

## 지구통계 기법을 이용한 영산강·섬진강 유역의 지하수 수질특성 연구

### The Characteristics of Groundwater Quality in the Youngsan and Sumjin River Basins Using Geostatistical Methods

정상용(Sang-Yong Chung)\* · 심병완(Byoung-Ohan Shim)\* · 김규범(Gyoo-Bum Kim)\*\*  
강동환(Dong-Hwan Kang)\* · 박희영(Hee-Young Park)\*\*\*

**요 약:** pH, EC와 TDS는 지하수 수질조사의 기본항목으로서, 지하수 수질의 일차적 평가에 중요한 역할을 한다. 영산강·섬진강 유역에서 1998년도에 조사된 3가지의 수질자료에 의하면 이 지역의 지하수는 대체로 양질의 수질 특성을 나타낸다. 선형회귀분석에 의하면 TDS와 EC는 선형적인 상관성을 갖고 있으나, EC와 pH, TDS와 pH는 상관성이 거의 없다. TDS와 EC의 관계는  $1.0 \text{ mg/l}=1.52 \text{ }\mu\text{S/cm}$ 로서 이 지역의 지하수는 자연수의 수질특성을 나타낸다. 지구통계학적 분석에서 3가지의 수질자료는 정상확률함수의 특성을 보이며, 베리오그램은 모두 지수형모델이 적합한 것으로 나타났다. 수질자료의 등치선도에 의하면 영산강 유역의 지하수 수질이 섬진강 유역에 비하여 약간 더 오염되어 있고, TDS와 EC의 큰 상관성 때문에 2개의 등치선도 유형은 매우 유사하다. 그리고 실제 측정된 3가지 수질의 최소 값과 최대 값은 각각의 등치선도에서 그대로 반영이 되지는 않았는데, 그 이유는 크리깅은 최소의 오차를 갖는 추정치들을 만들어 완만한 분포도를 만들어내는 특성을 갖고 있기 때문이다.

**Abstract :** pH, EC and TDS are basic components in the investigation of groundwater quality, and are very important to the preliminary assessment of groundwater quality. These three chemical components investigated at the Youngsan and Sumjin river basins in 1998 suggest that the groundwater quality is generally good in these basins. Linear regression analysis shows that TDS versus EC has an linear correlation, but EC versus pH, and TDS versus pH have nearly no correlation. The relation of TDS and EC is  $1.0 \text{ mg/l}=1.52 \text{ }\mu\text{S/cm}$ , and it is the quality of natural water. In geostatistical analysis, three kinds of data are stationary random functions and they have exponential variograms. According to the isopleth maps of the groundwater quality, the groundwater quality of the Youngsan river basin is more contaminated than that of the Sumjin river basin. The isopleth maps of TDS and EC show very similar patterns because of the strong correlation between TDS and EC. The minimum and maximum values of the groundwater quality data are not reflected on the isopleth maps because kriging produces smooth distributions with minimum estimation variances.

#### 서 론

지하수 수질조사에서 가장 기본적인 항목은 pH, EC(전기전도도)와 TDS(총고용물질) 등이며, 이 수질 항목은 지하수의 수질을 일차적으로 평가할 때 중요한 역할을 한다. 수문지질 조사지역이 광역일 경우에 측정된 수질자료의 분포특성을 파악하기 위해서는 수질농도의 등치선도 작성이 필수적이다. 지하수의 수질은 지표수의 수질, 구성암석의 화학성분, 기타 오염원의 종류 등 다양한 원인에 의해 결정되므로 수질에 관련된 일정한 관계식을 결정하는 것은 불가능하다. 따라서 지하수 수질자료를 확률변수(random variables)로 취급하여 지구통계 기법에 의한 등치선도를 작성하여 분포 수질의 특성을 파악하는

것이 효과적이다.

본 연구에서는 한국수자원공사의 광역 지하수 기초조사에서 수집한 영산강·섬진강 유역의 지하수 수질자료를 이용하여 지구통계기법에 의한 지하수 수질특성을 파악하였다. 이 자료는 1998년도 상반기 동안 동시에 측정된 자료로서 그 당시 영산강·섬진강 유역의 수질상태를 잘 반영하고 있다. 분석에 이용된 자료는 pH, EC, TDS 등의 기본적인 지하수 수질이며, 각각 94개씩의 자료가 비교적 등간격으로 고루 분포되어 있다.

국내에서 지구통계학을 이용한 지하수 수질연구는 대한광업진흥공사(1997)와 건설교통부·한국수자원공사(1998)에서 수행한 것이 있으며, 아주 적은 편이다. 그러나 외국에서는 지구통계학을 이용한 지하수 수질특성 분석 및 평가가 오래 전부터 활발히 진행되고 있다(Dalton & Upchurch, 1978; Bartier & Keller, 1996; Rouhani & Hall, 1988; Pacheco, 1998; Velasco & Verma, 1998; Voudouris *et al.*, 1997).

영산강·섬진강 유역(Fig. 1)은 행정구역상으로는 전라남도 가 대부분을 차지하지만 전라북도의 임실군, 순창군 및 남원시

\*부경대학교(Pukyong National University, Pusan 608-737, Korea)  
\*\*한국수자원공사(Korea Water Resources Corporation, Taejon 306-711, Korea)  
\*\*\*한국전력(주)(Korea Electric Power Corporation, Taejon 305-353, Korea)

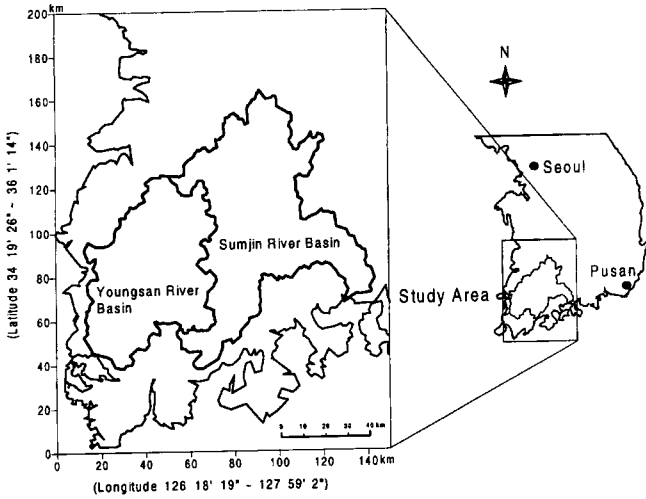


Figure 1. Location map of study area.

