

영산강과 섬진강 유역의 하천 수질환경 평가

양해근* · 최희철**

Estimation of Water Quality Environment in *Youngsan* and *Seumjin* River Basins

Heakun Yang* and Heechul Choi**

요약 : 본 연구에서는 영산강과 섬진강의 유역을 대상으로 하천수질 환경관리에 가장 중요한 인자로 간주되는 종합적 수질지표(WQI)와 비유달부하량에 대한 개념을 도입하여 유역별 수질환경을 파악하였으며, 하천수질 형성에 영향을 미치는 인위적인 요인을 규명하였다.

영산강 유역의 비유달부하량은 8.34~97.25kg/day/km²로 나타났으며, 고막원천과 광주천유역에서 각각 97.25kg/day/km², 86.06kg/day/km²로 높게 나타났다. 섬진강 유역의 비유달부하량은 10.98~19.51kg/day/km²로서, 오염 기여도가 높은 유역이 없는 것으로 밝혀졌다. WQI는 영산강 유역에서 1.36~3.45인 반면에 섬진강 유역에서는 0.5~1.47로 비교적 낮은 수질 오염도를 나타냈다.

유역의 종합적 환경관리를 위해서는 유역별 오염 발생량과 하천 자정능력을 고려한 하천의 오염물질 수용한계에 대한 분석이 전제되어야 하며, 본 연구에서 제시한 비유달부하량은 오염물질 수용한계에 대한 기초 자료로서 그 가치가 있다고 볼 수 있다.

주요어 : 수질평가, 종합적 수질지표, 비유달부하량, 지리정보시스템

Abstract : The water quality environment in *Youngsan* and *Seumjin* river basins was investigated based on the concept of the comprehensive Water Quality Index (WQI) and a spacial pollution source. Artificial factors influencing to river water quality have been analyzed. The specific delivery load of *Youngsan* river basin was found to be 8.34~97.25 kg/day/km². *Gomagwon* stream and *Gwangju* stream showed the relatively high rates as 97.25 kg/day/km² and 86.06 kg/day/km², respectively. The specific delivery load in *Seumjin* river basin was estimated to be 10.98~19.51 kg/day/km², suggesting no significant contribution of pollution. WQI of *Youngsan* watershed revealed 1.36~3.45, whereas *Seumjin* watershed showed a relatively low value of 0.5~1.47. And it is concluded that the specific delivery load suggested in this study provides the essential core data of the upper limit of pollutants receptor in the watershed area studied. From this study, it is suggested that the integrated environmental management of river basin requires the analysis of pollutants generation rate of the basin and the receptor capability for the self-purification.

Key Words : water quality evaluation, water quality Indices, specific discharge loading rate, GIS

1. 머리말

최근, 물이용의 증대와 공공수역의 수질감시 또는 수질규제를 위해 수질관측망이 구축되고 있으며, 특히 공공수역의 수질환경에 대한 사회적 관심이 고조됨에 따라 관계부처 홈페이지를 통해 수질 자료가 공개되고 있다¹⁾. 그러나 이들 수질정보는

수질환경을 단편적으로 나타내고 있을 뿐 종합적인 수질환경정보를 제공하고 있다고는 볼 수 없다.

하천수질 그 자체는 화학적·생물학적·물리적 성질을 나타내는 것으로서, 측정지점 또는 채수지점에 관한 공간적 위치정보를 부여하기 이전에는 지리학적 의미와는 무관하다. 그러나 수질농도의 공간적 분포는 유역의 인간활동과 자연지리적 조

* 전남대학교 호남문화연구소 전임연구원(Researcher, Honam Culture Research Center, Chonnam National Univ.), hydryang@hotmail.com

** 광주과학기술원 환경공학과 부교수(Associate Professor, Dept. of Environmental Science and Engineering, K-JIST), hcchoi@kjist.ac.kr

건에 의해 크게 좌우되어 지역성을 나타내고, 수질의 시계열적 변화는 토지이용 변화와 사회 구조적인 요인 등에 의해 좌우되므로 지역성을 지닌다고 볼 수 있다. 따라서 "지표공간에 대한 제반 현상을 지역차이라는 관점에서 규명하는 분야가 지리학이다."라고 한다면(日本地理學研究所編, 1973), 하천 수질의 특성과 오염원의 규명 역시, 지리학의 중요한 연구 대상일 것이다. 우리나라 지리학계에서의 하천 수질연구는, 박수진(1993)과 양해근(1995), 박종관(1997) 등의 연구가 있을 뿐이며, 유역 수질환경에 대한 지리학자의 활발한 연구가 있었다고는 말할 수 없다. 지구 규모적 환경문제와 지역 환경문제의 개선이 21세기 인류의 당면 과제를 감안할 때, 유역관리와 환경정보 분야에서의 지리학자의 역할이 중요하리라 생각한다.

본 연구에서는 영산강과 섬진강의 유역을 대상으로 수질특성을 규명하고, 하천수질 형성에 영향을 미치는 오염부하량을 추정하였다. 그리고 지리학적 개념인 비유달부하량을 도입하여 하천 수질환경을 평가하였다.

2. 연구지역의 개관

영산강과 섬진강은 우리나라 5대강의 하나로 한반도 서남부의 주요 수계를 형성하고 있다. 이들 하천수계는 서남지방의 주요 용수원으로서, 섬진강 상류에는 섬진강댐과 지류인 보성강 상류에는 보성강댐, 동북댐, 주암 다목적댐 등이 위치해 있으며, 영산강 상류에는 장성댐, 담양댐, 광주댐, 나주댐 등과 같은 농업용수댐이 축조되어 있다(Figure 1).

영산강은 노령산맥의 용추봉(EL.570m)에서 발원하여 동진강 수계와 분수계를 이루고, 섬진강 수계와는 무등산을 분수령으로 NW-SW방향으로 흐르면서 황룡강, 광주천, 지석천, 고막원천, 함평천과 합류하여 영산호에 유입한다. 영산강의 유역면적은 약 3,371.3km², 본류의 유로 연장길이는 약 136km이며(전라남도, 1996b), 상류부를 제외하고는 평지를 사행하면서 비옥한 충적지를 이루고 있다. 영산강유역의 연평균 강수량은 1249.6mm이고, 연변화와 계절변화가 크며, 하상계수가 1:682로서, 홍수가 빈번한 하천중의 하나이다. 영산강의 월평균 유출

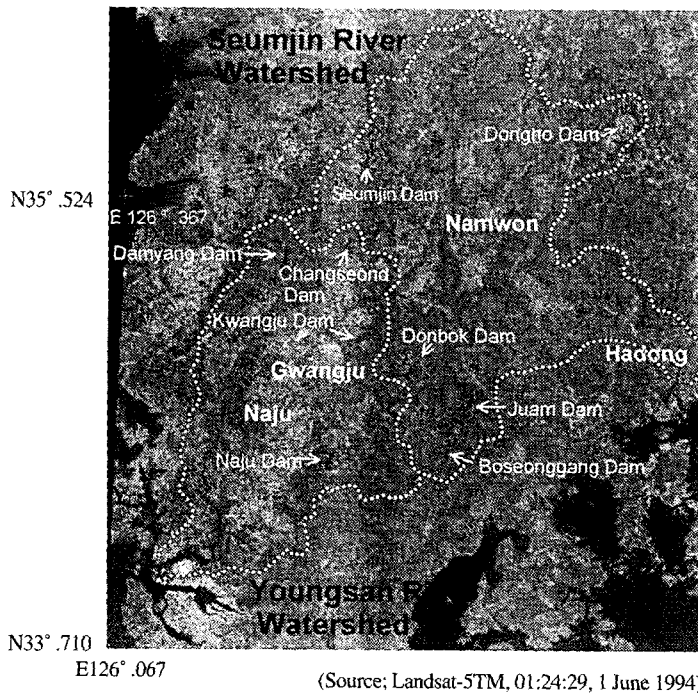


Figure 1. Areal photograph of Youngsan River Basin and Seumjin River Basin.

울을 보자면, 7월이 전 유출량의 27.8%로서 가장 많고, 12월이 1.7%로서 가장 작고, 그리고 7~9월의 3개월간 유출량이 전체의 58.1%를 차지하여 계절변화가 현저하다(金萬亭, 1990)²⁾. 영산강의 주요 오염원으로 간주되는 인구 140만의 광주광역시 시가지는 광주천 유역과 영산강 중·상류부에 위치해 있으며, 지석천 합류후인 본류의 중류부에는 나주시가 위치해 있다.

섬진강은 전라북도 진안고원의 팔공산(EL.1151m)에서 발원하여 서북쪽으로 금강, 만경강, 동진강 수계와 분수계를 이루고, 내장산과 무등산을 연결하는 분수령에 의해 영산강 수계와 구분되어 N-S방향으로 흐르면서 오수천, 순창천, 옥과천, 요천, 곡성천, 보성강, 황전천, 그리고 지리산에서 발원하는 서시천, 화계천, 악양천, 횡전천과 합류하여 광양만에 유입하고 있다. 섬진강의 유역면적은 약 4,896.5km², 본류의 유로 연장길이는 약 212.3km이며(전라남도, 1996a), 영산강 수계와는 달리 고산준령에 둘러싸인 섬진강 유역은 평야의 발

달이 미약하고, 우리나라 대규모 하천 중에 하상계수가 가장 큰 하천으로 알려져 있다. 섬진강 유역은 우리나라에서 가장 강수량이 많은 지역으로서, 상류부인 진안고원에서 1225mm, 동부산지에서 1200~1300mm, 하류에서 1400mm이상의 강수량을 기록한다(金萬亭, 1990). 그리고 요천 하류부에 남원시, 본류 하류부에 하동시가 위치하고 있으나, 이들 도시는 인구 10만 이하의 소규모 도시이다.

