

지하수 오염 분포도 작성에서 정규크리깅과 지시크리깅 기법의 상호 보완성 연구

김태형, 정상용, 강동환, 김민철*, 서상기*

부경대학교 환경지질학과, 농업기반공사* (e-mail : piezometer@daum.net)

<요약문>

지하수 수질자료의 분포가 광역적이고 자료의 수가 많은 지역과 자료의 분포가 국부적이고 갯수가 적은 지역을 선정하여, 모수적 통계기법인 정규크리깅과 비모수적 통계기법인 지시크리깅을 동시에 적용하였다. 베리오그램 분석은 각 수질자료의 원시 자료와 제한값을 적용하여 제한값 보다 낮거나 동일하면 "1"의 값으로, 제한값 보다 높으면 "0"의 값으로 변환된 자료에 대해 실시하였는데, 원시 염소이온 성분은 선형 모델이 선정되었으며, 비소 성분은 지수형 모델이 가장 적합한 것으로 선정되었다. 변환된 염소이온 성분과 비소 성분은 모두 구상형 모델이 가장 적합한 것으로 선정되었다.

정규크리깅과 지시크리깅 기법을 이용하여 지하수 오염 분포도를 작성하여 비교해 본 결과, 정규크리깅 기법은 연구지역의 자료 분포, 갯수와 범위의 영향을 크게 받는 것으로 나타났고, 지시크리깅 기법은 연구지역의 자료 분포와 특히 제한값에 따라 변환된 자료의 갯수의 영향을 크게 받는 것으로 나타났다. 정량적으로 나타낼 수 정규크리깅 기법과 정성적으로 나타낼 수 있는 지시크리깅 기법을 같이 적용한다면 지하수 오염 현황을 효과적으로 파악할 수 있을 것으로 판단된다.

주제어 : 통계 분석, 정규크리깅, 지시크리깅, 지하수 오염 분포도.

1. 서론

본 연구에서는 지하수 수질자료의 분포가 광역적이고 갯수가 많은 지역과 자료의 분포가 국부적이고 갯수가 적은 지역을 선정해, 모수적 통계기법인 정규크리깅(ordinary kriging)과 비모수적 통계기법인 지시크리깅(indicator kriging)을 이용하여 지하수 오염 분포도를 작성하였다. 광역적인 지역에서는 부산광역시 보건환경 연구원에서 1998년도에 조사된 수질자료 중 염소이온(Cl⁻) 성분을 이용하였으며, 국부적인 지역에서는 폐광산지역에서 2003년도에 조사된 수질자료 중 비소(As) 성분을 이용하였다. 국내에서 지하수 수질자료에 지시크리깅 기법을 적용한 사례는 강동환 등(2003)이 있고, 지시크리깅 기법은 제한값(cutoff value) 보다 적거나 혹은 동일한 변수값들의 확률을 추정하기 위해 자료를 변환하고, 선정된 베리오그램 모델을 이용하여 추정한다(Johnson et al., 1989). 일반통계 분석을 실시하였고, 자료들의 분포특성과 공간적 연속성을 파악하고 정규크리깅과 지시크리깅 기법을 이용하기 위해 베리오그램 분석을 실시하였다. 베리오그램 분석은 각 수질자료의 원시 자료와 제한값을 적용하여 변환된 자료에 대해 실시

하였다. 본 연구의 목적은 정규크리깅과 지시크리깅 기법을 이용하여 지하수 수질의 오염 분포도를 작성하고, 작성된 지하수 수질 오염 분포도를 비교하여 지하수 오염 현황을 효과적으로 파악하는데 있다.

2. 본 론

2.1. 일반통계 분석

연구지역에 각 수질성분별 자료들에 대한 일반통계 분석 결과가 Table 1에 정리되어 있다. Table 1에서 보면 염소이온 성분과 비소 성분 모두 중앙값(median)이 평균(mean)보다 적은 (+)왜도(skewness)를 나타내어 정규분포를 이루지 않음을 알 수 있었다. 염소이온 성분은 평균이 37.71ppm으로서 먹는물 기준치인 150ppm보다 낮게 나타났고, 비소 성분은 평균이 347.29ppb로서 먹는물 기준치인 50ppb보다 높게 나타났다.

