

달천광산 지역의 지하수위 분포와 최적의 수리경사 추정

김태영^{1)*} · 정상용¹⁾ · 강동환¹⁾ · 양성일¹⁾

1. 서 론

본 연구지역은 과거에 광산개발이 수행되었던 지역으로서, 현재는 적재된 광미에 의해 중속 성분으로 인한 토양과 지하수 오염이 나타나고 있다. 토양과 지하수에 대한 효율적이고 경제적인 오염복원을 위해서는 연구지역 내 지하수의 유동분석이 필수적이다.

지하수 유동 분석에 필수적인 지하수위 등고선도는 대부분 수치모델링(numerical modeling)에 의해 작성되어졌으나, 수치모델링은 지형과 지질의 변화가 단순하며 대수층의 조건이 매우 이상적인 환경에서만 그 신뢰성이 보장된다. 따라서, 지형적 기복이 심하며 불균질·이방성 대수층에서 지하수위를 추정할 때 지구통계기법이 많이 이용된다(정상용 외, 1999; 정상용 외, 정상용 외, 2000). 지구통계기법 중 크리깅(kriging)은 최선의 선형불편 추정자(best linear unbiased estimator; BLUE)로서 불편(unbiased)의 조건과 최소의 추정분산(minimum estimate variance)을 가지며, 자료가 필요한 지점의 값을 추정해내는 통계기법이다(강동환, 1999).

본 연구에서는 달천광산 지역에서 지하수위 분포를 파악하기 위해 지구통계기법을 이용한 지하수위 등고선도를 작성하였으며, 또한 연구지역 내에서 최적의 지하수 흐름 방향을 산정하기 위해 Delvin(2003)의 연구를 적용하였다.

2. 본 론

2.1. 지하수위 분포

본 연구지역은 해발고도 100 m 이내의 낮은 구릉지로 광산의 북쪽과 서쪽 외곽에 산림이 발달하여 북서쪽이 높고, 남동쪽으로 갈수록 낮아지는 지형을 나타내고 있다. 연구지역의 북쪽으로 천곡천, 남쪽으로는 상안천이 남동방향으로 흐르며, 북동쪽에 비교적 큰 하천인 동천이 유사한 방향으로 흐른다. 연구지역 내에서 지하수위 자료를 얻기 위해 23개 공에서 수위를 측정하였으며, 해수면 기준 지하수위를 구하기 위해 이 지점들의 표고를 측량하였다. 또한, 지하수공이 개발되지 못한 지점에서 지하수위를 추정하기 위해 표고를 100 m 간격으로 40개 지점에서 추가적으로 측량하였다.

두 변수 사이의 관계를 분석하는 기법에는 회귀분석(regression analysis)과 상관분석(correlation analysis)이 있다. 이 중 회귀분석은 두 변수 사이의 함수적 관계를 기술하는 수학적 방정식을 구하는데 사용된다. 이 식은 독립변수의 값이 주어질 때 종속변수의 값을 추정하거나 예측하는데 사용된다(강금식, 1999). 한 자료의 수가 다른 자료의 수보다 적다할지라도 그 자료들 간의 상관관계를 이용하여 부족한 자료 값을 추정해 낼 수 있다(Carr *et al.*, 1985). 일반적으로 지형의 표고와 지하수위는 높은 상관성이 있으며, 본 연구지역과 같이 인위적인 지형변화가 큰 곳에서 지하수위 자료만을 이용하여 분포도를 작성하는 것보다 지형적인 여건을 고려한 지하수위의 분포도가 더 정밀한 지하수위 분포도를 만들어낼 수 있다(정상

주요어 : 달천광산, 지하수위, 수리경사, 주흐름방향

1) 부경대학교 환경지질학과 (kimty@pknu.ac.kr)

용 외, 1995).

본 연구에서 측정된 지하수위와 표고 자료 간의 회귀직선이 작성되었으며, 회귀분석의 결과 값들은 Table 2에 정리되어 있다. 지하수위와 표고의 상관계수(correlation coefficient)가 0.829로 높게 나타났으며, 회귀직선의 기울기는 0.590으로 산정되었다.

연구지역의 지하수위와 표고 자료에 대한 최적의 반베리오그램 모델을 선정한 후 정규크리깅 기법을 이용하여 지하수의 등고선도와 표고의 등고선도를 작성하였다. 지하수위 자료는 지수형 모델을 이용하였으며, 표고 자료는 구상형 모델을 이용하였다. 정규크리깅을 이용한 지하수위와 표고의 등고선도를 작성한 결과, 본 연구지역은 북쪽이 지하수위가 높고 남쪽으로 갈수록 낮아지는 경향을 보이고 있다. 표고 등고선도에서도 북쪽이 높고 남쪽이 낮은 지형을 보이며, 사문석 채석지(quarry)의 낮은 웅덩이와 광미댐(tailing barrier)의 지형도 나타났다.

지형의 표고를 고려한 지하수위 등고선도를 작성하기 위해 표고와 지하수위를 이용한 코크리깅이 수행되었다. 표고와 지하수위의 교차베리오그램은 가우시안 모델(Gaussian model)이 가장 적합한 것으로 나타났으며, 이 모델을 적용한 지하수위 등고선도가 작성되었다. 연구지역의 지하수위는 북쪽이 높고 남쪽이 낮은 것으로 나타났으며, 정규크리깅에 의한 지하수위 분포와는 다르게 동쪽에 소규모의 구릉들이 나타났다. 이 지역은 지하수위 관측공이 없었던 지점이며, 표고는 50~60 m 정도로 측정되었다. 코크리깅에 의한 등고선도에서 나타난 소규모 구릉들과 사문석 채석지 주변 지역의 지하수위 분포가 실제 지하수위 분포에 근접하게 나타났다.

