

광주광역시 하천수의 수질 및 오염

오 강 호 · 고 영 구
전남대학교 과학교육학부
(2002년 12월 30일 접수; 2003년 3월 13일 채택)

Water Quality and Pollutions of River waters in Gwangju City

Kang-Ho Oh and Young-Koo Koh

Department of Science Education, Chonnam National University, Gwangju 500-757, Korea
(Manuscript received 30 December, 2002; accepted 13 March, 2003)

To investigate water quality and pollution states of rivers in Gwangju city, total of 30 water samples were taken from the main stream of Yeongsan river, Hwangryong river and Gwangju stream in dry and flood seasons. Physico-chemical characteristics of above streams according to pH-Eh and Piper's diagrams are, typically, assigned to natural river water. In the streams, BOD, COD, T-N and T-P indicating water quality mostly increase toward downstream. Notably, water qualities in area near connection between the Gwangju stream and the main stream of Yeongsan river are polluted over V level in rivers and lakes water quality standard. The pollutions are influenced by life and agricultural foul waters from Gwangju City and farming areas around upstream branches of the Yeongsan river, reasonably. Besides, heavy metals are below the standard in those streams. So, it is considered that the streams are polluted by not industrial but life/agricultural foul waters.

Key words : Gwangju city, River water, Water quality, Pollution, Gwangju stream

1. 서 론

대도시를 관류하는 하천은 수자원 및 환경적 측면에서 인간 활동과 밀접한 관계를 이루고 있다. 최근 도시화와 산업화에 따르는 오염문제가 하천에서도 대두됨에 따라 하천의 중요성이 크게 부각되고 있다. 특히 하천으로부터 유입되는 다양한 유해물질들은 수질을 비롯한 수중생태계 및 하상에 퇴적되는 퇴적물을 오염시켜 수중 환경을 비롯한 전 지구적인 환경에 변화를 가져온다. 이러한 하천은 토양과 암석을 풍화·침식시켜 지형의 변화를 초래하며 지표수와 지하수에 의해 오염물질을 이동시키기도 한다.¹⁻³⁾

우리 나라의 도시하천을 포함한 상류하천은 하수 관거 체계의 구조적 문제와 기존의 하·폐수처리시설 부족으로 인하여 많은 오폐수가 제대로 처리되

지 못한 채 하천으로 유입되고 있다.⁴⁾ 이로 인해 도시하천의 BOD, COD, T-N, T-P 등에 의한 오염은 급격히 증가하고 있으며, 도시하천 하류에서는 오염에 의한 호소의 부영양화 발생 및 그에 따른 환경피해가 증가하는 추세에 있다. 특히 T-N, T-P 등에 의해 심각한 부영양화가 발생되고 COD에 의한 오염이 가중되고 있음에도 불구하고 현재 환경부에서는 하천수 수질환경기준에 BOD만을 포함시킬뿐 COD, T-N, T-P 등은 하천수 수질환경기준에서 제외되어 있는 상태이다.^{5,6)}

광주광역시는 영산강의 중상류에 위치하고 있으며, 본류를 비롯한 대지류인 황룡강과 광주천 등의 하천이 흐르고 있다. 특히 광주시의 중심부를 관통하는 광주천은 하천수 수질환경이 매우 악화되어 있으며, 영산강에 가장 큰 영향을 미치는 지류로 영산강 하천환경에 대한 연구에서 비교적 중요성이 높다. 영산강권역과 광주광역시에 대한 기연구는, 광주·전남의 수자원 확보, 수질보존, 관리, 개선 등에 관한 연구,⁷⁻¹¹⁾ 수질변화에 관한 이화학적 연구,¹²⁻¹⁸⁾ 지하수에 대한 환경오염실태에 관한 연구¹⁹⁾ 등이 이

Corresponding Author : Kang-Ho Oh, Department of Science Education, Chonnam National University, Gwangju 500-757, Korea
Phone : +82-62-530-2510
E-mail : yeongsanriver@hanmail.net

루어진 바 있다. 그러나 광주광역시를 대상으로 한 하천수의 수질 및 오염 등에 관한 연구들은 이에 비해 미비한 실정이다.

본 연구는 영산강의 중상류 수계를 이루는 광주광역시 하천을 대상으로 채수된 하천수의 수질 및 오염현황을 알아보고, 장기간에 걸쳐 조사된 환경부의 수질측정망 운영자료²⁰⁾와 종합하여 광주광역시를 관류하는 하천들의 수질현황을 파악하는 한편, 도시화 및 산업화에 따른 수질오염원 및 중금속들의 오염상태와 그 오염원인에 대하여 접근을 시도하였다.

2. 연구지역 개요

우리 나라 서남단에 위치하고 있는 영산강은 전라남북도 경계를 형성하고 있는 노령산맥과 광주를 향해 서쪽으로 뻗어 남해안의 서단측까지 이르는 산맥을 중심으로 남남서 방향의 수지상 수계망을 이루고 있다. 영산강의 규모는 유역면적 3,371km², 하천연장 1,472km, 그리고 본류의 유로연장 136km로서 연평균 2,588×10⁶m³의 물을 배수하는 우리나라 4대강 중의 하나로 황룡강, 광주천, 지석천, 고막원천 및 함평천의 5개 제 1지류를 포함한다.²¹⁾ 영산강 제 1지류인 황룡강은 장성군 북하면 신성리에서 발

원하여 장성군과 광주광역시 광산구 전역을 관류하며, 남남동 방향으로 흘러 송정마을 앞에서 영산강과 합류한다. 황룡강은 직할하천 10.7km, 지방하천 34.4km를 포함한 유로연장 61.9km, 유역면적 547.34km²로 영산강 지류 중 가장 큰 규모이다. 광주천은 광주광역시 동구와 전남 화순군 경계인 장불재 서쪽에서 발원하여 광주광역시의 중심부를 관류하며 서남서방향으로 흘러 영산강과 합류한다. 광주천은 지방하천 11.8km를 포함한 유로연장 24.2km로 유역면적은 104.97km²이다(Fig. 1).

영산강 유역에 거주하는 인구는 약 170만명으로 광주광역시와 전라남도 전체 인구의 48%이며, 광주광역시의 인구가 130만명으로 영산강 유역 전체 인구의 75%를 차지할 정도로 영산강에 미치는 영향이 크다. 특히 광주천을 중심으로 광주광역시 인구의 80% 이상이 밀집되어 거주하고 있다. 한편 산업체 분포는 영산강 유역에 총 1,065개소가 분포하며 광주광역시에 전체의 71.5%인 762개소가 집중되어 있다.¹¹⁾

