환경영향평가 제12권 제4호(2003) pp.259~270

영산강 하류권역 하천수의 수질평가

윤석태 · 고영구 · 오강호 · 문병찬 · 김해경*
전남대학교 과학교육학부/과학교육연구소, 광주교육대학교 과학교육과*
(2003년 7월 25일 접수, 2003년 9월 1일 승인)

Water Quality Assesment of the Lower Yeongsan River System

Seok-Tai Youn · Yeong-Koo Koh · Kang-Ho Oh · Byoung-Chan Moon · Hai-Gyoung Kim*
Department of Science Education/Institute of Science Education, Chonnam National University
Department of Science Education, Gwangju National University of Education*
(Manuscript received 25 July 2003; accepted 1 September 2003)

Abstract

To investigate the water quality and the pollution state of lower Yeongsan river system, 38 water samples were taken from the main stream of the Yeongsan river, Gomakwon and Hampyeong streams of the system in dry and flood seasons, May and August, 2001. The Yeongsan river is typically natural in accordance with pH-Eh diagram. But the chemistry based on Piper's diagram indicates that the river is influenced by seawater.

BOD increases as the sampling sites are approaching the downstream in Gomakwon and Hampyeong streams overwhelming WQS V grade of 12.40mg/l. T-N and T-P of the river are mainly loaded not in above branch streams but in the main stream of the river, which are caused by manure for farming, domestic animal discharges and life-sewage, in possible. Meanwhile, heavy metal contents are below WQS or not detect in whole water samples. So, it shows that the above river waters be polluted by not industrial but life/agricultural foul waters.

Key words : Yeongsan river, river water, water quality, pollution, WQS

Corresponding Author: Kang-Ho Oh, Department of Science Education/Institute of Science Education, Chonnam National University 300 Yongbong-dong, Gwangju 500-757, Korea Tel: 82-62-530-2510 Fax: 82-62-530-2519 E-mail: yeongsanriver@hanmail.net

I. 서 론

물은 생활용수, 농업용수, 산업용수 등 인간생활에 필수적 자원으로, 대기 중의 천수, 지표수 및 지하수의 형태로 순환한다. 특히, 지표수는 지구적 순환과정에서 토양과 암석을 풍화·침식시켜 지형의 변화를 초래하며 하천을 통하여 오염물질을 이동시키기도 한다. 우리나라 하천 주변의 하수 관거 체계는 구조적 문제와 기존의 하·폐수처리시설 부족으로 인하여 많은 오폐수가 제대로 처리되지 못한 채 하천으로 유입되고 있다.

농업지역을 관류하는 하천수는 경우에 따라 도심지역의 오·폐수처리시설보다 더 저하된 수질을 보이는데, 이는 농업용수 등에 사용된 각종 비료, 분뇨, 오염물질 등이 유실된 토양과 함께 강과 하천에 직접 유입되는 것에 기인하고 있다. 이러한 농업지역 오염은 광범위하게 발생하며, 유출량이 많아 정수시설 등의 집중처리에 의한 조절이 어렵기 때문에 산업폐수나 도시지역의 생활하수와 같이 특정 출구로부터 일정량 배출되는 점오염원들과는 다른 특징을 가지고 있다.

영산강 하류권역은 1차 산업인 농업 지역으로 영산강 본류를 비롯한 함평천, 고막원천 등의 지류들이 관류하며, 수자원 확보를 위해 1981년 영산강 하구언에 방조제가 건설된 바 있다. 영산강 하류권역은 방조제 건설 이전에는 해수와 담수의 교환이 활발하게 일어나는 기수지역이었으나, 방조제 건설 후에 반폐쇄적 환경의 담수호로 환경이 급변하였다. 이로 인해, 하류권역은 BOD, COD, T-N, T-P 등에 의한 오염이 증가하고 있으며, 호소의 부영양화 및 그에 따른 환경피해가 증가하고 있다(조기안, 1994). 영산강은 공업화의 직접적 영향이 상대적으로 적은 하천임에도 불구하고 수질이 4대 강 중 가장 악화된 것으로 나타나 환경적 영향요인에 대한 연구가 증가하고 있으나, 영산강에 많은 영향을 미치는 지류들에 대한 수질환경 및 특성에 대한 연구는 저조한 상태이다(조기안 등, 1999; 황대호 등, 2001; 오강호·고영구, 2003; 오강호 등, 2003).

본 연구는 영산강 하류권역을 이루는 하천을 대상으로 하천수의 수질 환경을 살펴보고, 환경부(2001)의 수질측정망 운영자료와 상호 비교하여 영산강 하류권역 하천들의 수질 특성을 파악하는 한편, 하천수의 오염실태와 그 오염원인에 대한 접근을 시도하였다.

II. 연구지역 개요

우리나라 서남단에 위치하는 영산강은 전형적인 곡류천으로 노령산맥을 중심으로 남남서 방향의 수지상 하계망을 이루고 있다. 영산강은 유역면적 3,371km^2, 하천연장 1,472km, 본류의 유로연장 136km로서 우리나라 4대강 중의 하나로 황룡강, 광주천, 지석천, 고막원천, 함평천 등 5개의 제1차 지류들을 포괄한다. 영산강 하계권역은 중류의 나주시 영산포 일대를 기준으로 황룡강, 지석천, 광주천을 포함하는 상류권역과 고막원천, 함평천을 포함하는 하류권역으로 크게 나누어진다(정부합동, 2000). 영산강 하류권역에 해당하는 고막원천은 장성군 삼서면 학성리 태청산에서 발원하여 함평군 해보면과 나산면, 나주시 고막원을 지나 남쪽으로 흘러 다시면 동당리 석관정 서쪽에서 영산강 본류와 합류한다. 고막원천은 직할하천 21.4km를 포함한 유로연장 39.3km로 유역면적은 218.99km^{2}이다. 함평천은 영광군 군남면 대덕리 금산에서 발원하여 대동댐을 지나 함평읍을 비롯한 함평군을 통과하여 학교면 사포나루 서측에서 본류와 합류한다. 함평천은 직할하천 15.0km를 비롯한 유로연장 32.0km로 유역면적은 186.97km^{2}이다(수자원공사, 1992).

