

구룡광산 광미야적장 지하 불균질성 해석을 위한 3D 말콕체인 모델링

박은규¹⁾ · 문용희²⁾ · 송윤구²⁾ · 문희수²⁾ · 이규호³⁾

1. 개요

지질의 불균질성이란 불연속적 경계에 의해 규정 되어지는 개개의 지질구조 및 이들의 무작위적 공간배열에 기인하는 복잡한 상호관계로 정의할 수 있다. 이러한 지질 불균질성은 지하를 대상으로 하는 모든 연구 및 실용 분야를 막론하여 가장 큰 장애가 되어왔다. 이러한 지하의 특성과 함께 지하 데이터 획득의 한계성은 지하구조 예측에 있어 매우 큰 불확실성을 내포하게 된다. 불확실성은 결정론적 방법으로는 다루기 힘든 문제이며, 추계론적 예측 모델이 현재로서는 유일하고 가장 효과적인 접근 방법이다. 이러한 추계론적 예측에 내포된 기본 가정은 우리가 얻지 못한 지하 데이터에 기인하는 불확실성은 야외로부터 측정된 데이터의 통계적 분포에 의해 해석될 수 있다는 것이다.

불균질성에 대한 근본적인 규명은 현대 과학 기술의 비약적인 발전에도 불구하고 요원한 과제이다. 전통적으로 지질 불균질성에 대한 모사 및 해석을 위해 통계적인 방법, 즉 지구통계학이 이용되어 왔다. 기존의 세미베리오그램 (semivariogram)에 의존하는 지구통계법은 변량 통계치의 지역의존성 및 지질의 비대칭적 병렬구조를 효과적으로 다루지 못하는 한계를 보여왔다. 이러한 한계성을 극복하기 위해 최근에 대두되고 있는 방법은 지질 지시자의 전이확률에 근거하는 말콕체인 (Markov Chain) 모델이다. Carle and Fogg (1997)는 기존의 sequential indicator simulation (SIS)과 말콕체인을 융합하여 세미베리오그램에 의존하지 않는 새로운 지구통계 기법을 제시하였다. 또한 Elfeki and Dekking (2001)은 양함수법에 근거하여 말콕체인을 직접적으로 지하예측에 이용하는 2차원 coupled Markov chain (CMC) 기법을 소개하였다. CMC는 전이확률을 기초로 하는 양함수법을 이용함으로써 기존 지구통계에서 어려웠던 소프트정보와의 데이터 융합을 용이하게 하였다. 보다 최근에는 Park et al. (2002)에 의해 이러한 CMC 기법이 3차원으로 확장되었다. CMC 기법의 장점은, 첫째, 기존의 SIS와 비교하였을 때 연산이 보다 빠르고 간결하며, 둘째, 비대칭적 불균질성에 대한 적용이 가능하며, 셋째, 측정된 데이터의 이용이 직접적이며, 넷째, 전이확률상에 지질학적 관찰 및 추론을 적용할 수 있다.

본 연구의 목적은 불균질한 지하 수리상수 분포 규명에 대한 보다 진보된 개념의 방법론 마련을 위해 CMC 모델과 소프트정보와의 통합 및 이를 불균질한 지질매체에 적용하는 것이다. 우선적으로 기존 CMC 모델의 보완을 통해 확률 형태로 변환된 소프트정보가 전이확률에 통합되어 예측과정에 이용되도록 할 예정이다. 지질학적 소프트정보를 확률 형태로 정량화 하여 지하예측 모델에 활용하기 위해서는 지구물리학을 포함한 제반 지질학 분야의 협동 연구 및 통계/수학과와의 학제간 협력연구가 요구된다.

