

대전광역시 지하수의 수리화학 특성 및 오염에 대한 토지이용 형태 및 도시화의 영향

정찬호 · 김은지

대전대학교 지구시스템공학과

chjeong@dragon.ac.kr · w2ndy@lycos.co.kr

요약문

This study has investigated the chemical characteristics and the contamination of groundwater in relation to land use in Daejeon Metropolitan City. An attempt was made to distinguish anthropogenic inputs from the influence of natural chemical weathering on the chemical composition of groundwater at Taejon.

Groundwater samples collected at 170 locations in the Taejon area show very variable chemical composition of groundwater, e.g. electrical conductance ranges from 65 to 1,290 S/cm. Most groundwater is weakly acidic and the groundwater chemistry is more influenced by land use and urbanization than by aquifer rock type. Most of groundwater from green areas and new town residential districts has low electrical conductance, and is of Ca-HCO₃ type, whereas the chemical composition of groundwater from the old downtown and industrial district is shifted towards a Ca-Cl (NO₃+SO₄) type with high electrical conductance. A number of groundwater samples in the urbanized area are contaminated by high nitrate and chlorine, and exhibit high hardness. The EpCO₂, that is the CO₂ content of a water sample relative to pure water, was computed to obtain more insight into the origin of CO₂ and bicarbonate in the groundwater.

Factor analysis of the chemical data shows that the HCO₃ and NO₃ concentrations have the highest factor loadings on factor 1 and factor 2, respectively. Factors 1 and 2 represent major contributions from natural processes and human activities, respectively. The results of the factor analysis indicate that the levels of Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, Cl⁻ and SO₄²⁻ derive from both pollution sources and natural weathering reactions.

Keywords: groundwater; anthropogenic input; land use; Daejeon; EpCO₂; factor analysis.

1. 서론

대전광역시는 인구 약 135만 명의 면적 540 km²의 대도시이다(Daejeon City, 1999; 2000). 대전시는 1935년 이후로 도시의 확장과 인구의 증가가 급격하게 이루어진 도시이다. 대전시에는 현재 약 22,000개의 지하수공이 있고, 연간 34.5백만톤의 지하수를 이용하고 있다(Daejeon City, 2000). 그러나 대도시에는 많은 잠재오염원의 존재로 지하수의 수질오염이 중요한 문제가 되고 있다. 본 연구의 목적은 대전시의 도시화와 토지 이용에 따른 지하수의

수리화학적 특성과 오염에 대한 영향을 밝히는데 있다. 아울러 지하수의 수리화학적 특성을 결정된 자연적 반응과 인위적 오염의 영향을 알아보는데 있다.

2. 연구방법

대전지역 170개 지하수에 대해서 현장측정 및 양이온 음이온 성분을 분석하였다. 지하수 내 $EpCO_2 = (AlkEq/l + 10(6-pH) - 10(6-pH_{endpoint})) * 10(6-pH) / 6$ (Neal et. al., 1998a; 1998b) 를 계산하여 지하수의 유기오염의 영향을 해석하였다. 지하수의 화학자료에 대한 요인분석을 실시하여 지하수의 수리화학적 특성을 결정된 자연적 반응과 인위적 오염에 대한 구분을 시도하였다(Brown, 1998). 아울러 다른 화강암지역 먹는샘물 지하수의 수리화학적 특성과 비교하였다.

3. 결과 및 토의

대전시 지하수의 화학성분은 전기전도도가 65~1,259 $\mu S/cm$ 범위를 보이고, pH는 대부분 약산성화 되어 있다. 지하수의 화학적 특성은 대수층의 암석특성에 의한 물-암석 상호반응보다는 토지의 이용형태와 도시화와 밀접한 관계를 보여준다. 즉, 공원, 그린벨트, 자연녹지대 및 신도시지역의 지하수는 낮은 전기전도도와 Ca-HCO₃ 유형의 화학특성을 보인다. 반면에 구도심권의 상업지역, 주거지역, 공단지역등의 지하수는 Ca-Cl (NO₃+SO₄) 유형으로 질산성질소에 의한 오염이 상당히 진행된 높은 전기전도도를 보인다. 토지이용별 지하수의 수리화학적 특성은 표 1에서 제시되었다. 지하수의 주요 오염원은 도심권의 하수관거, 정화조, 폐기물 매립지 등인 것으로 보인다.

지하수 화학분석자료에 대한 요인분석을 실시하여 3개의 요인을 추출하였다. 요인 1에 속하는 성분은 HCO₃⁻, Ca²⁺, Mg²⁺ and SO₄²⁻ 으로 자연적 반응의 영향이 더 큰 것으로 보인다. 요인 2에 속하는 성분은 NO₃⁻, Na⁺, Cl⁻ and SiO₂, 등은 자연적 반응보다는 인위적 오염에 더 큰 영향을 받은 것으로 보인다.

