Kriging 기법을 이용한 지하수위 분포 추정

Application of kriging approach for estimation of water table elevation

박준경*1, 박영진*1, 위용곤*2, 이상호*2, 홍창수*3, 추석연*4
Park, Jun-Kyung · Park, Young-Jin · Wye, Yong-Gon · Lee, Sang-Ho · Hong, Chang-Soo · Choo, Suk-Yeon

Abstract

Geostatistical methods were used for the groundwater flow analysis on the ○○ tunnel area. Linear regression analysis shows that the topographic elevation and ground water level of this area have very high correlation. Groundwater-level contour maps produced by ordinary kriging and cokriging have little differences in mountain areas. But, comparing two maps on the basis of an elevation contour map, a groundwater-level contour map using cokring is more accurate. Analyzing the groundwater flow on two groundwater-level contour maps, the groundwater of study area flows from the north-west mountain areas to near valleys, and from the peak of the mountain to outside areas. In the design steps, the groundwater-level distribution is reasonably considered in the tunnel construction area by cokriging approach. And, geostatistics will provide quantitative information in the unknown groundwatrer-level area.

Keywords: Ordinary kriging, co-kring, groundwater-level contour map, geostatistics

요 지

○○터널 구간의 지하수유동분석을 위해 지구통계학적 기법을 적용하였다. 이 지역의 표고와 관정 및 터널시추공에서의 지하수위의 선형회귀분석결과 상관성이 매우 큰 것으로 나타났다. 보통크리깅 및 공크리깅을 이용하여 작성된 지하수위 등고선도는 표고등고선도를 기준으로 비교해보면 공크리깅에 의한 것이 정밀성이 더 큰 것으로 나타났다. 보통크리깅과 공크리깅에 의해 작성된 지하수위 등고선도에서는 지하수 유동상태를 검토해 보면, 북서쪽의 산악지형에서 계곡쪽으로, 봉우리 일대에서 외곽쪽으로 각각 유동하는 것으로 나타났다. 본 연구를 통해 터널굴착 예정지역의 정확한 분석이나 관측자료의 평가없이 사용하던 지하수위 분포를 정량적으로 설계에 반영할 수 있었으며, 공간상에 분포하는 자료측정의 제한성과 경제적인 이유로 충분한 자료를 확보할 수 없는 현실에 비추어 볼 때 지구통계학은 미지의 구간에 대해 보다 정량적인 자료를 제공할 수 있음을 보여주었다.

주요어: 보통크리깅, 공크리깅, 지하수위분포도, 지구통계학

*1 정회원, (주)삼보기술단 대리
*2 정회원, (주)삼보기술단 주임
*3 정회원, (주)삼보기술단 과장
*4 정회원, (주)삼보기술단 부장

1. 서론

지질, 해양, 대기등 지구과학분야에서 공간상에 분포하는 자료 (spatial data)를 취득할 때, 자료측정의 제한성이나 경제적인 이유로 항상 충분한 자료가 확보될 수 없는 현실에 대해 지구통계학은 불충분한 자료의 추가 획득이나 공간자료의 구조적인 분석을 위해서 이용되는 새로운 학문분야이다 (Journel and Huijbregts, 1978).

기존의 일반적인 통계기법과는 달리 통계학에 기본을 두지만 자료의 공간적인 분포와 correlation function, random field, fractal과 같은 수학적인 이론들을 결합함으로서 지구통계학은 위치에 따라 달라지는 자료를 해석하고 자료와 해석결과에 근거하여 2차원, 3차원 또는 4차원 모델을 만들어 사용할수 있다.

크리깅은 공간상에 분포하는 확률변수 (random variables)들을 이용하여 자료가 없는 필요한 지점에서 값을 추정해 내는 강력한 통계학적인 방법으로 실제 적용에 있어서는 과업지역의 지형과 지하수분포 특성에 따라 적절한 크리깅 모델을 지하수 유동분석에 이용할 수 있다.

지하수위 유동분석 대상 지역의 지형적인 변화가 큰 경우에는 지하수위 자료뿐만 아니라 지형적인 기복도 고려하면, 더 정밀한 지하수위 등고선도를 만들어 낼 수 있다. Hoeksema et al. (1989)은 지하수면을 지형의 복제품으로 간주하고 지하수위 추정을 위해 표고자료를 이용하였다. 이와 같이 2가지 이상의 확률변수들의 상관관계를 고려하여 새로운 값들을 추정해 낼 수 있는 방법이 공크리깅 (cokriging)이다.

현재 일반적으로 터널의 배수용량 결정 및 방·배수 설계를 위한 지하수 유동해석시 해석결과에 가장 큰 영향을 미치는 입력인자중의 하나인 초기수두조건의 결정을 위한 지하수위 조건의 결정에 있어서 터널굴착 예정지역의 정확한 수리·수문학적인 분석이나 현장 관측자료의 평가과정 없이 사용하고 있다.

이러한 문제점의 개선을 위해 다음과 같은 보통 및 공크리깅을 이용한 지하수위의 결정방법을 도입하여 터널 방·배수 설계에의 반영기법을 제시한다.

