

충남대학교 대덕캠퍼스내 상수도 물의 수리지구화학적 특성

이찬희* · 이현구* · 이종창*

Hydrogeochemistry of Supply Water in the Daedeok Campus of Chungnam National University, Korea

Chan Hee Lee*, Hyun Koo Lee* and Jong Chang Lee*

ABSTRACT: This study was undertaken to evaluate the drinking water quality based on physicochemical properties and chemical compositions of the supply water in the Daedeok Campus, and to verify the analytical reliabilities of ICP-MS and IC equipped in the Central Research Facilities at Chungnam National University, Korea. The supply water belongs to Ca^{2+} - $(\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-})$ type, whereas the original water from the Daecheong lake belongs to $(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$ - HCO_3^- type. Generally, temperature (14.1 °C), pH (6.95), Eh (0 mV), electrical conductivity (117 $\mu\text{S}/\text{cm}$) and TDS (86.975 mg/l) of supply water were higher than those of original lake water. Results using WATEQ4F revealed that potentially toxic ions of the supply water might exist mainly as free metals (M^{2+}) and a small amount as CO_3^{2-} and OH^- complexes. Also, the water composition belongs to the kaolinite field. Calculated average enrichment indices of the supply water normalized to lake water for anions, major cations, toxic cations and total ions are 1.05, 1.56, 13.05 and 1.17, respectively. Those values of the groundwater in the Daedeok Campus showed 1.71, 4.78, 5.71 and 2.49, respectively. However, contents of all constituents of these waters are within the drinking water standard. All samples were filtered before the chemical analysis. Pale yellow or yellowish brown colored materials of colloidal particles coated the filter paper to thicknesses of 0.02 to 0.2 mm. These are mainly Fe-Cu-Zn compounds with traces of Ni and Pb, the net weights of which compounds range from 0.01 to 3.20 mg/l. Most elements did not show any conceivable filtering effect except of Cu, Fe and Zn. Especially, mean concentration of total Fe decreased considerably from 168.52 $\mu\text{g}/\text{l}$ to 42.58 $\mu\text{g}/\text{l}$ by filtering.

서 언

물은 생태계의 근본으로서 인류의 활동도 물의 이용과 함께 발전해 왔다고 할 수 있을 만큼 아주 중요한 천연자원이다. 이는 사회, 경제, 문화 등 인간의 모든 활동을 뒷받침 해주는 기본자원임에도 불구하고 손쉽게 값싸게 얻을 수 있다는 종래의 인식으로 인하여 많은 사람들이 물의 가치와 필요성을 잊고 지내는 것이 현실이다. 그러나 지구상에 존재하는 모든 물들은 인구증가와 산업발전에 의한 수요증가, 도시화 및 산업화에 따라 이차적인 오염이 가중되고 있다.

최근에는 생활용수와 음용수로 이용하기 위하여 물

을 여과 또는 정수하여 공급하기 시작하였으나, 상수원과 공급망의 오염에 관한 불신이 고조됨에 따라 상수도가 음용수로서의 기능을 다하지 못하고 있는 것도 사실이다. 일반시민이 느낄 수 있는 음용수의 수질은 전적으로 감각에 의존하기 때문에 탁도가 높고 착색되어 있거나 좋지 않은 맛이 나면 음용수로는 적합하지 않다 (이종형, 1996). 그러나 대부분의 상수도 물은 전달되는 동안 여러 단계의 저장고와 관망을 거치면서 녹의 발생, 이물질의 유입, 미생물의 성장 또는 관리소홀로 인하여 많은 오염요소들이 생성될 수 있다. 충남대학교 대덕캠퍼스에서 음용수로 공급되고 있는 상수에서도 녹이 발생하고 냄새가 심하여 식수는 물론 생활용수로도 사용하기 어려운 곳이 많다.

일반적으로 물의 물리화학적 성질은 수소이온농도, 산화-환원 전위, 전기전도도, 용존산소량, 생물 및 화학

*충남대학교 지질학과 (Department of Geology, Chungnam National University, Taejeon 305-764, Korea), E-mail: chanlee@cnu.ac.kr

적 산소요구량, 음이온농도, 양이온농도, 유기이온 및 미생물의 함량에 따라 결정된다 (박석기 등, 1996). 이 중에 대부분의 음이온과 양이온은 기기분석에 의하여 용존량을 결정하나, 중금속 오염도를 밝힐 수 있는 미량원소의 정량분석은 분석기기의 조건과 함께 분석자의 숙련된 기술이 필요하다. 충남대학교 공동실험실습관에는 1998년도 7월에 유도결합 플라즈마 질량분석기 (Inductively Coupled Argon Plasma Mass Spectrometer; ICP-MS)와 이온크로마토그래피 (Ion Chromatography System; IC)가 도입되어 1999년 3월부터 본격적인 분석의뢰업무를 시작하였다. 주로 여과처리된 자연수, 용액화된 토양 및 암석시료를 대상으로 양이

온은 ICP-MS로 음이온은 IC를 이용하여 분석하고 있다.

이 연구는 대청호의 원수를 음용수로 공급받고 있는 충남대학교 대덕캠퍼스의 상수도 물을 대상으로 물리·화학적 변화와 용존이온의 거동을 고찰하였다. 또한 충남대학교 공동실험실습관에 설치된 ICP-MS와 IC에 관한 분석과정을 구축하고, 분석신뢰도, 검량선 및 분석한계를 검증하였다. 이 결과는 자연수의 정량분석 및 지표수가 채수되어 시설정수장과 배관망을 통하여 공급되는 과정에서 건축물의 노후도와 배관재질에 따라 발생할 수 있는 상수도 물의 물리·화학적 변화를 규명하는 자료로 이용될 수 있을 것이다.

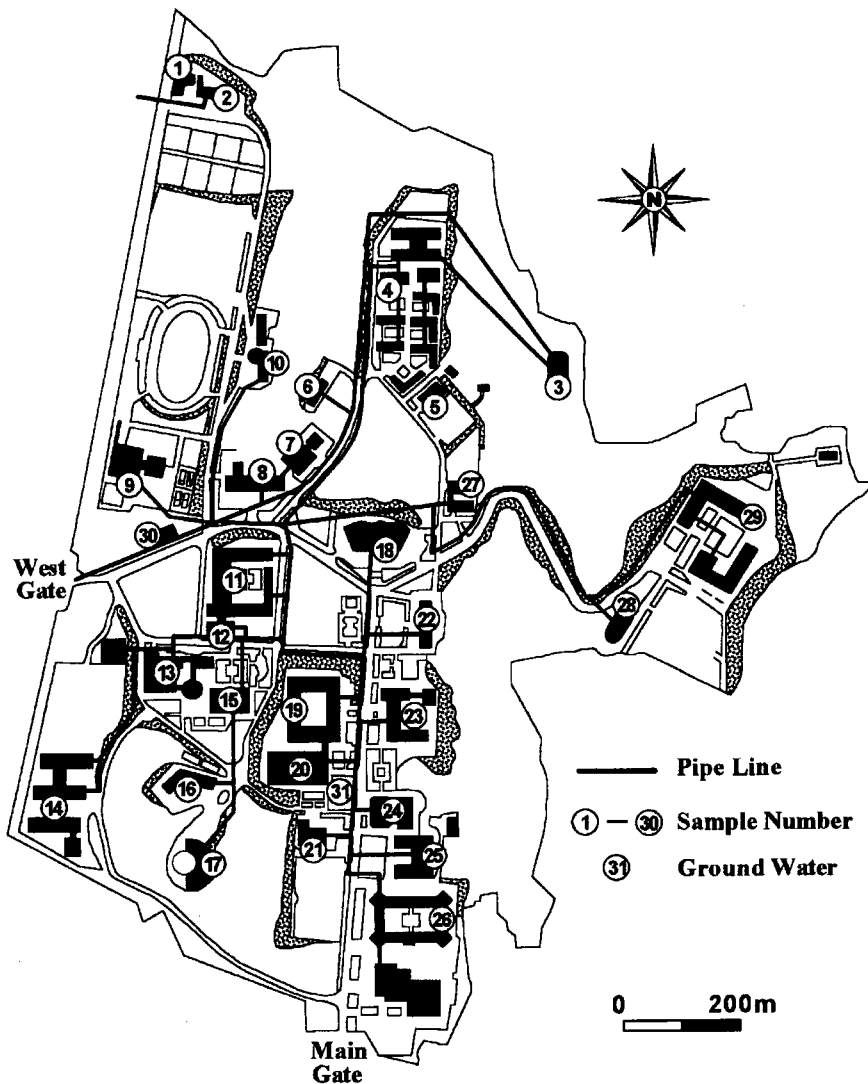


Fig. 1. Sample locations in the Daedeok Campus of Chungnam National University, Korea.