3. 재료 및 방법

본 연구는 광주광역시를 관류하는 하천을 대상으로 전라남도 하천도 및 1:50,000의 지형도를 이용하

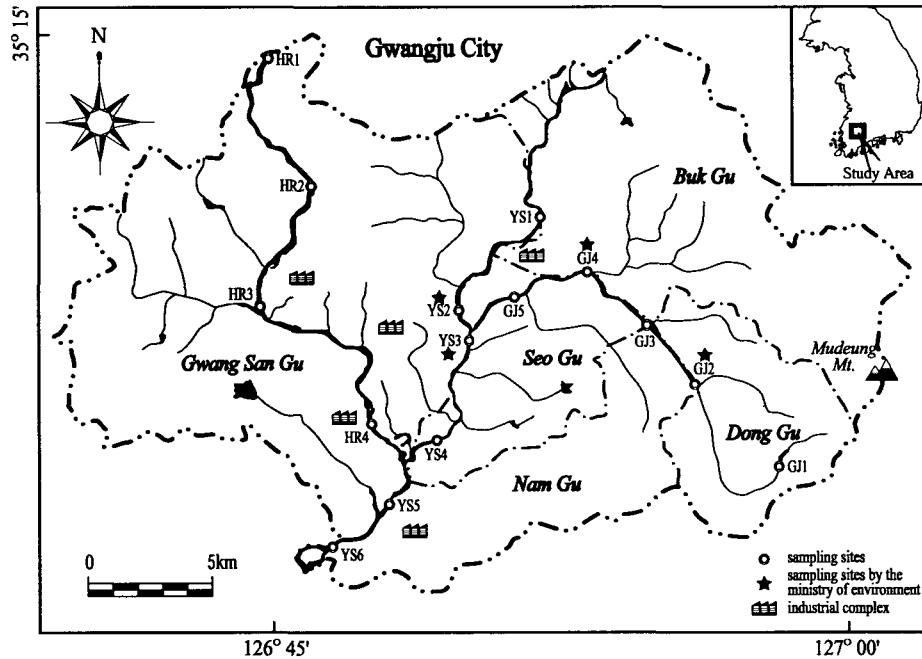


Fig. 1. Map showing the study area and river water sampling sites.
(YS: Yeongsan river main stream, HS: Hwangryong river, GJ: Gwangju stream)

여, 하천을 대표할만한 지점을 선정된 후, 2001년 5월과 8월의 갈수기와 홍수기 2차례에 걸쳐 영산강 본류에서 6 개, 황룡강 4 개, 광주천 5 개의 총 30 개 하천수를 채수하였다. 일반적으로 수질에 영향을 주는 요인들은 어느 하나의 요인만이 작용하는 것이 아니라 많은 요인들이 복합적으로 작용하기 때문에 그 특성을 하나로 인식하기는 어려운 실정이다. 따라서 수질의 세부적인 영향을 파악하기 위해서는 갈수기와 홍수기로 구분하여 분석되어야 할 것이다. 또한 하천수 수질은 단기간에 여러 요인들에 의해 많은 변화가 초래될 수 있기에 어느 한 시점에서 측정되어진 결과를 토대로 수질을 평가할 수는 없다. 따라서 이러한 문제점을 극복하고자 환경부 수질측정망 운영자료를 이용하여 장기간의 수질 변동 및 추이 등을 종합적으로 관찰하여 상호 비교하였다.

현장에서 하천수 분석은 휴대용 pH-Eh meter (Orion 290-A) 및 DO meter (YSI 58)를 이용하여 pH(수소이온농도), Eh(산화환원전위차) 및 DO(용존산소량)를 측정하였다. 채수된 하천수의 BOD 및 COD 등은 수질오염공정시험방법²²⁾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; 0.45 μ m)를 이용하여 추출한 후, 105~110 $^{\circ}$ C의 건조기 안에서 2 시간 건조시켜 실온에서 항량으로 중량을 정확히 측정하였다. HCO₃⁻는 시료액 100ml를 pH meter를 이용하여 표준용액으로 적정한 후, methylene-bromocresol green과 phenolphthalein 지시약을 이용, 0.1N 탄산나트륨 표준용액(Na₂CO₃)으로 적정하였으며, Stednick²³⁾과 Greenberg 등²⁴⁾에 의해 제안된 계산식에 의하여 구하였다. 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. 분석 시, 측정값의 정확도를 높이기 위해 동일시료, 표준액, 공시료에 대한 중복분석을 하였으며, 그 결과, 측정값의 표준편차는 $\pm 10\%$ 이하의 값을 보였다. 또한 분석되어진 무기물질 중 양이온과 음이온의 용존량은 mg/l 단위로, 중금속의 용존량은 μ g/l 로 각각 나타내었다.

4. 결 과

4.1. 물리적 특성 및 화학적 특성

일반적으로 산화-환원 반응 등에 의한 수질의 물리적 특성은 pH와 Eh 값에 의하여 많은 영향을 받는다.²⁵⁾ 연구지역 하천수에서 측정된 pH, Eh에 의한 물리적 특성은 본류, 황룡강 및 광주천의 하천수들이 일반적인 자연수의 범위 내에 존재한다(Fig. 2). 이들 지역에서의 pH-Eh의 변화는 미세하지만 상류와 유속이 비교적 빠른 곳에서는 산화환경으로, 하류 방향 및 유속이 정체되는 일부 지역에서는 환원 환경으로 나타났다.

연구지역 하천수의 무기이온들의 함량분포는 Table 1에 나타냈으며, 화학적 특성의 변화를 살펴보기 위해 양이온과 음이온의 농도를 당량으로 환산하여 Piper's diagram에 도시하였다(Fig. 3). 하천수에서 분석되어지는 무기이온들은 암석의 풍화, 대기로부터의 유입 또는 인간활동에 의한 영향으로 인해 생성되어지며 하천수의 이온변화에 많은 영향을 준다.³⁾ 먼저 본류 및 황룡강에서 채수된 하천수의 무기이온들의 분포는, 갈수기에 양이온 영역에서 Na⁺+K⁺가 주된 유형으로, 홍수기에는 Na⁺+K⁺와 Ca²⁺의 중간형으로 이동하였다. 음이온은 갈수기에 HCO₃⁻와 Cl⁻의 중간형에서 홍수기에는 HCO₃⁻가 지배적인 형태로 나타났다. 그러나 광주천에서 채수된 하천수 무기이온들의 분포는 비교적 넓은 범위에 분포하며, 본류 및 황룡강 하천수와 다른 특성을 보인다. 갈수기에 양이온의 분포는 Na⁺+K⁺가 소하천이 합류하는 지점(GJ 3, 4)에서 매우 우세하며, 음이온의 분포에서는 HCO₃⁻가 우세하였다.

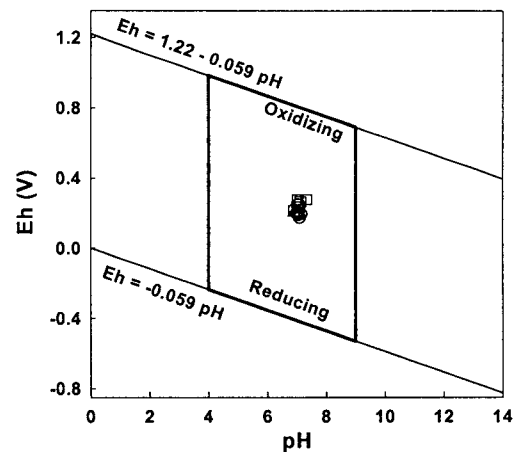


Fig. 2. pH-Eh relationships of the water samples in study area. (○ : YS river water, △ : HR river water, □ : GJ river water)

Table 1. Cation and anion contents of river waters in the study area(unit : mg/ℓ)

