

표준화 기법을 이용한 금정산-백양산 일대 용천수 성분의 공간적 분포 양상

함세영¹⁾ · 이병대²⁾ · 정재열¹⁾ · 류상민¹⁾

1. 서 론

금정산-백양산 일대에는 약 70여개소의 용천수(일반인들은 약수라고 부름)가 산출하고 있다. 본 지역의 용천수는 특별한 용존물질의 함량이 높지는 않지만 많은 부산시민이 애용하고 있다. 그러나, 환경오염의 잠재성이 높아지면서 이 지역 용천수의 오염 가능성도 점점 높아지고 있다. 본 연구지역은 금정산-백양산 일대로서 행정구역상으로는 금성동, 금곡동, 화명동, 덕천동, 만덕동, 구포동, 모라동, 덕포동, 폐법동, 감전동, 주례동, 개금동, 당감동, 부암동, 초읍동, 사직동, 온천동, 장전동, 구서동, 남산동, 청룡동을 포함하는 지역이다. 본 연구에서는 2001년 1월 11일부터 1월 19일까지 연구지역의 단층 파쇄대 또는 균열대를 따라서 용출하는 약수 중 60개소와 심도 100m 내외의 지하수공 6개소에 대하여 물리화학적 성분(수온, pH, EC(전기전도도), TDS(총고용물질), 염분농도, Eh(산화-환원전위), DO(용존산소), 알칼리도, 용출량)를 측정하였다. 그리고 용천수가 산출하는 해발고도와 물리화학적 성분의 상관성을 검토하고 지역적인 분포양상을 파악하고자 하였다.

공간적인 분포 양상을 파악하기 위해서는 요즘 지구통계학적 방법으로서 크리깅이 가장 널리 쓰이고 있다. 크리깅은 최선의 선형 불편추정자(Best Linear Unbiased Estimator, BLUE)를 제공하는 방법이다. 크리깅을 하기 위해서는 먼저 공간상에 분포하는 임의의 두 자료간의 차이의 분산인 반베리오그램을 이용하여 자료들의 공간상 분포특성과 연속성을 파악하여야 한다. 크리깅은 조건에 따라 정규크리깅, 코크리깅, 만능크리깅 등이 있다. 반베리오그램에서 자료의 특성이 정상적(stationary)인 경우에는 정규크리깅을 하게 된다. 그러나 거리에 따라 반베리오그램이 증가하거나 감소하는 경우에는 만능크리깅을 하게 된다.

용천수의 물리화학적 성분은 암상, 지질구조, 고도 등과 관련될 것이나, 본 연구에서는 측정된 물리화학적 성분만을 이용하여 크리깅을 한 후에 계산된 값들을 표준화하여 성분들의 공간적인 분포와 성분들의 이상대를 파악하고자 하였다.

2. 일반통계분석

일반통계분석을 위하여 각 성분별로 최소값, 최대값, 평균값, 중앙값, 표준편차, 분산, 왜도, 첨도를 구하였다(Table 1). 온도는 1.0~15.7℃의 범위를 보이는데 용천수가 기온의 영향을 받지 않을 때는 용천수의 온도가 10℃ 이상을 보이는 것일 것이나 곳에 따라 나타나는 낮은 온도는 겨울의 기온의 영향을 받고 있음을 나타낸다. 왜도와 첨도는 음의 값을 보이거나 왜도는 거의 0에 가깝고 첨도는 정규분포보다는 약간 평평한 분포를 보인다.

주요어: 표준화 기법, 금정산-백양산, 물리화학적 성분, 지구통계학적 기법, 정규크리깅

1) 부산대학교 지구환경시스템학부(hsy@pusan.ac.kr)

2) 한국지질자원연구원 환경지질연구부

pH는 5.06~8.38의 범위를 보인다. 평균값은 6.51이고 중앙값은 6.58이다. 왜도와 첨도는 거의 0에 가깝거나 양의 값을 나타낸다. Eh는 64.2~685.9mV의 범위를 보인다. 평균값은 285.1mV이고 중앙값은 291.0mV이다. 왜도와 첨도를 보면, 둘 다 양의 값을 보인다. DO의 범위는 4.51~12.13mg/l이고, 평균값과 중앙값은 각각 7.65mg/l와 7.77mg/l이다. DO는 대수정규분포보다 정규분포에 보다 더 가까운 형태를 보인다. 왜도와 첨도는 각각 양과 음의 값을 보인다.