시료 및 분석

충남대학교와 대전시의 모든 상수도 물은 대청댐의 호수를 원수로 사용하고 있다. 원수는 대청호의 추동 취수탑에서 집수하여 도수관을 거쳐 송촌정수장과 월 평정수장으로 운반된다. 운반된 원수는 여과와 침전

의 정수과정 및 살균을 거친 다음 송수관을 통하여 대전시 전지역에 공급된다. 이 연구에서는 충남대학교 대덕캠퍼스의 건축물에 공급되는 상수도 물을 대상으로 시료를 채취하였다 (Fig. 1). 또한 대청호의 취수탑에서 지표수를, 교내에 설치되어 있는 비상급수 시설의 하나인 지하수를 채취하여 각각의 수질을

Table 1. Instrumental detection limits and calibration lines for water sample of ICP-MS and IC analysis of the Central Research Facilities at Chungnam National University.

cations	standard 1 (1 ppb)	standard 2 (10 ppb)	standard 3 (100 ppb)	slope	R ²	SD* of blank	IDL** (ppb)
Al	16040.0	89942.2	843404.0	8440.3	0.9999	531.4	0.1889
Ag	25137.0	244790.0	2442400.0	24424.6	1.0000	13.5	0.0017
As	7124.3	70733.3	703320.0	7033.6	1.0000	37.2	0.0159
Ba	37415.4	341108.0	3679080.0	36764.4	0.9999	674.4	0.0550
Be	497.0	4966.7	50358.3	503.5	0.9999	6.0	0.0359
Bi	62872.9	608206.0	6429160.0	64257.1	0.9999	16.4	0.0008
Ca	1400.9	3981.2	71731.5	714.2	0.9970	1371.5	5.7607
Cd	12424.6	119149.0	1205650.0	12055.1	0.9999	15.6	0.0039
Co	27116.4	25978.0	2755660.0	27540.9	0.9999	26.3	0.0029
Cr	12018.6	164147.0	2340070.0	23330.4	0.9995	219.0	0.0282
Cs	53949.7	507838.0	5421570.0	54181.7	0.9999	13.4	0.0007
Cu	14287.1	129498.0	1263430.0	12637.6	0.9999	36.0	0.0085
Fe	373.8	5938.6	67069.4	669.9	0.9999	122.9	0.5508
Ga	27336.6	259073.0	2745650.0	27441.2	0.9999	95.5	0.0104
In	69935.6	671274.0	6903150.0	69012.8	0.9999	11.6	0.0005
K	21327.4	212574.0	2164480.0	21641.0	0.9999	3213.7	0.4455
Li	1926.5	19551.2	196240.0	1962.3	1.0000	30.9	0.0473
Mg	5961.8	49918.4	494954.0	4950.1	0.9999	51.6	0.0313
Mn	32582.8	31500.0	3394720.0	33922.9	0.9999	211.4	0.0187
Na	28434.3	186574.0	1590740.0	15935.8	0.9998	365.8	0.0689
Ni	13927.5	131040.0	1317090.0	13170.3	1.0000	171.4	0.0390
Pb	42023.8	388920.0	4057430.0	40557.8	0.9999	74.5	0.0055
Rb	43000.8	412569.0	4392220.1	43859.7	0.9999	20.7	0.0014
Se	769.6	7495.1	76388.3	763.7	0.9999	196.6	0.7721
Si	6557.3	38894.6	368312.9	3685.5	0.9998	495.3	0.4032
Sr	57094.5	554254.0	5973520.0	59692.2	0.9999	22.4	0.0011
Ti	51629.5	497647.0	5265100.0	52622.4	0.9999	20.3	0.0012
U	6363.0	65960.6	631317.3	6316.0	0.9999	7.4	0.0035
V	24347.0	234053.0	2611700.0	26089.9	0.9999	54.6	0.0063
Zn	5536.9	50145.6	502509.0	5025.0	0.9999	41.1	0.0245
anions	standard 1 (2 ppm)	standard 2 (25 ppm)	standard 3 (50 ppm)	slope	R ²	SD* of blank	IDL** (ppm)
Br	16310.0	214216.0	444436.0	8823.8	0.9994	86.0	0.0292
Cl	67989.0	744606.0	1536584.0	30547.0	0.9995	162.0	0.0159
F	130643.0	1321041.0	2930459.0	57466.0	0.9957	224.0	0.0117
NO ₂	41908.0	438640.0	896444.0	17856.0	0.9997	28.0	0.0047
NO ₃	22794.0	259227.0	528271.0	10527.0	0.9988	147.0	0.0419
PO ₄	7647.0	120906.0	250892.0	4980.0	0.9993	113.0	0.0681
SO ₄	27088.0	330241.0	687398.0	13640.0	0.9993	313.0	0.0688

*SD=standard deviation, **IDL=instrumental detection limit

비교 분석하였다.

충남대학교 대덕캠퍼스의 상수도 물은 월평정수장에서 수의과대학으로 유입되는 송수관과 서문을 통하여 가압펌프장을 거쳐 신배수장으로 운반되는 송수관이 있다. 각각의 건물에 별도의 저장고는 없으며 모든 상수도 물은 신배수장에서만 공급한다. 일반적으로 송수관 및 배수관으로 가장 많이 사용되는 재질은 주철관이나 콘크리트, 플라스틱 또는 강철관도 시공된다. 급수관으로는 동관, 연관 및 스테인레스 스틸 (stainless steel) 이 사용된다 (이종형, 1996). 충남대학교내의 배수관은 주로 주철관이며 급수관은 동관과 스테인레스 스틸이다. 시료의 채취위치는 건축연대와 배관재질을 고려하여 선정하였으나, 오래된 건물의 대부분은 최초 건축 이래 수시로 증개축이 있었으며, 그때마다 재질이 다른 관을 이용하기도 하여 특별한 의미를 부여하기는 곤란한 상황이었다.

연구대상 시료의 온도 (°C), 수소이온농도 (pH), 산화-환원전위 (Eh; mV)와 전기전도도 (EC, electrical conductivity; $\mu\text{S}/\text{cm}$)는 시료채취와 동시에 측정하였다. 측정은 완충용액 (pH=4, 7, 10)으로 보정하여, HANNA 사의 pH-Eh 및 EC 측정기를 이용하였다. 모든 시료들은 0.45 μm 공극의 질산염 섬유소 여과지

(cellulose nitrate filter)를 이용한 수동펌프로 부유물을 완전히 제거하고 음이온 및 양이온 측정시료로 나누어 채수하였다. 양이온 측정시료는 용기에 금속이온이 흡착되는 것을 방지하기 위하여 6N 질산 (HNO_3)을 1 ml 투여하여 산도를 유지하였다. 화학분석에 필요한 시료는 합성수지 (polypropylene) 병에 담다 분석까지 냉장 보관하였다.

이 연구에서 분석된 물 시료의 용존 양이온은 충남대학교 공동실험실습관에 설치된 ICP-MS (Perkin-Elmer, Model; ELAN 6000)으로 실시하였으며, 일부 농도가 높은 주성분 이온은 희석하여 분석하였다. 용존 음이온은 WATERS 사의 IC (Model; WA/2690)로 분석하였다. 이 분석기들의 재원과 분석과정 및 방법은 이미 널리 알려져 있어 생략하기로 한다. 분석에서는 표준시료, 공시료 및 중복시료를 이용하여 분석치의 신뢰도와 재현성을 검증하였다 (Ramsey *et al.*, 1987). 또한 Skoog *et al.* (1998) 및 권수한 등 (.999)이 제시한 방법에 따라, 각각의 기기에 관하여 필자들이 구한 대표적인 원소의 검출한계는 Table 1과 같다. 이중 일부 원소의 검량선은 Fig. 2와 같이 아주 우수한 결과를 얻었다.