Site	Dry season													Flood season												
	Mg	Ca	Na	K	Si	Mn	Fe	Al	HCO ₃ ⁻	F ⁻	Cl ⁻	NO ₃ -N	SO ₄ ²⁻	Mg	Ca	Na	K	Si	Mn	Fe	Al	HCO ₃ ⁻	F ⁻	Cl ⁻	NO ₃ -N	SO ₄ ²⁻
YS1	3.33	10.90	14.20	5.41	0.66	ND	0.05	0.02	61.00	0.16	26.48	1.32	20.03	2.01	7.79	4.90	2.28	2.62	0.01	0.30	0.53	31.72	0.13	9.63	1.83	8.63
YS2	2.52	8.09	9.04	6.89	1.31	0.01	0.22	0.27	51.24	0.15	23.89	0.99	18.45	2.16	7.80	5.57	3.51	2.26	0.01	0.08	0.06	36.60	0.15	10.33	2.02	9.36
YS3	3.14	8.96	13.80	4.90	0.91	0.01	0.22	0.19	43.92	0.16	38.19	1.57	24.10	2.05	7.50	4.81	2.63	2.45	ND	0.02	0.17	31.72	0.14	10.20	2.12	10.17
YS4	3.71	9.31	29.70	7.53	1.55	0.01	0.13	0.13	82.96	0.13	55.46	2.42	32.05	2.42	8.53	11.80	3.76	2.66	0.01	0.10	0.05	42.73	0.16	17.30	3.09	11.95
YS5	3.62	9.34	30.40	7.72	1.54	0.01	0.22	0.21	80.52	0.15	56.66	2.37	28.94	2.61	8.92	10.90	4.07	2.49	ND	0.11	0.13	46.36	0.12	8.29	1.33	5.49
YS6	3.15	9.12	25.80	6.56	1.26	0.01	0.21	0.20	63.44	0.16	53.50	2.65	25.46	1.88	7.18	5.32	2.46	2.13	0.01	0.09	0.12	31.72	0.15	10.98	2.19	8.41
HR1	2.33	8.25	7.44	2.93	0.45	ND	0.08	0.05	45.14	0.18	23.33	1.80	10.23	1.39	6.49	2.54	1.07	1.53	0.01	0.40	0.58	28.06	0.10	5.60	1.41	7.95
HR2	2.52	7.86	6.60	4.06	0.80	0.01	0.34	0.40	46.36	0.08	18.17	0.84	8.82	1.38	5.66	2.85	1.09	1.53	ND	0.21	0.30	21.96	0.09	4.77	1.52	6.40
HR3	2.29	7.92	7.59	2.56	0.47	0.01	0.11	0.09	48.80	0.08	19.63	0.33	9.54	1.39	5.49	2.73	1.04	1.56	ND	0.26	0.24	23.18	0.08	4.77	1.49	6.50
HR4	2.13	7.78	7.27	3.24	0.81	0.01	0.29	0.49	43.92	0.10	20.00	0.61	9.66	1.59	6.79	3.10	1.51	1.72	0.01	0.40	0.62	30.50	0.09	4.84	1.47	6.87
GJ1	2.71	10.70	3.07	0.78	1.95	1.73	0.56	0.02	91.50	0.02	5.82	1.27	2.88	0.58	2.35	1.28	0.28	1.86	ND	0.06	0.08	10.98	0.09	3.84	1.14	5.95
GJ2	2.61	10.30	6.24	2.28	2.22	0.06	0.12	0.09	84.18	0.07	16.96	0.21	9.77	2.77	11.50	6.31	2.25	3.15	ND	ND	ND	71.98	0.11	14.14	1.72	11.76
GJ3	3.81	10.10	53.40	10.80	2.28	0.03	0.08	0.06	115.90	0.11	83.00	4.18	36.34	1.79	7.72	5.04	1.43	2.79	ND	ND	ND	32.94	0.10	10.39	2.39	10.75
GJ4	3.55	9.90	44.70	10.20	2.15	0.02	0.08	0.05	111.02	0.11	73.00	4.06	34.01	2.09	8.54	5.95	1.48	2.92	ND	0.21	0.27	36.60	0.11	8.15	2.21	10.18
GJ5	1.31	7.54	6.77	3.66	1.66	0.02	0.62	1.15	51.24	0.05	15.44	1.24	11.27	2.17	9.30	9.05	3.09	2.65	ND	0.14	0.17	53.68	0.12	8.25	1.82	11.76
DY*	0.76	3.20	1.77	0.42	0.77	0.01	0.02	0.05	24.40	0.01	4.18	0.51	4.51	1.67	6.39	3.86	1.06	1.87	ND	0.26	0.43	30.51	0.09	7.44	1.58	6.04

(*Damyang dam, ND : not detected)

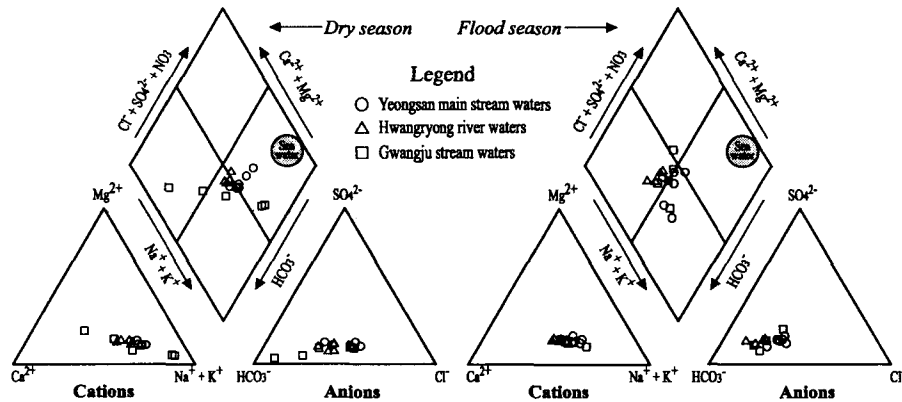


Fig. 3. Piper diagram showing the chemical compositions of river waters in the study area.

4.2. 이화학적 특성

우리 나라 환경부에 의한 하천수 수질환경기준²⁰⁾은 pH를 비롯한 DO, BOD 및 SS의 기준만이 설정되어 있을 뿐, COD와 하천 및 호소에서 부영양화를 일으키는 T-N, T-P 등의 기준은 포함되어 있지 않다. 하지만 광주광역시를 관류하는 하천들은 최종적으로 호소환경인 영산호로 유입되어 영산호의 COD, T-N, T-P 오염에 중요한 역할을 하게 된다. 따라서 본 연구에서는 pH, DO, BOD와 SS는 하천수 수질환경기준치를, COD, T-N, T-P 등은 호소수 수질환경기준치를 이용하여 설명하였다(Table 2).

pH : 갈수기에 연구지역에서 분석된 pH는 황룡강에서 약알카리성을, 광주천에서는 중성으로 7.08-

Table 2. River and lake water quality standards(*lake)

Level	pH	DO	BOD	COD*			T-N*	T-P*	SS
				(mg/ℓ)					
I	6.5~6.5	> 7.5	< 1	< 1	< 0.20	< 0.01	< 25		
II	6.5~6.5	> 5.0	< 3	< 3	< 0.40	< 0.03	< 25		
III	6.5~6.5	> 5.0	< 6	< 6	< 0.60	< 0.05	< 25		
IV	6.5~6.5	> 2.0	< 8	< 8	< 1.00	< 0.10	< 100		
V	6.5~6.5	> 2.0	< 10	< 10	< 1.50	< 0.15	> 100		

Cd : < 10µg/ℓ, As, Cr⁶⁺ : < 50µg/ℓ, Pb : < 100µg/ℓ, Hg : ND

(modified after, Ministry of Environment, 2001)

광주광역시 하천수의 수질 및 오염

9.99의 수치를 보였으며, 본류는 지류들이 합류한 후, 회석에 의해 낮아지는 경향을 보였다. 홍수기에는 6.90-7.31로 전 지역에 걸쳐 비교적 중성에 가까운 특성을 보였다(Table 3).