III. 재료 및 방법

본 연구는 영산강 하류권역을 이루는 하천을 대상으로 전라남도 하천도(1:250,000) 및 지형도(1:50,000)를 이용하여, 환경부 수질측정망 지점을 포함한 하천의 대표적인 시료 채취 정점을 선정한 후, 2001년 5월과 8월의 갈수기와 홍수기 2차

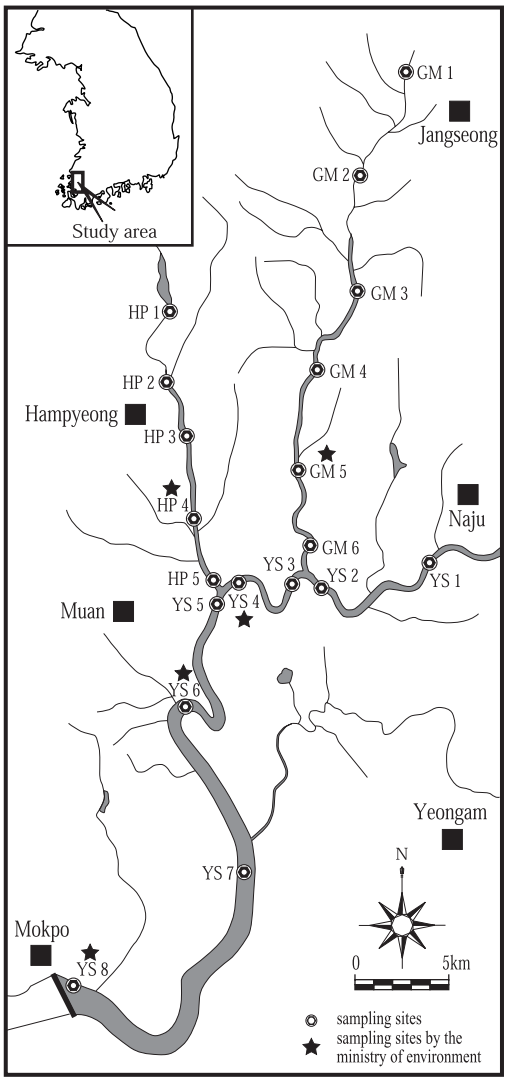

Fig. 1. Map showing the study area and river water sampling sites(YS: Yeongsan river main stream, GM: Gomakwon stream, HP: Hampyeong stream).

례에 걸쳐 영산강 본류 8개, 고막원천 6개, 함평천 5개의 총 38개 하천수를 채수하였다(Fig. 1). 현장에서 하천수의 pH, Eh, DO는 휴대용 pH-Eh meter(Orion 290-A) 및 DO meter(YSI 58)를 이용하여 측정하였다. 채수된 하천수의 BOD, COD는 수질오염공정시험방법(환경부, 2000)에 의해, T-N, T-P는 UV(Ultra Violet: Shimadzu, Visible Recording Spectrophotometer 160A)를 이용하여 각각 220nm, 880nm에서 시료의 흡광도를 측정 한 후, 미리 작성한 검량선으로부터 T-N, T-P의 양을 구하여 농도를 산출하였다. SS는 여과지(GF/C; 0.45μm)를 이용하여 105~110°C의 건조기 안에서 2시간 건조시킨 후 항량으로 중량을 측정하였다. 하천수의 무기용존물질 및 중금속 분석의 경우, 양이온 및 중금속의 분석은 ICP(Induced Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometer: Jobin yvon 138)에 의한 유도결합플라즈마 방식을, 음이온은 IC(Ion Chromatograph: Shimadzu HIC-10A)를 이용한 이온크로마토그래피법을 사용하여 분석하였다. 원소의 분석 시, 자료의 신뢰도를 검증하기 위해 표준시료, 동일시료, 배경시료에 대한 중복분석을 실시하였으며, 그 결과, 정확도는 표준시료의 오차 이내로 정밀도와 함께 ±10% 이내로 나타났다. 또한 분석되어진 무기물질 중 양이온과 음이온의 용존량은 mg/l 단위로, 중금속의 용존량은 μg/l로 각각 나타내었다.

한편, 수질에 영향을 주는 요인들은 어느 하나의 요인만 작용하는 것이 아니라 많은 요인들이 복합적으로 작용하기 때문에 그 특성을 하나로 인식하기는 어려운 실정이다. 또한 하천수 수질은 단기간에 많은 여러 요인들에 의해 많은 변화가 초래될 수 있기에 어느 한 시점에서 측정되어진 결과를 토대로 수질을 평가할 수는 없다. 따라서 이러한 문제점을 극복하고자 환경부(2001) 수질측정망 운영자료를 이용하여 장기간의 수질 변동 등을 모니터링하여 상호 비교하였다.

IV. 결 과

1. 하천수의 수질 특성

우리나라 환경부에 의한 하천수 수질환경기준(WQS)은 pH, DO, BOD, SS의 기준이 설정되어 있으며, COD와 하천 및 호소에서 부영양화를 일으키는 T-N, T-P의 기준은 호소수 수질환경기준을 채택하고 있다. 영산강 하류권역을 이루는 고막원천과 함평천은 최종적으로 호소환경인 영산호로 유입되어 T-N, T-P 등에 의한 오염에 영향을 준다. 따라서 본 연구에서는 pH, DO, BOD, SS는 하천수 수질환경기준치를, COD, T-N, T-P는 호소수 수질환경기준치를 이용하여 고찰하였다(Table 1).

연구지역의 pH는 갈수기에 영산강 본류, 고막원천, 함평천에서 7.08-8.92(평균 7.58)를, 홍수기에는 6.72-7.36(평균 7.04)로 수질환경기준 I등급을 지시한다. DO는 갈수기에 함평천 하류방향에서 4mg/*l* 이하로 수질환경기준 IV등급을 시사하나, 대부분의 지역은 5mg/*l* 이상으로 I-II등급의 양호한 수질이다. 홍수기에는 DO가 다소 감소하는 경향을 보여 수질이 3.88-6.25mg/*l*(평균 4.89)의 IV등급으로 악화되었다(Fig. 2). BOD는 갈수기에 함평천이 발원하는 대동댐(HP 1)에서 2.14mg/*l*로 낮았으나, 연구지역 대부분이 6.0-12.40mg/*l*로 IV등급 이상의 수질임을 지시하였으며, 특히 함평읍 부근(HP 3)에서 12.40mg/*l*로 수질환경기준 V등급을 초과하는 것으로 나타났다. 홍수기에는 전 지역이 0.91-4.98mg/*l*로 갈수기에 비해 저하되는 경향을 보였다.