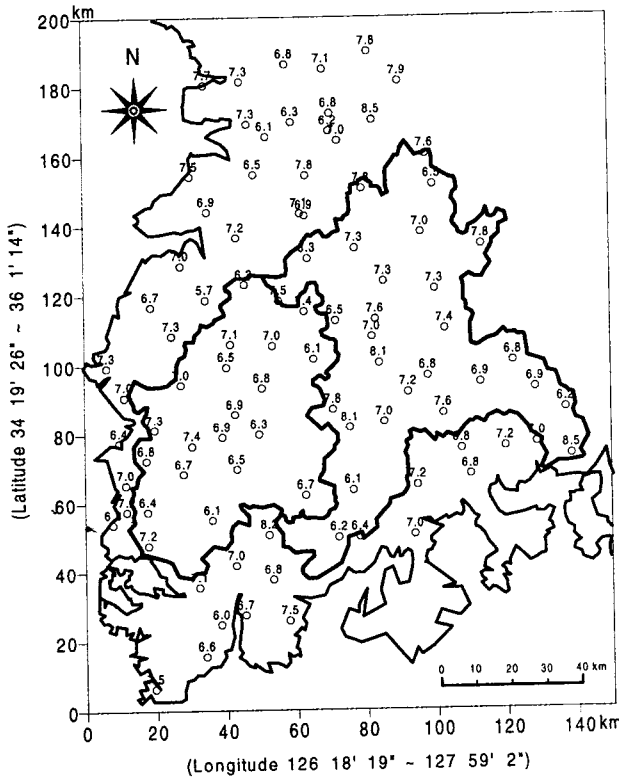


Figure 2. Distribution of pH data.

와 경상남도의 하동군이 포함되고, 지리적 좌표로는 북위 34°39'48"~35°48'32.4", 동경 126°27'20"~127°53'30" 범위에 속한다. 연구지역은 옥천고지향사대, 영동-광주 함몰대와 지리산대에 걸쳐있으며, 섬진강 유역에는 시생대 영남누층군과 원생대 지리산 변성암 복합체가 분포하고, 영산강 유역에는 백악기에서 신생대 제3기 초에 형성된 불국사 화강암류, 유천층군, 하양층군과 류라기 대보화강암류 등이 분포한다(홍만섭 등, 1966; 황인전과 정창선, 1968a; 최유구와 윤형대, 1968b; 최승오와 고중배, 1971). 건설교통부(1995, 1996)에서 작성한 전

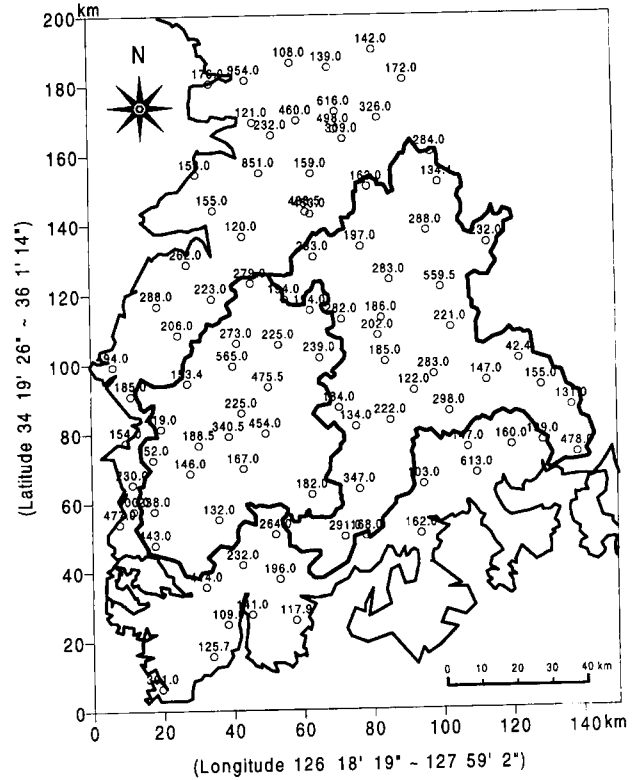


Figure 3. Distribution of EC data.

국 수문지질현황도에 의하면 이 유역은 변성암, 관입화성암, 고기퇴적암, 비다공질 화산암 등의 수문지질단위로 구성되어 있다.

### 일반통계 분석

Figure 2에서 pH는 5.74~8.54의 범위로 약산성에서 약알칼리성이며, Figure 3에서 EC는 42.4~954 µS/cm의 범위로 지표수에 가까운 수질에서부터 오염된 지하수 수질의 특성을 보여준다. Figure 4에서 TDS는 30.0~593.6 mg/l의 범위로 EC와 같은 특성을 갖는다. 수질자료에 의하면 영산강 유역의 수질이 섬진강 유역의 수질에 비하여 pH가 낮고, EC와 TDS는 높은 편이다. 따라서 영산강 유역의 지하수가 섬진강 유역의 지하수에 비하여 약간 더 오염되어 있는 것으로 사료된다. 그러나 전체적으로는 영산강·섬진강 유역의 지하수는 양질의 수질 특성을 보여준다.

