

GIS활용 3D 지하수 유동모델링을 위한 전처리기법¹⁾

김 만 규

공주대학교 인문사회과학대학 지리학과 조교수

1. 연구배경 및 목적

1) 연구배경

우리 나라 역시 각종 환경오염과 인구의 증가 등으로 지표수만을 이용한 수자원 공급이 한계에 도달하면서, 지하수의 필요성이 증대되고 있으며, 농업분야에서까지 지하수 이용량이 매년 증가추세에 있다²⁾. 이에 따라 지하수 개발이용계획을 체계적이고 합리적으로 수립할 수 있도록 도와주는 정보기술적 도구가 필요하다.

이에 따라, 세계적으로도 지하수관련 업무와 연구에 지리정보시스템(Geographical Information System: GIS)이 도입되는 추세이다. GIS는 실세계와 동일한 위상관계를 제공하고, 자료에 대한 다양한 분석 및 통계 기능을 제공함으로써, 각종 의사결정의 보조도구로써도 다양하게 활용되고 있는 도구이다. GIS가 지하수관련 업무와 연구에 도입됨에 따라, 지하수관련 자료를 데이터베이스화하여 각종 통계·분석 업무를 수행할 수 있으며, 인터넷 서비스(Web GIS)에 이르기까지 다양하게 정보화의 유용성을 확대시켜주고 있다.

한편, 지하수유동모델링(Groundwater finite element/difference flow modeling)을 통한 지하수 흐름 및 오염에 대한 모의실험 결과는, 지하수 개발과 관리에 있어서, 매우 중요한 의사결정요소이다. 국내에서의 GIS를 활용한 기존의 지하수관련 연구들은 지하수관련 자료에 대한 검색·관리에 대한 연구들은 많았으나, 지하수유동모델링과 관련한 연구는 찾아보기 어렵다.

그런데, 지하수유동모델링을 수행하는데 필요한 입력 데이터를 제작하기 위해서는 많은 시간과 노력을 들여야 하며, 그 수행방법 또한 쉽지 않기 때문에, 지하수업무 관련 연구자와 실무자들에게 업무처리와 연구에 있어서 많은 부담이 되고 있다. 이에 따라, 지하수유동모델링을 위한 자료들을 제작하는 전처리과정(Pre-processing)을 신속하고, 효율적으로 할 수 있는 GIS를 이용하는 연구·업무용 도구(tool) 개발의 필요성이 있어 왔다.

2) 연구목적과 사용 SW

본 연구는 지하수관련 GIS D/B 분석 및 GIS를 활용하는 응용업무프로그램 중 3차원 지하수유동모델링의 전처리과정(Pre-processing)을 과학적이고 합리적으로 수행하는 도구를 개발하기 위해 이루어졌다. 본 연구를 위하여 사용된 GIS 프로그램은 일반인이 사용하기 쉬운 데스크탑 환경의 ESRI사의 Arcview 3.2이며, 지하수유동모델링 프로그램

1) 본 연구는 농업기반공사 농어촌연구원 '지하수 GIS DB분석 프로그램 개발' 학술용역과제로서 수행되었다.

2) 건설교통부, <http://wamis.kowaco.or.kr>, 지하수지역별이용현황

은 실무에서 많이 사용하는 Visual ModFlow이다. 이들은, 본 연구성과의 원활한 보급과 이용을 위한 고려에서 선택된 것이다.

2. 연구개발 내용

다음 내용의 GIS를 활용한 응용프로그램 개발을 통해 지하수 개발관리 분야 현업 및 연구에 있어서, 복잡하고 때로는 비과학적이던 전처리과정(Pre-processing)을 과학적이고 효율적으로 진행할 수 있도록 하였다.

