

충북 보은읍 지하수 수질의 계절적 변화

김태형, 정상용, 성익환*, 이병대*, 이민희, 강동환, 김병우

부산광역시 남구 대연 3동 599-1 부경대학교 환경·해양대학 환경지질학과

*한국지질자원연구원

piezometer@daum.net

<요약문>

충북 보은읍 지역을 대상으로 계절별 지하수의 변화 양상을 파악하기 위하여 2002년 겨울과 봄에 지하수의 현장수질 성분인 수온, pH, Eh, DO, EC, TDS 등을 측정하고, 지하수를 채취하여 실내에서 유기물 분석을 실시하였다. 지하수 수질을 평가하기 위하여 계절별로 수질자료의 통계분석과 등치선도를 작성하였다. 보은읍의 수질자료에서 정규크리깅을 이용하여 작성된 지하수 수온의 등치선도에 의하면 봄철 조사에서 전반적으로 온도가 3~4℃ 정도 상승하였고, pH는 겨울철 조사에서는 전반적으로 균등하게 나타나지만, 봄철 조사에서는 북동쪽 지역에 높게 나타나고 있다. 나머지 현장수질 성분들은 계절에 관계없이 일정한 경향을 보여주고 있는데, Eh는 모두 중앙 지역에 높은 수치들이 나타나고 있고, EC 수치는 동쪽 지역이 낮고 서쪽 지역이 높게 나타나고, TDS 수치는 중앙 지역을 중심으로 높게 나타나고, DO 수치는 북쪽 지역이 낮고 남쪽 지역이 높게 나타난다. TCE는 봄철 조사에서는 전 지역에서 비교적 넓게 분포하지만, 겨울철 조사에서는 남쪽 지역이외의 지역에서는 TCE 수치가 나타나지 않았다.

주제어 : 계절별, 수질자료, 통계분석, 정규크리깅, 등치선도.

1. 서론

연구지역인 충북 보은읍 지역을 대상으로 2002년 1월(겨울)과 4월(봄)에 계절별로 지하수의 현장수질 성분인 수온, pH(수소이온농도), Eh(산화-환원전위), DO(용존산소량), EC(전기전도도), TDS(총고용물질) 등을 측정하고, 지하수를 채취하여 실내에서 유기물 분석을 실시하였다. 측정 대상 지하수공은 1월에 36공, 4월에 34공을 대상으로 각각 측정되었다. 분석된 유기물 성분은 Trichloroethylene(TCE), Tetrachloroethylene(PCE), 1,1,1-Trichloroethane(TCA), Benzene, Toluene, Ethylbenzene, Xylene 등이다. 본 연구지역에서와 같이 지하수 관련된 수질을 평가하기 위해서는 수질자료의 통계분석과 등치선도(isopleth map of groundwater quality)의 작성이 필요하고, 수질자료의 통계분석에는 평균, 분산, 표준편차, 왜도, 첨도 등의 일반통계와 수질자료들간의 상관성 분석, 그리고 등치선도 작성을 위한 지구통계학적 분석이 요구되어 진다. 본 연구의 목적은 충북 보은읍 지역에서 조사된 지하수 수질 자료를 이용하여 정밀한 지하수 수질 등치선도를 작성하고, 계절별 지하수의 변화 양상을 파악하는 데 있다.

2. 본 론

2.1 일반통계 분석

연구지역에서 겨울철에 조사된 현장수질을 각 성분별로 보면 수온은 7.4~15.3℃, 평균은 12.8℃이고, pH는 5.40~8.70, 평균은 6.64로 나타났다. Eh는 -139.1~243.2mV, 평균은 111.9mV이며, DO는 1.40~10.10mg/L, 평균은 5.31mg/L로 나타났다. EC는 88.6~638.0μS/cm, 평균은 270.2μS/cm이고, TDS는 105.9~525.9mg/L, 평균은 228.0mg/L로 나타났다. 분석된 유기물 성분을 각 성분별로 보면 TCE가 0.5~178.2μg/L, 평균은 16.3μg/L이고, Toluene은 0.5~31.1μg/L, 평균은 2.4μg/L로 나타났다. PCE는 0.5~35.0μg/L, 평균은 2.0μg/L이며, o-Xylene은 0.5~4.8μg/L, 평균은 0.7μg/L로 나타났다. BTEX (Benzene, Toluene, Ethylbenzene, Xylene)는 0.5~31.1μg/L, 평균은 2.7μg/L로 분석 결과 나타났다.

