

한강 하천수 중 용존이온의 지구화학적 특성과 기원

김규한* · 심은숙

이화여자대학교 과학교육과

Geochemical Characteristics and Origin of Dissolved Ions in the Han River Water

Kyu-Han Kim* and Eun-Sook Shim

Department of Science Education, Ewha Womans University, Seoul 120-750 Korea

Geochemical data of the Han river water, including four tributary water samples in the main Han river are presented in this paper. The concentration of dissolved ions in the North Han river water decreases in order of $Ca > Na > K > Mg$ and $HCO_3 > NO_3 > SO_4 > Cl$, which is mainly affected by the chemical weathering of granite and gneiss in the drainage basin. Meanwhile, the South Han river water shows a decreasing order of $Ca > Mg > Na > K$ and $HCO_3 > SO_4 > NO_3 > Cl$, which is controlled by the bed rock geology of carbonate rocks and the inflow of acid mine drainage from the metal and coal mines in the Taebaegsan and Hwanggangri areas. The main Han river waters are characterized by unusually high concentration of Na, Cl and SO_4 ($Ca > Na > K > Mg$ and $HCO_3 > SO_4 > Cl > NO_3$), indicating a significant anthropogenic pollution by human activities in the metropolitan Seoul city. The geochemical data of the Han river waters from 1981 through 1996 to 1999 records a significant increase in SO_4 and NO_3 , which responsible for the increasing acid mine drainage and municipal anthropogenic pollution.

Key words : Han river water, geochemical data, dissolved ions, anthropogenic pollution, acid mine drainage

한강수계분지 내의 한강 하천수와 한강 하천으로 유입되는 지천 수의 용존 이온 농도의 특성과 그 기원을 연구하였다. 북한강 하천수의 용존 이온농도는 $Ca > Na > K > Mg$, $HCO_3 > NO_3 > SO_4 > Cl$ 순이며 이들 원소들의 농도는 주로 수계분지 내에 분포하고 있는 화강암과 편마암의 화학적 풍화의 영향을 받고 있다. 한편, 남한강 하천수의 주요 이온 농도는 $Ca > Mg > Na > K$, $HCO_3 > SO_4 > NO_3 > Cl$ 순으로 감소한다. 이는 수계분지 내에 분포하고 있는 탄산염암의 영향과 태백산 지역의 탄광과 금속광산에서 발생한 광산 폐수의 유입 때문으로 해석된다. 한강분류 하천수는 Na, Cl, SO_4 ($Ca > Na > K > Mg$, $HCO_3 > SO_4 > Cl > NO_3$) 농도가 높게 나타나 서울 도심의 인간 활동에 의한 오염 영향을 받고 있음을 의미하고 있다. 1981년부터 1999년 사이에 한강 하천수의 SO_4 와 NO_3 이온농도는 현저히 증가하여 산성광산 폐수와 생활하수에 의한 오염의 증가를 반영하고 있다.

주요어 : 한강하천수, 지구화학적 자료, 용존이온, 인간활동에 의한 오염, 산성광산폐수

1. 서 언

한강하천수의 수리지구화학적 연구에 의하면 남한강 하천수는 고농도의 $Ca-(HCO_3+SO_4)$ 형에 속하며 북한강은 저농도의 $(Ca+Na)-(HCO_3+SO_4+Cl)$ 형으로 구분된다(水谷 등, 1980). 그리고 남한강과 북한강의

수질 변화와 동위원소비 변화 원인이 주변 지질과 인간 활동에 의한 오염에 크게 기인하고 있다(中井 등, 1982). 이동수 등(1989)에 의하여 한강분류와 지류에 대하여 중금속분석 연구가 수행되었다. 최근 서혜영과 김규한(1997)은 한강 하천수와 주요 지천의 지구화학 특성변화 연구에서 한강 상류에서 하류로 갈수록 하천수 중의 SO_4^{2-} 와 NO_3^- 가 현저하게 증가하고 있음을 보고하였다.

*Corresponding author: kyuhan@ewha.ac.kr

연구 지역 내의 한강 유역은 한강 본류, 북한강 및 남한강의 3개 유역으로 구분된다. 북한강 지역은 대체로 선캄브리아기의 변성암류와 화강암류가 분포하고 있다. 지형은 구조선의 일반적인 발달 방향인 북북동-남남서 방향과 일치하게 발달하여 있어 직선 유로 하천이 많다(김규한과 김원숙, 1994).

한편, 남한강 상류지역은 고생대의 석회암, 사암, 역암, 셰일 등이 분포한다. 본 연구지역의 요약된 지질도는 서혜영과 김규한(1997)에 보고되어 있다. 이러한 퇴적암 지역에서 유로는 주로 곡류의 형태로 발달하고 있다. 또한 이 지역은 탄질 셰일, 무연탄 및 석회암 지층이 넓게 분포하고 있으며 태백산 및 황강리 광화대에는 금속 광산이 산재하고 있다. 석회암층은 주로 남한강 상류의 남동부 평창, 정선, 영월, 단양 및 사북 지역에 넓게 분포하고 있다.

남한강 중류 지역인 충주 부근에는 옥천층군의 천매암, 함역천매암, 석회암 등이 분포하며 충주-여주-이천 지역에서는 선캄브리아기의 편마암류와 이들을 관입한 쥐라기의 화강암류가 분포하고 있다. 북한강과 남한강

이 합류하는 양수리에서 김포에 이르는 지역은 선캄브리아기의 편마암류와 이들을 관입한 중생대의 화강암류로 구성되어 있다(홍승호 등, 1982).

한강 하천수의 수질 특성이 한강주변 생활권의 환경에 큰 영향을 주는 중요도에비하여 한강하천수의 용존이온농도 지화학적 특성 자료가 제한적이다. 또한 환경오염과 관련된 용존이온의 기원 규명과 수계 주변 환경 변화에 따른 체계적인 한강수질 변화 특성연구가 수행된바 없다. 특히, 한강 지천하천수의 지화학적 특성은 일부 지천(예: 안양천) 연구결과만 소개된 바 있다.

따라서 본 연구에서는 1999년도 한강 수계 분지 내의 하천수(지표수)의 주요 이온종의 농도 분석과 현장 수질측정을 실시하여 (1)하천수의 용존이온종들의 화학적 특성 변화의 원인 분석, (2) 1981, 1996, 1999년 사이의 시간변화에 따른 하천수의 수질변화의 특성 검토, 그리고 (3) 서울 지역을 중심으로 한강 하천수와 주요 지천 하천수의 오염 특성을 연구하고 이들이 한강 본류 하천수의 수질에 미치는 영향을 조사하였다.

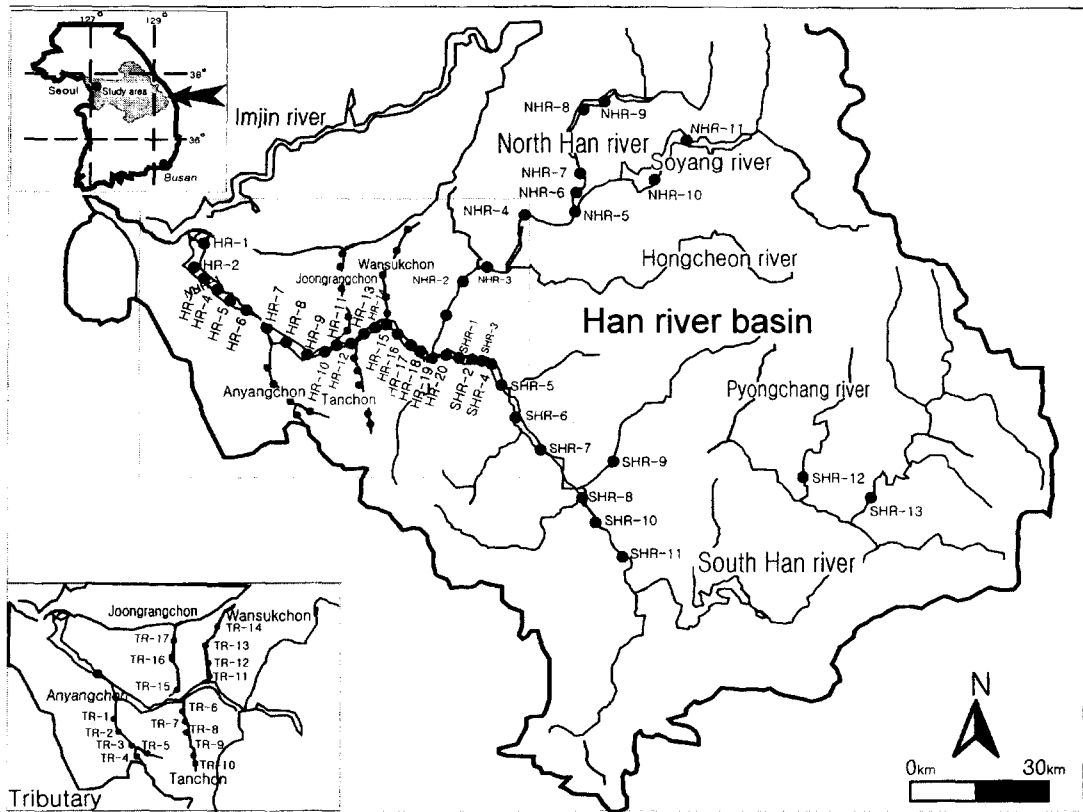


Fig. 1. Sample location map of stream waters in the Han river basin.

2. 시료채취 및 분석방법

시료채취는 1999년 5월 16일부터 1999년 6월 21일 까지 건기 기간에 걸쳐 남한강(SHR), 북한강(NHR), 한강 본류(HR)의 총 61개 지점에서 시료를 채수하였다(Fig. 1). 그리고 서울 도심을 흐르는 한강 본류로 유입되는 단천, 왕숙천, 안양천, 중랑천 지류(TR) 17개 지점을 포함하여 총 27개 지점에서 시료를 채수하였다. 이들 시료의 채수 위치는 과거의 화학 분석 자료와 비교하기 위하여 Nakai *et al.*(1982)와 서혜영, 김규한(1997)의 시료 채수 지점을 포함시켰다.