대전시 지하수의 $EpCO_2 = (AlkEq/l + 10(6-pH) - 10(6-pH_{endpoint})) * 10(6-pH) / 6$ 를 계산하여 본 결과 대기평형 값(CO₂ 압력, 10^{-3.5} atm)보다 1-499배의 높은 값을 보여준다. 토양대의 이산화탄소 분압을 계산하더라도 일부 높은 $EpCO_2$ 값을 보이는 지하수는 유기오염에 영향을 받은 지하수로 판단된다. 이는 지하수의 화학적 유형 및 토지이용과도 깊은 관계를 보인다.

화강암지역 먹는샘물 지하수(KIGAM, 1998)와 대전시 지하수의 성분을 비교해 본 결과, 대전지역 지하수의 화학성분은 물-암석에 의한 자연적 반응뿐만 아니라 인위적 오염원에 의한 영향에도 크게 노출된 것으로 보인다.

4. 결론

대전시 지하수의 수리화학적 특성은 토지이용의 형태와 도시화 과정에 의한 영향이 매우 크다. 화학분석, 요인분석, 이산화탄소의 분압, 먹는샘물과의 성분 비교 등을 종합하면 구도심권의 지하수는 높은 전기전도도와 Ca-Cl (NO₃+SO₄) 유형의 화학적 특성으로 수리화학적 특성이 물-암석 상호반응에 의한 영향보다는 인위적 오염원의 영향이 더 큰 것으로 판단되고, 녹지지역이나 신도시지역의 지하수는 낮은 전기전도도와 함께 Ca-HCO₃ 의 화학적 유형으로 자연적 반응에 의해 수리화학적 영향을 더 크게 받은 것으로 보인다.

5. 참고문헌

Brown, C. H., 1998. Applied multivariate statistics in geohydrology and related sciences,

Springer-Verlag, 248pp.

Korea Institute of Geology, Mining and Materials, 1998. A study on establishment of management system of potable mineral water (I), Ministry of Environment, 165pp (in Korean).

Neal, C., House, W. A. and Down, K., 1998. An assessment of excess carbon dioxide partial pressures in natural waters based on pH and alkalinity measurements. The Science of the Total Environment 210/211. 173-185.

Neal, C., House, W. A., Jarvie, H. P. and Eatherall, A., 1998. The significant of dissolved carbon dioxide in major lowland rivers entering the North Sea. The Science of the Total Environment 210/211. 187-203.

Daejeon Metropolitan City, 1999. The plan for rearrangement of Taejon City, 272pp (in Korean).

Daejeon Metropolitan City, 2000. Long-term plan for groundwater management in Taejon City, 531pp (in Korean).

표 1. 대전광역시 토지이용에 따른 지하수 화학성분의 특성

(단위 : mg/l)

토지이용		pH	EC (μ S/cm)	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	SiO ₂
개발제한 구역 (14)*	평균	6.94	188	9.26	1.30	24.3	4.77	79.5	7.71	9.49	11.6	24.9
	최대값	8.05	454	17.5	2.76	61.4	18.9	165	32.5	28.9	63.1	34.4
	최소값	6.05	74.9	4.12	1.32	9.57	0.54	25.2	1.40	0.35	0.62	15.7
녹지지역 (33)*	평균	6.47	332	32.9	1.54	49.1	11.21	128	59.7	15.2	31.5	34.5
	최대값	8.76	903	54.3	3.64	111	20.0	196	151	167	72.8	55.8
	최소값	5.84	56.0	6.72	0.37	3.46	0.75	21.1	1.57	0.45	0.43	2.55
공원 (21)*	평균	6.52	157	11.0	1.38	17.3	2.99	57.4	12.1	8.54	7.01	25.4
	최대값	7.32	666	30.9	5.94	74.1	15.4	227	87.3	47.7	49.1	40.9
	최소값	5.87	52.8	5.71	0.46	3.21	0.44	14.2	1.59	0	0	1.03
상업지역 (12)*	평균	7.06	383	56.6	1.92	26.6	2.29	107	41.0	27.6	30.0	20.3
	최대값	8.54	743	102	8.53	79.3	11.4	181	85.5	129	87.3	38.9
	최소값	5.79	120	5.93	0.33	1.17	0.07	25.7	11.5	0	7.98	2.55
주거지역 (108)*	평균	6.69	367	22.3	2.11	43.8	6.33	102	37.9	27.0	27.4	29.7
	최대값	8.97	1290	75.1	13.2	119	26.2	312	492	152	102	46.4
	최소값	5.77	71.6	5.60	0.10	4.60	0.11	21.2	1.86	0	0.96	2.70
공업지역 (7)*	평균	6.53	507	36.7	2.55	54.3	9.61	174	47.4	8.40	30.9	36.9
	최대값	6.93	674	54.5	3.96	86.2	13.3	272	85.7	23.3	55.6	43.0
	최소값	6.24	183	12.2	1.12	21.7	2.72	58.6	7.21	0	4.33	27.4

* 지하수공 개수