

연구논문

광주광역시를 관류하는 하천 표층퇴적물의 지구화학적 거동과 환경 변화

신상은 · 오강호*

전남대학교 지구환경과학부, 전남대학교 지구과학교육과*

(2010년 6월 15일 접수, 2010년 10월 22일 승인)

Geochemical Behaviors and Environmental Changes of Bottom Sediments in Streams of Gwangju Metropolitan City

Sang-Eun Shin · Kang-Ho Oh*

Dept. of Earth systems and Environmental Science, Chonnam National University

Dept. of Earth Science Education, Chonnam National University*

(Manuscript received 15 June 2010; accepted 22 October 2010)

Abstract

Considering to the geochemical behaviors and environmental changes of bottom sediments in streams, Gwangju metropolitan city, this study focuses to analyses on grain sizes, metal elements and organic carbons in sediment samples from Yeongsan and Hwangryong rivers, and Gwangju stream. In the sediments, contents of Cu, Zn, Pb, P and TOC were highly variable, in the case of Gwangju stream particularly. Yeongsan and Hwangryong rivers are influenced by grain sizes and surrounding geological settings and Gwangju stream is connected to organic matters related to life fouls and so forth, with respect to the geochemical behavior of bottom sediments. Li, Zn, Pb and Cu were enriched in Yeongsan and Hwangryong rivers and Li, Cu, Zn, Pb and P enriched in Gwangju stream, respectively. In the heavy metal contamination of above drainages, the site mutually connected Seobang(GJ 4) with Donggye(GJ 7) streams shows the highest values, in peculiar. It is inferred that those contamination values are mainly related with urban foul waters in the city.

Keywords : bottom sediment, Gwangju metropolitan city, geochemical behaviors, environmental changes, heavy metal contamination

1. 서론

물은 생명의 모태로 인간생활에 없어서는 안 될 소중한 자원이다. 그러나 인구 증가와 더불어 물 문제는 심각한 수준에 이르렀으며, 세계 인구의 1/3이 물 부족을 경험하고, 25년 후에는 그 비율이 세계 인구의 2/3까지 증가할 전망이다. 우리나라의 물 관리 여건 또한 매우 어려운 실정으로 인구밀도가 높아 1인당 강수량이 세계 평균의 10%에 불과하고, 사용 가능한 물의 양이 1,550톤으로 국제연합이 물 부족 국가로 분류하고 있다(환경부, 2003). 또한, 강수량의 60% 이상이 하절기에 집중되고, 경사가 급한 산악국토로 강수는 짧은 시간에 바다로 유출되고 있으며, 산업화로 인한 생활하수, 산업폐수 등의 수질오염 문제가 야기되고 있다.

수권환경은 암석권, 대기권, 생물권이 유기적 관계를 가지는 점이지역으로, 수권환경 변화를 파악하기 위해서는 단기간의 환경특성 변화를 반영하는 수질변화를 파악하여야 한다. 그러나 수질은 단기간에 걸친 많은 변화를 보이며, 시간, 장소, 지형 등

에 따른 변화가 크기에 지속적인 환경 변화를 추적하기 위해서는 많은 시간과 연구들이 요구된다(윤석태 등, 2004). 이에 비해 퇴적물에 함유되어 있는 중금속들은 하천수에 함유된 성분들에 비해 시간적 변화가 적고 상대적 함량이 높아 수권환경을 지속적으로 평가하는 유효한 매개체이다(Thornton, 1983). 특히, 이 성분들은 퇴적물 내에 함유된 중금속의 존재형태와 물리·화학적 변화에 따라서 수중으로 재용출되거나 퇴적물 내에 침전될 가능성이 있기 때문에 수권환경에 대한 영향 정도는 높다(Alloway *et al.*, 1988).

연구지역인 광주광역시는 지리적으로 영산강의 중상류에 위치하며, 영산강 본류를 비롯한 대지류인 황룡강과 광주천이 흐르고 있다(Figure 1). 특히 광주광역시 중심부를 관통하는 광주천은 영산강 수계 내에서 최악의 수질을 보이며, 영산강 하천환경에 가장 큰 영향을 주고 있다(전라남도, 1996; 조영길과 김주용, 1998; 오강호 등, 2003). 광주광역시는 광주천의 오염과 영산강에 미치는 영향을 고려하여 2004년부터 자연형 하천정화사업을 실시해

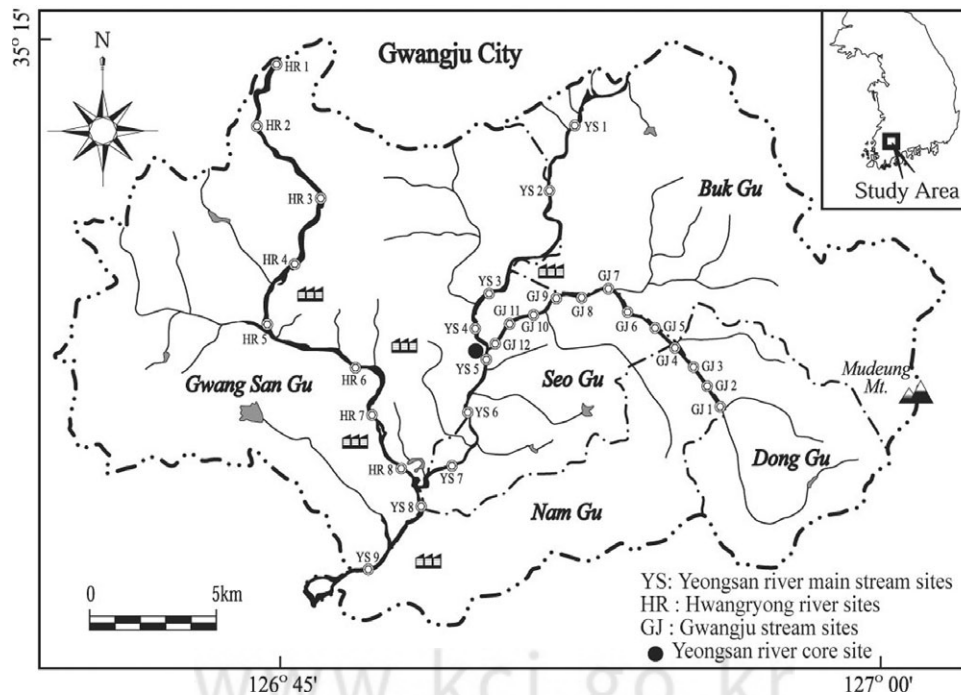


Figure 1. Map showing the study area and sampling sites

하천퇴적물 준설 및 수질개선사업이 진행되고 있다. 현재까지 진행되고 있는 하천정화사업이 하천 환경 개선에 얼마나 긍정적인 영향을 주는지는 사업이 종료되고 일정 시간이 경과되어야 객관적으로 알 수 있을 것이다.

본 연구는 광주광역시를 관류하는 하천을 대상으로 2009년 2월에 채취한 퇴적물 내 원소들의 변화를 1999년의 하천환경과 비교하고, 오염물질의 지구화학적 거동 특성을 규명하는 한편, 도시화 및 산업화에 따른 유해 중금속들의 오염실태와 그 오염 원인에 대하여 해석을 시도하였다. 이러한 결과는 현재 진행되는 하천정비 및 수질개선사업이 실효성과 나아갈 방향을 제시하는 기초 자료로 활용되어 질 수 있다.

II. 연구지역 개요

광주광역시를 관류하는 영산강은 노령산맥을 중심으로 남남서 방향의 수지상 수계망을 형성하고 있다. 영산강은 유역면적 3,371km², 하천연장 1,472km, 본류 유로연장 136km, 연평균 2,588×106m³의 물을 배수하는 우리나라 4대강 중의 하나로 황룡강, 광주천, 지석천, 고막원천, 함평천의 5개 지류들이

있다(수자원공사, 1992). 황룡강은 장성군 북하면에서 발원하여 장성군과 광주광역시 광산구 전역을 관류하며, 남남동 방향으로 흘러 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 서남서 방향으로 영산강과 합류한다. 광주천은 지방하천 11.8km를 포함한 유로연장 24.2km로 유역면적은 104.97km²이다. 광주천이 흐르는 지역에는 광주광역시 인구의 80% 이상이 밀집되어 거주하고 있으며, 영산강 유역에 분포하는 산업체 총 1,065개소 중 광주광역시에 전체의 71.5%인 762개소가 집중되어 있다(정부합동, 2000).