지표수의 수소이온농도(pH), 산화-환원 전위(Eh), 전 기전도도 등의 물리적 특성은 pH/Ion meter(Orion 290A)와 Conductivity/TDS meter(Orion model 135)

를 이용하여 현지에서 측정하였다(Table 1). Ca, Mg, Al, Ba, Fe, Co, Ni, Cr, Cy, Mn, Zn, As, Ti 등의 양이온은 이화여자대학교 지구과학 실험실에 있는 Perkin-Elmer사의 유도결합 플라즈마 원자방출분광분석기(ICP-AES)로 분석하였다. 분석 오차는 5% 내외이다. Na와 K 분석은 서울대학교 자원공학과와 원자흡광 분광기(AAS)를 사용하였으며 분석오차는 5% 내외이다.

음이온 중 F, C, Br, NO₃, PO₄²⁻, SO₄²⁻ 등은 고려대학교 전락 광물자원 연구센터의 이온크로마토그래피(IC-DX500)로 분석하였다. 분석 정밀도는 5% 내외이다. 그리고 HCO₃ 농도는 패놀프탈레인 용액과 메틸 레드-브롬크레졸그린 혼합 용액을 이용한 적정법으로 알칼리도를 구한 후 계산에 의하여 얻었다(Stednick, 1991; Greenberg *et al.*, 1992).

Table 1. Physical properties of stream waters in the Han river basin.

Sample No.	pH	Eh (mV)	Conductivity (uS/cm)	TDS (mg/L)	Sample No.	pH	Eh (mV)	Conductivity (uS/cm)	TDS (mg/L)
HR1	7.13	171.0	3800.0	1900	TR12	6.99	223.2	86.0	43
HR2	7.08	159.2	4050.0	2000	TR13	6.98	225.7	87.8	45
HR3	7.16	167.7	3220.0	1903	TR14	7.13	219.4	75.8	39
HR4	7.00	251.6	230.0	135	TR15	7.15	202.6	128.2	65
HR5	7.21	217.7	230.0	135	TR16	7.11	193.6	151.5	77
HR6	7.16	212.8	206.0	122	TR17	6.88	203.6	130.4	67
HR7	6.94	274.3	174.8	103	NHR1	7.22	213.3	93.1	49
HR8	7.08	235.9	174.9	103	NHR2	7.22	228.7	88.3	47
HR9	7.19	274.3	170.8	101	NHR3	7.32	252.3	79.2	47
HR10	7.24	278.6	159.4	94	NHR4	7.15	241.5	77.6	46
HR11	7.31	333.9	217.0	128	NHR5	7.20	296.1	75.5	45
HR12	7.33	229.5	132.1	78	NHR6	7.32	241.9	83.1	49
HR13	7.61	275.8	135.0	76	NHR7	7.42	234.7	88.9	52
HR14	7.39	272.1	161.9	96	NHR8	7.52	215.2	103.0	55
HR15	7.10	319.6	228.0	127	NHR9	7.37	212.2	111.0	59
HR16	7.42	241.9	144.1	85	NHR10	7.11	223.2	57.4	30
HR17	7.26	271.7	138.9	82	NHR11	7.06	265.6	54.2	32
HR18	7.43	222.8	154.3	82	SHR1	7.50	216.7	203.0	108
HR19	7.40	244.1	146.0	86	SHR2	7.57	272.4	178.8	100
HR20	7.52	241.1	150.9	85	SHR3	7.30	215.5	90.1	48
TR1	7.35	255.7	185.3	98	SHR4	7.35	213.2	192.9	103
TR2	7.09	264.4	189.6	96	SHR5	7.74	249.9	182.8	108
TR3	7.11	241.7	172.9	87	SHR6	7.47	262.0	182.7	108
TR4	7.26	213.0	221.0	111	SHR7	7.49	248.6	185.9	110
TR5	9.03	159.8	75.3	38	SHR8	7.98	250.9	179.0	106
TR6	6.74	213.6	115.8	59	SHR9	6.81	262.7	215.0	120
TR7	6.51	210.8	122.7	62	SHR10	8.05	247.7	157.4	88
TR8	7.52	200.4	94.2	48	SHR11	7.65	294.7	181.2	101
TR9	7.52	207.3	97.3	49	SHR12	7.65	243.1	183.3	102
TR10	6.98	198.5	124.5	63	SHR13	7.94	300.8	93.6	53
TR11	7.01	205.3	140.8	72					

Table 2. Chemical constituents of stream waters in the Han river basin (mg/L).

Sample No.	F	Cl	NO ₂	Br	NO ₃	PO ₄	SO ₄	HCO ₃	Ca	K	Mg	Na	Fe	Ni	Cu	Mn	Zn	Tl
HR1	2.99	1717.20	nd	4.50	8.35	nd	208.21	68.93	37.40	178.00	75.20	1577.00	0.005	0.001	0.001	0.061	0.007	nd
HR2	3.24	1880.70	nd	4.93	8.93	nd	225.74	73.71	35.25	145.00	83.50	667.00	nd	nd	nd	0.050	nd	0.125
HR3	2.57	1417.70	nd	4.02	8.15	nd	173.15	74.20	29.00	156.00	63.60	531.00	nd	nd	nd	0.060	nd	nd
HR4	0.12	19.39	0.40	0.06	8.68	0.21	17.35	68.93	19.20	6.60	4.42	16.18	0.040	0.003	0.001	0.010	0.004	nd
HR5	0.10	21.28	0.52	0.05	7.77	0.31	16.95	77.13	18.15	6.56	3.10	16.02	0.095	0.010	nd	0.005	nd	0.020
HR6	0.12	14.72	0.34	nd	6.18	nd	15.54	75.17	19.10	3.54	3.91	3.36	0.031	0.001	nd	0.007	nd	nd
HR7	0.09	9.08	0.23	nd	5.59	nd	13.49	63.95	18.80	3.78	3.99	3.09	0.022	0.001	0.000	0.001	0.005	0.000
HR8	0.13	9.60	0.26	nd	6.07	nd	12.97	68.83	16.70	3.64	3.71	7.03	0.013	nd	0.000	0.000	0.000	nd
HR9	0.14	9.03	0.29	nd	5.05	nd	12.35	66.39	17.50	3.72	3.60	2.73	0.025	0.000	0.000	0.001	0.015	nd
HR10	0.07	7.92	0.29	nd	5.67	nd	11.25	61.02	17.30	3.48	3.43	6.49	0.010	nd	nd	0.001	0.004	0.003
HR11	0.10	15.59	0.72	nd	6.64	nd	13.94	75.17	19.60	4.46	4.03	11.48	0.025	0.001	0.000	0.004	0.029	nd
HR12	0.09	4.59	0.03	nd	5.55	nd	10.26	56.14	16.40	2.06	3.33	4.21	0.007	nd	0.000	0.000	nd	nd
HR13	0.09	4.62	0.05	nd	5.54	nd	10.76	59.55	17.00	1.90	3.70	4.32	0.022	0.000	0.000	0.001	0.003	0.018
HR14	0.10	6.91	nd	nd	6.41	nd	15.04	61.99	19.40	2.62	4.24	5.21	0.032	nd	nd	0.004	0.002	nd
HR15	0.08	14.56	0.21	0.06	14.26	nd	23.16	72.25	22.20	5.28	4.93	14.80	0.022	0.002	0.003	0.001	0.011	0.004
HR16	0.13	4.86	nd	nd	5.62	nd	11.87	59.80	18.30	2.03	3.74	4.33	0.060	nd	nd	0.023	0.001	nd
HR17	0.09	4.72	0.05	nd	5.41	nd	11.35	60.53	17.30	2.35	3.54	4.31	0.018	nd	0.000	0.002	0.015	0.003
HR18	0.08	4.40	0.03	nd	5.30	nd	11.18	57.60	17.40	1.84	3.58	3.39	0.011	nd	nd	0.001	nd	0.006
HR19	0.08	4.93	0.05	nd	5.88	nd	12.31	65.41	19.00	2.07	3.88	4.06	0.028	nd	0.006	0.001	0.059	0.006
HR20	0.10	5.26	0.08	nd	5.70	nd	13.11	68.83	19.30	2.28	3.96	1.38	0.015	nd	0.000	0.000	0.004	0.005
avg.	0.53	258.85	0.24	2.27	6.84	0.26	42.00	66.78	20.72	26.86	14.37	144.37	0.03	0.00	0.00	0.01	0.01	0.02
NHR1	0.09	3.08	nd	nd	3.88	nd	5.45	34.41	9.16	1.58	1.94	3.41	0.005	nd	nd	0.000	nd	0.001
NHR2	0.08	2.78	nd	nd	3.69	nd	4.95	33.19	8.74	1.10	1.89	1.11	0.008	nd	nd	0.000	nd	0.003
NHR3	0.09	2.76	nd	nd	3.67	nd	4.94	37.34	8.67	1.82	1.87	3.27	0.009	nd	nd	0.000	nd	nd
NHR4	0.09	2.72	nd	nd	3.42	nd	4.85	32.95	nd	0.69	nd	1.39	0.009	nd	nd	0.000	nd	nd
NHR5	0.07	2.54	nd	nd	3.54	nd	4.69	31.97	8.55	1.49	1.92	2.78	0.019	nd	nd	0.001	0.001	nd
NHR6	0.07	2.51	nd	nd	3.14	nd	4.95	37.34	0.97	0.27	0.06	0.50	nd	nd	nd	nd	nd	0.002
NHR7	0.10	2.46	nd	nd	3.07	nd	5.19	41.49	10.60	1.50	2.49	2.39	0.016	nd	nd	0.001	nd	0.004
NHR8	0.11	2.76	nd	nd	3.30	nd	5.45	42.47	10.90	1.98	2.54	3.22	0.020	nd	nd	0.000	nd	nd
NHR9	0.10	2.40	0.02	nd	3.31	nd	5.94	50.52	12.20	1.37	3.19	2.74	0.018	nd	nd	0.003	0.000	0.000
NHR10	0.06	2.03	nd	nd	3.76	nd	3.61	18.31	4.94	2.51	0.85	2.79	0.013	nd	nd	0.000	nd	nd
NHR11	0.58	2.69	nd	nd	5.16	nd	3.84	17.09	5.17	2.11	0.90	2.80	0.053	nd	nd	0.240	nd	0.007

*nd: not determined

Table 2. Continued.