DO : 갈수기에 DO는 광주광역시를 관류하는 영산강 본류의 하류(정점 YS 6)에서 4.20 mg/l로 하천수수질환경기준 IV등급에 해당하였으나, 대부분의

지역에 6.71-10.90 mg/l로 I-II등급의 양호한 수질을 보였다. 홍수기에 DO는 다소 감소하는 경향을 보여 광주천이 발원하는 제2수원지(GJ 1)에서 7.14 mg/l의 수치를 보였을 뿐, 대다수 지역이 4-5 mg/l의 IV등급 수질이 악화되었다. 홍수기에 DO의 함량이 감소하는 원인으로는 강우 및 부유물질 등에 의한 회석영향으로 보인다(Fig. 4).

Table 3. Water quality of river waters in the study area

Site	Dry season								Flood season						
	Eh (mV)	pH	DO	BOD	COD	T-N	T-P	SS	pH	DO	BOD	COD	T-N	T-P	SS
YS1	173.80	8.34	8.50	8.50	11.36	2.61	0.14	17.50	7.08	5.00	1.37	4.14	1.59	0.00	14.60
YS2	194.80	8.77	8.94	7.37	10.70	12.09	0.27	30.80	7.13	4.65	3.54	6.92	2.11	0.34	57.40
YS3	187.90	9.22	10.90	17.41	29.65	3.01	0.53	63.60	7.04	4.54	3.69	6.30	2.55	ND	62.60
YS4	198.40	8.34	9.57	6.23	11.48	10.53	0.62	40.40	7.03	5.18	3.41	8.86	3.04	1.27	16.80
YS5	245.30	7.86	8.12	5.85	12.02	10.71	0.65	23.60	7.02	4.50	2.74	5.78	2.88	2.55	36.80
YS6	246.80	7.47	4.20	5.28	10.72	8.88	0.44	28.00	7.03	4.55	3.74	5.38	2.14	0.86	48.80
HR1	203.50	7.83	7.48	3.54	7.64	1.94	0.12	6.40	7.01	4.88	1.23	3.82	1.38	ND	6.80
HR2	201.60	8.29	6.71	6.68	11.40	2.23	0.37	14.40	6.90	4.91	1.22	2.90	1.27	ND	11.40
HR3	194.70	8.11	7.34	6.39	18.41	1.46	0.06	10.80	7.08	5.18	1.29	3.76	1.29	ND	13.00
HR4	204.30	9.99	6.45	8.00	18.54	1.70	0.31	48.00	6.97	4.92	1.29	4.08	1.13	ND	24.00
GJ1	263.80	7.36	9.14	1.54	4.52	1.46	0.03	1.20	7.11	7.14	0.77	2.16	1.45	ND	12.60
GJ2	213.40	7.08	8.43	6.26	17.49	0.11	0.08	5.40	6.90	4.60	1.16	2.96	1.96	0.23	9.40
GJ3	276.40	7.20	8.17	20.15	54.87	8.93	1.07	7.20	7.31	6.20	4.05	8.89	2.11	0.58	5.00
GJ4	275.30	7.86	7.13	18.42	38.27	2.42	1.10	6.60	7.02	5.30	3.94	8.17	2.14	0.37	3.40
GJ5	232.50	7.81	8.43	15.41	39.41	4.21	0.71	8.41	7.07	3.20	5.93	12.48	2.57	2.24	24.60
DY	190.50	8.99	10.05	2.42	5.76	0.86	0.04	1.00	6.36	5.23	0.78	1.36	1.40	ND	1.00

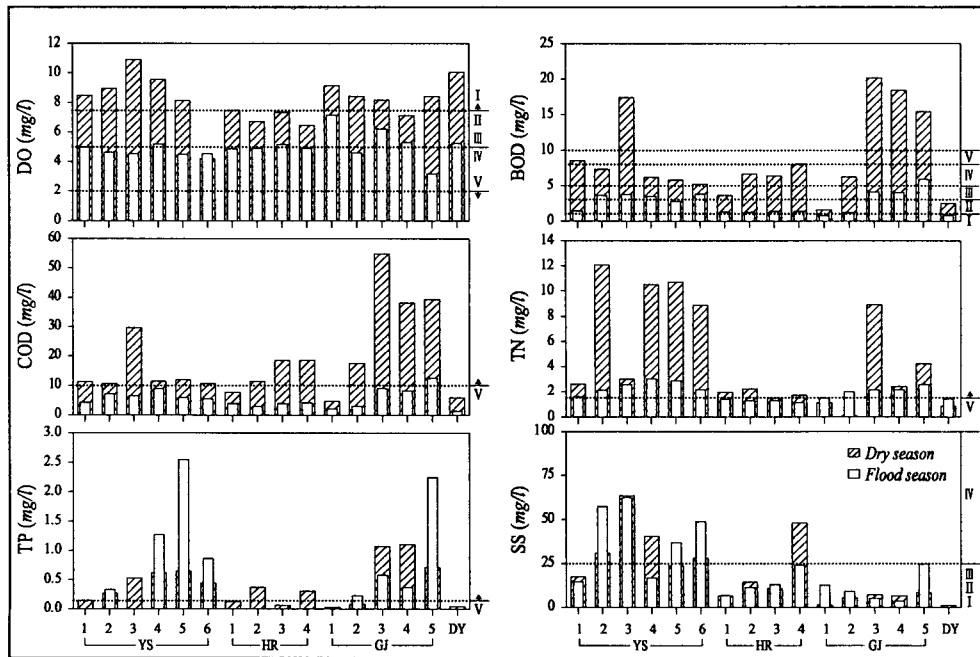


Fig. 4. Variations of DO, BOD, COM, T-N, T-P and SS contents in the study area.

BOD : 갈수기에 BOD는 광주천의 제 2 지류인 동계천과 서방천이 합류하는 충장로(GJ 3), 무등경기장 부근(GJ 4), 광주시 하수처리장 위치하는 유덕동 부근(GJ 5)과 광주천이 합류하는 영산강 본류의 극락교 부근(YS 3)에서 15.41-20.15 mg/l로 하천수 수질환경기준 V등급을 초과하였다. 홍수기에는 전지역이 0.77-5.93 mg/l로 갈수기에 비해 낮아졌다. 특히 갈수기에 분석된 BOD 농도가 광주천 도심을 통과하기 전 상류지점(GJ1, 2)에서 1.54, 6.26 mg/l로 낮은 농도임을 감안할 때, 인구밀집지역을 관류하는 소하천이 유입되는 충장로, 무등경기장 및 하수처리장 부근에서 BOD의 급격한 상승은 광주천으로 유입되는 생활하수 등의 오폐수의 영향으로 보인다. 또한 광주천이 합류하는 영산강 본류(YS 3)에서 BOD의 상승은 광주광역시 도심을 통과하는 지류인 광주천의 영향으로 파악된다.

COD : COD를 비롯한 T-N과 T-P는, 전술한 바와 같이, 하천수수질환경기준이 설정되지 않아 호소수질환경기준을 참조하여 평가하였다. 연구지역에서 조사된 COD는 BOD의 경향과 유사한 함량변화를 보인다. 갈수기에 COD는 BOD의 함량이 높게 나타난 지점들과, 황룡강의 하류인 광산구 송정동 부근(HR 3, 4)에서 10 mg/l 이상의 높은 함량을 보였으며, 호소수질환경기준 V등급에 해당되는 것으로 나타났다.