먼저, 지구물리탐사자료에서 수리지질 레이어 분류 및 연구지역 전체를 위해 이들 탐사자료 처리단면을 보간(Interpolation)하여 얻는 심도별 3D 수리지질구조구축 틀을 개발한다. 나아가서, GIS 그래픽사용자인터페이스(GUI)를 이용하는 '비정사각형 그리드모델' 구성기법을 개발하여, 모델규격내의 Cell 사이즈를 다양화 시킬 수 있도록 한다. 이것은 GIS DB 래스터자료의 셀 규격과 지하수유동모델링 소프트웨어 ModFlow의 유한차분모델(Finite difference model)의 셀 규격의 위치와 규격이 다름에서 발생하는, 지하수모의조작시의 오류를 최소화시키기 위함이다. 이는 지하수유동모델링에 있어서 중요한 문제지만, 지금까지 해결하지 않고 간과되어온 문제이다. 한편, 지형분석 및 지표수수문기후자료 처리를 위하여 GIS의 강력한 기능 중의 하나인 분석통계기능을 쉽게 이용하도록 한다. 끝으로, 이들 분석처리된 자료를 지하수유동모델링 소프트웨어인 ModFlow와 자동연계하는 기법을 개발하였다.

1) 지하수관련 지구물리탐사 자료의 GIS 분석 기법 개발

① GUI 방식의 물리탐사 자료 입력기법 개발

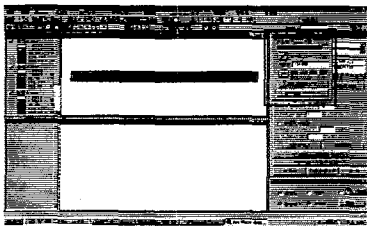


그림 1. 물리검층자료에 의한
종단면 생성 및 편집

지하수 관련 지구물리탐사(수리지질탐사) 자료를 그래픽 사용자 인터페이스(GUI)를 통해 GIS에 입력한다. 수리지질탐사자료는 사용자 정의에 의하여 재분류될 수 있도록 하였다. 그림1과 같이 탐사단면의 값을 전문가가 임의로 변경하여 수리지질구조별 단면을 만들에 있어서, 단순화를 시도할 수 있도록 하였다. 예를 들어, A단면과 B단면 사이에 C라는 단면의 값이 소규모로 존재하고 있을 경우 C의 값에 의해 하나의 단면을 생성하는 것이 더 나은지, A 또는 B의 단면 값으로 병합시키는 것이 더 나은 모델링을 할 수 있는지를 판단하여, 후자가 더 좋은 방법으로 판단될 경우, 값을 병합시킬 수 있는 기능이 제공된다. 탐사단면은 TM좌표 및 절대표고값을 가지며 이 자료는, 후에 심도별 수리지질 레이어를 구축하는데 사용된다. 지구물리탐사자료 뿐만 아니라, 지하수모델링에 필요한 관정정보를 입력하는 그래픽 사용자 프로그램(GUI)도 아울러 제공함으로써, 신설관정의 생성과 기설관정의 정보를 수정하는 과정을 쉽게 하였다.

② 심도별 탐사단면에서의 수리지질 레이어 분류기법 개발

지구물리탐사자료를 이용하여 탐사단면의 심도별 수리지질구조를 생성한다. 심도별 수리지질구조를 구축하기 위해 가장 먼저 필요한 것은 수리지질 경계면 별 심도값을 갖는 Point정보(X, Y, Z)이다. 이 Point정보는 앞에서의 종단면 분류에 의해 생성된 수리지질구조로부터 구한다. 종단면으로부터 얻어진 수리지질 경계면 Point레이어는 각 수리지질종류 별로 생성된다. 이 사례에서 종단면에서 5개로 수리지질구조 분류를 하였다면 수리지질별로 5개의 경계면 Point레이어를 생성할 수 있다. 이렇게 생성된 포인트 정보는 보간법을 통하여 수리지질 별 단면을 유추하는데 사용된다.