Table 1의 수질자료에 대한 일반통계 분석에 의하면, pH의 평균과 중앙값은 거의 같고, EC와 TDS의 평균은 중앙값에 비하여 약간 크게 나타났다. Figure 5의 히스토그램에 의하면 pH는 정규분포를 이루며, 7.00 내외의 값이 17개로 가장 많다. Figure 6의 히스토그램에서 EC분포는 정규분포에서 좌측으로 치우쳐 있고, 150 µS/cm 내외의 값이 24개로 가장 많다. Figure 7의 TDS의 분포도 정규분포에서 좌측으로 치우쳐 있으며, 175 mg/l 내외의 값이 15개로 가장 많이 분포한다. EC와 TDS의 중앙값은 평균보다 작기 때문에 모두 양성 왜도(positive skewness)의 특성을 보인다. pH의 침도는 거의 정규분포에 가

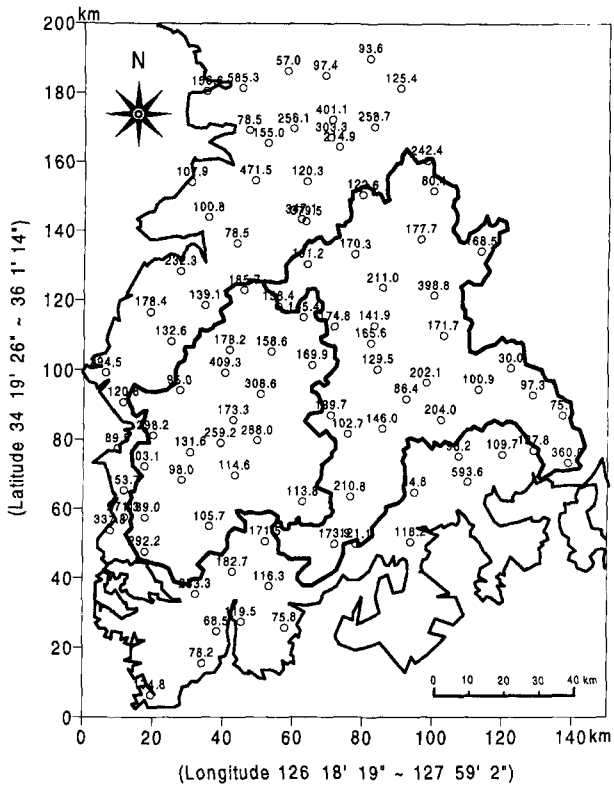


Figure 4. Distribution of TDS data.

Table 1. General statistics of groundwater quality data

Statistics	Data	pH	EC	TDS
No. of data		94	94	94
Minimum Value		5.74	42.4	30.0
Maximum Value		8.54	954.0	593.6
Mean		7.02	265.67	183.34
Median		7.01	221.50	155.80
Standard Deviation		0.56	159.41	108.74
Skewness		0.28	1.81	1.64
Kurtosis		0.02	4.02	2.92

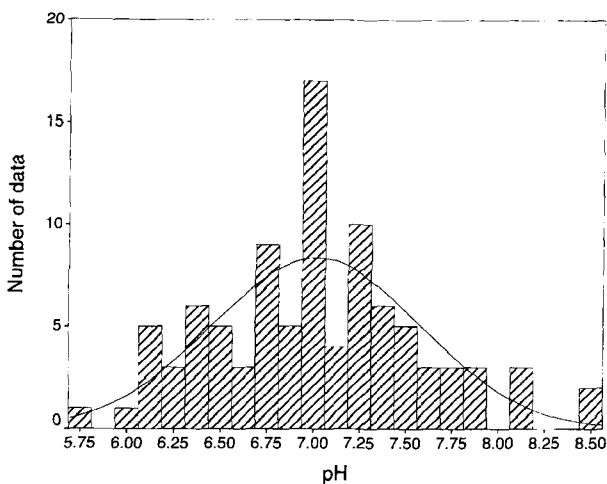


Figure 5. Histogram of pH data.

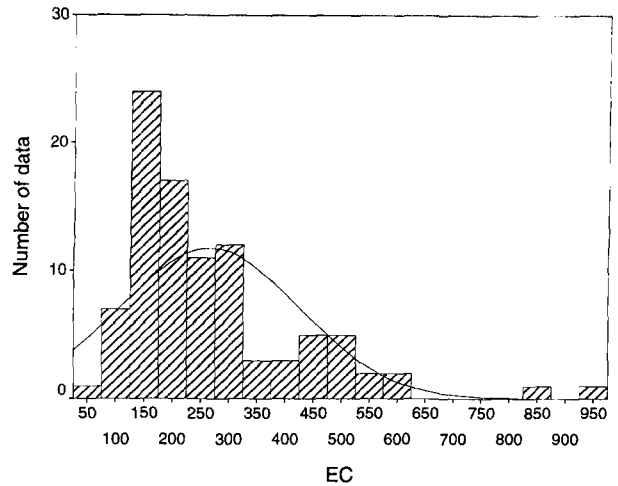


Figure 6. Histogram of EC data.

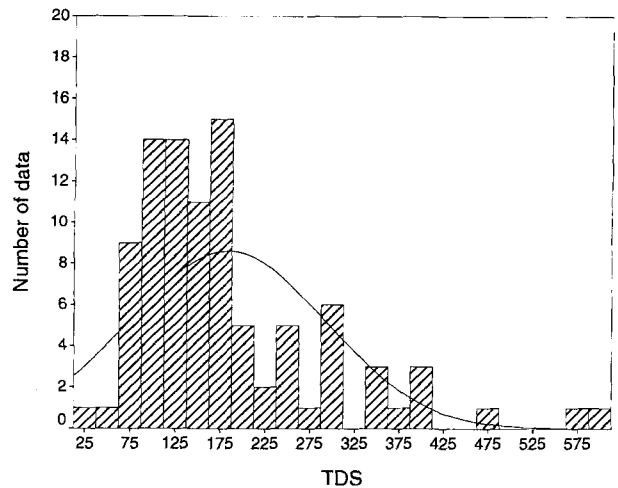


Figure 7. Histogram of TDS data.