2. 지구통계학의 이론적 고찰

2.1 보통 크리깅 (Ordinary Kriging)

크리깅은 미지의 특성에 최선의 선형 불편 추정자 (best linear unbiased estimator, BLUE)를 제공하는 통계적인 방법이다. 그것의 수학적인 표현은

$$Z_k^* = \sum_{i=1}^{n} \lambda_i Z_i \tag{1}$$

여기서 Z_k^*는 크리깅에 의한 추정치이고, Z_i는 추정치 주변에 존재하는 참값들 (공간상에 분포하는 실험자료 값)이며, λ_i는 가중치이다. 이 크리깅의 가중치는 추정치가 불편 (unbiased)이고 추정분산 (estimation variance)이 최소화되도록 결정되어야 한다. 즉,

$$E[Z_v - Z_k^*] = 0 \tag{2}$$

$$E\{[Z_v - Z_k^*]^2\} = E[Z_v^2] - 2E[Z_v Z_k^*] + E[Z_k^{*2}] = \text{minimum} \tag{3}$$

식 (2)으로부터 가중치의 총합계는 1.0이 된다($\sum \lambda_i = 1$). 식 (3)로부터 크리깅의 추정분산은 자료들간의 공분산 (covariance)을 이용해서 다음과 같이 표현된다.

$$E\{[Z_v - Z_k^*]^2\} = \overline{C}(V,V) - 2\sum_i \lambda_i \overline{C}(V, v_i) + \sum_i \sum_j \lambda_i \lambda_j \overline{C}(v_i, v_j) = \text{minimum} \tag{4}$$

여기서, $\overline{C}(V,V)$는 공분산함수 $C(h)$의 평균값인데, 영역 V와 v_i에서의 거리 h만큼 떨어진 두 표본자료간의 공분산이다.

추정분산은 크리깅 분산(σ_k^2)이라고도 하는데 크리깅 시스템을 이용하여 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$\sigma_k^2 = E([Z_v - Z_k^*]^2) = \overline{C}(V,V) + \mu - \sum_i^n \lambda_i \overline{C}(v_i, V) \tag{5}$$

여기서, μ는 Lagrange 상수이고 $\overline{C}(v_i, V)$는 거리 h만큼 떨어진 두 영역 v_i와 V에 의한 공분산

(covariance)함수 $C(h)$와 같다.

2.2 공크리깅 (Cokriging)

공크리깅의 일반적인 이론은 Matheron (1971)에 의해 개발되었으며, 공크리깅의 행렬공식은 Myers (1982)에 의해서 정리되었다. 확률변수군

$$\overline{Z}(x) = [Z_1(x), \cdots, Z_n(x)] \tag{6}$$

가 제2계 불변확률 함수(second order stationary random function)를 이룰 때, 그 평균은

$$E[\overline{Z}(x)] = [m_1, \cdots, m_n] \tag{7}$$

여기서, m은 상수를 뜻한다. 공분산 행렬 (covariance matrix)은

$$\overline{C}(h) = E[\overline{Z}(x+h)^T \overline{Z}(x)] \tag{8}$$

여기서, h는 확률변수들간의 떨어진 거리이며, T는 행렬의 전치를 뜻한다.

공크리깅에서 선형추정자 (linear estimator)군은 아래와 같이 계산되어진다.

$$\overline{Z_k}^* = \sum_{i=1}^{n} \overline{Z}(x_k)\gamma_k \tag{9}$$

여기서, $\overline{Z}(x_k)$는 확률변수군이며, γ_k는 가중치군으로 n×n 행렬을 이룬다. 가중치군의 총합은 n×n 단위행열을 이룬다, 즉,

$$\sum_{i=1}^{n} \gamma_k = I \tag{10}$$

가중치군 γ_k의 충분조건은 보통크리깅과 같이 불편조건 (unbiased condition)과 최소 추정분산 (minimum estimation variance)이다. 즉,

$$E[\overline{Z}(x) - \overline{Z^*}(x)] = [0, 0, \cdots, 0] \tag{11}$$

$$Var[\overline{Z}(x) - \overline{Z^*}(x)] = \text{minimum} \tag{12}$$

여기서, E는 평균을, Var은 분산을 뜻한다.

Myers (1982)에 의하면 공크리깅의 조직은 다음과 같이 표현된다. 즉,

$$[K][\Gamma] = [M]$$

$$[K] = \begin{vmatrix} \overline{C}(x_1 - x_1) & \cdots & \overline{C}(x_1 - x_n) & I \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \overline{C}(x_n - x_1) & \cdots & \overline{C}(x_n - x_n) & I \\ I & \cdots & I & 0 \end{vmatrix} \tag{13}$$

$$[\Gamma] = \begin{vmatrix} \gamma_1 \\ \vdots \\ \gamma_n \\ \overline{\mu} \end{vmatrix}, \qquad [M] = \begin{vmatrix} \overline{C}(x_1 - x) \\ \vdots \\ \overline{C}(x_n - x) \\ I \end{vmatrix}$$

$\overline{\mu}$는 Lagrange multiplier 들이다.

추정분산을 나타내는 식을 공분산을 이용하여 표현하면,

$$\sigma_k^2 = T_r\overline{C}(0) - T_r\left[\sum_{j=1}^{n} \overline{C}(x - x_j)\gamma_j\right] - T_r\overline{\mu} \tag{14}$$

여기서, T_r은 trace를 뜻한다.