T-N : 갈수기에 T-N은 영산강 본류(YS 2, 4, 5, 6)와 광주천(GJ 3, 5)에서 호소수질환경기준 V등급인 1.5 mg/l 보다 상당히 높은 4.21-12.09 mg/l의 함량치를 나타냈다. 영산강 본류 주변은 대부분 농경지이며, 광주천 하류 부근은 하천경관을 위해 꽃밭공원이 조성되어 있다. 이들 정점에서 T-N의 함량이 높은 것은 비료 등의 살포에 의한 영향일 가능성이 있다. 홍수기에 T-N의 함량은 갈수기에 비해 상당히 감소하는 경향을 보였으나 1.13-3.04 mg/l로 역시 호소수질환경기준 V등급에 해당되었다.

T-P : 갈수기에 T-P는 T-N의 경향과 유사한 함량변화를 보이며, 호소수수질환경기준 V등급을 초과하였다. 이러한 원인은 T-N의 함량변화에 영향을 미쳤을 것으로 보이는 비료 등의 살포로 보여진다. 한편 홍수기에 T-P는 영산강 본류(YS 4, 5, 6)와 광주천(GJ 5)에서 증가하는 것으로 나타났다. 연구지역에서 분석된 항목 중, 홍수기 T-P의 함량 분포는, 다른 해석을 낳게 한다. T-P의 함량이 증가하게 된 원인으로 주변 농지 및 꽃밭 등에서 토양 유실 등에 의한 일부 함량변화가 발생된 것으로 보여지나, 보다 명확한 결론을 내리기 위해서는 이에 대한 추가 조사가 요구된다.

SS : SS는 갈수기에 본류(YS 2, 3, 4, 6)와 황룡강(HY 4)에서 하천수수질환경기준치 I등급인 25 mg/l 이상을 초과하였으며, 홍수기에는 그 정도가 더 빈번하게 나타났다. SS는 하천 바닥에 침전되어 있는 세립질 퇴적물이 교란작용 등에 의해 부유함으로써 증가한다. 연구지역에서 SS의 농도 변화는 교란작용에 의한 일부 정점에서 국부적인 증가와 홍수시 강우에 의한 세립질 퇴적물의 부유로 생각된다.

4.3. 중금속 분포

연구지역 하천수에서 분석된 중금속은 As, Se, Zn, Cd, Pb, Cu, Cr 및 Hg 등의 함량이 하천수수질환경기준치 보다 낮거나 검출되지 않았다(Table 4). 갈수기에 분석된 중금속의 경우, Zn이 광주천 하류(GJ 3, 4, 5)에서 10 µg/l 내외, 광주천이 합류한 본류에서 6-7 µg/l, Cu는 광주천 하류(정점 5)에서 20 µg/l 만을 나타내었다. 홍수기에는 Zn이 본류와 광주천 하류에서 최고 32 µg/l 함량을 나타내었으나 하천수수질기준인 50 µg/l 이하였다. As, Se, Cd, Cr 및 Hg 등은 분석되어진 모든 시료에서 5 µg/l 이하의 값을 보이거나, 검출되지 않아 중금속에 의한 광주지역 하천수의 오염은 없는 것으로 보여진다.

4.4. 장기 수질 변동 추이

하천수의 수질은 짧은 기간에 변화하는 특성을

Table 4. Heavy metal contents of river waters in the study area(unit : µg/l)

Site	Dry season								Flood season							
	As	Se	Zn	Cd	Pb	Cu	Cr	Hg	As	Se	Zn	Cd	Pb	Cu	Cr	Hg
YS1	ND	ND	2	ND	ND	2	ND	ND	ND	ND	6	ND	1	5	1	ND
YS2	ND	ND	3	ND	1	2	1	ND	ND	ND	10	ND	1	3	1	ND
YS3	ND	ND	3	ND	ND	3	ND	ND	ND	ND	10	ND	ND	7	1	ND
YS4	ND	ND	6	ND	1	2	ND	ND	1	ND	17	ND	1	8	ND	ND
YS5	ND	1	6	ND	1	3	ND	ND	ND	ND	13	ND	ND	8	1	ND
YS6	ND	ND	7	ND	1	3	ND	ND	ND	ND	11	ND	1	5	1	ND
HR1	ND	1	2	ND	ND	1	ND	ND	ND	ND	8	ND	1	4	2	ND
HR2	ND	1	4	ND	ND	3	ND	ND	ND	ND	5	ND	1	3	2	ND
HR3	1	1	2	ND	ND	2	ND	ND	ND	ND	7	ND	ND	3	1	ND
HR4	1	3	2	ND	ND	3	ND	ND	ND	ND	8	ND	1	4	1	ND
GJ1	ND	1	3	ND	1	3	ND	ND	ND	ND	9	ND	ND	3	1	ND
GJ2	1	ND	2	ND	1	3	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
GJ3	1	ND	12	ND	ND	2	ND	ND	ND	ND	ND	ND	1	ND	ND	ND
GJ4	1	ND	11	ND	ND	5	1	ND	ND	ND	11	ND	1	3	1	ND
GJ5	3	4	7	ND	2	20	1	ND	ND	ND	32	ND	1	3	3	ND
DY	ND	ND	1	ND	ND	2	ND	ND	ND	ND	9	ND	1	5	1	ND

광주광역시 하천수의 수질 및 오염

보이며, 채취시기 및 위치에 따라 많은 차이가 발생하기에 장기적인 변화를 살펴볼 필요가 있다. 본 연구는 이러한 문제점을 극복하고 객관적인 하천수 수질을 평가하고자 1991년부터 2000년까지의 환경부 수질측정망 운영자료를 이용하여 연구지역에서의 수질변화를 살펴보았다(Table 5). 환경부²⁰⁾의 자료에 의하면, DO는 9.4 mg/l 이상으로 하천수수질 환경기준치 I 등급에 해당하였으며, COD는 1995년 이후부터 증가하는 것으로 나타났다. 또한 SS의 변동은 관측 연도에 따라 많은 차이를 보여 수계의 안정도와 관련되어 변화하는 것으로 보인다. 수질오염을 평가하는 BOD는 환경부 수질측정지점인 본류(YS 2, 3) 및 광주천(GJ 2, 4)의 4개 지점과, 2001년 갈수기에 동일한 곳에서 채수되어 분석되어진 자료를 이용하여 연도별 변화를 살펴보았다(Table 6, Fig. 5). 환경부에서 측정한 BOD는 본존공단과 하

남공단에서 발생하는 하수 및 폐수를 포함한 방류수가 매년 30-200 mg/l 이내로 광주광역시 하천에 많은 영향을 미치는 것으로 나타났다. 하천수 분석을 살펴보면, 본류의 YS 2 정점에서는 5 mg/l 이하로 III등급에 해당하였으나, 2001년에 분석치에 의하면 7.4 mg/l로 IV등급으로 수질이 악화되었다. YS 3은 1998년 이전에는 10 mg/l 이상의 V등급을 초과하였으나 1999-2000년에 7.4-8.1 mg/l로 다소 감소하는 경향을 보였다. 광주천 상류(GJ 2)에서는 1991년부터 2001년에 측정된 값의 변화가 III등급 내외의 수질을 보였다. 하류(GJ 4)에서는 1999-2000년에 10 mg/l 이하의 값을 보였으나 1998년 이전과 2001년 측정치에서는 10 mg/l 이상을 초과한 V등급을 나타내었다. 광주천 하류에서 BOD는 1998년 이전의 관측치에 비해 1999년, 2000년에 각각 3.9 mg