3. 조사방법 및 분석방법

유역별 수질의 경년변화는 환경부의 수질측정지점 중 본류(영산강 10지점, 섬진강 7지점)의 관측 자료를 이용하여 분석하였다. 그리고 이벤트의 영향을 배제할 수 있는 저수위시의 수질환경을 파악하고, 오염물질의 유달율을 산정하기 위하여 각 하천 상·하류의 일정구간을 대상으로 1999년 4월, 5월, 9월 10월에 각각 1회씩 총 34(영산강 17지점,

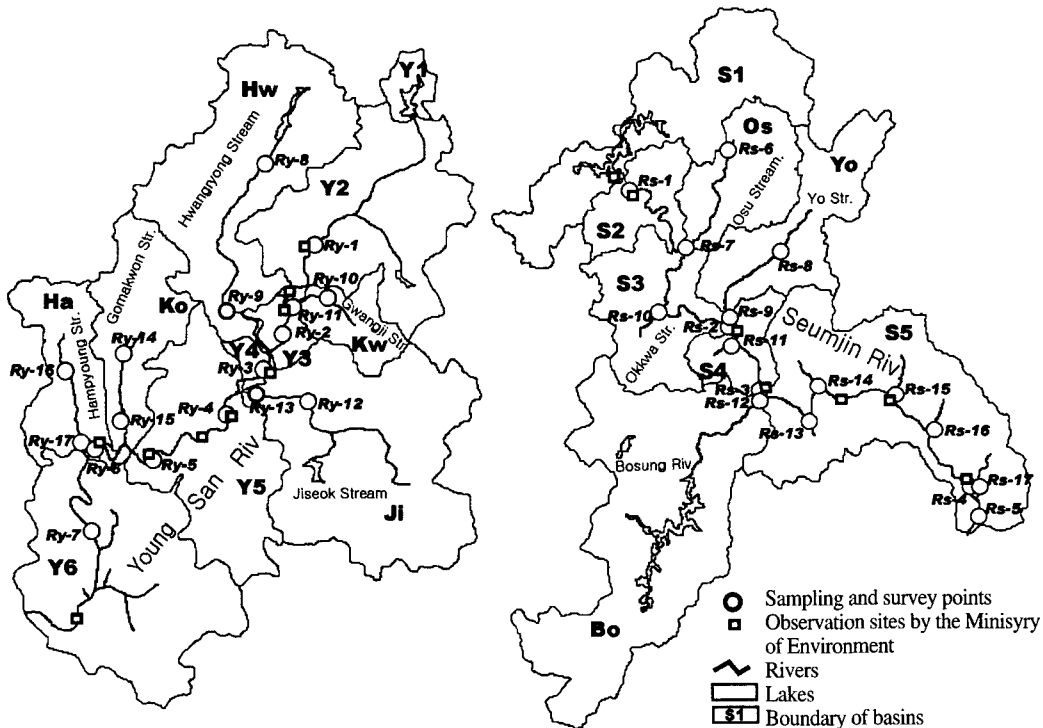


Figure 2. Stream Subbasins and Measurement Sites.

섬진강 17지점)지점에서 하천수질(수온, pH, DO, BOD, COD, SS, NO₂-N, NO₃-N, Org-N, T-N, PO₄-P, T-P, Org-P, 대장균수, Phenol)과 유량을 측정하였다(Figure 2). 조사지점의 선정은 ① 일정한 하천구간에서 하천유황을 대표할 수 있고, ② 종래의 수문자료가 충분하고, ③ 상·하수 등에 의한 물질수지가 명확하게 구분할 수 있는 점을 고려하였다. 수질분석은 수질공정 실험법(환경부)과 Standard Methods(APHA-AWWA-WEF, 1998)에 준하여 분석하였다. 그리고 수질오염이 현저한 영산강 본류를 대상으로 5월과 9월에 각각 하상 퇴적물을 채취하여, 중금속 성분(Pb, Cr)과 유기물(TOC, T-N, T-P)에 대한 분석을 실시하였다.

오염원에 관한 조사는 시군별 통계연보(1993~1998년)로부터 점 오염원과 비점 오염원³⁾을 조사하였으며, 향후 환경정책의 기본골격을 이룰 것으로 간주되는 환경정책평가연구원(1999)의 오염원 단위를 이용하여 오염물질의 발생부하량⁴⁾을 산정하였다. 그리고 소 유역별 환경기초시설 등에 의한 오염물질 삭감량⁵⁾을 고려하고, 현지조사에 의한 실측값을 적용하여 오염물질의 유달부하량과 유달율⁶⁾을 산정하였다. 그 결과는 ArcView GIS를 이용하여 DB를 구축하고, Spatial Analyst 모듈을 통해 각 오염부하량을 추정함과 동시에 종합적 수질지표(WQI: Water Quality Indices)⁷⁾를 도입하여, 비유달부하량간의 도식적 상호대비를 통해 수질환경평가방법에 대한 재 고찰과 인위적인 영향에 대해 규명하였다. 여기서 단위면적 당 단위시간에 운송되는 오염물질량(kg/day/km²)을 비유달량으로 정의하고, 이를 하천 본류에 대한 오염 기여도로 간주하였다.

4. 고찰 및 결과

1) 수질의 경년변화

영산강은 우리나라 5대강 중에서 하천 유로연장 길이와 유역면적이 가장 작다. 특히 영산강 상류부에는 4개의 농업용수 확보를 위한 댐이 축조되어, 하천유지용수가 절대 부족하고, 광주시의 생활하수와 공단폐수가 유입되어 5대 하천 유역 중 수질오염도가 가장 높은 것으로 보고 되고 있다(송재준

외, 1994: 국립환경연구원 영산강수질검사소, 1996). 본 연구에서는 하천수질의 시·공간적 특성을 살펴 보기 위해, 1991년부터 1999년까지의 환경부 수질 관측망의 조사결과를 기초로 영산강과 섬진강 본류의 주요 지점별 BOD농도에 대한 경년변화를 분석하였다.

Figure 3에 나타난 바와 같이, 영산강 본류의 BOD농도는 섬진강 본류에 비해 상당히 높고, 년도별 그리고 지점별 변동 또한 큰 차이를 보인다. 특히 영산강 상류지점에서는 수질환경기준 I~II급수 정도의 BOD농도를 나타내고 있으나⁸⁾, 영산강의 주요 오염원으로 알려져 있는 광주천과 합류이후 수질이 크게 악화되고, 하류로 흘러감에 따라 자정작용과 희석작용 등으로 점진적으로 수질이 개선되는 경향을 나타내고 있다. 한편 오염이 가장 심한 광주 2지점의 BOD농도는 1991년 10.4mg/L이었던 것이, 1994년과 1995년에 걸친 남부지방의 가뭄으로 인한 유량감소로 각각 16.2mg/L, 16.0mg/L로 크게 증가하였다가, 1997년에는 14.7mg/L, 1998년과 1999년에는 10.8mg/L과 7.5mg/L로 차츰 개선되는 경향을 보이고 있다. 영산강 유역에 비해 상대적으로 인구밀도가 낮은 섬진강 유역은 전반적으로 2mg/L이하의 양호한 수질을 나타내고, 수질의 경년변화와 지점별 수질변동 또한 그다지 크게 나타나지 않는다. 다만 소우년이었던 1995년과 1996년에는 본류 상류지점의 수질오염이 비교적 악화되었다. 이러한 사실에 비추어 볼 때, 하천유지수량의 확보가 하천 수질보전과 개선에 필요불가결한 요소의 하나로 간주된다.

