

3차원 지질 모델링을 이용한 지하자원 채굴 관리 및 폐갱도 보강량 산출

배 기 훈	주식회사 넥스지오
윤 운 상	주식회사 넥스지오
정 의 진	주식회사 넥스지오
문 지 용	주식회사 넥스지오
정 두 진	대한광업진흥공사

1. 서론

금속 및 비금속을 망라하는 지하자원은 일반적으로 특정 지층 내에 불규칙적인 분포를 보이는 것이 대부분이다. 이는 특히 금속인 경우, 그 광체에 대한 지층 내 분포 상태를 정확히 분석해 내기가 쉽지 않다. 또한 석탄이나 석회석 등과 같이 비금속 광체의 경우 금속 광체에 비해 상대적으로 분포 상태를 이해하기 쉬우나 이 역시 지표가 아닌 지하 내부의 분포 상황을 정확히 추정해 내기가 쉽지 않다.

따라서, 보다 정확한 지층 내 광체의 분포 상황을 이해하고 이를 채굴하기 위한 갱도의 설계 및 채굴 관리를 위해 3차원 분포 모델링을 비금속 광산 및 금속 광산 지구에 적용하였다. 일차적으로, 지질 조사 및 시추 조사를 통해 획득한 자료로부터 기본적인 광체의 3차원 모델링을 수행하고, 이로부터 광체의 채굴을 위한 갱도를 설계하였다. 이러한 일련의 과정을 통해 가장 효율적인 지하자원 채굴을 위한 모델링 기법의 공정을 마련할 수 있을 것으로 예상된다.

현재 국내의 지하자원 채굴 활동은 약화되고 있는 반면, 채굴이 끝난 폐갱도에 대한 대책 마련이 점차 시급해지고 있다. 특히 주요 광산 지역의 폐갱도에 의한 지반 침하 현상은 여러 가지 폐해를 일으키고 있는 실정이다. 이러한 폐갱도에 의한 지반 침하 및 오염을 방지하기 위해 폐갱도 내 충진을 위한 충진재 및 충진법에 대한 연구가 진행되고 있다. 반면에 현실적으로 지하에 분포하는 폐갱도의 분포 현황을 정확히 분석하기는 어려우며, 이에 따른 충진량을 계산하기 역시 어려운 실정이다. 이러한 문제점을 극복하기 위한 방안의 하나가 폐갱도의 3차원 분포 상황을 모델링하여 그에 따른 충진재의 보강량을 산정하는 것이다. 이처럼 지하자원 및 갱도의 3차원 모델링은 채굴 및 관리 등의 광산 활동을 보다 효율적으로 진전시킬 수 있을 것이며, 나아가 폐갱도 보강을 위한 보강량 산출 등의 사후 대책 마련에 유용히 적용될 수 있을 것으로 예상된다.

2. 데이터 구조(Data Structures)

본 지질 모델링에 사용된 프로그램은 조사된 자료로부터 3차원 모델링을 구성하기 위한

데이터 구조를 크게 4가지로 나누고 있는데, 이는 각각 Hole data, Map data, Volume data, 3D Grid data이다. 이러한 데이터 구조가 서로 연계되어 3차원 모델링을 구축하는 과정을 나타내면 다음 <그림 1>과 같다.

