

염수침입 현상의 전기비저항 분석에 대한 지구통계기법의 응용

심병완, 정상용, 김병우
부경대학교 환경지질과학과
e-mail: bwshim@mail1.pknu.ac.kr

Abstract

Although the problem of seawater intrusion at the coastal aquifer was recognized before over one hundred years at the coastal aquifer, much groundwater keep on being salinized by several reasons such as groundwater exhaustion, coastalline change, and human activities. The horizontal and vertical electrical soundings and geostatistical methods were used to define the local characteristics of saltwater intrusion and to estimate the saltwater interface in the southeastern area of the Pusan City. The 24 points of the Schlumberger vertical electrical soundings(VES) to 100m depth and the 2 lines of dipole-dipole horizontal soundings are performed. The resistivity data have lognormal distributions. The horizontal extents of saline water intrusion were estimated from the inversion of horizontal prospecting data. Lognormal ordinary kriging is used in A-A' resistivity profiles on May and July because the data have stationary models in semivariograms. Lognormal IRF-k kriging is used for the isopleth maps using vertical resistivity data. The 10 ohm-m resistivity line on the isopleth maps of 21m, 30m, 50m, and 70m depth using resistivity data measured in July is sifted to the east, comparing that of the isopleth maps measured in May. The kriged vertical and horizontal resistivity isopleth maps suggested that the geostatistical methods can be used to define the variation of earth resistivity distribution at the saltwater interface.

key word: saltwater intrusion, vertical electrical soundings (VES), lognormal ordinary kriging, lognormal IRF-k kriging.

1. 서론

해안가 주변 대수층에 대한 염수침입 문제에 대한 기본적인 설명과 이해는 백여년 전부터 알려져 왔으나 최근에 지하수의 고갈과 해안선의 변화, 각종 건설공사로 인하여 담수와 염수의 자연적인 균형이 무너지면서 해안가 대수층의 염수화가 급속히 진행되는 사례들이 보고되고 있다. 세계적으로 전 인구의 70% 정도가 해안가 지역에 거주하고 있으므로 인구증가와 경제성장으로 인하여 수자원의 수요는 더욱 증가하여 이들 지역의 염수침입 피해는 일반적인 것이 되고 있다. 최근 국내에서 이러한 해수침투에 대한 이론 및 적용에 대한 조사연구는 일부 전문기관들(한국지질자원연구원, 농업기반공사, 한국수자원공사)을 중심으로 이루어져 왔다.

본 연구에서는 부산의 동남해안지역에 위치하여 염수의 영향을 받고 있는 부경대학교 캠퍼스에서 대수층의 염수화 연구에 많이 적용된 전기비저항 탐사를 실시하였다. 획득된 자료는 지구통계학적 방법들을 이용하여 효과적으로 전기비저항치의 변화와 분포들을 심도

별 수평단면들과 수직단면들을 분석하는 방법을 설정하였다. 그리고 모니터링 우물을 이용하여 지하수위의 변화에 대한 심도별 전기전도도를 측정하여 비교하였다. 전기비저항 탐사는 최근 복잡한 지질학적 구조들을 파악하기 위한 지질공학적인 목적 뿐만아니라, 환경문제를 조사하는데도 이용되고 있다. 비저항 자료와 지하수의 수질의 관계를 나타내기 위하여 Stewart et al.(1983)는 광역적인 해안가 지역에 대하여 DC 비저항 방법을 이용하여 비저항 자료와 수리지질학적 자료와의 관계를 설정하였다. 지구통계학적 기법은 공간상의 확률변수 자료들에 대하여 신뢰성 있는 분포도를 만들 수 있기 때문에, 불확실성이 크고 자료의 획득이 용이하지 않은 경우에서 많이 이용되고 있다.