2) 수질특성

(1) 영산강 수계

수서생물의 서식환경 지표이자 유기물 오염지표로 이용되고 있는 DO의 평균농도는 영산강본류 전 지점에서 6mg/L 이상을 나타내고, 광주천 하류 지점(Ry-12)에서는 4.7mg/L을 나타내, 다른 지점에 비해 광주천 하류지점이 상대적으로 유기물에 의한 오염도가 가장 높음을 알 수 있다. DO농도와 상관관계가 높은 BOD와 COD 평균농도의 경우에도 Figure 3과 같이 상류지점인 용산교(Ry-1)에서 각각 1.5mg/L, 7.1mg/L이었던 것이, 광주천의 합류 후(Ry-2) 각각 6.2mg/L, 11.7mg/L으로 급격히 악

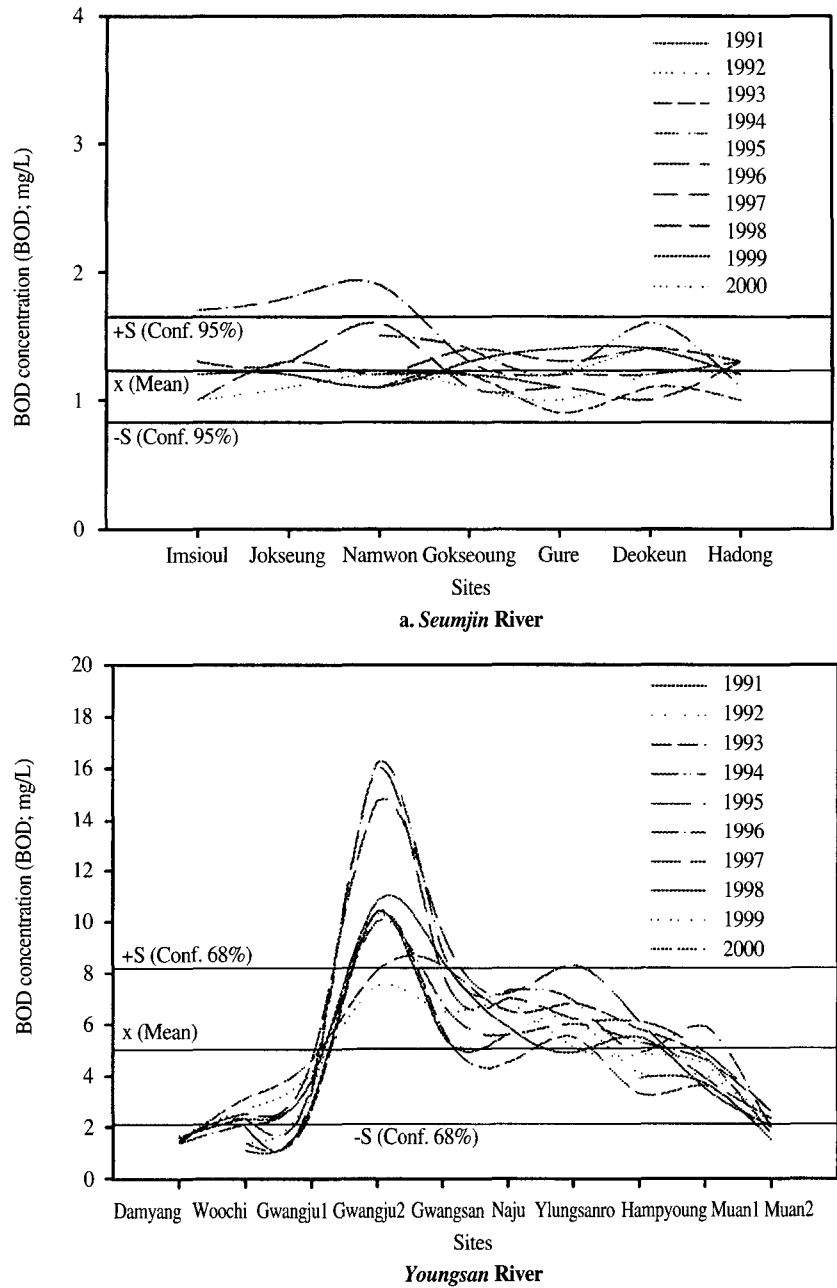


Figure 3. Annual Variation of Water Quality (Data Source: Ministry of Environment, Korea)

화된 후, 하류로 흘러감에 따라 점차 개선되는 경향을 보이고 있다. 한편, 지석천 합류로 나주교(Ry-4)에서 COD농도가 9.6mg/L로 다소 개선되지만, 죽산교(Ry-5) 부근의 COD평균농도가 다시

11.5mg/L까지 악화되는 것은 나주대교와 죽산교 사이에 입지한 영산포지역의 공단폐수 영향으로 간주된다(Table 1).

부유물질(SS)의 평균농도는, 상류보다 하류에서

Table 1. Water Quality Data for Delivery Ratio and Pollutant Load.
 Unit: Discharge(m³/sec), Concentration of Water Quality(mg/L, except E-Coli: CFU/mg/L, Water Temp.; C)

Drainage System	Riv. Name	Sampling Point	Discharge	Temp. Water	pH	DO	BOD	COD	SS	TKN	NH ₃ -N	NO ₂ -N	NO ₃ -N	T-N	T-P	PO ₄ -P	E-Coil	phenol
Youngsan River	Youngsan	Min.	6.54	13.3	6.9	1.2	4.8	1.8	0.11	0.11	0.11	N.D.	2.72	2.88	N.D.	N.D.	10	N.D.
		Max.	10.20	27.0	7.5	8.8	10.0	14.3	3.47	0.37	0.37	0.44	3.90	7.67	0.09	1.01	86	0.006
		Avg.	9.02	20.4	7.1	7.5	7.1	6.2	0.96	0.74	0.74	0.19	3.28	3.64	0.04	0.80	412	0.001
	Seochang	Min.	21.80	18.5	6.9	4.7	4.6	9.3	2.9	4.70	2.54	N.D.	2.26	6.86	0.42	0.53	20	N.D.
		Max.	32.11	29.7	8.0	7.5	8.3	13.3	20.5	41.45	11.00	0.32	20.50	30.45	1.65	1.73	866	N.D.
		Avg.	28.10	23.3	7.4	6.2	6.2	11.7	12.9	13.28	5.42	0.14	8.16	13.73	0.95	0.93	264	-
	Haksan	Min.	-	16.1	7.0	5.8	2.9	7.1	3.1	1.20	1.15	N.D.	4.04	5.41	0.27	0.08	15	N.D.
		Max.	-	29.8	7.9	8.4	5.6	12.0	28.3	36.74	6.45	0.35	26.8	30.28	0.79	1.21	135	N.D.
		Avg.	-	23.7	7.5	7.4	4.0	9.8	15.4	11.24	2.76	0.12	9.85	12.20	0.49	0.56	81	-
	Main Stream	Min.	28.50	15.4	7.1	6.1	3.0	5.4	2.9	0.12	0.11	N.D.	4.02	4.50	0.20	0.04	28	N.D.
		Max.	44.84	31.3	8.3	8.6	4.2	13.3	29.3	34.59	4.5	0.32	20.1	4.98	0.69	0.51	155	N.D.
Avg.		38.99	24.1	7.7	7.6	3.6	9.6	14.1	8.89	1.35	0.11	8.29	3.57	0.40	0.36	73	-	
Donggang	Min.	22.57	16.2	7.0	7.7	2.6	7.5	8.5	0.62	0.45	N.D.	30.30	4.48	0.53	0.03	25	N.D.	
	Max.	82.00	31.4	9.3	8.8	5.2	15.7	44.0	31.15	2.50	0.30	3.55	5.25	0.24	0.60	420	N.D.	
	Avg.	51.44	24.2	7.9	8.2	3.7	11.5	23.0	8.31	1.10	0.10	10.63	3.59	0.34	0.24	165	-	
Mongtan	Min.	106.70	15.8	7.2	5.4	1.4	7.8	16.1	0.35	0.34	N.D.	2.78	3.46	0.06	0.03	15	N.D.	
	Max.	389.00	31.3	7.9	6.4	3.4	11.9	35.4	26.34	1.25	0.26	31.90	5.22	0.30	0.34	750	N.D.	
	Avg.	266.70	24.1	7.5	6.0	2.4	9.3	25.0	7.02	0.69	0.09	10.74	3.29	0.21	0.18	267	-	
Gwangju Stream	Min.	-	14.8	7.2	6.5	2.2	7.7	4.8	0.57	0.56	N.D.	2.36	3.13	0.17	0.04	14	N.D.	
	Max.	-	30.6	9.0	8.9	3.5	11.9	37.9	19.12	0.90	0.15	37.90	18.41	0.21	0.21	785	N.D.	
	Avg.	-	23.8	7.9	7.7	2.7	9.7	18.7	5.29	0.68	0.06	11.99	7.82	0.19	0.09	232	-	
Pyongchon	Min.	0.26	18.1	7.4	6.4	1.7	7.6	0.6	2.53	1.59	N.D.	4.28	8.99	0.05	0.24	20	N.D.	
	Max.	1.11	28.9	8.0	9.3	4.2	11.9	10.5	24.94	14.00	0.70	9.35	30.25	1.27	1.48	1009	N.D.	
	Avg.	0.57	23.1	7.7	7.6	3.3	10.0	5.1	9.01	5.82	0.18	6.61	15.58	0.85	0.99	296	-	
Hwangryong Stream	Min.	0.32	18.7	7.3	3.8	5.6	10.7	10.2	2.60	2.31	N.D.	2.23	5.96	0.46	0.09	40	N.D.	
	Max.	1.03	32.0	9.0	6.0	10.1	18.8	29.0	25.63	6.45	1.08	11.10	10.00	0.85	1.42	1123	N.D.	
	Avg.	0.55	25.3	8.0	4.6	7.5	15.1	16.0	8.56	3.69	0.41	5.83	5.80	0.70	0.65	429	-	
Hwangryong Stream	Min.	0.71	11.5	6.7	4.4	1.3	4.2	0.8	0.07	0.05	N.D.	1.76	1.83	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	
	Max.	28.72	27.8	7.3	9.4	2.2	9.0	6.9	9.17	1.25	N.D.	6.10	8.00	0.06	0.21	125	N.D.	
	Avg.	9.58	20.5	7.0	6.8	1.7	5.7	4.2	2.65	0.50	-	3.61	4.48	0.03	0.10	37	-	

