

지구통계기법을 이용한 대수층의 공간적 분포연구
A spatial distribution study of Aquifer Using Geostatistical analysis at the Ulsan
Manufacturing Industry City

¹김병우 · 정상용 · 강동환 · 이민희 · ²성익환 · 조병욱 · ³이승엽
¹부경대학교 환경지질학과 · ²한국지질자원연구원² · ³서울대학교 지구환경과학부³
(e-mail : k_bw00@hotmail.com, Tel : 051-620-6235, Fax : 051-628-6432)

요약문

본 연구는 울산지역 지하수오염 저감기술의 개발에 필요한 대수층의 공간적 분포특성을 파악하는데 목적이 있다. 울산 공업도시의 대수층에서 공간적 분포특성을 파악하기 위하여 시추조사가 많이 필요하지만 비용 및 시간 관계상 어려움이 있기 때문에, 지질조사 보고서나 논문 등에서 지하수자료와 시추자료를 획득하여 지구통계기법을 이용한 울산지역 대수층의 공간적 분포를 모사하였다. 그리고 인구가 밀집되어 있는 남구와 중구를 중심으로 대수층 단면 분포를 모사하였다. 이와 같은 분석결과는 표토층 하부경계부와 풍화대 하부경계부에서 유사한 분포심도로 나타났으며, 지하수 수위는 표토층 하부경계와 암반층 상부경계부인 풍화대에 분포하는 것으로 나타났다.

주제어 : 시추조사자료 분석, 크리깅 분석, 3차원 대수층의 공간적 분포.

1. 서 론

울산지역에 분포하는 대수층의 공간적 분포특성을 파악하기 위하여 시추조사 자료가 많이 필요하다. 울산지역의 많은 시추자료의 획득은 비용 및 시간 관계상 어려움이 있어, 울산시내에 있는 지질용역회사와 시추자료를 소장하고 있는 부산의 지질용역회사로부터 시추자료를 획득하여 자료를 정리하고, 재구성하여 분석하였다. 본 연구에 이용된 시추자료는 총 1,446개 지점으로 지형학적 표고자료 849개 지점, 울산시의 4개구와 울주군의 시추자료 597개 지점에 대한 시추자료로 구성되어 있다.

본 연구를 효과적으로 수행하기 위하여 다음의 조사 및 연구를 실시하였다. 1) 지질공학적 조사(시추장비 구성, 토양의 분류, 암반의 분류 등), 2) 시추자료 및 물리탐사 자료 조사(대수층의 종류, 위치, 두께, 표고, 개발심도와 지하수위 등), 3) 지구통계기법 연구(베리오그램, 크리깅(정규크리깅, 코크리깅, 조건모사 등), 4) 자료의 일반통계 및 지구통계 분석(평균, 표준편차 등의 일반통계 분석, 대수층분포 재구성을 위한 격자상의 자료 추정(크리깅 이용)), 5) 대수층의 공간적 분포 구성(표토와 풍화암의 등심선도 및 3-D 표면도를 작성하여 울산지역 대수층의 공간적 분포 구성).

2. 연구지역 개황

본 지역은 불균질·이방성 대수층의 공간적 분포특성에 크리깅모델을 적용하기 위하여, 남구, 중구, 북구 그리고 동구로 구분하였다. 울산지역의 특성상 남구와 일부 중구를 제외한 2개구는 대부분이 산악지역으로 형성되어 있으며, 특히 북구와 동구는 남동부 해안에 접하고 있다. 울산시의 4개구 중에서 남구와 일부 중구의 인구밀집 지역이 약 70~80%로 형성되어 있는 것으로 추정된다. 이 지역의 동해에 인접한 남부 지역은 해발 약 40m의 작은 산이 분포해 있으며, 남부의 내륙 안쪽으로는 비교적 낮은 평지로 구성되어 있다. 중구와 북구에는 약 40~130m의 비교적 낮은 산들이 분포하고 있으나, 북구와 동구는 약 100m~250m 이상의 높은 산들이 분포해 있다.

대수층의 공간적 분포특성을 파악하기 위하여 수집된 자료들의 위치에 지리적 TM좌표를 설정하였다. 이 지역의 표고는 디지털 지도 1:5,000 지형도에서 판독하였으며, 해수면과 만나는 해안지역의 경계조건을 표고, 표토층 그리고 풍화대는 일부 지형적 특성과 위치 자료들의 특성에 따라 0으로 간주하여 모사하였다. 대수층의 공간적 분포를 위하여 표토층 경계부와 풍화대 경계부는 모두 해수면기 준의 높이로 환산하였다.

4. 대수층 시추자료의 지구통계학적 기법 적용

조사지역에 산발적으로 분포하는 대수층 자료의 효과적인 분석을 위해서는 대표적 지구통계학적 기법인 크리깅(kriging)을 이용하여 등고선도를 만드는 것이 필요하다.