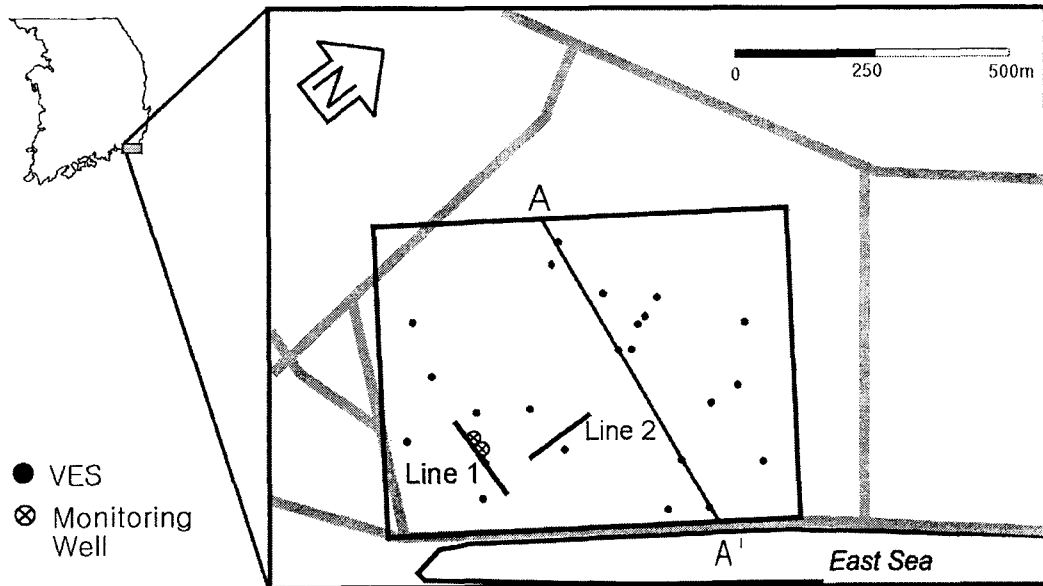


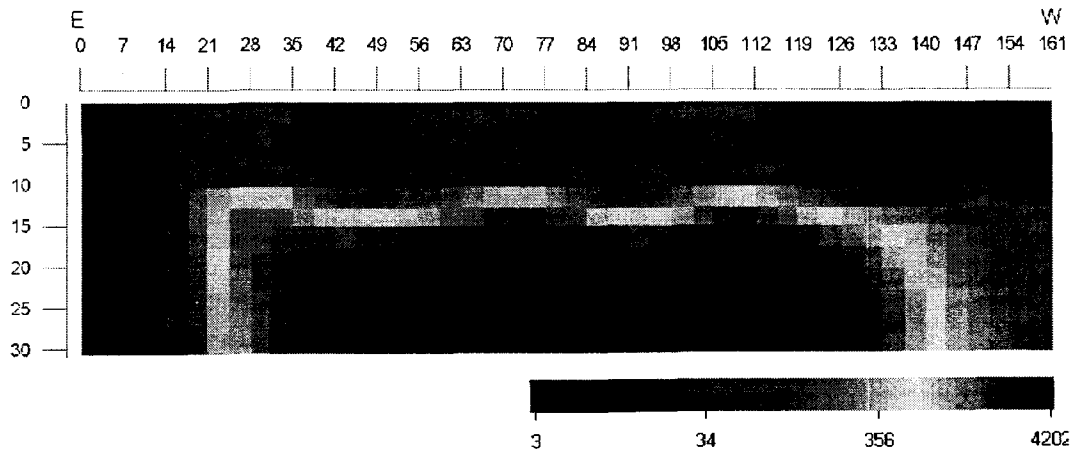
Figure 1. Location map of the study area (VES: Vertical Electrical Sounding).

