

# 지하수 유동(MODFLOW) 및 수질(MOC3D) 모형과 ArcView를 결합한 지하수환경 예측 시스템의 개발

김준현 · 한영한 · 김정옥 · 최윤호  
강원대학교 공과대학 환경공학과

## Abstract

This study was performed to develop an information processing system for the sound conservation of soil and groundwater resources. The system contains the geographic information system, and the numerical model of groundwater flow and contamination. Numerical models (MODFLOW, MOC3D) and GIS (ArcView) were integrated for the construction of an integrated management system of subsurface environment. The developed system was applied to the management of three mineral water companies located in clean mountain area. The impact of pumping over the overall catchment basin was modeled using the developed system for the decision of future management criteria.

**Key Words** : Integrated System, ArcView, MODFLOW, MOC3D

## I. 서론

지표면 하부에는 여러 가지 형태의 유체의 유동이 존재하며, 이중 지하수는 전체 물 순환계의 일부분으로서, 하천수, 지표수 및 해수와 연결되어 물 순환 및 오염물 이동 및 변환에 중요한 근원 및 경로가 된다. 지구온난화에 의한 물 부족 현상의 가속화를 고려할 때, 지하수 개발의 필요성이 부각되고 있는 실정이다. 그러나, 무분별한 지하수 개발로 인해 오염이 심화되고 있고, 가까운 시일 내에 이러한 지하수 오염문제는 어느 환경 문제보다도 중요한 사안이 될 것으로 판단된다.

본 연구에서는 위의 문제점을 극복하기 위하여 국내외에서 대표적으로 많이 사용되고 있는 MODFLOW, MOC3D 등의 모형을 분석하고, 입력자료 및 파라미터 등을 효과적으로 분석하기 위하여 공간정보시스템(ArcView)을 분석, 전산모형과 연계 운영할 수 있는 시스템을 개발하였다. 또한, 본 연구진에 의하여 기존에 개발되었던 지중가스유동해석 모형인 MFEMGAS<sup>2)</sup>를 수정하여 다차원지하수유동모형(MFEMGW)을 개발 중에 있다. 이러한 시스템을 활용하여 토양 및 지하수 개발 및 관리를 위한 종합적인 토양 및 지하수환경 관련 정보를 통합적으로 해석할 수 있는 정보처리시스템을 개발하였다.<sup>1),2),3)</sup>

## II. 본 론

### 1. PMWIN 모형 연구

본 연구에서는 기존의 지하수 모형중 세계적으로 널리 이용되는 모형인 MODFLOW 를 연구하기 위하여 1998년 12월에 개발된 PMWIN(Processing Modflow) 모형을 사용하였다. 본 모형은 독일에서 폐기물 처분지의 정화 사업을 위해 개발되었다<sup>4)</sup>. 본 모형은 사용자가 편리하게 MODFLOW를 운영할 수 있도록 GUI 기능을 강화하였으며, MODFLOW 이외에도 MOC3D, MT3D, MT3MS, PEST, UCODE 등의 모형을 사용할 수 있도록 개발되었으며 MODPATH를 확장시킨 PMPATH를 포함하고 있다.

MODFLOW 모형은 미국 USGS에서 개발한 삼차원 유한차분 모형으로서 지하수 유동 상황을 계산할 수 있다. 1988년에 McDanald와 Harbargh<sup>5)</sup>등에 의해 MODFLOW-88이 처음으로 개발된 이후에 여러 개선 작업을 거쳐 1996년에는 MODFLOW-96이 개발되었다. 1996년도 개발품은 단순한 지하수 유동이외에도 관정, 하천, 배수관거, 수위경계조건, 재충진 및 증발산 등에 의한 영향을 해석할 수 있는 기능을 가지고 있다. MOC3D는 입자 추적법을, 사용한 용질 이동모형이다.

