

Visual MODFLOW 지하수 유동 모델링을 위한 GIS 기반 전·후처리기 개발 *

김만규^{1*}

Development of the GIS Based Pre- and Post-Processing Tool for the Visual MODFLOW Groundwater Flow Modeling

Man-Kyu KIM^{1*}

요 약

본 연구에서는 지리정보시스템(GIS)을 사용하여 Visual MODFLOW 지하수 유동 모델링 툴에 필요한 입력 인자(자료)를 과학적으로 만들어줄 뿐만 아니라, 모델링을 위해 입력된 인자들과 모델링 후 생성된 결과물들을 DB화하고 이를 체계적으로 관리할 수 있도록 하는 Visual MODFLOW 지하수 유동 모델링을 위한 GIS 기반 전·후처리기를 개발하였다. 이 전·후처리기의 모듈로서 가장 특징적인 것은 모델구역 내에서 관정 주변에 상대적으로 조밀하게 즉, 셀의 크기가 다양한 그리드를 GIS ArcView에서 자동 또는 반자동으로 형성하는 툴을 개발하였다는 것이다. 모델링 구역 내에서 다양한 경계조건(boundary condition)을 반영한 DXF 생성을 위한 툴 개발도 들 수 있다. 아울러 2차원인 ArcView를 이용하여 3차원 수리지질구조를 생성하고, MODFLOW 프로그램의 입출력 자료형태와 동일한 위상구조를 유지한 채 전·후처리하도록 한 것은 이 연구의 가장 큰 성과이다.

주요어: 지하수 유동모델링, GIS 기반 전·후처리기, Visual MODFLOW

ABSTRACT

In this study GIS based pre- and post-processing tool for the Visual MODFLOW that is specific software to model groundwater flow is developed. This tool not only makes input data scientifically

2003년 4월 22일 접수 Received on April 22, 2003 / 2003년 6월 20일 심사완료 Accepted on June 20, 2003

* 이 연구는 한국과학기술평가원(KISTEP)의 국가지정연구실 사업의 지원을 받아 수행되었음(#m1020300000702 j0000005109).

1 과학기술부 국가지정 공주대학교 지리학과 유해조류대발생 예방연구실 National Research Laboratory for the Harmful Algal Blooming Control, Dept. of Geography, Kongju National University

* 연락처자 E-mail: aquasia@kongju.ac.kr

but also manages input and output data in terms of the groundwater flow analysis. In addition it can storage project products systematically into Oracle database. The most characteristic figure of this processing tool is to provide the module, which automatically or semi automatically develops various grid cell sizes using GIS ArcView and also produces DXF files reflecting various boundary conditions in the modeling zone. In particular, eminences of this research are to create 3 dimensional hydrogeological structures with 2 dimensional GIS ArcView and to conduct pre- and post- processing along with same topology and data format of the MODFLOW.

KEYWORDS: Groundwater Flow Modeling, Visual MODFLOW, GIS Based Pre- and Post-Processing Tool

서 론

우리 나라에서는 댐과 하천수를 이용하는 지표수자원 개발이 점점 어려워져 가기 때문에 지하수는 수자원으로써 그 중요성이 상대적으로 높아지고 있다. 이 지하수는 눈에 보이지 않는 지하에 존재하고 있기 때문에, 관리가 어려울 뿐만 아니라, 오염이 되었을 경우 정화를 위해서는 지표수의 경우보다 수배의 노력과 비용이 필요하다. 또한 지하수의 무분별한 개발은 지반침하와 주변 기설 관정의 지하수 자원을 고갈시키는 등의 문제도 일으킬 수 있다. 따라서, 지하수자원의 최적개발과 오염원 관리는 매우 중요하다.

그런데, 지하수의 유동과 오염물질의 거동을 조사하기 위해서는 추적제(tracer)를 이용한 관측실험, 양수시험 그리고 지하수층의 모양과 속성을 파악하기 위한 지구물리탐사 등이 필요하며, 이러한 조사에서 얻은 자료를 바탕으로 다양한 시나리오를 사용하는 컴퓨터 모사기법이 지하수 유동해석을 위해 많이 이용되고 있다. 국내에서 이러한 지하수 모델링을 위해 사용되는 대표적인 프로그램으로는 Boss International의 GMS (<http://www.bossintl.co.uk/html/gms.html>), Waterloo Hydrogeologic의 Visual MODFLOW(<http://www.groundwater/html/waterloo-training.html>) 등이 있다. 하지만, 이러한 프로그램에 들어갈 각종 인자들, 특히 모델링 지역의 수리지질층을 구축하

는데 상당한 시간과 노력을 들여야하며, 그 수행방법 또한 쉽지 않기 때문에, 지하수 업무 관련 실무자들에게 많은 부담이 되고 있다. 아울러, 모델링 프로그램 자체는 모델링을 위해 입력한 자료와 모델링 결과 생성된 방대한 자료들을 체계적 및 진사적으로 관리하고, 이용자가 검색할 수 없다는 어려움이 연구와 업무 영역에서 늘 제기되고 있다.

이러한 이유로 본 연구는 지리정보시스템(GIS)을 사용하여 지하수유동모델링 시스템에 들어갈 입력인자를 빠르고 쉽게 만들어줄 뿐만 아니라, 다양한 정보를 사용하여 기존에 비 과학적으로 생성되던 인자들을 과학적으로 생성할 수 있는 시스템을 만들고자 한다. 또한, 본 개발 시스템은 GIS 기반의 3차원 지하수 유동모델링을 위해 입력된 인자들과 모델링 후 생성된 결과물들을 데이터베이스(db)화하고 이를 체계적으로 관리할 수 있도록 하는 전·후처리기를 개발하고자 한다. 대상 소프트웨어는 상기 프로그램 중 Visual MODFLOW이다.

국·내외 연구동향

지하수 유동모델링과 지하수관련 자료의 관리를 위한 GIS 활용에 관한 연구는 국·내외에서 활발히 수행되고 있다. 지하수 유동모델링과 관련되어 GIS를 이용한 연구로는 박은규(1999)가 지하수 유동 수치모델을 사용하여

모델링을 한 후 GIS를 사용하여 모델링 결과물을 디스플레이하고 검색하는 시스템을 개발하였고, 건교부(2000)에서 지하수의 채수량 분석과 지하수의 관리시스템 개발을 위해 GIS를 활용하였다. 김영석(1999)은 LTHIA GIS를 이용하여 NASA KSC(Kennedy Space Center)와 IRLB(Idian River Lagoon Basin)지역의 장기수문을 예측하였고, 류성렬(2001)은 지하수의 오염위험성을 평가하기 위해 GIS를 사용하였다.