Table 1. General statistics of the groundwater quality data

Statistics \ Data	Cl(ppm)	As(ppb)
Number of data	820	23
Minimum	1.00	0.00
Maximum	528.00	4442.95
Mean	37.71	347.29
Median	29.00	35.00
Standard deviation	41.93	1023.33
Variance	1758.31	1047200.00
Skewness	5.61	3.59
Kurtosis	46.87	12.93

2.2. 지구통계학적 분석

Matheron(1969)에 의해서 개발된 크리깅은 최선의 선형불편 추정자(best linear unbiased estimator : BLUE)로서 불편의 조건(unbiased condition)과 최소의 추정분산(minimum estimation variance)을 갖는 강력한 통계학적 추정 방법이다. 크리깅은 공간상에 분포하는 확률변수(random variables)들을 이용하여 자료가 없는 필요한 지점에서 값을 추정해내는 강력한 통계학적인 방법인데, 수질자료의 분포특성이 정상 확률 함수(stationary random functions)를 이룰 경우에는 정규크리깅 기법을 이용하고, 수질자료의 분포특성이 비정상 확률 함수(nonstationary random functions)를 이룰 경우에는 만능크리깅(universal kriging) 기법을 이용하여 분석을 한다. 본 연구에서는 모수적 통계기법인 정규크리깅과 비모수적 통계기법인 지시크리깅을 동시에 이용하여 분석을 실시하였다.

2.3. 베리오그램 분석

공간상에 분포하는 표본자료의 특성은 베리오그램에 의해서 나타내며, 베리오그램은 공간상에 분포하는 임의의 두 자료 값의 차이의 분산으로 구해진다(Matheron, 1963). 정규크리깅 기법을 이용하기 위하여 각 수질성분별 자료들에 대한 베리오그램 분석을 실시하였는데, Table 2에 선정된 모델들과 파라미터들을 정리하였다. Table 2에서 보면 염소이온 성분은 선형 모델(linear model)이 선정되었으며, 비소

성분은 지수형 모델(exponential model)이 가장 적합한 것으로 선정되었다. 지시크리깅 기법을 이용하기 위하여 자료를 변환하였는데, 각 수질성분별 제한값은 먹는물 기준치를 적용하여 염소이온 성분은 150ppm으로, 비소 성분은 50ppb를 적용하였다. 자료의 변환은 제한값 보다 낮거나 동일하면 “1”의 값으로, 제한값 보다 높으면 “0”의 값으로 변환하였다. Table 2에 변환된 자료에 대해 선정된 모델들과 파라미터들을 정리하였고, 염소이온 성분과 비소 성분 모두 구상형 모델(spherical model)이 가장 적합한 것으로 선정되었다.

Table 2. Selected variogram models and parameters of the groundwater quality data for ordinary kriging and indicator kriging

Data \ Parameters	Model	Nugget	Sill	Range	R2	RSS
Cl-	Linear	1681.00	1681.00	32.53(km)	0.00	1.97×10 ⁵
As	Exponential	119000.00	176000.00	1110.00(m)	0.54	1.03×10 ¹²
Cl-(transformed)	Spherical	0.01	0.04	69.37(km)	0.75	1.07×10 ⁻⁴
As(transformed)	Spherical	0.02	0.25	55.00(m)	0.00	3.56×10 ⁻²

2.4. 지하수 오염 분포도

Figure 2와 3에는 각 수질성분별 자료들에 대해 선정된 베리오그램 모델을 적용하여, 정규크리깅과 지시크리깅을 이용하여 지하수 오염 분포도를 작성하였다. Figure 2에서 정규크리깅을 이용하여 작성된 광역적인 지역에서의 염소이온 성분과 국부적인 지역에서의 비소 성분 지하수 오염 분포도를 보면, 염소이온 성분은 등치선의 분포나 수치가 정량적으로 잘 나타나지 않으나, 비소 성분은 등치선의 분포나 수치가 정량적으로 잘 나타난다. 이는 광역적인 지역에서 조사된 자료 분포 보다는 많은 자료 갯수와 자료 간의 적은 범위로 인한 것으로 판단되며, 지하수 오염 분포도에서는 염소이온 성분의 추정치가 과소 추정되어 비오염지역으로 나타났다. 국부적인 지역에서의 비소 성분은 조사된 자료 분포와 자료 간의 큰 범위로 인해 추정치가 과대 추정되어 오염지역으로 나타나는 결과를 보였다.