Table 5. Water quality of Gwangju area in Yeongsan rivers system

Year	pH	DO	COD	BOD	T-N	T-P	SS
				(mg/l)			
1991	7.4	9.4	4.6	2.8	-	-	13.9
1992	7.5	10.0	6.3	3.4	-	-	19.8
1993	7.5	10.9	5.7	2.6	-	-	12.3
1994	8.0	10.5	8.4	3.3	-	-	11.8
1995	7.7	9.6	5.1	3.6	-	-	15.8
1996	7.4	10.7	4.6	3.8	-	-	12.5
1997	7.8	10.9	6.2	4.5	-	-	17.7
1998	7.4	10.6	5.9	3.8	-	-	19.9
1999	7.5	10.2	6.9	4.1	-	-	15.2
2000	7.6	11.2	8.5	4.6	-	-	9.6

(modified after, Ministry of Environment, 2001)

Table 6. BOD loading of Gwangju area in Yeongsan rivers system(unit : mg/l)

Year	HY2	HY3	GJ2	GJ4	BIC ¹	HIC ²
1991	2.8	10.4	4.1	17.7	122.9	38.4
1992	3.4	10.3	4.3	16.6	126.4	35.3
1993	2.6	10.4	4.1	15.9	147.5	35.8
1994	3.3	16.2	6.6	35.5	141.2	38.9
1995	3.6	16.0	2.8	32.0	67.8	41.5
1996	3.8	10.0	3.2	35.6	123.0	38.8
1997	4.5	14.7	4.8	22.9	196.8	30.7
1998	3.8	10.8	3.0	11.1	90.1	20.4
1999	4.1	7.4	3.9	3.9	157.8	26.7
2000	4.6	8.1	3.6	8.6	130.7	29.4
2001*	7.4	17.4	6.2	15.4	-	-

(¹Bonchon industrial complex, ²Hanam industrial complex, *analysis result of study area; modified after, Ministry of Environment, 2001)

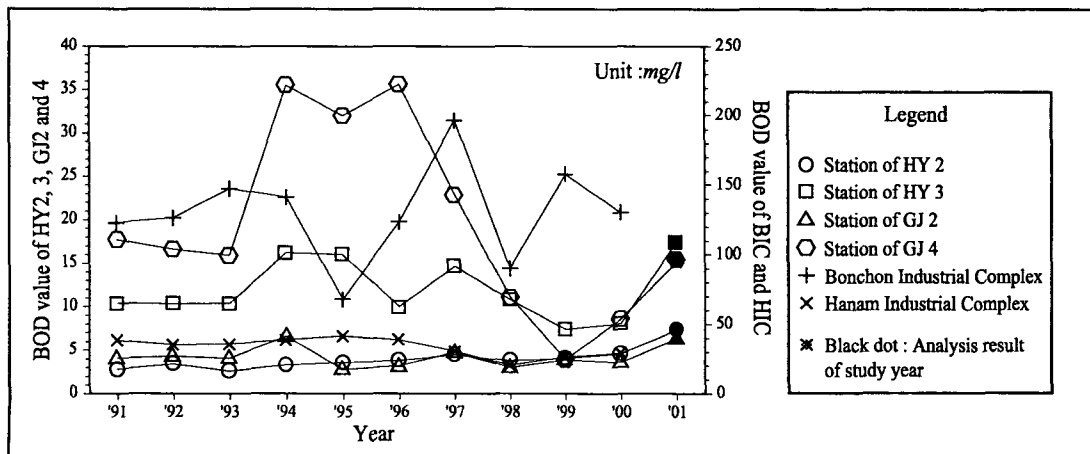


Fig. 5. BOD contents transformation from the Ministry of Environment and study area data.

/l, 8.6 mg/l로 급격히 감소한 것을 알 수 있다. 이는 1997년 이후 하천정비사업 등을 통해 BOD 증가 원인인 하천 저질의 유기물을 제거한 결과로 보여지나, 이후 조사된 자료와 분석치를 볼 때, 광주천 하류에서 BOD 부하가 다시 진행되는 것으로 나타났다.

4.5. 수질오염

연구지역 하천수의 오염을 살펴보기 위해 갈수기에 분석되어진 하천수를 대상으로 수질오염에 많은 영향을 미치는 BOD, SO_4^{2-} , T-N 및 T-P 등의 오염지수(contamination index : CI)를 구하였다.²⁶⁾ 오염지수는 주변 오염되지 않은 하천수를 바탕값(background value)으로 하여 1보다 클 경우 지질매체의 반응이 아닌 특정오염원에 의해 오염된 것을 의미한다. 본 연구에서는 영산강 본류의 발원지인 담양댐에서 채수된 하천수(DY)를 바탕값으로 광주광역시 하천수의 오염도를 평가하였다(Fig. 6).

BOD의 오염지수는 광주천 상류에 위치한 제2수원지(GJ 1)에서 0.64로 바탕값보다 좋은 수질을 보이나 하류 방향(GJ 3, 4, 5)으로 갈수록 6.38-8.34의 높은 수치로 오염되었다. 또한 광주천이 합류되는

본류(YS 3)에서도 7.21의 높은 수치를 나타냈다. SO_4^{2-} 는 BOD가 부하되는 광주천 하류(GJ 3, 4)에서 7.54-8.05의 값을 보였으며, 본류와 합류하는 곳에서도 증가하였다. T-N은 본류에서 오염지수 10 이상으로 하류방향으로 부하되었으며, 광주천이 유입되는 지점에서는 오히려 감소하는 경향이 나타났다. T-P는 광주천 하류에서 19.64-30.44의 높은 오염지수를 보이며, 본류에 유입된 후 급격히 증가하였다. 한편, 수질오염원의 부하정도를 살펴보기 위하여 Fig. 7에 이들 오염원에 대한 흐름을 모식화하여 나타났다. BOD, T-N 및 T-P 등의 오염원은 광주천(GJ 3, 4, 5)과 광주천이 합류하는 본류(YS 3, 4, 5, 6)에서 부하되어 광주천의 영향이 크게 작용하는 있음을 확인할 수 있었다. 이러한 결과에서 볼 때, 영산강은 광주천에서 유입되는 오염물질이 많은 영향을 미치는 것으로 파악된다.

5. 고찰

광주광역시 하천수의 수질을 파악하기 위하여 2001년 갈수기와 홍수기에 조사된 하천수의 pH-Eh도에 의한 물리적 특성과 Piper's diagram에서 제시된 결과에 따르면, 이들 양이온과 음이온의 성분들