COD, T-N, T-P는, 전술한 바와 같이, 하천수 수질환경기준이 설정되지 않아 호소수 수질환경기준을 참조하여 고찰하였다. 연구지역에서 조사

Table 1. Water qualities of river waters in the study area.

(unit: mg/l, *mV)

	Dry season								Flood season						
Site	Eh*	pH	DO	BOD	COD	T-N	T-P	SS	pH	DO	BOD	COD	T-N	T-P	SS
YS 1	259	7.31	6.50	6.87	13.88	6.17	0.36	28.80	7.07	4.29	2.31	6.90	1.99	1.08	53.80
YS 2	231	7.22	5.54	6.32	14.16	7.18	0.79	42.80	6.94	4.05	1.73	5.50	2.35	0.97	41.00
YS 3	235	7.70	7.09	6.00	14.66	7.66	0.78	36.40	6.95	4.42	1.19	5.00	2.49	0.32	32.60
YS 4	211	7.30	4.94	7.85	15.36	8.02	0.93	27.00	6.72	4.70	1.19	5.02	1.48	nd	54.80
YS 5	211	7.54	6.54	6.65	14.10	5.72	0.49	79.00	6.80	4.47	4.98	14.08	4.98	nd	345.50
YS 6	246	7.58	7.81	6.27	13.90	4.87	0.49	28.00	7.13	5.10	2.07	6.84	2.04	nd	45.60
YS 7	231	7.33	7.14	6.71	5.44	4.32	0.26	23.20	7.36	5.54	4.67	8.74	2.37	0.35	65.27
YS 8	243	7.08	6.43	7.15	16.61	3.92	0.08	10.20	7.05	3.88	2.14	6.00	2.91	nd	18.80
GM 1	171	8.92	8.66	7.23	13.24	4.11	0.34	38.10	7.33	5.42	0.91	3.54	2.92	nd	14.20
GM 2	169	8.85	7.43	8.19	13.02	3.54	0.53	21.60	7.23	5.07	1.13	4.82	2.07	nd	36.20
GM 3	252	8.88	7.04	6.63	7.40	3.05	0.10	9.60	7.14	5.15	1.97	6.22	2.01	0.06	32.20
GM 4	254	8.08	6.37	6.36	8.12	2.89	0.24	11.60	7.05	4.51	1.70	6.92	2.07	nd	37.40
GM 5	220	7.78	7.72	6.51	9.84	2.72	0.14	17.60	7.10	5.13	1.85	6.00	2.08	nd	37.00
GM 6	224	8.05	7.12	8.78	9.68	3.14	0.06	27.60	7.02	5.15	1.58	6.26	1.93	nd	57.60
HP 1	239	7.69	5.45	2.14	4.28	0.48	0.06	2.80	7.06	6.25	1.37	5.60	1.33	0.12	4.80
HP 2	262	7.50	3.90	9.40	17.89	2.05	0.05	12.40	6.80	6.16	1.74	7.18	1.80	nd	5.20
HP 3	265	7.32	3.53	12.40	23.71	4.03	0.10	1.50	6.77	5.14	1.19	5.50	2.15	nd	30.60
HP 4	253	7.32	4.06	8.43	15.47	4.42	0.17	48.00	6.93	4.96	1.34	5.78	2.35	nd	29.60
HP 5	225	7.39	3.47	9.35	14.66	7.26	nd	25.00	6.91	4.84	3.45	10.72	3.27	nd	140.86

(nd: not detected)

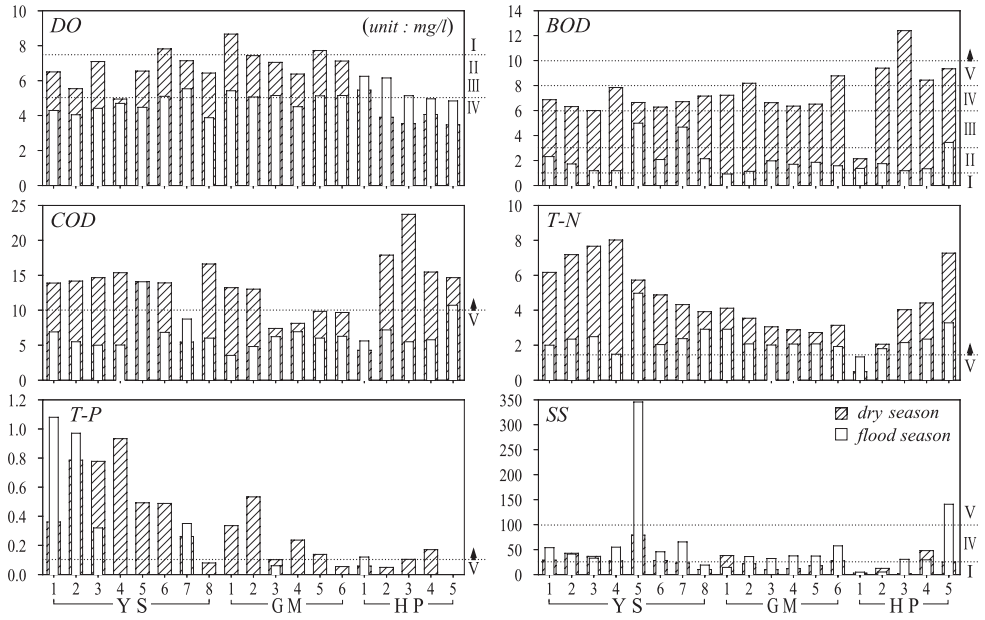

Fig. 2. Variations of DO, BOD, COD, T-N, T-P and SS contents in the study area.