Table 2. Linear regression analysis of groundwater quality data

Data	No. of Data	Slope	Threshold	Linear Correlation Coefficient
TDS-EC	94	0.66	9.21	0.961
pH-EC	94	-0.00021	7.07	-0.061
pH-TDS	94	0.00006	7.01	0.011

카우나, EC와 TDS는 정규분포보다 약간 평탄하다.

### 회귀분석

수질자료들간의 상관성을 비교하기 위하여 회귀분석을 실시하였다. Table 2의 회귀분석 결과에 의하면 TDS와 EC는 거의 비례관계에 있지만, pH와 EC 그리고 pH와 TDS는 거의 상관성이 없는 것으로 나타났다. 각각의 회귀분석 그래프는 Figure 8, Figure 9, Figure 10에 있다.

전기전도도가 100~5,000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  범위에 있는 자연수에서 TDS 1.0 mg/l는 EC 약 1.56  $\mu\text{S}/\text{cm}$  정도에 해당된다(Todd, 1980). 영산강·섬진강 유역의 지하수에서 TDS와 EC의 선형

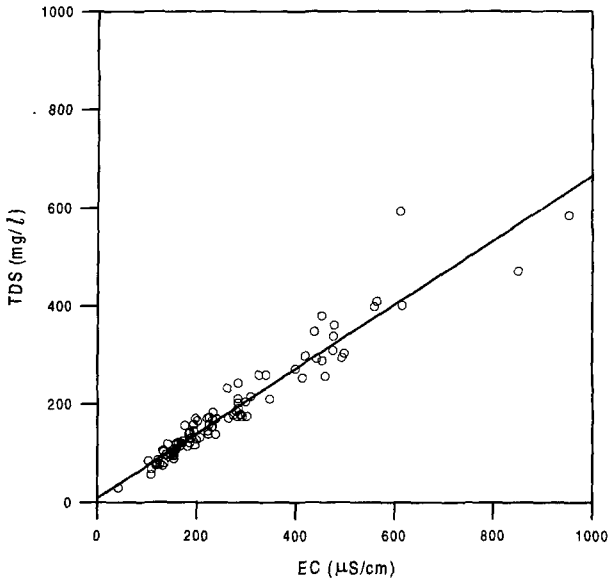


Figure 8. Linear regression of TDS versus EC.

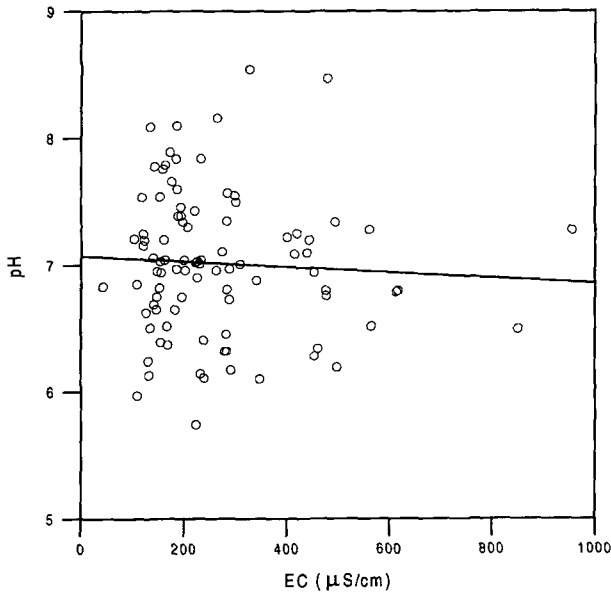


Figure 9. Linear regression of pH versus EC.

회귀선의 기울기는 0.66이다. 따라서, TDS와 EC는 관계식은 대략

$$1.0 \text{ mg/l} = 1.52 \text{ } \mu\text{S/cm} \quad (1)$$

로서 일반적인 자연수의 특성을 나타내고 있다.

**지구통계학적 분석**

크리깅은 공간상에 분포하는 확률변수들을 이용하여 자료가 없는 지점에서의 값을 추정해내는 강력한 통계학적인 방법이다.

지하수 수질의 등치선도 작성에는 보통 측정된 수질 자료를 가지고 정규크리깅(ordinary kriging)을 이용해서 지하수 수질의 등치선도를 작성한다. 수질 자료 중에서 EC와 TDS처럼 서로 큰 상관성을 갖는 경우에는 그들의 상관성을 이용하여 EC

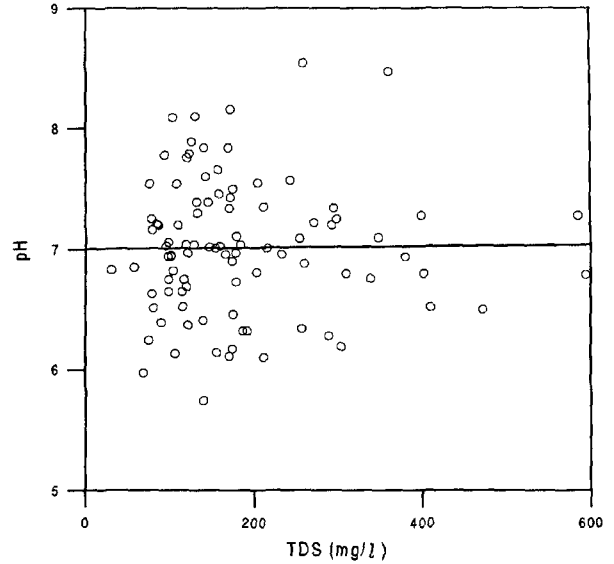


Figure 10. Linear regression of pH versus TDS.

또는 TDS의 등치선도의 정밀성을 향상시킬 수 있다. 2가지 이상의 확률변수들의 상관 관계를 고려하여 미지의 지점에서 값을 추정해 낼 수 있는 방법이 코크리깅(cokriging)이다. 그러나, 본 연구에서는 EC와 TDS의 측정 지점이 모두 동일하기 때문에 코크리깅을 적용할 필요가 없다.