2.3 이론분포함수 (Variogram)

크리깅에 의한 자료의 추정에서는 조사자료간의 공분산이 필요한데, 이것은 조사자료간의 variogram에서 구해진다. Variogram은 공간상에 분포하는 표본자료의 변화특성을 나타내며, 공간상에 분포하는 임의의 두 자료간의 차이의 분산 (variance)으로 구해진다 (Journel and Huijbregts, 1978).

$$2\gamma(h) = E\{\sum [Z(x) - Z(x+h)]^2\} \tag{15}$$

여기서 $\gamma(h)$는 semi-variogram이고, $2\gamma(h)$는 variogram이다. $Z(x)$는 임의의 지점 x에 있는 자료이며, $Z(x+h)$는 $Z(x)$에서 h만큼 떨어진 지점의 자료이다.

공크리깅에서는 2개 이상의 자료가 이용되므로, 그 자

료들간의 교차베리오그램 (cross-variogram)이 필요하다.

교차베리오그램의 계산공식은 다음과 같다.

$$2\gamma_{k'k}(h) = E\{\sum[\overline{Z}_{k'}(x+h) - \overline{Z}_{k'}(x)][\overline{Z}_{k}(x+h) - \overline{Z}_{k}(x)]\} \quad (16)$$

지하수위와 표고자료의 semi-variogram은 거리가 증가함에 따라 감소하는 경향을 보인다. 이 불안정한 semi-variogram을 나타낼 수 있는 모델은 구할 수 없다.

Semi-variogram이 거리에 따라 증가하는 경우에는 일반적 공분산 (generalized covariance)을 이용하는 범용크리깅 (universal kriging)이 보통크리깅에 비해 보다 정밀한 추정치들을 주는 것으로 알려져 있다 (정상용, 1993). 그러나 거리의 증가에 따라 semi-variogram이 감소하는 경우에는 보통 보통크리깅을 이용한다.

보통크리깅에 이용되고 있는 semi-variogram 모델은 지수 모델 (exponential model), 구면 모델 (spherical model) 그리고 가우스 모델 (Gaussian model)이 있다.

Semi-variogram 모델의 모델 유형에 따른 방정식을 정리하면 다음과 같다.

▪ 지수 모델의 semi-variogram 방정식

$$\begin{aligned} \gamma(h) &= CO + C\left[1 - \exp\left(-\frac{h}{r}\right)\right] \cdots (h < r) \\ \gamma(h) &= Sill \cdots (h \geq r) \end{aligned} \quad (17)$$

▪ 구면 모델의 semi-variogram 방정식

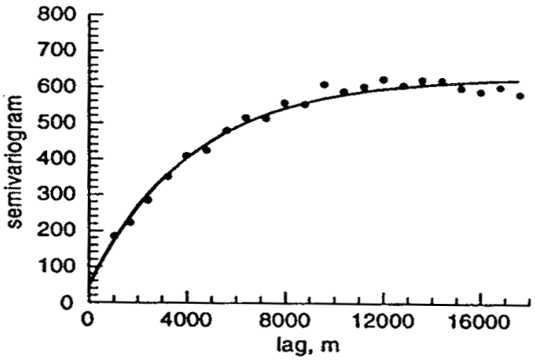
$$\begin{aligned} \gamma(h) &= CO + C\left(1.5\frac{h}{r} - 0.5\frac{h^3}{r^3}\right) \cdots (h < r) \\ \gamma(h) &= Sill \cdots (h \geq r) \end{aligned} \quad (18)$$

▪ 가우스 모델의 semi-variogram 방정식

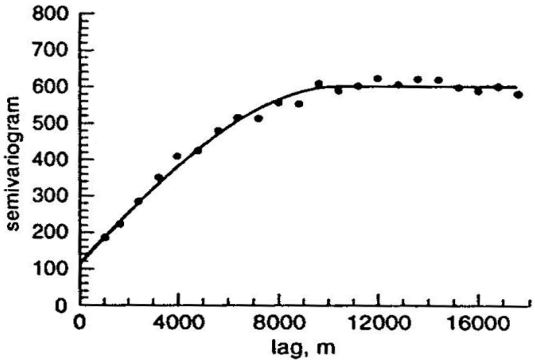
$$\begin{aligned} \gamma(h) &= CO + C\left[1 - \exp\left(-\frac{h^2}{r^2}\right)\right] \cdots (h < r) \\ \gamma(h) &= Sill \cdots (h \geq r) \end{aligned} \quad (19)$$

여기서, h는 실험자료간의 거리이며, CO는 nugget이고, C = Sill - nugget, r은 구상의 variogram이 안정될 때까지의 거리 (즉, semi-variogram의 상관성 범위; range)이다.

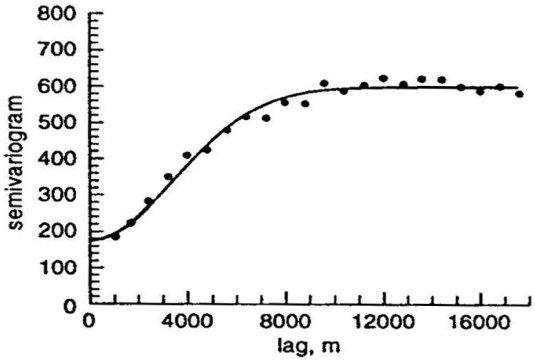
이러한 이론분포함수의 각 모델 적용결과 예를 비교해 나타내면 그림 1과 같다.