GIS를 활용한 지하수관련 자료의 관리를 위한 연구로는 김정욱(2001)이 지하수관리시스템 구축을 위한 전산모형과 지리정보시스템의 통합에 대해 연구하였으며, 이주승(2000)의 인터넷 GIS를 이용한 농업수리시설물 관리를 위한 정보시스템을 개발연구, S.Gupta(1996)의 지하수관련 데이터를 GIS를 사용해 통합하여 종합적으로 관리하고, 수문분석에 활용하는 연구가 있었다. 서울시정개발연구원(2001)에서는 지하수 관정관리를 위한 시스템을 개발하였다.

한편, 독일에서는 Szymanski와 Schoeniger(1996)가 엔트로피 최소화법을 이용한 지하대수층 3차원 구축 소프트웨어를 개발한 후 이를 이용한 많은 연구가 발표(Schoeniger와 Szymanski, 1996; Schoeniger 등, 1996)되고 있으며, 아울러 Schoeniger 등(2002)은 지하수 유동모의 프로그램인 Visual MODFLOW를 위한 CAD 기반 수리지질 전처리기인 UNCERT (Department of Geology and Geological Engineering, Colorado School of Mines에서 개발)의 결과물을 GIS Arc/Info로 이식하는 GIS 기반 전처리기 미들웨어를 개발하고 지하수 연구에 사용하였다.

본 연구는 특히 다음의 두 가지 측면에서 이와 같은 기존의 연구에서 진전된 내용을 개발하고자 노력한 것이다. 먼저, 기존의 연구에서는 지구물리탐사 자료와 시추조사 자료, 물리검층 자료 등을 종합적으로 활용하여 수리지질층을 구축하는 시스템을 개발한 사례가

없었다는 점이다. 이에 지구물리탐사자료가 지리좌표계에서 위치정보를 갖는 GIS자료가 되도록 만드는 자동변환기 모듈을 개발하여 시추조사 자료, 물리검층 자료 등과 함께 복합적으로 모델링지역의 수리지질층을 구축할 수 있는 시스템을 개발하였다. 둘째, 기존의 모델링 프로그램들에서는 자료의 생성에서부터 저장, 관리까지의 일련의 과정을 종합적 관리할 수 있는 시스템이 없었다. 따라서 모델링에 사용되는 자료를 GIS에서 DB에 저장되어 있는 데이터를 호출하거나, 전처리를 통해 GIS자료 및 MODFLOW용 자료포맷으로 생성하고, 후처리로서 모델링 결과를 GIS DB에 저장할 수 있는 시스템을 개발하였다.

연구방법 및 범위

본 연구에서 개발한 시스템은 GIS s/w로 ArcView 3.2를 사용하면서, 지하수 유동 모델링을 수행할 때 사용할 입력자료들을 생성(전처리)하고, 이를 사용하여 지하수 유동 모델링 프로그램에서 지하수 모의 분석을 수행한 후, 지하수 유동 모델링 프로그램의 분석결과 생성된 자료들은 다시 GIS s/w에서 디스플레이 되고, DB에 저장되어 관리(후처리)되도록 하였다. 본 시스템을 개발함에 있어서 사용된 프로그램은 다음과 같다(그림 1).

지하수 유동 모델링 프로그램은 국내 실무에서 많이 사용하고 있는 Visual MODFLOW를 사용하였다. MODFLOW는 미국 USGS (U.S. Geological Survey)에서 개발한 것으로, 국내에서 지하수 유동 모델링을 위해 가장 많이 사용되는 모형이다. 처음 MODFLOW가 개발되었을 때에는 Fortran으로 작성되어 DOS 환경에서 동작되었기 때문에, 사용하는데 많은 어려움이 있었다. 이러한 이유 때문에 MODFLOW의 gui(graphic user interface) 기능을 강화한 프로그램들이 개발되었는데, Visual MODFLOW는 Boss GMS와 더불어 MODFLOW를 본 모

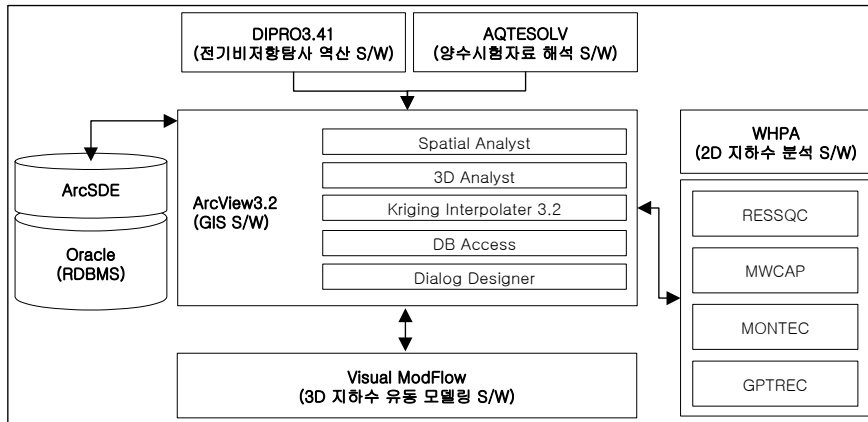


FIGURE 1. 시스템의 S/W 구성

델로 채택한 대표적인 프로그램이다.

GIS 프로그램은 ArcView 3.2(ESRI Press, 1998)를 사용하였으며, 개발언어로는 ArcView 3.2 스크립트를 사용하였다. ArcView 3.2는 데스크탑 환경의 GIS s/w로서 사용하기 쉬운 뿐만 아니라, 기본적으로 제공되는 기능 외에 각종 확장기능의 프로그램(extension)을 추가하여 데스크탑 환경에서 다양한 GIS 분석기능을 사용할 수 있는 s/w이다. 본 연구에서는 ArcView와 Spatial Analyst, 3D Analyst, DB Access, Dialog Designer 등의 확장기능의 프

로그램을 사용하였다. 관계형 데이터베이스관리 체계(RDBMS)로는 널리 사용되고 있는 미국 Oracle사의 Oracle을 사용하였으며, 공간데이터베이스 엔진인 ESRI사의 ArcSDE 8.0.1 (한국 ESRI 교육센터, 2003)을 사용하여 GIS s/w와 RDBMS와의 사이에서 공간 및 속성데이터를 저장, 공간 검색 및 프로세스를 빠르고 쉽게 할 수 있도록 하였다.