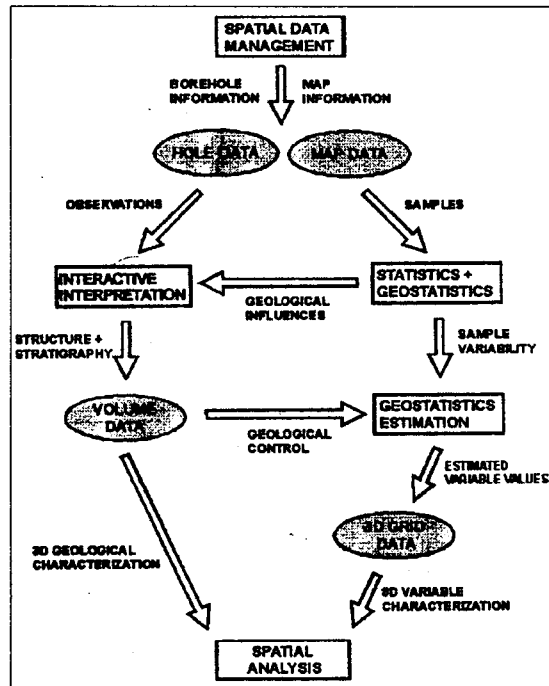


그림 1. 프로그램의 데이터 구조

2.1 Hole data

기본적으로 본 프로그램은 시추자료를 입력데이터로 한다. 이러한 시추자료는 지표 지질 조사 자료와 함께 보다 정확한 지층 분포를 구성하기 위해 필요하다. 시추자료는 기본적으로 시추공의 trace, 각 지층의 분포 심도를 나타내는 지표면으로부터의 거리(distance), 각 지층 또는 입력 지점의 방향(azimuth)과 경사(dip) 그리고 시추공의 공간좌표(X, Y, Z 값)등으로 구성된다(그림 2).

위의 값들이 정밀할수록 3차원 모델링의 구축도 정확성을 가지게 된다.

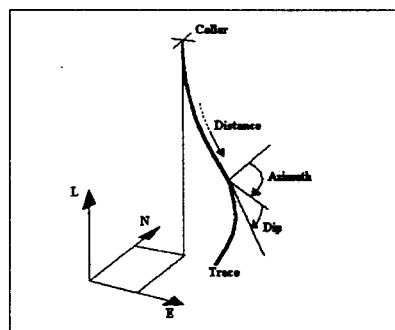


그림 2. Hole data의 기본구조

2.2 Map data

Map data는 해당 지역의 지형 및 도로 등 지형, 지물의 현황에 대한 것으로, 시추 데이터가 지표 및 지하의 지층 분포를 나타내고 있는 것에 반해 이는 지표면에 대한 정보를 설정하거나 표현하는데 필요하다. Map data는 일반적으로 수치지형도를 이용하면 편리하며, 이 수치지형도는 그 자체적으로 3차원 정보(X, Y 좌표 및 고도값)를 포함하고 있으므로 모델링 과정동안 각 데이터의 공간적이 위치에 대한 기준을 마련한다(그림 3).

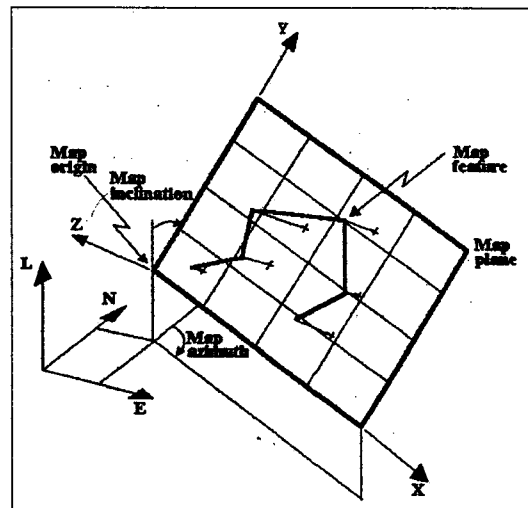


그림 3. Map data의 기본구조

2.3 Volume data

Volume data는 시추자료나 2차원의 지질도 및 단면도로부터 3차원의 지층 분포를 모델링함으로써 형성되는 공간적인 자료로서, 이 자체가 가시화되어 나타냄으로써 시각적으로 인지되어진다.

Volume data는 각각의 단위(unit)로 구성되어 있으며 그 각각이 서로 결합하여 하나의 지층 체적을 구성하게 된다. 3차원의 체적(volume)은 기본적으로 1차원 자료인 시추자료로부터 시작해 이로부터 2차원의 단면을 구성하고 이 단면들을 서로 내삽(interpolation)시킴으로써 최종적으로 구성된다(그림 4).