HCO_3^- 값은 0.05 M의 HCl로 적정한 것이며, 용존

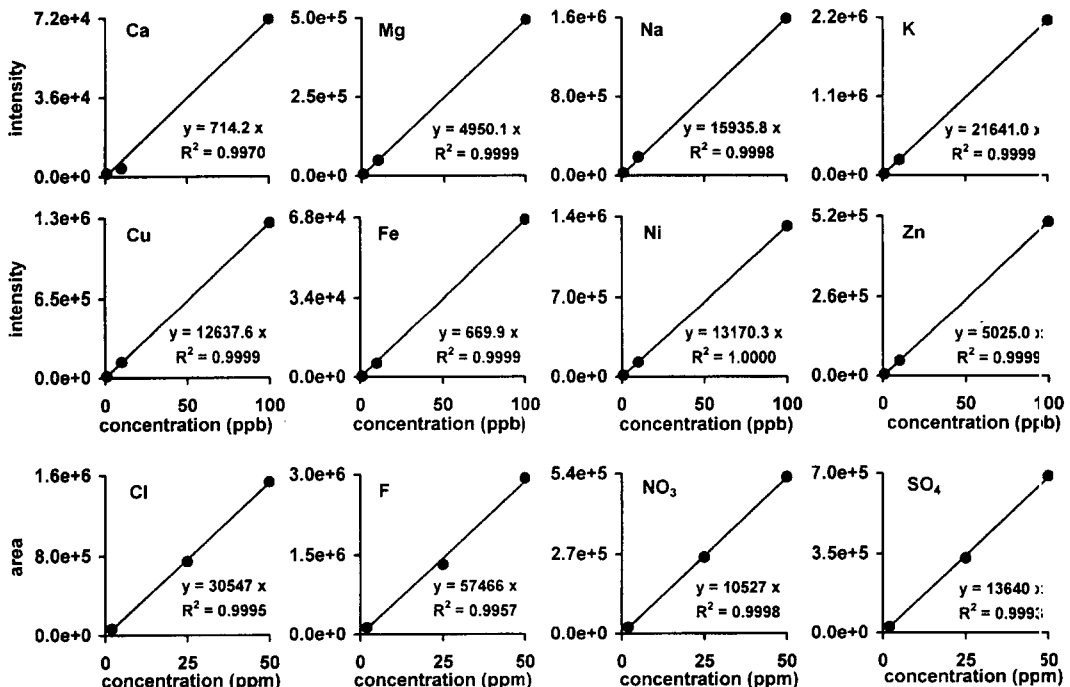


Fig. 2. Diagrams showing calculated instrumental detection limits and calibration lines for some elements of ICP-MS and IC analysis in the Central Research Facilities at Chungnam National University.

Table 2. Selected physical and anion constituents of the supply water at Chungnam National University.

Sample number	Sample locations of Daedeok campus	T (°C)	pH	Eh (mV)	EC (µS/cm)	HCO ₃ (mg/l)	NO ₂ (mg/l)	NO ₃ (mg/l)	PO ₄ (mg/l)	SO ₄ (mg/l)	Br (mg/l)	Cl (mg/l)	F (mg/l)	SiO ₂ (mg/l)	TDS* (mg/l)
990113-00	Water-tower of the Daechong Lake	5.7	6.92	-15	82	33.561	nd	5.513	nd	10.221	nd	5.493	0.951	3.219	73.951
990115-01	Building of Veterinary Hospital	12.5	7.11	-6	117	28.069	nd	5.857	nd	18.043	nd	6.215	0.386	5.339	88.501
990115-02	Building of Veterinary College	12.8	6.88	2	120	28.850	nd	5.706	nd	17.704	nd	5.970	0.367	5.322	85.082
990115-03	New Water-tank of Daedeok Campus	9.2	6.88	3	122	28.679	nd	5.914	nd	17.779	nd	6.132	0.372	5.463	85.455
990115-04	Building of Student Dormitory	14.0	6.86	4	121	29.595	nd	5.871	nd	17.745	nd	6.053	0.369	5.380	86.803
990115-05	Building of ROCT Detachment	13.8	6.74	10	117	29.900	nd	5.796	nd	17.548	nd	6.313	0.374	5.335	87.273
990115-06	Foreigner Apartment	16.2	7.01	-2	118	30.513	nd	5.553	nd	17.485	nd	6.106	0.371	5.423	88.012
990115-07	Building of Student Union III	15.2	6.96	0	117	28.985	nd	5.725	nd	17.375	nd	5.937	0.375	5.399	86.024
990115-08	Building of Fine Art College	17.0	6.90	1	119	28.679	nd	5.724	nd	17.503	nd	5.911	0.400	5.271	85.398
990115-09	Building of Gymnasium	15.9	6.88	2	118	27.459	nd	5.633	nd	17.150	nd	5.978	0.379	5.440	83.756
990115-10	Building of Music College	17.5	6.80	5	114	24.408	nd	5.777	nd	17.422	nd	6.045	0.372	5.712	82.279
990115-11	Building of Natural Science College I	12.2	6.77	6	127	29.900	nd	5.486	nd	16.427	nd	5.749	0.385	5.513	86.486
990115-12	Building of Pharmacy College	12.7	6.96	0	119	28.374	nd	5.713	nd	17.113	nd	5.972	0.375	5.519	86.175
990115-13	Building of Humanity College	14.0	6.95	0	117	27.459	nd	5.740	nd	17.226	nd	5.930	0.369	5.329	85.160
990115-14	Building of Natural Science College II	10.6	6.97	-1	117	27.459	nd	5.557	nd	17.265	nd	6.094	0.376	5.224	85.764
990115-15	Building of Student Union I	13.0	6.97	0	118	28.679	nd	5.767	nd	17.373	nd	6.494	0.444	5.164	87.303
990115-16	Building of Social Science College	14.8	6.96	0	118	28.985	nd	5.915	nd	17.020	nd	5.857	0.391	5.254	86.883
990115-17	Open Theater	13.0	6.98	1	115	28.679	nd	5.547	nd	17.364	nd	5.920	0.382	5.320	86.711
990115-18	Building of Central Library	14.2	6.97	0	122	28.069	nd	6.622	nd	19.982	nd	4.965	0.282	5.277	88.335
990115-19	Building of Engineering College I	14.8	6.95	0	116	27.459	nd	4.942	nd	18.186	nd	4.767	0.279	5.252	84.349
990115-20	Building of Engineering College II	15.8	6.99	-1	106	29.900	nd	5.420	nd	19.883	nd	4.968	0.281	5.365	89.121
990115-21	Building of Cooperative Institutes	16.1	6.88	3	115	30.510	nd	5.488	nd	19.394	nd	5.021	0.271	5.241	90.150
990115-22	Building of University Administration	15.4	7.05	-3	111	28.069	nd	5.802	nd	19.449	nd	5.231	0.285	5.241	87.457
990115-23	Building of Law & Management College	12.7	7.08	-5	111	22.883	nd	16.454	nd	18.947	nd	5.021	0.291	5.224	91.061
990115-24	Building of Student Union II	13.2	6.94	0	113	26.544	nd	6.006	nd	19.426	nd	5.000	0.281	5.055	84.782
990115-25	Building of Engineering College III	13.1	7.17	-9	115	27.764	nd	5.858	nd	19.520	nd	5.181	0.293	5.290	86.696
990115-26	Building of Home Economic College	13.3	6.95	0	125	27.154	nd	5.703	nd	19.131	nd	5.087	0.267	5.311	86.029
990115-27	Building Computer Center	16.3	6.80	6	108	28.374	nd	5.544	nd	19.216	nd	5.268	0.274	5.305	87.536
990115-28	Building of Student Union IV	13.8	6.98	0	113	30.510	nd	5.692	nd	18.848	nd	5.247	0.266	6.172	91.320
990115-29	Building of Agricultural College	14.0	7.10	-6	115	29.595	nd	5.450	nd	19.024	nd	5.283	0.268	5.269	89.716
990115-30	Water Pumping House	15.8	6.97	0	117	28.374	nd	5.559	nd	19.603	nd	5.105	0.265	5.645	89.645
	mean compositions of the 30 samples	14.1	6.95	0	117	28.329	nd	6.061	nd	18.205	nd	5.627	0.336	5.368	86.975
990115-31	Ground Water	16.7	6.46	22	171	67.122	nd	10.411	nd	10.100	nd	7.405	0.364	46.342	181.827

nd; not detected, *TDS; total dissolved solids

고형물 (TDS; total dissolved solids)의 총량은 분석된 이온을 합산한 것이다. 한편 분석시료의 여과과정에서 생성된 침전물과 부유물의 산출상태 및 화학조성을 규명하기 위하여 전자현미경을 이용하였다. 분석기기는 LINK 사의 에너지 분산형 X선 분석기 (EDXA, PV 9100/60)가 장착된 Shimadzu 사의 ISI-SX-40 이다. 분석시료는 탄소와 금으로 이중 피복한 것을 이용하였다.