운영체제는 Windows NT 4.0을 기반으로 개발되었으며, 각 지사에서 본 연구의 결과물을 쉽게 설치하여 사용할 수 있도록 Windows

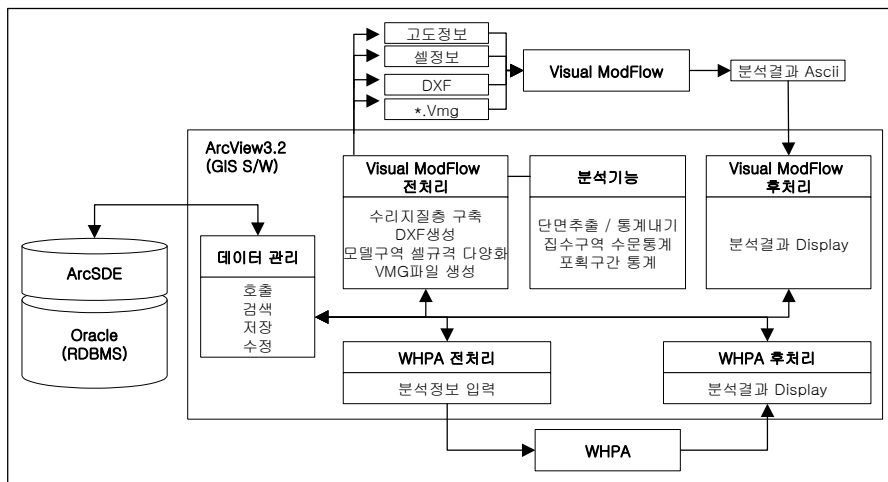


FIGURE 2. 시스템의 기능별 구분

98/2000과도 호환되도록 하였다.

본 연구는 GIS를 이용하여 기존의 지하수 유동 모델링 프로그램들에 필요한 자료를 생성시키고 연동되는 시스템을 개발하는데 중점을 두고 있다. 지하수 유동 모델링에 필요한 자료를 생성하고 프로세싱 결과물을 데이터베이스에 저장 관리하는 전·후처리기 개발이 목적이며, 지하수 유동 모델링 프로그램을 개발하는 것은 아니다. 아울러 본 연구에서 사용되는 지구물리탐사 자료 등의 해석방법에 대한 내용은 본 연구에서는 다루지 않았다.

이러한 연구내용을 시스템의 기능별로 구분하여 살펴보면 다음과 같다(그림 2).

1) Visual MODFLOW 전처리 과정

- 물리탐사자료를 GIS에서 종합분석하여 수리지질층을 구축하고, 시추자료와 비교
- 모델링 구역내에서 관정주변의 셀규격을 자동으로 조밀하게 그리는 기능
- 모델링 구역 크기의 DXF 및 다양한 경계를 반영한 DXF를 생성하는 기능
- 심도별 수리지질층의 고도정보를 Visual MODFLOW용 format으로 변환
- DB화 되어있는 관련정보를 Visual MODFLOW용 format으로 변환
- 레이어별 경계조건 및 고도정보를 가지고 있는 Visual MODFLOW용 vmg 파일 생성

2) Visual MODFLOW 후처리 과정

- 등수위선도, 오염원 확산도 등 Visual MODFLOW를 통해 분석된 결과를 GIS에서 디스플레이

3) DataBase 관리

- DB의 관정정보, 오염원정보, 포획구간 등 MODFLOW의 산출물 자료 및 전처리 및 후처리 산출물인 수리지질자료를 호출·검색·저장·수정하는 도구 개발

4) 기타 분석기능

- 구축된 심도별 수리지질층 사이의 단면적 및 체적을 구할 수 있는 기능
- 고도데이터를 이용하여 추출한 집수구역 수문통계기능
- WHPA 결과물(포획구간) 통계기능

시스템의 메뉴구성

본 연구의 시스템은 ArcView를 기반으로 하기 때문에, 메뉴구성 역시 ArcView의 기본 메뉴성에 추가하는 형식으로 구성되어 있다.

본 연구의 시스템메뉴는 'File', 'Edit', 'View', 'Theme', 'Analysis', 'Surface', 'Data_Manage', 'Map_Background', 'MODFLOW_Module', 'Tools', 'DataConnect', 'Program', 'Basin', 'Graphic', 'Windows,' 'Help'의 총16개의 풀다운 메뉴로 구성되어 있다(그림 3). 본 연구의 시스템은 ArcView 3.2 scripts를 사용하여 개발된 결과, 프로그램의 메뉴구성은 ArcView 3.2의 메뉴구성을 수용하고, 여기에 더하여서 본 연구의 목적을 위하여 새로운 메뉴를 추가하는 형식으로 개발되었다. 그림 3의 box로 선택되어 있는 부분이 새롭게 추가된 기능들이다.

Data_Manage의 하위 메뉴에는 DB로부터 신설관정·기설관정·오염원 주제도를 호출하고 새로운 주제도를 DB에 올리는 등의 메뉴들이 있다. Map_Background의 하위메뉴에는 지형도·지질도·토양도 창에서 선택한 인텍스에 따른 도면들을 DB로부터 호출하고, 불러온 도면들을 삭제하는 메뉴가 있다. MODFLOW_Module의 하위메뉴에는 모델링 구역의 DXF를 생성하거나, 전기비저항탐사 자료 등을 불러와 심도별 수리지질층을 구축하고, 구축한 수리지질층을 보정·수정하며, 모델링 구역의 격자망을 생성하는 기능, 생성된 자료들을 MODFLOW format의 파일로 변환하고, MODFLOW의 모델링 결과물을 shape

