

# 지층구조와 불연속면 데이터를 이용한 지반공간 3차원 GIS구축

윤서연 · 박영동

【서울대 지구환경시스템공학부 석사과정, 서울대 지구환경시스템공학부 조교수】

## 1. 서론

과거에는 GIS의 사용이 평면적인 데이터를 다루는 목적으로 많이 제한되었으나, 근래에는 응용 분야에서의 요구에 의해 GIS 소프트웨어에서의 3차원 데이터를 다룰 수 있는 기능들이 추가되고 3차원 데이터를 이용하는 분야가 늘어남에 따라 3차원 GIS의 이용에 대한 연구가 많이 진행되고 있다.

3차원 GIS에서는, 2차원 GIS나 2.5차원 GIS에서 3차원 공간상의 데이터를 나타내거나 처리하기 위해 여러 레이어에 저장된 속성을 오버레이(overlay)하거나 고도 값을 속성으로 가진 레이어에 드래이프(drape)해야 했던 한계를 벗어나, 3차원 좌표를 사용하여 대상물의 위치를 나타내고 각 대상물의 속성을 직접 조회할 수 있게 하며, 3차원 공간상의 분석을 용이하게 하는 장점이 있다(Raper, 2000).

현재 지상의 구조물을 3차원 데이터베이스화하여 3차원 GIS를 구축하려는 연구(김재윤, 2001) 등 지상의 데이터를 3차원화하고, 3차원 GIS를 도입하려는 연구가 활발히 진행 중이다. 하지만 지하의 구조를 나타내려 하는 경우, 데이터의 복잡성과 데이터를 얻는데 비용과 시간이 비교적 많이 든다는 점 등에 의해, 지하의 구조를 나타내는 3차원 GIS의 이용은 거의 시도되지 않았다. 지반분야에서 다루는 데이터는 거의 모두가 완전한 3차원의 구조를 이루고 있는 것을 대상으로 하기 때문에 3차원 GIS의 장점을 잘 활용할 수 있다. 또한 기존의 지반 정보의 2차원상의 기록으로는 이용자가 다시 해석을 해야하고, 그 해석이 이용자마다 다를 수 있다는 점에서 3차원 GIS의 도입이 더욱 요구된다.

GIS를 이용하여 지반공간의 구조를 모델링하기 위해 사용될 수 있는 데이터로는 수치지형데이터, 지층정보, 단층·절리와 같은 불연속면 데이터, 인공지하구조물 데이터 등을 들 수 있다. 이 중 수치지형데이터는 지형도를 이용하면 비교적 정확한 데이터를 손쉽게 얻을 수 있으며, 인공지하구조물은 설계에 의해 만들어진 것이므로 기존의 데이터를 이용하여 그 위치나 규모를 파악하는 것이 가능하다. 반면, 지층에 대한 정보나 불연속면 데이터 등은 시추를 이용한 샘플링이나 지표지질조사 등에 의해 얻어진 데이터로부터 대상 범위에 대한 추정이 이루어져야 하므로 GIS에서 이용되는 데 있어 다른 성격을 띤다(Raper, 1989). 본 연구는 지층정보와 불연속면 데이터를 3차원 GIS에서 이용할 수 있도록 구조화하는 방안을 제시하는 데 중점을 두고 있으며, 더 나아가 지반 공간에 대한 데이터를 3차원 GIS를 이용하여 통합적으로 관리하는 방법을 모색하려 한다.

## 2. 3차원 GIS의 연구 동향과 지반공간에의 응용

### 2.1 2차원 GIS와 3차원 GIS의 비교

과거에는 GIS(Geographic Information System)가 지도 제작의 용도로 많이 사용되었기 때문에 주로 평면상의 데이터에 관심을 두었고, 그에 따른 공간 분석도 평면상에서 이루어지는 경우가 많았다. 하지만 지질, 대기, 도시계획 등 공간을 대상으로 하는 많은 분야에서 3차원상의 데이터를 구조적으로 저장하고 그것을 분석, 시각화(visualization)하려는 요구가 늘어남에 따라 이러한 요구에 부응하도록 GIS에서 3차원 데이터를 어떻게 다룰 것인가에 대한 연구가 진행중이다. 상용 소프트웨어에는 3차원 데이터를 시각화하고 분석할 수 있는 모듈이 추가되는 추세이고, 3차원 데이터를 이용하는 각 분야에서는 그 분야의 데이터에 알맞은 저장 형식과, 그에 따르는 분석을 위해 GIS에 추가되어야 할 모듈에 대한 연구가 이루어지고 있다(Raper, 2000).