Sample No.	F	Cl	NO ₂	Br	NO ₃	PO ₄	SO ₄	HCO ₃	Ca	K	Mg	Na	Fe	Ni	Cu	Mn	Zn	Tl
avg.	0.13	2.61	0.02	nd	3.63	nd	4.90	34.28	7.99	1.49	1.77	2.40	0.02	nd	0.02	0.0005	0.003	
SHR1	0.10	7.74	0.06	nd	7.34	nd	16.56	71.51	22.80	3.02	4.83	5.04	0.046	nd	0.002	0.000	nd	
SHR2	0.12	8.14	0.07	nd	7.02	nd	14.78	83.47	21.50	3.73	4.39	5.62	0.060	nd	0.019	nd	0.000	
SHR3	0.08	3.07	nd	nd	3.84	nd	6.22	33.10	8.85	1.94	1.92	3.35	0.007	0.000	0.000	nd	nd	
SHR4	0.11	4.64	0.04	nd	7.12	nd	15.95	67.61	24.80	1.91	4.87	4.02	0.021	nd	0.000	0.001	0.000	nd
TR5	0.36	118.61	nd	0.20	nd	0.72	109.97	89.09	51.50	16.80	5.60	77.50	0.220	nd	0.195	0.000	0.070	
TR6	0.07	55.90	nd	0.19	13.80	2.32	35.76	103.00	21.00	23.40	3.94	62.80	0.016	0.003	0.005	0.012	0.118	nd
TR7	0.13	59.11	nd	0.15	23.47	2.86	34.34	125.94	31.50	13.00	5.93	22.20	0.020	0.002	0.004	0.030	0.054	0.004
TR8	0.08	33.37	nd	0.14	10.34	0.00	49.12	117.15	40.50	9.27	6.71	12.57	0.007	nd	0.003	0.001	0.013	0.001
TR9	0.09	36.01	nd	0.13	nd	0.00	51.68	130.33	8.66	4.04	1.28	4.82	0.014	nd	0.005	nd	0.005	0.005
TR10	0.16	57.19	nd	0.22	23.05	1.55	28.44	126.23	29.40	23.50	6.40	40.90	0.009	0.002	0.002	0.021	0.034	0.010
TR11	0.12	62.27	nd	0.23	28.41	1.26	71.43	105.68	38.80	23.60	7.54	82.40	0.011	0.015	0.008	0.023	0.016	0.001
TR12	0.10	30.38	nd	0.10	16.39	nd	46.05	91.77	36.40	25.80	5.97	51.40	0.013	0.007	0.008	0.003	0.009	0.003
TR13	0.12	29.52	nd	0.09	23.78	nd	53.12	87.62	36.50	13.50	6.19	27.25	0.031	0.012	0.014	0.004	0.008	0.008
TR14	0.04	24.24	nd	0.05	22.91	0.27	34.77	83.96	33.90	22.50	6.16	45.80	0.004	nd	0.001	0.001	0.002	0.015
TR15	0.13	53.13	nd	0.13	1.49	1.34	37.45	170.36	37.30	12.09	5.69	25.38	0.090	0.003	0.000	0.137	0.005	0.002
TR16	0.14	49.82	nd	0.15	5.87	0.41	72.52	169.39	36.40	3.98	5.10	8.68	0.015	nd	0.105	nd	0.075	0.004
TR17	0.18	52.39	nd	0.20	6.40	1.37	43.94	148.15	30.10	22.80	5.64	39.60	0.020	0.004	0.000	0.012	0.005	0.004
avg.	0.13	52.19	nd	0.16	12.37	1.02	46.49	121.16	33.09	16.31	5.31	44.22	0.04	0.01	0.004	0.05	0.02	0.01
SHR5	0.09	4.48	0.05	nd	6.99	nd	16.28	85.91	26.00	2.01	5.14	3.79	0.014	nd	0.000	0.000	0.000	0.020
SHR6	0.09	5.40	0.09	nd	6.94	nd	15.21	82.01	25.70	0.38	4.90	0.50	0.042	nd	0.000	0.006	0.007	nd
SHR7	0.08	4.42	0.03	nd	7.24	nd	15.35	88.35	26.80	1.46	5.19	3.06	0.033	nd	0.001	0.002	0.008	nd
SHR8	0.03	1.27	0.02	nd	2.59	nd	5.26	83.96	26.20	1.95	4.93	3.40	0.022	nd	0.000	0.000	0.000	nd
SHR9	0.08	nd	0.28	0.05	10.06	nd	16.02	73.22	21.30	5.84	4.03	16.56	0.031	nd	0.000	0.001	0.005	0.000
SHR10	0.10	3.76	0.02	nd	6.54	nd	14.02	78.59	24.00	2.11	4.42	3.67	0.015	nd	0.000	0.002	0.004	0.004
SHR11	0.02	0.83	nd	nd	1.67	nd	3.29	80.54	26.40	2.22	4.92	3.33	0.006	nd	0.000	0.000	0.000	0.006
SHR12	0.07	3.14	0.04	nd	7.88	nd	17.85	86.89	30.20	1.05	4.58	2.05	0.013	0.003	0.000	0.000	0.019	nd
SHR13	0.03	2.10	0.03	nd	6.25	nd	3.36	54.67	17.10	1.39	2.82	1.86	0.044	0.004	0.003	0.002	0.010	0.003
avg.	0.08	4.08	0.07	0.05	6.27	nd	12.32	74.60	23.20	2.23	4.38	4.33	0.03	0.002	0.0004	0.003	0.005	0.01
TR1	0.22	98.77	nd	0.26	1.57	1.18	67.00	197.70	43.15	29.90	5.95	132.80	0.070	nd	nd	0.210	0.040	0.030
TR2	0.21	102.13	nd	0.28	1.99	0.96	67.78	151.32	43.20	23.30	5.95	75.20	0.025	nd	nd	0.045	0.015	0.010
TR3	0.18	81.88	nd	0.24	2.36	0.76	58.51	173.54	37.90	23.10	6.49	61.60	0.033	0.014	0.000	0.098	0.019	nd
TR4	0.13	38.60	nd	0.16	3.50	0.09	29.26	176.71	32.60	9.84	3.31	22.89	0.026	nd	0.003	0.007	nd	0.003

*nd: not determined

3. 결과 및 토의

3.1. 한강 하천수의 물리적 특성

한강 하천수(지표수)의 pH는 7.2~9.0(평균 7.3)의 변화 범위를 보인다. 과거의 측정 자료(변종구, 1980; 이종우, 1981; 경춘호, 1981; 손석기, 1982; 서혜영과 김규환, 1997)와 비교하여 보면 시간의 경과에 따라 pH 값의 변화가 인정된다. 한강 전 유역 하천수의 평균 pH는 1980(1981), 1996, 1999년 사이에 7.67, 7.87, 7.25로 변화하고 있다(변종구, 1980; 경춘호, 1981; 손석기, 1982; 서혜영과 김규환, 1997). 또한 지천의 pH는 다소 낮은 경향이 있다. 이는 시료 채수시의 유역의 광산 폐수유입, 석회석 광산 개발 등 환경변화를 반영하는 것으로 생각된다. 그러나 북한강과 남한강은 1980년도와 1996년도 사이의 하천수 pH가 각각 7.6에서 8.1, 7.6에서 7.9로 현저히 변화 하였다. Eh는 최저 159.2 mV에서 최고 333.9 mV의 범위를 나타내고 있다.

pH-Eh 관계에서 대부분의 지표수 시료들은 전형적인 자연수(Bass-Becking *et al.*, 1960; Garrels and Christ, 1965)의 특징을 나타내고 있다. 지천 중 안양천(비산교) 시료는 자연수의 범위를 벗어난 pH값(9.0)이 나타나고 있다. 전기전도도는 북한강 하천수(54~111 $\mu\text{s}/\text{cm}$, 평균 73.6 $\mu\text{s}/\text{cm}$)가 남한강(90~215 $\mu\text{s}/\text{cm}$, 평균 171.2 $\mu\text{s}/\text{cm}$) 보다 낮게 측정되고, 인위적인 오염원의 영향을 많이 받은 안양천(75.3~221.0 $\mu\text{s}/\text{cm}$, 평균 168.8 $\mu\text{s}/\text{cm}$), 중랑천(128.2~151.5, 평균 136.7 $\mu\text{s}/\text{cm}$)등 대단히 높게 측정된다(Table 1).

3.2. 용존이온의 화학적 특성

북한강 하천수: 북한강 하천수의 주요 양이온 농도는 Ca, 4.94~12.20 mg/L(평균 7.99 mg/L), Mg, 0.06~3.19 mg/L(평균 1.77 mg/L), K, 0.27~2.51 mg/L(평균 1.49 mg/L), Na, 0.50~3.41 mg/L(평균 2.40 mg/L)이다. 상하류 하천수 사이에 Ca과 Mg를 제외한 용존 양이온들의 농도 변화 폭이 좁다(Table 2, Fig. 2).

음이온의 경우 HCO_3^- , 17.09~50.52 mg/L(평균 34.28 mg/L), Cl, 2.03~3.08 mg/L(평균 2.61 mg/L), F, 0.06~0.58 mg/L(평균 0.13 mg/L), NO_3^- , 3.07~5.16 mg/L(평균 3.63 mg/L), SO_4^{2-} , 3.61~5.94 mg/L(평균 4.90 mg/L) 등이다(Table 2). SO_4^{2-} 와 HCO_3^- 음이온 농도 역시 북한강 하천수의 상하류간에는 농도 변화 폭이 적고 남한강이나 한강 본류에 비하여 농도가 대단히 낮다(Fig. 3). 그러나 HCO_3^- 의 경우 한강 본류의

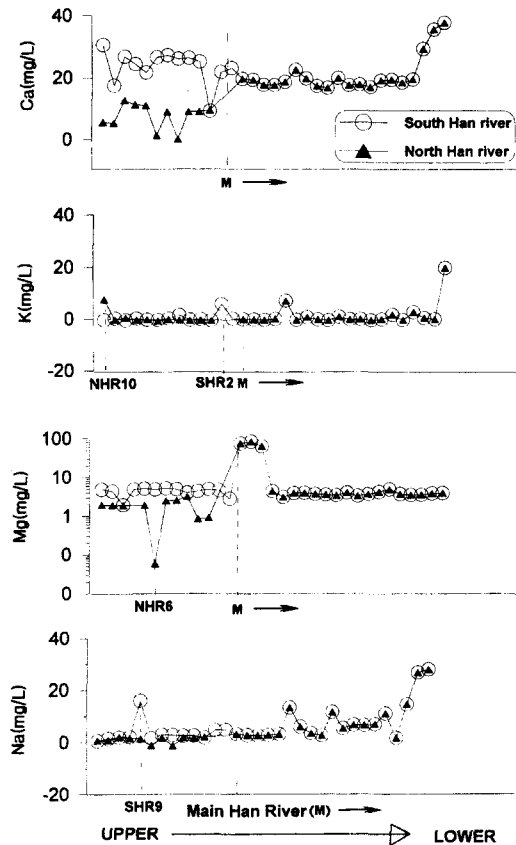


Fig. 2. Cation concentrations and their variations of stream waters in the Han river basin.