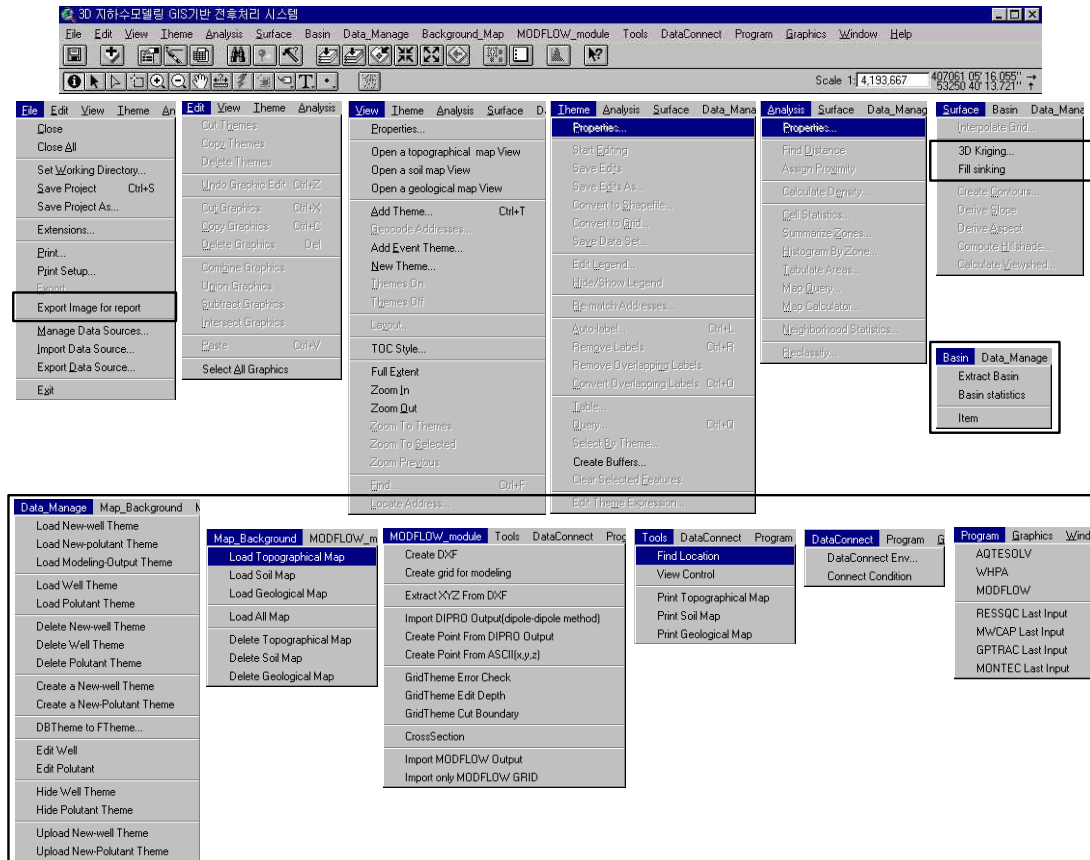


FIGURE 3. 시스템의 메뉴구성 (□ 추가기능)

또는 grid파일로 변환하는 메뉴들이 있다. tools의 하위메뉴에는 위치검색을 검색하거나, 자동으로 도면을 생성하는 메뉴들이 있으며, DataConnect의 하위메뉴에는 본 시스템이 DB가 구축되어 있는 server와 연결되는 환경을 설정하거나, 현재 연결되어 있는 상태를 확인할 수 있는 메뉴가 포함되어 있다. program의 하위메뉴에는 본 시스템과 연동되고 있는 프로그램들을 바로 실행시킬 수 있는 메뉴가 있다.

한편, 그림 3에서 ArcView 3.2의 기본 메뉴를 사용자가 사용하기 편리하도록 개선하기도 하였다. 예를 들어, ArcView 3.2의 화면 확대·축소·주제도 불러오기 등의 기본적인 기

능에 대해서도 여러 개의 창을 동시에 동일한 범위로 확대·축소·이동할 수 있는 기능으로 개선하고, 여러 개의 창에 동일한 주제도를 추가하고 제거할 수 있는 기능을 추가하여 사용자의 편의성을 증대시키려고 노력하였다.

연구개발 내용

1) Visual MODFLOW 전처리 과정

① 지구물리탐사 자료와 시추자료 이용 GIS 용 수리지질층 구축

수리지질층을 구축하기 위해 지하수 개발 및 지반조사에서 일반적으로 사용되고 있는 지구물리탐사 기법 중의 하나인 전기비저항탐

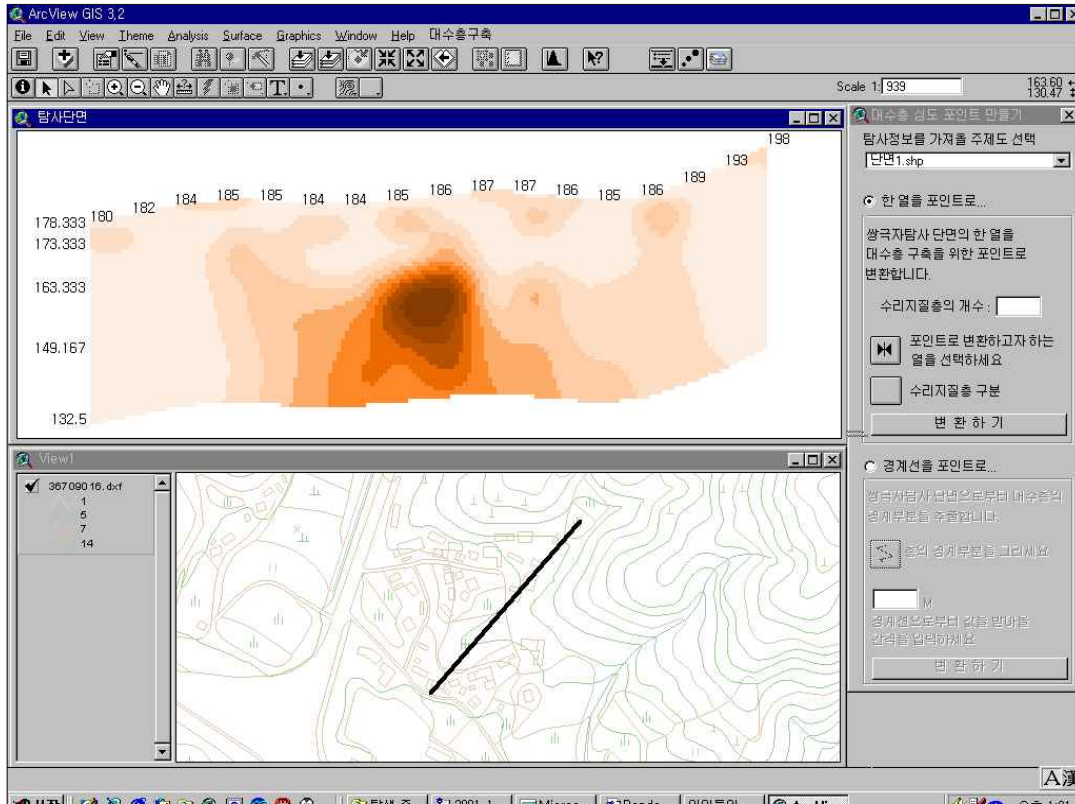


FIGURE 4. 비저항탐사 단면생성

사 자료와 시추자료를 비교 분석하여 얻어지는 심도 포인트 자료를 사용하였다.

시추자료를 통해 모델링 지역의 지질특성을 파악한 후 전기비저항탐사를 실시하는 전기비저항탐사 자료는 DIPRO 3.41 s/w에서 역산법(inversion method)으로 계산하여 전기비저항 분포를 계산한다. 이 전기비저항 분포값과 전기비저항탐사 지점의 고도값은 각각 전처리기에서 읽어들이지는 포맷의 ASCII 파일로 저장된다.

전기비저항탐사 단면을 본 연구의 시스템으로 불러오기 위해 ‘전기비저항탐사 정보 호출’ 대화창에서 탐사측선의 총 길이를 입력한 후 ‘화면에서 입력’을 사용하여 지형도 창에서 탐사측선의 위치를 선택하거나, ‘좌표직접입력’

을 사용하여 탐사측선의 시작점과 끝점에 대한 TM좌표를 입력한다. 그런 후 확인 버튼을 누르면 위에서 생성한 두 개의 ASCII 파일을 선택하게 되는데, 이 두 파일을 사용하여 전기비저항탐사 단면을 생성하게 된다(그림 4).