봄에 조사된 현장수질을 각 성분별로 보면 수온은 10.0~21.5℃, 평균은 15.2℃이며, pH는 6.19~12.43, 평균은 7.37로 나타났다. Eh는 -63.1~1843.0mV, 평균은 205.8mV이고, DO는 1.08~11.10mg/L, 평균은 5.54mg/L로 나타났다. EC는 111.3~761.0μS/cm, 평균은 303.6μS/cm이며, TDS는 105.8~525.9mg/L, 평균은 233.9mg/L로 나타났다. 분석된 유기물 성분을 각 성분별로 보면 TCE는 0.5~91.8μg/L, 평균은 3.8μg/L이고, PCE는 0.5~97.3μg/L, 평균은 3.8μg/L로 나타났다. 다른 성분들은 분석 결과 불검출 내지는 극미량만 검출되었다.

2.2 지구통계학적 분석

연구지역에 지하수 수질자료의 효과적인 분석을 위해서는 대표적 지구통계학적 기법인 크리깅(kriging)을 이용하여 수질항목별 등치선도를 만드는 것이 필요하다. 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, 연구지역의 수질분포 특성에 맞는 크리깅 모델을 개발하여 이용하여야 한다. 수질자료의 분포특성이 정상 확률 함수(stationary random functions)를 이룰 경우에는 정규크리깅(ordinary kriging)을 이용해서 등치선도를 작성한다. 그러나, 수질자료의 분포특성이 비정상 확률 함수(nonstationary random functions)를 이룰 경우에는 만능크리깅(universal kriging)을 이용하여야 정밀성이 큰 등치선도를 만들 수 있다. 수질자료의 공간상 분포특성 파악은 베리오그램 분석에 의하여 할 수 있다.

2.3 베리오그램 분석

공간상에 분포하는 표본자료의 특성은 베리오그램에 의해서 나타내며, 베리오그램은 공간상에 분포하는 임의의 두 자료 값의 차이의 분산으로 구해진다(Matheron, 1963). 총 2회에 걸쳐 계절별로 조사된 보은읍 지역의 현장 지하수질과 유기물 분석 성분으로서 TCE의 공간상 분포특성을 파악하고, 등치선도를 작성하기 위해 베리오그램 분석을 실시하였다. 먼저 각 계절별 현장 지하수질과 TCE에 가장 적합한 베리오그램 모델을 선정하였는데, 현장 지하수질 결과 중 수온 성분에서는 겨울과 봄철 조사 모두 구상형(spherical)모델이 가장 적합한 것으로 선정되었으며, pH 성분에서는 겨울에 조사된 결과에서는 구상형 모델이 선정되었으며, 봄에 조사된 결과에서는 지수형(exponential)모델이 선정되었다. Eh, EC, TDS, DO 성분들은 겨울과 봄철 모두 구상형 모델이 가장 적합한 것으로 선정되었고, 유기물질 분석 결과 중 TCE 성분도 역시 겨울과 봄철 조사 모두 구상형 모델이 선정되었다.

