GIS와 3차원 지구통계기법의 결합 모델 개발
Development of Practical Model for Integrating GIS and 3D Geostatistical Methods

최요순[1)*], 기세일[1)], 박형동[1)]
[1)]서울대학교 공과대학 지구환경시스템공학부
(E-mail: hpark@snu.ac.kr)
Yosoon Choi[1)*], Seil Ki[1)], Hyeong-Dong Park[1)]

요 약

기존의 GIS와 지구통계기법을 결합한 연구들은 GIS 데이터베이스로 구축될 자료를 생성하기 위해 2차원 접근방식을 이용해왔다. 그러나 실제 현장 샘플 자료들은 대부분 3차원 공간에 분포하기 때문에 2차원 지구통계기법을 적용하는 것은 실제 자료가 가지고 있는 3차원 위치정보를 정확히 반영할 수 없는 한계가 있다. 본 연구에서는 GIS 기반 자료에 3차원 지구통계기법을 적용하여 공간변수를 예측하고, 생성된 공간변수를 다시 GIS로 반환하여 데이터베이스로 구축하는 결합 모델을 개발하였다. 3차원 지구통계기법을 결합한 결과 보다 정확한 공간변수 예측을 확인할 수 있었고, 그 결과를 GIS에서 다시 활용할 수 있었다.

1. 서 론

공공기관, 시설물, 국방, 자원, 환경, 비즈니스 분야 등 다양한 영역에서 GIS (Geographic Information System)가 폭넓게 활용되고 있다. GIS를 활용하는데 있어서 필수적인 요소 중의 하나는 데이터베이스로 구축될 자료를 확보하는 것인데, 시간적, 지형적, 경제적, 제도적인 이유로 필요한 자료를 모두 확보하지 못하는 경우가 빈번하게 발생한다(Longley et al., 2001). 필요한 자료를 확보하지 못한 경우에는 일부 획득 가능한 샘플로부터 전체 자료를 예측하여 데이터베이스를 구축하게 되는데, 미지의 자료를 예측하는 과정에서 지구통계기법을 결합하여 함께 사용하고 있다.

지구통계기법은 초기에는 광산에서 광상의 품위를 예측하거나 광맥의 위치를 추정하는 기법으로서 사용되었지만, 최근에는 수리지질학이나 환경공학, 그리고 석유공학 등의 분야에서 공간변수를 예측하는 기법으로서 폭넓게 활용되고 있다. 지구통계기법으로 공간변수를 예측하는 원리는 Eq. 같다. 즉, 정확한 위치와 값을 알고 있는 샘플 자료 (z_i) 에 대하여 각각의 가중치 (λ_i) 를 계산한 후, 이들의 가중 선형 조합으로서 원하는 지점에서의 공간 변수값 (z_0^*) 을 예측한다. 예측되는 공간변수의 값은 각각의 샘플 자료에 부여한 가중치에 크게 의존하기 때문에, 합리적으로 가중치를 결정할 수 있는 방법이 요구된다. 다양한 가중치 결정 방법이 존재하지만, 다각형법(polygon method), 역거리 가중치법(inverse distance weighted (IDW) method), 크리깅(kriging)이 가장 일반적으로 사용된다.

$$z_0^* = \sum \lambda_i z_i \qquad \text{(Eq. 1)}$$

최근까지 GIS와 지구통계기법의 결합을 시도한 연구가 국내·외에서 다수 수행되었

다. 수치지도로부터 생성된 DEM(Digital Elevation Model)과 관정에서 측정한 지하수위 자료를 이용하여 지하수면 분포를 추정하고, 그 결과를 GIS에 결합하는 연구가 수행되었고(심병완 등, 2000; 최선영 등, 2003), GIS 데이터베이스에 저장된 불충분한 지반조사 자료로부터 지하 지반 구조를 특성화하는 기법이 연구되었다(Rosenbaum and Nathanail, 1996). 그리고 토양분석 자료에 지구통계기법을 적용하여 오염물 분포를 예측하고, 그 결과를 GIS에 입력하여 분석하는 방법이 시도되었는데(Zhu et al., 2001; Zhang and McGrath, 2004), 이들 기존 연구들은 공통적으로 2차원 지구통계기법을 GIS에 결합하였다. 그 결과 본래의 자료들이 가지고 있는 3차원 위치정보를 공간변수 예측에 그대로 반영하지 못하는 한계가 있었다.