Figure 3에서 지시크리깅을 이용하여 작성된 광역적인 지역에서의 염소이온 성분 지하수 오염 분포도를 보면 연구지역에 오염 분포의 범위가 정성적으로 잘 나타나지만, 비소 성분은 제한값에 따라 동심원상으로 오염 분포의 범위가 나타났다. 이는 제한값인 먹는물 기준치에 따라 “0”과 “1”로 변환된 자료의 영향으로 판단되며, 염소이온 성분은 먹는물 기준치를 초과한 자료의 수가 절대적으로 적은 반면, 비소 성분은 초과한 자료와 초과하지 않은 자료가 비슷하게 분포하여 이러한 결과를 나타내었다. 또한, 지시크리깅에 의한 지하수 오염 분포도에서 오염 분포의 범위는 과대 추정되어 나타나는 경향을 보였다.

정규크리깅 기법을 이용하여 작성된 지하수 오염 분포도에서는 지하수 오염 현황을 정량적인 수치로 나타낼 수 있었고, 지시크리깅 기법에 의한 지하수 오염 분포도에서는 지하수 오염 현황을 정성적인 범위로 나타낼 수 있었다. 정량적으로 나타낼 수 정규크리깅 기법과 정성적으로 나타낼 수 있는 지시크리깅 기법을 같이 적용한다면 지하수 오염 현황을 효과적으로 나타낼 수 있을 것으로 판단된다.

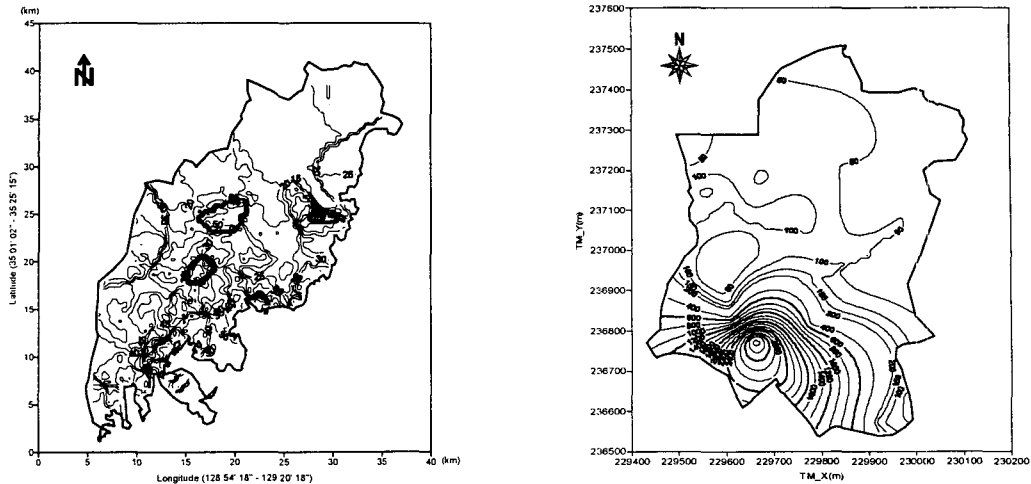


Figure 2. Distribution maps of Cl⁻(left) and As(right) using ordinary kriging.

