/\text{mL}$ 에 가까운 오염도를 보이며 site 15에서는 60.97  $\mu\text{g}/\text{mL}$ 으로 환경기준인 25  $\mu\text{g}/\text{mL}$ 의 2.44 배에 달하는 오염을 보였다.

낙동강의 오염에 미치는 정도를 알아보면, 금호강의 하천수가 유입되기 전의 낙동강 본류인 site 14지점과 유입 후의 site 15와 site 16 그리고 금호강 하천수가 낙동강 본류에 유입되기 전의 최하류 지점인 site 13에서 DO 평균값이 각각 24.30  $\mu\text{g}/\text{mL}$ , 61.0  $\mu\text{g}/\text{mL}$ , 23.2  $\mu\text{g}/\text{mL}$ 과 11.80  $\mu\text{g}/\text{mL}$ 이었다. site 15에서 금호강 하천수의 영향으로 보기 어려운 오염증가 후에 하류인 site 16에서 급격히 감소됨을 알 수 있다. 이는 BOD에서와 동일한 경향과 원인으로 생각된다.

### 3.1.5. 전기전도도

전기전도도는 물 중에 포함된 전해질의 총량을 나타내는 지표이다.

조사기간의 분포(평균값)를 보면 금호강의 최상류인 site 1에서 187~371(249  $\mu\text{S/cm}$ )이며, 최하류인 site 13에서 483~1373(1,051  $\mu\text{S/cm}$ ), 낙동강 본류인 site 14에서 147.0~295.0(245.3  $\mu\text{S/cm}$ ), site 15에서 520.0~1,445(995.3  $\mu\text{S/cm}$ ), site 16에서 193.0~591.0(392.0  $\mu\text{S/cm}$ )이었다. 이는 “전 연구결과”의 분포(평균값)인 site 1에서 159.5~339.0(238.1  $\mu\text{S/cm}$ ), site 13에서 384.0~1,608(1,093  $\mu\text{S/cm}$ ) 값과 비교하여 볼 때에 하류에서 상대적으로 오염이 심한 결과뿐만 아니라 오염의 정도에서도 비슷한 결과를 보였다.

낙동강의 오염에 미치는 정도를 알아보면, 금호강의 하천수가 유입되기 전의 낙동강 본류인 site 14와 유입 후의 site 15, site 16 그리고 금호강 하천수가 낙동강 본류에 유입되기 전의 최하류 지점인 site 13에서 평균값으로 각각 245.3  $\mu\text{S/cm}$   $\mu\text{g/mL}$ , 995.3  $\mu\text{S/cm}$ , 390.2  $\mu\text{S/cm}$ 와 1,051  $\mu\text{S/cm}$ 이다. 이는 금호강 하천수의 유입 후인 site 15에서 4.06배의 매우 큰 증가 후에 하류인 site 16에서 급격히 감소됨을 알 수 있다. 이는 BOD에서와 동일한 경향과 원인으로 생각된다.

### 3.2. 영양염류

하천수의 부영양화에 원인이 되는 암모니아성 질소( $\text{NH}_3\text{-N}$ ), 아질산성( $\text{NO}_2\text{-N}$ ) 질소, 질산성 질소( $\text{NO}_3\text{-N}$ ), 총질소(Total-P), 인산성 인( $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ )과 총인(Total-P) 항목에 대한 조사기간 중 전 지점에서의 값을 Table 1~3에 나타내었으며, 총질소(Total-P)와 총인(Total-P)의 지점별 평균값을 Fig. 3에 나타내었다. 그리고 이들 항목의 오염정도 및 특징을 살펴보면 다음과 같다.

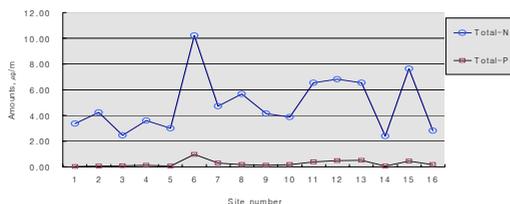


Fig. 3. Change of T-P and T-N in the Kumho River. Site 2, 6, 9, 11 are branch streams and Site 14, 15, 16 are Nakdong River.

Fig. 3. Change of T-P and T-N in Kumho River. Site 2,6,9,11 are branch streams and Site 14,15,16 are Nakdong River.