### 2. 지하환경관리를 위한 공간정보시스템(ArcView)의 적용

본 연구에서는 ArcView를 이용하여 지하환경에 관련된 다양한 속성정보를 효과적으로 관리하고 처리할 수 있는 시스템을 먹는 샘물 업체를 대상으로 하여 구축하였다. 강원도 홍천군 화촌면 굴운리 작은골 일대를 모델링 대상지역으로 설정하였으며, 모델링의 입력자료는 95-96년에 수행된 현장조사 자료와 국립지리원의 1/25,000의 수치지도를 토대로 하여 현장 여건에 충실하게 입력하였다. 특정 공간 형상의 기하학적 위치정보를 수치지도상에 도시하였고 공간 데이터와 동적으로 연결되는 관련 속성정보를 Table기능을 이용하여 구축하였다. ArcView는 dBASE III와 dBASE IV, INFO table, ASCII-delimited등의 파일과 액세스가 가능하여 MS-Excel를 이용, 방대한 자료를 손쉽게 구축할 수 있었다. 지리정보와 관련된 속성 자료의 경향을 더 효과적으로 비교, 검토하기 위해 목적에 적합한 Chart 유형을 선택하여 도시하였다. 또한 하이퍼텍스트 기능을 제공하는, Hot Link를 이용하여, 다양한 자료와 지리 형상들이 연결되어 수치지도의 특정 공간형상을 선택, 지정하면 여러 화면에 관련 이미지가 디스플레이 되도록 시스템을 구성하였다.

ArcView의 공간 및 3차원 분석 기능(hydro등)을 이용하였으며, ArcView의 객체지향의 스크립트 언어인 Avenue를 사용하여 ArcView와 지하수 모델(PMWIN)을 연계하였다. 또한 Avenue를 이용하여 ArcView를 사용하는 일반 사용자에게 편리하게끔 기존의 GUI와 메뉴를 재구성하였으며, 목적에 적합한 새로운 기능을 삽입하였다. 이를 토대로 입력 자료를 공간정보 시스템상에서 직접 처리하여 모델링이 가능하게 하였으며, 계산 결과는 PMWIN의 후처리프로그램뿐만 아니라, ArcView의 CAD 기능을 이용하여 입체적인 분석이 가능하게 시스템을 구축하였다.

## III. 결과 및 고찰

### 1. ArcView를 이용한 지하환경정보시스템의 구축

본 연구는 먹는 샘물 공장의 지하수 및 기타 모든 환경 자료를 GIS상에서 구축하여 최적의 지하 환경을 유지할 수 있는 관리 시스템을 구축하였다. 3개의 먹는 샘물업체의 수질 감시체계 및 자동생산시스템과 연결될 수 있도록 다음과 같은 부분에 대한 자료를 구축하였다.

- 지하수 유동 현황 (선구조, 파쇄대 등의 지구물리탐사 결과, 취수정 및 감시정의 취수량 및 지하수위, 대수층의 투수계수, 저류계수, 공극율)
- 지하수 수질 현황 (취수정 및 감시정의 수질)
- 지하수 오염 가능성 (인근 지하수 및 하천의 수질, 유역내 오염원, 토양오염도)
- 지하수 함양량 추정 (양수시험결과, 유역의 수문현황)
- 일반적인 수치지도 (등고선도, 도로망도, 수계도)

위에 언급된 자료중 일부분을 다음 Fig.1 및 Fig.2에 나타내었다.