보간으로 얻은 수리지질 별 단면들은 하위레이어가 상위레이어 보다 어느 한 부위라도 높은 고도값을 가지면 지하수유동모델링 소프트웨어에서는 에러를 발생시킨다. 이러한 레이어의 충돌은 모델링 작업자를 매우 힘들게 하였던 문제로서 GIS를 이용한 전처리과정에서 이를 말끔하게 해소시켜 주고자, 최종적으로 수리지질층 구축단계에서 상하레이어를 서로 비교 분석하여 상위에 위치하는 그리드가 하위에 위치하는 그리드의 고도 값보다 낮을 경우 하위에 위치하는 그리드 셀의 고도 값보다 1cm 더 높은 값을 가지도록 수정되어 최종적으로 그림2와 같이 구축되어진다.

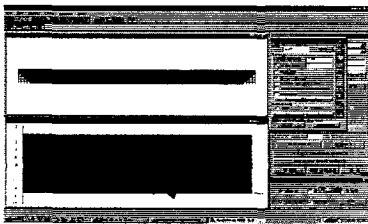


그림 2. Spline으로 최상위 단면이 보간된 모습

그림2를 얻어내는 보간법에는 여러 방법이 있다. 먼저 Ordinary Kriging의 Linear with still을 사용하여 보간을 하였을 경우는, 단면이 완만한 굴곡들로 생성되며 그림1에서 생성된 종단면과는 다르게 심도별 수리지질구조의 심도 왜곡율이 심하게 나타났다. IDW 방법을 사용하였을 경우에는 경계면이 부드러운 면으로 표현되었고, Spline의 Tension 옵션을 사용하였을 때는 그림3과 같이 날카롭게 나타났다. 왜곡율과 왜곡형태를 고려하였을 때 Spline의 Tension이 수리지질구조별 단면을 형성하는데 적당할 것으로 판단되어 본 연구에서는 Spline의 Tension을 사용하여 보간하는 방법을 채택하였다. 그렇다고 해서 이 보간법이 최적이라는 의미는 아니고 더 다양한 방법의 보간을 시행한 후, 측정자료와의 비교를 통하여, 어떤 보간법을 택할 것인가는 사용자가 결정할 문제이다.

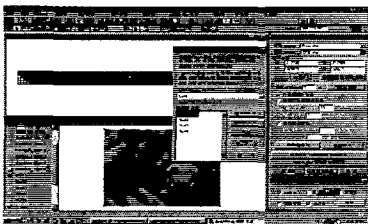


그림 3. 수리지질층 구축

이 자료는 고도 값을 가지고 있기 때문에 각 단면을 그림5와 같이 해수면에 수평한 2.5D 단면으로도 만들 수 있다. 그림4, 5는 모델링구역 내에서 대수층이 어느 위치에 어떻게 위치하는지를 시각적으로 유추할 수 있는 자료로 활용될 수 있다

③ 연구지역 전역의 수리지질단면도 구축기법 개발

그림4는 이상과 같은 방법으로 획득된 각 레이어의 경계면 자료의 cross section으로서 원하는 임의의 단면을 지오이드면에 수직한 2D 단면으로 획득한 것이다.

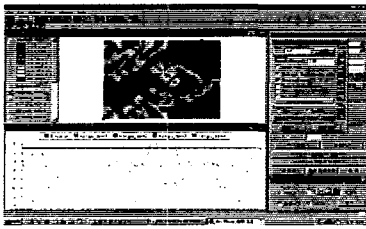


그림 4. 수리지질구조의
심도별 2D 단면



그림 5. 수리지질구조의 세 번째
심도의 2.5D 단면

2) 지표수수문 유역별(집수구역) 통계기법 개발



그림 6. 각 유역에 대한 통계자료

마우스 선택지점 상류의 집수구역에 관한, 강수량과 지하수함양률, 유출율 및 지하수 이용량 및 하계망 등의 분석을 한다. 이는 GIS의 지형수문분석 기능을 이용하여 임의의 지점에서 마우스로 지정된 상류의 유역을 계산해 내거나 전체 유역 내의 소유역 분류 등을 수행하고 유역별로의 지표·지하 수문기후 자료통계처리 및 지도화가 가능한 분석틀이다.