이상의 과정을 통해 그려진 종단면으로부터 시추자료와 비교하면서 수리지질층이 있을 것으로 예상되는 지점에 대해 두 가지의 방법으로 수리지질층 심도포인트 자료를 생성하도록 수리지질층을 구현하였다. 첫 번째 방법은 지표로부터 한 지점에 대한 수직적인 심도별 수리지질층의 포인트 자료를 생성할 수 있으며(그림 5), 두 번째는 하나의 수리지질층에 대한 수평적 시각에서 바라보는 심도를 포인트 자료로 생성할 수 있다(그림 6). 여기서 심

도란 수학적인 수평면의 개념이 아니며, 지층을 측면에서 관측 할 때의 모습을 표현 한 것을 의미한다.

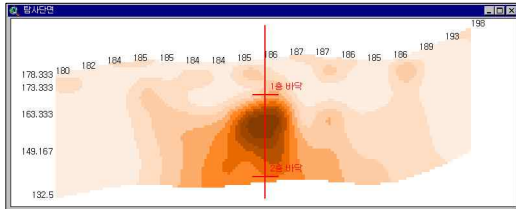


FIGURE 5. 수리지질층의 수직적 구분

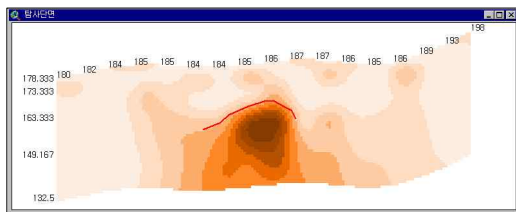


FIGURE 6. 수리지질층의 수평적 구분

이는 본 연구가 2차원 GIS인 ArcView를 사용하여 3차원 구조를 구현하기 위한 것이다. 따라서, 서로 다른 방향으로 생성된 포인트 정보는 위치속성이 다르기 때문에 동일한 주제도에서 표현될 수는 없다. 표 1은 수직구분으로 2개의 수리지질층을 구분하여 생성한 포인트 속성과 수평구분으로 생성한 포인트의 속성을 비교한 것이다.

전기비저항탐사 단면으로부터 생성된 포인트자료에 공내물리검층, 전기수직탐사 속성자료(X, Y, Z 포맷) 처리를 위하여 ASCII 파일

로부터 심도자료를 추가로 불러와 포인트자료를 구축할 수 있는 기능도 개발하였다.

각각의 방법으로 생성된 포인트 정보를 보간하여 심도별 수리지질층을 유추하게 된다. 보간방법으로는 ArcView 3.2의 Spatial Analyst Extension에서 제공하는 IDW, Spline 그리고 Kriging Interpolator 3.2 Extension의 Kriging 중 하나를 사용할 수 있도록 하였다.

이 과정에서 특기할 사항은 다음 문제이다. 이러한 보간으로 얻은 심도별 수리지질 레이어는 점(point) 정보를 가지고 면(surface)을 구성하는 보간(interpolation)의 특성으로 인하여 하위 레이어가 상위 레이어 보다 높은 고도 값을 갖는 지점이 빈번히 여러 곳에서 발생된 다는 것이다. 보간 후 이러한 지점이 한 곳이라도 있으면 지하수 유동모델링 프로그램은 에러를 발생하면서 모델링 프로그램을 진행시킬 수 없다. 이는 MODFLOW에 입력되면서 지하수 유동모델링에 이용되는 유한차분(finite difference) 격자망이 상하 서로 겹치는 현상을 유발하면서, 특정 단일 유한차분 공간이 두 개 이상의 레이어에 중복되어 MODFLOW의 격자공간으로 설계되기 때문이다.

이러한 레이어의 충돌은 실제 모델링할 때, 어느 유한차분에서 충돌이 일어나는지 조차 파악하기 어려우며, 모델링 수행자가 임의적으로 격자망 조작을 통해 문제를 처리하게끔 했던 난제이었다. 본 연구에서는 GIS를 이용한 전처리과정에서 이 문제를 말끔히 해소시켜주고자, 수리지질층 구축단계에서 보간되어 구성

TABLE 1. 수직·수평구분으로 생성한 포인트의 속성 비교

수직구분 생성 포인트 속성		수평구분 생성 포인트 속성	
필드	설명	필드	설명
X	X좌표	X	X좌표
Y	Y좌표	Y	Y좌표
Elevation	표고(해발기준)	Elevation	심도(지표면고도기준)
Layer1Bot	1층 바닥 심도		
Layer2Bot	2층 바닥 심도		

된 상·하레이어를 서로 분석하여 하위에 위치하는 그리드가 상위에 위치하는 그리드의 고도값보다 높을 경우, 하위 그리드의 고도 속성값을 상위에 위치하는 그리드의 고도속성값보다 1 cm 더 낮은 값을 가지도록 수정되어 구축되어지도록 하였다. 이 과정을 거친 후, 구축되어진 심도별 수리지질층은 연구지역 시추자료의 지하수위와 비교하여, 각 수리지질층별 정밀성을 검토할 수 있도록 시스템에 고도값 편집 창을 만들었다. 이 때에도 과학적이고 합리적인 판단기준이 있다면 일부분에 대한 수리지질층의 심도를 수정할 수 있도록 하였다(그림 7).

② 모델링 구역내에서 관정주변의 셀규격을 자동으로 조밀하게 그리는 기능

앞서 구축된 심도별 수리지질층의 정보가 본 연구에서 지하수 유동 모델링 프로그램으로 사용한 Visual MODFLOW에서 사용되기 위해서, 모델구역내의 셀(cell) 규격은 수치 모델링시 관정주위 등에서 다양하게 구축되어야 한다. 격자 셀(cell) 규격의 다양화는 유한차분 모델링에서 매우 중요한 요소이다.

지금까지 셀(cell) 규격의 다양화를 위해 MODFLOW 이용하는 연구자들은 많은 시간과 노력을 들여야만했다. 때로는 격자 규격이 각각 다른 GIS 그리드를 MODFLOW의 그리드로 대입하기 위하여 원 수리지질구조모형의 모습이 변형되기도 하였다. 이 문제를 해결하기 위해 GIS에서 shape 파일로 원하는 격자 크기를 다양하게 그린 후, 각 격자에 해당하는 그리드의 값을 얻어내도록 하였는데, 생성된 격자로부터 격자의 X좌표, Y좌표 값을 ASCII 형태의 파일을 생성 저장하도록 하였다. 또한 셀규격의 정보를 shape 파일(김채승과 윤찬진, 2000)로 저장하여, GIS에서 관리되도록 하였다. 각각 생성된 격자의 좌표정보 ASCII 파일은 Visual MODFLOW에서 호출할 수 있도록 기록되어 진다(그림 8).