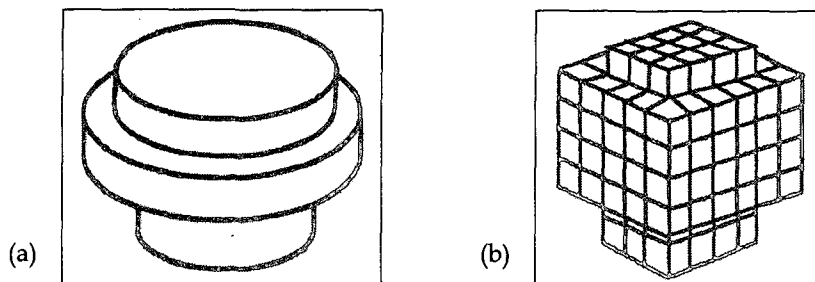
3차원 GIS의 가장 큰 특징은 3차원 좌표계를 사용한다는 점이다. 2차원 GIS에서는 elevation을 속성의 한가지로 취급하며, 하나의 개체당 하나의 elevation을 허용하므로 부피를 나타내는 것이 불가능하다. 하지만 3차원 GIS에서는 3차원 좌표를 가지는 개체들의 집합으로 현상을 표현하므로 부피를 표현하고 그에 대한 분석을 실행하는 것이 가능하다(Raper, 2000). 또한 지하 심도별 데이터를 저장할 때와 같은 경우에도 2차원에서라면 데이터들의 공간적 관계를 파악하기 힘든 반면, 3차원 GIS에서는 대상물을 3차원으로 가시화하여 속성을 조회하는 것이 가능하므로 고려할 변수가 다수일 경우 데이터의 통합 관리 측면에서 효율성을 꾀할 수 있다.

### 2.2 3차원 GIS의 대표적 모델

최근까지의 연구를 종합하여 분석해볼 때 3차원 GIS에서 데이터를 저장하는 방식으로 제시된 방법은 크게 geometric model과 volumetric model로 나뉘며 (Marschallinger, 1996 and Raper, 2000), 그 특징은 Table 1과 같이 비교할 수 있다.

<표 1> Geometric model과 volumetric model의 비교  
(reorganized, Raper, 2000 and Marschallinger, 1996)

	<b>Geometric Model (Boundary representation)</b>	<b>Volumetric Model (Voxel)</b>
emphasis	defining and representing the bounding surfaces of 3D objects	defining and representing variations in internal properties of objects
variables	discrete variables	continuous variable
comparison to 2D GIS	analogous to vector-based representations in 2D GIS	analogous to raster-based representations in 2D GIS
file size	smaller	larger
functional characteristic	easier to view and manipulate	easier to computationally combine and intersect object using volume



<그림 1> Geometric model(a) 과 Volumetric model(b) 의 간단한 예(Raper, 2000)

Geometric model은 ESRI의 3차원 shapefile에서 이용되고 있으며, 지질 구조와 시간에 따른 지질 작용에 의해 석유와 같은 화석 연료의 매장 가능 지역을 찾아내는 Dodds(2000)의 연구에서 지질 구조를 나타내기 위해 이용되었고, Santos 등 (2000)의 연구에서도 시추자료를 3차원으로 시각화하기 위해 사용된 바 있다. Volumetric model은 Karssenberg 등(2000)의 지각의 구조와 거동을 대상으로 한 environmental modeling language를 제작하는 연구에서 이용되고 있다.