핵심어 : 3D 말콕체인 모델링, 지하 불균질성, 중금속, 토양오염

1) 경북대학교 지질학과(egpark@knu.ac.kr)

2) 연세대학교 지구시스템과학과

3) 한국지질자원연구원

본 연구의 성공적인 수행을 통해 기존 지구통계학적 예측 모델의 틀을 벗어나는 새로운 형태의 수리상수 예측 기술을 현장에 적용함으로써 정화/산출 시스템 설계 및 운용에 많은 도움을 줄 것으로 예측된다. 또한 이 연구의 산물로 만들어질 추계론적 지구통계 기법이 지구정보시스템과 연계 운용될 때 지하정보에 대한 실시간 모사가 가능하며 이러한 통합 시스템은 대규모 지하수 관련 사업 시 현장관리자의 의사결정 시스템으로 활용되어 막대한 비용 절감 효과가 있을 것으로 예측된다. 추계론적 지하 수리상수 예측 모델은 국제적으로도 상당히 큰 관심사며, 또한 국제연구를 선도할만한 기술력을 확보함으로써 해외 선진 연구기관과의 심층적 공동연구를 기대할 수 있다.

본 연구에서는 각 borehole의 데이터 중 최초 지하 3 m 심도까지 이용하여 pilot study를 진행하였다. 현재 계속적으로 CMC 알고리즘의 개선이 이루어지고 있으며 향후 지표 토양관측을 통해 얻어진 데이터를 융합하여 보다 신뢰성 높은 지하예측모델을 개발할 예정이다. 이에 근거하여 이 연구에서 이용되지 않은 borehole 데이터를 이용한 cross-validation이 계획 중에 있다. 이러한 연구를 통해, 주어진 지질 불균질 정도 및 경제성을 고려한 최선의 예측능을 보이는 borehole의 설계 (상대적 위치 및 개수)를 얻어냄으로써 field protocol 개발에 기여하는 것이 이 연구의 최종적 목표이다.

2. 결과

본 연구에서는 구룡광산 대상 광미 야적장의 총 12개 borehole 자료가 이용되었다 (Figure 1). 이번 결과에서는 pilot study를 통해 single realization 결과를 Figure 2, 3에 제시하였다. Monte Carlo simulation을 통해 심도별 특성을 달리하는 매체의 출현 확률 분포도를 제시하였다(Figure 4). Monte Carlo simulation에서는 single realization을 여러 번 반복수행한 multiple realization을 이용했고, 이의 확률적인 분포를 나타낸 EIF를 제시한 것이다.

3. 참고문헌

- Carle, S.F., and Fogg, G.E., Modeling spatial variability with one- and multidimensional continuous Markov chains, *Mathematical Geology*, 29(7), 891 - 917, 1997.
- Elfeki, A.M.M., and Dekking, M., A Markov chain model for subsurface characterization: Theory and applications, *Mathematical Geology*, 33(5), 569 - 589, 2001.
- Park, E., Elfeki, A.M.M., and Dekking, F.M., Characterization of subsurface heterogeneity: Integration of soft and hard information using multi-dimensional Coupled Markov chain approach, Annual Progress Report, Civil Engineering and Geosciences, Delft University of Technology, Delft, The Netherlands, 2002.

Guyong Mine Map

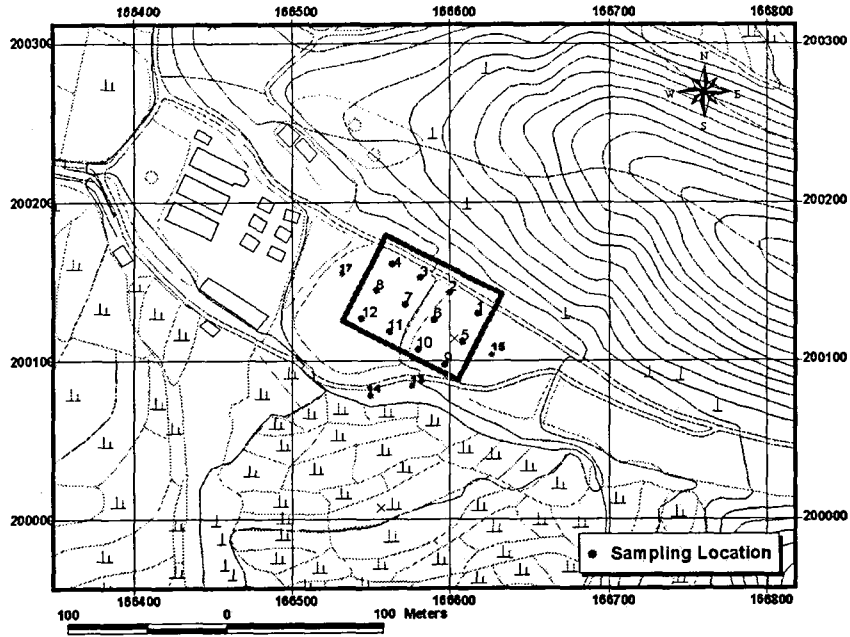


Figure 1. Model bound on the horizontal plane.