연구지역 지질은 선캄브리아기 화강편마암류, 중생대 화강암류, 퇴적암류, 화산암류, 신생대 제4기 충적층으로 구성되어 있다(Figure 2). 기반암인 선캄브리아기 화강편마암류는 황룡강 중하류인 광산구 북부지역, 광주광역시 북구의 서북지역에 넓게 분포한다(김규봉 외, 1990; 박영석 외, 1995). 중생대 주라기 화강암류는 광산구 남부지역과 서구, 남구, 북구 지역 대부분에 광역적으로 분포한다. 이

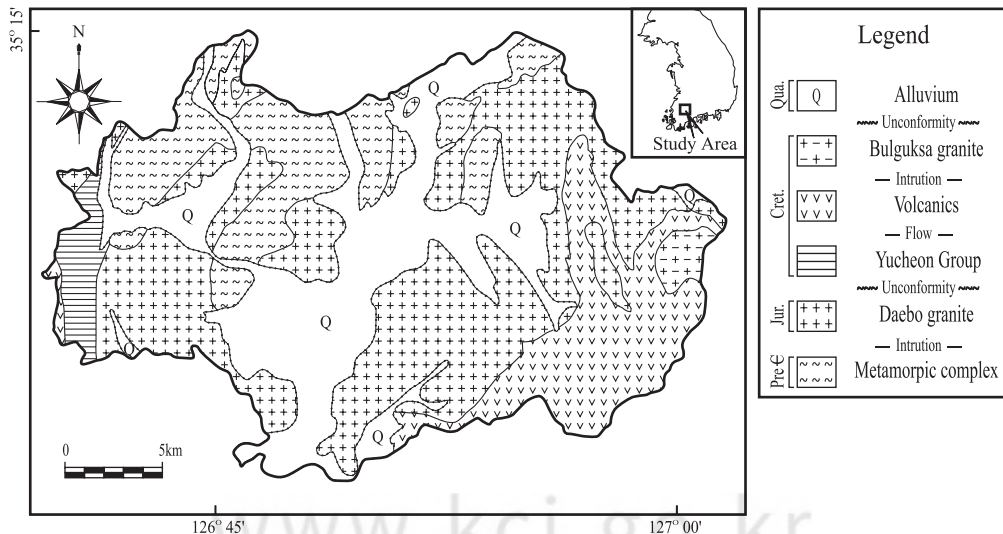


Figure 2. Geological map around the study area (modified after ; MOST, 1997)

화강암류는 큰 저반상 화강암으로 영산강 중류와 황룡강을 따라 폭 15~20 km, 연장 40 km 내외, 높이 100 m 내외의 높은 구릉지를 형성한다. 이후, 활발한 중생대 백악기 화산활동에 수반하여 이루어진 두꺼운 화산쇄설성 퇴적암과 안산암을 비롯한 화산암류들이 전기한 백악기 이전의 암층들을 부정합적으로 덮고 있다. 화산쇄설성 퇴적암류로는 응회암질 사암과 셰일 등이 부분적으로 협재되며 안산암과 유문암 등의 화산암류에 의해 피복된다. 전기한 이들 암층들은 같은 시기의 산성 및 중성맥암류에 의해 관입되고, 하천의 유로를 따라 충적층이 부정합으로 덮고 있다(과학기술부, 1997).

III. 재료 및 방법

퇴적물 채취는 강수 및 폭풍 등에 의한 환경 변화의 영향이 적은 시기인 2009년 2월에 광주광역시를 관류하는 하천을 대상으로 전라남도 하천도, 지형도, GPS를 이용하여 1999년 조사 지점과 동일한 영산강 본류(YS1~9), 황룡강(HR1~8), 광주천(GJ1~12) 총 29 개 정점에서 이루어졌다. 채취 방법은 금속기구에 의한 오염을 최소화하기 위해 플라스틱 삽을 이용하여 표층 3 cm 이내에서 채취하였으며, 약 1 m 간격의 정방형으로 채취한 9개 부분 시료를 합하여 하나의 완전 시료로 사용하였다. 또한 채취된 시료는 입도분석과 화학분석 시료로 구분하여 전 처리하였다.

퇴적물 입도분석은 Ingram(1971)과 Galehouse(1971)의 방법에 따라 사질과 니질 퇴적물로 분리한 후, 사질 퇴적물은 표준체를 이용한 건식체질(dry sieving) 방법을, 니질 퇴적물은 침전속도를 이용한 피펫법(pipetting method)으로 퇴적물 입도를 구하였다.

지구화학적 분석을 위한 하상퇴적물 시료는 70℃ 이하의 건조기에서 충분히 건조시켜 200mesh 이하의 크기로 분말화 한 후, 유도결합플라즈마방출 분광기(ICP-AES, Optima 4300DV, Perkin-Elmer), 유도결합플라즈마질량분석기(ICP-MS,

ELAN 6100, Perkin-Elmer)를 이용하여 측정하였다. 원소 분석시 자료의 신뢰도를 검증하기 위해 중복분석과 미국표준기술연구소(NIST)의 하상퇴적물 표준시료(RM 8704; buffalo river sediment)(NIST, 2010)를 병행분석 하였으며, 그 결과 측정값의 정밀도와 정확도는 $\pm 10\%$ 이내로 나타났다.

총유기탄소량(TOC : total organic carbon)은 TOC 분석기인 SSM-5000A(Shimadzu, Japan)를 이용하여 총탄소량(TC)과 총무기탄소량(TIC)의 차에 의해 구하였다. 분석시 측정값의 정확도를 높이기 위해 총탄소량 분석의 경우, 표준물질(Standard material)인 Glucose(TC 함유량 : 40%)를 사용하였으며, 총무기탄소량 분석의 경우 NaHCO_3 (IC 함유량 : 14%)을 사용하여 검량선 및 분석 자료의 보정에 사용하였다. 한편, 분석 자료의 통계적 처리는 SPSS를 이용하여 분석 원소의 평균, 편차, 상관관계, 요인분석 및 T-검증을 실시하여 자료의 해석에 이용하였다.

IV. 결과 및 토의

1. 퇴적물 입도와 성분 함량

연구지역에서 표층퇴적물의 입도 분포는 전체적으로 역을 포함한 사질퇴적물이 우세하다. 하천별 퇴적물들의 평균입도(Mz)는 영산강 본류 0.18~3.78 ϕ , 황룡강 0.32~2.08 ϕ , 광주천 0.28~3.14 ϕ 의 범위로 잔자갈에서 세립질 모래 크기까지 다양하다. 이들 퇴적물의 평균입도는 조립사(coarse sand)에 해당하며, 입도 변화는 전반적으로 단일모드적(unimodal)이다. 분급도(sorting)는 영산강 본류 0.75~4.27 ϕ , 황룡강 0.72~3.26 ϕ , 광주천 0.66~4.25 ϕ 로 매우 불량한 분급(extremely poorly sorted)이다. 왜도(skewness)는 전반적으로 양성왜도로 편향되며, 본류와 광주천에서는 매우 조립한 왜도(very coarse skewed)에서 세립한 왜도(fine skewed)에 이르는 광범위한 분포를 보였다(Table 1).