### 3. 시추데이터에 대한 데이터베이스 구축

#### 3.1 시추데이터의 형식

시추데이터는 보통 시추공 하나에서 얻은 데이터를 하나의 시추주상도 테이블에 정리하는 방식으로 저장된다. 이러한 방식은 개개의 시추공에 대한 정보를 조회하는

데는 효과적이라 할 수 있지만 효율적인 데이터베이스의 구조라고는 할 수 없다.

특히 지층의 구조를 나타내는 부분을 이 형식 그대로 유지한 채 데이터베이스에 기록하게 되면, 지층이라는 같은 범주에 들어가는 레코드가 서로 다른 필드에 분산되어 기록되므로, 분석작업이나 데이터베이스 프로그래밍을 적용하는 데에 있어 어려움이 있다. 또한 테이블간의 연계가 전혀 이루어져 있지 않아서 다른 시추공에서 얻어진 데이터 중 같은 지층을 나타내는 데이터들을 인식하고, 한 지층에 대한 분석을 수행하는 것이 매우 어렵다. 따라서 시추데이터를 디지털로 저장하는 경우, 현재 대부분을 차지하고 있는 시추주상도의 형식에서 벗어나 새로운 구조를 가지는 데이터베이스를 사용할 필요가 있다. 또한 현재의 시추주상도의 형식은 GIS, 특히 3차원 GIS에서 이용하는 것이 불가능하기 때문에 시추데이터가 나타내는 3차원 정보는 완전히 이용되지 못하고 있다. 시추데이터의 활용도를 더욱 높이기 위해서는, 새로운 데이터베이스의 구조 설계시 3차원 GIS에서 시추데이터를 이용할 수 있도록 하는 것도 매우 중요한 문제라 하겠다.

### 3.2 ArcInfo에서의 3D visualization을 위한 데이터의 구조

ArcInfo에서의 시추데이터에 의한 지층구조의 3차원 시각화는 크게 2가지로 생각해볼 수 있다. 첫째로는 시추 주상도의 3차원 시각화(ESRI, 2001)를 들 수 있으며, 둘째로는 이 데이터에 대해 보간법(interpolation)을 실시해 surface를 만들어내서 여러 지층의 경계를 한꺼번에 visualization하는 방법이다.

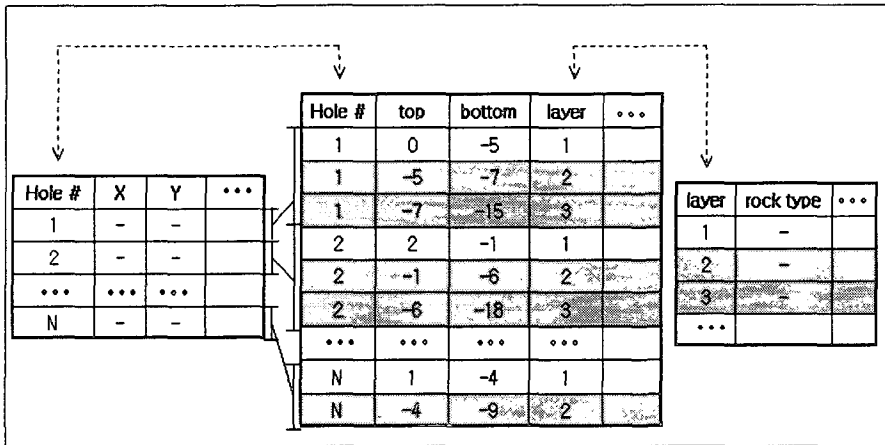
두 번째 방법은 Santos(2000) 등의 연구에서 이용된 바 있다. 이 두 방법에서처럼 여러 지층의 형태에 대한 데이터를 한번에 3차원으로 시각화하기 위해서는 각각의 지층에 대한 데이터가 독립적인 테이블로 존재해야 한다. 따라서 데이터는 X, Y, Z좌표를 나타내는 변수들이 그림3과 같이 정리되어야 한다. 이 과정을 거치면 ArcInfo에서의 변환모듈을 이용해 3차원 point shape를 저장하는 shapefile로 변환하여 시추주상도의 형태로 시각화할 수 있는 형태가 된다.(ESRI, 1998) 이 데이터에 의해 TIN(Triangulated Irregular Network)이나 grid surface를 생성하면 좀 더 현실에 가까운 형태로 지층의 구조를 3차원으로 시각화할 수 있다. 하지만, 3차원의 형식으로 저장된 데이터를 surface로 변환하면, 시각적으로는 뛰어나지만 2.5차원이 되기 때문에 지층의 두께 정보를 위해서는 또 다른 레이어를 만들어야 하는 단점이 있다.