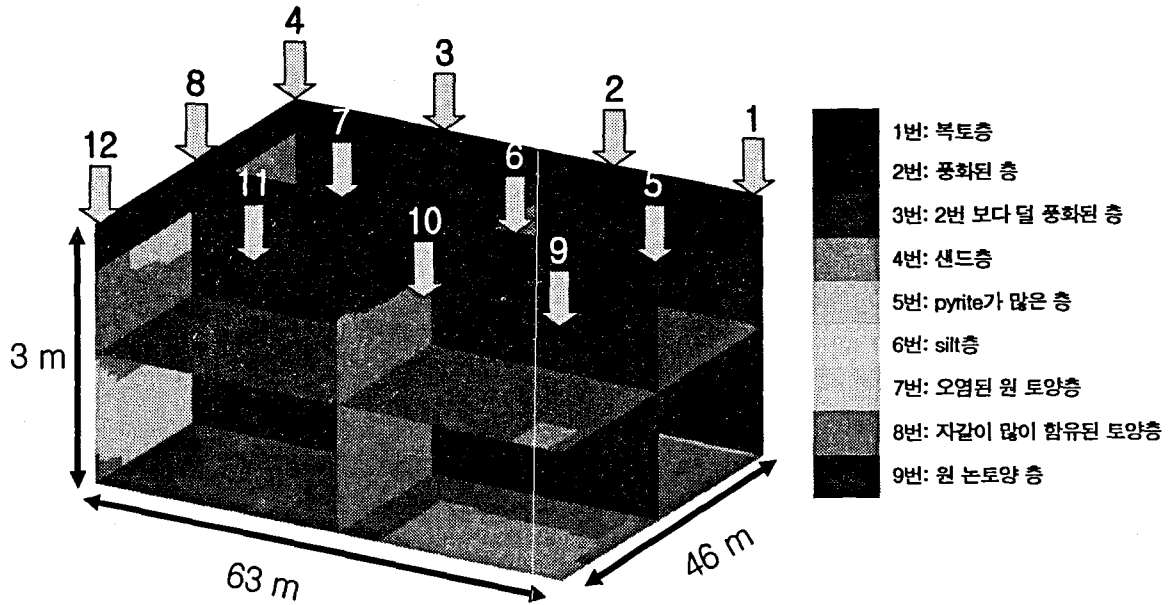


Figure 2. Simulated single realization using the 3-D CMC model (inner slices).