하상퇴적물을 대상으로 분석한 성분 원소들의 함

Table 1. Textural parameters of bottom sediments in the study area

	Gravel(%)	Sand(%)	Silt(%)	Clay(%)	Mean(Mz;σ)	Sorting(σ;σ)	Skewness(SKI)	Kurtosis(KG)
YS1	7.45	84.25	4.09	4.21	1.24	2.16	0.19	1.55
YS2	17.12	77.39	3.13	2.35	0.48	1.76	-0.19	1.50
YS3	25.49	39.53	20.33	14.66	2.34	4.23	0.36	0.85
YS4	28.44	50.89	8.94	11.73	0.54	2.93	0.46	1.95
YS5	31.32	45.27	14.62	8.79	1.21	4.11	0.02	0.86
YS6	13.21	38.48	26.86	21.45	3.78	4.03	0.20	0.76
YS7	1.47	81.81	9.23	7.49	2.43	2.09	0.69	3.33
YS8	34.91	38.15	14.13	12.81	1.54	4.27	0.53	0.80
YS9	6.72	90.70	1.39	1.19	0.18	0.75	0.00	1.28
HR1	14.41	50.11	32.59	2.89	0.32	2.33	0.02	1.80
HR2	8.25	75.90	9.55	6.30	1.79	2.31	0.26	1.55
HR3	7.82	90.50	0.98	0.69	0.94	0.99	-0.23	1.33
HR4	14.68	71.16	8.75	5.41	1.11	2.63	0.38	1.72
HR5	13.43	70.15	10.31	6.11	1.54	2.43	0.59	2.66
HR6	11.86	86.61	0.90	0.63	0.88	0.72	-0.13	1.22
HR7	12.90	65.73	13.43	7.94	1.84	3.26	0.39	1.29
HR8	2.03	72.81	18.28	6.88	2.08	2.07	0.70	3.36
GJ1	4.95	90.30	2.58	2.17	1.48	1.53	0.02	1.00
GJ2	2.65	94.96	1.39	0.99	2.84	0.66	0.10	1.14
GJ3	25.38	30.07	31.05	13.49	2.91	4.25	-0.05	0.79
GJ4	10.26	84.91	2.92	1.92	0.81	0.85	0.01	1.29
GJ5	1.86	42.60	40.33	15.22	3.14	2.74	0.26	0.98
GJ6	15.05	65.28	12.07	7.60	1.54	2.94	0.10	1.16
GJ7	21.15	73.44	2.95	2.46	0.83	0.98	0.30	1.89
GJ8	11.68	86.45	1.12	0.75	0.48	0.70	0.13	2.06
GJ9	12.74	82.91	2.93	1.42	0.28	0.90	0.01	1.45
GJ10	20.92	76.47	1.53	1.08	0.34	1.92	-0.17	1.48
GJ11	15.36	76.46	4.14	4.04	0.94	1.86	0.08	1.54
GJ12	23.36	54.44	13.34	8.86	1.09	3.55	0.26	1.12

Table 2. Major element contents of the bottom sediments in the study area (unit in %, *mg/kg)

Yeongsan river main stream (n=9)									
	Al	Fe	Mg	Ca	Na	K	Ti*	P*	Mn*
Min.	3.76	0.71	0.05	0.29	0.64	1.73	1,286	105	121
Max.	7.43	3.39	0.64	0.81	1.35	2.95	4,256	1,781	2,576
Aver.	4.84	1.74	0.22	0.53	1.01	2.42	2,312	546	517
SD	1.17	1.01	0.18	0.18	0.23	0.40	1,003	538	785
Hwangryong river (n=8)									
Min.	3.83	0.82	0.12	0.23	0.51	2.33	1,181	75	140
Max.	6.10	1.52	0.28	0.41	1.29	3.31	2,333	347	299
Aver.	4.98	1.12	0.20	0.30	0.76	2.75	1,550	222	243
SD	0.83	0.28	0.06	0.06	0.24	0.35	404	97	60
Gwangju stream (n=12)									
Min.	4.66	0.85	0.17	0.50	0.90	1.47	616	198	142
Max.	6.90	4.68	0.90	2.91	1.37	2.52	3,491	1,581	1,396
Aver.	5.68	2.73	0.51	1.30	1.10	2.08	2,043	612	501
SD	0.76	1.26	0.26	0.72	0.16	0.31	960	408	347
Mean crust value (modified after, Mason and Moore, 1982)									
Aver.	8.13	5.00	2.09	3.63	2.83	2.59	4,400	1,050	950
Yeongsan river core mean value (modified after, Eun, 1998)									
Aver.	7.46	2.46	0.46	0.84	1.11	2.78	2,577	349	387

Table 3. Minor elements and total organic carbon contents of the bottom sediments in the study area (unit in mg/kg, %)

Yeongsan river main stream (n=9)															
	Ba	Co	Cr	Cu	Li	Ni	Sc	Sr	V	Y	Zn	Zr	Pb	Cd	TOC*
Min.	360	2	9	5	9	4	2	76	17	3	35	47	17	-	0.43
Max.	1,537	12	57	57	36	24	8	170	68	14	317	148	53	0.33	2.63
Aver.	737	6	29	22	20	12	4	114	38	7	114	91	28	-	1.42
SD	328	4	19	21	10	8	2	32	21	4	97	39	13	-	0.90
Hwangryong river (n=8)															
Min.	477	3	12	3	14	4	2	83	17	5	19	144	15	-	0.23
Max.	866	5	33	13	22	11	4	158	33	8	61	343	27	-	2.34
Aver.	645	4	19	7	17	7	3	116	23	6	41	249	20	-	0.67
SD	151	1	7	3	3	3	1	27	6	1	15	71	4	-	0.69
Gwangju stream (n=12)															
Min.	517	3	13	8	12	6	2	107	27	4	47	61	19	-	0.84
Max.	740	16	162	158	44	35	10	395	116	17	548	221	60	0.96	9.47
Aver.	646	9	50	45	25	17	6	205	66	10	193	108	33	-	3.35
SD	82	4	38	46	10	8	3	87	28	4	170	45	13	-	2.39
Mean crust value (modified after, Mason and Moore, 1982)															
Aver.	425	25	100	55	20	75	22	375	135	33	70	165	13	0.2	-
Yeongsan river core mean value (modified after, Eun, 1998)															
Aver.	744	8	34	28	25	16	8	183	49	15	50	45	18	-	-

량 분포는 Mason & Moore(1982)에 의해 제시된 지각 평균 함량(MCV : mean crust value)과 은코요나(1998)에 의해 연구된 인근의 영산강 주상시료(YSC : yeongsan river core mean value)의 평균 함량과 상호 비교하였다(Table 2, 3). 연구지역의 하상퇴적물에 함유된 주성분원소들의 함량은 지각 평균 함량과 비교할 때, 대다수의 주성분원소들이 낮은 값을 보였으며, 황룡강에서 K만이 지각 평균 함량보다 높았다. 미량원소들은 영산강 본류에서 Ba, Zn, Pb, 황룡강에서 Ba, Zr, Pb, 광주천에서 Ba, Li, Zn, Pb 등이 지각 평균 함량과 비교할 때 높았다. 또한 영산강 인근에서 채취된 주상시료 평균 함량과 비교할 때, 주성분 원소는 영산강 본류에서 P, Mn이, 광주천에서 Fe, Mg, Ca, P가 높았으며, 미량원소는 영산강 본류에서 Zn, Zr, Pb가, 황룡강에서 Zr, Pb가, 광주천에서 Co, Cr, Cu, Ni, Sr, V, Zn, Zr, Pb 등의 대다수 미량원소들이 높게 나타났다. TOC는 영산강 본류 0.43~2.63%(평균 1.42%), 황룡강 0.23~2.34%(0.67%), 광주천 0.84~9.47(3.35%)로 하천별 함량 변화가 컸다.

하천별 주성분 원소의 함량변화(σ_x/\bar{x})(σ_x : 표준

편차, \bar{x} : 평균)는 Al 13~24%, K 13~17%, Na 15~32%로 편차가 적었으며, Ca 21~56%, Fe 25~58%, Mg 30~80%, P 44~99%, Mn 25~152%로 큰 편차를 보였다. 미량원소들의 하천별 함량변화는 주성분 원소들 보다 더 큰 편차를 보여 Co 22~65%, Cr 22~65%, Cu 51~102%, Zn 37~88%, Pb 18~48% 등이었으며, 대부분 광주천에서 큰 변화를 보였다.