(a) 지수 모델 (exponential model)



(b) 구면 모델(spherical model)



(c) 가우스 모델 (Gaussian model)

그림 1. 각 이론분포함수의 비교예

3. 크리깅의 적용 및 결과분석

일반적으로 지하수위 자료는 지형적인 기복과 밀접한 관계가 있는 것으로 알려져 있으며, 지하수위 자료만을 이용하는 보통크리깅 (ordinary kriging)과 이들 지하수위와 지형자료 확률변수들의 상관관계를 고려하여 새로운 값들을 추정해 낼수 있는 방법인 공크리깅 (cokriging)을 이용하여 현 지반조사 시점에서의 지하수위를 추정할 수 있다. 이러한 지구통계학을 이용한 지하수위 추정기법 흐름도는 그림 2와 같다.

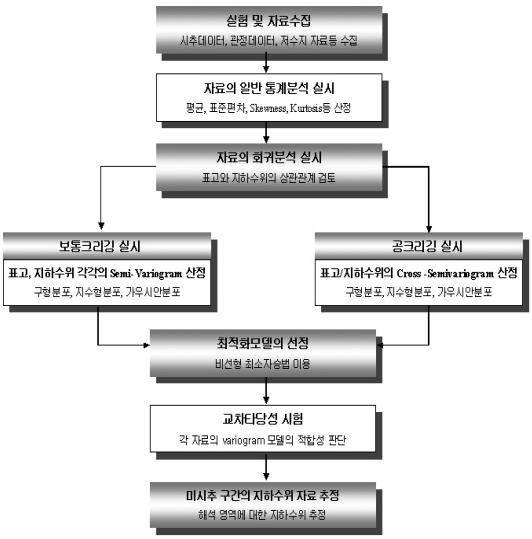


그림 2. 지하수위 추정기법 흐름도

3.1 대상지역 현황 및 자료측정위치

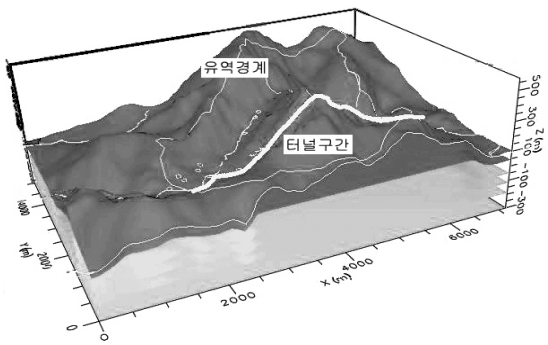
본 연구대상지역의 지형표고 및 보통크리깅과 공크리깅 분석에 이용된 지하수위 자료분포는 그림 3과 같다.

유역경계 내 조사지역의 하부인 산중심부를 따라 터널이 관통할 예정이며, 터널노선에서의 지하수위 자료가 비교적 많이 획득되었으나, 상부는 주로 산간지역이어서 지하수위 자료가 부족한 편이다.

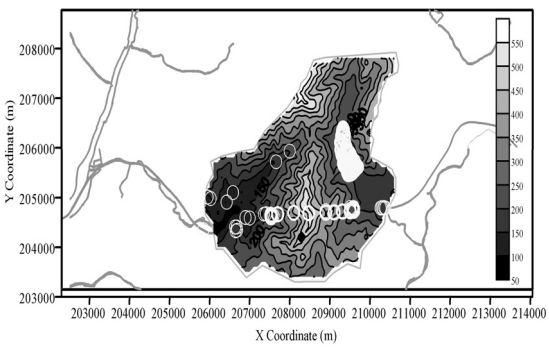
3.2 자료의 일반통계분석 및 회귀분석 실시

관정조사 및 시추공조사 결과에서 얻어진 지하수위 자료의 일반 통계분석 결과 (표 1 참고)에 의하면 표고의 산술평균값은 196.70m, 중앙값은 193.00m 과업구간 인근지역은 대부분 높은 산지와 농경지로 구성되어 있다. 또한, 관측된 지하수위의 평균값은 194.39m, 최대값은 512.00m 이며, 표고의 평균값과 비교해 볼 때 과업구간의 지하수위는 평균적으로 지표면에서 약 10.0m 하부의 범위에 분포한다.

표 1 및 그림 4~5에서 나타나는 바와 같이 표고와 지하수위의 표준편차는 각각 39.63과 37.72로서, 고도가 높은 지역에 개발된 관정의 영향으로 약간 크게 나타나고 있으며, 왜도 (skewness)는 양성왜도로서 표고와 지하수위 분포는 모두 정규분포보다 왼쪽으로 치우쳐 있다. 이것은 표고와 지하수위의 자료가 평균치보다 적은 것들이 큰 것들에 비해 더 많기 때문이다. 표고와 지하수



(a) 연구대상지역의 입체도



(b) 지형표고 및 지하수위 자료 측정위치

그림 3. 연구대상 지역의 현황

표 1. 지하수위 자료의 일반 통계분석 결과

Statistics / Data	No. of data	Mean	Median	Standard Deviation	Variance	Skewness	Kurtosis	Minimum Value	Maximum Value
표 고	275	196.70	193.00	39.63	1570.53	4.504	31.954	101.00	530.00
지하수위	275	194.39	193.00	37.72	1422.83	4.322	32.239	89.70	512.00