### 3.3 관계형 데이터베이스(Relational Database)를 이용한 데이터의 구조화

이 연구에서는 시추데이터를 저장하기 위해 관계형 데이터베이스를 사용하였다. 여기에서는 주로 시추데이터에 3차원 GIS를 적용하는 문제에 중점을 두고 있기 때문에, 지층의 구조를 나타내는 심도데이터에 중점을 두어 데이터베이스를 작성하였다.

데이터베이스는 크게 세 개의 테이블로 이루어져 있다. 첫째는 각 시추공의 지표에서의 좌표를 나타내는 테이블이고, 두 번째는 각 시추공에서 나타나는 지층마다의 상부, 하부의 경계 심도와 해당하는 지층의 ID를 기본 필드로 하는 테이블이며, 세 번째는 각 시추공에 존재하는 모든 지층에 대한, 암종 등의 고유한 정보를 저장하는 테이블이다(그림 2).

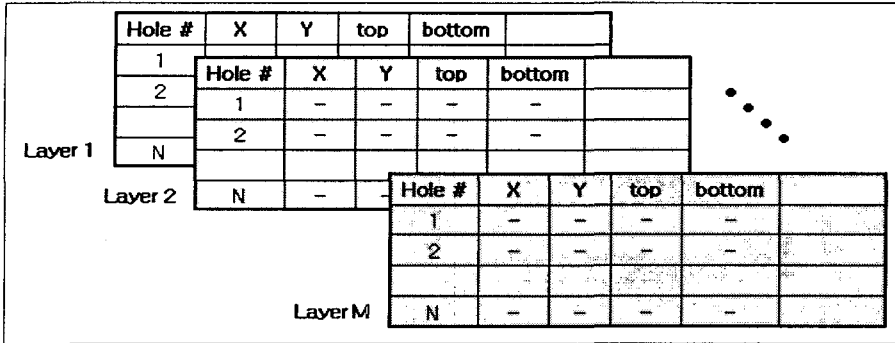
각 시추공은 시추공마다 고유하게 부여된 ID에 의해 구별되며, 각 지층 역시 지층마다 부여된 고유한 번호 혹은 ID에 의해 구별된다. 지층의 심도를 나타내는 테이블은 시추공의 ID와 지층의 ID에 의해 시추공의 지상좌표를 나타내는 테이블, 지층의 고유한 정보를 나타내는 테이블과 연계되어 있어, 이를 이용해 연결된 테이블 간의 데이터를 조회할 수 있다. 따라서 기존의 시추주상도의 형태로 데이터를 출력하는 것이 가능하다는 점에서 기존의 시추공별 데이터 조회의 목적으로도 사용 가능하다. 또한 같은 범주에 들어가는 데이터를 한 테이블에 모아 저장하는 형식을 띠고 있기 때문에, 데이터베이스 프로그래밍을 적용하여 데이터베이스의 구조를 변경하기 용이하다는 장점이 있다.