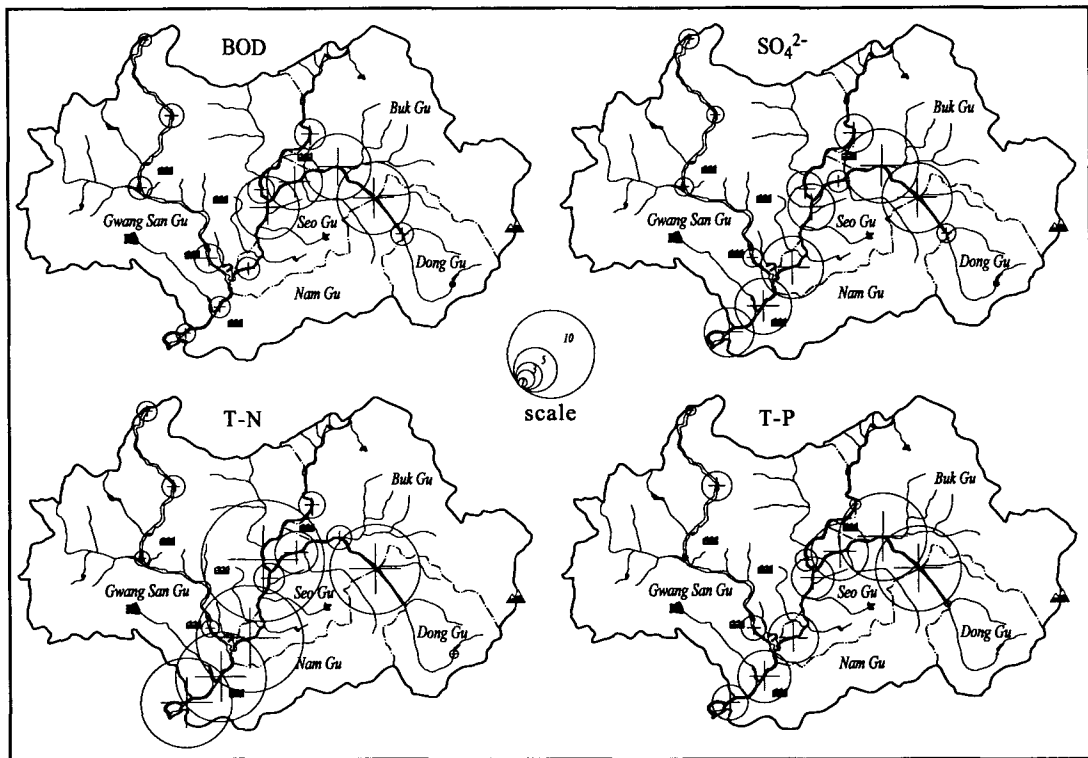


Fig. 6. Spatial distributions of contamination indices (CI) for BOD, SO_4^{2-} , T-N and T-P in study area.

광주광역시 하천수의 수질 및 오염

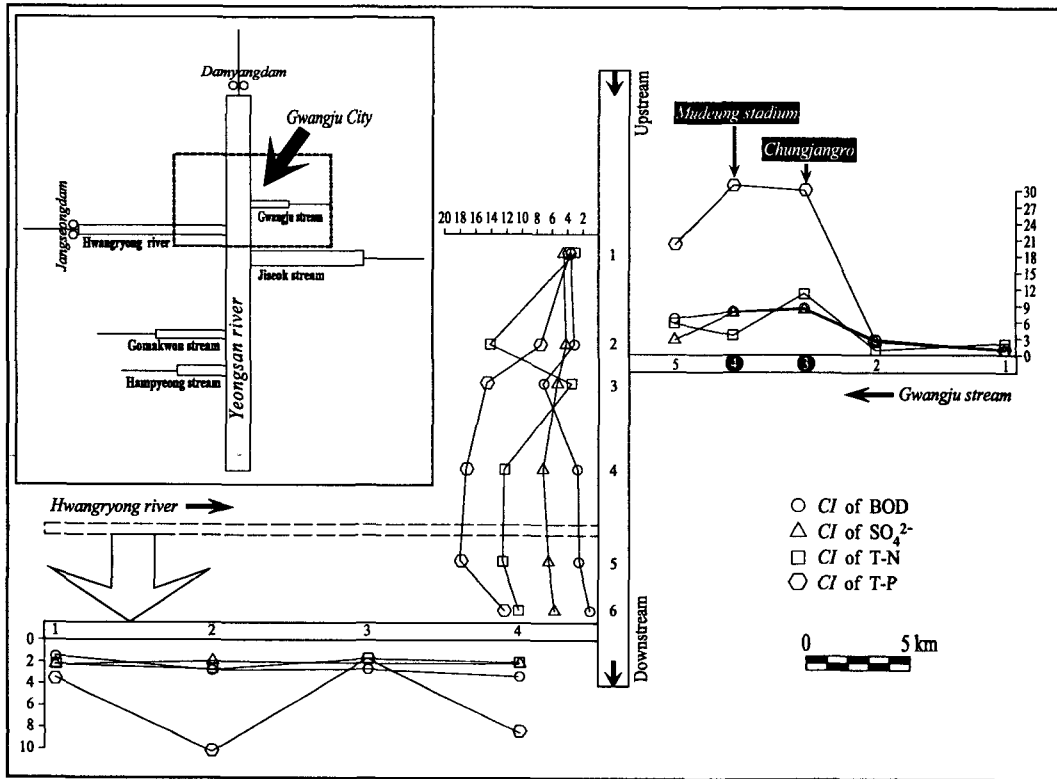


Fig. 7. Contamination flow of BOD, SO_4^{2-} , T-N and T-P in study area.

은 일반적인 하천에서의 용존되어 있는 농도를 함유하고 있어 전형적인 자연 하천수의 특성을 반영하고 있다. 그러나 소하천이 합류하는 광주천 하천수 중 Na^+K^+ 의 농도가 일반 하천수에 용존되는 것과 비교할 때, 다소 높게 나타나는 것은 일반적인 하천수의 특징과는 다른 해석을 낳게 한다. Na는 생활하수 및 산업배수 등에 의해 인위적인 오염의 가능성이 있는 것으로 보고되어져,²⁷⁾ 연구지역인 광주천 하천수의 무기이온들의 분포에 영향을 미친 것으로 생각된다. 이는 하천에서 생활하수 등에 의해 인위적인 오염의 가능성이 용존무기물질 내에서 강하게 작용하고 있음을 시사한다.

하천수의 수질은 조사시기에 따른 많은 차이가 발생하며, 인위적인 오염을 제외하면, 화학성분은 강수의 성분과 주변지역의 지질에 의한 영향을 크게 받는 것으로 알려져 있다.³⁾ 즉 하천수의 화학성분 기원은 강수, 대기중의 에어로졸 등의 분진, 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.¹⁾ 특히

집중호우와 같은 많은 강수는 하천수의 수질 및 용존무기물질 등을 희석시켜 함량분포에 많은 변화를 초래한다. 연구지역에서 BOD, COD, T-P 및 용존무기물질 등이 갈수기에 비해 홍수기에 감소하거나, 균질화되는 것은 강수에 의한 희석효과가 크게 작용한 결과로 보여진다.

한편, 강수 등에 의한 희석효과가 상대적으로 적은 갈수기의 수질은 생활하수와 농업용수 등의 폐수의 직접적인 유입으로 하천수에 BOD를 비롯한 T-N, T-P 등의 농도 변화를 가져온다. 따라서 연구지역 하천수의 오염물질에 대한 영향을 합리적이고 객관적으로 파악하는 것은 갈수기의 자료를 이용하는 것이 보다 타당하게 생각된다. 연구지역에서 BOD는 광주광역시 중심부를 관통하는 지점 (GJ 3, 4, 5)에서 V등급 이상으로 오염되고, 본류와 합류하는 지점에서도 급격히 부하되는 경향을 보인다. BOD의 V등급 상한값인 10 mg/l의 2배에 해당하는 최고 20.15 mg/l로 나타나 광주천에 의한 영산강의 BOD 부하량이 증가하는 것으로 파악된다. 이러한 경향은 COD와 T-P 등에서도 일치하며, 부하되는 정도는 최고 V등급 상한값의 5배와 7배 이

상으로 BOD와 더불어 영산강 본류에 많은 영향을 미치고 있음을 지시한다. 이와 달리 T-N은 광주천에 의한 영향보다는 본류 상류에서부터 V등급 상한값의 최고 7배 이상으로 부하되는데, 이는 전술한 바와 같이, 영산강 본류 주변의 경작지와 광주천 하류 부근은 꽃밭공원 조성에 필요한 비료 등의 살포에 의한 가능성이 있다. 한편, 산업화 등에 의한 영향을 파악하기 위해 분석된 중금속은 하천수 수질환경기준 보다 낮거나 검출되지 않아 중금속류에 의한 광주지역 하천수의 오염은 없는 것으로 보여진다.