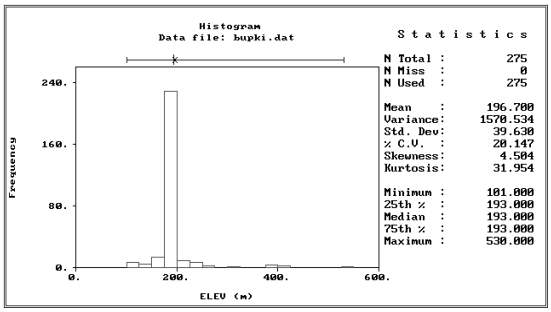


그림 4. 표고의 Histogram

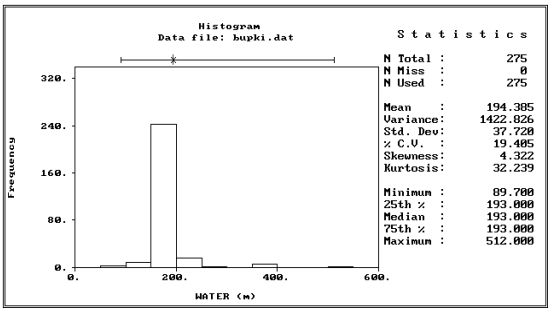


그림 5. 지하수위의 Histogram

위 분포곡선의 첨도는 모두 정규분포보다 평탄하다. 표고나 지하수위 자료들은 보통 측정시의 오차나 자료의 제한적인 취득등으로 완전한 확률변수 (random variable)가 될 수 없기 때문에, 이들 자료들의 분포는 완전한 정규분포를 이루지 못하는 것이 일반적인 경향이다.

우리나라의 지하수는 지하수위와 지형의 표고간에 밀접한 관련이 있다. 일반적으로 지형이 높은 지역은 지하수 충전지역의 역할을 하기 때문에 지형이 낮은 곳에 비해 지하수위가 높게 형성된다. 본 연구지역에서의 지하수위와 지형의 표고간의 상관관계를 파악하기 위해 선형회귀 분석을 실시하였으며, 선형회귀 분석 도표에 의하면 일부 자료들이 회귀선에서 벗어나고 있으나 대부분의 자료들은 회귀선상에 가깝게 위치하고 있다. 아래 표 2와 그림 6의 분석결과에 의하면 상관계수는 1.0에 가깝기 때문에, 본 과업 지역에서도 표고와 지하수위의 상관성이 매우 높은 것으로 나타났다.

표 2. 지하수위 자료의 회귀분석 결과

No. of Data	275
Slope	0.937
Intercept	10.062
Correlation Coefficient (R)	0.985
Goodness of Fit (R^2)	0.970

3.3 이론분포함수 (Variogram)의 선택

조사자료간의 공분산은 variogram에서 구해진다.

본 대상구간의 지하수위와 표고자료의 semi-variogram은 그림 7~9에서 보는 바와 같이 안정되지 못하고 거리가 증가함에 따라 감소하는 경향을 보인다. Semi-variogram이 거리에 따라 증가하는 경우에는 일반적 공분산 (generalized covariance)을 이용하는 범용크

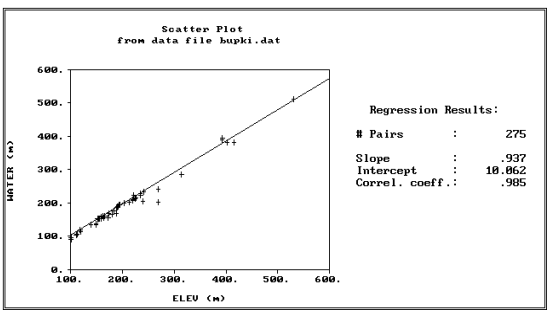


그림 6. 선형회귀분석 결과

표 3. 대상구간의 semi-variogram 인자들

변수 \ 인자	Nugget	Range (m)	Sill	Model
표 고	0.000	1982.657	4090.295	Spherical
지하수위	0.000	1994.617	3643.365	Spherical
표고/지하수위	0.000	1528.000	6121.100	Spherical

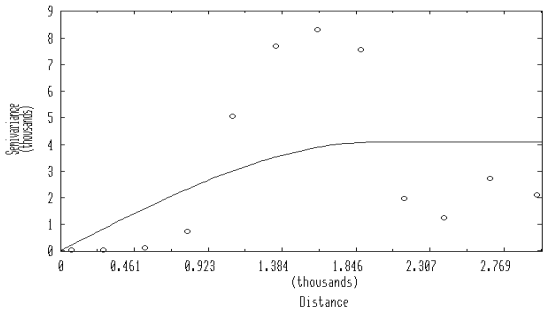


그림 7. 표고 semi-variogram 결과 (spherical model)

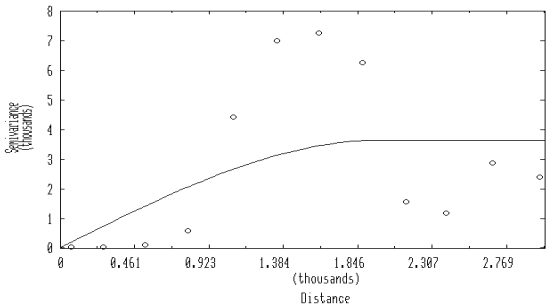


그림 8. 지하수위 semi-variogram 결과 (spherical model)

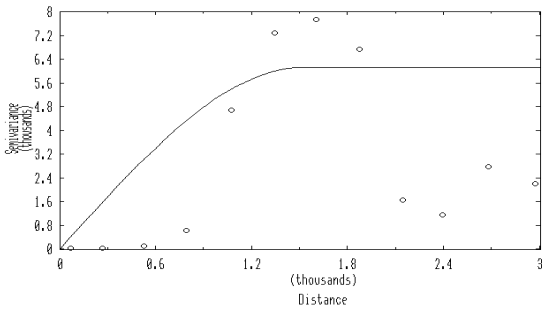


그림 9. 표고/지하수위 cross semi-variogram 결과 (spherical model)

리깅 (universal kriging)이 보통크리깅에 비해 보다 정밀한 추정치들을 주는 것으로 알려져 있다 (정상용, 1993). 그러나 본 대상구간과 같이 거리의 증가에 따라 semi-variogram이 감소하는 경우에는 일반적으로 보통크리깅을 이용한다.