2. 함량변화의 조절 요인

퇴적물 내의 성분 함량 변화는 퇴적물의 입도, 유기물, 산화물 및 주변 지질 등의 영향에 민감한 것으로 알려져 있다(Förstner and Wittmann, 1981; Salomons and Förstner, 1984; Adriano, 1986; Wittmann, 1983). 연구지역인 영산강 본류에서 퇴적물 내 성분들의 상관성은 Al, Fe, Co, Ni, Zn, Pb 등이 퇴적물의 평균 입도와 $r=0.8$ 이상의 높은 상관성을 보이며, 입도의 세립화에 따라 증가하였다(Table 4). 일반적으로 입자 크기의 감소에 따른 퇴적물의 세립화는 입자의 표면적을 증가시켜 퇴적물 내 금속원소 함량의 증가를 가져온다. 따라

Table 4. Correlation matrix in the study area

	Al	Fe	Ca	P	Mn	Ba	Co	Cr	Cu	Li	Ni	Zn	Zr	Pb	Cd	TOC	Mz
Al	1.00																YS
Fe	0.87*	1.00															
Ca	0.44	0.10	1.00														
P	0.74	0.65	0.50	1.00													
Mn	0.42	0.70	-0.22	0.09	1.00												
Ba	-0.35	-0.46	0.17	-0.27	-0.48	1.00											
Co	0.87*	0.99*	0.10	0.66	0.70	-0.56	1.00										
Cr	0.73	0.92*	-0.05	0.56	0.57	-0.54	0.93*	1.00									
Cu	0.79	0.89*	0.30	0.81*	0.63	-0.41	0.90*	0.76	1.00								
Li	0.80	0.97*	0.04	0.64	0.72	-0.62	0.98*	0.92*	0.87*	1.00							
Ni	0.82*	0.96*	0.07	0.69	0.58	-0.56	0.97*	0.98*	0.85*	0.97*	1.00						
Zn	0.89*	0.91*	0.34	0.87*	0.53	-0.42	0.91*	0.76	0.97*	0.87*	0.87*	1.00					
Zr	0.54	0.84*	-0.24	0.38	0.62	-0.54	0.85*	0.96*	0.66	0.88*	0.91*	0.62	1.00				
Pb	0.84*	0.94*	0.23	0.63	0.79	-0.44	0.93*	0.77	0.94*	0.90*	0.84*	0.93*	0.68	1.00			
Cd	0.74	0.84*	0.26	0.71	0.73	-0.41	0.83*	0.63	0.96*	0.83*	0.74	0.93*	0.55	0.96*	1.00		
TOC	0.71	0.65	0.69	0.72	0.40	-0.41	0.69	0.55	0.82*	0.67	0.66	0.79	0.42	0.76	0.77	1.00	
Mz	0.96*	0.87*	0.41	0.75	0.41	-0.40	0.88*	0.78	0.79	0.79	0.84*	0.87*	0.59	0.82*	0.70	0.72	1.00
Al	1.00																HR
Fe	0.92*	1.00															
Ca	-0.61	-0.56	1.00														
P	0.13	0.35	-0.51	1.00													
Mn	-0.36	-0.43	0.03	-0.36	1.00												
Ba	-0.76	-0.71	0.33	0.31	0.07	1.00											
Co	-0.61	-0.46	0.11	0.50	0.02	0.85*	1.00										
Cr	-0.23	-0.21	0.20	0.34	-0.14	0.71	0.73	1.00									
Cu	-0.11	-0.35	0.09	-0.12	0.20	0.46	0.33	0.74	1.00								
Li	-0.13	-0.06	-0.28	0.73	-0.49	0.52	0.57	0.43	0.18	1.00							
Ni	-0.12	0.03	-0.04	0.68	-0.28	0.58	0.76	0.85*	0.44	0.69	1.00						
Zn	-0.30	-0.30	-0.22	0.53	-0.03	0.73	0.87*	0.78	0.60	0.69	0.80	1.00					
Zr	-0.63	-0.67	0.93*	-0.54	-0.10	0.38	0.08	0.16	0.17	-0.09	-0.09	-0.14	1.00				
Pb	-0.50	-0.56	0.00	0.40	-0.11	0.83*	0.66	0.57	0.52	0.81	0.56	0.77	0.21	1.00			
Cd	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
TOC	-0.23	-0.22	0.09	0.49	-0.57	0.64	0.38	0.42	0.17	0.74	0.42	0.40	0.29	0.76	-	1.00	
Mz	0.76	0.68	-0.43	-0.14	-0.17	-0.89*	-0.82	-0.64	-0.34	-0.17	-0.41	-0.59	-0.39	-0.52	-	-0.38	1.00
Al	1.00																GJ
Fe	0.74*	1.00															
Ca	0.82*	0.80*	1.00														
P	0.37	0.30	-0.03	1.00													
Mn	0.36	0.78*	0.46	0.33	1.00												
Ba	-0.23	-0.54	-0.12	-0.71*	-0.58	1.00											
Co	0.02	0.23	-0.21	0.85*	0.35	-0.83*	1.00										
Cr	0.33	0.33	0.02	0.82*	0.26	-0.70	0.83*	1.00									
Cu	0.28	0.34	-0.06	0.90*	0.41	-0.78*	0.87*	0.88*	1.00								
Li	0.36	0.38	0.06	0.75*	0.14	-0.79*	0.78*	0.80*	0.77*	1.00							
Ni	-0.03	0.26	-0.22	0.78*	0.54	-0.83*	0.90*	0.65	0.79*	0.64	1.00						
Zn	0.14	0.29	-0.15	0.88*	0.51	-0.78*	0.89*	0.78*	0.96*	0.62	0.86*	1.00					
Zr	-0.88*	-0.65	-0.63	-0.39	-0.40	0.25	-0.10	-0.29	-0.24	-0.33	-0.09	-0.17	1.00				
Pb	0.37	0.43	0.05	0.96*	0.47	-0.76*	0.85*	0.79*	0.88*	0.73	0.85*	0.88*	-0.36	1.00			
Cd	0.21	0.18	-0.12	0.90*	0.28	-0.71*	0.88*	0.89*	0.96*	0.71*	0.74*	0.94*	-0.18	0.85*	1.00		
TOC	0.21	0.29	-0.12	0.91*	0.41	-0.76*	0.93*	0.93*	0.95*	0.74*	0.85*	0.93*	-0.24	0.91*	0.95*	1.00	
Mz	0.79*	0.70	0.59	0.43	0.27	-0.35	0.27	0.59	0.37	0.62	0.18	0.19	-0.71*	0.49	0.29	0.41	1.00

* : correlation is significant at the 0.01 level(2-tailed)

서 이들 금속원소들은 입도의 세립화, 점토광물과 관련성을 시사하며, 근원물질인 알루미늄-규산염 광물의 영향이 일부 작용하고 있는 것으로 판단된다(Förstner and Wittmann, 1981; Salomons and Förstner, 1984; Krauskopf, 1982).

광주천에서는 영산강 본류와 달리 입도와 구성 성분의 상관성은 작고, 유기물과 구성성분과의 상관관계는 P, Ba, Co, Cr, Cu, Li, Ni, Zn, Pb, Cd가 $r=0.7$ 내외의 비교적 높은 상관성을 보이며, 유기물의 함량 변화에 따라 증가하는 것으로 나타났다. 이는 광주천 하상퇴적물 내 물질들의 함량 분포에 생활하수 등에 의한 유기물의 영향이 작용하고 있음을 시사한다. 한편, 황룡강에서는 성분들의 상관성이 분산되어 특별한 영향을 인지하기는 어려웠다.