크리깅은 공간상에 분포하는 확률변수(random variables)들을 이용하여 자료가 없는 필요한 지점에서 값을 추정해내는 강력한 통계학적인 방법인데, 울산지역의 대수층 분포 특성에 맞는 크리깅 모델을 적용하여 이용하여야 한다. 대수층자료의 분포특성이 정상확률함수(nonstationary random functions)를 이룰 경우에는 정규크리깅(Ordinary Kriging)을 이용해서 등고선도를 작성한다.

표고, 표토층 하부경계부, 풍화대 하부경계부 그리고 지하수 수위에 대한 적합한 모델을 선정하기 위해서 반베리오그램으로 나타내었다. 그 결과 표고는 선형모델(Linear model), 표토층 하부경계부는 구상형모델(Spherical model) 풍화대 하부경계부는 구상모델(Spherical model), 그리고 지하수 수위는 지수형모델(Exponential model)로 나타내었다.

6. 크리깅 분석

Fig. 1(a)에서 크리깅에 의한 등치선도는 실제 지형보다 완만하게 나타나고 있으나, 산, 계곡, 평지, 해안선 등의 지형적 변화는 서로 일치하며, Fig. 1(b), (c)의 표토층 하부경계부와 암반층의 상부경계부의 대수층 분포는 균일한 심도유사하게 나타났다. 그 반면 북구지역의 산악지역 표고와 표토층과 풍화대 하부경계부의 해발심도는 많은 차이를 보였으나, 그것은 북구에 위치하는 산악지역의 표토층과 풍화대 시추자료 및 지하수 수위자료가 부족하여 실제 존재하는 자료만으로 분석결과를 모사한 것이다. 따라서 울산지역의 대수층분포 분석에 앞서, 북구지역과 일부 동구 산악지역의 시추자료 부족으로, 현재 획득한 자료만으로 분석한 결과를 나타낸 것이다. 지하수 수위를 정규크리깅에 적용하여 작성한 등고선도는 Fig. 1(d)와 같이 나타났으며, 그 결과 표토층 하부경계부와 암반층 상부경계부를 따라 유사한 지하수 수위분포를 보였다.

7. 대수층단면 모사

본 연구지역의 공간적 분포특성을 파악하기 Fig. 2과 같이 A1-A2, B1-B2, C1-C2 그리고 D1-D2 단면도를 모사하였다. 따라서 남구의 많은 시추자료는 다른 구와 비교해 볼 때, 보다 정밀한 대수층의 공간적 분포 분석을 가진 것으로 사료된다.

크리깅에 의해 분석된 결과에서 Fig. 3(A1-A2, B1-B2, C1-C2, D1-D2 단면도)과 같이 표토층, 풍화대 그리고 암반의 공간적 특성을 나타내었다.

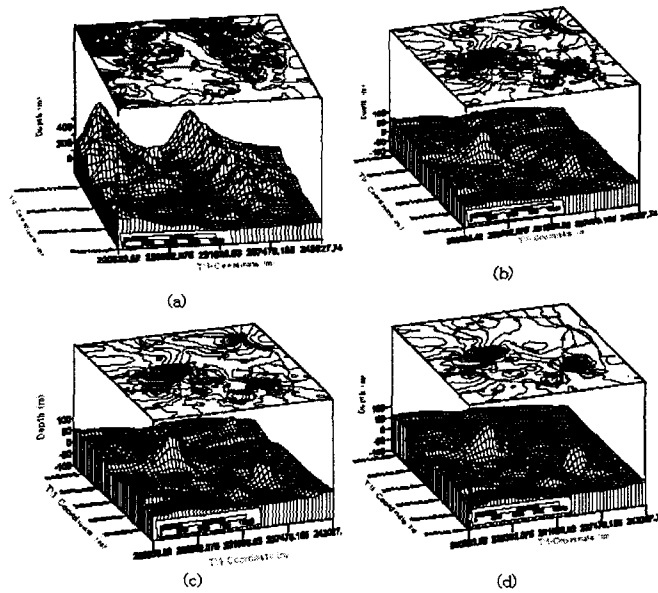


Fig. 1. Contour and 3-D surface maps ; (a) topographic elevation. (b) the boundary between soil and weathered zone or between soil and bedrock., (c) the boundary between soil and weathered zone or between soil and bedrock.. (d) groundwater level.