2.4 지하수 수질 등치선도

연구지역인 보은읍 지역의 6가지 현장 지하수질과 유기물인 TCE 성분의 베리오그램 분석 결과에 의하면 모두 정상 확률 함수의 특성을 나타내므로 선정된 모델을 적용하여 최선의 선형불편 추정자인 정규크리깅을 이용하여 현장 지하수질과 유기물 TCE의 등치선도를 작성하여 분석하였다. Fig. 1에 계절별 수온 항목의 등치선도가 작성되어 있다. 등치선도를 보면 겨울보다 봄에 조사된 자료들의 등치선도를 보면 전반적으로 수온이 3~4℃ 정도 상승함을 알 수 있었다. Fig. 2에 pH 항목의 등치선도가 계절별로 나와 있으며, 겨울에 조사된 결과에서는 전반적으로 pH 수치가 균등하게 나타나는 반면 봄에 조사된 결과에서 보면 pH 수치가 북동쪽 지역에 높게 나타남을 알 수 있었다. Eh 항목의 등치선도는 Fig. 3에 작성되어 있으며, 겨울 및 봄에 조사된 결과 모두 중앙 지역에 높은 수치들이 나타나고 있음을 알 수 있었다. Fig. 4에 EC 항목의 등치선도가 작성되어 있으며, 역시 겨울 및 봄에 조사된 결과 모두 EC 수치가 동쪽 지역이 낮고 서쪽 지역이 높게 나타났다. TDS 항목의 등치선도는 Fig. 5에 작성되어 있으며, 겨울과 봄철 모두 TDS 수치가 중앙 지역을 중심으로 높게 나타난다. Fig. 6에 DO 등치선도가 작성되어 있으며, 조사된 계절 모두 DO 수치가 북쪽 지역이 낮고 남쪽 지역이 높게 나타난다. TCE의 계절별 등치선도가 Fig. 7에 작성되어 있으며, 겨울에 조사된 결과에서는 전 지역에서 유사한 TCE 수치가 나타났지만, 봄에 조사된 결과에서는 남쪽 지역을 제외한 나머지 지역에서는 TCE 수치가 나타나지 않았다.

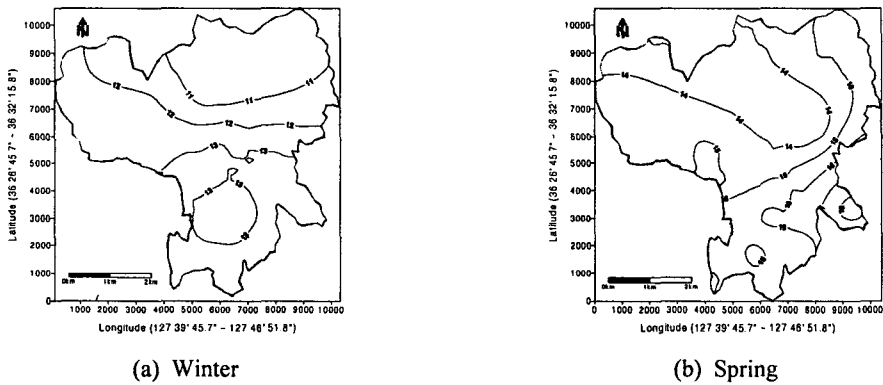


Fig. 1. Isopleth maps of temperature.

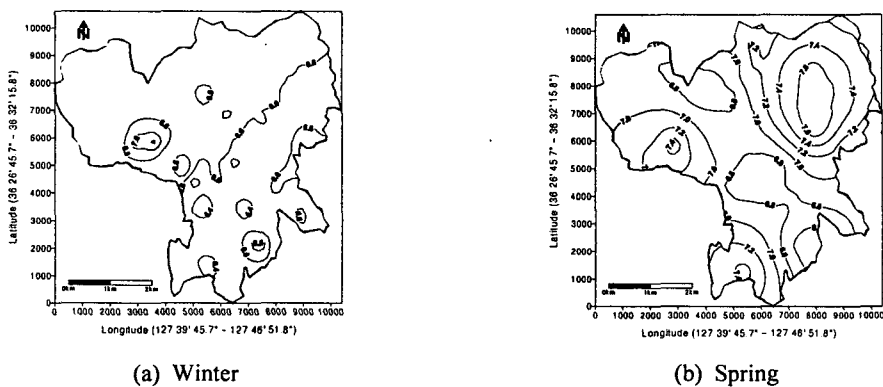
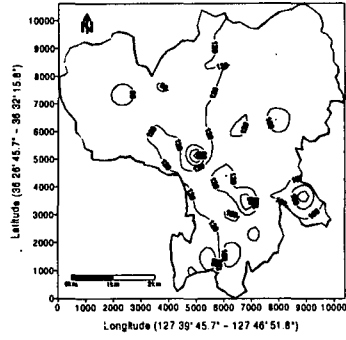
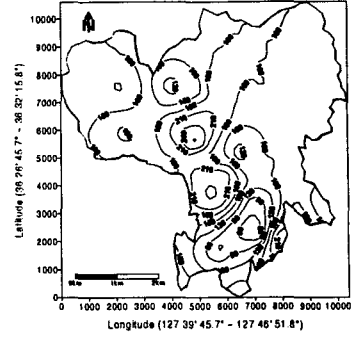