2. 본론

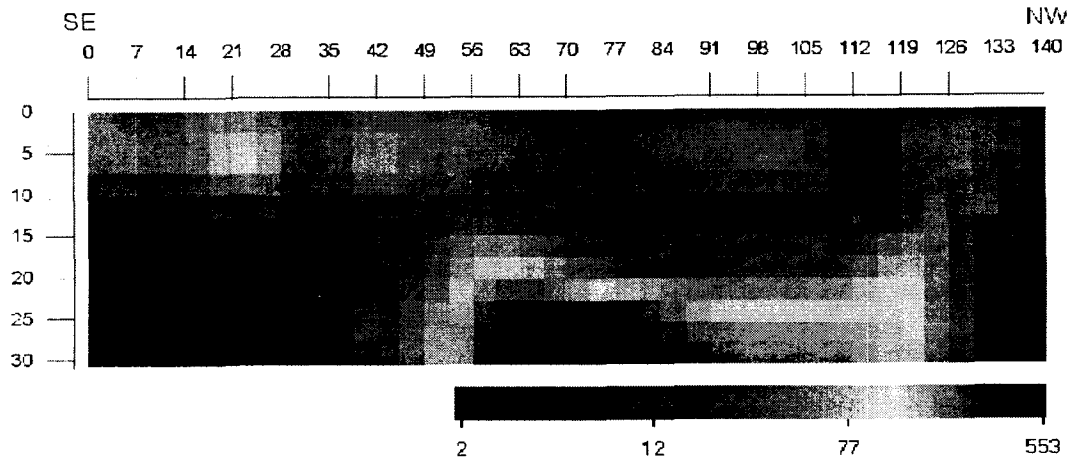
해안가에서 약 180m 정도 떨어져 있는 두 개의 모니터링 우물에서 전기전도도는 지표하 약 24 ~ 25m 심도에서 급격히 상승하고, 지하수의 온도는 26m 심도에서 16 °C ~ 16.3 °C 사이로 안정적이다. 주변지역의 수리분수령(Watershed boundary)을 고려하면 남동 방향으로의 지하수 유동을 추정할 수 있으며, 지표면은 수평에 가깝다. 기존 자료들에 의하면 지하수면은 지표하 2 ~ 5m 사이에 위치하고 있으며, 지질은 매립토와 풍화토가 약 15 ~ 20m 정도까지 분포한다. 그 하부는 풍화된 응회질퇴적암으로 구성되어 있으며, 연구지역 북서쪽에는 염기성 암맥, 안산암 및 안산암질 화산각력암으로 형성되어 있다.

수평탐사를 위하여 2개의 측선(Line 1, Line 2)을 2001년 4월 18일 실시하였다. 탐사에서는 전극 간격이 7m인 쌍극자 배열(dipole-dipole)로 실시하였고, Line 1은 160m, Line 2는 140m의 측선에서 자료를 획득하였다. 본 연구는 수평탐사를 통하여 천부의 염수침투현상 범위를 파악하기 위하여 35m 심도까지 전기비저항 2차원 단면도(Figure 2)를 작성하여 해석하였다. 측선 Line 1에서는 동쪽 방향에서 약 14m 지점까지 낮은 비저항대가 발달하는 것으로 나타내고 있으며, Line 2에서는 남동쪽 35m 지점까지 낮은 비저항대가 위치하여 수

평적인 해수침투의 가능성을 나타내는 것으로 판단된다. 수직방향으로 Line 1과 Line 2에서 심도 15m 전후에서 비저항의 차이가 크게 나타나는데, 이 부근에서 지층의 경계가 위치하는 것으로 추정된다.



(a)



(b)

Figure 2. The results of inversion in (a) Line 1, (b) Line 2.

24점의 Schumberger 배열의 수직전기탐사는 갈수기인 5월과 우기인 7월 두차례 실시하였고, 강우에 의한 지하수위 변화에 따른 지반내의 전기비저항치 변화를 파악하였다. 두차례 수직탐사의 전기비저항치 분포는 lognormal 분포를 나타나고 있다. Figure 3에서 $\ln(\text{Ohm-m})$ 자료가 각각 lognormal 분포를 보이므로 $\ln(\text{Ohm-m})$ 의 값으로 반베리오그램을 계산하여 크리깅을 하였고, 크리깅된 값들을 다시 원래의 값들로 환산하는 lognormal ordinary kriging 기법을 이용하여 계산하였다. A-A' 단면에서의 전기비저항 값을 크리깅한 결과는 다음과 같이 나타난다.