본 연구에서는 GIS와 3차원 지구통계기법의 결합 모델을 설계하고, 직접 사용될 수 있는 자료변환 프로그램과 3차원 지구통계 프로그램을 개발함으로써 기존 연구들의 한계를 극복하여 보다 정확한 공간변수 예측 결과를 GIS에서 활용 가능하게 하는 것을 목표로 한다.

2. GIS와 3차원 지구통계기법의 결합의 필요성

세계적으로 널리 사용되고 있는 ArcGIS(ESRI, USA), IDRISI(Clake Lab, USA), GRASS(CERL, USA)등의 대표적인 GIS 소프트웨어들은 공간변수의 분석과 예측을 위한 도구로서 지구통계기법을 제공하고 있다(Table 1). 이x어들은 다각형법, 역거리 가중치법, 크리깅 등과 같은 지구통계기법을 GIS에 도입하여 편리한 공간변수 예측 기능을 제공하고 있지만, 기존 연구들과 마찬가지로 그 제공 범위가 2차원 지구통계기법에 국한되어 있다.

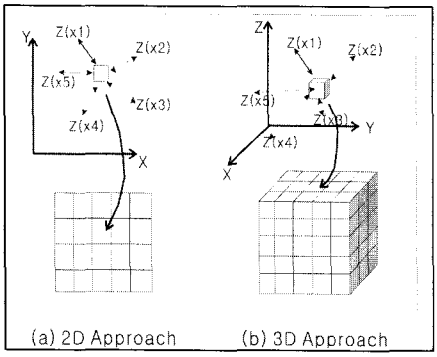
2차원 지구통계기법과 3차원 지구통계기법은 예측될 공간변수 하나의 값을 계산하기 위해 고려하는 자료들의 공간적 분포에 따라 구분된다. 즉, 2차원 지구통계기법은 연속 표면의 격자 하나에 할당 될 값을 계산하기 위해 동일 평면상에 위치하는 자료만을 고려하지만(Fig. 1a), 3차원 지구통계기법은 격자에 할당될 값을 계산하는 과정에서 3차원 공간에 분포하고 있는 모든 자료들을 함께 고려한다(Fig. 1b). 실질적으로 현장에서 획득되는 지반 공간 대상의 샘플 자료들은 대부분 3차원 공간상에 분포하기 때문에(Mitas et al., 1997), 이들 자료들에 대해 2차원 지구통계기법을 적용할 경우 불확실한 예측 결과가 얻어질 가능성이 높다. 왜냐하면 2차원적 접근방식은 자료들을 동일한 높이의 평면상으로 투영시킴으로서 자료의 높이(z)정보를 손상 시키거나(Fig. 2a), 동일한 높이의 자료만을 고려 할 수 있게 함으로서 이용 가능한 샘플 자료의 수를 제한하기 때문이다(Fig. 2b).

반면, 3차원 지구통계기법을 적용한 경우에는 자료가 가지고 있는 본래의 3차원 위치 정보를 그대로 보존할 수 있으며, 공변수 예측에도 반영할 수 있다. 그러므로 공간변수 예측의 정확도 향상과 생성된 자료의 3차원적 활용을 위해서는 3차원 지구통

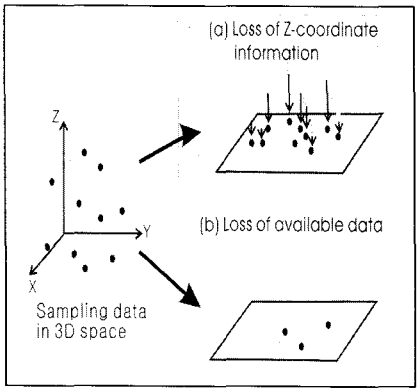
Table 1. Capabilities of GIS software for geostatistics