HCO_3^- 농도는 남한강 하천수의 농도에 영향을 크게 받고 있다. 북한강(NHR)에서의 양이온은 $\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+}$ 순으로 북한강 일대의 화강암과 편마암을 구성하고 있는 조암 광물들의 풍화산물의 영향을 다소 반영하고 있다. 음이온의 경우는 $\text{HCO}_3^- > \text{NO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$ 순으로 나타나며, 기타 지역 하천수에 비하여 NO_3^- 이온농도가 상대적으로 높다.

중금속 이온은 평균 Cr, 0.0010 mg/L, Mn, 0.0245 mg/L, Zn, 0.0005 mg/L, Ti, 0.0028 mg/L 등으로 대단히 낮게 함유되어 있다. 북한강의 용존 이온들의 저농도와 상하류간에 균질성은 주변 지질과 수계 주변 환경에서의 유입량이 남한강에 비해 제한되어 있기 때문으로 해석된다.

남한강 하천수 : 남한강 하천수의 양이온 농도는 Ca, 8.85~30.20 mg/L(평균 23.20 mg/L), Mg, 1.92~5.14 mg/L(평균 4.38 mg/L), K, 0.38~5.84 mg/L(평균 2.23 mg/L), Na, 0.50~16.56 mg/L(평균 4.33 mg/L)으로

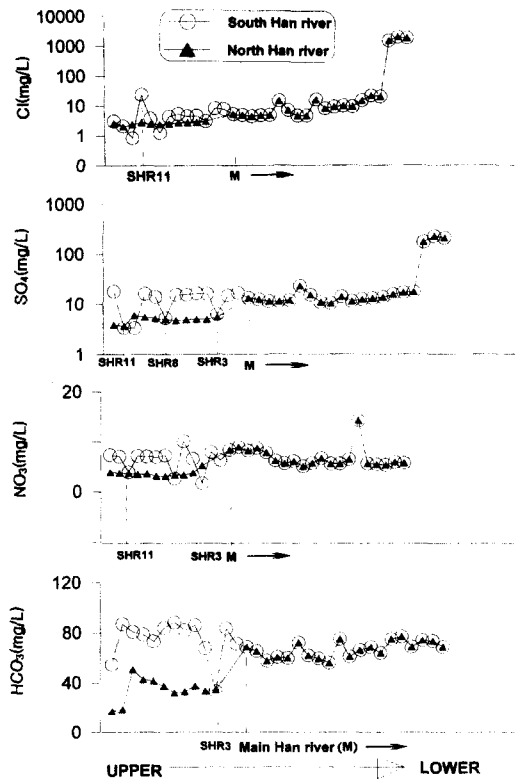


Fig. 3. Anion concentrations and their variations of stream waters in the Han river basin.

Ca, Mg 양이온 농도가 북한강 하천수의 그것에 비해 2~3배 이상 높다(Table 2). 그리고 상하류 하천수 사이에 양이온의 변화 폭도 크다.

주요 음이온의 농도는 HCO_3^- , 33.10~86.89 mg/L(평균 74.60 mg/L), Cl, 0.83~8.14 mg/L(평균 4.08 mg/L), F, 0.02~0.12 mg/L(평균 0.08 mg/L), NO_3^- , 1.67~10.06 mg/L(평균 6.27 mg/L), SO_4^{2-} , 3.29~17.85 mg/L(평균 12.32 mg/L)이다(Table 2). 음이온 농도 역시 북한강의 하천수의 음이온 농도의 2~3배에 해당되는 높은 농도를 나타내며, 상하류사이에 농도의 변화폭도 크다.

남한강(SHR) 지역 하천수에는 $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{K}^+$ 순으로 양이온이 존재하며 음이온은 $\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^- > \text{Cl}^-$ 순으로, Ca^{2+} , HCO_3^- 이온의 함량비가 북한강 하천수에 비해 높다. 이는 지표수가 석회암 지역을 통과시 물-암석반응 때문인 것으로 추정된다. 또한 북한강 하천수에 비하여 SO_4^{2-} 이온 농도 역시 현저히 높다. 이는 남한강 수계 분지 주변에 분포하는 태백산 및 황강리 광화대 내의 탄광과 금속 광산

에서 유래된 황화광물의 산화에 의해서 생성된 황산염(SO_4^{2-}) 이온종의 유입 때문으로 해석된다.

중금속 이온은 평균 Ni, 0.0023 mg/L, Cu, 0.0004 mg/L, Mn, 0.0027 mg/L, Zn, 0.0048 mg/L, Ti, 0.0055 mg/L 등으로 대단히 낮은 농도로 함유되어 있다.

한강 본류 : 한강 본류는 양수리에서 남한강과 북한강이 합류하여 서울 도심을 흘러 서해로 유입된다. 한강 본류 하천수의 주요 양이온은 Ca, 16.40~37.40 mg/L(평균 20.72 mg/L), Mg, 3.10~83.50 mg/L(평균 14.37 mg/L), K, 1.84~178.00 mg/L(평균 26.86 mg/L), Na, 1.38~1577.00 mg/L(평균 144.37 mg/L), Fe, 0.005~0.095 mg/L(평균 0.030 mg/L)이다(Table 2).

그리고, 용존 음이온은 HCO_3^- , 56.14~77.13 mg/L(평균 66.78 mg/L), Cl, 4.40~1880.70 mg/L(평균 256.85 mg/L), F, 0.07~3.24 mg/L(평균 0.53 mg/L), NO_3^- , 5.05~14.26 mg/L(평균 6.84 mg/L), SO_4^{2-} , 10.26~225.74 mg/L(평균 42.00 mg/L)이다(Table 2). 한강 본류(시료 번호, HR)의 하천수에서는 양이온의 함량비가 $\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+}$ 의 순으로 나타나며 음이온의 경우 $\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{NO}_3^-$ 순이다. 한강 본류로 유입되는 지천의 경우 인간 활동에 의한 생활 하수 증가의 직접적인 영향으로 양이온의 경우는 K^+ 보다 Ca^{2+} 의 함량이 약간 높게 나타나 $\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+}$ 순으로 비가 감소하며 음이온 중에서도 Cl^- 의 함량비가 높아 $\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^-$ 순으로 나타난다.

한강본류 하천수의 대부분 용존 양이온의 농도는 남한강과 북한강 하천수의 용존 양이온 농도의 산술 평균치를 대표하고 있다.

중금속 이온 농도는 평균 Ni, 0.0021 mg/L, Cr, 0.0450 mg/L, Cu 0.0009 mg/L, Mn, 0.0117 mg/L, Zn, 0.0114 mg/L, Ti, 0.0190 mg/L 등으로 Cr, Zn, Mn 등이 남한강이나 북한강에서 보다 농도가 다소 높다.

주요 양이온과 음이온농도를 당량으로 환산하여(Appendix 1) 도시한 Piper 그림(Fig. 4)에서 남한강의 하천수 시료들은 양이온 영역에서 Ca^{2+} 가 주된 유형으로 구분되며 음이온 영역에서는 HCO_3^- 가 우세한 Ca^{2+} - HCO_3^- 유형으로 나타난다. 북한강의 하천수 시료들은 뚜렷한 Ca^{2+} - HCO_3^- 유형으로 구분되며 양이온 영역에서 남한강의 시료들보다 알칼리 금속 이온($\text{Na}^+ + \text{K}^+$)이 다소 풍부하다(Fig. 4). 특히 양이온 영역에서는 한강 하류로 갈수록 Na^+ 로 부화되고 있다.

한편 음이온 영역에서도 남한강과 북한강에서 한강

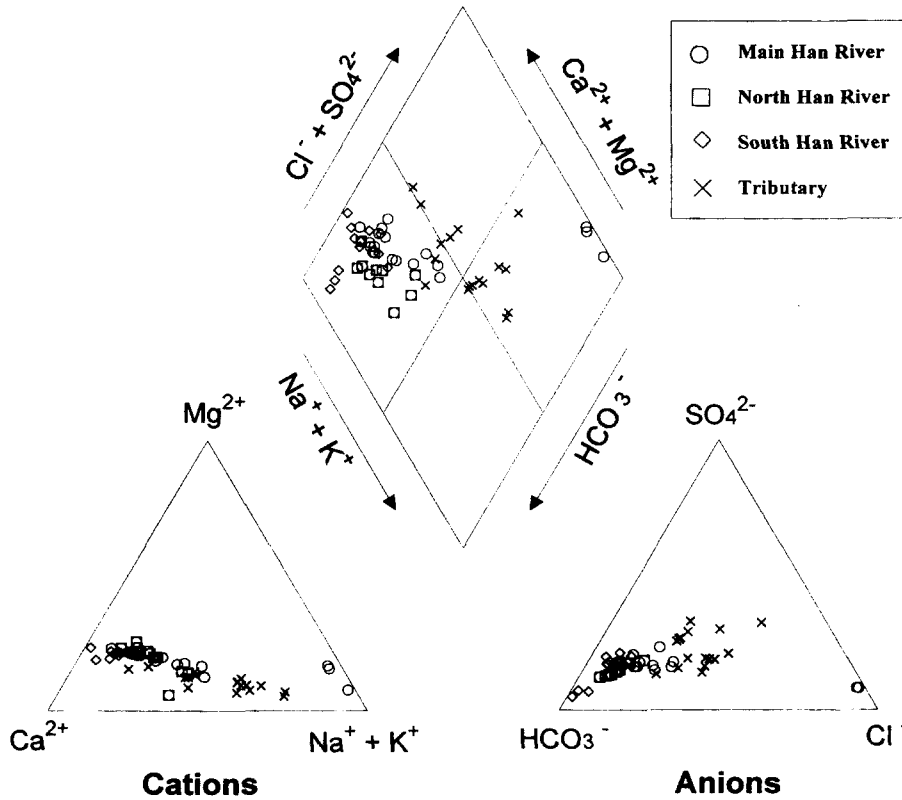


Fig. 4. Piper diagram showing the chemical compositions of the stream water in the Han river basin.