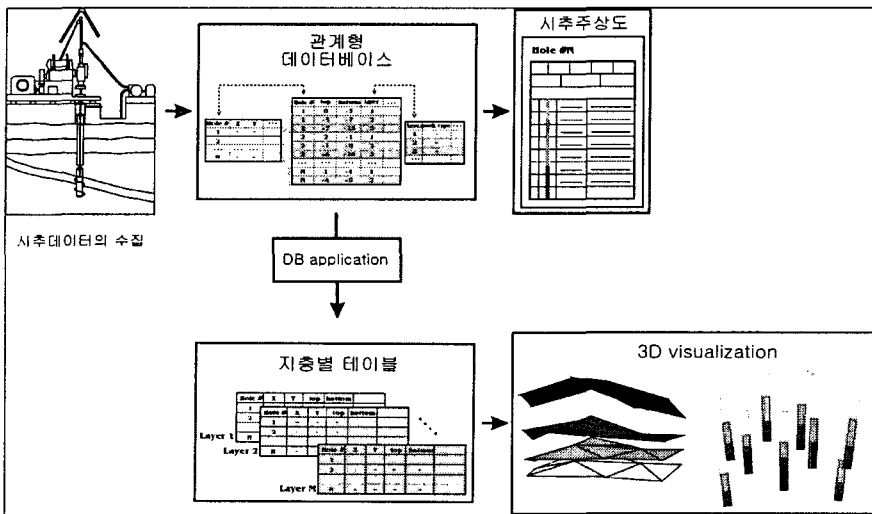
<그림 2> 관계형 데이터베이스의 구조

이 데이터베이스의 구조에서 시추공의 지상좌표를 나타내는 테이블은 2차원상의 위치를 나타내며, 지층의 심도를 나타내는 테이블은 1차원상의 위치를 나타낸다.

이 두 테이블의 내용을 시추공의 ID로 조회하여 결합하면 각각의 3차원 좌표를 생성할 수 있다. 이들을 지층별로 분류하면 각 지층별로 시추공과 만나는 부분의 3차원 좌표를 알아낼 수 있고, 이것은 앞에서 언급된 과정을 거쳐 3차원 시각화에 사용될 수 있다. 그림4는 이러한 과정을 거쳐 시추데이터를 3차원 시각화하는 과정을 나타낸다.



<그림 3> ArcInfo의 3차원 시각화에 이용하기 위한 데이터 구조



<그림 4> 시추데이터의 3차원 시각화 과정

#### 4. 불연속면 데이터 처리

보통 불연속면은 각 축점에서 기록된 방향성으로 나타내어진다. 하지만, 불연속면은 곧은 단일 평면으로 존재하는 것이 아니라, 파쇄대, 단층대와 같이 폭을 가지고 발달해 있는 것이 보통이다(Waltham, 1994). 여기서 불연속면의 복잡성을 배제하고 단일 평면으로만 이루어져 있다는 전제를 둔다면, 불연속면을 나타내는 평면을 표시하기 위해서는 불연속면에 속하는 3개 이상의 점의 좌표를 기록된 데이터로부터 계산해야 한다. 이 단계의 작업은 ArcGIS에서는 수행할 수 없고, 별도의 프로그래밍이 필요하다.

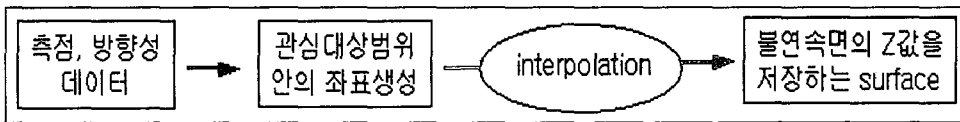
평면의 방정식은 법선 벡터를 이용해서 구할 수 있고, 그 식은 다음과 같다.

평면의 법선 벡터를  $u_x, u_y, u_z$ 라 한다면,

$$u_x(X-x_0) + u_y(Y-y_0) + u_z(Z-z_0) = 0$$

$x_0, y_0, z_0$ (는 측정의 좌표)

구해진 방정식에 관심 대상 범위 이내의 X, Y 좌표를 대입하면 그에 따른 Z좌표를 구할 수 있다. 이러한 방법을 이용해 평면을 결정할 수 있는 3개 이상의 데이터를 얻은 뒤, 그림3과 같은 방법으로 X, Y, Z좌표를 테이블에 정리하여 ArcGIS에서 Point 데이터로 변환한다. 여기에 보간법을 거쳐, grid나 TIN surface를 생성하면, 불연속면을 3차원 공간상에 시각화할 수 있다. 그림5는 불연속면 데이터를 3차원 시각화하는 단계를 그림으로 나타낸 것이다.