국내에서 지하수 수질자료에 코크리깅을 적용한 예는 아직 없으나, 지하수위 등고선도 작성에 지하수위와 지형의 표고와의 상관성을 이용한 예는 정상용과 이강근(1995), 정상용 등(1999), 정상용 등(2000)이 있다.

**정규크리깅**

크리깅은 최선의 선형 불편 추정자(BLUE: best linear unbiased estimator)이다. 크리깅 공식은 다음과 같다.

$$Z_k^* = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z_i \quad (2)$$

여기서  $Z_i$ 는 공간상에 분포하는 표본자료의 값

$\lambda_i$ 는  $Z_i$ 에 해당되는 가중치

$Z_k^*$ 는 kriging에 의한 추정치이다.

크리깅의 가중치는 추정치가 불편(unbiased)이고, 추정분산(estimation variance)이 최소가 되도록 결정되어야 한다.

크리깅의 불편조건은

$$E[Z_v - Z_k^*] = 0 \quad (3)$$

여기서  $Z_v$ 는 미지의 참값이고,  $Z_k^*$ 는 추정치이다.

방정식 (2)로부터 가중치의 합은 1.0이 된다.

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1.0 \quad (4)$$

크리깅의 추정분산은

$$E\{[Z_v - Z_k^*]^2\} = E[Z_v^2] - 2E[Z_v Z_k^*] + E[Z_k^{*2}] \quad (5)$$

로서 최소가 되어야 한다. 추정분산은 크리깅분산(kriging variance)이라고도 하며, 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\sigma_k^2 = E\{[Z_v - Z_k^*]^2\} = C(V, V) + \mu - \sum_{i=1}^n \lambda_i C(v_i, V) \quad (6)$$

여기서  $C(V, V)$ 는 표본자료간의 공분산,  $\mu$ 는 Lagrange multiplier,  $C(v_i, V)$ 는 표본자료와 추정치간의 공분산으로서 표본자료의 베리오그램에서 결정된다.

**베리오그램 분석**

공간상에 분포하는 표본자료의 특성은 베리오그램에 의해서 나타나며, 베리오그램은 공간상에 분포하는 임의의 두 자료 값의 차이의 분산으로 구해진다(Matheron, 1963).

$$2\gamma(h) = E\{[Z(x) - Z(x+h)]^2\} \\ = \frac{1}{N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [z(x_i) - z(x_i+h)]^2 \quad (7)$$

여기서  $2\gamma(h)$ 는 베리오그램(variogram)이고,  $\gamma(h)$ 는 반베리오그램(semivariogram)이다.  $Z(x)$ 는 임의의 지점  $x$ 에 있는 자료의 값이며  $Z(x+h)$ 는  $Z(x)$ 에서  $h$ 만큼 떨어진 지점의 자료 값이다.  $N(h)$ 는 거리  $h$ 만큼 떨어진 한쌍의 실험자료의  $z(x_i)$ 와  $z(x_{i+1})$ 의 개수이다.

크리깅에 의한 자료 추정에는 표본자료의 공분산이 필요한데, 이것은 표본자료의 반베리오그램으로부터 얻어진다. 즉,

$$C(h) = sill - \gamma(h) \quad (8)$$

여기서  $C(h)$ ,  $\gamma(h)$ 는 거리  $h$ 만큼 떨어진 자료들간의 공분산과 반베리오그램이다.  $sill$ 은 일정한 범위(range)를 넘어서 반베리오그램의 상관성이 없어지고 안정된 상태의 반베리오그램 값을 나타낸다.

반베리오그램의 모델은  $sill$ 의 존재 유무에 따라 여러 가지 모델로 구분되어지며, 대부분의 지질관련 자료의 분석에는  $sill$ 을 갖는 경우의 모델을 이용한다. 대표적인 3가지의 모델은 다음과 같다(Journel and Huijbregts, 1978).

① 구상형 모델(Spherical model)

$$\gamma(h) = C_0 + C \left[ 1.5 \frac{h}{a} - 0.5 \frac{h^3}{a^3} \right], (h \leq a) \quad (9)$$

$$\gamma(h) = C_0 + C, (h > a) \quad (10)$$

여기서  $C_0$ 는 nugget,  $C$ 는  $sill$ -nugget,  $a$ 는 반베리오그램이 상관 관계를 갖는 범위, 그리고  $h$ 는 자료들간의 거리이다.

② 지수형 모델(Exponential model)

$$\gamma(h) = C_0 + C \left[ 1 - \exp\left(-\frac{h}{a}\right) \right], (h \leq 3a) \quad (11)$$

이 모델은  $sill$  값에 근사적으로 접근하며, 실질적인 반베리오그램의 범위  $a'$ 는  $3a$ 이다. 이 모델은 수문학과 관련된 자료에 널리 이용되고 있다.

③ 가우시안 모델(Gaussian model)

**Table 3.** Variogram parameters of pH data and statistics for each variogram

Model	Nugget	Sill	Range (km)	R <sup>2</sup>	SSR
Exponential	0.001	0.348	31.8	0.247	0.0914
Spherical	0.001	0.343	21.6	0.237	0.0926
Gaussian	0.001	0.343	49.20	0.237	0.0926

**Table 4.** Variogram parameters of EC data and statistics for each variogram

Model	Nugget	Sill	Range (km)	R <sup>2</sup>	SSR
Exponential	10	29270	35.7	0.10	1.665×10 <sup>9</sup>
Spherical	10	28460	18.8	0.09	1.677×10 <sup>9</sup>
Gaussian	10	28470	44.7	0.09	1.675×10 <sup>9</sup>

**Table 5.** Variogram parameters of TDS data and statistics for each variogram

Model	Nugget	Sill	Range (km)	R <sup>2</sup>	SSR
Exponential	10	12560	18.0	0.042	2.454×10 <sup>8</sup>
Spherical	10	12490	14.0	0.039	2.454×10 <sup>8</sup>
Gaussian	10	12500	34.5	0.040	2.460×10 <sup>8</sup>

**Table 6.** Selected variogram models of groundwater quality data

Data	Model	Nugget	Sill	Range (km)
pH	exponential	0.001	0.348	31.80
EC	exponential	10.0	29270	35.70
TDS	exponential	10.0	12560	18.0

$$\gamma(h) = C_0 + C \left[ 1 - \exp\left(-\frac{h^2}{a^2}\right) \right], (h \leq a\sqrt{3}) \quad (12)$$

이 모델 역시  $sill$ 값에 근사적으로 접근하며, 실질적인 반베리오그램의 범위  $a'$ 는  $a\sqrt{3}$ 이다.