분류로 감에 따라 전체적으로 $Cl^-SO_4^{2-}$ 가 부화되고 있으며 서울 지역의 지천에서도 이들의 함량이 높다. 이들을 종합해 보면 지표수와 암석·토양 간의 반응보다는 생활하수나 인간활동에 의한 화학 조성의 변화영향이 크게 작용하고 있는 것으로 판단된다.

한강 본류 중 하류 지역 시료(HR1~HR3)는 Na^+ , Cl^- 농도가 대단히 높다. Na^+ , Cl^- 농도가 해수의 농도(Freeze and Cherry, 1979)와 유사하다. 이들 시료(HR1~3)는 한강 하류 서해안의 강화만에 가까운 파주군 교하면 산남리 부근에서 채수된 것으로 TDS가 평균 3690 ppm으로 다른 시료들(75.3~230.0 ppm)과 현저한 차이를 보인다. 이는 경기만의 조석간만에 따른 해수의 혼합 때문으로 해석된다.

3.3. 한강 본류 하천수의 혼합 비율

Na^+ , Cl^- 이온이 변화없이 보존된다고 가정하고 Na^+/Cl^- 의 몰(mole)비(Gumbley et al., 1974, 서혜영과 김규한 1997)를 이용하여 한강 본류에 남한강과 북한강 하천수의 혼합 비율을 단순계산법으로 다음과 같

이 계산하였다.

남한강과 북한강이 합류하기 직전의 남한강과 북한강의 Cl^- 농도를 각 x, y라 하고 북한강과 남한강 합류직후 Cl^- 농도(HR20, Cl^- 농도=0.223 mM, Na^+ 농도=0.282 mM)는 간단한 산술식 $x+y=0.223$ mM Cl^- 과 $xmM Cl^-/Na+ymM Cl^-/Na=0.282$ mM Na^+ 이 성립된다. 여기서 $x=0.139$ $y=0.083$ 이 얻어진다. 이 때 SHR1 지점의 $Na/Cl=1.005$, NHR1 지점의 $Na/Cl=1.701$ 를 사용하였다.

즉 남한강 하천수 62.6%와 북한강 하천수 37.4%의 비율로 한강 본류에 Cl^- 이 공급된 것으로 계산되었다. 이 결과는 서혜영과 김규한(1997)의 계산 결과인 남한강 62.7%, 북한강 37.3%와 대단히 유사하여 96년과 99년의 혼합비율에 큰차이가 없다. 이는 한강수질이 시간변화에도 불구하고 비교적 안정적임을 의미하고 있다.

그러나 실제 혼합비율 계산에는 수계의 수량, 강우량 등 여러 요소가 계산에 고려되어야하므로 단순 계산은 문제점이 있음을 지적하여 둔다.

3.4. 한강 본류로 유입되는 지천

한강 본류로 유입되는 대표적인 지천인 안양천, 탄천, 중랑천, 왕숙천 하천수의 용존 화학 성분의 특성은 다음과 같다.

안양천 : 안양천의 시료들(TR1~TR5)은 안양, 시흥, 영등포 일대의 공업용 폐수가 유입되어 Na^+ , Cl^- , K^+ 등의 이온 뿐만 아니라 Ca^{2+} 와 같은 금속 원소도 다른 시료들에서보다 높은 함량을 나타낸다(Table 2, Fig. 5). 특히 TDS 함량이 조사 지역의 지천 중에서 가장 높다.

조사 지역의 지천 중 안양천의(비산교, 시료번호T25)에서만 NO_3^- 성분이 검출되지 않았다. 이는 용존 산소의 부족으로 인한 혐기성 상태에서 $\text{NO}_3^- \rightarrow \text{NO}_2^- \rightarrow \text{NH}_3\text{-N}$ 과 같은 과정을 거쳐 환원되고 있는 것으로 추정되며 낮은 Eh값이 그 가능성을 뒷받침하고 있다.

왕숙천 : 왕숙천(시료 번호 TR11~TR14)은 지천 중 K^+ 과 NO_3^- 의 함량이 비교적 높게 나타나는 것이 특징적이다(Table 2). 이는 왕숙천 주변에 농지와 목장의 분포로 인한 비료의 사용, 가축 분뇨 등의 영향으로 보인다.

일반적으로 오염된 물에서는 질산염(NO_3^-)의 비율이 아질산염(NO_2^-)보다 높게 나타난다. HR15시료는 한강 본류 시료들 가운데 NO_3^- 의 함량이 가장 높게 나타나는데 이는 왕숙천의 유입으로 인한 영향으로 생각된다.

탄천 : 탄천의 지표수 시료(TR6~TR10) 중 TR7는 NO_3^- 의 함량이 높게 나타난다(Table 2). 이는 탄천 상

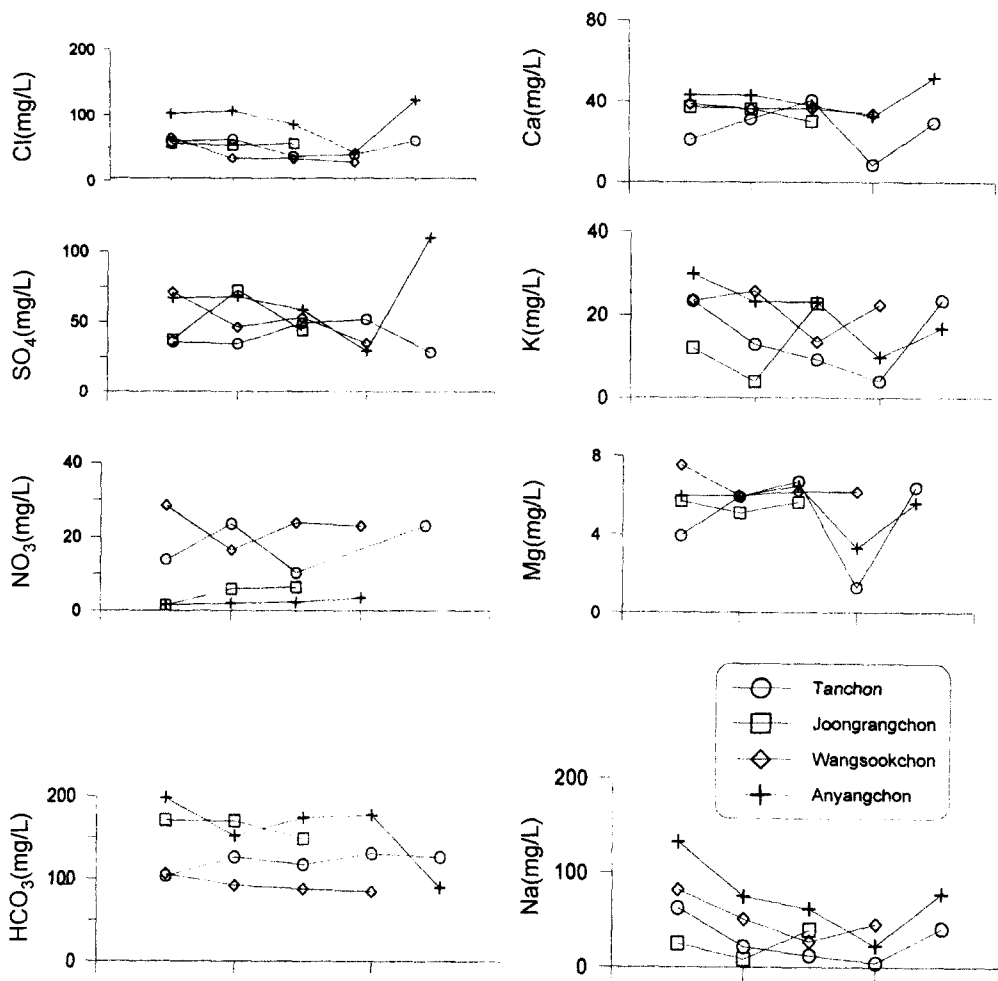


Fig. 5. Comparison of cation and anion concentrations in tributary stream waters among the Anyangchon, Tanchon, Wangsookchon and Joongrangchon.

류에 아파트건설과 위생 처리장으로부터 유입 때문인 것으로 판단된다. 또한 종합 운동장 근처(TR10)에서도 NO_3^- 의 함량이 높게 나타나는데 이것은 생활 하수의 유입 영향 때문으로 추정된다.

왕숙천의 시료들과 탄천 시료의 염화물 함량은 유사하다(Fig. 5). 탄천 시료들은 주변에 유원지가 조성되어 있어 생활 하수로 인한 염화물의 함량이 적게 나타나는 것이 왕숙천 시료들과 비슷한 특징이다.

중랑천 : 중랑천(시료 번호 TR15~TR17)은 의정부에서 시작하여 인구 밀집 지역인 서울시 동부를 흐르고 있다. 하류에서는 청계천과 합류되어 금호동 부근에서 한강으로 유입된다.

중랑천 시료들은 Cl^- , SO_4^{2-} , PO_4^{2-} , Mn의 농도가 비교적 높고 악취도 심하다. 금번 연구에서도 다른 지천에 비해 이들 원소들의 농도가 상대적으로 높은 경향이 나타났다. HR11 시료는 중랑천이 한강으로 합류된 바로 직하 지점에서 채수되었기 때문에 중랑천 시료들과 유사한 화학적 거동을 나타내고 있다. 이번 분석에서 중랑천 하천수는 HCO_3^- 와 SO_4^{2-} 이온 농도가 높게 나타나며, Cl^- , PO_4^{2-} , Mn 등의 기타 원소들은 과거보다 낮게 나타나고 있다(Fig. 5).