2.2. 최적의 수리경사 추정

지금까지 정규크리깅과 코크리깅을 이용하여 연구지역에서 최적의 지하수위 분포도를 작성하였다. 그 결과, 본 연구지역의 수위는 대체로 북쪽이 높고 남쪽으로 갈수록 낮아지는 경향을 보였으며, 지하수 유동 역시 북쪽에서 남쪽으로 이동할 것으로 예상되어 진다. 이를 정량적으로 검증하기 위해, Delvin(2003)에 의해 제시된 수리경사 추정방법을 적용하여 지하수의 주흐름방향을 추정하였다.

본 연구지역에서 측정된 23개 지점의 암반 지하수공이 모두 동일한 대수층으로서 평면이라는 가정 하에, Devlin(2003)이 제안한 방법을 적용하여 대수층의 수리경사와 주흐름방향을 산정하였다. Devlin(2003)은 Excel[®]의 spreadsheet를 이용하였으나, 본 연구에서는 Lahey-Fujitsu Fortran 95 program을 이용하였다.

지하수면이 평면으로, 본 연구지역은 모두 동일한 암반대수층이라고 가정하였다. x, y, z 축을 지나는 평면방정식은 다음과 같다(Delvin, 2003).

$$Ax + By + Cz - D = 0 \quad (1)$$

식 (1)로 표현되는 평면을 지하수면으로 가정한다면, x와 y는 지하수공의 좌표를 나타내고 z는 그 지하수의 수위를 나타낸다. 만약, 지하수면의 평면방정식에서 계수 A, B, C 및 D를 알 수 있다면, 수리경사의 크기와 방향을 산출해낼 수 있을 것이다. 아래의 식 (2)와 (3)에 의해 지하수 수리경사와 주흐름방향이 산정되었다.

$$\text{Hydraulic gradient} = \frac{\frac{D}{C}}{\sqrt{\left(\frac{DA}{A^2+B^2}\right)^2 + \left(\frac{DB}{A^2+B^2}\right)^2}} = \sqrt{\frac{A^2+B^2}{C^2}} \quad (2)$$

$$\tan \alpha = \frac{b}{a} = \frac{\frac{DB}{A^2+B^2}}{\frac{DA}{A^2+B^2}} = \frac{B}{A} \quad (3)$$

행렬[X]의 x, y, z 성분에 23개 지점의 좌표와 수위 자료를 각각 대입하였으며, 행렬[D] 성분은 모두 “1”로 가정하였다. 23개 지점의 지하수위를 이용하여 산출한 결과, 주흐름방향은 x 축으로부터 -67.53° 이며 암반 지하수의 수리경사는 0.02757로 나타났다. 달천광산 지역에서 산정된 주흐름방향은 북쪽에 위치한 천곡천과 남쪽의 상안천, 그리고 비교적 큰 하천인 동천의 흐름방향과 유사하다.

3. 결 론

달천광산 지역에서 지하수위 분포도와 최적의 수리경사추정 연구가 수행되었으며, 아래의 결과들이 도출되었다.

1. 지하수위 자료만을 이용하여 정규크리깅을 수행한 결과, 연구지역의 지하수위는 북쪽이 높고 남쪽으로 갈수록 낮아지는 경향을 보였다. 지하수위와 표고 자료를 이용하여 코크리깅을 수행한 결과, 지하수 관측공이 존재하는 지역들에서는 정규크리깅과 유사한 지하수위가 분포하였으나, 관측공이 없는 지역들에서는 표고의 영향을 많이 나타났다. 본 연구지역에서는 코크리깅에 의한 지하수위 분포도가 더욱 적합한 것으로 판단되었다.

2. 본 연구지역에서 Devlin(2003)이 제안한 방법을 적용하여 산출한 지하수 주흐름방향은 x축으로부터 -67.53°, 수리경사는 0.02757로 나타났다. 지하수 주흐름방향은 달천광산 인근에 형성되어 있는 3개 하천의 흐름방향과 유사하였다.

참고문헌

- 강금식, 1999, 현대통계학, 박영사, 622p.
 강동환, 1999, 이학석사학위논문, 부경대학교, 75p.
 정상용, 강동환, 박희영, 심병완, 2000, 부산지역 지하수 오염현황 분석을 위한 지구통계 기법의 응용
 정상용, 유인걸, 윤명재, 권해우, 허선희, 1999, 불균질 이방성 대수층의 지하수 유동분석에 지구통계기법의 응용
 정상용, 이장근, 1995, 난지도 매립지 일대의 지하수위 분포 추정을 위한 복합 크리깅의 응용, 지하수환경, 2(2), p.58-63.
 Carr, J. R., Myers, D. E. and Grass, C. E., 1985, Cokriging-A Computer Program, Computer & Geosciences, 11(2), p.111-127.
 Delvin, J. F., 2003, A spreadsheet method of estimating best-fit hydraulic gradients using head data from multiple wells, Ground Water, 41(3), p.316-320.