Software	Geostatistics	Reference
ArcGIS	- Provides tools for spatial data analysis and a geostatistical wizard. - 2D vector and raster data available. - Excellent integration between GIS database and geostatistical tools.	Johnstion et al., 2003
IDRISI	- Provides a graphical user interface to Gstat. - 2D raster data available.	Eastman, 1999
GRASS	- Provides tools for interpolation, analysis and visualization for 3D Raster data. - But, not 3D geostatistical tools.	Lennert, 2004

계기법의 결합이 필요하다.



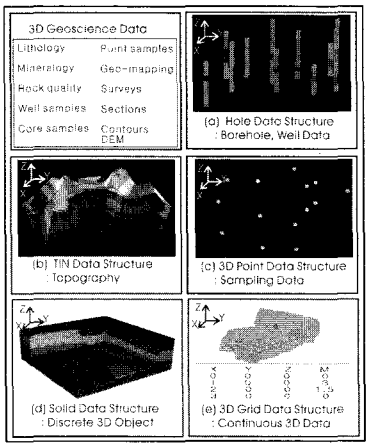
[Fig.1] 2D approach vs. 3D approach in geostatistical estimation



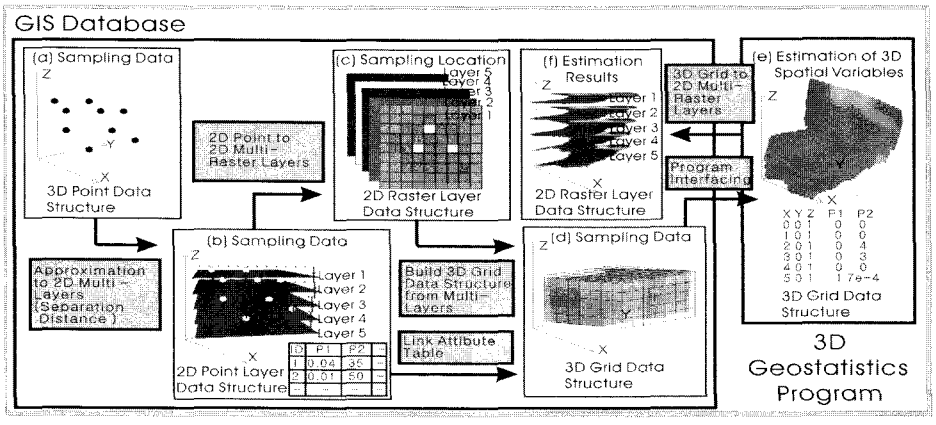
[Fig.2] Limitations of 2D approach in geostatistical estimation

3. GIS와 3차원 지구통계기법의 결합 모델 개발

3차원 지구통계기법은 자료의 정확한 3차원 위치정보를 기반으로 공간변수 예측을 수행한다. 따라서 GIS와 3차원 지구통계기법을 결합하기 위해서는 3차원 자료 구조를 이용해야 한다. Figure 3 은 3차원 공간에 분포하는 Geoscience 분야의 자료들을 전산처리하기 위해 일반적으로 사용하는 자료구조들의 특징을 보여준다. 그 중에서도 3D Point 구조는 샘플링을 통해 획득되는 자료의 3차원 위치 정보와 측정값을 저장하는데 효과적이며, 3차원 격자(Grid) 구조는 경계가 불분명한 3차원 객체를 표현하거나 연속적으로 변화하는 자연 현상을 모델링할 때 유리하다.



