

지반침하 관리 및 분석용 GIS 개발

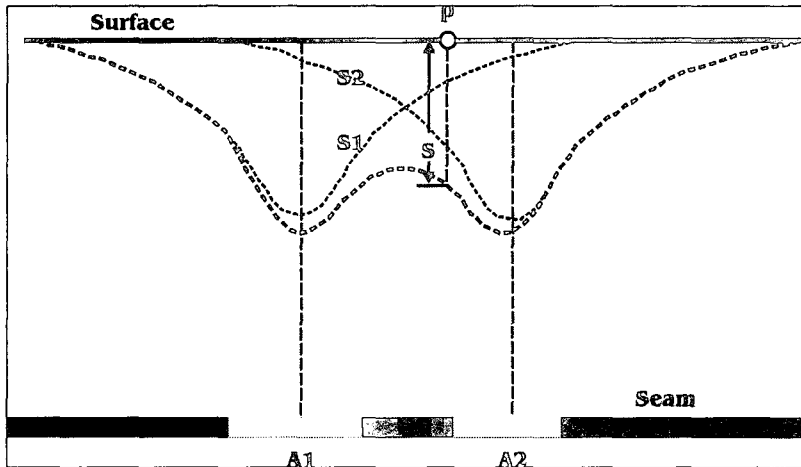
장운섭* · 이준용* · 권광수** · 박형동*

【*서울대학교 지구환경시스템공학부 · **한국지질자원연구원 탐사개발연구부】

1. 서론

지반침하를 관리 분석하기 위한 GIS의 개발단계에서 입력에 필요한 변수를 선정하고 이의 효과들을 파악하는 것과 적합한 DB를 운용하기 위한 적합한 방식에 대한 연구가 필수적이다. 특히, 최근 들어 공간정보에 대한 DB의 구축이나 운용에 대한 새로운 접근이 제시되고 있으나 지반침하를 고려한 GIS연구나 이를 위한 DB 연구가 부족하다.

지반침하 분석에 대한 기존의 GIS연구로는 중국의 광산지역 침하에 대한 연구(Yang, 1996), 카르스트 지형의 지반침하에 대한 연구(Jiang et al, 1994), 지반침하 중첩원리(그림 1) 및 경험적 기법을 고려한 연구(권광수 등, 2000), 국내 폐광여건을 고려한 입력변수 선정과 분석기법 연구(권광수 등, 2001) 등 극히 제한적이다.



<그림 1> 지반침하량 중첩의 원리(지표 P지점에서 측정된 전체 침하량 S는 각 갱도 A1, A2에 의한 침하량 S1, S2의 합).

현재까지 연구된 바에 따르면, 폐광(또는 가행 중인 광산)지역의 지반침하에 고려되는 입력요소로는 갱도 자체에 의한 침하, 지하수위 변화에 의한 침하, 토사의

압축성에 기인한 침하 등으로 요약된다.

따라서 본 연구에서는 폐갱도에 따른 지반침하를 효율적으로 관리, 분석하기 위한 폐갱도 최적 입력방법 비교분석, 그리고 이를 효율적으로 운용하기 위한 DB구축 프로그램의 개발에 중점을 두고자 한다.

2. 폐광위치 입력유형 분석

지반침하에 영향을 주는 요인들을 관리 대상별로 나누어 볼 때 갱도를 제외한 나머지 요소들은 입력방식 선정에 있어 어려운 점이 없다고 볼 수 있다. 예를 들어 지하수위 자료는 Point type으로 저장 가능하고, 지질자료는 Polygon type으로 저장 및 분석이 가능하다. 갱도의 경우 실제 모양을 그대로 나타내는 Polygon 방식이 가장 유사하나 분석의 방식, 저장 효율을 고려해 볼 때 Point, Line 방식과의 비교분석이 필요하다.

폐광의 갱도를 입력하는 방법은 우선 이에 따른 지반침하의 형태를 고려한 접근 방식이 필요하다. GIS에서 사용되는 Point type, Line type, Polygon type의 3가지를 기준으로 지반침하관리에 적합한 폐광위치 입력유형을 분석해 보고자 한다.