영산강·섬진강 유역의 수질자료에 적합한 베리오그램 모델을 결정하기 위하여 Robertson(1998)의 SSR (sum of squares regression)과  $R^2$  (goodness of fit)를 이용하였다. SSR은 추정치와 자료의 평균값과의 차이의 제곱으로 값이 적을수록,  $R^2$ 은 회귀식에의 적합도를 나타내며 1.0에 가까울수록(Davis, 1986) 베리오그램의 모델이 우수하다. 각각의 공식은 다음과 같다.

$$SSR = \sum_{i=0}^n (Y_i^* - \bar{Y})^2 \quad (13)$$

$$SST = \sum_{i=0}^n (Y_i - \bar{Y})^2 \quad (14)$$

$$R^2 = \frac{SSR}{SST} \quad (15)$$

여기서  $Y_i$ 는 표본자료의 값,  $\bar{Y}$ 는 표본자료의 평균값,  $Y_i^*$ 는 회귀선에 의한 자료의 추정치를 나타낸다.

Table 3은 pH의 베리오그램 모델에 따른 상수 값과 적합도의 통계치를 나타내고, Table 4와 Table 5는 EC와 TDS에 대한 베리오그램 모델의 상수 값과 적합도의 통계치를 각각 나

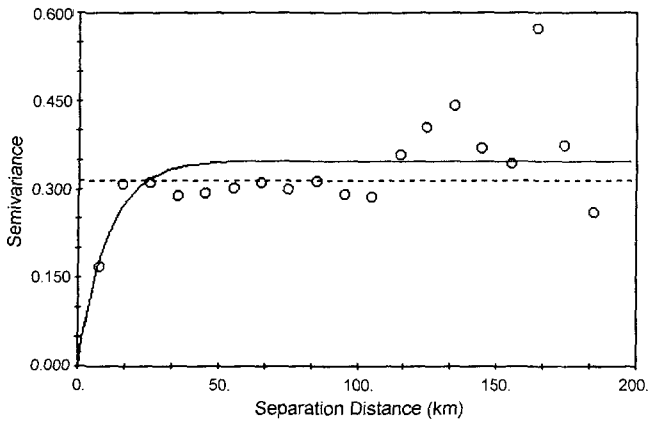


Figure 11. Exponential variogram of pH.

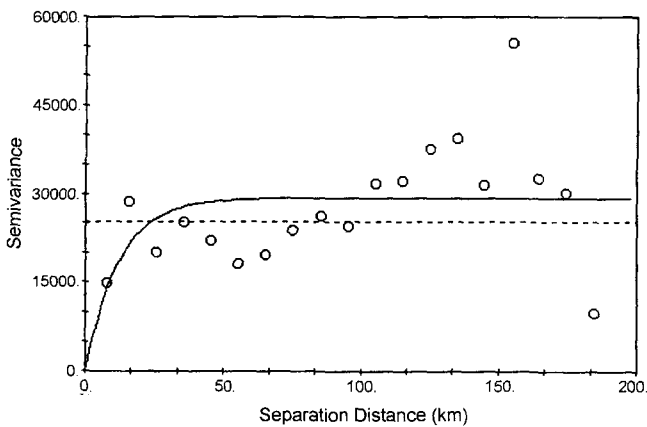


Figure 12. Exponential variogram of EC.

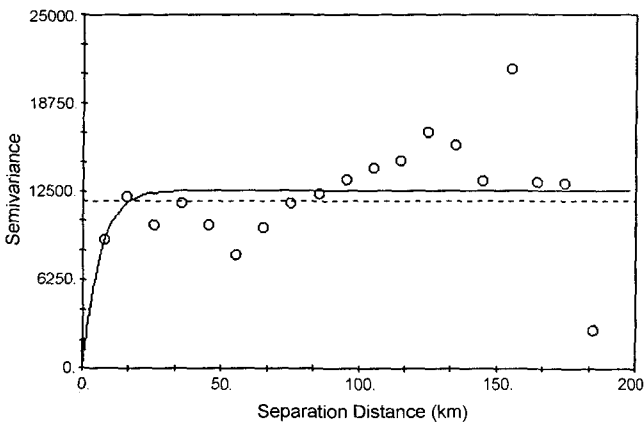


Figure 13. Exponential variogram of TDS.

타낸다.

수질자료의 각 베리오그램모델에서 계산된  $R^2$ 과 SSR의 값을 비교하면 모두 지수형 모델이 가장 적합한 것으로 나타났다. Table 6에 3개의 수질자료에 가장 적합한 지수형 베리오그램의 상수 값들이 정리되어 있으며, 각 수질 자료의 등치선도 작성에 이용되었다. Figure 11은 pH의 지수형 모델 반베리오그램을, Figure 12은 EC의 지수형 모델 반베리오그램을, 그리고 Figure 13은 TDS의 지수형 모델 반베리오그램을 나타낸다.