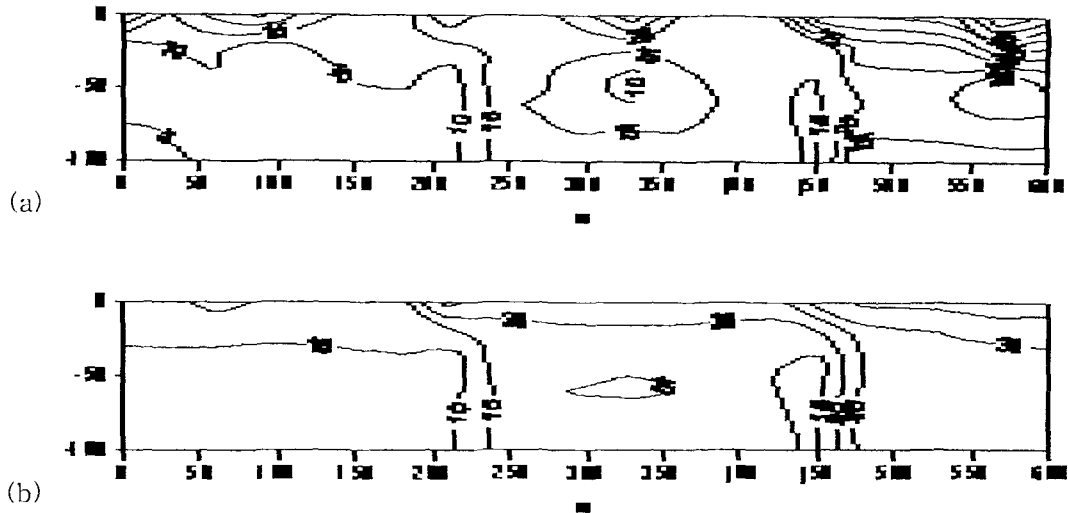
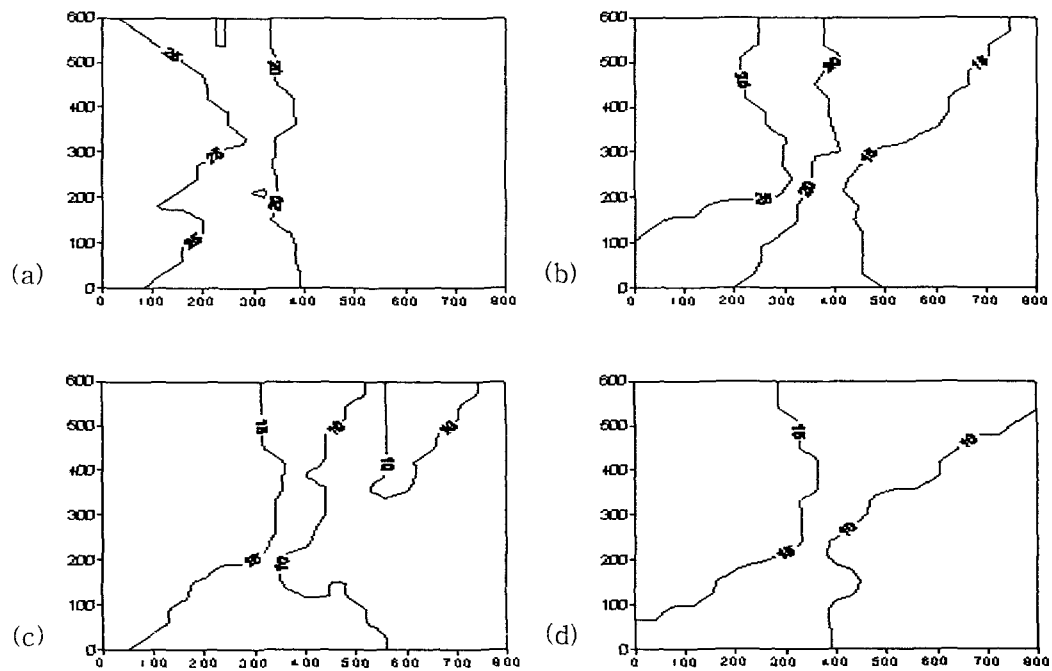


Figure 3. Isopleth maps of Ohm-m by lognormal ordinary kriging in (a) May and (b) July.

Cross validation 계산결과로 취해진 IRF-k kriging의 GC 모델들은 7월에 측정된 전기비저항치에서 50m 깊이의 자료가 k의 값이 1인 차수를 나타내었고, 나머지는 0차의 GC 모델을 가지는 것으로 나타났다. 그 모델을 이용한 비저항값을 등치선도들은 Figure 4에 있다. 계산된 GC 모델들로 lognormal IRF-k 크리깅한 결과는 다음과 같다.