2.1 Point type approach

폐광 하나에 대해 점 하나를 대응시키는 방식이므로 메모리가 적게 필요하다는 장점이 있다. 또한 개별 점을 하나의 대표치로 처리함으로써 공간분석을 위한 처리 효율이 다른 방식에 비해 가장 빠르게 처리되는 장점이 있다.

지반침하의 범위나 위험영역 설정은 distance, buffering으로 처리하여 나타낼 수 있다. 단, 평면도상 원형을 나타내는 갱도에 대해서만 본 방식이 의미를 지닐 수 있다. 외국과 마찬가지로 국내의 탄전지대에서도 나타나는 석회암공동의 존재시 단일 석회공동의 붕괴에 따른 Sinkhole형태에 대해서는 Point type이 효율적으로 사용될 수 있다.

대부분의 국내 폐광지역은 수직갱도, 수평갱도 등이 복잡하게 연결되어 있어 Point만으로 저장하고 관리, 분석하기에는 적합하지 않다. 연결된 갱도의 침하에 대해 Point type의 buffer를 증가시킴으로 중첩이 가능하나 이는 정밀한 침하분석에는 비효율적이다. 따라서 Point type은 효율적인 처리를 보인다는 장점에도 불구하고, 제한적으로만 도입될 수 있다.

2.2. Line type approach

Line방식은 일련의 Point의 집합으로 표현되므로 갱도의 연결성을 표현할 수 있고, 곡선 부분에 대한 표현도 충분히 가능하다. Point방식에서와 마찬가지로

buffering, distance를 통해 분석이 가능하다. Line방식은 갱도의 실제 모양을 그대로 반영하는 것이므로 갱도연결성을 고려한 지반침하의 분석에 뛰어나다. 또한 갱도의 방향성을 고려한 지질구조와의 관련성 여부를 쉽게 분석할 수 있다.

단, 수평갱도 부분으로 인한 침하와 수직갱도 부분의 침하양상의 차이에도 불구하고 Line type만으로는 차이점을 표현하기 어렵다. 따라서 수갱을 대표하는 Node (또는 Vertex)를 따로 추출하여 buffering 등의 분석을 수행해야 한다.

국내 폐갱도들은 폭이 변동하는 경우도 있어 Line type을 선택할 경우 갱도폭을 함께 고려해야 한다. 일반적으로는 Line방식 저장에서 속성치를 통해 갱도폭을 고려할 수 있다. 갱도 폭에 따라 다른 ID를 부여한 Line을 도입할 수도 있으나 이 경우 연결성분석 등 이후 작업에서 오히려 불편하다.

2.3 Polygon type approach

Polygon방식은 갱도의 연결성을 표현할 수 있고, 곡선 부분에 대한 표현도 Line 방식에서처럼 가능하며, 갱도의 면적을 고려한 연산이 가능하다. Point, Line 방식에서와 마찬가지로 buffering, distance를 통해 침하 위험범위의 분석이 가능하다. Polygon방식은 갱도의 실제 모양뿐만 아니라 면적을 그대로 반영하는 것이므로 갱도크기를 고려한 지반침하의 분석이 용이하다.

Line type과 마찬가지로, 수평갱도 부분으로 인한 침하와 수직갱도 부분의 침하양상의 차이에도 불구하고 Polygon type만으로는 차이점을 표현하기 어렵다. 따라서 수갱을 대표하는 Node (또는 Vertex)를 따로 추출하여 buffering 등의 분석을 수행해야 한다.

국내 폐갱도의 폭이 변동하는 경우 Line type에 비해 Polygon type에서는 면적으로 직접 연산처리가 가능하다. 따라서 Line type에서와 같은 별도의 고려요인이 필요 없다. 단, 갱도가 연속적으로 길게 분포하거나, 주변갱도와 연결되어 분포할 경우 Polygon type은 입력효율이 떨어진다. 또한 Line type에서와 같은 방향성 분석은 직접 수행하기 어려우며, DB를 통해 상대적으로 좁고 긴 갱도에 해당하는 Polygon 부위를 우선 추출하고 (별도의 알고리즘 필요), 이를 구성하는 개별 Line을 추출하여 방향성을 간접적으로 고려할 수 있다.

2.4 종합 비교

앞서 분석한 바에 따르면 지반침하 관리, 분석에 대한 각 방식의 활용도를 제시할 수 있다 (표 1).