EC 값의 범위는 9.5~270 μ S/cm를 보이며, 평균값과 중앙값은 각각 91.2 μ S/cm와 83.3 μ S/cm이다. TDS의 범위는 4.0~128.0mg/l이고 평균값과 중앙값은 각각 42.62mg/l와 38.50mg/l이다. EC와 TDS는 서로 직선적인 비례관계를 나타낸다. EC와 TDS는 정규분포보다는 대수정규분포에 가까운 형태를 보인다. 대수값의 왜도와 첨도는 각각 음과 양의 값을 보인다.

용출량의 범위는 4.26~182.2ml/sec로서 곳에 따라 큰 차이를 보이고 있다. 평균값과 중앙값은 각각 53.1ml/sec와 32.1ml/sec이다. 용출량은 정규분포보다는 대수정규분포에 더 가까운 형태를 보인다. 대수값의 왜도와 첨도는 둘 다 음의 값을 보인다.

3. 표준화 기법을 병용한 크리깅 분석

물리화학적 성분의 공간적 분포특성을 파악하기 위하여 지구통계학적 기법인 크리깅을 이용하였다. 크리깅은 원래 남아공화국의 광산공학자인 Krige가 광산개발에 적용하기 위해서 개발한 방법이나, Matheron(1969)이 지구통계학적 기법으로 발전시켰다. 본 연구에서는 자료들이 정규분포 또는 대수정규분포에 가까우므로 정규크리깅을 적용하였다. 정규크리깅 기법을 이용하여 DO, pH, 온도, Eh, TDS, 염도, 알칼리도, 용출량에 대해 반베리오그램을 구한 결과 지수형 모델, 구상형 모델도 있으나, 가우스 모델이 우세하다. 반베리오그램을 근거로 각 성분에 대해서 정규크리깅을 수행하여 공간적인 분포도를 작성하였다. 그러나, 성분들 간의 상대적인 비교를 위해서는 구해진 값을 표준화할 필요성이 있다. 표준화된 값 Z는

$$Z = \frac{X_i - \bar{X}}{s} \quad (1)$$

와 같다(Davis, 1986; Hong and Rosen, 2001). 여기서, X_i 는 자료값, \bar{X} 는 평균값, s는 표준편차이다.

앞에서 구한 정규크리깅 및 표준화기법 이용하여 각 성분의 공간적인 분포도를 작성하였다. 정규크리깅만으로 작성한 분포도와 표준화기법을 병용한 분포도 사이에는 조금씩 차이를 보이고 있다. 이는 자료의 분포가 정규분포 또는 대수정규분포를 이루지 않기 때문이다. DO는 구서동, 남산동, 개금동에서 고 이상대를 보이고, 금곡동, 화명동에서 저 이상대를 보였다. 높은 DO값은 산소를 소모하는 유기물 따위가 비포화대 내의 다른 지역에 비해 작음을 암시한다. 일반적으로 지하로 침투하는 물속에 들어 있던 용존산소가, 비포화대를 통해 그 하부로 침투할 때, 대부분의 용존산소는 유기물과 반응하여 산화되므로, 깊은 곳에 저유된 지하수 속에는 용존산소의 함량이 적다.

pH의 경우 남산동, 청룡동, 주례동에서 높게 나타난다. 한편, 저 이상대는 금곡동, 화명동, 사직동일대에서 나타난다. pH의 값이 낮게 나타난다는 것은 용천수의 지하 체재시간이 짧거나 혹은 용천수 유로의 길이가 짧다는 것을 지시한다. EC는 덕천동, 구포동에서 고 이상대를, 장전동에서 저 이상대를 보인다. TDS는 EC와 비슷한 분포도를 나타내는데 이는 EC와 TDS의 상관성이 매우 높기 때문이며 이들 값들이 높게 나타난다는 것은 용천수 내에