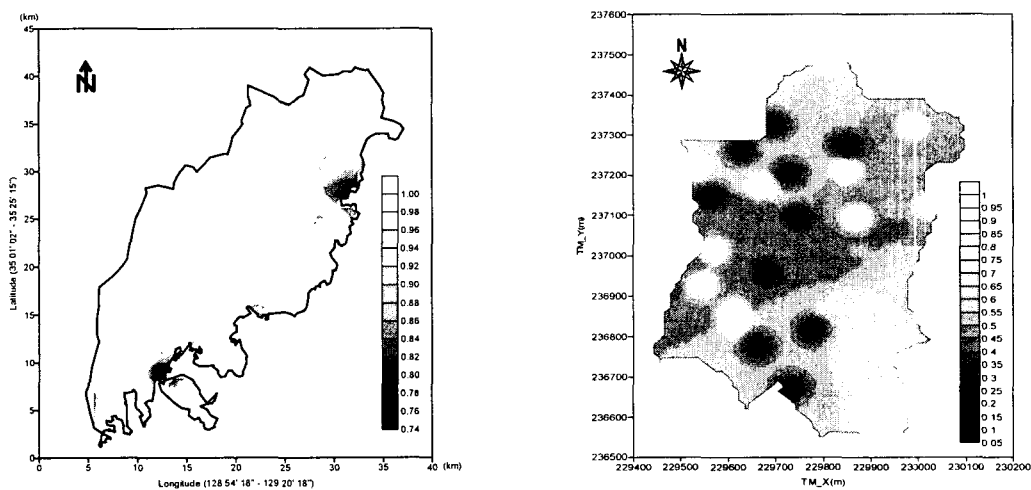


Figure 3. Distribution maps of Cl⁻(left) and As(right) using indicator kriging.

3. 결론

연구지역으로는 지하수 수질자료의 분포가 광역적이고 갯수가 많은 지역과 자료의 분포가 국부적이고 갯수가 적은 지역을 선정해, 모수적 통계기법인 정규크리깅과 비모수적 통계기법인 지시크리깅을 동시에 적용하였다. 베리오그램 분석은 각 수질자료의 원시 자료와 제한값을 적용하여 변환된 자료에 대해 실시하였는데, 원시 염소이온 성분은 선형 모델이 선정되었으며, 비소 성분은 지수형 모델이 가장 적합한 것으로 선정되었다. 변환된 염소이온 성분과 비소 성분은 모두 구상형 모델이 가장 적합한 것으로 선정되었다. 정규크리깅과 지시크리깅 기법을 이용하여 지하수 오염 분포도를 작성하여 비교해 본 결과, 정규크리깅 기법은 연구지역의 자료 분포, 갯수와 범위의 영향을 크게 받는 것으로 나타났고, 지시크리깅 기법은 연구지역의 자료 분포와 특히 제한값에 따라 변환된 자료의 갯수의 영향을 크게 받는 것으로 나타났다. 또한, 지시크리깅에 의한 지하수 오염 분포도에서 오염 분포의 범위는 과대 추정되어 나타나는 경향을 보였다. 정규크리깅 기법을 이용하여 작성된 지하수 오염 분포도에서는 지하수 오염 현황을 정량적인 수치로 나타낼 수 있고, 지시크리깅 기법에 의한 지하수 오염 분포도에서는 지하수 오염 현황을 정성적인 범위로 나타낼 수 있었다. 정규크리깅 기법과 지시크리깅 기법을 같이 적용한다면 지하수 오염 현황을 효과적으로 파악할 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 강동환, 정상용, 김병우, 심병완, 성익환, 조병욱, 2003, Indicator 크리깅을 이용한 부산지하수 수질의 오염도 연구, 한국지하수토양환경학회 추계학술발표회.
2. 정상용, 강동환, 박희영, 심병완, 2000, 부산지역 지하수 오염현황 분석을 위한 지구통계 기법의 응용, 지질공학, 10(3), pp.247-261.
3. Johnson, N. M., and S. J. Dreiss, 1989, Hydrostratigraphic Interpretation Using Indicator Geostatistics, Water Resources Research, 25(12), p.2501-2510.
4. Journel, A. G., and C. H. Huijbregts, 1978, Mining Geostatistics, Academic Press, 600p.
5. Matheron, G., 1963, Principles of Geostatistics, Economic Geology, 58, pp.1246-1266.
6. Matheron, G., 1969, Le Krigeage Univesal, Cah. Centre Marphol, Math., 1.