원소들 간의 상관관계에서는 Al과 밀접한 관련성을 보이는 원소로 Fe, Co, Ni, Zn, Pb 등을 들 수 있다. 이들 원소들은 주로 점토 광물을 포함한 Mn 산화물, Fe과 Al수산화물에 수반되어 나타난다(최석원과 김역수, 1996). 이와 달리 K, Ba 등은 입도의 조립화 영향이 금속 원소 함량을 좌우하였다. 한편 Ca, Sr은 탄산염 광물 등의 지질 특성에 의해 좌우되며, Pb는 염기성암에서 산성암으로 갈수록 증가하는 경향을 보이는데 이는 연구지역의 기반암이 주로 화강암으로 이루어진 지질 특성과도 일치한다(Tidball, 1976). 또한 P는 유기물에 다량 함유되며, Cu, Zn, Pb 등과 함께 중금속원소들과 함께 유기물에 흡착되는 특성을 보인다(Irving and William, 1948). 광주천에서 이들 원소들의 함량이 높게 나타나는 것은 유기물질에 의한 영향이 작용하고 있음을 의미한다. 그러나 이들 각 원소의 함량 변화는 어느 하나의 요인에 의해 작용되는 것이 아니다. 금속원소의 함량은 입도, 유기물, 산화물 및 주변 지질 등에 의한 복합적인 요인이 작용하면서 변화하기에 이들에 대한 종합적인 영향을 파악할 필요가 있다.

퇴적물 내의 원소들의 거동에 영향을 주는 요인들을 종합적으로 살펴보기 위하여 주성분분석법(PCA : Principal components analysis)을 이용

하여 요인분석(Factor analysis)을 실시하였으며, Kaiser 정규화가 된 베리맥스법(varimax)으로 요인행렬을 회전시킨 후 요인을 구하였다.

영산강 본류 퇴적물을 대상으로 요인 분석한 결과, 총 2개의 요인이 자료의 총분산에 대하여 85.50%의 설명력을 갖는 것으로 나타났다(Table 5). 요인 1은 전체 자료 분산에 대한 기여율이 64.62%로 Al, Fe, Mg, Ti, P, Co, Cr, Cu, Li, Ni, Sc, V, Y, Zn, Pb, TOC, 평균 입도 등이 높은 적재량(factor loading)을 보였다. 이들 변수들은 쇄설성 점토광물 기원의 원소들로, 연구지역의 주변 암석에서 풍화되어 공급되어진 세립질의 점토광물의 영향과 더불어 유기물질에 의한 영향이 일부 반영하는 것으로 해석된다. 요인 2는 전체분산에 대한 기여율이 19.59%로 Ca, Na, K, Sr, Zr 등이 높은 적재량을 보였다. 이들 원소들은 암석들 중 장석류 입자의 산출과 연관성이 있으며, Ca, Sr은 탄산염 광물과 연관성으로 볼 때, 주변 지질과 관련되어 있을 것으로 추정된다(Bowen, 1979).

황룡강에서 요인 1은 38.91% 기여율로 K, Ti, P, Ba, Co, Cr, Li, Ni, V, Y, Zn Pb, TOC 등에서 적재되어 주변 지질과 유기물질의 관련성을 반영된 것으로 보이며, 요인 2는 32.75% 기여율로 Al, Fe, Mg, Na, Sc, Zr, 평균입도 등에서 적재되어 입도의 영향이 작용하고 있음을 지시한다.

광주천에서 요인 1은 기여율 41.63%로 P, Co, Cr, Cu, Li, Ni, Zn, Pb, TOC 등에서 적재되어 유기물질 등에 의한 영향이 큰 것을 알 수 있으며, 요인 2는 Al, Fe, Mg, Ca, Sc, V, Y, 평균 입도 등에서 적재되어 입도의 영향이 작용함을 알 수 있다.

이와 같이, 퇴적물 내의 금속원소 함량변화는 대부분 여러 요인들이 복합적으로 작용함으로써 다양한 함량변화를 가져온다. 위의 결과를 종합하여 볼 때, 영산강 수계에서 금속원소들의 함량 변화를 좌우하는 주 조절요인으로는 영산강 본류와 황룡강에서 입도 및 주변 지질의 영향을 들 수 있으며, 광주천에서는 생활하수 등에 의한 유기물의 영향이 큰 것으로 판단된다.

Table 5. Factor analysis of variables and factor scores for bottom sediments in the study area

Variables	YS		HR		GJ	
	Factor 1	Factor 2	Factor 1	Factor 2	Factor 1	Factor 2
Al	0.95	0.11	-0.35	0.86	0.11	0.89
Fe	0.94	-0.31	-0.26	0.89	0.24	0.92
Mg	0.96	0.12	-0.20	0.88	0.28	0.90
Ca	0.41	0.88	-0.15	-0.82	-0.20	0.93
Na	-0.07	0.84	-0.11	0.82	-0.60	0.25
K	-0.42	0.84	0.84	-0.39	-0.68	-0.47
Ti	0.84	0.06	0.91	0.24	-0.46	0.63
P	0.81	0.21	0.74	0.54	0.90	0.20
Mn	0.51	-0.56	-0.23	-0.37	0.40	0.61
Ba	-0.45	0.50	0.80	-0.57	-0.83	-0.26
Co	0.94	-0.32	0.84	-0.33	0.96	-0.03
Cr	0.84	-0.44	0.72	-0.21	0.86	0.19
Cu	0.91	-0.12	0.39	-0.25	0.95	0.13
Li	0.90	-0.40	0.88	0.25	0.78	0.19
Ni	0.92	-0.34	0.84	0.12	0.91	-0.01
Sc	0.95	-0.21	-0.02	0.93	0.21	0.91
Sr	0.40	0.88	-0.11	-0.86	-0.48	0.85
V	0.91	-0.37	0.84	-0.02	0.05	0.92
Y	0.93	-0.24	0.63	0.35	0.25	0.94
Zn	0.95	-0.05	0.89	-0.06	0.95	0.06
Zr	0.70	-0.61	-0.06	-0.82	-0.17	-0.78
Pb	0.91	-0.19	0.87	-0.24	0.89	0.28
TOC	0.83	0.27	0.70	-0.06	0.97	0.10
Mz	0.94	0.08	-0.56	0.69	0.29	0.73
Eigenvalue	15.51	5.01	9.34	7.86	9.99	9.07
%ofvariation	64.62	20.88	38.91	32.75	41.63	37.80
Commulative	64.62	85.50	38.91	71.66	41.63	79.43

3. 하천 환경 평가

퇴적물 내의 구성 성분의 오염 또는 인위적인 영향 등을 파악하기 위해서, Bruland *et al.*(1974)에 의한 부화지수(Enrichment Factor; *EF*)를 구하였다(Table 6). 부화지수는 퇴적물 내 점토광물의 구

성비율과 미량원소의 상대적인 함량변화를 이용하여 금속원소 농축평가에 사용된다(김주용 등, 2001; 오강호 등, 2003). 본 연구에서 부화지수의 보존성원소로는 그 기원이 대부분 지각물질로 알려져 있고, 연구지역에서 상대적으로 함량 변화와 편

Table 6. Enrichment factors(*EF*) of metals in the study area

Yeongsan river main stream (n=9)									
	P	Co	Cr	Cu	Li	Ni	Zn	Pb	Cd
Min.	0.20	0.19	0.19	0.17	0.91	0.11	1.00	2.80	-
Max.	1.90	0.71	0.86	1.32	2.53	0.41	4.95	5.87	2.34
Aver.	0.81	0.39	0.46	0.60	1.66	0.27	2.50	3.55	-
Hwangryong river (n=8)									
Min.	0.11	0.15	0.19	0.08	0.96	0.08	0.56	1.56	-
Max.	0.60	0.34	0.61	0.42	2.00	0.27	1.60	3.70	-
Aver.	0.35	0.24	0.32	0.21	1.41	0.16	1.00	2.57	-
Gwangju stream (n=12)									
Min.	0.27	0.16	0.15	0.23	0.69	0.09	1.09	1.95	-
Max.	1.84	0.86	1.97	3.51	2.70	0.72	10.90	5.78	5.84
Aver.	0.82	0.52	0.70	1.15	1.77	0.34	3.94	3.57	-