3.5. 주요 용존이온의 기원

하천수의 무기 이온들은 (1) 암석의 풍화, (2) 대기로부터 유입, 또는 (3) 인간 활동의 결과로서 하천수에 유입되어 지표수의 원소 분배를 변화시킬 수 있다(Berner and Berner, 1987). 일반적으로 무기염류나 탄산염 광물의 용해, 풍화 작용 등에 의해 지표수의 주요 이온 성분이 결정된다면 양이온과 음이온 사이에는 비례적 상관 관계가 나타나게 된다. 한편 대기로부터 유입되는 경우가 지표수 화학종의 주요 요인이 된다면 이온들의 농도비가 해수 또는 해양성 에어로졸(marine aerosol)과 유사하게 될 것이다(Stallard and Edmond, 1983; Sarin *et al.*, 1989; Zhang *et al.*, 1995).

연구 지역 하천수 시료들의 지구화학적 특성이 어디에서 기초하는지를 검토하기 위하여 Cl^- 에 대한 Na^+ , K^+ 의 당량비를 해양성 에어로졸과 비교하여 보았다. 조사 지역의 Na^+ 대 Cl^- 평균 당량비는 2.02로서 해양성 에어로졸의 Na^+ 대 Cl^- 의 당량비 0.85보다 높게 나타난다(Fig. 6). 또한 K 대 Cl^- 의 평균 당량비도 0.28로 해양성 에어로졸의 0.02과 큰 차이를 보인다(Fig. 7). 이같은 사실은 이들 이온의 기원이 대기 순환에 의한 강우만으로는 설명되지 않음을 의미한다.

TDS(mg/L)와 $\text{Na}^+(\text{Na}^+ + \text{Ca}^{2+})$ 비를 도시한 그림

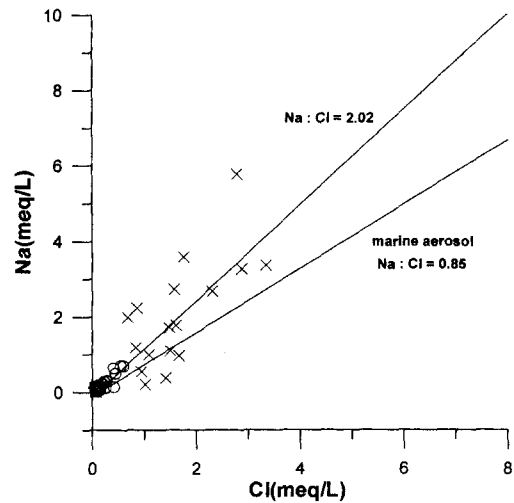


Fig. 6. Scatter diagram of Na versus Cl for the stream waters from the Han river basin.

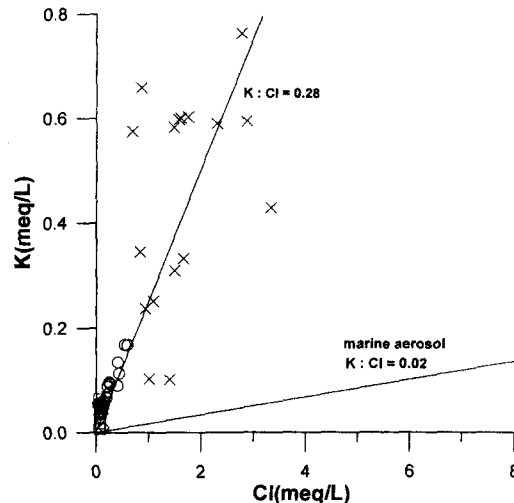


Fig. 7. Scatter diagram of K versus Cl for the stream waters from the Han river basin.

(Gibbs, 1970)에서도 일반적 빗물은 $\text{Na} \gg \text{Ca}$ 이므로 부메랑의 아래 끝 부분에 도시되는 시료 순환성 강우의 영향이 우세한 것을 나타낸다. 부메랑의 위 끝 부분에는 건조 지역의 강이나 염수호, 해수 등 증발과 방해석의 침전에 의해 우선적으로 지배되는 시료들이 도시된다. 한편 부메랑의 가운데에 도시되는 시료들은 주로 암석의 풍화에 의하여 물의 화학 조성이 영향을 받은 것이다. 한강 하천수는 주로 암석의 풍화 영역에 도시되어 주변암석의 풍화산물의 영향을 주로 받고 있음을 가리키고 있다(Fig. 8). 이 결과는 1996년 채수된 한강

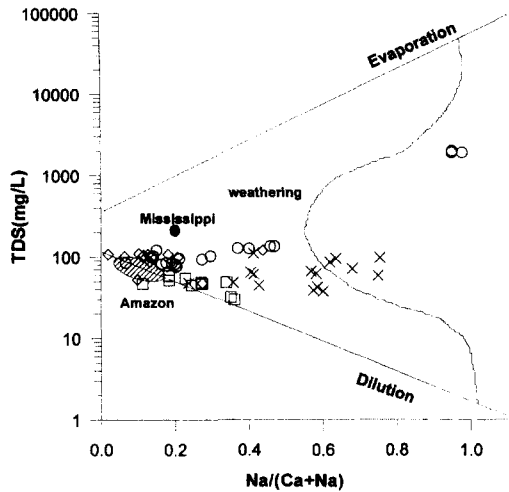


Fig. 8. Plot of TDS versus $Na^+/(Na^++Ca^{2+})$ for the stream waters from the Han river basin. Divided line after Gibbs (1970).

수의 분석결과(서혜영과 김규한, 1997)와도 조화적이다.

Berner and Berner(1987)에 의하면 해수는 부메랑의 위 끝부분에 도시된다. 한강 하류 시료(시료 번호, HR1~HR3)는 다른 지표수 시료들과 달리 부메랑의 위 끝부분에 도시되어 해수 혼입의 영향을 잘 반영하고 있다.

남한강 하천수에 높은 농도로 함유된 Ca , SO_4 , HCO_3 등은 하천 상류지역에 분포하고있는 탄산염암과 탄광과 금속광산 산 황화광물에서 유래되고 있는 것으로 해석된다. 남한강 중류하천수의 황동위원소비($\delta^{34}S$)가 3~5%(水谷 등, 1980)로 태백산 및 황강리 광화대내의 황화광물의 황동위원소비($\delta^{34}S=2-5\%$, 김규한, 1980)와 유사한 값을 가져 황의 기원이 황화광물의 산화에 의해 생성된 SO_4 , 임을 가르키고 있다. 한강분류 하천수의 HCO_3 의 탄소동위원소비 역시 -10.8% 로 탄산염암 탄소 기원외에 인간활동 등 기타 탄소 기원에서 혼입을 나타내고 있다(水谷 등, 1980). 한편, 북한강 하천수는 일부 용존 이온농도가 남한강에 비하여 현저히 낮을 뿐만아니라 상류와 하류 사이에도 대단히 일정하다. 특징적인 원소인 K , Na , Ca 등의 원소는 하천 상류지역에 분포하고 있는 편마암류와 화강암류의 풍화 산물에서 유래하고 있는 것으로 해석된다.

3.6. 시간 경과에 따른 용존 이온농도의 변화

양이온 : Ca 농도는 전반적으로 81년, 96년과 99년 사이의 농도비에 변화가 나타난다(Figs. 9, 10). 북한강

하천수에서 보다 남한강 하천수에서 Ca 이온농도의 변화가 크다. 이러한 현상의 원인으로 남한강 상류에 위치하고 있는 석회암, 석탄 등의 개발의 시기적 변화를 들 수 있다. 남한강에서 Ca 농도가 높은 1981년에 비해 1996, 1999년은 비교적 Ca 농도가 낮고 변화가 적다. 1999년 북한강의 의암댐 지역(NHR 6) 근처에서 상대적으로 그 값이 아주 낮게 측정되고 있다. 이 지역에서는 주로 규암층의 분포로 Ca 공급 모암의 분포의 제한 때문으로 추정된다.

K 이온의 경우 1981년에 비하여 1996년, 1999년으로 감에 따라 남한강, 북한강, 한강 본류에 있어서 전반적으로 증가 추세에 있다. 이는 강 주변으로 농경지가 넓게 분포하고 시간이 경과할수록 화학 비료, 농약 등의 사용 증가 때문으로 해석할 수 있다.

그러나 남한강 하천수의 경우에는 K 농도의 연도별 규칙적인 증감의 경향성이 나타나지 않는다. Na 농도의 경우 북한강과 남한강, 한강 본류 하천수에서 1981, 1996년 보다 1999년에 이들 농도가 낮아지고

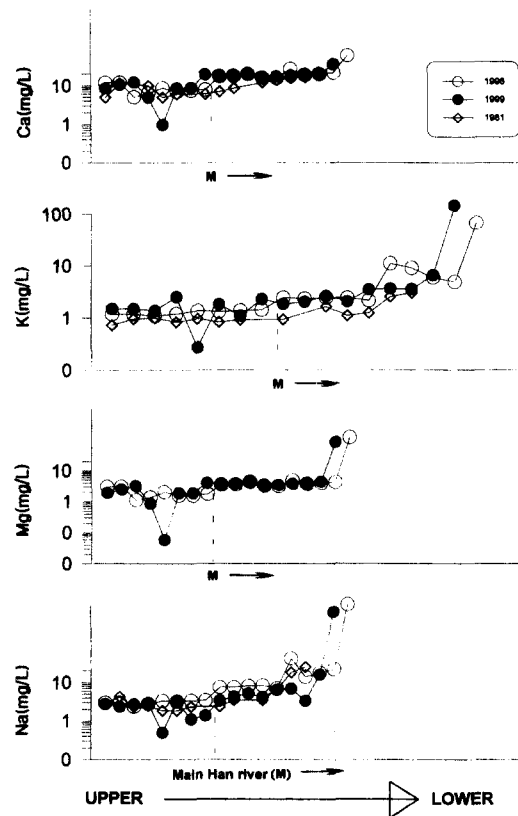


Fig. 9. Cation variations in stream waters of the North Han river.

있다.

한강 분류에서 현저히 Na 농도가 낮아진 점은 환경 보호 대책의 효과로 평가된다. 한강 분류 최하류에서 Na 농도의 급격한 증가는 해수 혼입에 의한 영향을 1차적으로 받고 있기 때문이다.

북한강의 Na 농도 역시 의암댐(NHR 6)에서 그 값이 현저하게 낮아지는데 이것 또한 K 농도가 낮은 이유와 같은 경우로 생각 된다.

한강 하천수 Mg이온농도의 년 변화는 대단히 적다(Fig. 9). 즉 한강 하천수의 Mg 유입은 대단히 제한적이었음을 의미하고 있다.