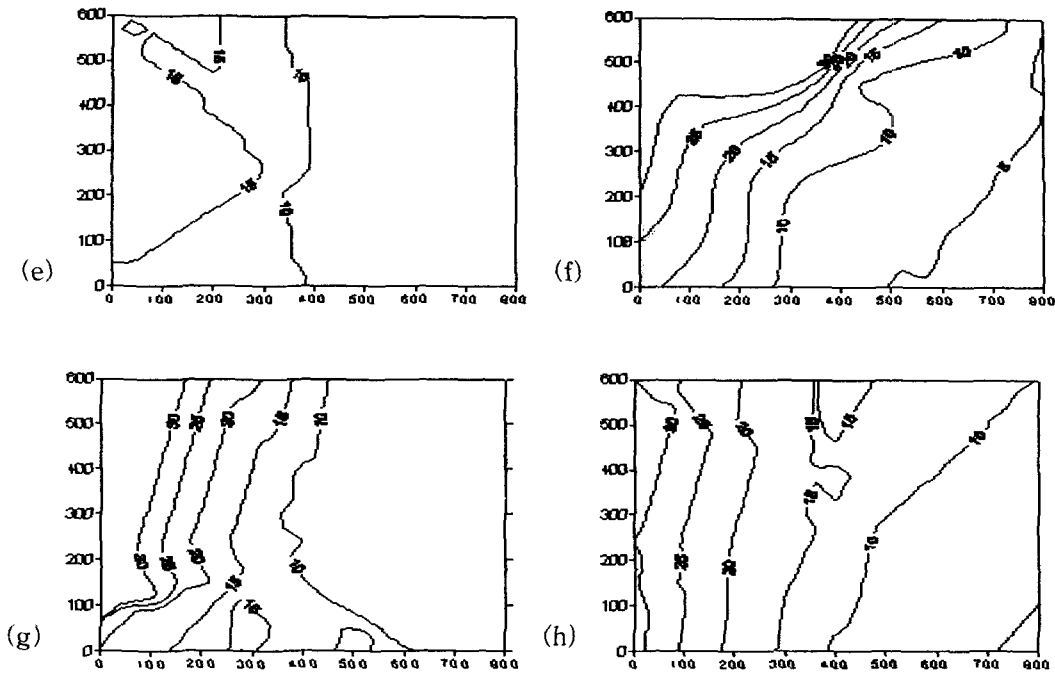


Figure 4. Isopleth maps of Ohm-m data of 21m(a, b), 30m(c, d), 50m(e, f), 70m(g, h) depths in May and July

3. 결론

수평탐사의 역산결과 전기비저항 2차원 단면도에서 측선 Line 1에서는 동쪽 방향에서 약 14m 지점까지 낮은 비저항대가 발달하는 것으로 나타나고 있으며, Line 2에서는 남동쪽 35m 지점까지 낮은 비저항대가 위치하여 수평적인 해수침입의 가능성을 나타내는 것으로 판단된다. 수직탐사(VES) 자료들의 분포는 전형적인 lognormal 분포를 가지는 것으로 나타났다. 수직탐사 자료를 lognormal ordinary kriging 결과에서 7월에 측정된 비저항치 단면이 5월에 측정된 비저항치 보다 전체적으로 20m 하부에서 약간 높은 분포를 형성하고 있으므로, 충전된 지하수의 함양으로 인하여 연구지역의 염수농도가 다소 낮아진 것으로 사료된다. 그리고 lognormal IRF-k kriging을 실시한 21m, 30m, 50m, 70m 깊이에서의 전기비저항 분포에서도 30m 이하 깊이의 우기때 측정된 것들이 10 Ohm-m 선을 기준으로 다소 우측으로 이동한 형태를 나타내고 있다. 이들 전기비저항 분포도로서 염수와 담수의 경계면을 추정하였으며, 지구통계학적 방법을 이용하여 비저항 단면을 깊이와 시간의 변화를 고려하여 나타냄으로써 지하수의 함양에 따른 전기비저항 분포의 변화를 파악할 수 있었다.

4. 참고문헌

1. 한국자원연구소, 1999, 지하수 염수침입 경로규명을 위한 현장관측 및 분석 연구, 156.
2. Isaaks, E. H., and R. M. Srivastava, 1989, Applied Geostatistics, Oxford University, 561.
3. Stewart M., Layton M, and Lizanec T., 1983, Application of resistivity survey to regional hydraulic reconnaissance, Ground Water 21(1), 42-48.