[Fig.3] 3D data structures for geoscience data management



[Fig.4] Concept of data conversion for integrating GIS and 3D geostatistical methods

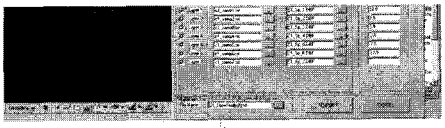
3.1 결합 모델의 설계

본 논문에서는 앞서 설명한 자료구조 중 3D Point로 구축된 GIS 기반 자료를 3차원 지구통계기법과 연계시키는 결합 모델을 설명한다(Fig. 4). 3D Point 구조를 선택한 이유는 샘플링을 통해 획득되는 자료들의 정확한 3차원 위치정보와 속성 정보를 저장하는데 용이하며, GIS에서 간단한 매핑(mapping) 도구를 이용하여 손쉽게 자료를 입력, 수정 할 수 있기 때문이다.

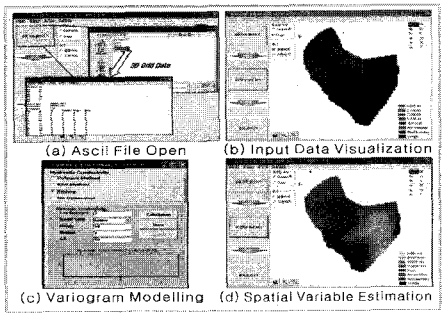
먼저 현장 조사를 통해 획득된 샘플 자료들은 3D Point 형식으로 GIS 데이터베이스에 구축된다(Fig. 4a). 구축된 3D Point 자료들은 최종적으로 생성될 3차원 격자 구조의 깊이(z) 방향 격자의 수에 따라 완화된 분리거리(separation distance)를 적용하여 다중(multi) 2차원 벡터 레이어 구조로 근사된다(Fig. 4b). 이후 근사된 레이어는 다시 2차원 격자 구조라고 할 수 있는 래스터 레이어 구조로 변환되며, 래스터 자료의 각각의 격자에는 샘플 자료들을 구분할 수 있는 식별자(ID)가 할당된다(Fig. 4c). 이때 변환된 래스터 레이어의 격자의 크기는 최종적으로 생성될 3차원 격자 구조의 그것과 동일하다. 깊이(z) 방향으로 생성된 다중 래스터 레이들은 하나로 통합되어 3차원 격자 구조를 형성하며, 격자에 할당했던 식별자를 기준으로 3D Point 자료의 속성 테이블을 질의하여 나머지 측정값들을 입력받는다. 샘플링 자료의 3차원 위치정보와 측정값들이 모두 기록된 3차원 격자 구조가 완성되면, 3차원 지구통계 프로그램을 이용하여 공간변수를 예측할 수 있다(Fig. 4e). 공간변수 예측 결과는 다시 3차원 격자에 저장되며, 역변환 과정을 통해 GIS 데이터베이스와 재결합된다(Fig. 4f).

3.2 결합 모델의 구현

본 연구에서 설계한 결합 모델은 크게 GIS 데이터베이스 내부에서의 자료변환 과정과 외부 지구통계 프로그램과의 연계(interfacing) 과정으로 구성된다. GIS 내부에서의 자료변환은 소프트웨어가 제공하는 지오프로세싱 도구(geoprocessing tools)를 이용하여 수행되지만, 외부 지구통계 프로그램의 연계를 위해서는 별도의 변환 도구가 필요하다. 본 연구에서는 VBA(Visual Basic for Application)를 이용하여 다중 래스터 레이어를 하나의 3차원 격자 구조로 통합한 후, 지구통계 프로그램에 전송하는 기능을 개발하였고, 이를 ArcGIS 소프트웨어의 확장 모듈로 추가하였다(Fig. 5).



[Fig.5] Data conversion program for interfacing GIS and geostatistics



[Fig.6] 3D geostatistics program for spatial data estimation

Figure 6 은 본 연구에서 개발한 3차원 지구통계 프로그램을 보여준다. 개발된 프로그램은 다각형법, 역거리 가중치법, 크리깅과 같은 세 종류의 3차원 공간변수 예측기법을 제공한다. 먼저 프로그램이 파일을 읽어오면(Fig. 6a), 공간변수 예측을 수행할 관심 영역과 샘플 자료들의 분포가 화면상에 3차원 시각화된다(Fig. 6b). 다음으로 공간변수 예측 기법 중에 하나를 선택하게 되는데, 크리깅을 선택할 경우에는 베리오그램(variogram) 모델링이 수행된다(Fig. 6c). 끝으로 프로그램이 3차원 공간변수들을 모두 예측하면, 그 결과가 화면에 시각화되어 나타난다(Fig. 6d).