Fig. 2. Isopleth maps of pH.

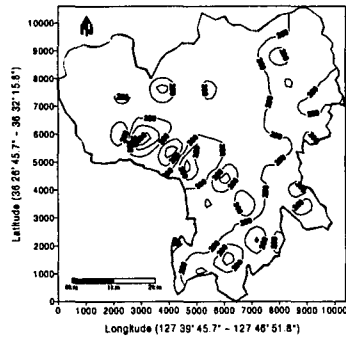


(a) Winter

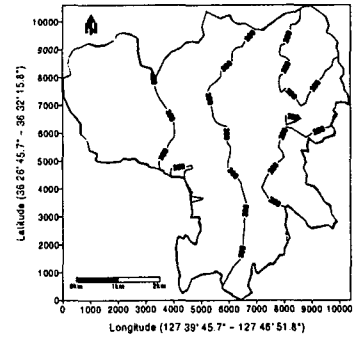


(b) Spring

Fig. 3. Isopleth maps of Eh.

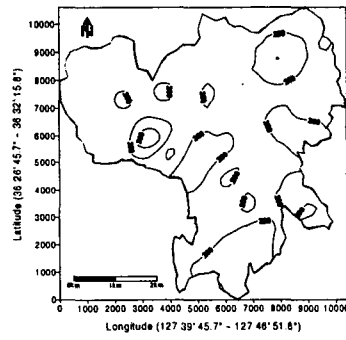


(a) Winter

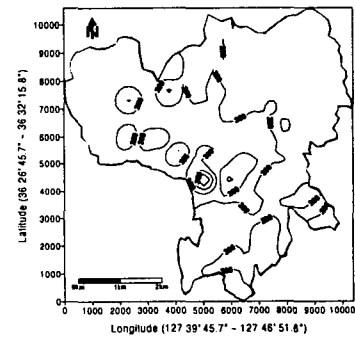


(b) Spring

Fig. 4. Isopleth maps of EC.

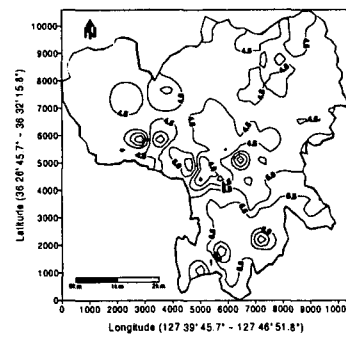


(a) Winter

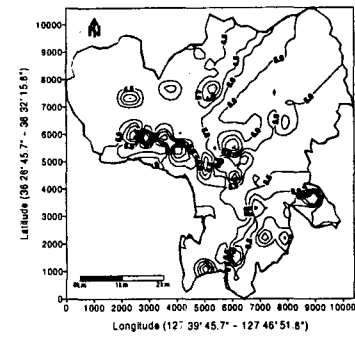


(b) Spring

Fig. 5. Isopleth maps of TDS.



(a) Winter



(b) Spring

Fig. 6. Isopleth maps of DO.