차가 작은 Al을 사용하였으며, 지각 평균값은 Mason and Moore(1982)에 의해 제시된 클라크 농도(clark of concentration)를 사용하였다.

$$EF = \frac{Metal_{(sediment)} / Metal_{(crust)}}{Al_{(sediment)} / Al_{(crust)}}$$

영산강 본류에서 원소들의 부화지수는 Li 0.91~2.53(평균 1.66), Zn 1.00~4.95(2.50), Pb 2.80~5.87(3.55), 황룡강에서는 Li 0.96~2.00(1.41), Zn 0.56~1.60(1.00), Pb 1.56~3.70(2.57), 광주천에서는 Cu 0.23~3.51(1.15), Li 0.69~2.70(1.77), Zn 1.09~10.90(3.94), Pb 1.95~5.78(3.57) 등이 농축된 것으로 나타났다(Figure 3). 이들 원소들 외에도 영산강 본류 일부지점에서 P(1.90), Cu(1.32)가 농축되고, 광주천에서도 P(1.84)가 농축되어지는 것으로 나타났다.

Li, Zn, Pb 등은 산성암 및 편암류를 비롯한 변성암류 등에 많이 함유되며, 일부 산업화 과정에서도 배출된다(최석원과 김억수, 1996; 정지곤과 이종만, 2000). 또한 P는 유기물에 다량 함유되며, Cu, Zn, Pb 등과 함께 중금속원소들과 함께 유기물에 흡착되는 특성을 보인다(Irving and William, 1948). 즉 이들 원소들의 부화는 연구 지역 지질 특성의 영향도 있지만 생활하수 등에 의한 유기물질 오염이 가중됨으로써 중금속원소의 농축이 진행되어진 것으로 해석된다.

4. 하상퇴적환경 변화

광주광역시 하천의 하상퇴적물을 대상으로 하상퇴적환경 변화를 살펴보기 위하여 1999년에 조사된 결과(오강호 등, 2003)와 10년이 지난 2009년의 조사 결과를 비교하면 다음과 같다. 먼저 하상퇴적물을 구성하는 성분들의 함량을 1999년 결과와 단순 비교할 때, 영산강 본류에서는 Al, Fe, Mg, Na, P, Mn, Ba, Co, Cr, Cu, Li, Ni, Zn Pb가, 황룡강에서는 Co, Cr, Cu, Ni, Zn, Pb가, 광주천에서는 Ca, Na, Co, Cr이 증가한 것으로 나타났다.

이들 원소들의 단순 함량 변화가 통계적으로 유의미한지를 살펴보기 위하여 SPSS를 이용하여 유의미한 차이가 있는지 T-검정(p<0.05)을 실시한 결과는 Table 7과 같다. Levene의 등분산 검증에 의한 1999년과 2009년 하천별 성분 평균 함량 변화에 대한 T-검증 결과, 영산강 본류에서는 Na, K, Co, Cr, Cu, Ni, Sr, Zn, Zr, Pb 등이 등분산 여부에 관계없이 유의확률 p>0.05 이상으로 평균 차이가 있는 것으로 나타났으며, 1999년과 비교할 때 Na, Co, Cr, Cu, Ni, Zn, Pb의 평균 함량이 증가하였다. 또한 황룡강에서도 Cr, Cu가 유의확률 p>0.05 이상으로 평균 함량이 증가하였으며, 광주천에서는 평균 함량이 증가한 원소는 없었다. 이러한 결과는 광주광역시를 관류하는 영산강 본류의 오염이 1999년 보다 심화되고 있음을 의미하며, 황