음이온 : 시간 경과에 따른 음이온의 변화 경향성은 양이온의 변화 경향성에서 보다 뚜렷한 차이를 보인다. 한강 수계의 여러 변화 요인들에 대해 하천수 중의 용존 음이온이 용존 양이온 보다 민감하게 거동하기 때문이다.

Cl의 변화 경향성은 북한강의 경우는 시간 경과에 따라 주변에 기반암의 풍화, 침식 외에는 큰 변화를 받지 않았으므로 전반적으로 변화를 보이지 않고 있다. 그러

나 남한강 하천수의 경우 1981, 1996, 1999년 사이에 Cl 농도 변화가 현저하다(Fig. 11, 12).

SO₄ 이온은 시간 경과에 상관없이 남한강의 경우가 북한강의 경우보다 높게 나타나고 있다. 또한 북한강 하천수가 남한강 하천수에 비해 SO₄ 농도의 연도 별 변화가 크다. 특히 1981년 남한강 하천수의 SO₄ 농도는 지역별로 변화 폭이 크다. 이는 태백산 및 황강리 광화대 내의 광산 개발 영향 때문으로 해석된다. 그러나 1996년과 1999년 남한강 하천수의 SO₄ 농도가 유사하며 변화 패턴도 유사하다(Fig. 12). 이는 태백산 및 황강리 광화대 내의 광산 개발 활동이 현저히 감소하여 하천수 내의 SO₄ 농도가 안정화된 것으로 해석된다. 한강 분류에서는 81년에 낮은 값이 나타났으나 96년에 함량비가 높고 SO₄ 이온 농도의 경년 변화가 현저하다. 이는 본류에 유입되는 지천과 도심의 생활 하수의 한강 유입 영향 때문으로 해석된다(Fig. 10).

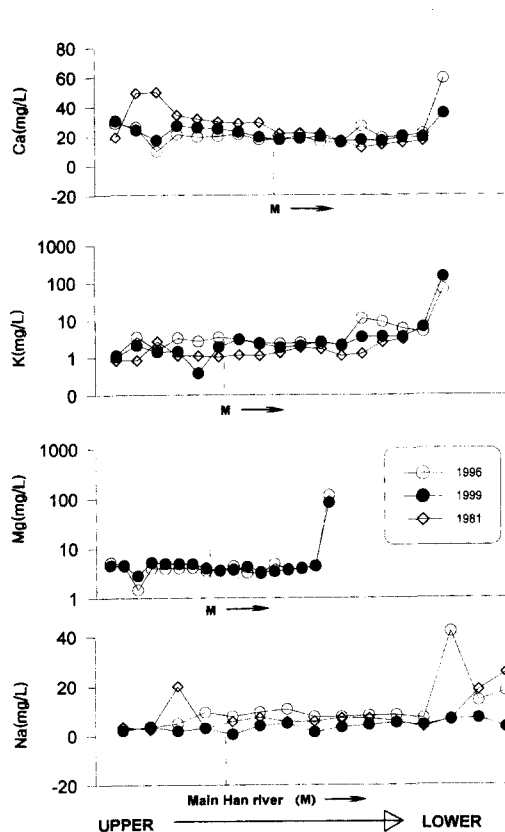


Fig. 10. Cation variations in stream waters of the South Han river.

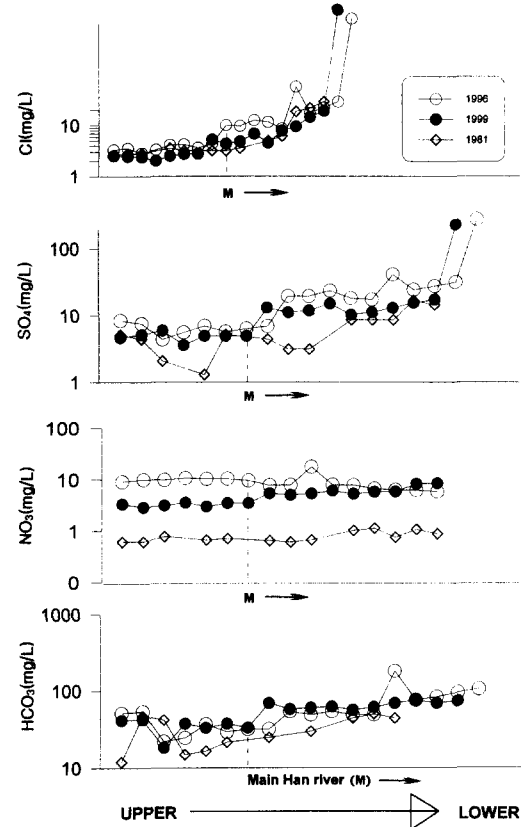


Fig. 11. Anion variations in stream waters of the North Han river.

시간 경과에 따른 용존 이온들이 변화 중 가장 현저한 것이 NO₃ 이온이다. 남한강과 북한강, 한강 본류의 모든 경우에 있어서 1981년보다 1996년, 1999년도에 그 함량이 현저하게 증가하였다. 특히 대다수의 양이온과 음이온 함량에 큰 변화가 없는 북한강에서도 NO₃ 농도가 남한강 보다 더 높게 나타나고 있다(Fig. 11). 이는 81년보다 증가된 북한강 주변의 개발과 농경지의 비료의 영향 때문으로 보인다.

남한강과 한강 본류에서의 이온농도 증가는 인간 활동의 증가에 의한 오염의 영향 때문으로 추정된다.

시간 변화에 관계없이 전체적으로 석회암 분포의 영향을 받고 있는 남한강이 북한강에서 보다 HCO₃ 이온 농도가 높게 나타나고 있다. 1981년에 비해 1996년, 1999년에 남한강에서의 함량이 감소한 원인은 남한강 수계 분지 내의 석회암 개발의 감소 때문으로 보인다. 또한 남한강 하천수가 방해석과 돌로마이트에 대해 과포화되어 있는 점으로 미루어 보아 현재 침전되고 있는 상태라고 생각할 수도 있다(서혜영, 김규한,

1997). 그리고 남한강 하천수의 경우 1996년과 1999년 사이에는 HCO₃ 농도의 큰 변화가 나타나지 않고 있다(Fig. 12).

이상에서 보면 1981년 측정값과 비교하여 증가된 성분들은 모두 광산 개발, 토지 이용도 변화, 인간 활동 증가 등으로 인한 인위적인 수질 오염의 증가와 더불어 발생된 결과로 해석된다. 대부분 이온들의 농도의 1996년과 1999년 사이에 변화 경향성은 큰 차이를 보이지 않고 있어 1996년 이후 한강 하천수의 용존 이온들의 농도가 비교적 안정화되어가고 있음을 보여 주고 있다.

4. 결 론

1. 한강 하천수의 용존 이온 농도는 한강 수계 분지 내에 편마암류와 화강암류가 주로 분포하는 북한강은 Ca>Na>K>Mg, HCO₃>NO₃>SO₄>Cl이며, 수계 분지 내의 석회암과 금속 광상이 다수 분포하는 남한강은 Ca>Mg>Na>K, HCO₃>SO₄>NO₃>Cl으로 한강 수계 상류의 지질을 잘 반영하고 있다. 한편, 한강 본류는 Ca>Na>K>Mg, HCO₃>SO₄>Cl>NO₃로 인간 활동에 의한 원소 유입 현상이 현저하다.

2. 한강 본류로 유입되는 지천은 TDS 39~111 mg/L, pH 6.51~9.03 이며 용존 이온 중 Cl, HCO₃, SO₄, Ca, K, Na 등의 원소의 농도가 대단히 높다. 이는 주변 공장 폐수나 생활 하수 등의 유입 때문으로 해석된다.

3. Na/Cl 비를 이용한 질량 평형 계산에서 얻어진 한강 본류에서의 북한강과 남한강 하천수의 혼합 비율은 남한강 : 북한강=62.6% : 37.4%로 한강본류 하천수에 남한강 하천수의 혼입율이 높다. 한강 상류에서 본류로 갈에 따라 Na, Cl, SO₄ 원소는 증가하고 있으며 K, Mg은 변동이 적은 반면 NO₃는 변동이 심하다. 이는 인간 활동에 의한 이들원소의 하천 유입량의 증가를 의미하고 있다.

4. 1981년과 1996년, 1999년 사이의 한강 하천수의 용존 이온종의 농도 변동은 Ca, Mg, K 등 암석 기원 이온종과 같은 양이온의 변화는 적은 반면 SO₄, NO₃ 등 광산 폐수 기원이나 인위적 오염원 원소인 음이온의 변화가 크다. 그러나 1996년과 1999년 사이의 하천 수계 분지 내 이온종의 함량 변화는 비교적 적다. 특히 남한강 Cl은 1996년보다 1999년에 다소 감소되는 경향을 보여 하천 정화 사업 효과로 생각된다.

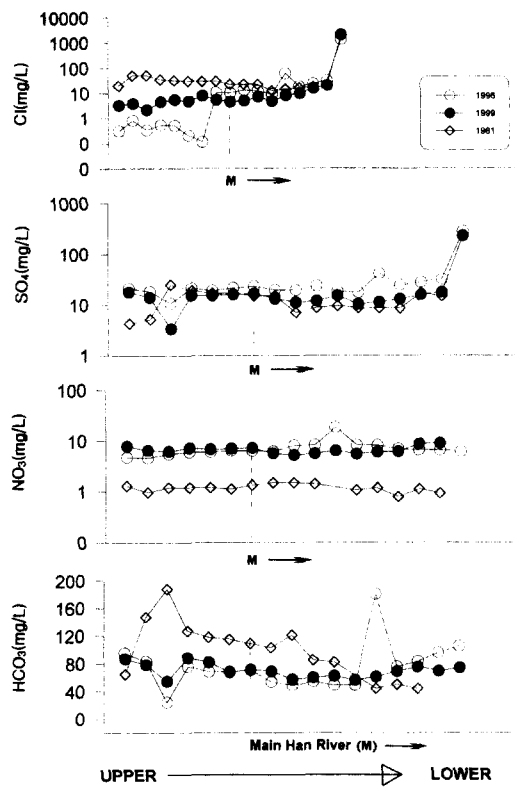


Fig. 12. Anion variations in stream waters of the South Han river.