③ 대수층의 고도정보를 Visual MODFLOW format으로 변환

격자가 구성되면, 격자의 위치정보와 함께 각 수리지질층의 속성정보들 역시 Visual MODFLOW에서 import할 수 있도록 하여야 하며, 각 수리지질층별로 격자의 X, Y좌표와

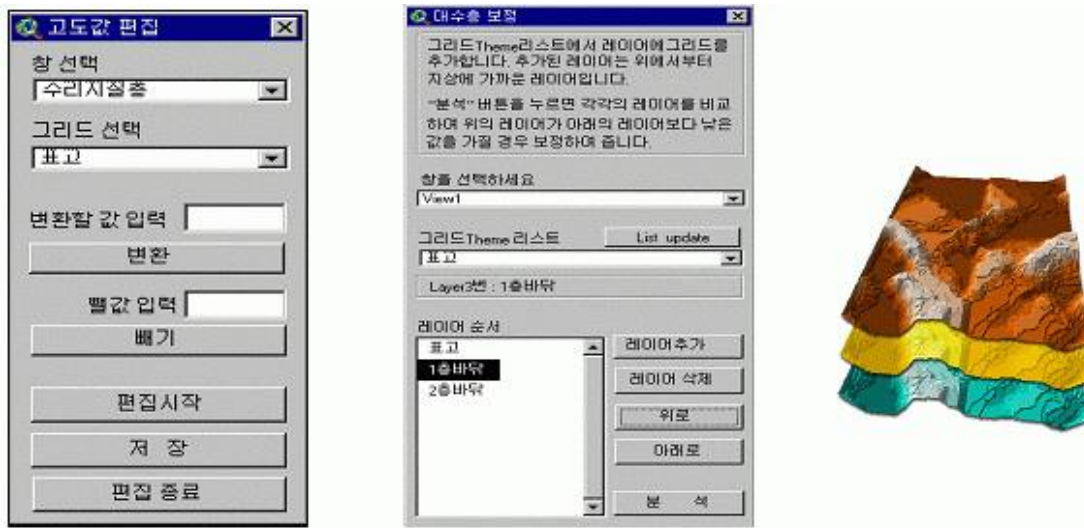


FIGURE 7. 고도값, 대수층 편집창과 심도별 수리지질층 구축 예

수리지질 층별 고도정보를 가진 X, Y, Z의 포맷으로 생성된 수리지질층별 ASCII 파일은 Visual MODFLOW에서 import할 수 있도록 설계 기록되어 진다(그림 9).

④ 모델링 구역 크기의 dxf 및 다양한 경계

를 반영한 dxf를 생성하는 기능
 Visual MODFLOW에서 배경이미지로 사용할 수 있는 파일포맷은 bmp와 dxf이다. bmp 포맷의 파일의 경우 좌표가 없는 이미지파일이기 때문에 좌표를 등록해야하는 어려움이

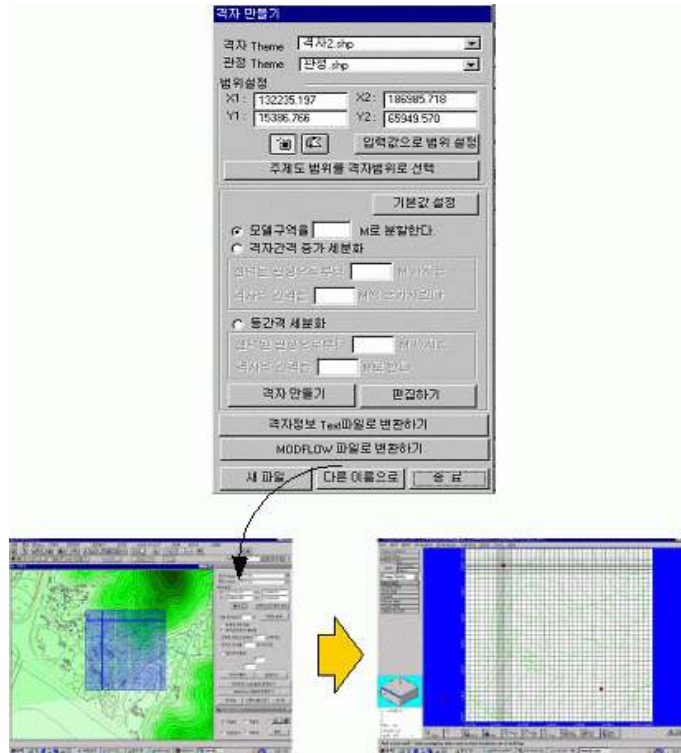


FIGURE 8. GIS에서의 격자정보 Visual MODFLOW import

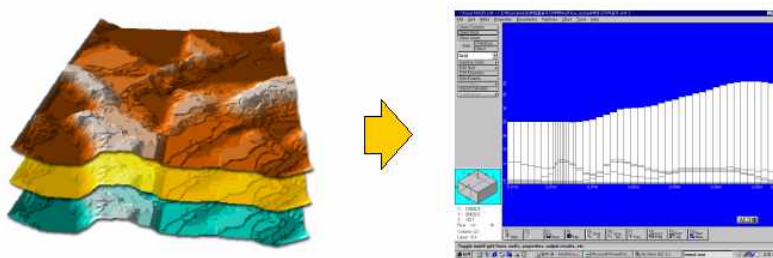


FIGURE 9. GIS 수리지질정보 Visual MODFLOW 호출입력 결과

있어, 배경이미지로 사용하기가 쉽지 않다. 그래서, 대부분 좌표가있는 dxf 포맷의 파일의 배경이미지로 사용하고 있다. 하지만, dxf 파일 원본 그대로를 배경이미지로 사용할 경우, 배경이미지로 필요하지 않은 요소들이 모두 디스플레이되고, 모델링 경계 이외의 지역까지 모두 디스플레이되어, 작업시간을 길게 만들고 시각적으로 혼란스럽게 만드는 어려움이 있다. dxf 포맷의 파일을 수정하여 사용하려고 해도, AutoCAD 등의 프로그램을 사용해서 별도의 작업을 진행해야 하므로, 불편하고 시간이 많이 소요되었다.

본 연구에서는 shape 파일 또는 dxf 파일을 사용하여, 모델구역 크기의 새로운 dxf 파일로 만들거나, 각종 경계조건을 반영한 dxf 파일을 생성할 수 있도록 하였다(그림 10).

- ⑤ DB화 되어있는 관정정보를 Visual MODFLOW용 format으로 변환
Visual MODFLOW에 입력하고자 하는 관

정의 정보를 GIS에서 선택하여, 사용할 수 있다. GIS에서 사용하고자 하는 관정을 선택한 후 ASCII파일로 export하게되면, 관정의 구축된 정보 중 Visual MODFLOW에서 필요로 하는 정보만을 검색하여 Visual MODFLOW에서 import 할 수 있는 포맷의 ASCII파일을 생성하게 된다. 생성된 ASCII파일을 Visual MODFLOW에서 import하여 사용할 수 있다 (그림 11).