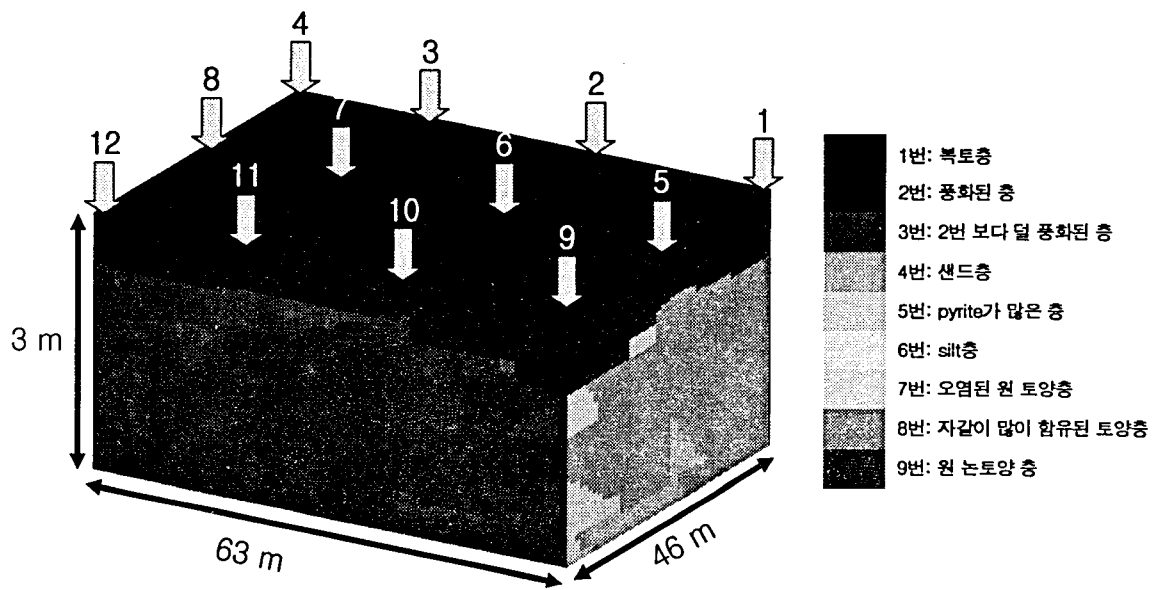


Figure 3. Simulated single realization using the 3-D CMC model (outer slices).

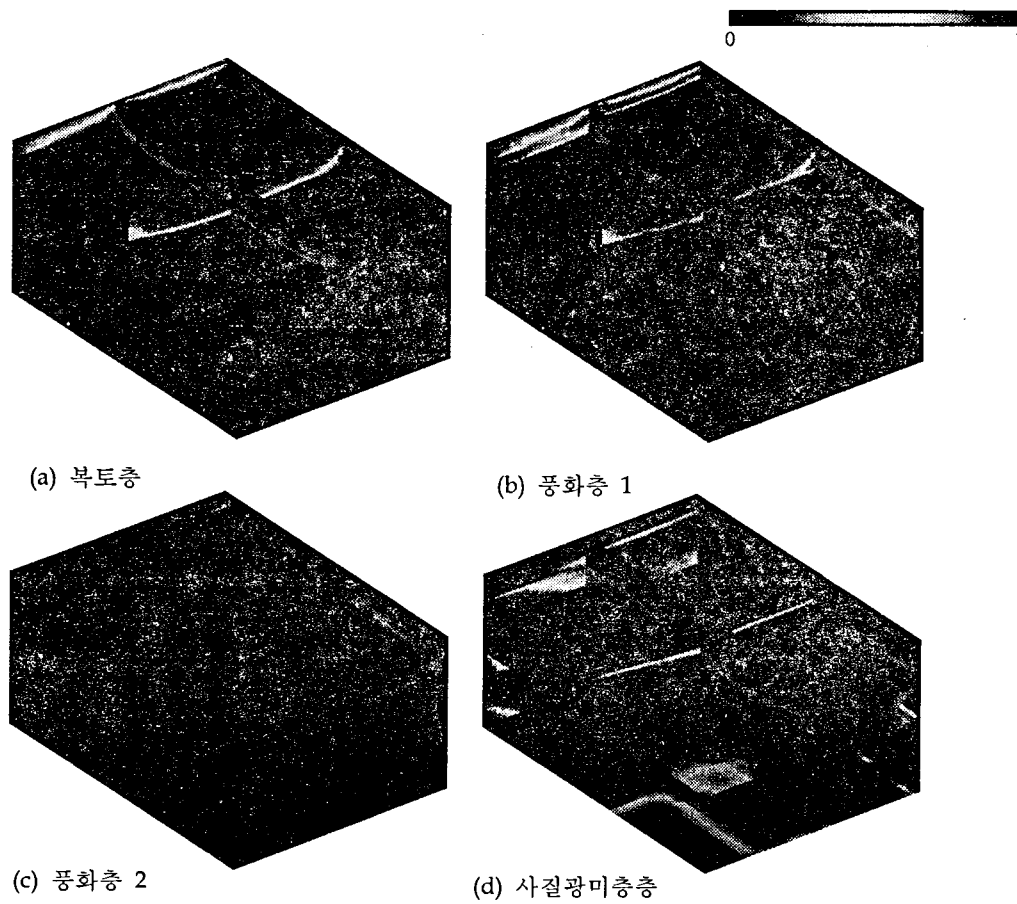


Figure 4. Statistical mapping of the EIF (ensemble indicator function) in 3-D space (red indicates high probability (~ 1.0) and blue indicates low probability (~ 0.0) of occurrence of the each lithology).