결과 및 토의

물리화학적 특성

이 연구에서 채수한 시료의 현장측정 결과는 Table 2와 같다. 1999년 1월에 채취한 충남대학교내

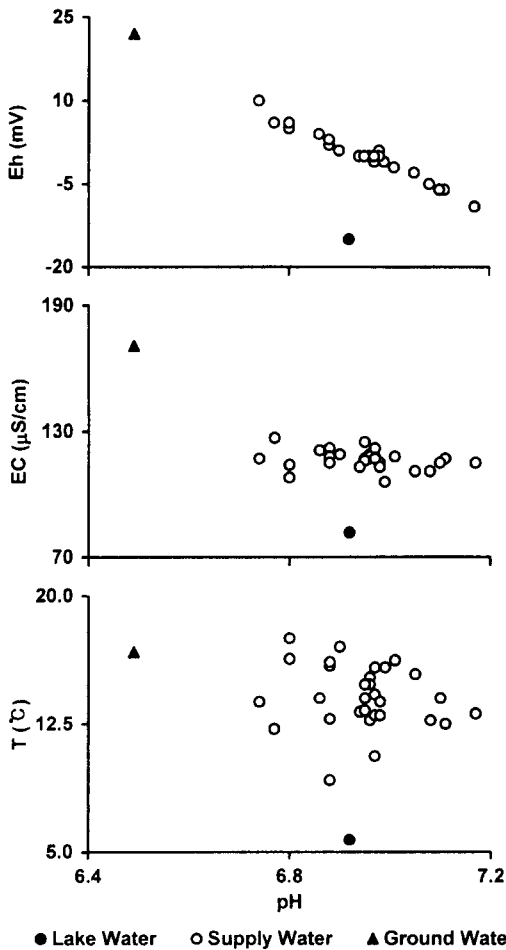


Fig. 3. Plots of T, Eh and EC versus pH of the supply water.

상수도 물의 온도는 9.2~17.5 (평균 14.1) °C, pH는 6.74~7.17 (평균 6.95), Eh는 -6~10 (평균 0) mV, EC는 106~127 (평균 117) µS/cm로서 일반적인 음용수의 기준을 만족한다. 측정된 모든 자료를 검토한 결과, 상수도 물은 대청호의 지표수에 비하여 온도, Eh 및 EC는 약간 높으나 pH는 평균값과 거의 비슷하다. 충남대학교내의 지하수와 비교할 때 상수도 물에서 pH는 다소 높고 Eh와 EC는 조금 낮다. 또한 Eh 및 EC와 pH는 서로 명확한 부의 상관도를 가지나 온도는 특별한 상관도를 보여주지 않았다 (Fig. 3).

용존 음이온의 평균함량을 보면, 상수도 물 ($\text{HCO}_3^- = 28.329$, $\text{NO}_3^- = 6.061$, $\text{SO}_4^{2-} = 18.205$, $\text{Cl}^- = 5.627$ 및 $\text{F}^- = 0.336$ mg/l)과 대청호의 물 ($\text{HCO}_3^- = 33.561$, $\text{NO}_3^- = 5.513$, $\text{SO}_4^{2-} = 10.221$, $\text{Cl}^- = 5.493$ 및 $\text{F}^- = 0.951$ mg/l)은 거의 비슷한 화학적 특성을 보인다 (Table 2). 그러나 지하수의 화학적 성질 ($\text{HCO}_3^- = 67.122$, $\text{NO}_3^- = 10.411$, $\text{SO}_4^{2-} = 10.100$, $\text{Cl}^- = 7.405$ 및 $\text{F}^- = 0.364$ mg/l)과는 아주 다르다. 모든 시료에서 Br^- , NO_2^- 및 PO_4^{3-} 는 검출한계 미만이었다.

주성분 양이온의 평균함량은 상수도 물 ($\text{Ca}^{2+} = 13.782$, $\text{K}^+ = 2.298$, $\text{Mg}^{2+} = 2.534$, $\text{Na}^+ = 4.140$, $\text{SiO}_2 = 5.368$ mg/l)이 대청호의 물 ($\text{Ca}^{2+} = 7.734$, $\text{K}^+ = 1.531$, $\text{Mg}^{2+} = 2.691$, $\text{Na}^+ = 2.863$, $\text{SiO}_2 = 3.219$ mg/l)에 비하여 Mg^{2+} 를 제외한 모든 원소가 약간 높은 함량을 갖는다. 그러나 지하수 ($\text{Ca}^{2+} = 19.675$, $\text{K}^+ = 1.291$, $\text{Mg}^{2+} = 3.119$, $\text{Na}^+ = 15.651$, $\text{SiO}_2 = 46.342$ mg/l)에서는 Na^+ 와 SiO_2 의 함량이 아주 높다 (Table 3).

대표적인 양이온과 음이온을 선택하여, 연구대상 시료의 화학적 유형과 진화경향을 알아보고자 Piper (1944)의 삼각도에 표시하였다 (Fig. 4). 상수도 물의 양이온 특성은 Ca^{2+} 영역에 속하나, 호수에서 Mg^{2+} 가 지하수에서 Na^+ 가 부화된 경향을 볼 수 있다. 호수 및 지하수의 음이온 함량은 HCO_3^- 형에 속하나 상수도 물에서는 $\text{HCO}_3^- - \text{SO}_4^{2-}$ 영역에 걸쳐 분포한다. 따라서 상수도 물의 수질유형은 $\text{Ca}^{2+} - \text{HCO}_3^-$ 형에서 $\text{Ca}^{2+} - (\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-})$ 형으로 진화하고 있음을 보여주나 조성변화가 거의 없이 밀집하여 분포한다. 그러나 지하수와는 전혀 다른 수질특성을 갖는다.

수리지구화학적 성질

물의 화학적 특징을 파악할 수 있으며 배관망의 재

Table 3. Selected cation constituents of the supply water at Chungnam National University.