<표 1> 지반침하의 기하학적 표현 적합성 비교(적합성 감소 순서: ◎→○→△→×)

Type	수직갱도 표현	갱도 연결성	갱도 방향성	갱도 크기, 모양	저장용량, 자료구조
Point	◎	×	×	×	◎
Line	×	◎	◎	△	○
Polygon	×	△	×	◎	△

Polygon type의 경우 면적을 고려한 크기에 따른 침하양상을 직접 분석할 수 있지만 갱도간의 연결성이나 방향성을 고려한 분석은 별도의 알고리즘을 통한 작업을 수행해야 한다. 또한 Shaft의 경우 침하 발생확률이 다른 갱도보다는 높으며 침하량도 더 크게 관측되는 것으로 나타나지만 Polygon에서는 반영되지 않는다.

Line type의 경우 연결성이나 방향성을 고려한 분석에 뛰어나며 속성치를 활용한 크기 분석이 어느 정도 가능하므로 다른 방식에 비해 효율적이다. Shaft에 대해서는 Polygon type의 경우와 마찬가지로 별도로 반영되지 않는다.

Point type의 경우 데이터 저장 방식의 단순성 및 처리효율의 장점과 Shaft를 반영할 수 있는 점의 제한적인 장점만이 존재한다. 따라서 전반적으로 평가할 때 Line type을 기본으로 하여 크기를 반영하거나 Shaft를 반영시키는 방법이 필요하다.

3. 지반침하 관리DB 구축용 프로그램 개발

폐갱으로 인한 지반침하 관리요소 중에서 실측을 통해 지속적으로 관리가 필요한 것은 지하수위, 침하실측치(모니터링 결과), 침하균열 측정치 등을 제안할 수 있다. 이외의 지질, 지층두께, 절리, 단층 등의 자료들은 초기 구축 이후 빈번한 갱신이 요구되지 않는 항목이므로, GIS초기 구축 이후 별도의 DB구축 프로그램의 필요성이 적다. 따라서 본 연구에서는 실제 지반침하 정보관리상 정보의 갱신이 자주 요구되는 갱도위치, 지하수위, 침하실측치, 침하균열 등 4개 항목을 대상으로 선정하여 입력의 편리성, GIS처리를 위한 DB구성의 편리성 등을 고려한 구축 프로그램의 초기형을 개발하는 것을 목적으로 하였다.

3.1 갱도 위치

갱도위치는 한 번 입력한 후 미세한 수정을 제외하고는 변동되는 경우는 없다. 그러나 국내 폐광산지역의 기존 정보가 미약하고 부정확한 기록들이 있으므로 갱도의 연결 부분에 대한 추가로 인해 정보 갱신이 지속적으로 요구된다. 본 연구에서 개발된 DB구축 프로그램에서는 갱도에 관한 행정관리적 정보와 공간적 정보의 두 가지로 나누어 입력하도록 설계하였다.

우선, 행정관리적 정보에서는 각 갱도에 대해 과거 광산개발이나 현재 침하관리 목적에 따라 일종의 관리번호를 부여할 수 있도록 하였다. 또한 개발자 ID를 입력하여 선진국에서 실행하고 있는 광산개발자-침하복구책임자라는 관련성을 고려한 구축을 할 수 있도록 하였다.

다음 단계로서는 광산갱도의 위치를 입력하는 것으로, 최근 고전적 측량 이외에도 GPS(Global Positioning System)가 사용되고 있는 점을 고려하여 좌표입력 방식을 선택하도록 하였다. 갱도의 입력은 갱도경계점을 필요에 따라(또는 측정결과에 바탕하여) 입력하도록 하였고, 갱도위치에 대한 실측시기를 함께 입력하여 자료의 작성시기에 따른 신뢰성을 함께 분석할 수 있도록 하였다.

3.2 지하수위

지하수위의 갱신은 새로운 관측정의 설치 및 측정, 이미 설치된 관측정을 통한 연속(또는 주기적) 모니터링 등에 의해 필요하게 된다. 따라서 입력자료는 크게 행정관리적 정보, 공간위치정보, 속성정보(즉, 지하수위) 등으로 나눌 수 있다.