#### 3.2.1. 총질소(Total-N)와 암모니아성 질소( $\text{NH}_3\text{-N}$ )

조사기간의 Total-N 분포(평균값)를 보면 금호강의

최상류인 site 1에서 0.82~7.46(3.36  $\mu\text{g/mL}$ )이며, 최하류인 site 13에서 2.67~11.30(6.56  $\mu\text{g/mL}$ ), 낙동강 본류인 site 14에서 0.86~3.55(2.40  $\mu\text{g/mL}$ ), site 15에서 2.26~13.80(7.63  $\mu\text{g/mL}$ ), site 16에서 1.39~4.22(2.81  $\mu\text{g/mL}$ )이었다. 그리고 Fig. 3에서 보는 바와 같이 금호강에서 가장 오염이 심한 지점으로는 site 6이며 3.76~18.60(10.21  $\mu\text{g/mL}$ )의 높은 값을 보였다. 낙동강의 오염에 미치는 정도를 알아보기 위해, 금호강의 하천수가 유입되기 전의 낙동강 본류인 site 14에서 Total-N의 경우 평균값으로 2.40  $\mu\text{g/mL}$ 이고 유입 후의 낙동강 본류인 site 15에서 7.63  $\mu\text{g/mL}$ 이고 site 16지점에서 2.81  $\mu\text{g/mL}$ 이었다. 이 값으로 볼 때에 site 15지점에서 3.18 배의 매우 큰 증가를 보인 다음 site 16지점에서 절반 이하로 감소하는 결과를 보였다. 또한 금호강 하천수가 낙동강 본류에 유입되기 전의 최하류 지점인 site 13에서 Total-N 평균값이 6.56  $\mu\text{g/mL}$ 으로 볼 때에 금호강 하천수의 영향만으로 볼 수 없는 매우 큰 증가임을 알 수 있다. 이는 BOD 등에서와 동일한 경향과 원인으로 생각된다.

$\text{NH}_3\text{-N}$ 의 오염정도는 최상류인 site 1에서 0.03~0.24(0.10  $\mu\text{g/mL}$ )이며, 최하류인 site 13에서 0.03~0.85(0.48  $\mu\text{g/mL}$ ), 낙동강 본류인 site 14에서 0.12~0.20(0.16  $\mu\text{g/mL}$ ), site 15에서 0.50~0.60(0.54  $\mu\text{g/mL}$ ), site 16에서 0.24~0.30(0.27  $\mu\text{g/mL}$ )이었다. 이는 “전 연구결과”의 평균값으로 site 1에서 0.03  $\mu\text{g/mL}$ 과 site 13에서 0.46  $\mu\text{g/mL}$ 과 비교할 때에 site 1에서는 증가되었으며, 금호강 최하류인 site 13에서는 비슷한 수치를 보였다. 그리고 금호강에서 오염이 심한 지점으로는 site 6에서 0.56~3.82(1.70  $\mu\text{g/mL}$ )과 site 11에서 0.56~3.90(2.11  $\mu\text{g/mL}$ )의 높은 오염을 보였다. 이 값은 “전 연구결과”의 평균값으로 각각 0.45  $\mu\text{g/mL}$ 과 0.88  $\mu\text{g/mL}$ 과 비교할 때에 각각 3.38 배와 2.40 배로 오염이 심화되었다. 그리고, 오염이 심한 것으로 알려지고 있는 영산강의 수질과 비교하면 다음과 같다. 영산호에서 1997년 7월부터 1998년 6월까지 조사된 값이 0.04~0.97  $\mu\text{g/mL}$ 의 분포를 보고한 것<sup>16</sup>과 비교할 때, 조사된 금호강의 값은 0.01~3.90  $\mu\text{g/mL}$ 으로 최소값은 낮으나 최대값은 높음을 알 수 있었다. 이러한 결과는 아직도 금호강의 오염이 안심할 수준이 아님을 보여준 것이고, 계속하여 감시하고 투자해야 할 사항임을 말해준다. 낙동강의 오염에 미치는 정도를 알아보면, 금호강의 하천수가 유입되기 전의 낙동강 본류인 site 14

에서 0.16  $\mu\text{g}/\text{mL}$ 이고 유입 후의 낙동강 본류인 site 15에서 0.54  $\mu\text{g}/\text{mL}$ 이고 site 16에서 0.27  $\mu\text{g}/\text{mL}$ 이었다. 이 값으로 볼 때에 site 15에서 3.38 배의 매우 큰 증가를 보인 다음 site 16에서 절반으로 감소하는 결과를 보였다. 또한 금호강 하천수가 낙동강 본류에 유입되기 전의 최하류 지점인 site 13에서 0.48  $\mu\text{g}/\text{mL}$ 으로 볼 때에 금호강 하천수의 영향만으로 볼 수 없는 매우 큰 증가임을 알 수 있다. 이는 BOD 등에서의 동일한 경향과 원인으로 생각된다.