된 COD는 BOD의 경향과 유사한 경향을 보인다. 갈수기에 COD는 BOD가 높게 나타난 지점들에서 10mg/*l* 이상의 높은 값을 보여, 수질이 V등급임을 알려준다. T-N의 갈수기 함량변화는 함평천의 발원지인 대동댐 부근을 제외한 영산강 본류, 고막원천, 함평천에서 수질환경기준 V등급 기준치인 1.5mg/*l*보다 매우 높은 2.72-7.26mg/*l*의 함량을 보였다. 홍수기에 T-N의 함량은 갈수기에 비해 상당히 감소하였으나, 1.33-4.98mg/*l*로 역시 수질환경기준 V등급에 해당되었다. 갈수기의 T-P는 T-N의 경향과 유사하게 영산강 본류에서 수질환경기준 V등급인 1mg/*l*를 초과하였으며, 고막원천과 함평천에서도 1mg/*l* 내외를 나타냈다. 한편 홍수기에 T-P는 대다수의 다른 성분들의 감소와는 다르게 영산강 본류(YS 1, 2, 7)에서 증가하였다. SS는 갈수기에 영산강 본류(YS 1, 2, 3, 4, 5, 6), 고막원천(GM 1, 6), 함평천(HP 4)에서 수질환경기준 Ⅰ등급인 25mg/*l*이상을 초과하였으며, 홍수기에는 그 정도가 더 빈번하게 나타났다.

2. 하천수의 물리 · 화학적 특성

일반적으로 수질의 물리적 특성은 pH와 Eh 값의 변화에 많은 영향을 받는다(김동윤 등, 1983; Baas-Becking *et al.*, 1960). 연구지역 하천수에서 측정된 pH, Eh에 의한 물리적 특성은 영산강 본류, 고막원천, 함평천의 하천수가 자연수의 범위 내에 존재함을 시사한다(Fig. 3). 한편, 하천수의 무기이온들의 함량분포는 Table 2에 표시하였으며, 화학적 특성의 변화를 살펴보기 위해 양이온과 음이온의 농도를 당량으로 환산하여 Piper(1944)의 삼각도에 표시하였다(Fig. 4). 하천수에서 분석되는 무기이온들은 암석의 풍화, 대기로부터의 유입 또는 인간활동에 의한 영향으로 인해 생성되며 하천수의 이온변화에 많은 영향을 준다(서혜영 · 김규한, 1997; Berner and Berner, 1987; Stallard and Edmond, 1983). 영산강 본류에서 채수된 하천수의 무기이온들의 분포는 갈수기와 홍수기 모두 양이온 영역에서 Na^++K^+가 주된

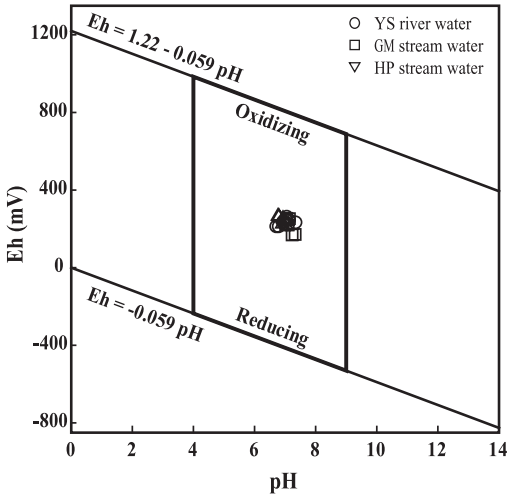

Fig. 3. pH-Eh relationships of the water samples in the study area(The solid line represents the limits of pH and Eh in the surface environment).

유형을 보였으며, 음이온은 갈수기에 Cl^-이 지배적으로 나타났고, 홍수기에는 HCO_3^-와 Cl^-의 중간형태의 유형을 나타냈다. 고막원천과 함평천에서 채수된 하천수의 무기이온들의 분포는, 갈수기에, 양이온 영역에서 Na^++K^+가 주된 유형으로, 홍수기에는 Na^++K^+와 Ca^{2+}의 중간형으로 이동하였다. 음이온은 갈수기에 HCO_3^-와 Cl^-의 중간형에서 홍수기에는 HCO_3^-가 지배적인 형태로 나타났다.

3. 중금속 함량 분포

연구지역 하천수에서 분석된 중금속 As, Se, Zn, Cd, Pb, Cu, Cr, Hg 등의 함량은 수질환경기준보다 낮거나 검출되지 않았다(Table 3). 갈수기에 분석된 중금속류의 경우, Zn과 Cu가 연구지역에서 10$\mu g/l$ 이하를, 홍수기에도 10$\mu g/l$ 내외의 함량을 나타내 수질환경기준인 50$\mu g/l$ 이하였다. 특히, As, Se, Cd, Cr, Hg 등은 갈수기, 홍수기 모두 기기 분석의 검출한계치(detection limit: 5$\mu g/l$) 이하의 값을 보이거나 검출되지 않았다.

Table 2. Cation and anion contents of river waters in the study area.

(unit: mg/l)

	Dry season									Flood season							
Site	Mg^{2+}	Ca^{2+}	Na^+	K^+	HCO_3^-	Cl^-	NO_3-N	SO_4^{2-}	Mg^{2+}	Ca^{2+}	Na^+	K^+	HCO_3^-	Cl^-	NO_3-N	SO_4^{2-}
YS 1	3.39	9.36	23.50	6.81	47.58	44.74	3.36	23.37	2.05	7.01	11.40	2.79	30.50	10.64	2.19	10.08
YS 2	3.56	9.36	21.60	6.64	52.46	46.79	3.02	24.97	1.96	6.75	11.40	2.58	30.50	10.68	2.18	9.65
YS 3	3.72	9.38	24.30	7.26	61.00	49.14	2.91	25.65	2.10	7.01	4.97	2.25	30.50	10.43	2.08	9.05
YS 4	4.19	10.50	31.30	8.88	45.14	35.75	3.04	28.06	1.80	6.09	4.80	1.95	26.84	9.97	1.81	9.10
YS 5	4.53	10.80	31.30	9.00	45.14	36.76	2.73	27.49	2.26	6.96	5.59	2.68	31.72	10.01	2.18	9.65
YS 6	5.94	11.70	53.90	10.10	62.22	101.00	1.50	34.64	1.95	6.59	4.82	2.59	28.06	9.91	2.12	9.43
YS 7	8.37	11.70	76.20	12.30	59.78	135.00	2.14	43.08	1.78	5.59	4.69	2.65	23.18	9.09	1.84	10.07
YS 8	13.60	12.60	181.00	18.90	51.24	469.00	2.57	78.28	3.36	7.54	17.30	4.64	34.16	9.79	2.06	10.19
GM 1	1.96	6.73	4.23	3.17	30.50	18.56	2.36	7.27	1.86	6.75	3.96	1.53	29.28	4.11	1.26	6.15
GM 2	2.18	7.08	5.61	2.96	43.92	21.49	1.96	9.71	2.00	7.31	4.22	2.09	34.16	3.19	0.85	5.19
GM 3	2.64	8.40	5.95	2.42	51.24	23.30	1.69	10.08	1.96	6.62	3.63	2.26	34.16	7.08	1.92	8.84
GM 4	2.34	7.56	6.86	2.86	36.60	23.40	2.42	10.76	1.96	6.53	3.48	2.36	30.50	7.42	1.96	7.70
GM 5	2.89	8.98	9.28	4.55	42.70	28.97	1.82	13.12	2.01	6.91	3.95	2.28	32.94	6.45	1.86	7.11
GM 6	3.39	9.23	11.60	5.23	50.02	35.38	1.91	14.89	2.18	6.87	3.91	2.27	32.94	7.03	1.80	7.03
HP 1	2.22	8.15	5.98	1.13	53.68	12.02	0.18	9.08	1.37	4.12	3.20	1.02	15.86	6.73	1.05	5.99
HP 2	5.02	13.80	9.19	3.88	112.24	19.38	1.23	13.24	1.56	4.80	3.64	1.17	18.30	5.68	1.71	6.03
HP 3	3.73	10.50	9.95	4.70	39.04	24.28	3.02	14.35	2.17	6.43	4.16	1.97	26.84	5.27	1.71	6.18
HP 4	4.14	10.70	12.40	6.15	46.36	27.71	2.20	16.53	2.03	6.11	3.98	2.04	26.84	15.62	3.58	16.82
HP 5	4.60	11.10	30.30	9.30	45.14	37.40	2.78	28.69	3.31	7.73	8.12	3.75	35.38	10.46	2.75	10.31