Table 1. Continued

Drainage System	Riv. Name	Sampling Point	Discharge	Temp. Water	pH	DO	BOD	COD	SS	TKN	NH ₃ -N	NO ₂ -N	NO ₃ -N	T-N	T-P	PO ₄ -P	E-Coil	phenol
Seumjin River	Main Stream	Seumjin	315.84	12.0	6.7	6.0	1.3	2.6	2.0	0.81	0.19	N.D.	0.11	1.08	0.04	0.04	10	N.D.
		Brig. (Rs-4)	359.12	27.4	7.4	7.4	3.0	4.4	4.0	1.01	0.43	0.01	0.22	1.30	0.43	0.11	35	N.D.
			341.05	21.5	7.0	6.5	1.9	3.1	2.9	0.93	0.29	-	0.14	1.14	0.18	0.07	27	-
	Osul Stream	Sinbang	-	11.4	7.2	5.7	3.2	4.4	3.7	0.99	0.59	0.01	0.09	1.09	0.07	0.06	3	N.D.
		Brig. (Rs-5)	-	26.1	7.6	7.5	3.7	6.0	4.8	1.25	1.02	0.02	0.17	1.43	0.12	0.10	10	N.D.
			-	20.6	7.4	6.6	3.4	5.1	4.3	1.14	0.79	0.01	0.08	1.25	0.09	0.08	7	-
	Yo Stream	Gangjin	0.37	18.7	6.9	6.3	0.9	1.6	1.7	0.78	0.17	0.01	0.09	0.96	0.10	0.07	15	N.D.
		Brig. (Rs-6)	1.01	31.6	7.1	8.1	1.5	2.7	3.0	1.01	0.52	0.01	0.18	1.28	0.30	0.21	50	N.D.
			0.71	25.0	7.2	7.0	1.1	2.2	2.2	0.97	0.34	0.01	0.15	1.13	0.20	0.14	27	-
	Yongmun Stream	Buhung	-	17.9	6.9	6.3	0.9	1.3	1.3	0.86	0.14	0.01	0.15	1.06	0.09	0.05	20	N.D.
		Brig. (Rs-7)	-	29.1	7.7	7.5	2.6	3.8	3.1	1.46	0.57	0.01	0.19	1.64	0.31	0.22	90	N.D.
			-	23.8	7.2	6.7	1.7	2.5	2.5	1.20	0.39	0.01	0.16	1.38	0.20	0.14	46	-
	Okgwa Stream	Donglim	1.34	18.6	7.0	6.2	0.9	1.5	1.5	0.78	0.12	0.01	0.13	0.97	0.10	0.09	6	N.D.
Brig. (Rs-8)		12.44	31.7	7.9	8.1	1.3	2.8	2.5	0.96	0.33	0.12	0.18	1.11	0.27	0.19	40	N.D.	
		3.44	24.3	7.3	6.9	1.1	2.2	1.9	0.84	0.24	0.03	0.16	1.01	0.19	0.16	24	-	
Bosung Riv.	Yochun	-	19.5	6.8	6.1	1.5	2.8	2.8	0.55	0.05	N.D.	0.12	0.75	0.11	0.09	5	N.D.	
	Brig. (Rs-9)	-	32.2	7.7	7.2	2.1	4.1	4.5	0.99	0.47	0.03	0.32	1.16	0.31	0.29	33	N.D.	
		-	25.2	7.2	6.6	1.7	3.2	2.7	0.71	0.35	0.01	0.21	0.94	0.18	0.20	15	-	
Yongmun Stream	Habkang	-	20.0	6.8	6.0	0.8	1.6	1.6	0.78	0.28	0.01	0.09	0.99	0.12	0.00	25	N.D.	
	Brig. (Rs-10)	-	31.8	7.3	8.1	1.8	3.5	3.7	0.98	0.49	0.02	0.26	1.08	0.25	0.20	160	N.D.	
		-	25.7	7.1	6.7	1.3	2.4	2.1	0.88	0.40	0.01	0.18	1.05	0.18	0.13	73	-	
Seosi Stream	Abrok	2.33	17.2	6.9	6.5	0.7	1.2	1.2	0.89	0.26	0.01	0.10	1.04	0.06	0.01	5	N.D.	
	Brig. (Rs-11)	10.59	29.6	7.9	7.3	1.5	3.1	3.1	1.03	0.29	0.01	0.19	1.14	0.19	0.15	25	N.D.	
		6.12	24.1	7.2	6.7	1.1	1.8	2.0	0.93	0.27	0.01	0.15	1.09	0.11	0.07	15	-	
Seosi Stream	Yongmun	-	16.3	6.9	6.0	3.5	4.2	4.2	0.79	0.39	0.01	0.19	0.08	0.04	0.04	20	N.D.	
	Brig. (Rs-12)	-	29.0	7.8	7.3	4.2	5.8	5.2	1.76	0.60	0.02	0.32	1.52	0.45	0.34	40	N.D.	
		-	22.9	7.1	6.6	3.8	4.8	4.1	1.21	0.49	0.01	0.25	0.97	0.22	0.17	32	-	
Seosi Stream	Seosi	-	16.7	7.1	2.4	1.9	3.0	3.0	0.51	0.51	N.D.	0.12	1.30	0.10	0.08	18	N.D.	
	Brig. (Rs-13)	-	29.2	7.4	7.1	5.8	6.8	6.3	2.49	1.30	0.04	0.48	2.68	1.09	0.82	40	N.D.	
		-	23.2	7.2	5.7	4.0	4.8	3.0	1.48	0.81	0.02	0.24	1.87	0.58	0.43	28	-	

Table 1. Continued

Unit: Discharge(m³/sec), Concentration of Water Quality(mg/L, except: E-Coli: CFU/mg/L, Water Temp.; °C)

Drainage System	Riv. Name	Sampling Point	Discharge Water	Temp. Water	pH	DO	BOD	COD	SS	TKN	NH ₃ -N	NO ₂ -N	NO ₃ -N	T-N	T-P	PO ₄ -P	E-Coil	phenol
Seumjin River	Hwagea Stream	Min.	-	12.0	7.0	6.4	1.2	2	1.0	0.94	0.18	N.D.	0.11	1.09	0.04	0.03	15	N.D.
		Max.	-	26.8	7.7	7.0	4.0	4.6	2.6	1.21	0.41	0.01	0.16	1.34	0.34	0.29	75	N.D.
		Avg.	-	20.4	7.3	6.70	2.6	3.3	1.5	1.03	0.28	-	0.13	1.19	0.18	0.14	37	-
	Akyang Stream	Min.	-	12.4	6.5	6.7	1.9	2.8	2.0	0.74	0.20	0.01	0.09	0.85	0.04	0.05	20	N.D.
		Max.	-	26.5	7.2	8	4.5	5.6	5.1	0.83	0.40	0.01	0.32	1.12	0.19	0.15	50	N.D.
		Avg.	-	20.3	6.8	7.20	3.0	3.9	2.9	0.79	0.31	0.01	0.19	0.99	0.12	0.11	37	-
	Heongsung Stream	Min.	-	11.8	6.9	6.3	1.7	2.7	1.5	0.48	0.23	N.D.	0.09	0.62	0.01	0.05	4	N.D.
		Max.	-	25.7	7.4	7.5	2.3	3.4	4.8	0.68	0.32	0.01	0.20	0.89	0.13	1.12	6	N.D.
		Avg.	-	20.3	7.1	6.77	2.0	3.0	2.9	0.57	0.28	-	0.13	0.71	0.09	0.34	5	-
Goksung Stream	Min.	-	20.8	7.1	6.3	1.0	2.6	2.5	0.63	0.34	0.01	0.09	0.78	0.08	0.07	5	N.D.	
	Max.	-	29.8	7.4	7.4	2.7	4.4	4.7	0.91	0.51	0.29	0.48	1.46	0.58	0.49	150	N.D.	
	Avg.	-	25.1	7.2	6.80	2.0	3.6	3.2	0.76	0.41	0.10	0.28	1.15	0.37	0.32	63	-	

그 농도가 높게 나타나고, 유속이 느린 영산호에서는 상류부에 위치한 동강교(Ry-6)에서 25mg/L로 첨두를 나타내지만, 하류부인 몽탄대교(Ry-7)에서 18.7mg/L로 저하되는 경향을 보인다. 그리고 조사 기간 중 저수로공사의 영향을 받았던 함평천을 제외한다면, 다른 지류에 비해 상대적으로 광주천(Ry-10: 5.1mg/L, Ry-11: 16.1mg/L)과 고막원천(Ry-14: 39.5mg/L, Ry-15: 1519.4mg/L)에서 부유물질이 많이 검출되었다(Table 1).