Sample number	Al (µg/l)	As (µg/l)	Ba (µg/l)	Ca (mg/l)	Cd (µg/l)	Co (µg/l)	Cr (µg/l)	Cu (µg/l)	Fe (µg/l)	K (mg/l)	Mg (mg/l)	Mn (µg/l)	Na (mg/l)	Ni (µg/l)	Pb (µg/l)	Rb (µg/l)	Se (µg/l)	Sr (µg/l)	U (µg/l)	V (µg/l)	Zn (µg/l)
990113-00	14.64	0.62	15.95	7.734	nd	0.17	1.17	2.75	53.00	1.531	2.691	6.05	2.863	0.07	nd	1.44	0.49	71.99	3.98	0.37	1.79
990115-01	20.07	0.39	14.07	13.066	0.09	0.12	1.88	125.72	60.02	2.306	2.237	2.80	3.679	0.72	1.01	2.21	0.38	70.51	nd	0.20	5.39
990115-02	22.80	0.51	13.75	12.890	0.05	0.08	1.72	8.13	48.12	2.208	2.232	2.26	3.649	0.76	0.42	1.90	0.32	69.19	nd	0.22	4.81
990115-03	18.49	0.33	14.38	12.551	0.04	0.08	1.90	6.24	40.07	2.266	2.312	1.56	3.867	1.14	0.44	1.89	0.41	68.36	nd	0.23	4.35
990115-04	17.06	0.33	14.37	13.027	0.02	0.08	2.07	275.42	56.56	2.088	2.360	1.32	3.785	0.68	0.50	1.74	0.37	70.02	nd	0.20	8.25
990115-05	5.45	0.22	14.15	13.289	0.03	0.12	1.71	10.21	38.82	2.179	2.409	6.40	3.936	0.55	0.32	1.77	0.33	70.95	nd	0.06	43.70
990115-06	11.01	0.25	24.28	13.743	0.01	0.09	1.71	31.14	38.12	2.426	2.322	1.68	3.850	0.45	0.66	2.47	0.35	72.12	nd	0.08	34.79
990115-07	16.07	0.28	14.91	13.470	0.02	0.08	1.52	4.03	33.00	2.253	2.423	3.03	3.926	0.41	0.20	1.79	0.42	72.00	nd	0.29	8.80
990115-08	16.39	0.27	14.71	13.163	0.03	0.07	1.49	14.15	36.84	2.273	2.384	1.85	3.857	0.65	0.20	1.74	0.40	70.92	nd	0.25	70.87
990115-09	10.80	0.26	14.47	13.006	0.02	0.09	1.28	3.36	34.89	2.287	2.376	0.98	3.839	0.33	0.15	1.71	0.44	70.76	nd	0.09	68.03
990115-10	14.48	0.23	14.96	13.525	0.02	0.08	1.50	27.83	43.41	2.305	2.462	1.08	4.016	0.41	0.11	1.75	0.35	73.36	nd	0.21	56.45
990115-11	15.32	0.28	14.38	13.884	0.01	0.07	1.34	31.35	31.10	2.319	2.526	1.17	4.112	0.34	0.23	1.71	0.38	73.33	0.58	0.24	13.32
990115-12	15.79	0.21	15.55	13.902	0.01	0.07	1.36	35.65	33.13	2.301	2.567	0.91	4.154	0.21	0.07	1.73	0.32	74.60	nd	0.24	4.99
990115-13	17.23	0.36	15.31	13.982	0.01	0.10	1.44	3.19	47.83	2.212	2.567	4.83	4.178	0.21	0.24	1.70	0.33	73.95	nd	0.25	0.98
990115-14	6.59	0.22	15.15	14.073	0.01	0.09	1.35	64.31	37.39	2.313	2.655	0.96	4.294	1.70	0.04	1.70	0.40	75.05	nd	0.08	250.42
990115-15	16.08	0.22	15.45	14.130	0.01	0.07	1.41	2.99	36.82	2.264	2.637	1.01	4.278	0.15	0.10	1.71	0.40	75.10	nd	0.25	0.89
990115-16	15.99	0.23	15.66	14.084	0.01	0.07	1.34	24.49	41.22	2.315	2.630	1.65	4.246	0.25	0.06	1.77	0.38	76.65	nd	0.24	5.15
990115-17	13.69	0.21	15.49	14.005	0.01	0.07	1.33	83.11	35.81	2.362	2.618	1.39	4.282	0.20	0.06	1.73	0.38	75.23	0.39	0.23	1.99
990115-18	13.47	0.21	15.27	13.920	0.01	0.07	1.27	11.14	32.43	2.290	2.573	0.94	4.201	0.21	0.03	1.68	0.40	74.99	nd	0.25	0.274
990115-19	17.16	0.24	15.58	14.071	0.01	0.07	1.30	3.29	34.38	2.334	2.633	2.01	4.273	0.33	0.07	1.71	0.34	75.15	nd	0.26	2.38
990115-20	13.93	0.20	15.99	14.539	0.01	0.09	1.28	5.33	31.53	2.345	2.718	1.79	4.425	0.26	0.05	1.73	0.41	76.80	nd	0.14	139.13
990115-21	16.85	0.48	15.86	14.366	0.04	0.09	1.34	257.62	45.14	2.300	2.699	1.27	4.388	7.90	0.36	1.73	0.39	76.61	nd	0.25	47.14
990115-22	17.68	0.19	15.15	13.933	0.01	0.07	1.33	5.74	37.78	2.338	2.623	1.50	4.324	0.52	0.04	1.69	0.43	74.93	nd	0.28	3.34
990115-23	14.58	0.24	14.39	13.286	0.01	0.07	1.28	3.07	36.67	2.306	2.481	1.53	4.019	1.08	0.04	1.61	0.45	71.28	nd	0.28	2.32
990115-24	12.98	0.23	14.18	13.416	0.01	0.07	1.37	3.22	47.41	2.267	2.518	1.70	4.112	0.28	0.06	1.61	0.42	70.66	0.09	0.24	3.01
990115-25	15.77	0.40	14.69	13.519	0.01	0.07	1.20	2.73	37.27	2.345	2.572	1.94	4.193	0.29	0.04	1.64	0.55	72.46	0.11	0.29	12.24
990115-26	12.44	0.31	14.81	13.984	0.02	0.08	1.24	58.87	43.22	2.264	2.631	0.98	4.288	0.32	0.12	1.64	0.56	73.88	nd	0.30	0.66
990115-27	6.61	0.20	14.84	13.972	0.01	0.08	1.19	20.02	42.71	2.377	2.651	1.31	4.309	0.41	0.03	1.71	0.62	74.60	nd	0.16	82.06
990115-28	6.18	0.19	14.08	14.689	0.01	0.09	1.32	3.09	75.02	2.369	2.657	4.20	4.583	0.19	0.03	1.74	0.52	78.86	nd	0.15	102.61
990115-29	7.44	0.45	14.68	14.866	0.02	0.14	1.20	1.93	84.86	2.450	2.686	6.06	4.453	0.47	0.11	1.83	0.46	76.67	nd	0.13	179.50
990115-30	16.41	0.27	15.49	15.115	0.01	0.90	1.39	2.51	39.01	2.278	2.856	1.49	4.682	0.07	0.02	1.65	0.39	79.77	nd	0.33	2.19
mean value	14.16	0.28	15.20	13.782	0.02	0.08	1.44	37.66	42.69	2.298	2.534	2.05	4.140	0.72	0.19	1.77	0.41	73.63	nd	0.21	38.67
990115-31	7.10	0.15	5.56	19.675	0.03	0.90	4.43	17.32	66.25	1.291	3.119	2.31	15.651	0.14	0.07	0.12	0.41	223.46	5.17	0.63	12.49

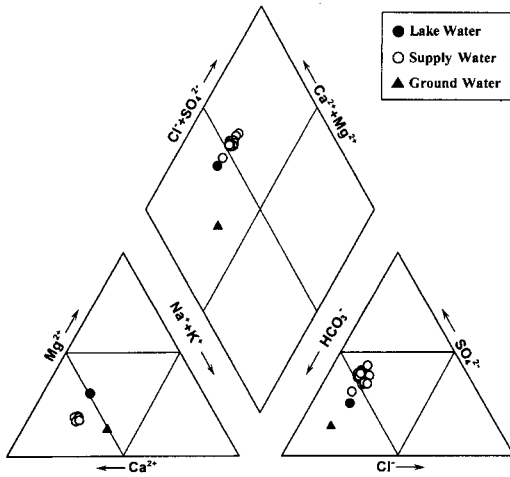


Fig. 4. Trilinear diagram showing some major chemical compositions of the supply waters.

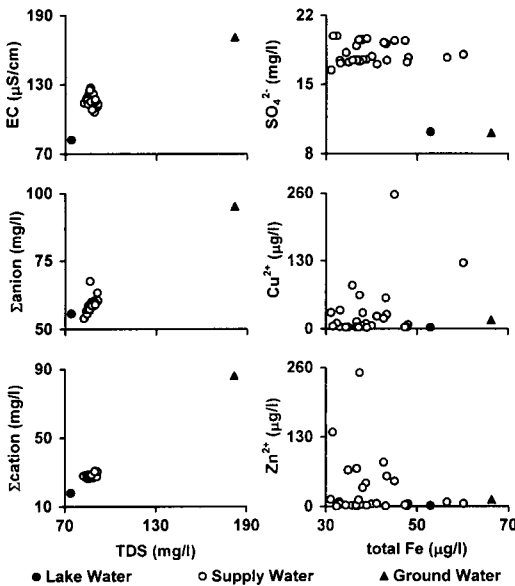


Fig. 5. Plots of EC, total anion and cation versus TDS, and SO_4 , Cu and Zn concentrations versus total Fe of the supply waters.

질에 영향을 받을 수 있는 용존이온들의 함량을 지표로 수리지구화학적 특성을 검토하였다. 일반적인 자연수는 이차적인 오염에 의하여 pH는 낮아지고 EC, 양이온 및 음이온의 총량과 TDS는 높아지는 것으로 알려져 있다. 그러나 Fig. 5에서 보는 바와 같이, 상수도 물의 모든 주성분 원소 함량은 거의 비슷하나 호수보다는 다소 높고 지하수보다는 조금 낮은 함량을 갖는다. 또한 주성분 원소의 함량과 pH의 변화도 특별한 상관성을 갖지 않았다.

한편 SO_4^{2-} 의 함량은 상수도 물에서 높으나, Fe의 함량은 오히려 상수도 물에서 낮다. 또한 Fe의 함량변화에 따른 SO_4^{2-} , Cu^{2+} 및 Zn^{2+} 의 거동은 아무런 경향이 없으나, 특정 시료에서 다소 부화된 특징이 있다 (Fig. 5). 일반적인 지표수와는 달리 상수도 물의 화학조성이 거의 변화하지 않는 것은, 지표수가 채수권 이후에 정수장을 거쳐 상수도로 공급되면서 자연적인 반응이 차단된 채 운반되기 때문일 것으로 판단된다. 그러나 배수관의 재질에 따라 일부 독성원소가 다소 부화된 것은 볼 수 있다.

이 독성원소의 종을 확인하고자 WATEQ4F (Ball, Nordstrom, 1992)를 이용하여 이들의 용존상태를 추정하였다. 각 시료에서 모든 중금속은 금속이온 단독 (M^{+2})으로 존재하는 것이 대부분이나, 일부 시료에서 CO_3^{2-} 및 OH기의 착이온 (complex ion)을 형성할 수 있을 것으로 나타났다. 한편 모든 시료에서 Al은 보통 $Al(OH)_2^-$ 와 $Al(OH)_4^+$ 로 산출될 것으로 추정되며, 황과 탄산이온은 각각 HCO_3^- 와 $H_2CO_3^0$ 및 SC_4^{2-} 와 HSO_4^- 가 비슷한 함량으로 존재할 것이 예상되었다.