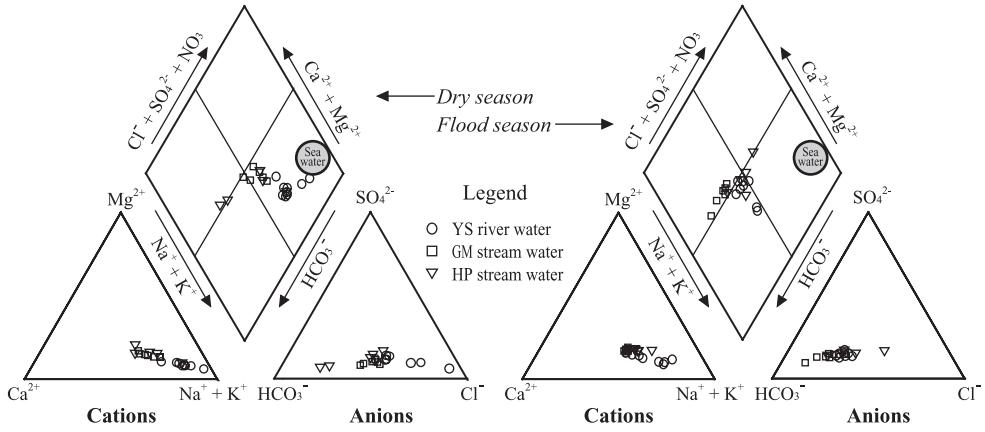

Fig. 4. Piper's diagrams showing the chemical compositions of river waters in the study area.

Table 3. Heavy metal contents of river waters in the study area.

(unit: $\mu g/l$)

	Dry season								Flood season							
Site	As	Se	Zn	Cd	Pb	Cu	Cr	Hg	As	Se	Zn	Cd	Pb	Cu	Cr	Hg
min.	nd	nd	1	nd	nd	1	nd	nd	nd	nd	1	nd	nd	1	nd	nd
max.	4	6	6	nd	3	5	2	nd	nd	nd	14	nd	1	5	1	nd
aver.	-	-	3	-	-	2	-	-	-	-	7	-	-	3	-	-

4. 수질 변동 모니터링

하천수의 수질은 단기간 변화의 특성을 보이며, 채취시기 및 위치에 따라 상당한 차이가 발생하므로 장기적인 변화를 살펴볼 필요가 있다(오창환 등, 2001). 본 연구는 이러한 문제점을 극복

Table 4. Water quality changes in the study area.

(unit: mg/*l*)

	YS 4				YS 6				YS 8				GM 5				HP 4			
year	BOD	COD	T-N	T-P	BOD	COD	T-N	T-P	BOD	COD	T-N	T-P	BOD	COD	T-N	T-P	BOD	COD	T-N	T-P
1991	3.90	6.20	3.22	0.16	3.70	6.00	2.50	0.12	-	-	-	-	2.00	4.40	1.86	0.07	3.10	5.50	2.16	0.11
1992	4.10	7.10	2.47	0.32	4.00	6.80	2.01	0.15	-	4.90	1.92	0.13	2.80	5.50	1.66	0.14	3.10	6.00	2.10	0.25
1993	3.30	6.90	3.04	0.24	3.60	7.00	2.74	0.12	-	5.40	2.02	0.09	2.60	4.80	1.31	0.06	2.90	5.60	1.71	0.10
1994	4.90	9.60	4.00	0.31	5.90	9.00	3.51	0.18	-	6.10	1.83	0.11	3.90	5.80	1.49	0.08	3.80	7.20	2.14	0.14
1995	6.10	8.80	7.09	0.45	4.90	6.90	5.90	0.25	2.60	5.20	3.85	0.13	2.40	5.80	2.01	0.11	4.50	7.60	3.93	0.20
1996	5.30	6.70	7.61	0.39	4.60	6.80	5.87	0.28	2.10	4.20	3.82	0.15	3.30	6.10	2.90	0.10	6.20	9.40	4.78	0.19
1997	6.10	6.80	8.08	0.38	3.90	7.00	6.83	0.24	2.10	5.90	4.57	0.07	2.70	5.70	2.21	0.10	4.70	7.40	3.27	0.19
1998	5.50	6.50	5.84	0.25	3.50	5.90	5.31	0.21	2.20	5.80	4.61	0.14	2.50	4.50	2.47	0.09	3.00	5.50	2.77	0.11
1999	4.80	8.30	6.74	0.35	4.40	7.70	6.07	0.20	2.00	5.60	4.01	0.10	2.90	5.80	3.16	0.10	3.50	5.70	3.46	0.10
2000	5.80	8.50	7.12	0.39	4.70	7.80	6.14	0.22	2.10	5.90	4.27	0.11	3.90	6.30	2.55	0.08	3.30	5.90	2.40	0.08
2001*	7.85	15.36	8.02	0.93	6.27	13.90	4.87	0.49	7.15	16.61	3.92	0.08	6.51	9.84	2.72	0.14	8.43	15.47	4.42	0.17