### 3.2.2. 이질산성 질소와 질산성 질소 ( $\text{NO}_2^-$ -N와 $\text{NO}_3^-$ -N)

주요 지점별의  $\text{NO}_2^-$ -N와  $\text{NO}_3^-$ -N의 분포(평균값)를 보면 최상류인 site 1에서 0.01~0.20(0.07  $\mu\text{g}/\text{mL}$ )과 0.04~0.23(0.13  $\mu\text{g}/\text{mL}$ )이며, 최하류인 site 13에서 0.15~0.57(0.37  $\mu\text{g}/\text{mL}$ )과 0.04~0.56(0.26  $\mu\text{g}/\text{mL}$ )이었다. 이 값은 “전 연구결과”와 비교할 때  $\text{NO}_2^-$ -N는 전반적으로 증가되었으며,  $\text{NO}_3^-$ -N는 비슷한 결과를 보였다.

낙동강의 오염에 미치는 정도를 알아보기 위해, 금호강의 하천수가 유입되기 전의 낙동강 본류인 site 14에서  $\text{NO}_2^-$ -N와  $\text{NO}_3^-$ -N의 평균값이 0.09  $\mu\text{g}/\text{mL}$ 과 0.14  $\mu\text{g}/\text{mL}$ 이고, 유입 후의 site 15에서 0.32  $\mu\text{g}/\text{mL}$ 과 0.21  $\mu\text{g}/\text{mL}$ , site 16에서 0.05  $\mu\text{g}/\text{mL}$ 과 0.13  $\mu\text{g}/\text{mL}$  이었다. 이 값으로 볼 때에 site 15에서 각각 1.5 배와 3.56 배의 매우 큰 증가를 보인 다음 site 16에서는 대폭 감소하는 동일한 결과를 보였다. 또한 금호강 하천수가 낙동강 본류에 유입되기 전의 최하류 지점인 site 13에서  $\text{NO}_2^-$ -N와  $\text{NO}_3^-$ -N의 평균값이 0.26  $\mu\text{g}/\text{mL}$ 과 0.37  $\mu\text{g}/\text{mL}$ 으로 볼 때에 금호강 하천수의 영향만으로 볼 수 없는 매우 큰 증가이다.

### 3.2.3. 총인과 인산성 인(Total-P과 $\text{PO}_4^{3-}$ -P)

총인(Total-P)의 지점별 평균값은 Fig. 3에서 보는 바와 같으며, 지점별 Total-P와  $\text{PO}_4^{3-}$ -P의 분포(평균값)를 보면 site 1에서 각각 0.02~0.04(0.03  $\mu\text{g}/\text{mL}$ )과 ND~0.02(0.02  $\mu\text{g}/\text{mL}$ )이며, 최하류 지점인 site 13에서 0.37~0.71(0.51  $\mu\text{g}/\text{mL}$ )과 0.14~0.63(0.38  $\mu\text{g}/\text{mL}$ )이었다. “전 연구결과”와 비교하면 전반적으로 비슷한 오염정도를 보였다. 또한 조사기간 중의 금호강 전체에 대한 Total-P의 분포(평균값)가 0.02~1.84(0.27  $\mu\text{g}/\text{mL}$ ) 값으로서 비교적 오염이 심한 것으로 발표되고 있는 영산호에서 Total-P의 0.04~0.588(약 0.25  $\mu\text{g}/\text{mL}$ )인 보고<sup>16</sup>와 비교하면 최소값은 낮으나 최대값과 평균값이

높음을 알 수 있었다. 이러한 결과는 금호강의 오염이 안심할 수준이 아님을 보여준 것이며, 부영양화를 일으키는 질소성분과 함께 계속하여 감시하고 투자해야 할 사항임을 말해준다.