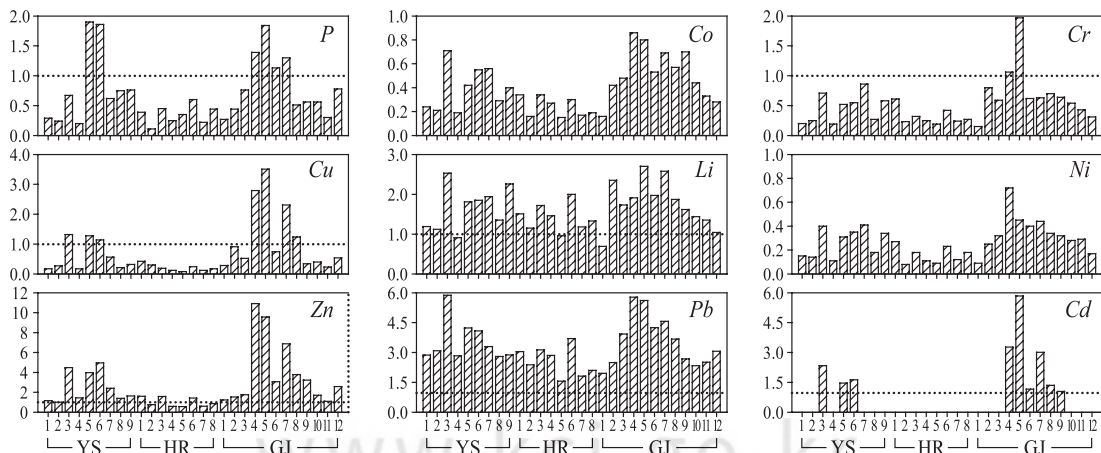


Figure 3. Enrichment factor(EF) of metallic elements in the study area

Table 7. Independent samples t-test of elements contents in the study area

		1999 YS vs 2009 YS					1999 HR vs 2009 HR					1999 GJ vs 2009 GJ				
		Levene's Test for Equality of Variances		T-test Equality of Means			Levene's Test for Equality of Variances		T-test Equality of Means			Levene's Test for Equality of Variances		T-test Equality of Means		
		F	Sig.	t	df	Sig.	F	Sig.	t	df	Sig.	F	Sig.	t	df	Sig.
Al	EVA	0.03	0.86	-0.23	16.00	0.82	3.19	0.10	0.59	14.00	0.56	9.16	0.01	2.51	22.00	0.02
	EVNA			-0.23	15.86	0.82			0.59	9.76	0.57			2.51	15.29	0.02
Fe	EVA	5.62	0.03	-1.28	16.00	0.22	5.53	0.03	1.12	14.00	0.28	0.44	0.51	0.48	22.00	0.63
	EVNA			-1.28	12.26	0.22			1.12	7.76	0.30			0.48	21.84	0.63
Mg	EVA	0.72	0.41	-0.51	16.00	0.62	7.88	0.01	1.56	14.00	0.14	5.15	0.03	1.91	22.00	0.07
	EVNA			-0.51	13.11	0.62			1.56	7.96	0.16			1.91	18.57	0.07
Ca	EVA	0.57	0.46	0.97	16.00	0.34	3.63	0.08	0.94	14.00	0.36	3.32	0.08	-0.01	22.00	0.99
	EVNA			0.97	12.69	0.35			0.94	8.75	0.37			-0.01	16.96	0.99
Na	EVA	2.42	0.14	-2.90	16.00	0.01	0.37	0.55	0.28	14.00	0.78	0.48	0.49	-1.48	22.00	0.15
	EVNA			-2.90	12.82	0.01			0.28	13.64	0.78			-1.48	19.80	0.15
K	EVA	3.89	0.07	2.34	16.00	0.03	0.51	0.49	0.57	14.00	0.58	0.01	0.92	0.93	22.00	0.36
	EVNA			2.34	11.17	0.04			0.57	13.52	0.58			0.93	21.74	0.36
Ti	EVA	0.76	0.40	0.39	16.00	0.70	4.61	0.05	0.54	14.00	0.60	5.16	0.03	2.06	22.00	0.05
	EVNA			0.39	15.49	0.70			0.54	9.93	0.60			2.06	19.16	0.05
P	EVA	4.65	0.05	-1.58	16.00	0.13	0.29	0.60	0.64	14.00	0.53	9.20	0.01	1.95	22.00	0.06
	EVNA			-1.58	9.17	0.15			0.64	13.50	0.53			1.95	11.69	0.08
Mn	EVA	3.18	0.09	-0.75	16.00	0.46	4.96	0.04	1.01	14.00	0.33	2.49	0.13	1.07	22.00	0.29
	EVNA			-0.75	8.37	0.47			1.01	8.19	0.34			1.07	20.08	0.30
Ba	EVA	2.64	0.12	-0.09	16.00	0.93	2.64	0.13	0.02	14.00	0.98	1.18	0.29	3.77	22.00	0.00
	EVNA			-0.09	8.72	0.93			0.02	11.72	0.98			3.77	21.80	0.00
Co	EVA	10.16	0.01	-3.00	16.00	0.01	5.94	0.03	-1.13	14.00	0.28	4.55	0.04	-0.39	22.00	0.70
	EVNA			-3.00	10.48	0.01			-1.13	7.89	0.29			-0.39	19.74	0.70
Cr	EVA	11.52	0.00	-3.19	16.00	0.01	0.34	0.57	-2.12	14.00	0.05	0.21	0.65	-0.83	22.00	0.42
	EVNA			-3.19	9.86	0.01			-2.12	13.23	0.05			-0.83	17.71	0.42
Cu	EVA	17.51	0.00	-2.49	16.00	0.02	0.10	0.76	-2.75	14.00	0.02	2.52	0.13	0.82	22.00	0.42
	EVNA			-2.49	8.77	0.04			-2.75	13.33	0.02			0.82	15.75	0.42
Li	EVA	2.33	0.15	-1.49	16.00	0.16	8.62	0.01	1.83	14.00	0.09	9.23	0.01	2.29	22.00	0.03
	EVNA			-1.49	13.72	0.16			1.83	7.76	0.11			2.29	18.00	0.03
Ni	EVA	5.12	0.04	-2.59	16.00	0.02	0.01	0.91	-0.87	14.00	0.40	2.28	0.15	0.89	22.00	0.38
	EVNA			-2.59	12.25	0.02			-0.87	13.54	0.40			0.89	15.63	0.39
Sr	EVA	0.24	0.63	2.90	16.00	0.01	1.36	0.26	1.68	14.00	0.12	9.03	0.01	0.66	22.00	0.52
	EVNA			2.90	15.57	0.01			1.68	11.74	0.12			0.66	14.48	0.52
Zn	EVA	7.67	0.01	-2.23	16.00	0.04	0.74	0.40	-0.30	14.00	0.77	1.87	0.19	0.62	22.00	0.54
	EVNA			-2.23	9.45	0.05			-0.30	12.54	0.77			0.62	17.28	0.55
Zr	EVA	0.03	0.87	11.14	16.00	0.00	0.14	0.71	1.53	14.00	0.15	6.52	0.02	2.71	22.00	0.01
	EVNA			11.14	15.51	0.00			1.53	11.99	0.15			2.71	17.65	0.01
Pb	EVA	6.02	0.03	-2.10	16.00	0.05	0.34	0.57	-1.63	14.00	0.13	3.12	0.09	0.74	22.00	0.47
	EVNA			-2.10	9.55	0.05			-1.63	13.49	0.13			0.74	17.53	0.47

(EVA: equal variances assumed, EVNA: equal variances not assumed)

룡강에서도 징후가 나타나는 것으로 해석된다.

한편, 광주천에서는 Al, Ti, Ba, Li, Zr 등이 평균 함량이 감소(유의확률 $p > 0.05$)하는 것으로 보아 하천 환경이 일부 개선되는 것으로 볼 수 있으나, 그 해석에는 주의를 요한다. 광주천은 지난 2004년부터 시작된 자연형 하천정화사업이 진행되면서 하천퇴적물 준설 및 수질 개선 사업이 진행되고 있으

며 2010년에 마무리 단계에 접어들고 있다. 사업의 목적상 퇴적물 준설 및 수질 개선 사업 결과는 하천 퇴적물 내 P, Cu, Zn, Pb 등의 오염형 중금속 함량의 감소를 가져와야 하지만 실제 함량 변화는 미비하며, 유의확률 $p < 0.05$ 로 함량 감소에 유의미한 수준은 아니다. 이는 하천정화사업이 수질 및 하천 퇴적환경 개선에 영향을 주지 못한 반증이며, 1999년

과 2009년 사이의 하천정화사업 기간 내에 일시적인 개선이 있었다고 가정할 때 재오염된 것으로 볼 수 있으며, 차후의 하천환경 변화에 부정적인 결과를 초래할 개연성이 높다.

또한 연구지역에서 나타난 P, Cu, Zn, Pb 등의 부화지수는 1999년 조사와 같이 광주광역시 관류하는 하천을 대상으로 볼 때, 광주천에서 매우 높으며, 광주광역시 북구와 동·서구의 경계를 이루는 GJ 4와 GJ 7에서 오염 경향이 뚜렷하다. 이 지점들은 광주천의 제 2 지류인 동계천과 서방천이 유입되는 곳으로, 이들 소하천들은 인구가 밀집되어 있는 광주광역시 동구와 북구에 위치하고 있다. 이들 소하천들이 광주광역시의 도심을 관류하여 광주천에 합류함으로써 특정원소들에 의한 광주천 오염을 가중시키고 있다. 또한, 광주천이 합류하는 본류의 극락교 부근(YS 5)에서 P, Cu, Zn, Pb 등의 오염 지시형 원소들이 농축되는 것으로 볼 때, 본류의 오염에 광주천의 영향이 크다.

이러한 결과는 환경부 수질측정망 자료를 통해서도 알 수 있다. 환경부 물환경정보시스템(환경부, 2010)의 최근 10년간 자료에 의하면 광주광역시를 관류하는 하천수의 BOD는 영산강 상류, 황룡강, 광주천 상류에 비해 광주천 하류(GJ 11)에서 7.10~14.70mg/l(평균 10.44 mg/l)로 수질환경기준 V등급에 해당할 정도로 오염이 심화되어 있다(Table 8). 또한 광주천이 합류되는 영산강 본류

(YS 6)에서도 5.7~12.2mg/l(평균 8.6mg/l)로 본류의 상류(YS 3)보다 2~3배 더 농축되어 광주천이 본류의 오염에 큰 영향을 주는 것을 알 수 있다. 특히 광주천의 경우 상류(GJ 1)와 비교할 때 BOD 6배, T-N과 T-P가 2배 이상의 농축이 진행되는 것으로 보아 광주광역시의 도심을 관류하는 소하천들이 광주천에 합류함으로써 광주천과 본류의 수질 오염에 가장 큰 오염원으로 파악된다.

따라서 광주광역시 하천정화 및 영산강 수질 개선을 위해서는 도심을 관류하는 소하천들에 대한 영향요인들을 보다 면밀히 관찰하고, 오염원을 파악하여야 할 필요성이 크며, 하천 정비를 위해서는 소하천 정비가 선행되어야 할 것이다.