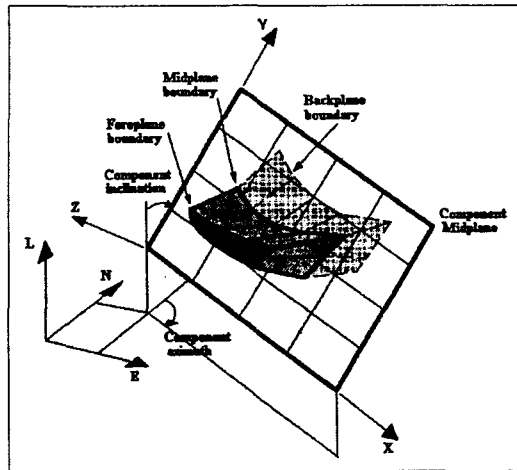


그림 4. Volume data의 기본 구조

2.4 3D Grid data

3D Grid data는 구획되어지지 않은 공간을 적절한 간격으로 나눔으로써 일종의 단위 격자로 구분되어진 공간을 형성시켜 이를 Volume Data와 연계하여 통계학적 내지 지구통계학적 분석에 적용시키기 위한 것이다. 이러한 grid data의 형성은 krigging을 위한 기초 자료가 된다(그림 5).

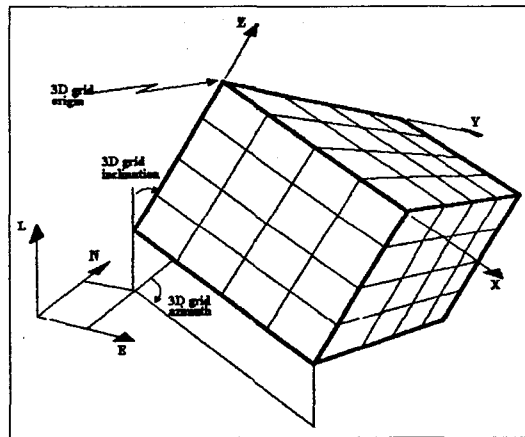


그림 5. 3D Grid data의 기본 구조

3. 지층분포의 3차원 모델링

3.1 3차원 모델링 과정

3.1.1 데이터의 좌표계 설정 ; 수치지형도

본 프로그램상에서 모든 자료는 공간좌표를 가지게 된다. 즉, 시추공의 위치뿐만이 아니라

각 지층의 위치 및 터널의 분포도 공간적인 위치로써 자리잡게 된다. 따라서 이러한 위치에 대한 기준을 마련하기 위해 가장 손쉬운 방법이 수치지도를 이용하는 것인데, 이 수치지도상에 시추공의 위치를 표현함으로써 실제 조사 지역의 지형과 지층의 정보를 가진 시추공의 오차를 최대한 줄일 수 있다(그림 6).

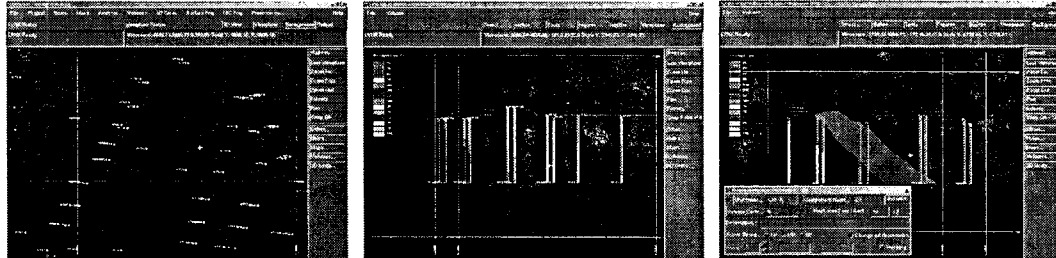


그림 6. 수치지형도와 시추공의 2차원 단면 display 및 지층 단면 작성

3.1.2 시추자료의 입력

해당 지역에 대한 시추자료를 입력한다. <그림 6>은 수치지도상에 표시된 시추공의 위치와 본 프로그램상에서의 시추 입력창을 나타낸 그림이다. 시추 입력창에 들어가는 정보는 각 시추공의 공간좌표값(X, Y축, 고도), 각 지층의 심도 및 암상 및 각종 정량적 자료(물성치, 암반등급, 품위도 등)가 있다.