낙동강의 오염에 미치는 정도를 알아보면, 금호강의 하천수가 유입되기 전의 낙동강 본류인 site 14에서 Total-P와  $\text{PO}_4^{3-}$ -P의 평균값이 0.07  $\mu\text{g}/\text{mL}$ 과 0.03  $\mu\text{g}/\text{mL}$ 이고, 유입 후의 site 15에서 0.46  $\mu\text{g}/\text{mL}$ 과 0.32  $\mu\text{g}/\text{mL}$  그리고 site 16에서 0.19  $\mu\text{g}/\text{mL}$ 과 0.09  $\mu\text{g}/\text{mL}$ 이었다. 이 값으로 볼 때에 site 15에서 각각 6.57 배와 10.67 배의 매우 큰 증가를 보인 다음 site 16에서는 대폭 감소하는 동일한 결과를 보였다. 또한 금호강 하천수가 낙동강 본류에 유입되기 전의 최하류 지점인 site 13에서 Total-P와  $\text{PO}_4^{3-}$ -P의 평균값이 0.51  $\mu\text{g}/\text{mL}$ 과 0.38  $\mu\text{g}/\text{mL}$ 으로 볼 때에 금호강 하천수의 영향만으로 볼 수 없는 매우 큰 증가이다. 이는 BOD, Total-N와  $\text{NH}_3$ -N 값 등에서의 동일한 경향과 원인으로 생각된다.

영양염류 종류별 상관분석 결과 총인과 인산성 인의 경우 +0.9108의 높은 상관관계를 보였으며, 또한 총질소(Total-N)와 총인(Total-P)의 경우에도 +0.9248의 높은 상관관계가 있음을 알 수 있었다. 이는 직접적인 영향 또는 각 지점별의 농도 증가가 전반적으로 동일한 경향을 보이는 결과로 예상된다.

## 3.3. 특수항목

### 3.3.1. 유지류(Oil & grease)와 합성세제(ABS)

유지류와 합성세제는 하천 수면에 막을 형성하여 산소의 유입을 차단하므로 수질을 악화시킨다. 조사기간 중 금호강 하천수계의 전 지점에서의 값을 Table 1~3에 나타내었으며, 유지류(oil & grease)의 지점별 평균값을 Fig. 4에 나타내었다. Table과 Fig.에서와 같이 지점별 유지류와 ABS의 분포(평균값)는 site 1에서 각각 0.03~0.06(0.04  $\mu\text{g}/\text{mL}$ )과 ND~0.031(0.013  $\mu\text{g}/\text{mL}$ )이며, 가장 하류지점인 site 13에서 0.00~0.02(0.01  $\mu\text{g}/\text{mL}$ )과 ND~0.055(0.021  $\mu\text{g}/\text{mL}$ )이었다. 유지류와 ABS의 경우 가장 심한 오염지점의 분포(평균값)는 각각 site 6 지점의 0.00~3.03(1.54  $\mu\text{g}/\text{mL}$ )과 site 11 지점의 ND~0.108(0.057  $\mu\text{g}/\text{mL}$ )이었다. “전 연구결과”와 비교할 때 유지류의 경우, 전반적으로 큰 감소를 보이거나 동일 지점에서도 측정지점에 따라 큰 분포를 보이는 마찬가지였다. 이와 같은 경향은 유지류의 오염

정도는 지역과 시기에 상관없이 불규칙하게 분포되는 오염원 때문으로 생각되며 즉 오염원이 점오염원이 아니라 비점오염원임을 추측할 수 있다. 한편 ABS의 경우도 1/10 정도의 큰 감소를 보였다.

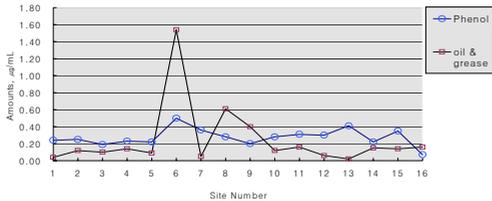


Fig. 4. Change of oil & grease and Phenol in the Kumho River. Site 2, 6, 9, 11 are branch streams and Site 1 is Nakdong River.

Fig. 4. Change of phenol and Oil & grease in Kumho River. Site 2,6,9,11 are branch streams and site 14,15,16 are Nakdong River.