본 연구에서는 지하수위 자료와 표고 자료들의 semi-variogram 모델을 결정하기 위해 지수 모델과 구면 모델이 이용되었으며, 검토결과 구면 모델이 experimental variogram의 모델링이 잘되었음을 확인할수 있었다. 본 계산결과는 그림 7~9와 표 3에 나타내었다.

3.4 지하수위 분포추정

선정된 semi-variogram 모델을 이용하여 보통크리깅과 공크리깅에 의해 격자상으로 지하수위 자료를 추정하였다.

이용된 프로그램은 미국 EPA (U.S. Environmental Protection Agency, 1990)에서 폐기물 관리를 위해 개발한 지구통계학 소프트웨어 GEOPACK version 1.0이다. 자료추정의 격자규모는 56 (행) × 51 (열)로서 행과 열의 간격은 각각 100m이다. 대상구간내에서의 등고선 변화를 정밀하게 파악하기 위해 자료추정 간격을 조밀하게 하였다.

임의의 지점에서의 자료추정을 위해 이용되는 이웃의 자료수 (no. of neighbourhood)는 보통크리깅의 경우 보통 8~10개 (Kafritas and Bras, 1981)이지만, 본 연구에서는 6개를 이용하였다.

그 이유는 터널구간에서의 지하수위 표본자료가 적고 또한 주변과 큰 차이를 보이고 있어서 이웃의 자료수를 크게 할 경우 터널구간의 추정 지하수위 자료가 영향을 받아 작아지는 것을 피하기 위해서이다.

공크리깅 및 보통크리깅시 275개의 지하수위 자료와 표고 자료를 이용하였다.

크리깅에 의한 지형등고선도는 실제 지형보다 완만하

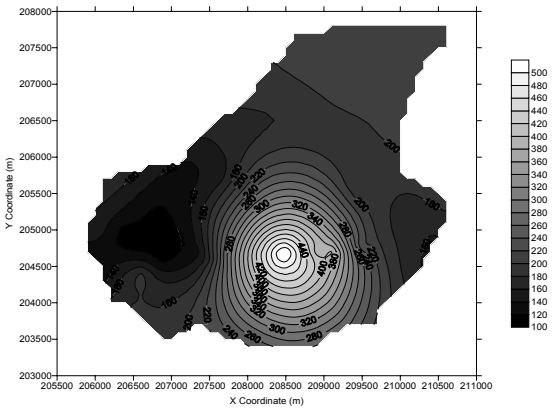


그림 10. 보통크리깅으로 부터의 표고분포도

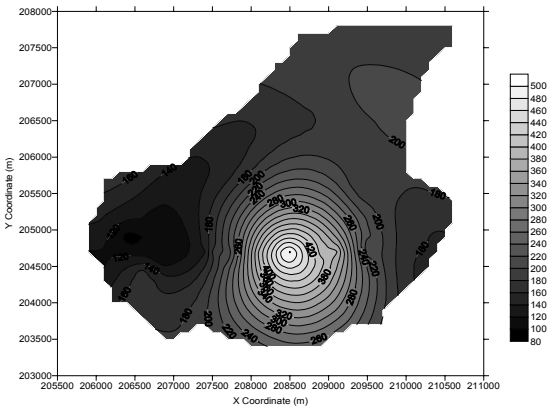


그림 11. 보통크리깅으로 부터의 지하수위분포도

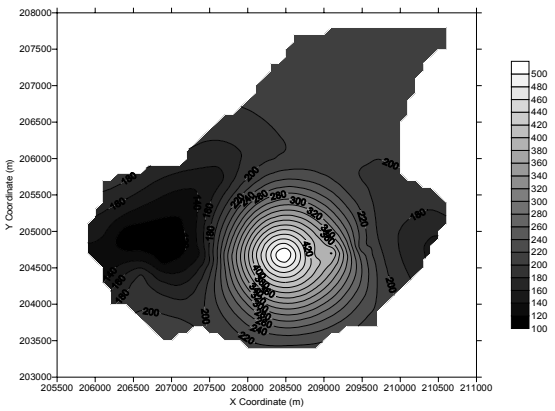


그림 12. 공크리깅으로 부터의 표고분포도

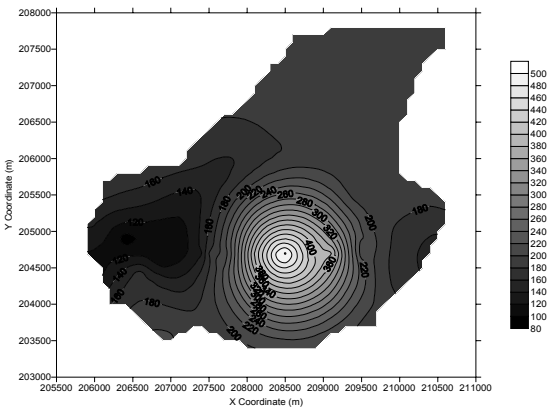


그림 13. 공크리깅으로 부터의 지하수위분포도

게 나타나고 있으나, 산, 계곡, 평지 등의 지형적 변화는 서로 일치하는 것으로 나타났다.