3.1.3 단면도 작성

각 시추공에 대한 정보가 입력되면, 이를 2차원의 단면으로 변환시킴으로써 수직적인 지층의 분포를 display한다. 이로부터 동일한 지층의 절점을 서로 연결시킴으로써 각각의 단면을 형성한다(그림 6).

3.1.4 각 단면의 interpolation

앞서와 같이 한 지층에 대한 각각의 단면들이 구성되면 이들을 서로 연결시킴으로써 체적을 가지는 3차원의 지층이 완성된다. 이러한 단면들의 연결은 각 단면의 절점들을 대응시켜 interpolation시킴으로써 두 단면사이의 공간을 보정하게 된다(그림 7).



그림 7. 각 단면의 interpolation 및 3차원 단위 solid 개체화

3.1.5 3차원 지층 모델링

위와 같은 과정을 거쳐 모델링하고자 하는 지역의 각 지층들을 3차원의 체적을 가지는 개체로 구성하여 이를 결합하면 다음 그림과 같이 화면상에 각 개체가 프레임으로 나타나며, 이를 3차원의 solid로 변환하여 구성하면 아래 <그림 8>과 같다.

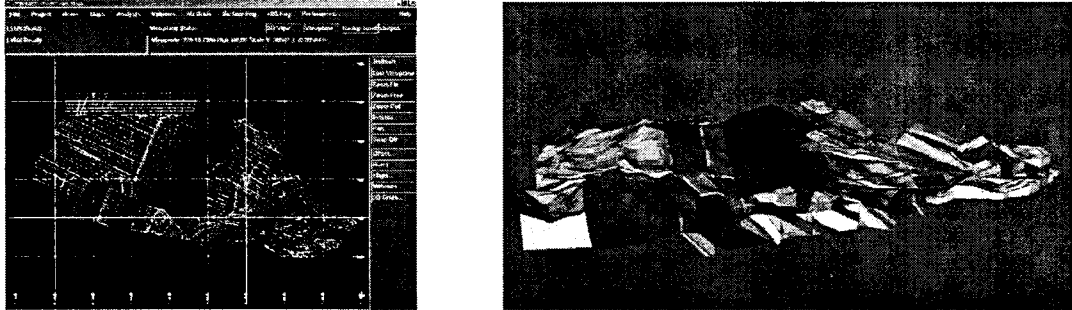


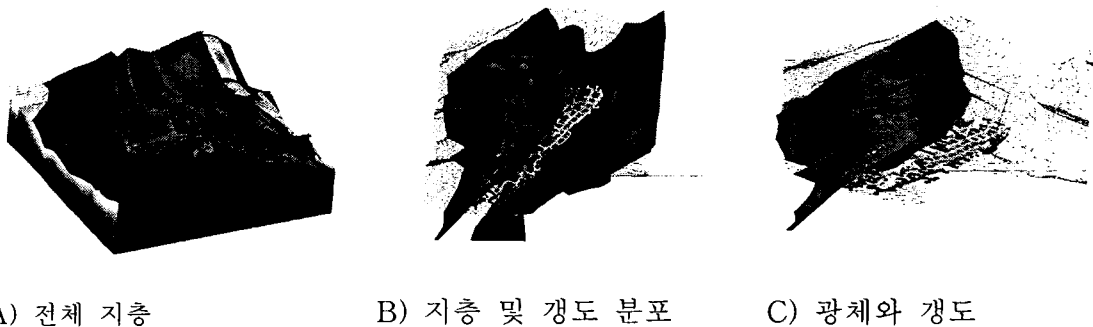
그림 8. 완성된 3차원 프레임과 솔리드 모델링

3.2 석회광산 지층 및 갱도 3차원 모델링

경상북도 울진군에 소재하고 있는 석회광산을 대상으로 그 지역에 분포하는 석회암층 및 채굴갱에 대해 시추자료 및 지질조사 자료를 기반으로, 앞서 설명한 바와 같은 과정에 의해 3차원 모델링을 실시하였다.