낙동강의 오염에 미치는 정도를 알아보면, 금호강 최하류인 site 13에서 유지류와 ABS의 평균값이 0.01 µg/mL과 0.021 µg/mL이며, 낙동강에 유입되기 전 본류 지점인 site 15에서 0.15 µg/mL과 0.006 µg/mL이고, 유입 후의 site 14에서 0.14 µg/mL과 0.004 µg/mL이며, site 16에서 0.16 µg/mL과 0.015 µg/mL으로 금호강 하천수보다는 주로 낙동강 본류에서 높은 오염을 보였다.

### 3.3.2. 페놀

페놀류는 미량이 있더라도 정수과정에서 소독용으로 사용한 염소와 반응하여 클로로페놀을 생성하여 강한 악취를 발생하므로 문제가 될 수 있다. 근년에 낙동강의 페놀오염사건으로 큰 파란을 일으키기도 하였다.

조사기간의 지점별 평균값은 Fig. 4에서 보는 바와 같으며, 페놀량 분포(평균값)는 상류지점인 site 1에서는 0.01~0.64(0.24 µg/mL), 가장 하류지점인 site 13에서는 0.02~1.11(0.41 µg/mL)이고 상대적으로 오염이 가장 심한 site 6에서 0.02~1.34(0.50 µg/mL)이었다. 금호강의 전 영역에서 평균값으로 최저값인 site 2에서 0.15 µg/mL에서 최대값인 site 6에서 0.50 µg/mL의 높은 오염을 보였다. 이는 “전 연구결과”의 평균값으로 0.01~0.02 µg/mL과 비교할 때 상당히 큰 증가를 보였다.

낙동강의 오염에 미치는 정도를 알아보면 금호강 최하류인 site 13에서 평균값이 0.41 µg/mL이며, 낙동강에 유입되기 전 본류 지점인 site 15에서 0.22 µg/mL이고, 유입 후의 site 14에서 0.35 µg/mL이며, site 16에서

0.07 µg/mL으로 감소를 보였다.

상관분석 결과 페놀은 COD, 총질소(Total-N), 총인(Total-P)과의 상관계수가 각각 +0.8205, +0.8509와 +0.8137의 높은 상관관계를 보였다. 이는 직접적인 영향 또는 각 지점별의 농도 증가가 전반적으로 동일한 경향을 보이는 결과로 예상된다.

### 3.4. 금속류

조사기간 중 금호강 하천수계의 전 지점에서의 값을 Table 1~3에 나타내었다. 수중에 적은 양이 있더라도 수중 생물체에 농축되어 큰 피해를 야기할 수 있는 각종 금속류의 오염정도, 장기적인 변화추세 등 오염특징은 다음과 같다.

구리(Cu), 망간(Mn), 납(Pb)의 경우는 대부분의 지점에서 불검출 또는 0.01 µg/mL 이하의 값을 보였으며, 아연(Zn)의 경우에도 0.01 µg/mL 이하로 오염은 미미함을 알았다. 또한 “전 연구결과”와 비교할 때 전반적으로 비슷한 오염정도를 보였으며, 낙동강의 오염에 미치는 정도도 미미함을 알 수 있었다. 크롬(Cr), 카드뮴(Cd), 비소(As)는 모두 전 지점에서 불검출로 나타났다으며, 오염 정도는 미미함을 알 수 있었다.

주요 지점에 대한 철(Fe)의 분포(평균값)를 보면, 금호강의 상류지점인 site 1에서 ND~0.080 µg/mL(0.043 µg/mL)이고, 가장 하류지점인 site 13에서는 ND~0.070(0.030 µg/mL)이었다. 금호강의 지점별 평균값의 편차는 0.027~0.053 µg/mL으로 “전 연구결과”의 0.004~0.045 µg/mL과 비교할 때 전반적인 증가를 보였다. 낙동강의 오염에 미치는 정도를 알아보면, 금호강 최하류인 site 13에서 평균값이 0.030 µg/mL이며, 낙동강에 유입되기 전 본류 지점인 site 15에서 0.080 µg/mL이고 유입 후의 site 14에서 0.027 µg/mL이며, site 16에서 0.065 µg/mL으로 큰 오염 영향이 없음을 알 수 있었다.