환경부의 자료와 연구지역 수질 분석을 통한 광주광역시 장기간에 걸친 BOD의 수질변화 추이는 1994-1996년에 가장 악화되었으며, 1997년 이후 하천정비사업 등을 통한 저질의 유기물질 등을 제거한 이후로는 양호한 수질을 보였다. 그러나 1998년 이후의 환경부 자료와 2001년 수질분석 결과를 비교할 때, 광주천 하류에서 BOD 부하가 다시 증가하는 것으로 나타나 BOD를 비롯한 오염물질 등의 증가 원인에 대한 대책을 강구해야 할 것으로 판단된다.

6. 결 론

- 1) 2001년 5월(갈수기)과 8월(홍수기)에 걸쳐 조사·분석된 광주광역시 하천수의 pH-Eh도와 Piper's diagram에 의한 물리·화학적 특성은 일반적인 하천에서 용존되어 있는 농도를 함유하고 있어 전형적인 자연 하천수의 특성을 반영하였다.
- 2) BOD, COD, T-N, T-P 등의 수질오염원은 하천의 상류에서 하류로 가면서 증가하였다. BOD와 COD는 광주천 하류와 본류에 유입되는 구간에서 하천수 또는 호소수 수질환경기준 V등급을 초과하였으며, T-N과 T-P는 광주천 하류 구간을 포함한 본류 전구간에서 호소수 수질환경기준 V등급 이상으로 오염되었다.
- 3) 광주광역시 하천에 대한 여러 오염원 중, 광주천에 의한 생활하수 등의 오폐수의 유입이 BOD, COD 등의 주 오염원으로 작용하고 있으며, T-N과 T-P는 영산강 본류의 상류부터 상당히 오염되어 농경지 등에 의한 영향이 크게 작용하는 것으로 판단된다.
- 4) 중금속류에 대한 분석은 하천수수질환경기준의 보다 낮거나 또는 검출되지 않았다. 이는 광주광역시 하천의 오염원이 산업활동 등에 의한 영향 요인보다 생활하수 및 농업활동 등에 의한 영향이 크게 작용하고 있음을 반증한다.

- 5) 환경부의 자료와 실측 분석자료를 이용한 BOD의 장기간 수질오염 변화 추이는, 1997년 이후 다시 증가하는 것으로 나타나 연구지역 하천의 수질관리가 요구되어진다.

참 고 문 헌

- 1) 전희택, 문희수, 김규한, 정명채, 1998, 환경지질학, 서울대학교출판부, 529pp.
- 2) 옥치상, 이주상, 박홍석, 백병천, 이병인, 1999, 수질 및 수자원 관리, 도서출판 대학서림, 606pp.
- 3) Berner, E. K. and R. A. Berner, 1987, The global water cycle, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New York, 397pp.
- 4) 신재기, 1998, 낙동강 부영양화에 따른 담수조류의 생태학적 연구, 인제대학교 박사학위논문, 202pp.
- 5) 조기안, 1994, 호남지역 동북호와 영산호의 부영양화에 대한 연구, 한국환경과학회 1994년도 봄 특별환경심포지움 및 학술발표회 초록집, 23-31.
- 6) 오창완, 이지선, 김강주, 황갑수, 2002, 전주시 하천의 BOD, COD, 총질소, 총인에 대한 수질현황 및 오염원, 자원환경지질, 35, 43-54.
- 7) 건설교통부, 1999, 하천수 사용실태조사-영산강·섬진강 수계 하천수 사용실태 조사 및 하천유지유량 산정 보고서, 754pp.
- 8) 광주광역시, 1996a, 영산강 수질관리 종합대책 수립에 관한 연구, 409pp.
- 9) 광주광역시, 1996b, 자연환경보전계획, 173pp.
- 10) 전라남도, 1996, 영산강 수질개선 종합대책 수립에 관한 연구, 668pp.
- 11) 정부합동, 2000, 호남의 생명수 지키기 대역사 - 영산강수계 물관리종합대책-, 환경부, 483pp.
- 12) 송기판, 2001, 영산강수계 영양염류 변화추이 분석에 관한 연구, 전남대학교 석사학위논문, 44pp.
- 13) 송재성, 1997, 영산강 상류 수계의 수질변화에 관한 연구, 전남대학교 석사학위논문, 44pp.
- 14) 조기안, 안병권, 홍순강, 정동욱, 1999, 영산강하류의 계절 변화에 따른 수질특성과 유기인산염의 분해율에 관한 연구 I: 부영양화를 중심으로, 한국환경과학회지, 8, 691-697.
- 15) 윤희선, 2000, 영산강 목표 수질을 위한 BOD 오염부하량 삭감, 서울대학교 석사학위논문, 38pp.
- 16) 차진명, 신성의, 차규석, 1999, 영산강 수계의 비점오염원에 관한 연구 I - 토지이용 및 강우를 중심으로-, 환경영향평가, 8, 41-49.
- 17) 황대호, 2001, 영산강 수질기준 달성을 위한 BOD 부하량 삭감방법의 비교 연구, 서울대학교

광주광역시 하천수의 수질 및 오염

- 석사학위논문, 65pp.
- 18) 오강호, 고영구, 김주용, 김해경, 2002, 화순천의 퇴적환경 및 퇴적물과 하천수의 지구화학적 특성, 한국환경과학회지, 11, 881-895.
 - 19) 박천영, 신인현, 안건상, 이창신, 정연중, 최낙철, 1999, 광주광역시 지하수에 대한 환경오염실태와 지구화학적 특성 연구, 한국지구과학회지, 20, 266-276.
 - 20) 환경부, 2001, 환경통계연감, 644pp.
 - 21) 수자원공사, 1992, 전국하천조사서.
 - 22) 환경부, 2000, 수질오염공정시험방법, 환경부, 407pp.
 - 23) Stednick, J. D., 1991, Wildland and water quality sampling and analysis, Academic Press, 217pp.
 - 24) Greenberg, A. E., S. C. Lenore and D. E. Andrew, 1992, Standard method for the examination of water and wastewater (18th ed.), Amer. Pub. Heal. Asso., 1010-2320.
 - 25) 김동윤, 김오식, 김연국, 박청길, 이규현, 이철희, 1983, 수질화학, 동화기술, 435pp.
 - 26) Kerndorff, H., R. Schieyer and G. Milde, 1992, Geochemistry of groundwater pollutants at German waste disposal sites, In: Groundwater Contamination and Analysis at Hazardous Waste Sites(eds. Lesage, S. and R. E. Jackson), Marcel-Dekker Inc., 245-271.
 - 27) Bond, R. G. and C. P. Straub, 1973, Genetic types of subterranean waters in relation to their salinity, In : Handbook of environmental control, 3, water supply and treatment, 1st ed. Cleveland, OH, Chemical Rubber Co., 85.