연구대상 시료에서 침전광물 및 용존이온의 안정도와 상호반응을 알아보기 위하여 WATEQ4F를 이용하여 열역학적 함수들을 도출하였다 (Drever, 1988; Nordstrom, Munoz, 1986). 각각의 자료에서 계산된 혼수를 CaO, K_2O , MgO 및 Na_2O 와 $Al_2O_3-SiO_2-H_2O$ 계로 표현되는 열역학적 안정영역 (Helgeson, 1969; Nesbitt, 1977)에 연구시료의 안정범위를 도시하여 보았다. 이 시료들은 일반적인 지표수 및 지하수와 유사하게 고흥석 (kaolinite)의 안정영역에 포함되어 도시되었다 (Tardy, 1971; 유재영 등, 1994).

용존이온의 부화도

앞에서 검토한 바와 같이, 연구대상 건물의 상수도 물에 관한 물리화학적 요소들 중에 pH, Eh 및 EC는 일반적인 지표수와 거의 비슷한 특성과 상관도를 갖는다. 상관분석과 회귀분석을 실시한 결과, 주성분 양이온과 음이온도 거의 동일한 거동특성을 보이나 혼량변화가 크지 않아 특별한 의미는 없는 것으로 계산되었다. 이를 대상으로 물의 화학적 성분변화를 표현할 수 있는 여러 도표에 표시하여 보았으나, 일반적인 지표수 및 지하수의 경우와는 달리 거의 동일한 특성을 보였다. 그러나 일부시료 (No. 23)에서는 높은 NO_3^- (16.454 mg/l)이 포함되어 있기도 하다. 이는 이차적인 오염의 영향일 것이다.

상수도 물에 함유된 대부분의 이온들은 음용수의 수질기준치를 초과하지는 않으나, 대청호의 원수와 비교할 때 다소 부화된 특성을 갖는다. 특히 주성분 이온 중에서 HCO_3^- , F^- 및 Mg^{2+} 만이 호수에서 약간 높을 뿐이고, 모든 주성분 이온들은 상수도 물에서 부화되어 있다. 미량원소의 평균함량은 대청호의 물에 비하여 상수도 물 ($\text{Al}=14.16 \mu\text{g/l}$, $\text{As}=0.28$, $\text{Ba}=15.20$, $\text{Co}=0.08$, $\text{Fe}=42.69$, $\text{Mn}=2.05$, $\text{Se}=0.41$, $\text{U}=\text{nd}$ 및 $\text{V}=0.21$)에서 낮았으나, 일부 미량원소의 평균함량 ($\text{Cd}=0.02 \mu\text{g/l}$, $\text{Cr}=1.44$, $\text{Cu}=37.66$, $\text{Ni}=0.72$, $\text{Pb}=0.19$, $\text{Rb}=0.17$, $\text{Sr}=73.63$, $\text{Zn}=38.67$)은 상수도 물에서 높았다.

Table 4. Enrichment indices (EI) of the supply water at Chungnam National University, normalized by lake water composition from the Daecheong lake.

Sample number	major anions	major cations	toxic cations	total ions
990113-00	1.00	1.00	1.00	1.00
990115-01	1.05	1.48	25.82	1.20
990115-02	1.05	1.46	2.71	1.15
990115-03	1.06	1.47	2.18	1.16
990115-04	1.07	1.48	55.63	1.17
990115-05	1.07	1.51	10.71	1.18
990115-06	1.08	1.54	13.04	1.19
990115-07	1.05	1.53	2.63	1.16
990115-08	1.04	1.50	16.80	1.15
990115-09	1.02	1.50	13.98	1.13
990115-10	0.97	1.56	16.55	1.11
990115-11	1.02	1.58	8.69	1.17
990115-12	1.21	1.58	8.28	1.17
990115-13	1.02	1.57	0.82	1.15
990115-14	1.02	1.59	0.20	1.16
990115-15	1.06	1.58	0.82	1.18
990115-16	1.04	1.59	5.75	1.17
990115-17	1.04	1.59	16.71	1.17
990115-18	1.07	1.57	2.39	1.19
990115-19	1.00	1.59	1.24	1.14
990115-20	1.08	1.63	28.29	1.20
990115-21	1.09	1.61	61.35	1.22
990115-22	1.06	1.58	1.86	1.18
990115-23	1.14	1.53	1.20	1.23
990115-24	1.03	1.52	1.24	1.15
990115-25	1.05	1.55	3.00	1.17
990115-26	1.03	1.58	11.82	1.16
990115-27	1.05	1.59	20.08	1.18
990115-28	1.08	1.69	20.82	1.23
990115-29	1.07	1.71	35.78	1.21
990115-30	1.06	1.70	1.20	1.21
mean value	1.05	1.56	13.05	1.17
990115-31	1.71	4.78	5.71	2.46

이를 명확히 규명하고자 분석된 모든 상수도 물을 대청호 원수의 조성으로 표준화하여 각각의 부화지수 (enrichment index; EI)를 구하였다. 부화지수는 다변수 자료를 단순화시키기 위한 방법 (Nimick, Moore, 1991)으로 산술평균치로 하였다. 따라서 1 이상인 경우는 부화로 1 이하는 결핍으로 나눌 수 있다. 상수도 물에 용존된 부화지수의 평균치는 각각, 주성분 음이온=1.05, 주성분 양이온=1.56, 독성 양이온 ($\text{Cu}+\text{Ni}+\text{Zn}$)=13.05 및 용존이온의 총량=1.17 이다 (Table 4). 모든 시료에서 일반적인 음용수의 수질기준을 초과하는 경우는 없었으나, 거의 모든 성분이 상수도 물에서 부화되어 있다. 특히 $\text{Cu}+\text{Ni}+\text{Zn}$ 의 함량이 월등히 부화된 것은 아래의 설명과 같이 배수 및 급수관의 재질에 의한 영향일 것이다.

대청호의 원수로 표준화한 교내 지하수의 부화지수는 주성분 음이온=1.71, 주성분 양이온=4.78, 독성 양이온 ($\text{Cu}+\text{Ni}+\text{Zn}$)=5.71 및 용존이온의 총량=2.49 이다 (Table 4). 또한 지하수에서는 지표수 및 상수도 물에 비하여 높은 함량의 $\text{Co}(0.90 \mu\text{g/l})$, $\text{Cr}(4.43)$, $\text{Fe}(66.25)$, $\text{Sr}(223.46)$, $\text{U}(5.17)$ 및 $\text{V}(0.63)$ 가 검출되었으나, 음용수의 수질기준을 초과하지는 않는다. 이 지하수는 주성분 양이온과 음이온의 함량 및 거동으로 보아 대청호의 지표수 또는 상수도 물과는 전혀 다른 화학적 진화경향을 갖는 것이다.

중금속의 여과효과

대부분의 일반시민은 상수도 물을 생활용수와 음용수로 이용하고 있다. 그러나 이차적인 재처리과정을 거치지 않고 직접 마시는 경우는 거의 없을 것이다. 이는 오랜 습관일수도 있으나 상수도 물의 품질을 확신하지 못하기 때문인 경우도 있을 것이다. 따라서 각종 정수기 또는 살균기계를 이용하며 대부분의 가정에서는 끓인 물을 마시는 실정이다. 한편 모든 물의 화학 분석에서는, 앞에서 언급한 바와 같이, 정해진 방법에 의하여 여과하고 분석의 전처리과정을 거친다. 여기에서는 일부 상수도 물을 대상으로 특정원소에 관한 여과효과를 살펴 보았다.

이 연구에서 분석된 모든 시료들은 $0.45 \mu\text{m}$ 공극의 질산염 섬유소 여과지를 이용하여 부유물을 완전히 제거한 것이다. 이 여과지를 건조하면 회백색, 담황색 또는 적갈색의 부유물과 침전물이 흡착되어 있는 것을 쉽게 발견할 수 있다. 이 침전물들의 색도는 여과한 물의 양에 따라 조금 다르기는 하나 채수장소에 따라