## 4. 결 론

금호강 수계의 수질관정과 낙동강 본류에 미치는 영향을 조사하기 위해 2000년 5월부터 2001년 2월까지 5월, 8월 및 12월 3회에 걸쳐 BOD 등 총 24개 항목의 수질을 측정하였다. 금호강의 최하류 지점으로 화원유원지, 낙동강 유입전의 본류로서 다사와 유입후의 고령 지점을 포함하여 총 16개 지점에서 실시하였다. 각 지

점별 항목별 대표적인 특징을 조사기간 전인 1997년 1월부터 1999년 12까지의 3년간의 연구결과(“전 연구결과”)와 비교하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 조사기간의 금호강 전 지점에 대한 각 항목의 분포(평균값)는 다음과 같다.  
수온 - 0.2~29.30(17.71 °C), pH 6.34~9.46(8.06), BOD 0.27~7.64(2.26  $\mu\text{g}/\text{mL}$ ), COD 0.82~18.44(5.58  $\mu\text{g}/\text{mL}$ ), DO 2.86~11.94(7.13  $\mu\text{g}/\text{mL}$ ), SS 0.10~21.30(4.73  $\mu\text{g}/\text{mL}$ ), 전기전도도 187~1,780(570.0  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), 유지류 ND~3.03(0.20  $\mu\text{g}/\text{mL}$ ), ABS ND~0.108(0.016  $\mu\text{g}/\text{mL}$ ), Phenol 0.01~1.34(0.29  $\mu\text{g}/\text{mL}$ ), 영양염류인 Total-N 0.82~18.60(5.03  $\mu\text{g}/\text{mL}$ ), Total-P 0.02~1.84(0.27  $\mu\text{g}/\text{mL}$ )이었다. 중금속류인 Cu ND~0.050(0.005  $\mu\text{g}/\text{mL}$ ), Zn ND~0.030(0.007  $\mu\text{g}/\text{mL}$ ), Fe ND~0.100(0.044  $\mu\text{g}/\text{mL}$ ), Mn ND~0.040(0.001  $\mu\text{g}/\text{mL}$ )이었다. 한편 As, Cd, Cr 및 Pb는 불검출 되었다.
2. 금호강 수질에 대한 중요항목별, 지점별, 측정치들을 보면, BOD는 상류에서 0.45  $\mu\text{g}/\text{mL}$  하류에서 2.0  $\mu\text{g}/\text{mL}$ 이고, Total-N는 상류에서 3.66  $\mu\text{g}/\text{mL}$  하류에서 6.56  $\mu\text{g}/\text{mL}$ 이며, Total-P는 상류에서 0.03  $\mu\text{g}/\text{mL}$  하류에서 0.51  $\mu\text{g}/\text{mL}$ 으로 하류에서 오염이 증가되었다. 특이한 현상으로서 하류인 site 13과 낙동강 본류인 site 14와 비교할 때에 낙동강 유입 후인 site 15에서 높은 값을 보였으며, 이와 같은 오염도 증가는 주변 유원지 상가의 생활하수 등으로 생각되며, 이 지점의 오염이 낙동강 본류에 크게 영향을 주지 않음을 알 수 있었다.
3. 금호강 전 지점에서 평균값으로 “전 연구결과”와 비교하면 다음과 같다.

오염이 증가된 항목은 페놀,  $\text{NH}_3\text{-N}$ 와  $\text{NO}_2\text{-N}$ 이며, 페놀은 0.01  $\mu\text{g}/\text{mL}$ 에서 0.29  $\mu\text{g}/\text{mL}$ 으로,  $\text{NH}_3\text{-N}$ 은 0.25  $\mu\text{g}/\text{mL}$ 에서 0.54  $\mu\text{g}/\text{mL}$ 으로,  $\text{NO}_2\text{-N}$ 은 0.10  $\mu\text{g}/\text{mL}$ 에서 0.32  $\mu\text{g}/\text{mL}$ 으로 증가되었다. 감소된 항목은 BOD, COD, SS, 유지류, ABS 등이고, BOD는 2.86  $\mu\text{g}/\text{mL}$ 에서 2.26  $\mu\text{g}/\text{mL}$ 으로, COD는 7.61  $\mu\text{g}/\text{mL}$ 에서 5.58  $\mu\text{g}/\text{mL}$ 으로, SS는 6.58  $\mu\text{g}/\text{mL}$ 에서 4.73  $\mu\text{g}/\text{mL}$ 으로, 유지류는 5.23  $\mu\text{g}/\text{mL}$ 에서 0.20  $\mu\text{g}/\text{mL}$ 으로, ABS는 0.701  $\mu\text{g}/\text{mL}$ 에서 0.016  $\mu\text{g}/\text{mL}$ 으로 감소되었다. 기타 항목은 비슷한 결과를 보였다. 또한 지점별 경향성에도 큰

차이가 없었다. 그러나 오염이 증가된 항목으로 부영양화를 일으키는 질소성분뿐만 아니라 인(P) 성분에 대한 지속적인 감시와 투자가 필요함을 알 수 있다.