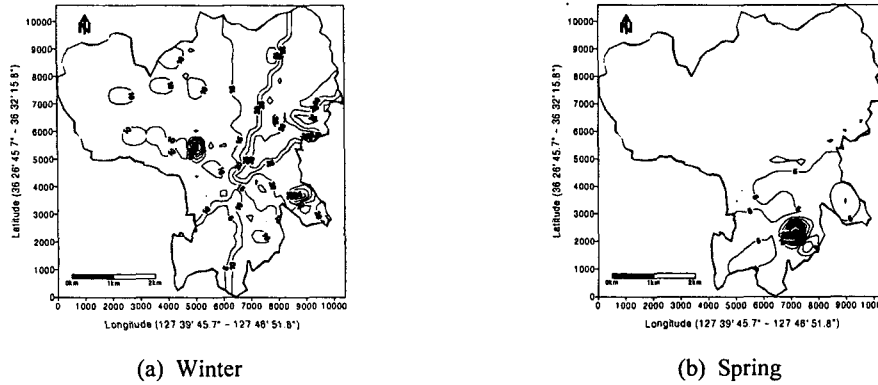


Fig. 7. Isopleth maps of TCE.

3. 결론

보은읍의 현상수질 조사에 의하면 겨울철 조사 때보다 봄철 조사에서 지하수 수질의 농도가 전반적으로 약간씩 증가되었다. 보은읍의 지하수에서 분석된 유기물질에서 TCE와 PCE가 일부 지하수공에서 검출되고 있으나, 평균적인 함량은 적은 편이다. 겨울철 조사에서는 TCE가 평균 16.3 μ g/L, PCE는 2.0 μ g/L이며, 봄철 조사에서는 모두 3.8 μ g/L의 양이 검출되었다. TCA와 Benzene은 모두 불검출이며, Toluene, Ethylbenzene, Xylene, BTEX 등은 모두 불검출 내지는 극미량만 검출되었다. 보은읍의 수질 자료에서 크리깅을 이용하여 작성된 지하수 수온의 등치선도에 의하면 봄철 조사에서 전반적으로 온도가 3~4 $^{\circ}$ C 정도 상승하였다. pH는 겨울철 조사에서는 전반적으로 균등하게 나타나지만, 봄철 조사에서는 북동쪽 지역에 높게 나타나고 있다. 계절에 관계없이 Eh는 모두 중앙 지역에 높은 수치들이 나타나고 있고, EC 수치는 동쪽 지역이 낮고 서쪽 지역이 높게 나타나고, TDS 수치는 중앙 지역을 중심으로 높게 나타나고, DO 수치는 북쪽 지역이 낮고 남쪽 지역이 높게 나타난다. TCE는 1차 조사에서는 전 지역에서 비교적 넓게 분포하지만, 2차 조사에서는 남쪽 지역이외의 지역에서는 TCE 수치가 나타나지 않았다. PCE는 대부분이 극미량으로 검출되어, 등치선도를 작성할 수 없었다.

4. 사 사

본 연구는 2001~2003년도 환경부 차세대핵심연구개발사업비의 지원을 받았습니다.

5. 참고문헌

1. 심병완, 정상용, 강동환, 김규범, 박희영, 2000, 영산강·섬진강 유역의 지하수 데이터베이스 자료에 대한 지구통계학적 분석, 지질공학, 10(2), pp.131-142.
2. 정상용, 유인걸, 유명재, 권해우, 허선희, 1999, 불균질·이방성 대수층의 지하수 유동분석에 지구통계기법의 응용, 지질공학, 9(2), pp.147-159.
3. 정상용, 심병완, 김규범, 강동환, 박희영, 2000, 지구통계 기법을 이용한 영산강·섬진강 유역의 지하수 수질특성 연구, 지하수환경, 7(3), pp.125-132.
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. Ceatre Marphol, Math., 1.
7. Robertson, G. P., 2000, GS+: Geostatistics for the Environmental Sciences, Gamma Desisn Software, Plainwell, Michigan, U.S.A.