(modified after, Ministry of Environment, 2001; *analyzed result of study area)

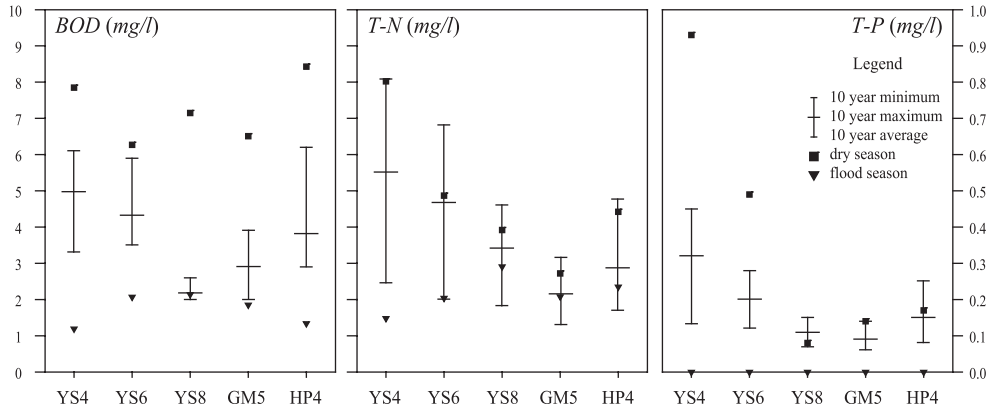

Fig. 5. Comparisons of mean concentrations and their ranges between Ministry of Environment data and the present data in the study area.

하고 객관적으로 하천수 수질을 평가하기 위해, 1991년부터 2000년까지의 환경부 수질측정망 운영자료를 이용하여 연구지역에서의 수질변화를 살펴보았다(Table 4).

먼저, 영산강 하류권역에 대한 환경부의 BOD 수질 변동을 살펴보면, 영산강 본류(YS 4, YS 6)와 함평천(HP 4)에서 평균 3mg/*l* 이상으로 수질환경기준 Ⅲ등급에, 영산강 하구언 부근(YS 8)과 고막원천(GM 5)에서는 3mg/*l* 이하로 Ⅱ등급의 수질에 해당하였다(Fig. 5). 연구지역에서 분석된 갈수기의 BOD는 10년간 측정되어진 환경부 관측자료와 비교할 때 모두 높았으며, 홍수기에는 YS 8을 제외하고 낮게 나타났다.

T-N은 10년간 함량변화가 1.31-8.08mg/*l*로 수질환경기준 V등급인 1.5mg/*l*을 대부분 초과하는 것으로 나타났다. 갈수기에 분석되어진 T-N의 함량은 2.72-5.36mg/*l*로 과거 10년간의 농도 범위 내에 있으나, 수질환경기준으로는 V등급을 초과하였다. 또한 10년 동안의 변화 경향은 BOD와 유사한 경향으로 증가하였다. T-P의 경우도 10년간의 변화가 0.07-0.45mg/*l*로 수질환경기준 V등급인 0.15mg/*l*을 대부분의 지역에서 초과하였으며, BOD와 T-N의 경향과 유사한 특성을 반영하고 있다.

5. 수질오염

연구지역 하천수의 오염을 살펴보기 위해 갈수기에 분석되어진 하천수를 대상으로 수질오염에 많은 영향을 미치는 BOD, T-N, T-P 등의 오염지수(contamination index: CI)를 구하였다(Kerndorff *et al.*, 1992). 오염지수는 주변 오염되지 않은 하천수를 바탕값(background value)으로 하여 1보다 클 경우 지질매체와의 반응이 아닌 특정오염원에 의해 오염된 것을 의미한다. 본 연구에서는 함평천의 발원지인 대동댐에서 채수된 하천수(HP 1)를 바탕값으로 영산강 하류권역 하천수의 오염도를 평가하였다(Fig. 6).

BOD의 오염지수는 고막원천에서 3.0-4.1의 값을 보이며, 상류에서부터 부하되어 본류에 합류되는 지점(GM 6)에서 4.1의 값을 보였다. 함평천은 3.9-5.8의 범위로 함평읍 부근(HP 3)에서 BOD 오염지수 5.8로 연구지역에서 가장 높았다. 한편, 고막원천과 함평천이 합류하는 영산강 본류에서는 2.8-3.7 범위이며 지류들이 합류한 지점에서 다소 높은 값이나 하류방향으로 진행할수록 약간 낮아지는 경향을 반영한다. T-N과 T-P는 BOD의 경향과 다르게 영산강 본류에서 부하되어 각각