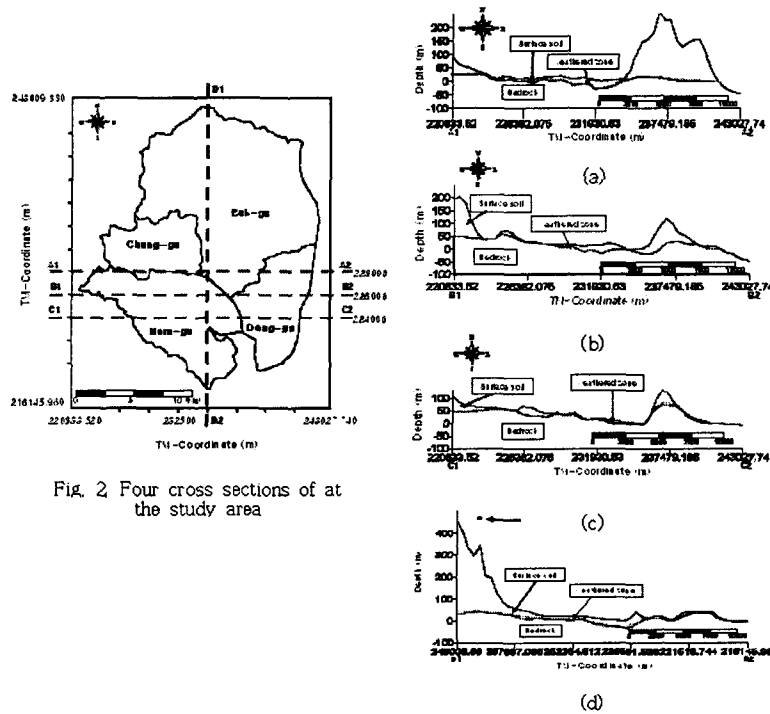


Fig. 2 Four cross sections of the study area

Fig. 3. Four cross sections ; (a) from A1 to A2., (b) from B1 to B2. (c) from C1 to C2., (d) from D1 to D2.

8. 결론

본 연구를 통하여 얻은 결론은 다음과 같다.

1. 울산지역의 4개구 중에서 북구의 북동방향의 산악지역과 북구와 인접한 동구의 일부 산악지역에서는 표고와 표토층 하부경계부의 분포심도 차이가 크게 나타났으며, 그 외에는 표토층 하부경계부와 풍화대 하부경계부에서는 유사한 분포심도가 나타났다.

2. 남구의 해안 근처에 인접해 있는 산악지역의 표토층과 풍화대 심도를 분석한 결과 표토층 심도의 경우 해수면에서 약 10m~40m, 풍화대는 표토층을 따라 평균 약 1m 내외의 풍화심도로 분석되

었다. 남구의 서쪽 지역의 표토층 심도가 약 4~6m 내외로, 풍화대 심도는 표토층의 경계부와 균일하게 평균 약 1~3m 내외의 분포를 보였다.

3. 중구의 약 130m의 산악지역에서 표토층과 풍화대는 표고와 유사한 분포양상으로, 중구 내륙 지역의 경우 평균 약 20m 표고 일대에서 표토층 심도가 약 5~20m의 분포로, 풍화대는 표토층과 유사하게 나타났다.

4. 북구의 경우 동북에서 남쪽으로 약 250m로 뻗어있는 산악형태를 띄고있다. 표토층과 풍화대 하부경계부는 북쪽에서 남쪽방향으로 해발심도 약 60m~20m로 남쪽을 향하는 구조를 가지고 있다. 동구를 잇는 일부 산악지역 경계구역까지 심도가 낮은 분포양상을 보였다. 그리고 북구의 내륙 중심에서는 표고 약 20m에서 남쪽방향으로, 표토층 심도가 약 5m로, 풍화대의 심도는 약 10m로 모사되었다.

5. 정규크리깅에 의해 작성된 지하수 수위 등치선도 상에서 지하수 수위 분포상태를 검토해보면, 표토층 하부경계부와 암반층 상부경계부를 따라 지하수 수위분포가 유사한 분포양상으로 나타났다.

참고문헌

심병완, 정상용, 강동환, 김규범, 박희영, 2000, 영산강·섬진강 유역의 지하수 데이터베이스 자료에 대한 지구통계학적 분석, 지질공학, 10(2), 131-142.

정상용, 권해우, 허선희, 1997, 불균질·이방성 대수층의 지하수 유동분석 기술연구, 대한광업진흥공사, 광진 97-2, 153 pp.

정상용, 유인걸, 윤명재, 권해우, 허선희, 1999, 불균질이방성 대수층의 지하수 유동분석에 지구통계기법의 응용, 지질공학, 9(2), 147-159.

정상용, 강동환, 박희영, 심병완, 2000^a, 부산지역 지하수 오염현황 분석을 위한 지구통계기법의 응용, 지질공학, 10(3), 247-261.

정상용, 심병완, 강동환, 김병우, 박희영, 원중호, 김규범, 2001, 크리깅에 의한 장기관측 지하수위 결측자료 보완, 대한지질학회지, 37(3), 421-430.

Isaaks, E. H., and Srivastava, R. M., 1989, Applied Geostatistics, Oxford University, 561p.

Loaiciga, H.A., R.B. Leipnik, P.F. Hudak, and M.A. Marino, 1996, 1-, 2-, and 3-Dimensional Effective Conductivity of Aquifers, Math. Geol., 28(5), p.563-584.

Robertson, G.P., 1998, GS⁺: Geostatistics for the Environmental Sciences, Gamma Design Software, Plainwell, Michigan, U.S.A.