행정관리정보는 관리번호, 관찰자 ID 및 측정시기를 입력하도록 하여, 계절적 변동이나 Quality control에 적합한 행정정보를 포함하도록 하였다. 실제 국내 시추공을 통한 지하수위 관측자료는 건설관련, 농촌개발관련, 자원개발관련 등으로 다원화되어 있어 관찰자 ID를 통한 분류가 필요하다.

관측공의 공간위치는 좌표입력방식의 선정, 그에 따른 공 위치의 입력을 하도록 설계하였고, 관측공의 추가 정보를 쉽게 검색, 분석하도록 하기 위해 기존의 시추정보와 링크가 되도록 관련 시추공 ID를 입력하도록 하였다. 지하수위는 시추작업상의 과정에 상응시켜 표고 및 지하수위심도를 함께 입력하도록 하였다.

3.3 침하실측치

침하실측치는 지반침하 현상을 지표상에서(또는 지중) 계측기를 통해 측정한 값을 의미하는 것으로 국내에서는 일부 지역에서 조금씩 실측작업을 수행하고 있다. 국내 폐광지역에 대해서는 장기적인 계측자료가 체계적으로 관리될 필요성이 있으므로 본 항목을 DB로 관리하여 갱신하고 분석하는 작업이 필요하다.

침하실측치는 개별 갱도와 관련은 있으나 1:1로 대응시킬 수 없는 점이 있다.

특히 인접한 갱도의 침하로 인해 발생한 침하는 또다른 주변갱도에 의해서도 발생할 수 있으므로 관련 여부를 분석하는 경우 공간적 위치의 인접성 분석을 통한 방법이 가장 적합하다. 따라서 침하실측치는 행정관리적 정보, 공간위치적 정보로서 관리되어야 한다.

행정관리적 정보에는 관리번호, 관찰자 ID, 관찰시기 이외에도 관찰방법을 포함하고 있다(그림 2). 실측방식에는 육안추정과 같은 과거 단순관찰자료도 입력할 수

있도록 하여 정확성은 다소 떨어지나 기록의 존재유무상 중요한, 비정성적인(관찰시에 해당) 자료도 입력할 수 있도록 하였다. 단순측정은 줄자 등의 간단한 비정밀 정량화 자료에 대한 것이며, 정밀측량은 측량기기를 이용하여 입력한 것을 지정하고 있다. 최근 들어 활용되고 있는 DGPS(Differential GPS)의 입력도 포함하며 지중변위계로부터의 자료도 입력 가능토록 하였다. 따라서 측정기기에 따른 오차 분석도 가능할 수 있도록 설계하였다.

<그림 2>. 지반침하 실측치 자료 입력 화면.

공간위치정보는 좌표입력 방식의 선택에 따라 침하실측치의 측정 위치좌표를 입력하도록 하였다. 침하실측치 중에서는 하나의 갱도와 연관된 자료들도 있으나 또다른 갱도에 의한 영향도 있는 경우가 많으므로 개별 침하실측치를 별도 관리하도록 하였다.

3.4 침하균열군

침하현상이 발생하면 지표상의 지반이나 구조물에서 균열이 발생할 경우가 있다. 균열은 대개 균으로 발생하게 되며 갱도의 침하에 따른 피해도 분석이나 우선보강지역 선정 등의 자료로 활용될 수 있다. 앞서 다룬 3가지의 자료들은 침하 발생 자체와 관련된 것이지만 침하균열군의 경우 결과물로서 다루어지는 정보에 해당된다. 따라서 행정관리적 정보, 침하균열 이미지 정보, 공간위치적 정보, 개별균열 특성정보 등으로 나누어 관리한다.

행정관리적 정보에는 관리번호, 관찰자 ID를 통해 주관적인 판단이 많이 포함되는 관찰자를 관리할 수 있도록 하였다. 또한 관찰 균열에 대한 이미지를 첨부하여

보다 정확하게 관리하도록 하였다. 이 경우 이미지 자체의 관찰자를 별도로 구분하여 간혹 발생할 수 있는 균열 측정자와 이미지 관찰자가 상이한 경우에 대해서도 관리 가능하도록 하였다. 침하균열군 이미지 입력은 실측시기와 더불어 이미지 취득 방식을 입력토록 하여 관리적 측면을 고려하였다. 또한 이미지는 별도의 디렉토리를 통해 관리되도록 하였다.