개발된 프로그램은 효과적인 3차원 시각

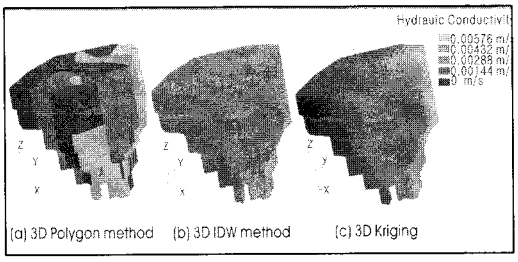
화 기능을 제공하기 때문에 생성된 공간 변수의 입체적 분석이 가능하며, 표준화된 아스키 파일 양식으로 그 결과를 저장할 수 있으므로 GIS 데이터베이스와 다시 연계될 수 있다.

4. 결합 모델의 적용

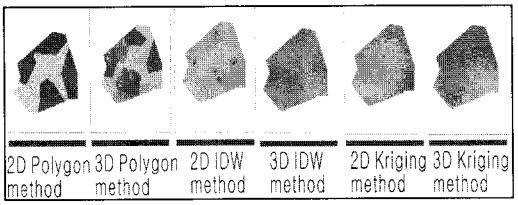
GIS와 3차원 지구통계기법의 결합 모델의 효용성을 검정하기 위해 서울시 일원 1동 지역의 수리전도도(hydraulic conductivity) 자료를 입력받아 공간변수를 예측한 후, 그 결과를 다시 GIS 데이터베이스에 결합하는 모의실험을 수행하였다. ArcGIS 소프트웨어를 이용하여 3차원 공간상에 분포하는 샘플 자료들을 3D Point 구조로 데이터베이스에 입력하였고, 2차원 벡터 레이어 형식으로 수평 방향의 관심 영역을 설정하여 매핑 하였다. 수직 방향의 관심 영역을 결정하기 위해서 시추 조사 자료로부터 기반암 상부 경계의 심도를 계산하였으며, 충적층(sediments)에 해당하는 부분만 공간변수 예측이 수행될 수 있도록 조정하였다.

Figure 7 은 3차원 지구통계 프로그램이 예측한 수리전도도 필드를 도시한다. 각각 다각형법, 역거리 가중치법, 크리깅을 이용하여 입력 자료로부터 3차원 공간변수를 예측하였다. 사용된 기법에 따라 예측 결과가 다소 다르게 나타났는데, 크리깅과 역거리 가중치법으로 예측된 결과는 전체적으로 값의 변화가 완만한 반면, 다각형법을 적용한 결과는 지역적 특이 값의 영향을 크게 받아 예측 값의 급격한 변화를 보였다. 이는 각각의 예측 기법이 서로 다른 가중치 결정 원리를 따르기 때문이다. Figure 8 은 2차원 지구통계기법과 3차원 지구통계기법을 적용한 수리전도도 예측 필드 가운데 특정 심도의 단면을 잘라 비교한 결과이다. 2차원 지구통계기법으로 예측된 결과들은 동일 심도에서도 샘플 측정지역 부근에서 지역적 특이 값의 영향을 크게 받고 있지만, 3차원 지구통계기법으로 예측된 결과들은 그 변화가 완만하게 나타났다. 2차원 지구통계기법은 동일 심도 평면상의 샘플 자료만을 고려하여 공간변수 예측을 수행하는 반면, 3차원 지구통계기법은 수직 방향의 자료의 영향도 함께 반영하기 때문이다. 따라서 예측 결과로 미루어 볼 때, 국지적인 규모에서 지반 공간의 공간변수를 예측할 경우, 3차원 지구통계기법을 이용하는 것이 보다 유리하다고 판단할 수 있다.