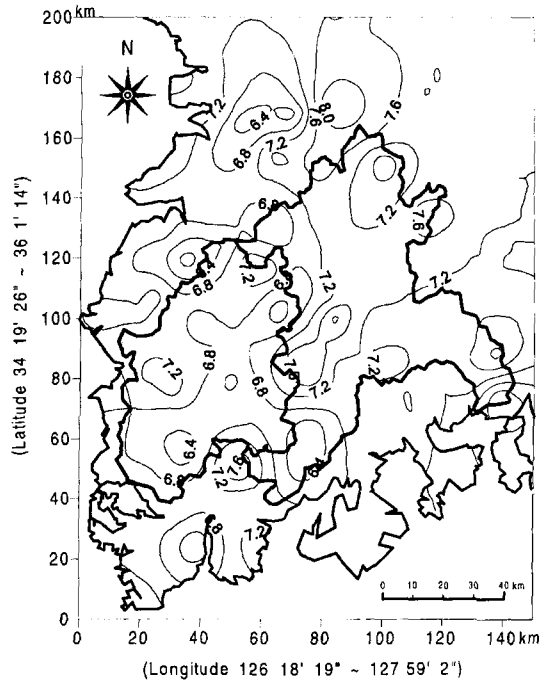


Figure 14. Isopleth map of pH.

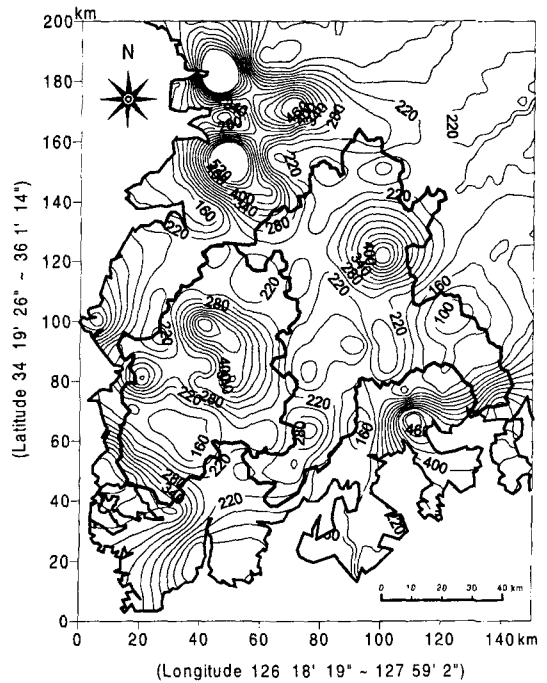


Figure 15. Isopleth map of EC.

#### 지하수 수질 등치선도

영산강 섬진강유역의 3가지 지하수 수질 자료의 베리오그램 분석 결과에 의하면 모두 정상확률함수(stationary random functions)의 특성을 나타내므로 등치선도 작성에 정규크리깅(ordinary kriging)을 이용하였다. Figure 14의 pH 등치선도에서 영산강 유역의 pH는 대략 6.4~7.2의 범위이며, 섬진강 유역에서는 pH가 대략 6.4~7.6의 범위이다. 따라서 영산강 유역이

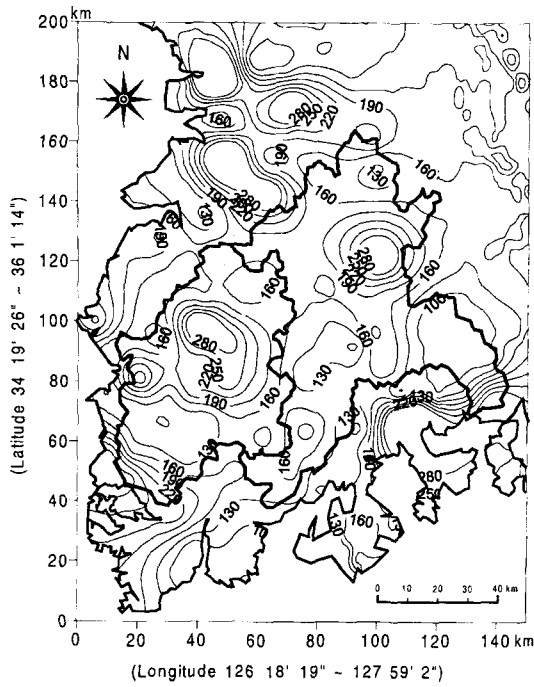


Figure 16. Isopleth map of TDS.

섬진강 유역에 비하여 pH가 약간 낮게 나타나고 있다. 영산강 섬진강 유역외의 전라북도 지역에서 pH가 8.0 이상의 높은 값을 보여준다.

Figure 15의 EC 분포도에서 영산강 유역의 EC는 대략 160~460  $\mu\text{S}/\text{cm}$ 의 범위이고, 섬진강 유역의 EC는 대략 100~460  $\mu\text{S}/\text{cm}$ 의 범위로서, 영산강 유역이 섬진강 유역에 비하여 EC가 약간 크게 나타나고 있다. 영산강 섬진강 유역외의 전라북도 지역에서는 EC가 520  $\mu\text{S}/\text{cm}$  이상의 높은 값을 보여준다.

Figure 16의 TDS 분포도에서 영산강 유역의 TDS는 대략 130~280 mg/l의 범위로서, 섬진강 유역에서는 대략 100~280 mg/l의 범위이다. 영산강 유역이 섬진강 유역에 비하여 TDS가 약간 크게 나타나고 있다. 영산강 섬진강 유역외의 전라북도 지역에서는 TDS가 280 mg/l 이상의 높은 값을 보여준다.

이상 3가지의 등치선도에서 알 수 있는 사실은 첫째, 영산강 유역의 지하수에서 EC와 TDS가 섬진강 유역보다 높게 나타난다. 높은 원인은 1차적으로 암질의 차이에서도 기인하지만, 농약, 공장폐수, 생활하수 등에 의한 2차적인 오염의 영향이 더 큰 것으로 사료된다. 우리나라에서 양질의 지하수는 보통 EC가 400  $\mu\text{S}/\text{cm}$  내외, TDS가 250 mg/l 내외의 범위에 있는데, 영산강·섬진강 유역의 EC는 42.4~954  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , TDS는 30.0~593.6 mg/l의 범위에 있기 때문에 어느 정도 오염되어 있는 것으로 판단된다. EC와 TDS는 측정의 용이성 때문에 지하수 수질평가에서 많이 이용이 되고 있다.