본 모델링 지역 내에 분포하는 지층은 조선누층군의 석회암층과 이를 관입하는 화강암으로 구성되며, 석회암층은 다시 채굴 대상이 되는 저품위와 고품위 두 가지 지층으로 구분할 수 있다. 또한 채굴 대상 지층 즉, 광체 내에는 갱도가 굴착되어 있으며 각각 60ML, 80ML, 100ML에 분포하고 있다.

이들에 대한 3차원 모델링에 대한 결과는 <그림 9>과 같다. A는 모델링 지역 전체에 대한 지층 분포를 나타낸 그림이고, B는 고품위 석회암 지층과 화강암 및 그 사이에 분포하는 갱도를 모델링한 그림이다. C는 주 채굴 대상이 되는 고품위 석회암과 주 채굴 갱도의 위치는 나타낸 그림이다.



A) 전체 지층

B) 지층 및 갱도 분포

C) 광체와 갱도

그림 9. 석회암 광산 지층 및 갱도 모델링

이처럼 광산 지역에 대한 3차원 지층 모델링은 주 채굴 대상이 되는 광체에 대한 분포 형상을 분석하고 이로부터 갱도의 분포 및 계획 갱도를 설계하는데 유용하게 적용될 수 있다.

3.3 광체의 매장량 계산 및 폐갱도 보강량 계산

3차원으로 모델링된 지층 및 갱도는 그 자체가 하나의 체적을 가지는 solid로 구성되어지기 때문에 각각에 대한 부피를 산정할 수 있다. 따라서, 주요 채굴 대상이 되는 광체의 매장량은 계산하거나, 지반 침하 방지와 관련하여 기존 폐갱도의 충전을 위한 그라우팅 시 이에 대한 부피를 계산함으로써 보다 근거있는 보강량을 산정할 수 있다는 장점이 있다.

4. 결론

현재 채굴이 진행되고 있거나 진행될 광산지역에 대한 지층 분포를 3차원으로 모델링함으로써 광체에 대한 보다 명확한 분포 상황을 이해할 수 있으며, 이후로 가장 적절하고 효율적인 갱도를 설계하는데 활용될 수 있을 것이다. 또한 광산 활동이 종료된 지역에 발생하고 있는 지반 침하 문제와 같은 광해와 관련하여 기존에 수행되고 있는 폐갱도 분포 파악 및 충전 그라우팅과 같은 시공시에 이를 3차원으로 모델링하여 그 지하 내부의 분포 상황을 보다 정확히 분석함으로써 그 보강량 산정의 근거를 마련할 수 있을 것으로 예상된다.

더 나아가 주요 지반침하 지역에 대한 3차원 DataBase를 구축함으로써 채굴 현황 및 갱도에 대한 3차원 모델링을 수행하고, 이를 침하 방지 및 보강 시에 사용함으로써 효율적이고 체계적인 근거를 마련할 수 있을 것이다.

참고문헌

배기훈(2002), “암반터널설계를 위한 지질분포의 3차원 모델링과 가시화”, 서울대학교 석사 논문.

배기훈, 윤운상, 김정환, 박남서(2001), “터널설계를 위한 지질조사 및 3차원 지질 모델링”, 2001년도 춘계공동학술발표회논문집, 대한자원환경지질학회, pp189~192.

대한광업진흥공사(2001), “정밀조사지구 3차원 전산도면 제작” 보고서