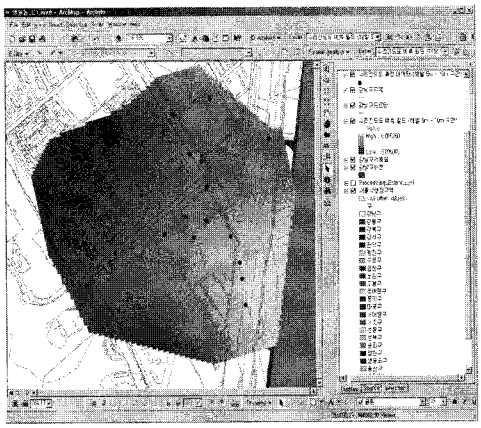
3차원 지구통계 프로그램에서 생성된 공간변수 예측 결과는 자료 변환 통해 다시 GIS에 재결합되며(Fig. 9), GIS 데이터베이스의 연속 표면 자료로 이용된다. 이 자료들은 행정 정보, 지형 정보, 환경 오염원 정보 등 기존에 구축된 GIS 데이터베이스와 함께 활용될 수 있다.



[Fig.7] Estimation results of 3D geostatistics



[Fig.8] Comparison 2D with 3D estimation result



[Fig.3] 3D data structures for geoscience data management

5. 결 론

본 연구에서는 GIS 기반 자료에 3차원 지구통계 기법을 적용하여 공간변수를 예측하고, 생성된 공간 변수를 다시 GIS로 반환하는 결합 모델을 개발하였다. 그 결과 GIS 소프트웨어 및 GIS 와 지구통계기법의 결합을 시도했던 기존 연구들이 공통적으로 가지고 있던 한계를 극복할 수 있었고, 국지적인 규모에서 보다 정확한 공간변수를 예측할 수 있었다. 생성된 예측 자료들은 역변환 되어 다시 GIS 데이터베이스로 구축될 수 있으며, GIS 가 제공하는 강력한 시각화, 자료의 관리 및통합, 그리고 공간분석 기능과 결합하여 효율적으로 사용 될 수 있다.

참고문헌

1. 심병완, 정상용, 강동환, 김규범, 박희영, 2000. 영산강·섬진강 유역의 지하수 데이터베이스 자료에 대한 지구통계학적 분석, 지질공학회지, Vol. 10, No. 2, pp.131-142.
2. 최선영, 고와하, 윤왕중, 항세호, 강문경, 2003. 지구통계기법과 GIS를 이용한 연안지역 해수침투 분포 파악, 한국 GIS 학회지, Vol. 11, No. 3, pp. 251-260.
3. Eastman, J.R., 1999. Idrisi 32: Guide to GIS and Image Processing, Clark University: Worcester.
4. Johnston, K., Ver Hoef, J.M., Krivoruchko, K., Lucas, N., 2003. Using ArcGIS Geostatistical Analyst, ESRI Press: Redlands.
5. Lennert, M., 2004. Grass Tutorial, Grass Development Team (http://grass.itc.it/index.html), accessed 2004/03/04.
6. Longley, P.A., Goodchild, M.F., Maguire, D.J., Rhind, D.W., 2001. Geographic Information Systems and Science, John Wiley & Sons: New York.
7. Mitas L., Brown W.M., Mitasova H., 1997. Role of dynamic cartography in simulations of landscape processes based on multivariate Fields, Computers & Geosciences, Vol. 23, pp.437-446.
8. Rosenbaum, M.S., Nathanail, C.P., 1996. Petrophysical databases for ground characterisation: design concepts and considerations, Marine and Petroleum Geology, Vol. 13, pp.427-435.
9. Zhang C. and McGrath D., 2004. Geostatistical and GIS analyses on soil organic carbon concentrations in grassland of southeastern Ireland from two different periods, GEODERMA, Vol. 119, pp.261-275.
10. Zhu H.C., Charlet J.M., Poffijn A., 2001. Radon risk mapping in southern Belgium: an application of geostatistical and GIS techniques, The Science of the Total Environment, Vol. 272, pp.203-210.