- ⑥ 레이어별 경계조건 및 고도정보를 가지고 있는 Visual MODFLOW용 vmg 파일 생성

Visual MODFLOW에서 모델링을 수행할 때 확장자가 vmg인 파일이 생성된다. 이 파일에는 모델링 대상지역의 각 수리지질층의 고도정보와 격자정보, 경계정보 등이 포함되어 있다. 본 연구에서는 앞서의 격자정보와 수리지질층의 정보를 각각 Visual MODFLOW로 import할 수 있는 기능을 구현하였을 뿐 아니



FIGURE 10. DXF파일 생성을 위한 두가지 옵션

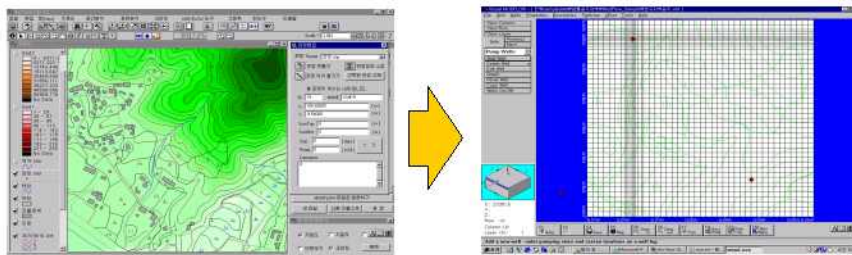


FIGURE 11. GIS의 관정정보를 Visual MODFLOW로 import

라, 이 모든 정보를 포함하고 있는 vmg 파일을 생성하여, 쉽고 빠르게 격자정보와 수리지질층 정보를 GIS에서 Visual MODFLOW로 보낼 수 있도록 하였다.

2) Visual MODFLOW 후처리 과정

등수위선도, 오염원 확산도 등 Visual MODFLOW를 통해 분석된 결과를 shape 파일로 변환하여, GIS에서 디스플레이한다(그림 12). 이렇게 GIS로 불러온 Visual MODFLOW의 분석결과는 GIS의 query 기능을 사용하여 주변시설, 지형지물과의 관계를 공간적으로 살펴볼 수 있으며, 업무보고를 위한 추가적인 GIS 작업을 가능하게 할 것이다.

3) 데이터베이스 관리

앞서의 각종 분석에서 사용되는 관정정보, 오염원정보, 분석결과들은 shape 파일로, 지형도·지질도·토양도는 shape 파일 또는 dxf파일로 RDBMS인 Oracle에 저장된다. DataBase에 저장된 관정, 오염원정보는 하나의 도면으로 호출되며, 분석결과는 관정 ID로 검색되어 필요시에 호출된다. 지형도의 경우에는 1:5,000 인덱스, 지질도·토양도는 1:25,000 인덱스를 사용하여 선택된 인덱스에 해당되는 도면을 호출하는 방식으로 구축하였다. 지형도·지질도·토양도의 인덱스 체계는 국가 GIS구축위원회에서 정한 표준코드에 따라서 작성된 것이다. 아울러 지형도·지질도·토양도 등 변화주기가 길은 데이터에 대해서는 CD 또는 로컬컴퓨터에 구축하고, 그곳으로부터 데이터를 불러올 수 있도록 구축하기도 하였다.

이렇게 local 또는 inter/intranet에서 데이터를 호출하기 위해서는 DataConnect의 메뉴를 사용하여 연결 설정하도록 하였다. 서버와의 설정은 3가지로 구분하였는데, 지형도·지질도·토양도 도면을 호출하기 위한 도면연결 설정, 시설관정·오염원을 호출하기 위한 시설관정 연결설정, 사용자가 생성한 도면을 서버에 올리기 위한 신설관정 연결설정으로 구분하였다.

4) 본 시스템의 추가적인 분석기능

① 수리지질층의 단면추출

앞서 구축된 수리지질층 및 기타 그리드 고도자료를 사용하여 수직단면을 볼 수 있으며, 수직단면에서 단면사이의 면적을 구할 수 있으며, 입력한 그리드 자료가 두 개 이상일 때는 단면사이의 체적을 구할 수도 있다. 그럼으로써 위치에 따른 각층의 고도, 면적의 변화를 입체적으로 살펴볼 수 있다.

단면을 보는 옵션에는 세 가지가 있다. 기본적으로는 사용자가 보고자하는 임의의 지점을 선택하여 단면을 보는 것이다. 두 번째는 선택한 지점에 대하여 원형으로 회전하며 단면을 볼 수 있으며, 세로 또는 가로방향으로 전·후진을 하며 단면을 볼 수도 있다(그림 13).

② 지표수수문 유역별(집수구역) 통계기능

선택 지점을 포함하는 집수구역에 대한 DB에 이미 입력되어 있는 강우(함양률), 유출율 및 지하수 이용량 및 하계망 등의 분석을 쉽게 할 수 있도록 gui를 개발하였다. 이는 GIS