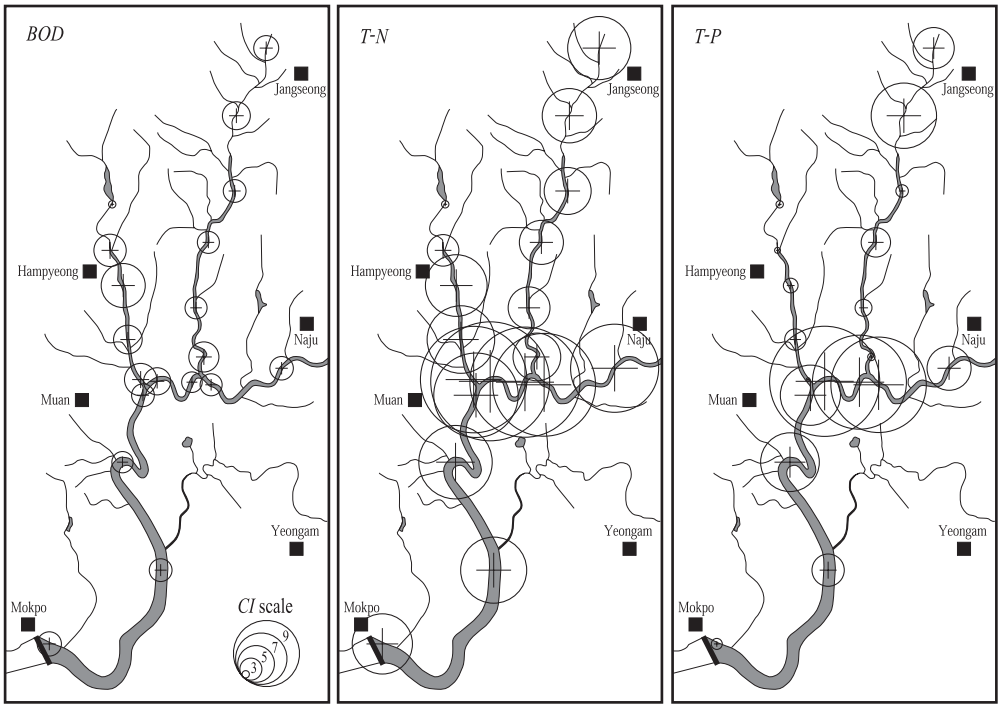

Fig. 6. Spatial distributions of contamination indices (CI) for BOD, T-N and T-P in the study area.

10.2-16.7, 6.0-15.6의 높은 오염지수를 나타냈다.

V. 토 의

1. 수질변화의 요인

하천수의 수질은 조사시기에 따라 많은 차이가 발생하며, 인위적인 오염을 제외하면, 화학성분은 강수의 성분과 주변지역의 지질에 의한 영향을 크게 받는 것으로 알려져 있다(Aston *et al.*, 1974; Berner and Berner, 1987). 즉 하천수의 화학성분 기원은 강수, 대기중의 에어로졸 등 분진에 의한 강수의 용해, 하천 수계 주위의 암석과 토양에서 유출된 원소 등에 따라 결정된다. 그리고 인간활동에 의한 생활하수, 농업용수, 공업용수, 광산폐수, 온천폐수, 농약 등이 유입되어 하천수의 수질이 변화하게 된다(전효택 등, 1998; 오창환 등, 2002; Wittmann, 1983; Salomons and Förstner, 1984). 이와 달리, 집중호우와 같은 많은 강수는 하천수의 수질 및 용존무기물질 등을 희석시켜 함량분포에 많은 변화를 초래한다(Zhang *et al.*, 1995).

갈수기에 연구지역에서 DO, BOD, COD, T-N 및 용존무기물질 등은 비교적 높은 함량치를 가지나, 홍수기에는 감소하는 경향이 있다. 반대로, T-P와 SS는 홍수기에 증가한다. 이는, 갈수기의 수질이 생활하수와 농업용수 등의 오폐수의 직접적인 유입으로 BOD를 비롯한 COD, T-N 등의 증가를 가져온 결과로 판단된다. 그러나 T-P의 경우는, 일반적으로 홍수기에 감소하는 경향을 보이는 DO, BOD, COD, T-N과는 달리, 영산강 중류 부근에서 오히려 증가한다. 영산강 중류는, 하천의 전개형태상, 곡류천(meandering river)으로 하도경사는 비교적 완만하며, 홍수 시, 자주 범람

하므로 주변의 농지에서 토양유실 등을 가져온다(김종일, 1993; 김경수, 2001; 정공수 등, 2001). 이는, 홍수기에 영산강 중류 부근에서 T-P 함량이 증가하는 원인으로 주변 농경지에서 유실된 토양 등이 하천으로 흘러들어 수중의 T-P 함량 변화에 일부 작용한 결과로 추정된다.

T-P와 더불어 홍수기에 증가하는 경향을 보이는 SS는 저층의 세립질 퇴적물이나, 홍수 시, 강우 등에 의한 교란작용으로 증가하기도 한다. 연구지역에서 SS의 농도 변화도 이러한 요인들로 인하여 국부적인 증가와 홍수기에 더 빈번한 함량 증가를 보이는 것으로 여겨진다. 특히, 홍수기에 영산강 중류 부근에서 SS의 함량이 높게 나타나는 원인으로 T-P의 함량변화에 영향을 주었을 것으로 보이는 주변 농경지에서 유실된 토양 등이 SS의 함량변화에도 작용한 것으로 보여진다.

2. 물리·화학적 특성변화의 요인

연구지역 하천수의 pH-Eh도에 의한 물리적 특성은 전형적인 자연 하천수의 특성을 반영하고 있다. 그러나 Piper's diagram에서 제시된 결과에 따르면, 영산강 본류의 하천수에 용존되는 이온으로는, 소량이기는 하나, 일반 하천수에 비해 Na^+와 Cl^-이 우세하다. 과거 영산강 하류권역은 방조제가 건설되기 이전에 해수와 담수의 교환이 원활한 기수지역이었다. 영산강 하류권역은 1981년에 농업용수 등의 수자원 확보를 위한 목포-영암 지역의 방조제 건설로 담수환경이 조성되어 있는데, 홍수조절 목적의 배수갑문 개폐를 통한 해수와 담수의 교환이 일부 이루어지기도 한다. 영산강 하류권역 하천수의 화학적 특성이 해수에 가까운 특징을 보이는 것은 위와 같은 해수의 유입이 부분적으로 영향을 미친 것으로 판단된다. 따라서 담수호인 영산강 하류권역을 대상으로 한 해수 영향의 연구 필요성이 요구되기도 한다.

3. 하천수의 오염원

연구지역 하천수의 오염물질에 대한 영향을 객관적으로 파악하는 방법은 강수에 의해 희석되어진 홍수기의 자료보다는 갈수기의 자료를 이용하는 것이 보다 타당할 것이다. 갈수기의 분석자료를 이용한 연구지역의 오염정도를 살펴보면, BOD는 함평읍 부근(HP 3)에서 12.40mg/l로 V등급을 초과하고 있으며, 본류와 합류하는 지점에서도 부하되는 경향을 보인다. 이러한 경향은 COD의 결과와도 일치하는 것으로 영산강 본류에 고막원천과 함평천 등의 지류들이 유입되면서 상당한 영향을 미치는 것으로 판단된다. 이와 달리 T-N, T-P는 지류들보다는 영산강 본류에서 높게 나타나는데, 수질환경기준 V등급 상한값의 최고 5배 이상으로 부하되고 있다. 이는, 영산강 하류권역이 주로 경작지로서 비료 등의 살포, 가축들의 분뇨, 인간활동에 의한 생활하수의 영향 등이 복합적으로 작용한 결과로 보여진다. 한편, 산업활동 등에 의한 영향을 파악하기 위해 분석된 중금속은 수질환경기준 보다 낮거나 검출되지 않아 영산강 하류권역 하천수에 대한 중금속 오염은 없는 것으로 판단된다.