질소는 수중에서 질소가스 또는 NH₃⁺-N, NO₂⁻-N, NO₃⁻-N, Org-N 등의 형태로 존재하고, 인은 용존성 또는 수용성의 유기·무기형태로 수중에 존재하면서 조류의 증식과 수중생태계를 결정하는 요인이 되기도 한다. 본 고에서는 NH₃⁺-N, NO₂⁻-N, NO₃⁻-N, Org-N의 총 합으로 나타낼 수 있는 T-N과 무기인과 유기인의 총 합인 T-P에 관하여 기술하고자 한다. 영산강 본류의 T-N와 T-P평균농도의 공간적 분포는 BOD와 COD의 분포와 유사한 형태를 나타낸다. 즉 용산교(Ry-1)의 T-N와 T-P 평균농도는 각각 3.64mg/L, 0.04mg/L이었으나, 광주천 합류 후 서창교 지점(Ry-2)에서 13.73mg/L, 0.95mg/L로 증가하고, 그 후 점진적으로 저하되어 몽탄대교(Ry-7)에서는 각각 7.82mg/L, 0.19mg/L로 감소하는 경향을 나타낸다. 이는 광주천 유역의 하수도 보급률이 현재 97.3%에 달하지만⁹⁾, 아직도 광주천이 영산강의 부양영화를 일으키는 주요 오염원으로 사료된다. 평균 대장균군수의 경우에는 광주천 하류(Ry-11: 429MPM/100mL)의 영향을 직접 받는 서창교(Ry-2: 264MPM/100mL)를 제외한다면, 대체로 영산호 주변(Ry-6: 232MPM/100mL, Ry-7: 267MPM/100mL)이 상류 지점보다 높았다. 폐놀의 평균농도는 전 지점에서 0.001mg/L이하 또는 불 검출되었다(Table 1).

하천수 중에는 인, 질소 등의 영양염류와 중금속 등의 물질이 용존상태에서 입자상태로 변하거나 입자상의 물질에 흡착되어 유속이 느린 하상에 침전하게 된다. 이러한 하상퇴적물은 수심이 비교적 얇고, 유속이 느린 정체역에서 물리적·화학적 조건에 따라 용출되어 부영양화를 일으키는 요인이 되기도 한다(Alloway et al, 1988). 특히 인의 경우에는 수중생태계의 일차 생산량을 결정하는 중요한 물질로서 수리적 조건과 입자의 크기나 밀도,

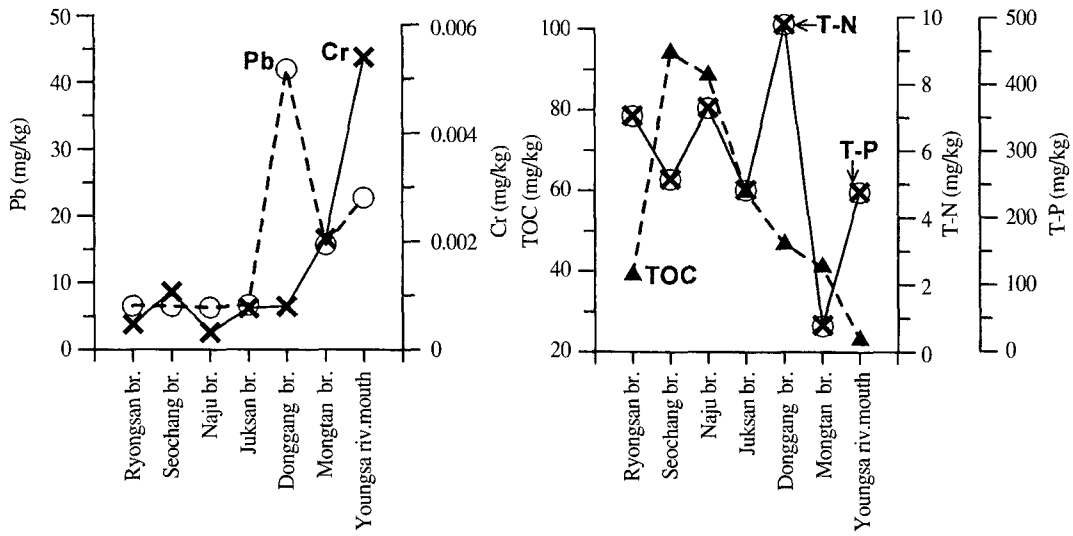


Figure 4. Heavy Metal(Pb, Cr), Total Nitrogen(T-N), Total Phosphorus(T-P) and Total Organic Carbon(TOC) of Stream Sediments in the Youngsan River.

영양 공급원, pH, 산화·환원작용 등에 의해 영향을 받는다(岡 野, 1983).

영산강 본류의 퇴적물 T-P농도는 용산교(Ry-1)에서 251.8mg/kg, 서창교(Ry-2) 하류에서 257.0mg/kg, 나주교(Ry-4) 하류에서 363.8mg/kg, 죽산교(Ry-5) 부근에서 241.0mg/kg, 동강교(Ry-6) 부근에서 489.5mg/kg, 영산강 하구연부근에서 238mg/kg이었으며, 비교적 유속이 느린 영산호 상류에서 가장 높게 나타났다. 퇴적물의 T-N농도 또한 수질의 T-P농도와 높은 상관($r=0.99$)을 나타내고, 동강교 부근(9.79mg/kg)에서 가장 높았다. 이는 매년 여름철에 발생하는 동강교부근의 녹조현상이 하상퇴적물의 내부생산에 기인한 것으로 볼 수 있다(조웅현, 1990).

그리고 퇴적물속에 존재하는 유기탄소(TOC)농도 변화 또한 하천수의 BOD와 COD의 농도변화와 같이 서창교(Ry-2) 이후 점차 감소하는 경향을 나타낸다. 하상퇴적물 중의 중금속 성분(Pb, Cr)은 중·상류에 비해 하류부에서 높게 나타난다. 먼저 Pb은 중·상류부에서 6.3~6.7mg/kg, 하류부에서 15.7~42.0mg/kg이었으며, Cr은 상류부에서 0.001mg/kg이하, 하류부에서 0.001이하~0.005mg/kg로 나타났다(Figure 4). 본 연구에서는 분석항목이 적은 관계로 유기탄소와 중금속 성분간의 상호관계를 확인할 수 없었으나(김주용 등, 1999), 앞으로

하천수의 오염물질 내부생산과정을 밝히기 위해서는 보다 상세한 하상퇴적물 조사를 통하여, 흡착력이 큰 유기물 또는 산화물이 중금속 함량 등에 미치는 영향을 분석할 필요가 있으리라 사료된다.

(2) 섬진강 수계

섬진강 본류에서의 DO평균농도는 상류인 섬진강댐 근처(Rs-1)에서 하류인 신방나루터(Rs-5)까지의 큰 변화 없이 6.5~7.2mg/L로서 II급수⁸⁾를 나타내고, 각 지류에서도 6.6~6.8mg/L의 평균농도를 보인다. 그러나 본류의 경우, 상류보다 중·하류에서 용존산소 농도가 약간 저하되는 경향을 보인다. 이와 함께 BOD와 COD의 평균농도에서도 상류보다 하류로 갈수록 약간씩 증가하는 경향을 보이고 있지만, 기수호역에 해당하는 신방나루터를 제외한 전 지점에서 II급수를 유지한다.

섬진강 본류의 부유물질의 평균농도는 2.3~4.3mg/L로서, 영산강 본류에 비해 현저히 낮게 나타나며, 지점간의 차이도 크지 않다. 그리고 섬진강 상·중류부에는 영산강 유역과 같이 대규모 영양염류를 방출하는 오염원이 없기 때문에 T-N의 평균농도분포 또한 상·하류간의 큰 차이가 없는 것이 특징이다. T-P의 평균농도분포도 T-N과 유사하고, 하류로 흘러감에 따라 T-P평균농도

는 0.1mg/L정도씩 감소하는 경향을 나타낸다. 평균대장균군수는 본류의 전 조사지점에서 30MPM/100mL로서 I급수의 수질기준을 유지하고 있으며, 환경기초시설의 정비가 미비한 옥과천 하류지점(Rs-10)과 곡성천 하류지점(Rs-11)에서도 각각 73.8MPM/100mL, 63.8MPM/100mL로서 비교적 양호한 II급수를 나타내고 있다(Table 1).

3) 종합적 수질지표에 의한 수질환경 평가

현재, 우리나라에서 하천 수질지표로 사용하고 있는 하천·호소 수질환경기준⁸⁾은 BOD, COD, DO, SS, 대장균군수 등과 같은 단편적인 수질항목을 표본지표로 사용하고 있어, 종합적인 수질환경을 나타내기가 어렵다. 그리고 특정지점의 수질형성에는 배후지역 전체가 관여하고 있으므로(原, 1984), 하천수질을 다루는데 있어서 과거처럼 '운송거리와의 관계'와 같은 1차원적으로 다루기보다는 '유역면적과의 관계'와 같은 2차원적으로 취급하는 것이 적절하다고 판단된다. 이러한 점을 고려할 때, 하천수질환경 보존과 개선 방안을 강구하기 위해서는 유역별 오염물질 발생량과 자정작용을 고려한 하천의 오염물질 수용한계에 대한 조사가 선행되어야 하고, 그 결과를 토대로 오염원 분석과 하천유역관리에 관한 지표설정 및 정책추진이 있어야 한다.