4. 금호강 수질이 낙동강의 수질에 미치는 중요 항목의 영향은 다음과 같다.

금호강 하천수의 유입 전 다사지점과 유입 후 고령지점의 평균값으로서 BOD는 1.07  $\mu\text{g}/\text{mL}$ 에서 1.42  $\mu\text{g}/\text{mL}$ 으로 1.33배의 증가를, COD는 1.99  $\mu\text{g}/\text{mL}$ 에서 2.44  $\mu\text{g}/\text{mL}$ 으로 1.23배의 증가를 보였다. 전기전도도는 221  $\mu\text{S}/\text{cm}$ 에서 392  $\mu\text{S}/\text{cm}$ 으로 1.77배 증가를 보였다. 영양염류인 총질소는 2.21  $\mu\text{g}/\text{mL}$ 에서 2.81  $\mu\text{g}/\text{mL}$ 으로 1.27배의 증가를, 총인은 0.08  $\mu\text{g}/\text{mL}$ 에서 0.19  $\mu\text{g}/\text{mL}$ 으로 2.38배 증가를 보였다. 유지류는 0.15  $\mu\text{g}/\text{mL}$ 에서 0.16  $\mu\text{g}/\text{mL}$ 으로, ABS는 0.006  $\mu\text{g}/\text{mL}$ 에서 0.015  $\mu\text{g}/\text{mL}$ 으로 2.50배의 증가를 보였으며 페놀은 0.06  $\mu\text{g}/\text{mL}$ 에서 0.07  $\mu\text{g}/\text{mL}$ 으로 약간의 증가를 보였다.

## 감사의 글

본 연구는 2000년도 신라대학교 부설 낙동강연구원 학술연구비로 이루어졌으며, 이에 대해 감사드립니다.

## 참고 문헌

1. 박영규, “대구 도시권 하천수의 수질오염 현황과 수질보전 대책”, 영남대학교 학위논문집, 대구, 1978.
2. 송승달, “금호강 유역의 수질, 토양 및 무의 중금속 함량에 관한 연구”, 경북대학교 보건대학원 학위논문집, 대구, 1984.
3. 이정재, 최정, *한국환경농학지*, 5, 24-30(1986).
4. 강화신, *세계 환경의 날 심포지움*, 중대구 청년 회의소, 금호강 유역의 오염원 특성, 29-52(1988).
5. 이철희, *세계 환경의 날 심포지움*, 중대구 청년회의소, 금호강 수질 현황과 장애, 7-28(1988).
6. 이순탁, *세계 환경의 날 심포지움*, 중대구 청년회의소, 금호강 유역 환경보전대책 (하천유역의 보전방향), 95-116(1988).
7. 박영규, 이철희, “금호강 수질개선 방안에 관한 연구보고”, 건설부, 한국 수자원공사, 서울, 1989.
8. 이태관, 박태규, *계명대학교 환경과학논집*, 1(1), 155-

- 170(1996).
9. 배준웅, 서무룡, 장혜영, 송희봉, 박태명, *한국환경과학회지*, **4**(3), 207-220(1995).
  10. 배준웅, 이상학, 이성호, *대한화학회지*, **45**(1), 14-24 (2001).
  11. 배준웅, 이상학, 이성호, *한국환경과학회지*, **10**(1), 27-33(2001).
  12. 배준웅, 이상학, 이성호, 송희봉, *한국환경분석학회지*, **3**(2), 101-108(2000).
  13. 환경부, "수질오염공정시험법", 환경부고시 제1998-146호, 1998.
  14. AOAC, "Official Methods of Analysis of AOAC International", AOAC, 1999.
  15. 환경부, "하천용도별 환경기준치", 1999.
  16. 조기안, 안병권, 홍순강, 정동욱, *한국환경과학회지*, **8**(6), 691-699(1999).