그림 10~13은 공크리깅에 의한 지하수위 등고선도와 보통크리깅에 의한 지하수위 등고선도를 비교하여 제시하였다.

그림에서의 비교를 통해 알 수 있듯이 터널시점부에서의 지하수위 등고선 분포는 표고와 비교하여 큰 차이가 없다. 그 이유는 부근에 많은 지하수위 자료가 확보되어 있었기 때문이다. 그러나 주변지역에서의 등고선 분포는 차이를 보인다. 특히 지하수위 표본자료가 부족하고 지형의 변화가 큰 지역에서 공크리깅과 보통크리깅에 의해서 추정된 지하수위 분포는 큰 차이를 보인다. 터널이 위치하게 되는 등고선도의 중앙지역에서는 비교적 공크리깅에 의해 추출된 지하수위 분포와 보통크리깅에 의해 추정된 지하수위 분포가 거의 유사하나, 시점부 인근에서의 지하수위분포를 관측정 데이터와 비교해 보면, 이 지역의 지하수위 등고선도는 공크리깅에 의한 것이 실제의 지하수 분포에 더 가까운 것으로 판단된다.

크리깅 기법은 최선의 불편추정자이므로 최소한의 오차를 갖고 추정치를 만들어 낸다. 따라서, 크리깅에 의해 만들어지는 분포도들은 복잡한 변화를 나타낼 수 없고 부드러운 변화만을 보여준다 (Journel and Huijbregts, 1978). 일반적으로 지하수위 분포는 부드러운 변화의 특징을 가지므로 지하수위 분포를 추정할 때, 보통크리깅

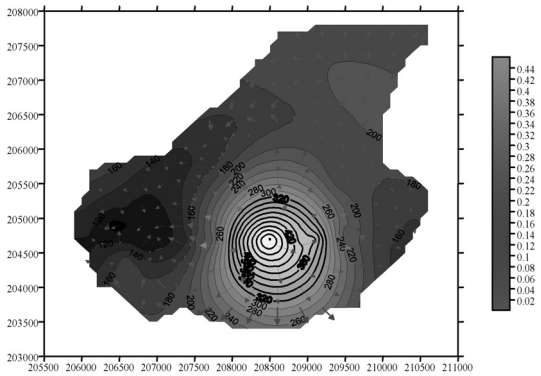


그림 14. 보통크리깅으로 부터의 지하수위 등고선도 및 유향분석

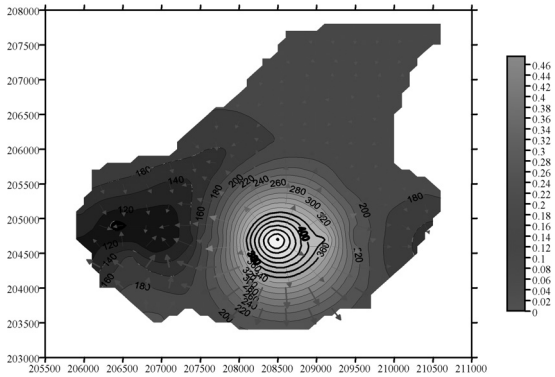


그림 15. 공크리깅으로 부터의 지하수위 등고선도 및 유향분석

이나 범용크리깅을 이용하면 좋은 결과를 얻는다.

그러나 본 대상구간과 같이 지형적 기복의 변화가 큰 곳에서는 지하수위 자료만을 이용하여 분포도를 작성하는 것보다는 지형적인 여건도 고려할 수 있는 공크리깅을 이용하는 것이 더 정밀한 지하수위 분포도를 만들어 낼 수 있는 것으로 알려져 있다.

3.5 유향분석

이미 여러 학자의 연구결과 (정상용, 1999 등)에 의하면 지하수 유동분석에 있어서 지구통계학적 기법이 실효성을 가지며, 전반적으로 불균질·이방성 대수층으로 구성된 과업지역에 있어서 지하수위 등고선상에서 정확한 지하수 유향을 추정할 수는 없지만, 추정된 지하수 유향은 실측된 지하수 유향과 대체적으로 일치되는 것으로 나타났다.

지하수위 자료만을 보통크리깅에 적용하여 작성한 지하수위 등고선도와 지형의 표고와 지하수위 자료를 동시에 공크리깅에 적용하여 작성한 지하수위 등고선도를 비교해 보면 지형적인 변화가 큰 대상지역 상부에서는 차이가 크고, 터널 시점부나 종점부와 같이 구릉이나 평지에서는 큰 차이가 없다. 특히, 산 일대에서 큰 차이를 보여 주는데, 표고 등고선도를 기준으로 지하수위 등고선도를 비교해 보면 공크리깅에 의한 지하수위 등고선도가 정밀성이 더 큰 것으로 나타났다.

본 연구지역에서의 지하수 유동분석을 위해 보통크리깅과 공크리깅을 이용해서 만들어진 2개의 지하수위 등고선도위에 지하수 유향을 각각 추정하여 그림 14, 15에 표시하였다. 연구지역은 불균질, 이방성 대수층으로 구성되어 있어서 지하수위 등고선도에서 지하수 유향을 정확히 추정할 수는 없다. 그러나, 지하수위 등고선을 가로질러 이동한다는 일반적 지하수 유동특성을 고려하여 결정하였다. 그림 14, 15에서 추정된 지하수 유향을 비교해 볼 때, 산간지역의 지하수 유입량은 약간 차이가 있지만 평지에서는 거의 같은 것으로 나타났다. 보통크리깅과 공크리깅에 의해 작성된 지하수위 등고선도에서 과업구간의 지하수 유동상태를 검토해 보면 크게 2가지 유동방향을 가지는 것을 알 수 있다. 즉, 북서쪽에 위치하는 산악지형에서 계곡쪽으로, 봉우리 일대에서 외곽쪽으로, 각각 유동하는 것으로 나타났다.