둘째, 연구지역의 EC와 TDS의 상관성은 매우 크기 때문에 2가지의 등치선도 유형은 매우 유사하다. 따라서, 이들의 높은 상관성에서 코크리깅(cokriging)을 이용한다면 자료가 없는 지역에서 TDS의 값들을 비교적 정밀하게 추정해 낼 수 있다. 셋째, 실제 측정된 3가지 수질의 최소 값과 최대 값은 각각의

등치선도에서 그대로 반영이 되지는 않았다. 그 이유는 등치선도들이 모두 정규크리깅에 의하여 만들어졌기 때문인데, 크리깅의 성질은 최소의 오차를 갖는 추정치들을 만들어 완만한(smooth) 자료분포도를 만들어내는 특성을 갖고 있기 때문이다.

## 결론

1. 영산강·섬진강 유역의 지하수는 대체로 양질의 수질 특성을 보여주지만, 영산강 유역의 지하수 수질이 섬진강 유역의 지하수 수질에 비하여 pH가 낮고, EC와 TDS는 높은 편이어서 영산강 유역의 지하수 수질이 섬진강 유역의 지하수 수질에 비하여 약간 더 오염되어 있는 것으로 나타났다.

2. TDS와 EC는 선형적인 상관성을 갖고 있으나, EC와 pH, TDS와 pH는 상관성이 거의 없다. TDS와 EC의 선형회귀분석 결과 영산강·섬진강 유역의 지하수에서  $1.0 \text{ mg/l} = 1.52 \mu\text{S}/\text{cm}$ 의 관계식을 얻었으며, 이것으로 이 지역의 지하수는 자연수의 수질특성을 나타내는 것을 알 수 있었다.

3. 베리오그램 분석에 의하면 3가지 수질자료는 정상화물함수의 특성을 보이며, 모두 지수형 모델이 적합한 것으로 나타났다.

4. 수질자료의 등치선도에 의하면 영산강 유역의 지하수 수질이 섬진강 유역에 비하여 약간 더 오염되어 있고, TDS와 EC의 높은 상관성 때문에 2개의 등치선도 유형은 매우 유사하다. 실제 측정된 3가지 수질의 최소 값과 최대 값은 각각의 등치선도에서 그대로 반영이 되지는 않았는데, 그 이유는 크리깅은 최소의 오차를 갖는 추정치들을 만들어 완만한 자료분포도를 생산해내는 특성을 갖고 있기 때문이다.

## 참고문헌

- 건설교통부, 1995, 지하수자원 기본조사(3차), 지하수 관리조사 보고서  
 건설교통부, 1996, 지하수관리 기본계획 보고서  
 건설교통부·한국수자원공사, 1998, 지하수 현황분석 기법연구 보고서  
 대한광업진흥공사, 1997, 불균질·이방성 대수층의 지하수 유동분석 기술연구.  
 정상용, 이강근, 1995, 난지도 매립지 일대의 지하수위 분포 추정을 위한 복합크리깅의 응용, 지하수환경, 2(2), p. 58-63.  
 정상용, 유인걸, 윤명재, 권해우, 허선희, 1999, 불균질·이방성 대수층의 지하수 유동분석에 지구통계기법의 응용, 지질공학, 9(2), p. 147-159.  
 정상용, 심병환, 김규범, 2000, 영산강·섬진강 유역의 지하수 데이터베이스 자료에 대한 지구통계학적 분석, 지질공학, 10(2), p. 131-142.  
 최유구, 윤형대, 1968b, 장흥도폭 및 설명서, 국립지질조사소.  
 최승오, 고중배, 1971, 무안도폭 및 설명서, 국립지질조사소.  
 홍만섭, 윤선, 김영준, 1966, 갈담도폭 및 설명서, 국립지질조사소.  
 황인전, 정장선, 1968a, 보성도폭 및 설명서, 국립지질조사소.  
 Bartier, P. M. and Keller, C. P., 1996, Interpolation for geochemical surface reconstruction incorporating topographic catchment definitions, Mathematical Geology, 28(3), p. 253-274.  
 Dalton, M. G. and Upchurch, S. G., 1978, Interpretation of hydrochemical facies by factor analysis, Ground Water, 16(4), 228-233.  
 Davis, C. J., 1986, Statistics and Data Analysis in Geology, 2nd edi-

- tion, John Wiley & Sons, 646 pp.
- Journel, A. G. and Huijbregts, CH. J., 1978, Mining Geostatistics, Academic Press, 600 p.
- Matheron, G., 1963, Principles of geostatistics, Economic Geology, vol. 58, 1246-1266.
- Pacheco, F., 1998, Application of correspondence analysis in the assessment of groundwater chemistry, *Mathematical Geology*, 30(2), p. 129-162.
- Robertson, G. P., 1998, GS+: Geostatistics for the Environmental Sciences, Gamma Design Software, Plainwell, Michigan, U.S.A.
- Rouhani, S. and Hall, T., 1988, Geostatistical schemes for groundwater sampling, *J. of Hydrology*, 103, 85-102.
- Todd, K. T., 1980, Groundwater Hydrology, John Wiley & Sons.
- Velasco, F., and Verma, S., 1998, Importance of skewness and kurtosis statistical tests for outlier detection and elimination in evaluation of geochemical reference materials, *Mathematical Geology*, 30(1), p. 109-128.
- Voudouris, K., Lambrakis, N. Papatheothorou, G., and Daskalaki, P., 1997, An application of factor analysis for the study of the hydrogeological conditions in Plio-Pleistocene aquifers of NW Achaia(NW Peloponnesus, Greece), *Mathematical Geology*, 29(1), p. 43-60.