생성된 유역경계로부터 자동으로 얻어낼 수 있는 통계자료로는 유역면적, 유역둘레, 유역의 최소, 최대, 평균 경사도, 유역 최소, 최대, 평균고도, 유역고도 표준편차, 최장유로 길이, 하계밀도 등과 입력자료로서 강수량, 증발량, 하천유출량, 지하수 함양량 등이 있다(그림6).

3) Visual ModFlow와 연계 기법 개발

앞에서 소개한 여러 단위들(모듈)에서 얻어진 자료들을 ModFlow에 직접 입력될 수 있는 자료의 형태로 만듦으로써, ModFlow와 연계하였다. ModFlow는 특히 우리나라에서 지하수모델링 실무에 있어서 널리 사용하는 프로그램이다. 본 연구에서 ModFlow와의 연계기법을 개발한 이유는, 본 연구성과를 널리 보급하기 위함이지, 이 프로그램의 성능 내지 수리학적 모델의 안정성이 타 프로그램에 비하여 좋기 때문은 아니다. 한편, ModFlow에서 배경으로 사용할 수 있는 격자범위 크기의 NGIS 수치지형도의 데이터 품인 Dxf포맷의 이미지 생성 틀을 만들었다.

ModFlow에서 배경이미지로 Dxf를 사용하는 경우 연구지역은 소규모일지라도 연구지역 이외의 지역이 Dxf에 정보를 가지고 있기 때문에 데이터의 크기가 불필요하게 커진다. 이 번 연구에서는 모델링이 수행되는 지역만을 포함하는 Dxf를 만들어 주는 틀을 개발함으로써, 이러한 문제 거리도 더불어 해결하였다. 나아가서 앞에서도 언급하였듯이, 다양한 격자 크기로 생성된 격자의 위상과 속성자료를 Ascii 형태로 Export 함으로써 ModFlow에서 활용할 수 있도록 하였다. 관정에 대한 자료 역시 Ascii 형태로 Export하도록 하여, ModFlow에서 활용될 수 있도록 하였다. 이렇게 변환되어 자동 입력되는 자료를 처리하여 그림9와 같은 수리지질구조의 단면이 ModFlow에서 생성된다.

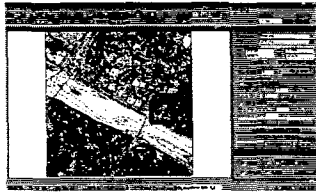


그림 7. 모델구역 크기의
Dxf 지도생성

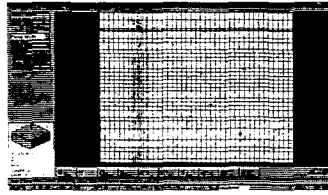


그림 8. ModFlow에서 그려진
격자와 관정

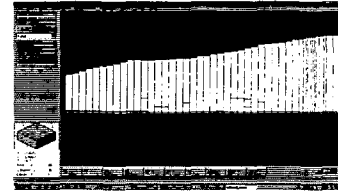


그림 9. ModFlow에서
그려진 수리지질단면

3. 맺음말과 향후연구계획

본 연구의 결과, 탐사된 심도별 수리지질구조의 2D, 2.5D 단면을 GIS 환경에서 구축하는 방법과 틀이 제공됨으로써, 모델구역을 시각적으로 제공함은 물론, 지하수모델링에 있어서 탐사속성자료와 모델속성자료의 좌표가 일치되는 모델링을 수행할 수 있게 되었다. 사실, 우리 나라의 지하수 연구에서는, GIS를 이용하여 수리지질 물리탐사자료의 위상관계가 과학적으로 처리된 3D 지하수층(수리지질) 유한차분(격자) 모델(3D aquifer finite difference model)의 구성은 찾아보기 어렵다.