따라서 본 고에서는 ArcView GIS를 이용하여 배수구역별 오염원 D/B를 구축하고, 실측값을 이용하여 오염물질의 순부하량을 산정하였으며, 岡 외(1983)에 의해 제시된 종합수질지표(WQI)를 사용하여 오염원 분석과 수질환경에 대한 재평가를 피하였다. 岡 외(1983)는 특정 수질항목만으로 하천수질을 평가하는 기존 방법에 대해 문제를 제기하고, 일본 카나가와켄(神奈川縣)의 27개 하천을 대상으로 높은 상관성이 있는 DO, BOD, NH₃-N, PO₄-P에 대한 수질조사 자료를 이용하여 주성분 분석법에 의해 다음과 같은 종합적 수질지표에 대한 관계식(岡 외, 1983)을 얻었다.

$$WQI=0.162 \times DO+1.34 \times \log(BOD+0.90)+1.54 \times \log(PO_4-P+0.094)+1.22 \times \log(NH_3-N+0.49)+0.146$$

본 연구에서는, 岡 외(1983)가 대상으로 한 실험 하천은 본류의 유로 연장길이가 100km미만의 짧

은 하천들이고, 비교적 하천 유속이 빠르며, 유역의 평균기온 등이 영산강과 섬진강 유역의 수리수문조건과 크게 다르지 않다는 점에서 岡 외(1983)의 식을 적용하였다. 그 결과는 Figure 6과 같다.

(1) 오염원 및 오염 부하량

오염원 및 오염 발생량을 산정하기 위한 소 유역구분은 Figure 2와 같다. 섬진강수계는 본류를 중심으로 5개 소 유역과 3개의 지류유역으로 구분하였으며, 영산강수계는 본류를 7개 유역, 그리고 5개의 지류유역으로 구분하였다. 오염원은 시·군별 통계연보로부터 인구, 산업, 축산, 양식, 토지이용 등으로 분류하였다.

1999년도 영산강 전유역의 총오염발생량¹⁰⁾은 818,643m³/day으로 추정되었으며, 점 오염원으로부터 오염발생량이 전체의 96.5%를 차지하고 있다. 특히, 점 오염원 중에서 생활하수가 차지하는 비율이 63.9%, 산업폐수가 29.3%로 그 대부분을 차지하고 있으며, 비점 오염원 중에서는 택지가 38.6%, 논이 24.3%, 산림이 20.5%, 밭이 12.6% 등으로 나타났다. 소 유역별 오염발생량은 담양댐 하류부터 광주천 합류이전까지의 본류유역(Y2)에서 171,532m³/day으로 가장 많았으며, 지석천유역(Ji: 147,136m³/day), 고막원천유역(Ko: 140,362m³/day), 광주천유역(Kw: 128,412m³/day)의 순으로 나타났다. 한편, 섬진강 유역의 총 오염발생량은 영산강의 45%에도 못 미치는 62,881m³/day이었으며, 점 오염원과 비점 오염원으로부터 오염발생량은 각각 약 71.5%, 18.5%의 비율을 보이고 있다. 점 오염원의 오염발생량 중에서 생활하수가 전체의 76.9%를 차지하고 있으며, 축산폐수가 11.4%, 산업폐수가 7.7%를 점유하고 있다. 비점 오염원의 경우에는 산림이 전체의 약 41.7%, 택지가 22.9%, 논이 20.4% 그리고 밭이 11.3%를 차지하고 있다. 소 유역별로는 보성강과 합류이후 본류 하류부(S5)에서 35,578m³/day으로 가장 많았으며, 보성강유역(Bo)에서는 30,169m³/day, 섬진강댐 유역(S1)에서는 20,544m³/day 등으로 나타난다(Table 2).

점 오염원으로부터 생산된 오염물질은 하수종말처리장 또는 분뇨종말처리장, 산업폐수처리장, 축산폐수처리장과 같은 환경기초시설 등에 의해서 상당량의 오염물질이 제거 또는 처리되므로, 환경

Table 2. Estimation of Pollution Load, Delivery Ratio and Delivery Pollutant Load.

Drainage System	Basins	Total polluting load (m ³ /d)	Reduction rate(%)	Discharge pollutant load(m ³ /d)	Delivery rate(%)	Delivery pollutant load(m ³ /d)
Youngsan Riv.	Y1	977	58.6	404.2	57.6	171.5
	Y2	171,523	83.2	28,845.2	61.3	11177.4
	Y3	22,859	91.9	1,854.7	59.0	760.9
	Y4	29,985	91.4	2,567.5	59.0	1052.4
	Y5	36,963	77.2	8,439.4	58.7	3483.3
	Y6	1,259	58.7	520.2	59.7	209.4
	Y7	53,572	58.0	22,498.8	60.5	8882.5
	Kw	128,412	92.2	10,053.6	93.3	668.7
	Hw	67,511	77.2	15,397.9	70.7	4509.8
	Ji	147,136	77.5	33,114.6	86.5	4479.5
	Ko	140,362	84.5	21,707.0	93.8	1335.4
	Ha	18,084	38.2	11,169.6	86.6	1496.2
	Total	818,643	80.9	156,573.3	75.6	38227.4
Seumjin Riv.	S1	20,544	61.5	7,908.1	75.2	1963.2
	S2	6,398	48.8	3,275.7	75.0	819.0
	S3	19,030	58.1	7,976.2	75.1	1984.0
	S4	6,613	56.7	2,865.0	75.2	709.6
	S5	35,578	54.8	16,073.5	75.2	3990.2
	Os	13,184	57.5	5,608.1	97.3	153.3
	Yo	10,270	54.4	4,686.7	70.8	1369.7
	Bo	30,169	52.0	14,487.9	91.6	1216.3
	Total	62,881.54	55.6	141,785.0	80.6	12205.6

기초시설에 의한 오염물질의 삭감량을 고려하여 오염원으로부터 실제로 하천으로 유출되는 오염부하량, 즉 배출부하량을 산정할 필요가 있다. 본 연구에서는 각 유역별 환경기초시설의 처리용량과 현행 관련법에 의해 규정된 배출허용기준¹¹⁾을 적용하였다. 단, T-N과 T-P의 경우에는 2001년부터 적용되는 방류수 수질 기준인 20mg/L, 2.0mg/L을 적용하였다. 또한 배출부하량은 유역에 유입되는 동안 유역의 특성에 따라 확산, 흡착, 탈착, 용해, 침투 및 생물 섭취 등의 과정을 통해 유역의 하류부에 도달하는 동안 오염물질의 양이 변화하게 되므로, 배출부하량과 유달부하량의 비인 유달율은 실측 자료를 통해 산정하였다.

영산강 유역의 총 배출부하량은 156,573.4m³/day이며, 오염물질의 삭감율은 약 81%로 나타난 반면, 상대적으로 점 오염원의 비중이 작은 섬진강유역의 총 배출 부하량은 62,881.5m³/day로서 오염물질 삭감율은 55.6%로 나타났다. 그리고 환경기초시설의 보급률이 높은 광주천 유역에서 삭감율이

92%로서 전 유역 중 가장 큰 삭감율을 보여으며, 보성강 유역은 38.2%로 가장 낮은 삭감율을 나타냈다. 유달부하량은 하천에 최종적으로 도달하는 오염부하량이며(김선미 외, 1997), 유달율 산정방법으로는 ① 침식 토양의 유달율, ② 합리식 유출계수, ③ 통계를 이용한 유달율, ④ 실측치를 이용한 유달율 산정방법 등이 있으나, 본 연구에서는 실측치를 이용한 유달율 산정방법을 적용하였다. 그 결과, BOD, T-N, T-P의 유달율은 각각 2~33%, 3~50%, 4~55%로 산정되었으며, 영산강과 섬진강의 평균 유달율과 전체 유달부하량은 각각 75.6%와 80.6% 그리고 38,227.42m³/day와 12,205.67m³/day로 간주된다(Table 2).

(2) 수질환경 평가

지금까지의 하천수질평가 또는 WQRRS¹²⁾, QUAL2E¹³⁾ 등과 같은 수질예측모델링에서 널리 사용되어 왔던 오염물질의 유달부하량(DPL: Delivery Pollutant Load(m³/day))은 하천수질 오염

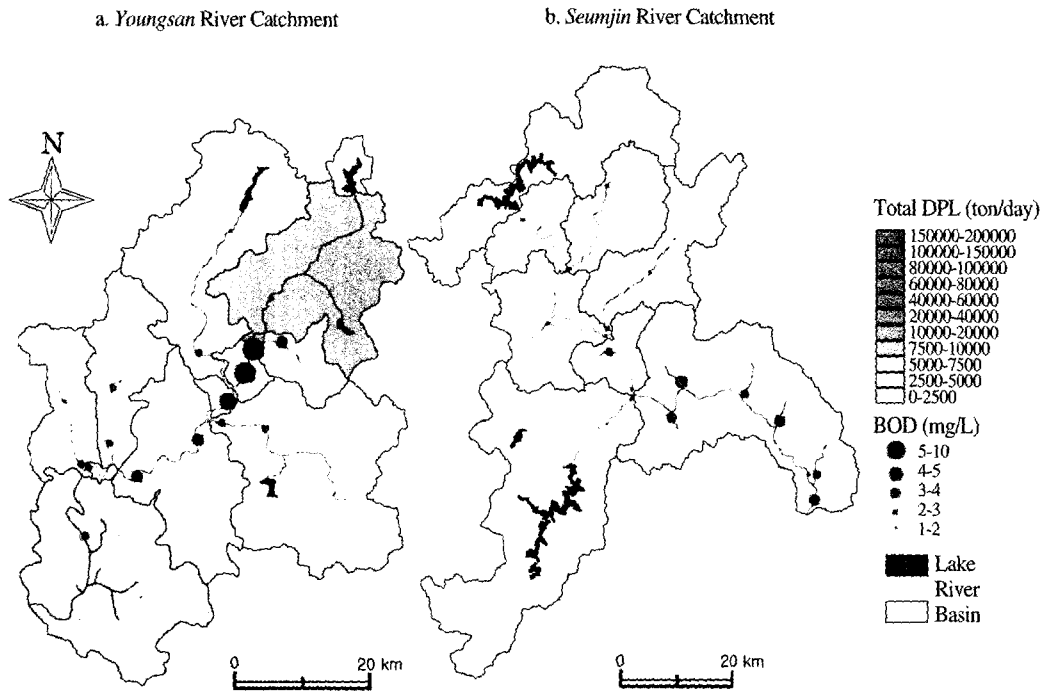


Figure 5. Spatial Distribution of Total Delivery pollutant load(DPL) and BOD Concentration.