영산강권역에 대한 환경부(2001)의 수질현황과 수질측정지점과 동일한 연구지역의 하천수 분석결과는 갈수기의 BOD, T-N, T-P 등이 연구지역 10년 평균값보다 높다. 또한 1991년부터 2000년까지 측정된 환경부의 수질 측정망 결과도 오염물질의 함량변화가 점진적으로 증가하는 것으로 나타나 영산강 하류권역의 수질에 대한 고려가 필요한 것으로 생각된다.

VI. 결 론

1. 2001년 5월과 8월에 조사·분석된 영산강 하류권역의 pH-Eh도에 의한 물리적 특성은 전형적인 자연 하천수의 특성을 반영하며, Piper's

diagram에 의한 화학적 특성은 기수지역의 영향이 아직도 남아 있는 것으로 판단된다.

2. 수질환경기준인 BOD와 COD는 영산강 지류인 고막원천과 함평천의 상류에서 하류 방향으로 증가하는 경향을 보이며, 함평읍 부근에서 최고 12.40mg/l로 수질환경기준 V등급을 초과하였다. T-N, T-P는 이들 지류의 영향보다는 영산강 본류부터 부하되어 주변 경작지 비료, 가축 배설물, 인간활동에 의한 생활하수의 영향 등으로 판단된다.

3. 중금속류에 대한 분석은 수질환경기준 보다 낮거나 검출되지 않았다. 이는 영산강 하류권역의 오염원이 산업활동 등에 의한 영향보다 농업활동 및 생활하수 등에 의한 영향이 크게 작용하고 있음을 반증한다.

4. 환경부의 자료와 실측 분석자료를 이용한 장기간의 수질오염 변화 추이를 살펴보면, 수질을 평가하는 지표인 BOD, COD, T-N, T-P 등이 과거 10년간 수질환경기준을 초과하는 것으로 나타났으며, 또한 점진적으로 수질이 악화되는 경향을 인지할 수 있었다.

참고문헌

김경수, 2001, 영산강 유역의 경관변화연구-영산강 시가지 형성과 간석지 개간을 중심으로-, 전남대 박사학위논문.

김종일, 1993, 영산강 하도변화에 관한 지형학적 연구, 전남대 박사학위논문.

서혜영, 김규한, 1997, 한강수계분지내 하천수의 지구화학적 특성, 지하수환경, 4, 130-143.

수자원공사, 1992, 전국하천조사서.

오강호, 고영구, 2003, 광주광역시 하천수의 수질 및 오염, 한국환경과학회지, 12, 287-297.

오강호, 고영구, 윤석태, 2003, 화순지역 토양-퇴적물-하천수의 지구화학적 특성, 환경영향평가, 12, 9-22.

오창환, 이지선, 김강주, 정성석, 황갑수, 이영엽, 2001, 전주시 하천의 중금속과 음이온에 대한 수질현황 및 오염원, 자원환경지질, 34, 89-104.

오창환, 이지선, 김강주, 황갑수, 2002, 전주시 하천의 BOD, COD, 총질소, 총인에 대한 수질현황 및 오염원, 자원환경지질, 35, 43-54.

전효택, 문희수, 김규한, 정명채, 1998, 환경지질학, 서울대학교출판부, 서울.

정공수, 양동윤, 김주용, 이진영, 2001, 영산강 중류 사행천의 퇴적상 분석, 한국지구과학회 2001년도 춘계 공동학술발표회 초록집.

정부합동, 2000, 호남의 생명수 지키기 대역사 -영산강수계 물관리종합대책-, 환경부.

조기안, 1994, 호남지역 동복호와 영산호의 부영양화에 대한 연구, 한국환경과학회 1994년도 봄 특별환경심포지움 및 학술발표회 초록집.

조기안, 안병권, 홍순강, 정동옥, 1999, 영산강 하류의 계절변화에 따른 수질특성과 유기인 산염의 분해율에 관한 연구 I-부영화를 중심으로-, 한국환경과학회지, 8, 691-697.

환경부, 2000, 수질오염공정시험방법, 환경부.

환경부, 2001, 환경통계연감, 환경부.

황대호, 김현용, 정효준, 이홍근, 2001, 영산강 하류부의 목표수질달성을 위한 BOD 부하량 삭감률 산정에 관한 연구, 상하수도학회지, 15, 317-324.

Aston, S. R., Thornton, I., Webb, J. S., Purves, J. B. and B. L. Milford, 1974, Stream sediment composition an aid to water quality assessment, Water Air and Soil Pollution, 3, 321-325.

Baas-Becking, L. G. M., Kaplan, I. R. and O. Moore, 1960, Limits of the environment in terms of pH and oxidation-reduction potentials, Journal of Geology, 68, 243-284.

Berner, E. K. and R. A. Berner, 1987, The global water cycle, Prentice-Hall, Englwood Cliffs, New York.

Kerndorff, H., Schieyer, R., and G. Milde, 1992, Geochemistry of groundwater pollutants at German waste disposal sites, in Lesage, S. and R. E. Jackson(eds.), Groundwater Contamination and Analysis at Hazardous Waste Sites, Marcel-Dekker Inc., 245-271.

Piper, A. M., 1944, A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analysis, American Geophysical Union, Transaction, 5, 914-923.

Salomons, W. and U. Förstner, 1984, Metals in the Hydrocycle, Springer-Verlag, Berlin.

Stallard, R. F. and J. M. Edmond, 1983, Geochemistry of the Amazon 2. The influence of geology and weathering environment on the dissolved load, Journal Geophysical Research, 88, 9671-9688.

Wittmann, G. T. W., 1983, Metal Pollution in the Aquatic Environment, Springer-Verlag, Berlin.

Zhang, J., Huang, W. W., Lutolle, R. and C. Jusserand, 1995, Major element chemistry of the Huanghe(Yellow River), China weathering processes and chemical fluxes, Journal of Hydrology, 168, 173-203.

최종원고채택 03. 09. 05