보통크리깅과 공크리깅에 의해 작성된 지하수위 등고선도에 의하면 약 300m 이상의 산간지역이 지하수 함양지역의 역할을 하고 있으며, 이곳에서 인접한 지역으로 지하수가 배출되고 있음을 알 수 있다.

4. 결론

본 연구에 있어서 지하수위 자료만을 고려한 보통크리깅과 지형의 기복과 지하수위 자료를 동시에 고려한 공

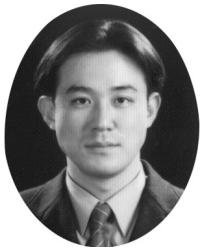
크리깅을 이용해 지하수위 분포를 추정한 결과를 정리하면 다음과 같다.

1. 보통크리깅을 이용해 추정한 표고분포도와 지하수위 분포도를 비교한 경우 등고선도가 다소 차이를 보이나, 공크리깅을 이용해 추정한 표고분포도와 지하수위 분포도의 경우 등고선도가 거의 유사하게 나타났다. 지하수위는 지형의 복제품임을 고려할 때, 이는 지형의 기복을 고려해 추정한 공크리깅의 결과가 본 연구 구간과 같이 지형적인 변화가 클 경우 실제의 지하수 분포에 더 가까운 것으로 판단되어 진다.
2. 지하수 유동분석에 있어, 크리깅으로 추정한 지하수위 등고선상에서 정확한 지하수 유향을 추정할 수는 없지만, 추정치와 실측치의 유향은 대체적으로 일치하고 봉우리에서 계곡쪽으로 유동하는 것으로 나타났다.
3. 본 연구를 통해 터널굴착 예정지역의 정확한 분석이나 관측자료의 평가없이 사용하던 지하수위 분포를 정량적으로 설계에 반영할 수 있었으며, 공간상에 분포하는 자료측정의 제한성과 경제적인 이유로 충분한 자료를 확보할 수 없는 현실에 비추어 볼 때 지구통계학은 미지의 구간에 대해 보다 정량적인 자료를 제공할 수 있을 것이다.

참고문헌

1. 정상용, “지하수위 분포 모델링을 위한 universal kriging의 용용 1. K계의 고유 확률함수”, 지질공학, Vol.3, No.1, pp.39-49, 1993.
2. 정상용, “지하수위 분포 모델링을 위한 universal kriging의 용용 2. 제한적 최대 우도법”, 지질공학, Vol.3, No.1, pp.51-61, 1993.
3. 조웅현, 박영기, 김환홍, “Kriging 기법과 수치모형에 의한 이안지구 대수층의 투수량계수 추정”, 지하수환경, Vol.1, No.2, pp.113-120, 1994.
4. 정상용, 심병완, 김규범, “영산강 • 섬진강 유역의 지하수위 데이터베이스 자료에 대한 지구통계학적 분석”, 대한지하수 환경학회 • 한국토양환경학회 공동학술발표회, 1999.
5. 김인기, 성원모, 정문영, “수정된 Kriging법을 응용한 다목적 지구통계모델의 개발 및 타당성검토”, Jour. Korean Inst. Mining Geol., Vol.26, No.2, pp.207-215, 1993.
6. 정상용, 유인걸, 윤명재, 권해우, 허선희 “불균질 • 이방성 대수층의 지하수 유동분석에 지구통계기법의 응용”, Journal of Engineering Geology, Vol.9, No.2, pp.147-159, 1999.
7. ○○~○○간 도로 4차로 확장공사 설계보고서, SK건설, 삼보기술단, 2002.
8. Journal, A. G. and CH. J. Huijbregts, Mining Geo-statistics, Academic Press, 1978.
9. Davis, J. C., Statistics and Data Analysis in Geology, John Wiley & Sons, 1986.
10. Hoeksema, R. F., “Cokriging Model for Estimation of Water Table Elevation”, Water Resour. Res., Vol.25, No.3, pp.429-428, 1989.
11. Matheron, G., “The Theory of Regionalized Variable abd Its Applications”, Cah. Ceatre Morphol. Math., No.5, 1971.
12. Myers, D. E., “Matrix Formulation of Co-Kriging”, Mathematical Geology, Vol.14, No.3, 1982.
13. Kafritas, J. and Bras, R. L. “The Practice of Kriging”, Dept. of Civil Eng., MIT Technical Report, No. 263, 1981.
14. U.S. EPA. “Geostatistics for waste management: A user's manual for the GEOPACK (Version 1.0)”, Geostatistical Software System, 1990.

박준경
(주)삼보기술단 대리
sbege@chollian.net



박영진
(주)삼보기술단 대리
sbege@chollian.net

이상호
(주)삼보기술단 주임
sbege@chollian.net

위용곤
(주)삼보기술단 주임
sbege@chollian.net

홍창수
(주)삼보기술단 과장
sbege@chollian.net

추석연
(주)삼보기술단 부장
sbege@chollian.net