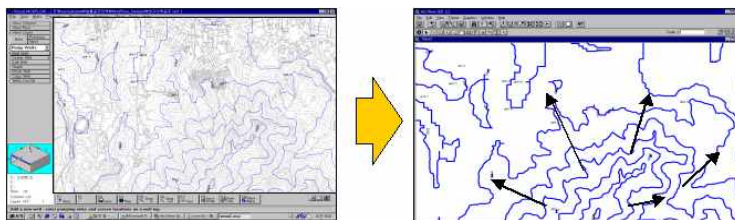


FIGURE 12. Visual MODFLOW 분석결과 GIS import된 모습

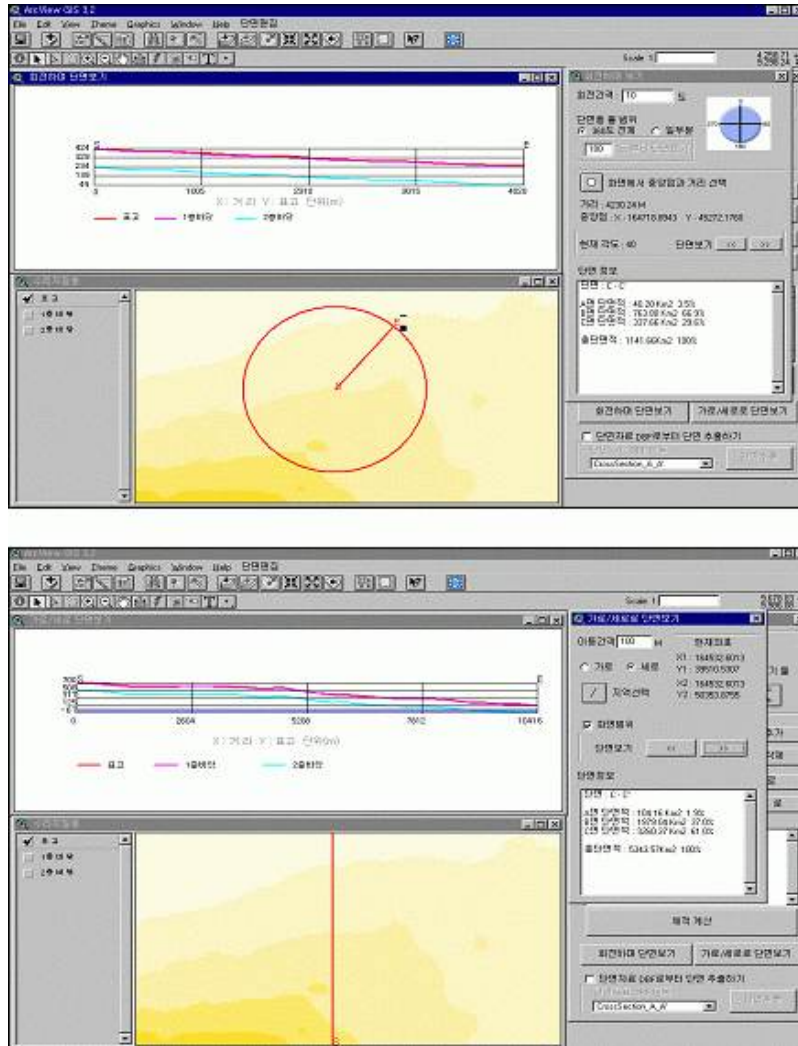


FIGURE 13. 원형 및 전·후진으로 단면보기

의 지형수문분석 기능을 이용하여 임의의 지점에서 마우스로 지정된 상류의 유역을 계산해 내거나 전체 유역 내의 소유역 분류 등을 수행하고 (소)유역별로의 지표·지하 수문기후 자료 통계처리 및 하천과 지형의 지도처리가 가능한 분석틀이다. 생성된 유역경계로부터 얻어낼 수 있는 통계자료로는 유역면적, 유역둘레, 유역 최소최대 평균경사, 유역 최소최대 평균고도, 유역고도 표준편차, 유역최장 유로

길이, 하계밀도 등과 강수량, 증발량, 하천유출량, 지하수 함양량 등이 있도록 하였다.

맺음말과 향후 연구계획

본 연구는 첫째, 2차원과 2.5차원의 심도별 수리지질층을 GIS환경에서 구축하기 위해 사용되는 각종 지구물리탐사 자료를 GIS에서 활용하는 기법과 툴(Visual MODFLOW 전처리

기)을 개발하였다. 특기적인 것은 모델구역내에서 관정주변에 상대적으로 조밀한 그리드를 자동으로 형성하는 툴을 개발하였으며, 또한 모델링 구역내에서 다양한 경계조건을 반영한 dxf 생성을 위한 툴을 개발하였다. 이렇게 개발된 툴을 사용해 생성된 자료들은 GIS용 포맷으로 생성되어 GIS 자료구조로서 관리된다. 아울러 이러한 자료들은 3차원 지하수 유동 모델링 프로그램인 Visual MODFLOW와 완벽하게 호환되는 format으로 구성하여 import와 export되도록 하였다. 이러한 연구결과는 모델링 전문가가 더욱 신뢰성 있는 수리지질층을 구축할 수 있도록 도움을 줄 수 있을 것으로 기대될 뿐만 아니라, 그 동안 심도별 수리지질층을 생성하고, 모델구역의 합리적인 격자를 생성하는 등 지하수 유동 모델링을 위한 입력자료들을 생성하는데 들었던 시간과 노력을 획기적으로 감축시킬 것이다. 더불어 2차원, 2.5차원으로 구축된 심도별 수리 지질층은 지하수 모델링에 있어서 모델구역을 시각적으로 제공하는 데에도 기여할 것이다.

본 연구 결과물인 Visual MODFLOW 후처리기의 이용을 통해 GIS에 불러온 지하수 유동 모델링 결과물은 GIS용 포맷으로 변환되어 디스플레이될 뿐만 아니라 DB에 저장됨으로써 효율적으로 관리되고, GIS의 각종 분석기능 및 query 기능 등을 사용하여 주변시설, 지형지물과의 관계를 공간적으로 살펴볼 수 있게 되었다.

본 연구는 분석을 위한 데이터의 생성에서부터 분석을 거쳐, 그 결과물의 DB화 및 관리에 이르는 과정을 체계적으로 관리하는 것을 목적으로 하고 있지만, 데이터의 관리측면에서는 한계성을 드러내고 있다. 이는, 우리나라의 경우 아직 지하수자료 관련 표준화 체계가 명확하지 않다는 이유 때문이다. 이러한 이유로 본 연구를 통해 개발된 시스템은 추후 농업기반공사에서 진행중인 지하수관리를 위한 DB의 체계를 갖추기 위한 연구가 포함된 '농

촌지역 청정지하수 수질감시/관리시스템'과 통합되어 데이터 관리의 측면을 보장하여야 할 것이다.

감사의 글

본 연구에 도움을 주신 농업기반공사 농어촌연구원 지하수연구실 이기철 과장님과 박종철 연구원에게 깊은 감사를 드립니다. **KAGIS**

참고 문헌

- 김만규. 2001. GIS를 이용한 지하수개발 설계 지원 시스템. 한국GIS학회지 9(2):207-225.
- 김채승, 윤찬진(편저). 2000. 지리정보체계. 대영사. 49쪽.
- 농업기반공사. 2003. 농촌지역 청정지하수 수질감시/관리시스템(미발표 자료).
- 한국ESRI 교육센터. 2003. Introduction to ArcSDE using ArcInfo. 137pp.
- 한정상, 한찬. 1999. 3차원 지하수모델과 응용. 박영사. 35쪽.
- ESRI Press. 1998. Getting to Know ArcView GIS. ISBN: 1879102463. 660pp.
- Gupta. S., G. Woodside, N. Raykhman and J. Connolly. 1996. GIS in Groundwater Hydrology. In: Geographical Information Systems in Hydrology. Kluwer Academic, pp.303-321.
- Schoeniger. M., M. and A. Sommerhaeuser Hermann. 1996. 3D-Grundwassermodellierung als Grundlage fuer einen effektiven Grundwasserschutz. Zbl. Geol. Palaont. Teil 1(H1/2):143-154.
- Schoeniger. M. and A. Szymanski. 1996. Die Interpolationsmethode MIE zur Erstellung von raumlichen Modellen des geologischen Untergrundes. Hannover, Arb. H. Geologie 1:53-59.

- Szymanski. A. and M. Schoeniger. 1996. Anwendung von Grundwassermodellen fuer die 3-D Simulation der Stroemungsverhaeltnisse im SFB-Untersuchungsgebiet Nienwohde In: O. Richter et al.(ed.). SFB 179-Abschlußbericht: Wasser- und Stoffdynamik in Agrarokosystemen, A1-Grundwasser. Landschaftsoekologie und Umweltforschung H. 24, pp.208-244.
- Waterloo Hydrogeologic. 1993. User's Manual for Visual MODFLOW. pp.255-274. 