사 사

본 연구는 과학기술부 연구기반구축사업 연구비(과제번호 00-B-WB-01-A-04)에 의해 수행되었다. 시료채취와 원고정리에 협력해준 이화여자대학교 교육대학원 대학원생 이세희, 이성은, 심은숙 양에게 감사한다.

참고문헌

- 경춘호 (1981) 한강 하류수계의 수질과 이토에 관한 이화학적 조사 연구. 성균관대학교 석사 학위논문, p. 22.
- 김규한 (1980) 남한의 일부 금속광상의 유황동위원소 성분 및 동위원소 지질온도에 관한 연구. 지질학회지, 16(2), p. 124-134.
- 김규한, 김완숙 (1994) 남한의 수계 발달과 지질구조와의 관계에 대한 연구. 지질학회지, 27권, p. 593-599.
- 변종구 (1980) 한강 본류의 생물학적 및 이화학적 수질분석에 관한 비교연구. 고려대학교 석사학위논문, p. 45.
- 손석기 (1982) 한강 지류 하천수 중의 오염 물질에 대하여. 성균관대학교 석사학위논문, p. 20.
- 서혜영, 김규한 (1997) 한강 수계 분지내 하천수의 지구화학적 특성. 지질학회지, 4권, p. 130-143.
- 김경태, 홍기훈, 이수형, 이동수 외 (1989) 한강 본류와 지류의 중금속 농도 분포. 한국해양학회지, 5(1), p. 47-56.
- 이종우 (1981) 한강 상류수계 및 중요 지류의 이화학적 조사 연구. 성균관대학교 석사학위논문, p. 24.
- 홍승호, 이병주, 황상기 (1982) 한국 지질도. 서울도사목, 한국동력자원연구소.
- 中井信之 外 10人 (1982) 漢江(韓國)及 流域生態系における 環境動態に関する基礎的調査. トヨタ財團研究助成研究報告要約.
- 水谷義彦, 中井信之, 洪思堧 (1980) 漢江の主要溶存化學成分の地球化學的 研究 韓國における環境變遷史 : 文部省海外學術調査中間報告, p.105-108.
- Bass-Becking, L.G.M., Kaplan, I.R. and Moore O. (1960) Limits of the natural environment in terms of pH and oxidation-reduction potentials. J. Geol., v.68, p. 243-284.
- Berner, E.K., and Berner, R.A. (1987) The global water cycle, Prentice Hall. Englewood Cliffs, NJ., 397p.
- Freeze, R.A. and Cherry, J.A. (1979) Groundwater. Prentice-Hall, Inc. p. 604.
- Garrels, R.M., and Christ, C.L. (1965) Solutions, minerals and equilibria. Haper & Row, 450p.
- Gibbs, R.J. (1970) Mechanisms controlling world water chemistry. Science, v.170, p. 1088-1090.
- Greenberg, A.E., Lenore S. Clesceri and Andrew D. Eaton. (1992) Standard method for the examination of water and wastewater. 18th ed., American Public Health Association, p. 1010-2320.
- Gumbley, J.W., Wilson, A.T., Hendy, C.H., and Nelson, C.S. (1974) Sedimentology of shallow cores from Lake Vanda, Antarctic., J. U.S. July-Aug., p. 135-137.
- Sarin, M.M., Krishnaswami, S., Dilli, K., Somayajulu, B.L.K., and Moore, W.S. (1989) Major ion chemistry of the Ganga-Brahmaputra river system: Weathering processes and fluxes to the Bay of Bengal. Geochim. Cosmochim. Acta, v. 53, p. 997-1009.
- Stallard, R.F. and Edmond, J.M. (1983) Geochemistry of the Amazon 2. The influence of geology and weathering environment of the dissolved load. J. Geophys. Res., v. 88, p. 9671-9688.
- Stednick, J.D. (1991) Wildland and water quality sampling and analysis. Academic Press., 217p.
- Zhang, J., Huang, W.W., Ltolle, R., and Jusserand, C. (1995) Major element chemistry of the Huanghe(Yellow River). China-weathering processes and chemical fluxes. J. Hydrol. v. 168, p. 173-203.

2001년 10월 25일 원고접수, 2001년 12월 19일 게재승인.

Appendix 1. Normality of some major dissolved ions of stream waters in the Han river basin.

meq/L	F	Cl	NO ₃	SO ₄	HCO ₃	Ca	K	Mg	Na
HR1	0.157	48.372	0.135	4.338	1.130	1.87	4.55	6.19	68.598
HR2	0.171	52.977	0.144	4.703	1.208	1.76	3.71	6.87	29.014
HR3	0.135	39.935	0.131	3.607	1.216	1.45	3.99	5.23	23.098
HR4	0.006	0.546	0.140	0.361	1.130	0.96	0.17	0.36	0.704
HR5	0.005	0.599	0.125	0.353	1.264	0.91	0.17	0.26	0.697
HR6	0.006	0.415	0.100	0.324	1.232	0.95	0.09	0.32	0.146
HR7	0.005	0.256	0.090	0.281	1.048	0.94	0.10	0.33	0.134
HR8	0.007	0.270	0.098	0.270	1.128	0.83	0.09	0.31	0.306
HR9	0.007	0.254	0.081	0.257	1.088	0.87	0.10	0.30	0.119
HR10	0.004	0.223	0.091	0.234	1.000	0.86	0.09	0.28	0.282
HR11	0.005	0.439	0.107	0.290	1.232	0.98	0.11	0.33	0.499
HR12	0.005	0.129	0.090	0.214	0.920	0.82	0.05	0.27	0.183
HR13	0.005	0.130	0.089	0.224	0.976	0.85	0.05	0.30	0.188
HR14	0.005	0.195	0.103	0.313	1.016	0.97	0.07	0.35	0.227
HR15	0.004	0.410	0.230	0.482	1.184	1.11	0.13	0.41	0.644
HR16	0.007	0.137	0.091	0.247	0.980	0.91	0.05	0.31	0.188
HR17	0.005	0.133	0.087	0.237	0.992	0.86	0.06	0.29	0.187
HR18	0.004	0.124	0.086	0.233	0.944	0.87	0.05	0.29	0.147
HR19	0.004	0.139	0.095	0.257	1.072	0.95	0.05	0.32	0.176
HR20	0.005	0.148	0.092	0.273	1.128	0.96	0.06	0.33	0.060
NHR1	0.005	0.087	0.063	0.113	0.564	0.46	0.04	0.16	0.148
NHR2	0.004	0.078	0.059	0.103	0.544	0.44	0.03	0.16	0.048
NHR3	0.005	0.078	0.059	0.103	0.612	0.43	0.05	0.15	0.142
NHR4	0.005	0.077	0.055	0.101	0.540	-0.01	0.02	-0.02	0.060
NHR5	0.004	0.071	0.057	0.098	0.524	0.43	0.04	0.16	0.121
NHR6	0.004	0.071	0.051	0.103	0.612	0.05	0.01	0.00	0.022
NHR7	0.005	0.069	0.049	0.108	0.680	0.53	0.04	0.20	0.104
NHR8	0.006	0.078	0.053	0.113	0.696	0.54	0.05	0.21	0.140
NHR9	0.005	0.068	0.053	0.124	0.828	0.61	0.04	0.26	0.119
NHR10	0.003	0.057	0.061	0.075	0.300	0.25	0.06	0.07	0.121
NHR11	0.031	0.076	0.083	0.080	0.280	0.26	0.05	0.07	0.122
SHR1	0.005	0.218	0.118	0.345	1.172	1.14	0.08	0.40	0.219
SHR2	0.006	0.229	0.113	0.308	1.368	1.07	0.10	0.36	0.244
SHR3	0.004	0.087	0.062	0.130	0.543	0.44	0.05	0.16	0.146
SHR4	0.006	0.131	0.115	0.332	1.108	1.24	0.05	0.40	0.175
SHR5	0.005	0.126	0.113	0.339	1.408	1.30	0.05	0.42	0.165
SHR6	0.005	0.152	0.112	0.317	1.344	1.28	0.01	0.40	0.022
SHR7	0.004	0.125	0.117	0.320	1.448	1.34	0.04	0.43	0.133
SHR8	0.002	0.036	0.042	0.110	1.376	1.31	0.05	0.41	0.148
SHR9	0.004	nc	0.162	0.334	1.200	1.06	0.15	0.33	0.720
SHR10	0.005	0.106	0.105	0.292	1.288	1.20	0.05	0.36	0.159
SHR11	0.001	0.023	0.027	0.069	1.320	1.32	0.06	0.40	0.145
SHR12	0.004	0.088	0.127	0.372	1.424	1.51	0.03	0.38	0.089
SHR13	0.001	0.059	0.101	0.070	0.896	0.85	0.04	0.23	0.081
TR1	0.012	2.782	0.025	1.396	3.241	2.15	0.76	0.49	5.777
TR2	0.011	2.877	0.032	1.412	2.481	2.16	0.60	0.49	3.271
TR3	0.009	2.306	0.038	1.219	2.845	1.89	0.59	0.53	2.680
TR4	0.007	1.087	0.057	0.610	2.897	1.63	0.25	0.27	0.996
TR5	0.019	3.341	nc	2.291	1.460	2.57	0.43	0.46	3.371
TR6	0.004	1.575	0.223	0.745	1.688	1.05	0.60	0.32	2.732
TR7	0.007	1.665	0.379	0.715	2.065	1.57	0.33	0.49	0.966
TR8	0.004	0.940	0.167	1.023	1.921	2.02	0.24	0.55	0.547
TR9	0.005	1.014	nc	1.077	2.137	0.43	0.10	0.11	0.210
TR10	0.008	1.611	0.372	0.592	2.069	1.47	0.60	0.53	1.779
TR11	0.006	1.754	0.458	1.488	1.733	1.94	0.60	0.62	3.584
TR12	0.005	0.856	0.264	0.959	1.504	1.82	0.66	0.49	2.236
TR13	0.006	0.831	0.384	1.107	1.436	1.82	0.35	0.51	1.185
TR14	0.002	0.683	0.370	0.724	1.376	1.69	0.58	0.51	1.992
TR15	0.007	1.497	0.024	0.780	2.793	1.86	0.31	0.47	1.104
TR16	0.007	1.403	0.095	1.511	2.777	1.82	0.10	0.42	0.378
TR17	0.009	1.476	0.103	0.915	2.429	1.50	0.58	0.46	1.723

*nc : not calculated