Table 1. General statistics of physicochemical components

Data	Statis.	No. of Data	Min. Value	Max. Value	Mean	Median	Std. Dev.	Sample Variance	Skewness	Kurtosis
Temp. (°C)		66	1.00	15.70	8.1	8.30	3.21	10.33	-0.13	-0.49
ln(T)		66	0.00	2.75	1.98	2.12	0.54	0.29	-1.67	3.59
pH		66	5.06	8.38	6.51	6.58	0.58	0.34	0.26	1.70
ln(pH)		66	1.62	2.13	1.87	1.88	0.09	0.01	-0.20	1.31
Eh (mV)		66	64.2	685.9	285.1	290.6	68.86	4741	2.39	16.94
ln(Eh)		66	4.16	6.53	5.62	5.67	0.26	0.07	-2.27	15.42
EC (uS/cm)		66	9.50	270	91.2	83.3	48.16	2319.6	1.28	2.81
ln(EC)		66	2.25	5.60	4.37	4.42	0.59	0.35	-0.99	2.12
TDS (mg/l)		66	4.00	128	42.62	38.5	22.84	521.7	1.29	2.81
ln(TDS)		66	1.39	4.85	3.60	3.65	0.60	0.36	-1.05	2.39
Sal (‰)		66	0.0	0.1	0.03	0.0	0.05	0.0	0.64	-1.60
ln(Sal)		66	0.0	0.1	0.33	0.0	0.05	0.0	0.64	-1.60
DO (mg/l)		66	4.51	12.13	7.65	7.77	1.76	3.10	0.13	-0.37
ln(DO)		66	1.51	2.50	2.01	2.05	0.24	0.06	-0.38	-0.52
Alkalinity		66	7.93	105.0	38.54	36.16	21.33	454.8	1.09	1.11
ln(Alkalinity)		66	2.07	4.65	3.50	3.59	0.56	0.31	-0.14	-0.53
Discharge rate (ml/sec)		40	4.26	182.2	53.10	32.10	45.57	0.31	1.2	0.56
ln(discharge)		40	1.45	5.21	3.61	3.47	0.89	0.79	-0.08	-0.59

용존물질이 많다는 것을 지시한다. 알칼리도는 덕천동, 남산동에서 높게 나타나고, 만덕동, 온천동, 폐법동에서 낮게 나타난다. 알칼리도의 등치선도는 TDS나 EC의 등치선도와 매우 유사한 형태를 보이는데 이는 그들 사이의 높은 상관성에 기인한다.

Eh는 화명동, 당감동, 부암동 일대에서는 높게, 구포동, 모라동 일대에서는 낮게 나타난다. 양의 Eh값은 산화환경을 나타낸다. 심부 지하수계에서는 일반적으로 Eh가 낮고 함양지역 부근에서는 Eh가 높다. 지하수가 대수층을 통과하면서 용존산소는 환원물질들과 접하게 되어 화학적으로 환원되고, 결과적으로 Eh가 낮아진다. 그러나 실제적으로 야외조사에서 지하수의 Eh를 측정하는 것이 상당히 어렵기 때문에 측정값이 다른 성분들과 비교할 때 정확도가 떨어지는 것으로 판단된다.

온도는 금곡동, 화명동, 금성동, 구서동 일대에서 높게 나타나고 구포동, 모라동 일대에서 낮게 나타난다. 용출량은 온천동, 주례동, 구서동, 초읍동에서 높게 나타나고, 화명동, 구포동, 만덕동 일대에서 낮게 나타난다.

4. 결 론

금정산-백양산 일대의 60개소의 약수와 6개소의 지하수에 대하여 물리화학적 성분(수온, pH, EC(전기전도도), TDS(총고용물질), 염분농도, Eh(산화-환원전위), DO(용존산소), 알칼리도, 용출량)을 측정하였다. 이들 상분의 일반통계분석을 실시하고 정규크리깅을 이용하여 공간적인 분포도를 작성하였다. 각 성분들의 공간적인 분포를 비교하기 위하여 크리깅한 계산값을 표준화하였다. 대체적으로 성분들의 고 이상대를 보이는 지역은 화명동, 구포동이고, 저 이상대를 보이는 지역은 구서동과 남사동 지역으로 나타났다.

사 사

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(과제번호: R02-2001-00249)지원으로 수행되었으며, 연구를 지원해주신 한국과학재단에 감사드립니다.

참고문헌

- Davis, J. C., 1986, Statistics and Data Analysis in Geology, second edition, John Willey & Sons, Inc.
- Hong, Y.-S. and Rosen, M. R., 2001, Intelligent characterisation and diagnosis of the groundwater quality in an urban fractured-rock aquifer using an artificial neural network, Urban Water, 3, 193-204.
- Matheron, G., 1969, Le Krigeage Universal, Cah. Centre Morphol. Math., 1.