<그림 5> 불연속면 데이터를 3차원 시각화하는 단계

## 5. 결론

본 연구는 3차원 GIS를 이용하여 시추데이터를 더욱 효과적으로 이용할 수 있도록 하기 위한 데이터베이스의 설계와 불연속면의 3차원 가시화 방안을 주안점으로 하였다. 시추데이터의 경우는, 관계형 데이터베이스와 비주얼 베이스 데이터베이스 프로그래밍을 이용하여 기존의 시추주상도 방식의 출력과 3차원 GIS에서 사용 가능한 데이터로의 변환을 가능하게 하였다. 불연속면 데이터는 한 점에서 측정된 불연속면의 방향 데이터를 변환하여, 불연속면 위의 점의 좌표를 알아내고, 이것으로부터 불연속면의 surface를 생성하여 3차원 시각화하였다.

이 데이터들은 ArcGIS의 범위 내에서 데이터를 처리하고 시각화하였으므로, 완전한 3차원 GIS라고 하기에는 부족함이 있다. ArcGIS에서는 아직 충분한 3차원 GIS 함수들을 제공하지 않으므로, 3차원 공간상의 위치관계를 이용한 분석을 수행하려면, 다시 2차원상으로 돌아가 연산을 하여 overlay하거나, 데이터베이스를 직접 조작하는 방법을 사용해야 한다. 그리고, 불연속면을 입력할 때에도 ArcGIS 밖에서 여러 단계를 거쳐야 하고, 입력을 한 뒤에도 3차원 buffer 등의 공간분석을 위해서는 다시 2차원상의 연산을 거쳐야 한다는 점에서 완전한 3차원을 구현하지 못한다.

본 연구는 지반공간을 모델링하기 위한 목적으로 GIS 소프트웨어를 이용할 때, GIS 소프트웨어가 제공하지 못하는 부분을 외부에서 데이터를 처리하는 방법을 사용하여 그 해결 방법을 제안하였다. 또한 데이터를 visualization하고, 분석하는 데

있어서 나타나는 제한점을 보임으로써, 3차원 GIS를 이용하여 지반공간을 모델링하기 위해 개선되어야 할 방향을 제시하였다.

본 연구에서는 시추주상도로부터의 지층정보와 불연속면에 대한 3차원 GIS의 적용을 시도함으로써, 데이터의 3차원화가 활발하게 이루어지고 있는 지상 구조물에 대한 정보와의 3차원 공간상에서의 연계 가능성을 보였다. 향후 지반공간과 지상 구조물에 대한 3차원 시각화뿐만 아니라 3차원 공간분석이 가능해진다면, 상호간의 영향에 대한 통합적인 진단과 관리가 가능할 것이라고 예상된다.

## 감사의 글

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(R01-2000-00058) 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

1. 김재윤, 2001, 사이버도시 실현을 위한 3차원 공간 데이터베이스 구축과 활용, 한국 GIS 학회지, Vol. 9, No. 2, pp. 325-340
2. Dodds, A., 2000, Migrate2: a PC program for modelling the generation, migration and accumulation of hydrocarbons in four dimensions, Computers & Geosciences 26(2000) 795-808
3. Environmental Systems Research Institute, 1998, ESRI Shapefile Technical Description, ESRI, <http://www.esri.com/library/whitepapers/pdfs/shapefile.pdf> Accessed 2001 May 14
4. Environmental Systems Research Institute, 2001, ArcView GIS 8.1, <http://www.esri.com/software/arcgis/arcview/index.html>, Accessed 2001 May 14
5. Karssenbergh, D., et al, 2000, An environmental modeling language for model construction in the temporal, 3D spatial and stochastic dimensional: concepts, GIS/EM4 online proceeding
6. Raper, J., 1989, [ed.]GIS-Three dimensional applications in geographical information systems: Taylor and Francis, London
7. Raper, J., 2000, Multidimensional geographic information science, Taylor & Francis, pp. 121-171
8. Santos, M.L. Mendonça, et al., 2000, Three-dimensional GIS cartography applied to the study of the spatial variation of soil horizons in a Swiss



floodplain, *Geoderma* 97(2000) 351-366A.

9. Waltham, A.C., 1994, *Foundations of Engineering Geology*, Blackie Academic & Professional, 88 pp.