균열의 공간위치 정보는 좌표입력 방식을 선정한 후 각 균열의 좌표와 관련 시추공 ID를 설정하도록 하였다. 균열에 대한 개별 정보는 관리번호, 균열길이, 균열 틈새, 실측시기를 입력토록 하여 침하 피해도의 분석을 위해 필요한 종합적인 정보를 포함하도록 하였다. 또한 시간 경과에 따른 침하양상도 파악할 수 있어 침하진행 속도 예측을 위한 기본 자료를 구축할 수 있도록 하였다.

4. 결론 및 제안

본 연구에서는 효율적인 지반침하 관리를 위한 DB구축을 위해 최근의 연구동향을 고려하여 갱도관리에 적합한 모형으로 Point, Line, Polygon 방식에 대해 장단점을 비교하였다. 이를 통해 얻은 결론은 다음과 같다.

(1) Point, Line, Polygon방식은 각각, Shaft관리, 갱도연속성 및 방향성 관리와 분석, 갱도크기에 따른 침하분석 등에 가장 적합한 구조를 지니고 있는 것으로 분석되었다.

(2) 장단점을 분석한 결과 Line방식을 기본으로 하여 대부분의 갱도를 입력함으로써 Connectivity, Orientation을 반영시키고, Line 입력시 shaft에 해당되는 부분을 반드시 Point로 지정하고, 갱도 폭의 변화가 있는 구간 Line에 대해서는 폭을 DB에 지정하는 복합방식을 택하는 것이 지반침하 관리에 적합한 것으로 분석되었다.

또한, 이상의 갱도 관리에 대한 연구결과를 바탕으로 하여, 정보의 갱신이 자주 요구되는 항목을 중점관리항목으로 설정하고 이를 관리할 수 있는 DB프로그램을 개발하였고 결론은 다음과 같이 요약된다.

(3) 지반침하 갱도관리 및 피해관리와 이에 따른 분석을 위해서는 갱도 위치, 지하수위, 침하실측치, 침하균열 등 4가지의 정보를 중점관리해야 한다. 지질, 토사 두께, 지형정보 등은 한 번 구축후 거의 갱신 없이 사용되는 정보이므로, 별도의 DB 관리 프로그램의 개발 필요성이 적다.

(4) 개발된 DB관리프로그램은 지반침하 실측자료의 과거 자료를 함께 활용하기 위해 관찰자 ID, 관찰시기, 실측방식, 실측자료(예: 균열이미지) 등을 구축할 수 있도록 하여 자료의 다양화 및 확보와 더불어 그에 따른 오차도 고려한 분석을 할 수

있도록 하였다.

(5) 지반침하 관리에서 갱도에 집중된 과거 사례에 비해 피해상황을 분석할 수 있도록 하기 위해 실측 균열에 대한 정보를 함께 다룰 수 있도록 설계하였다. 특히 개별 균열을 각 갱도에 대해 1:1로 대응시키지 않도록 하여 피해상황과 갱도분포에 대한 공간상관성 분석에 이용되도록 구성하였다. 또한 시간 경과에 따른 균열 진행 상황도 파악할 수 있어 침하진행 속도 분석, 침하지반 보강 우선 순위 분석 등의 기초 자료로 DB를 구축할 수 있도록 하였다.

(6) GIS를 이용한 지반침하 분석에 상응하도록 DB Export기능을 첨가하였다. 향후 국가 차원의 폐갱도 및 지반침하 자료들을 DB로 구축할 때 본 프로그램을 기본 형태로 보다 확장된 DB시스템을 구축할 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

1. 권광수, 박형동, 유명환, 2000, 지반침하 피해도 분석을 위한 GIS활용에 관한 연구, 대한자원환경지질학회지, 제33권, 제6호, p.557-563.
2. 권광수, 이준용, 박형동, 2001, 지표면의 조건을 고려한 지반침하 분석용 GIS, 대한자원환경지질학회지, (심사중).
3. Yang, G., 1996, Some aspects to GIS modeling of environmental problems caused by mining - With special reference to China, Mining science and technology, Balkema, pp.443-447.
4. Jiang, X., Lei, M. and Yu, L., 1994, The application of GIS to the evaluation of karst collapse, Proceedings 7th International IAEG Congress, Balkema, pp.4575-4579.