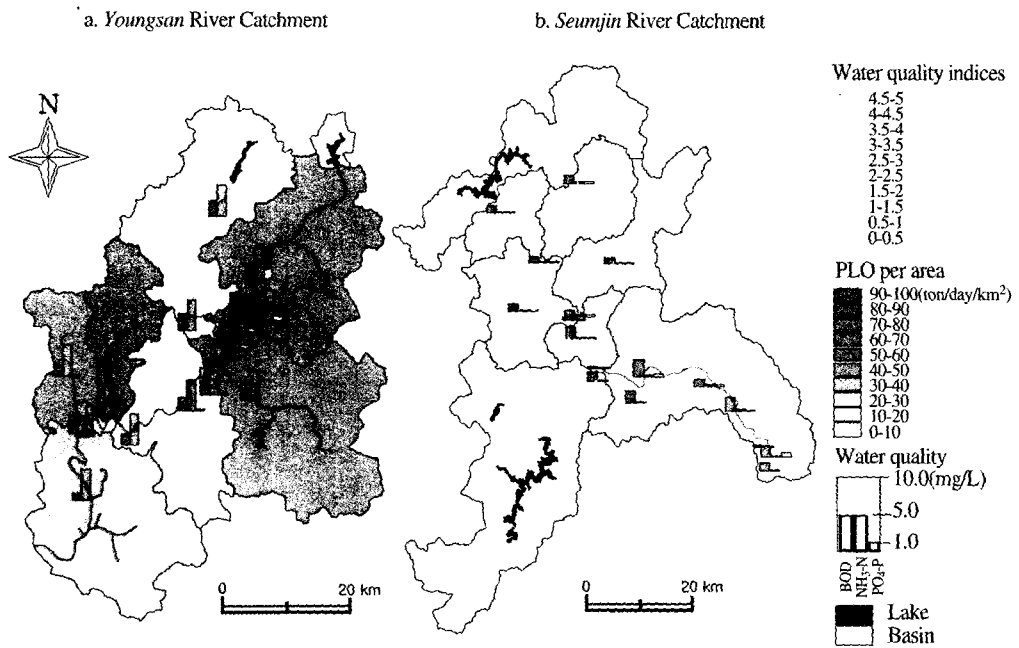


Figure 6. Water Quality Indices and Specific Delivery Pollutant Load.

또는 수질형성에 직접적으로 영향을 미치는 요소로 간주되어 왔다. 그러나 계산 결과, 광주천유역(Kw)은 다른 유역에 비해 가장 인구의 밀도 높고, 인간활동이 집약되어 있는데도 불구하고, 담양댐 유역(Y1)을 제외한 나머지 모든 유역이 광주천 유역의 유달부하량보다 훨씬 많은 결과를 초래한다. 특히 담양댐 하류에서 광주천 합류이전 구간유역(Y2)의 유달부하량은 광주천유역 보다도 16배나 많은 것을 의미한다.

여기서 합류하는 두 하천 즉 영산강 본류의 BOD농도를 Y_{BOD} , 광주천 BOD농도를 K_{BOD} 라 하면, 각각의 오탁물질의 기여율(희석율)은

$$Y_{BOD} + K_{BOD} = 1 \quad (X, S < 1)$$

의 관계식으로 나타낼 수 있으며, 수질지표의 오염물질의 질량이 보존된다고 가정할 경우, 합류 후 입의 지점(X)의 BOD농도(X_{BOD})는

$$X_{BOD} = Y_{BOD} + K_{BOD}$$

가 된다. 따라서 Y2유역내 하류지점(Ry-1)의 BOD평균농도가 1.52mg/L이고, 광주천 하류지점(Ry-10)의 BOD평균농도가 15.1mg/L이었으나, 합류 후(Ry-3) BOD농도가 6.2mg/L임을 볼 때, 보다 Ry-3 지점의 수질형성에 영향을 미치는 유역은 Y2보다도 Kw유역으로부터 유입된 오염물질에 의해 좌우되는 것으로 볼 수 있다(Figure 5). 그리고 특정 수질항목과 유달부하량간의 관계를 단순 비교하는 방법에도 다소 문제가 있겠지만, QUAL2E 등의 수질예측모델에 유역의 수질특성을 잘 반영할 수 없는 유달부하량을 무비관적으로 수용하고, 하천수질관리의 정책기준이 되는 수질목표치에 그 결과를 그대로 적용하는 것 또한 재고의 여지가 크다.

한편 하천 유역면적을 독립변수로 하고, 하천수의 용존 물질량을 종속변수로 할 때, 등질 지역에서 하천의 유량과 용존 물질량은 면적에 정비례하는 직선으로 나타낼 수 있다. 따라서 하천의 자정작용 능력 역시 각 지점 유역면적에 따라 결정된다고 간주할 때, 특정 지점간의 용존 물질량 차이는 하천 자정작용을 초과하는 인위적인 오염 등의 존재를 의미하는 것으로서, 그 유역면적비로 계산한 오염물질량이 수질형성에 미치는 주요한 요인으로 볼 수 있다. 따라서 비유출부하량은 물환경의 용량을 결정하는 지표로서 그리고 소유역별 적정 오염

물질 배출량을 산정하는 가장 효율적인 방법이라 할 수 있다. 한편, 하천 수질환경을 지리학적 관점으로부터 평가하기 위해서는 구체적인 특정 공간과의 관계에 대한 고찰이 필요하고, 수질 자체에 대한 평가는 수질 항목간의 상호관계를 보완할 수 있는 종합적인 수질지표(WQI)의 도입이 필요하다.

Figure 6은 오염물질 유달부하량에 대한 유역면적비, 즉 비유달부하량과 종합수질지표 그리고 BOD, NH₃-N, PO₄-P농도의 상호관계를 나타낸 것이다. 영산강 수계의 비유달부하량은 8.34~97.25kg/day/km²로 추정되고, 고막원천에서 97.25kg/day/km², 광주천에서 86.06kg/day/km²로 높았으며, 담양댐 유역에서 8.34kg/day/km²로 가장 낮았다. 그 결과는 조사지점별 BOD, NH₃-N, PO₄-P농도와의 관계를 비교적 잘 나타내는 것으로 간주된다. 섬진강의 경우에는 10.98~19.51kg/day/km²로서, 오염기여도가 높은 유역은 존재하지 않으며, 그 결과가 그대로 하천 수질농도가 반영되어 나타난다. 그리고 DO와 BOD, NH₃-N, PO₄-P의 관계로부터 얻은 WQI는 영산강 유역에서 1.36~3.45인 반면에 섬진강 유역에서는 0.5~1.47로 비교적 낮은 수질 오염도를 나타냈다. 영산강 본류의 WQI는 2.2 이상을 나타내고 있으며, 광주천과 고막원천 합류 후 침투를 나타낸다. 섬진강의 경우에는 0.79~1.2의 WQI를 나타내고 있다. 이처럼 비유달부하량은 WQI의 결과를 잘 반영하는 것으로 판단되며, 하천수질환경의 종합적인 분석방법으로서 문제가 없으며, 유역별 적정 오염물질 배출량을 산정하는 방법으로도 활용될 수 있으리라 생각된다.

5. 결론

본 연구에서는 영산강과 섬진강 유역의 수질 및 유량 모니터링 결과와 오염원에 관한 자료를 통해 지리학적 관점에서 수질환경을 평가하였다. 그동안 주요 유역관리의 방법은 점 오염인자에 대한 획일적인 규제였으며, 유역의 수문지형학적 환경과 공간적 오염원에 대한 요소가 배제되어 있었다. 최근 유역별 수질관리의 필요성이 부각되면서 「수질 오염 총량 관리제도」가 논의 되고 있다. 유역의 효율적인 수질관리를 위해서는 유역별 오염 발생량

과 하천 자정능력을 고려한 하천의 오염물질 수용 한계에 대한 분석이 전제되어야 하며, 본 연구에서 제시한 비배출 부하량은 오염물질 수용한계에 대한 기초 자료로서 그 가치가 있다고 볼 수 있다.

그리고 종합적 수질지표와 오염부하량에 대한 GIS 분석방법은 하천환경에 대한 종합적 분석방법 중의 하나로 사용될 수 있으며, 그 결과가 인터넷 GIS와 효율적으로 연계가 이루어진다면, 공공수역에 대한 보다 양질의 환경정보를 제공할 수 있으리라 생각된다. 앞으로 각 하천의 수질환경에 대한 체계적인 조사가 지속되어, 장기간의 수질자료가 축적된다면, 우리나라의 하천유역에 적용 가능한 종합적인 수질지표가 개발될 것으로 기대할 수 있으며, 비유출부하량에 대한 하천수질모델링에 응용여부는 차후의 연구과제로 삼고자 한다.