V. 결론

광주광역시 하천환경을 변화를 살펴보기 위하여 하상퇴적물을 대상으로 분석한 결과, 주성분 원소보다 환경오염형 원소인 P, Cu, Zn, Pb 와 TOC의 함량 변화가 크며, 대부분 광주천에서 큰 변화를 보였다. 이들 퇴적물 내 원소들의 지하학적 거동에 주는 요인은, 영산강 본류에서는 주변 암석에서 풍화되어 공급되어진 세립질의 점토광물의 영향, 유기물질, 주변 지질의 영향을 받고 있으며, 황룡강에서 주변 지질, 유기물질, 입도 등의 영향을 받고 있다. 광주천은 생활하수 등에 의한 유기물질 등에 의한

Table 8. Water quality of the study area

	BOD (mg/l)					T-N (mg/l)					T-P (mg/l)				
	YS3	YS6	HR6	GJ1	GJ11	YS3	YS6	HR6	GJ1	GJ11	YS3	YS6	HR6	GJ1	GJ11
2001	4.3	8.8	3.2	2.0	11.1	3.34	11.83	2.23	3.68	9.81	0.10	1.07	0.04	0.11	0.94
2002	3.9	7.5	2.3	1.3	11.6	3.77	9.91	1.46	3.65	7.11	0.06	0.55	0.12	0.06	0.36
2003	3.0	6.9	2.1	0.9	7.1	3.99	9.69	1.68	3.79	6.65	0.10	0.72	0.08	0.09	0.32
2004	4.1	10.5	4.2	1.9	12.1	3.08	12.73	1.41	3.60	9.95	0.14	1.18	0.03	0.15	0.69
2005	3.5	12.2	4.4	1.6	11.3	2.71	12.25	1.73	2.83	8.76	0.15	0.99	0.04	0.25	0.61
2006	2.9	10.6	2.9	1.1	14.7	2.61	13.52	1.84	2.61	8.69	0.10	1.00	0.04	0.05	0.58
2007	3.7	8.6	2.6	1.5	8.9	2.17	7.32	2.68	2.50	5.24	0.11	0.77	0.06	0.07	0.41
2008	4.5	6.5	2.8	2.1	9.2	1.82	5.62	1.28	2.93	5.16	0.09	0.49	0.07	0.14	0.48
2009	4.5	5.7	3.0	2.5	8.0	2.00	6.04	1.11	5.63	5.58	0.11	0.50	0.07	0.53	0.44
Min.	2.9	5.7	2.1	0.9	7.10	1.82	5.62	1.11	2.50	5.16	0.06	0.49	0.03	0.05	0.32
Max.	4.5	12.2	4.4	2.5	14.70	3.99	13.52	2.68	5.63	9.95	0.15	1.18	0.12	0.53	0.94
Aver.	3.8	8.6	3.1	1.7	10.44	2.83	9.88	1.71	3.47	7.44	0.11	0.81	0.06	0.16	0.54

(modified after, Ministry of Environment, 2010)

영향이 가장 크며, 부수적으로 입도의 영향이 작용함을 알 수 있다. 하천의 오염을 살펴보기 위해 구한 부화지수는 영산강 본류와 황룡강에서 Li, Zn, Pb, 광주천에서는 Cu, Li, Zn, Pb 등이 농축되었으며, 이들 원소들 외에도 영산강 본류 일부지점에서 P, Cu, 광주천에서 P가 농축되어지는 것으로 나타났다.

하상퇴적환경 변화를 살펴보기 위하여 1999년 결과와 2009년의 조사 결과를 비교할 때, 영산강 본류에서는 Na, Co, Cr, Cu, Ni, Zn, Pb가, 황룡강에서는 Cr, Cu의 평균 함량이 증가하였다. 이러한 결과는 광주광역시를 관류하는 영산강 본류와 황룡강의 오염이 1999년 보다 심화되고 있음을 의미하며, 광주천은 하천정화사업에도 불구하고 하천퇴적물 내 P, Cu, Zn, Pb 등의 함량 변화가 없어 하천정화사업이 수질 및 하천 퇴적환경 개선에 영향을 주지 못한 것으로 나타났다.

특히, 연구지역에서 나타난 P, Cu, Zn, Pb 등의 부화지수는 1999년 조사와 같이 광주광역시 전 지역을 대상으로 볼 때, 광주천에서 매우 높으며, 광주천의 제 2 지류인 동계천과 서방천이 유입되는 GJ 4와 GJ 7에서 오염 경향이 뚜렷하다. 이들 소하천들이 광주광역시의 도심을 관류하여 광주천에 합류함으로써 특정원소들에 의한 광주천 오염을 가중시키며, 영산강 본류에도 그 영향을 주고 있다, 영산강을 환경을 개선하기 위해서는 대도시 관류하는 광주천의 정비가 중요하며, 광주천을 비롯한 광주광역시 하천 정화 및 수질 개선을 위해서는 도시를 관류하는 소하천 정비가 선행되어야 할 것이다.

사 사

이 논문은 “2008년도 전남대학교 학술연구비 지원에 의하여 연구” 되었으며, 논문의 미진한 부분을 세심하게 살펴주시고 많은 도움이 될 조언을 해주신 두 분 심사위원들께 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

- 과학기술부, 1997, 광주 지질도폭 설명서(1:250,000).
- 김규봉, 이병주, 황상구, 1990, 광주도폭 지질보고서, 한국동력자원연구소.
- 김주용, 은고요나, 고영구, 윤석태, 오강호, 김동주, 2001, 전남 나주-영암지역의 영산강 하류 시추퇴적물의 퇴적환경과 지구화학적 특성, 한국지구과학회지, 22, 301-317.
- 박영석, 노영배, 이창신, 1995, 광주-나주 지역에 분포하는 화강암류에 대한 Rb-Sr 동위원소 연구, 한국지구과학회지, 16, 247-261.
- 수자원공사, 1992, 전국하천조사서.
- 오강호, 김주용, 고영구, 윤석태, 신상은, 박배영, 문병찬, 김해경, 2003, 광주광역시 하천의 표층퇴적물에 대한 지구화학적 특성과 오염, 한국지구과학회지, 24, 346-360.
- 윤석태, 고영구, 오강호, 문병찬, 김해경, 2004, 영산강 하류권역 하상퇴적물의 지화학적 특성과 오염평가, 환경영향평가, 13, 251-262.
- 전라남도, 1996, 영산강 수질개선 종합대책 수립에 관한 연구.
- 정지곤, 이종만, 2000, 화성암석학, 시그마프레스.
- 정부합동, 2000, 호남의 생명수 지키기 대역사 -영산강수계 물관리종합대책-, 환경부.
- 조영길, 김주용, 1998, 영산강 하상퇴적물의 중금속 함량, 한국환경과학회지, 7, 281-290.
- 최석원, 김억수, 1996, 의학환경 지구화학, 도서출판 춘광.
- 환경부, 2003, 세계 물의 해 자료집, 환경부.
- 환경부, 2010, <http://water.nier.go.kr/>
- Adriano, D. C., 1986, Trace Elements in the Terrestrial Environment, Springer-Verlag, Berlin.
- Alloway, B. J., Thornton, I., Smart, G. A., Sherlock, J. C., and Quinn, M. J., 1988, Metal Availability, Science of The Total Environment, 75, 41-69.
- Bowen, H. J. M., 1979, Environmental

- Chemistry of the elements, Academic Press, London.
- Förstner, U. and Wittmann, G. T. W., 1981, Metal Pollution in the Aquatic Environment. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York.
- Galehouse, J. S., 1971, Sedimentation analysis, In Carver, R. E.(ed.), Procedures in Sedimentary Petrology, Wiley-Interscience, New York.
- Ingram, R. L., 1971, Sieve analysis, In Carver, R. E.(ed.), Procedures in Sedimentary Petrology, Wiley-Interscience, New York.
- Irving, H. and Williams, R., 1948, Order of stability of metal complexes, Nature, 162, 746-747.
- Krauskopf, K. B., 1982, Introduction to Geochemistry, McGraw-Hill, New York.
- Mason, B. and Moore, C. B., 1982, Principles of Geochemistry, John Wiley & Sons Inc, New York.
- NIST, 2010, <https://rproxy.nist.gov/srmors/>
- Salomons, W. and Förstner, U., 1984, Metals in the Hydrocycle, Springer-Verlag, Berlin.
- Thornton, I., 1983, Applied Environmental Geochemistry, Academic Press, London.
- Tidball, R. R. 1976. Lead in soils. In Lovering, T. G.(ed.), Lead in the Environment, USGS Prof.
- Wittmann, G.T.W., 1983, Metal Pollution in the Aquatic Environment. Springer-Verlag, Berlin.

최종원고채택 10. 10. 24