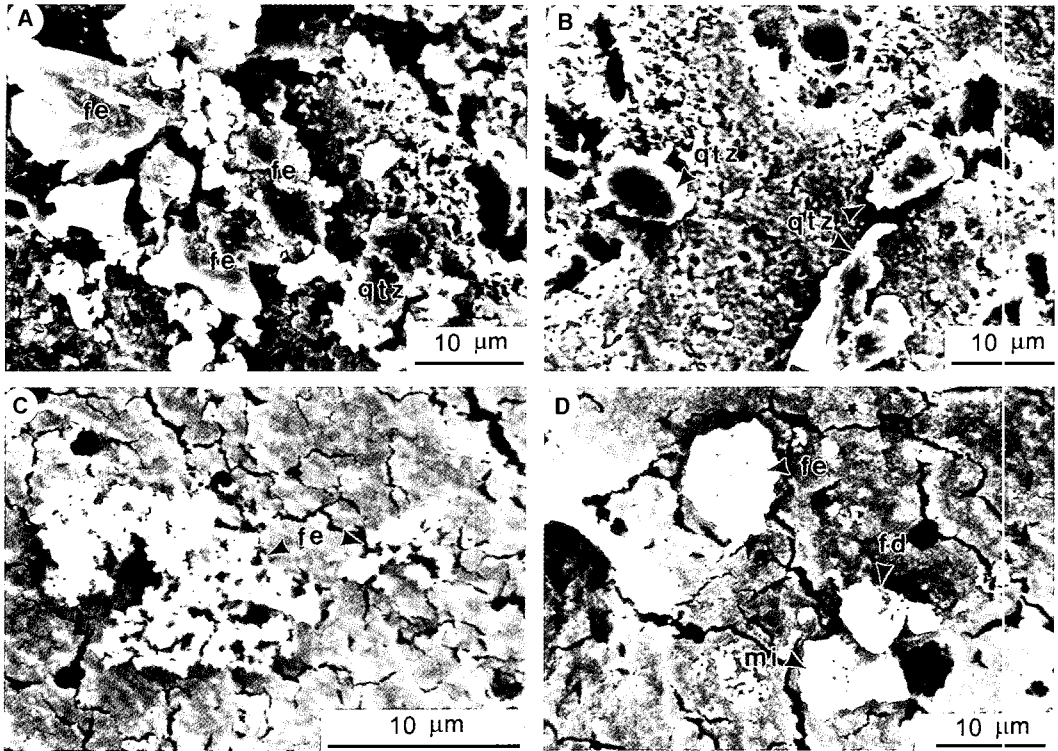


Fig. 6. Microphotographs of scanning electron microscope for the metal compounds and minerals filtered from the supply water. A; irregular shaped particles of the Fe-Cu-Ni-Zn compounds (fe) and quartz (qtz). B; colloidal Fe-Cu-Zn compounds and irregular shaped quartz grains. C; colloidal groundmass and tiny globular aggregates (fe) of the Fe-Cu-Zn compounds. D; colloidal groundmass and tiny particles (fe) of the Fe-Cu-Zn compounds, K-feldspar (fd) and mica (mi) grains.

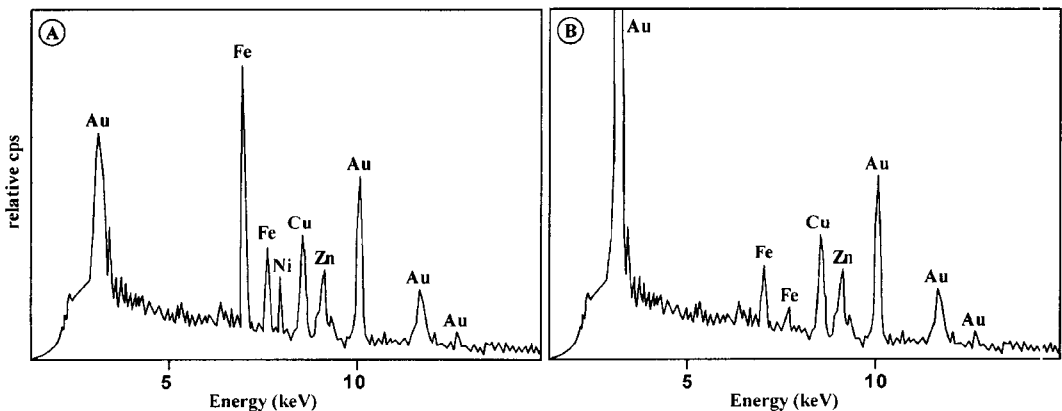


Fig. 7. Results of energy dispersive X-ray microanalysis for the metal compounds filtered from the supply water. A; the composition showing particles of the Fig. 6A. B; the composition showing particles of the Fig. 6C. The Au peaks are coating effects.

큰 차이를 갖는다. 이는 상수관망의 재질, 노후도 및 미생물에 영향을 받는 것으로 판단된다. 그러나 거의 모든 상수도 물에서 2~3분 정도만 흘려보내면 색도가 높은 대부분의 부유물은 완전히 제거되었다.

이를 관찰하기 위하여 주사전자현미경을 이용하였다. 일반적으로 500 ml의 상수도 물을 여과하였을 때 0.02~0.2 mm 두께의 침전물이 생성되었다. 장소에 따라 0.5 mm 이상의 침전물이 쌓이는 경우도 있으나

대부분은 0.15 mm 미만의 두께를 갖는다. 이들을 상세히 관찰하면 1 μm 미만의 콜로이드상 비정질 입자가 서로 흡착되어 있는 것을 볼 수 있다 (Fig. 6). 일부 시료에서는 5~10 μm 정도의 철화합물과 석영, 장석 및 운모류와 같은 규산염 광물도 입자상태로 관찰된다. 광물을 제외한 모든 화합물들의 전체적인 조성은 Fe-Cu-Zn의 복합화합물이나, 부분적으로 Ni이 검출되기도 한다 (Fig. 7). 일부 시료에서는 Pb가 검출되기도 하였다. 화합물들의 순수무게는 0.01~3.20 mg/l의 범위이나 대부분은 1.0 mg/l 미만으로서 시료에 따라 차이가 있을 뿐 모든 건물에서 거의 동일한 산출상태와 화학조성을 보였다.

이를 정량적으로 검토하기 위하여 동일시료 16개에 대하여 여과전후의 조성변화를 분석하였다. 대부분의 주 성분 원소와 미량원소는 여과의 여부에 따른 조성변화는 없었으나 Cu, Fe 및 Zn은 여과하지 않은 시료에서 월등히 높은 함량을 갖는다 (Table 5). 특히 Fe 이온은 여과하지 않은 물에서 평균 168.52 μg/l이었으나 여과한 물에서는 42.58 μg/l로서 75% 정도는 제거되는 것으로 나타났다. 그러나 다른 이온들에서는 여과효과가 뚜렷하지 않은 것으로 분석되었다 (Fig. 8). 특히 여과를 통하여 Cu는 평균 28.16 μg/l가 Zn은 평균 22.98 μg/l가 감소한 것으로 나타났으나 As, Ni, Mn 및 Pb는 여과에 따른 특별한 함량변화를 보이지 않았다.

연구시료의 수질을 국내외에 알려진 음용수의 수질

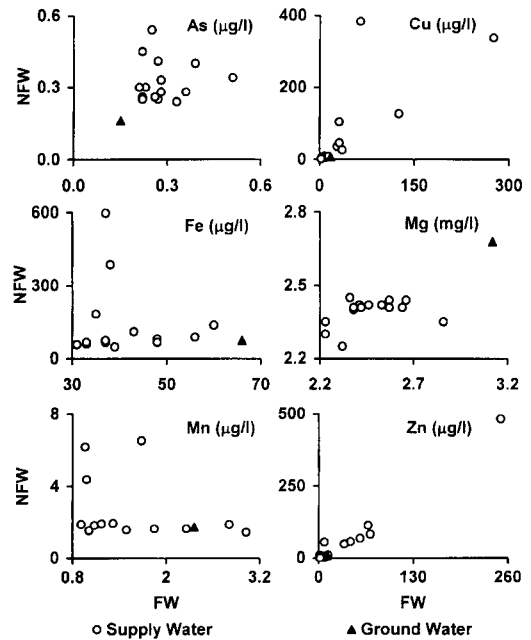


Fig. 8. Diagrams showing the concentration variation of some elements between non-filtered water (NFW) and filtered water (FW) from the same sites of the supply water.

기준으로 표준화 할 때, 모든 물들은 여과효과에 관계없이 아주 양호한 상태이다. 그러나 대청호의 상류에는 폐광산이 산재하며 광폐수의 영향권에 분포하는 토

Table 5. Selected cation constituents for both filtered and non-filtered supply water at Chungnam National University.