註

- 1) 관련 홈페이지는 환경부 홈페이지 측정망자료 (<http://www.me.go.kr/>)와 수자원공사 홈페이지 수자원정보 (<http://www.kowaco.or.kr/korea/main.html>) 등이 있다.
- 2) 1962년부터 1977년까지의 나주관측지점의 유량자료를 이용하여 계산한 월평균 유출율이다.
- 3) 점오염원(point source)이 고정된 경우를 말한다. 비점오염원(non-point source)의 상대적 개념이다. 다시 말해서, 점오염원은 공간적으로 1차원적 즉, 점과 선의 성격을 띤 오염원으로서 인구에 의한 생활하수와 가축사육으로 인하여 발생하는 축산폐수, 공장 등과 같은 산업시설에 의한 산업폐수, 내수면 양식장에 의한 양식장폐수 등이 의미한다. 비점오염원은 2차원적 즉, 면의 성격을 띤 오염원으로서 토지이용형태(전, 답, 임야, 대지, 기타)에 따라 발생하는 오염물질의 유입량을 의미한다.
- 4) 오염물질의 발생부하량은 오폐수 중에 포함된 순수한 오염물질의 무게를 나타내는 것으로, 오염발생부하량은 오염물질의 원단위×오염원발생량의 관계로 표현된다.
- 5) 점 오염원으로부터 생산된 오염물질이 환경기초시설(하수종말처리장 또는 분뇨종말처리장, 축산폐수처리장 등)에 의해 오염물질이 제거 또는 처리되는 양을 오염물질 삭감량이라 한다.
- 6) 오염물질은 각 오염원으로부터 배출되어 해당 유역에 유입되는 동안 유역의 특성에 따라 확산, 흡착, 탈착, 용해, 침투 및 생물 섭취 등의 자연적인 현상과 취수, 배수 등의 인위적 조작에 의한 복잡한 경로를 거쳐서 변화된다. 따라서 특정지점에 측정된 오염물질은 그 지점 상류부에 위치한 모든 오염원으로부터 배출된 오염물질량과 다르게 된다. 여기서, 배출부하량은 '오염원발생부하량-삭감부하량'을 의미하고, 유달부하량은 각 지천들의 유입부에서 실측된 오염물질의 농도와 유량에 의하여 각

지천의 유달부하량을 산정한 것으로서, 유달부하량(kg/일)=유입부의 오염물질 농도(kg/m³)×유입부의 유량(m³/일)의 관계이다.

- 7) 종합적 수질지표는 각 수질항목 또는 지표간의 간의 상호관계를 정량화하여 종합적으로 나타내는 지표이다.
- 8) BOD와 DO, 대장균수에 대한 하천수질기준은 다음과 같다.

구분	생활환경				
	I 급수	II 급수	III 급수	IV 급수	V 급수
BOD(mg/L)	1이하	3이하	6이하	8이하	10이하
DO(mg/L)	7.5이상	5이상		2이상	
대장균수(MPM/100mL)	50	1000	5000	-	

- 9) 1999년 현재 광주시의 총 인구 1,375,212인중 하수 처리 인구는 1,337,676인이다. 광주광역시 하수처리방법은 합류식 그리고 2차(생물학적) 처리만을 하고 있으며, 하수 처리수중의 일부는 광주천의 하천유지수로서 이용되고 있으나 영산강 합류지점에서 영산강으로 방류되고 있다.
- 10) 여기서 말하는 총오염발생량은 BOD와 T-N, T-P의 오염발생량의 총합이다.
- 11) 수질환경보전법에 규정된 하수 종말 처리시설 등의 방류수 수질기준은 다음과 같다.

	BOD(mg/L)	COD(mg/L)	SS(mg/L)	기타(mg/L)
하수종말처리시설	20 이하	40 이하	20 이하	T-N:60 이하
폐수종말처리시설	30 이하	40 이하	30 이하	T-P:8 이하

그리고 수질환경보전법 제8조 및 동법 시행규칙 제8조에서 28개항목에 대하여 폐수배출허용기준을 설정하고 있으며, 지역별로 4단계(청정, 가, 나, 특례지역)로 구분하여 적용하고 있다. 또한 BOD, COD, SS의 경우 폐수배출량 2,000m³/일 이상과 미만으로 구분 설정함으로써 폐수배출허용기준을 지역별, 규모별로 차등 적용하고 있다.

- 12) WQRRS(Water Quality for River Reservoir System) 모델은 1978년에 미육군공병단의 HEC(Hydrologic Engineering Center)에서 개발된 모델로서 1981년에 수정·보완한 호소 module, 하천수리학 module, 하천수질 module의 3부분으로 구성되어 있는 일차원 동적모형이다.
- 13) QUAL2E(Enhanced Stream Water Quality Model with Uncertainty Analysis) 모델은 미국 환경보전국(EPA: Environmental Protection Agency)에서 QUAL-I 모델에 예측수질항목을 추가하여 발전시킨 QUAL-II 모델을 PC에서 사용가능하도록 만든 것이다. 모델구성은 물질수지 방정식과 연속방정식에 의해서 하천수내의 모든 반응을 표현되도록 고안되어 있으며, 물질수지는 유체의 흐름에 의하여 농도부하가 이동되는 이유, 유체의 난류성과 농도 차이에 의하여 발생하는 확산, 화학 및 생물학적 반응에 의한 물질의 증감 그리고 수계내의 오염부하량 유입 혹은 유출에 의한 부하의 증감으로 구성되어 있다. 이 모델은 우리나라에서도 한강(전경수 외, 1993; 백경원 외, 1995), 낙동강(조흥제, 1996), 금강(김규호 외, 1996), 영산강(박성천 외, 1998)수계 등에서 널리 적용되고 있다.

文 獻

국립환경연구원 영산강수질검사소, 1996, 영산강수계 수질오염 현황과 대책, 221.

김규호 · 김선미 · 이삼희 · 우효섭, 1996, "하천유지유량 결정 방법의 개발 및 적용," 한국수자원학회지, 29, 185-202.

김선미 · 김규호 · 홍일표 · 서동일, 1997, "금강 본류의 갈수시 수질관리를 위한 하천유지수량의 산정," 대한환경공학회지, 19, 1347-1359.

김주용 · 정철환 · 오강호 · 고영구 · 문정준 · 유경아, 1999, "광주부근 영산강과 광주천의 하상퇴적물의 중금속 오염," 한국지구과학회지, 20, 96-100.

박수진, 1993, "수문학적 자료를 통한 화강암질 유역의 화학적 특성에 관한 연구," 대한지리학회지, 28, 1-15.

박성천 · 전진 · 문병석, 1998, "하천수의 수질보존을 위한 오염부하량사감을 산정에 관한 연구," 대한환경공학회, 20, 327-338.

박종관, 1997, "왕숙천 수질의 수공간적 특성과 유역의 물환경 관리," 대한지리학회지, 32, 445-462.

백경원 · 김상호 · 한건연 · 송재우, 1995, "QUAL2E에 의한 한강 하류부에서의 수질해석," 대한토목공학회 논문집, 15, 451-461.

송재준 · 이영호, 1994, "영산강의 수질오염 전망과 환경정책," 목포대 연안환경연구, 11, 41-52.

신성의, 1991, "영산강 수질보존에 관한 연구," 조선대 환경공해연구, 8, 1-39.

양혜근, 1995, "인위적인 요인이 하천 수질과 유량에 미치는 영향, 일본 하다노 분지를 사례로-," 대한지리학회지, 30, 242-254.

전경수 · 이길성, 1993, "QUAL2E 모형의 한강수계 적용," 대한상하수도학회지, 6, 43-56.

전라남도, 1996a, 그린전남21 환경종합계획, 1071.

_____, 1996b, 영산강 수질개선 종합대책 수립에 관한 연구, 668.

조응현, 1990, "영산강본류 수질의 계절적 변화에 관한 조사연구," 군산대 해양개발연구, 2, 83-102.

조홍제 · 한건연 · 김상호, 1996, "낙동강 하류부에서의 오니 증설에 따른 수질영향 분석," 29, 177-184.

金萬亨, 1990, 韓國의河川地形, 古今書院, 東京.

岡敬一 · 吉見洋 · 井口潔 · 小森谷廣子 · 1983, "總合水質指標による神奈川縣内河川水質の解析," 水質汚濁研究, 6, 325-337.

原昭宏, 1984, "河川水質による長良川流域の地域區分," 地域研究, 25, 1-6.

日本地理學研究所編, 1973, 地理學辭典, 二宮書店, 東京, 503.

Alloway, B. J., Thornton, L. Smart, G. A. Sherlock, J. C., and Quinn, M., 1988, Metal availability, *Sci. Tot. Environ.*, 75, 41-69.

APHA-AWWA-WEF, 1998, *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 20th ed., Amer. Pub. Health Asso.,

U.S. Army, 1978, *WQRRS(Water Quality for River Reservoir System) User's Manual*, Hydrologic Engineering Center, CPD-8.

최초투고일 02. 12. 12
최종접수일 03. 03. 11