그림 8에서 보듯이 지하수유동모델링 시에는 관정주변에 상대적으로 조밀한 그리드를 형성해 주는 것이 원칙이다. 본 연구에서 개발한 셀 다양화 기법은, 그간 ModFlow내에서 셀 다양화를 시키기 위해 연구자들이 많은 시간을 투자하였던 것을 빠른 시간 안에 처리할 수 있게 하였다. 아울러, GIS 그리드 자료와 지하수 모의조작용 그리드 자료의 위상적 일치, 본 연구 이전에는 어려웠던 일이다. 본 연구의 성과물은 지하수자원과 관련된 각종 속성자료를 GIS DBMS(Data base management system; 예: 농업기반공사 경영정보실 농어촌지형정보체계(RGIS) DBMS-Oracle)를 통해서 활용하는 연구추세에 비추어, 보다 정확한 지하수모델링을 위한 유용한 틀로서 평가될 것이다. 모델구역 크기의 Dxf지도를 생성하는 것 또한 연구업무처리를 빠르게 도와 줄 것이다. 그리고, GIS에 내장된 분석통계기법을 이용한 지표수 수문기후분석처리는 업무자동화에 많은 편익을 가져다 줄 것이다.

한편, 이렇게 생성된 자료들은 기존의 방식을 통해 생성된 모델링 파일들과는 다르게, 서로 다른 GIS 소프트웨어에서 불러들일 수 있는 파일형태인 shp 또는 아스키 형태로 저장됨에 따라, 같은 지역을 대상으로 하는 다른 프로젝트에서 다양하게 활용되어질 수 있다.

본 연구의 단점은 3D 수리지질구조를 형성함에 있어서 탐사자료 수리지질경계면의 자료만으로 보간하여 2.5D 수리지질층을 구분해 낸다는 것이다. 이는 불합리할 수도 있다고 판단하지만, 우리 나라에서는 대부분 그런 식으로 모델링을 수행하여 온 것 같다. 새 버전 개발 시에는 이러한 레이어 구분 없이, 직접 수직 2D 탐사자료의 각 셀과 셀 값으로 보간하는 3D uncert analysis 기법도 채택해 보고자 한다.

본 연구에서 개발된 틀은 향후 모델구역내의 각종 경계를 더 빠르게 분류하는 계산 속도상의 기능적 개선이 필요하다. 아울러, 모델링결과를 이용하여 지하수보존구역을 설

정하는 기능 등 후처리(Post-processing)과정 도구도 개발하고자 한다. 나아가서, 필자가 역시 연구책임자로서 개발하고 있는, 지하수사업기초설계지원 지리정보시스템(농업기반공사 농어촌연구원 물관리연구실 주관)과의 통합이 이루어질 것이며, 지하수자료은행에 접속하는 3-tier 구조의 inter/intranet 활용 서버-클라이언트 시스템(Oracle-SDE-ArcView)적 환경에서 운용되는 도구로서 발전될 것이다. 아울러 충북 초정·미원 지구 등 지하수 관련 속성자료가 많은 지역을 대상으로 시범 적용함으로써 시스템의 사용자편의성을 보완하여 나갈 것이다.

참 고 문 헌

1. 한정상, 한찬 공저, 1999, 3차원 지하수모델과 응용, pp.181~358.
2. 건설교통부·한국수자원공사, 1997, 지하수정보관리시스템 보고서(제1편), pp.3.
3. 김채승, 윤찬진 편저, 1999, 지리정보체계, pp.405~628, pp.148~155.
4. Waterloo hydrogeologic, 1993, USER'S MANUAL for Visual MODFLOW, pp.255~274.
5. Waterloo hydrogeologic, 1993, MODFLOW Packages.
6. 건설교통부, <http://wamis.kowaco.or.kr>, 지하수 지역별 이용현황