Sample Number	Al (μg/l)		As (μg/l)		Cu (μg/l)		Fe (g/l)		Mg (mg/l)		Mn (μg/l)		Zn (μg/l)	
	FW	NFW	FW	NFW	FW	NFW	FW	NFW	FW	NFW	FW	NFW	FW	NFW
990115-01	20.06	22.06	0.38	0.40	125.71	125.76	60.02	137.16	2.237	2.346	2.80	1.84	5.39	5.78
990115-02	22.79	25.70	0.50	0.34	8.12	9.74	48.12	81.36	2.232	2.300	2.26	1.63	4.81	5.13
990115-04	17.05	20.03	0.33	0.24	275.41	337.11	56.56	88.16	2.360	2.452	1.32	1.93	8.25	55.02
990115-05	5.44	17.96	0.22	0.26	10.20	5.88	38.82	602.04	2.409	2.424	6.40	9.45	43.70	56.95
990115-06	11.00	20.33	0.24	0.54	31.14	103.61	38.12	385.85	2.322	2.253	1.68	6.53	34.79	47.29
990115-07	16.06	22.59	0.28	0.33	4.02	3.37	33.00	59.62	2.423	2.410	3.03	1.44	8.80	2.81
990115-08	16.39	21.30	0.27	0.25	14.14	9.28	36.84	65.66	2.384	2.403	1.85	1.64	70.87	81.98
990115-09	10.80	17.23	0.26	0.26	3.36	2.88	34.89	183.44	2.376	2.414	0.98	4.37	68.03	113.67
990115-10	14.47	20.89	0.23	0.30	27.82	35.97	43.41	110.65	2.462	2.420	1.08	1.82	56.45	69.26
990115-11	15.31	21.77	0.27	0.28	31.35	45.55	31.10	56.81	2.526	2.422	1.17	1.90	13.32	8.87
990115-12	15.79	22.07	0.21	0.30	35.65	27.11	33.13	66.77	2.567	2.435	0.91	1.88	4.99	4.41
990115-13	17.22	22.21	0.33	0.28	3.19	3.99	47.83	66.67	2.567	2.408	4.83	1.97	0.98	1.72
990115-14	6.59	24.77	0.21	0.25	64.31	382.92	37.39	596.60	2.655	2.442	0.96	6.19	250.42	483.83
990115-15	16.08	22.01	0.22	0.45	2.99	5.63	36.82	73.51	2.637	2.410	1.01	1.54	0.89	8.21
990115-30	7.10	1.28	0.14	0.16	17.32	7.49	66.25	73.81	3.119	2.675	2.30	1.73	12.49	8.75
990115-31	16.40	33.61	0.27	0.41	2.51	1.62	39.01	48.26	2.856	2.349	1.49	1.57	2.18	0.47

FW; filtered supply water by 0.45 μm pore-size cellulose nitrate paper, NFW; non-filtered supply water of the same as those of FW

양에서도 경작을 하고 있고, 민가의 음용수에도 많은 영향을 끼치고 있다 (이찬희, 이현구, 1997). 또한 상수도 물의 대부분은 오수의 유입, 건축물, 배수관 및 급수관의 노후로 인하여 탁도의 증가, 녹의 발생 또는 미생물의 성장과 같은 많은 문제점을 가지고 있는 것이 현실이다. 따라서 상수도 물의 이차적인 오염문제, 오염확산의 방지 및 수질개선을 위한 기술개발이 필수적이며, 시민들이 안심하고 상수도 물을 이용할 수 있는 홍보와 장기적인 대책수립이 필요할 것이다.

결 언

1. 1999년 1월에 채취한 충남대학교내 상수도 물은 온도=14.1 °C, pH=6.95, Eh=0 mV, EC=117 µS/cm, TDS=86.975 mg/l로서 일반적인 음용수의 기준을 만족한다. 이는 대청호의 원수에 비하여 조금씩 높은 값이다.

2. 상수도 물의 양이온 특성은 Ca²⁺ 영역에 속하나, 호수에서 Mg²⁺가 교내의 지하수에서는 Na⁺가 부화되어 있다. 호수와 지하수의 음이온 특성은 HCO₃⁻ 형에 속하며 상수도 물은 HCO₃⁻-SO₄²⁻ 형에 걸쳐 분포한다.

3. 지구화학적 모델링을 통하여 규명된 상수도 물에 함유된 잠재적 독성원소들은 대부분 단독 양이온 (M²⁺)으로 존재하나 일부는 탄산염 (CO₃⁻) 또는 수산화물 (OH⁻) 상태의 복합음이온으로 존재한다. 이들은 또한 일반적인 지표수와 비슷한 고령석의 안정영역에 포함되었다.

4. 호수의 조성으로 표준화한 상수도 물의 평균 부화지수는 주성분 음이온=1.05, 주성분 양이온=1.56, 독성 양이온=13.05, 이온총량=1.17 이다. 모든 시료에서 음용수의 수질기준을 초과하는 경우는 없으나, 거의 모든 성분이 상수도 물에서 부화되어 있다. 지하수의 부화지수는 주성분 음이온=1.71, 주성분 양이온=4.78, 독성 양이온=5.71, 이온총량=2.49 이다.

5. 상수도 물의 분석을 위한 여과지에는 담황색 또는 적갈색의 부유물과 침전물이 흡착되었다. 대부분은 1 µm 미만의 콜로이드상 입자로 0.02~0.2 mm 정도 피복되어 있으며 전체적인 조성은 Fe-Cu-Zn의 복합화합물이나, 부분적으로 Ni와 Pb가 검출되기도 한다. 이들은 무게는 0.01~3.20 mg/l로 양적인 차이만 있을 뿐 모든 시료에서 거의 동일한 산출상태와 화학조성을 갖는다.

6. 주성분 원소와 미량원소의 대부분은 여과에 따른 조성변화가 거의 없었으나 Cu, Fe 및 Zn은 여과하지

않은 시료에서 월등히 높은 함량을 보였다. 특히 Fe는 여과전의 물에서 평균 168.52 µg/l이었으나 여과한 물에서는 42.58 µg/l로서 여과효과가 탁월한 것으로 나타났다. 그러나 여과하지 않은 시료에서도 음용수의 수질기준을 초과하는 물은 없었다.

7. 이 연구에서 제시된 음이온 및 양이온의 분석자료로 보아 충남대학교 공동실험실습관에 설치된 ICP-MS와 IC는 수질분석을 위한 분석신뢰도, 검량선 및 분석한계가 검증된 것으로 평가할 수 있다.

사 사

이 연구는 1999년도 한국과학재단에서 지원한 특성화장려사업 (고가특수연구기기)에 의하여 이루어 졌음을 밝히며 이에 감사한다. 원고의 심사와 건설적인 비평을 가해주신 서울대학교 전효택교수님과 한양대학교의 김선준 교수님께 깊은 사의를 표한다.

참고문헌

- 권수환, 권영순, 김영상, 박기채, 윤영자, 차기원, 최희선 (1999) 기기분석의 원리. 자유아카데미, p. 1-21.
- 박석기, 안승구, 업석원 (1996) 해설 먹는 물의 수질관리-약수, 생수, 먹는 물 및 먹는 샘물. 동화기술, p. 63-98, p. 147-194.
- 유재영, 최인규, 김형수 (1994) 춘천지역의 기반암 종류에 따른 지표수의 지구화학적 특성. 지질학회지, 30권, p. 307-324.
- 이종형 (1996) 최신 상하수도공학. 구미서관, 192p.
- 이찬희, 이현구 (1997) 대청호 상류, 회남일대에 분포하는 탄질 변성니질암과 하상퇴적물의 환경유해원소에 관한 지구화학적 거동, 분산 및 부화. 자연환경지질, 30권, p. 209-222.
- Ball, J.W. and Nordstrom, D.K. (1992) User manual for WATEQ4F, with revised thermodynamic data base and test cases for calculating speciation of major, trace and redox elements in natural waters. USGS, Open File Report, 91-183, 189p.
- Drever, J.I. (1988) The geochemistry of natural waters. 2nd ed., Prentice-Hall, New Jersey, 438p.
- Helgeson, H.C. (1969) Thermodynamics of hydrothermal system at elevated temperatures and pressures. Amer. Jour. Sci., v. 267, p. 729-804.
- Nesbitt, H.W. (1977) Estimation of the thermodynamic properties of Na-, Ca-, and Mg-beidellites. Can. Miner., v. 15, p. 22-30.
- Nimick, D.A. and Moore, J.N. (1991) Prediction of water-soluble metal concentrations in fluvially deposited tailings sediments, upper Clark Fork valley, Montana, USA. Applied Geochem., v. 6, p. 635-646.
- Nordstrom, D.K. and Munoz, J.L. (1986) Geochemical thermodynamics. Blackwell Sci. Publ. Co., 477p.
- Piper, A.M. (1944) A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analyses. Trans. Amer.

- Geophy. Union, v. 25, p. 914-923.
- Ramsey, M.H., Thompson, M. and Banerjee, E.K. (1987) Realistic assessment of analytical data quality from inductively coupled plasma atomic emission spectrometry. *Anal. Proc.*, v. 24, p. 260-265.
- Skoog, D.A., Holler, F.J. and Nieman, T.A. (1998) *Principles of instrumental analysis*. 5th ed., Harcourt Brace and Co., 752p.
- Tardy, Y. (1971) Characterization of the principal weathering types by the geochemistry of waters from some European and African crystalline massifs. *Chem. Geol.*, v. 7, p. 253-271.
-
- 2000년 2월 30일 원고접수, 2000년 6월 9일 게재승인.