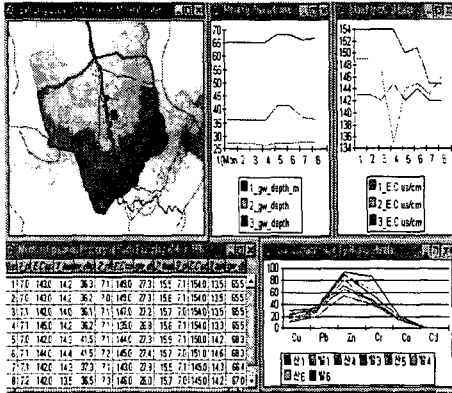


Figure 1. 월별 취수정의 지하수위, 수질, 유역내 토양오염도

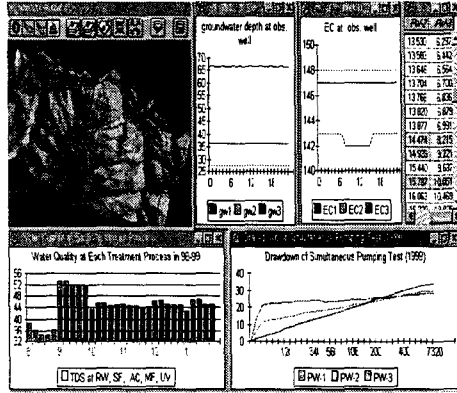


Figure 2. 감시정의 지하수위, 수질, 양수 시험, 처리공정별 수질

## 2. PMWIN을 이용한 지하수 수리 및 수질 모델링

### 1) MODFLOW 및 PMPATH를 이용한 지하수 유동 해석

정류 유동을 모델링하기 위해서는 대수층의 형상, 격자망, 경계조건, 모델링 시간, 초기 지하수위, 투수계수, 공극율, 취수정 및 감시정의 위치와 양수량 등의 입력자료가 필요하다. 모델링이 수행된 후 출력 파일을 이용하여 계산 결과의 정확도를 검증하기 위하여 각 격자망별로 물수지 분석을 수행한다. 대수층의 격자망은 행(i), 열(j), 층(k)의 수와 크기를 설정하여 구성된다. Fig. 3에 ArcView와 PMWIN 모형을 결합한 시스템과 모델링 격자망을 나타내었다. Fig. 4에 MODFLOW와 PMPATH의 모델링 결과인 지하수 등수위도, 유속장, 유선 등을 나타내었다.

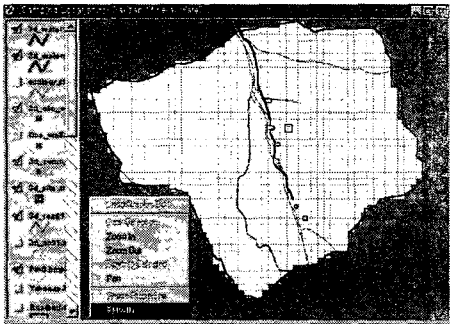


Figure 3. PMWIN과 ArcView의 결합, 모델링 격자망도

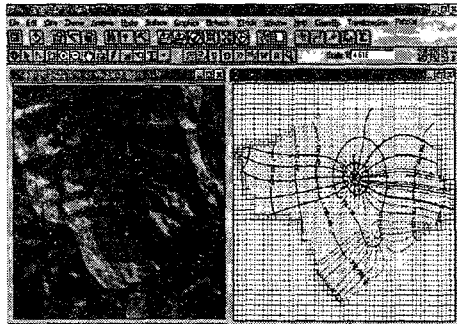


Figure 4. MODFLOW 및 PMPATH의 계산 결과 (등수위도, 유속장, 유선)

## 2) MOC3D를 이용한 지하수 오염 해석

MOC3D는 오염물질의 이동을 해석할 때 이용된다. 우선, 감시정을 구축하기 위해 X와 Y의 좌표를 설정하고, 경계조건 설정을 위하여 ICBUND 배열을 이용하였다. 오염부하는 Sink/Source에서 Recharge를 선택하여 입력하였고, 분산 및 화학반응계수 값을 설정하였다. Fig. 5는 지하수 오염 모델링 결과(감시정에서의 오염도)이며, Fig. 6은 계산결과를 동적으로 볼 수 있는 동영상 화면을 나타낸 것이다.

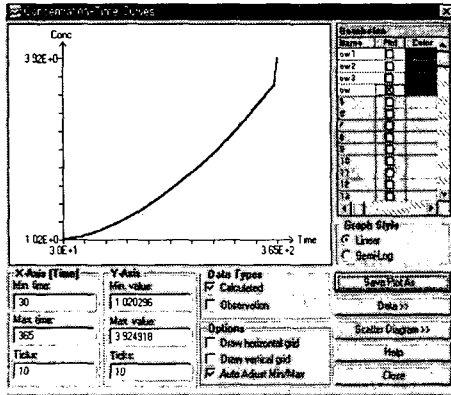


Figure 5. 감시정의 농도-시간 곡선

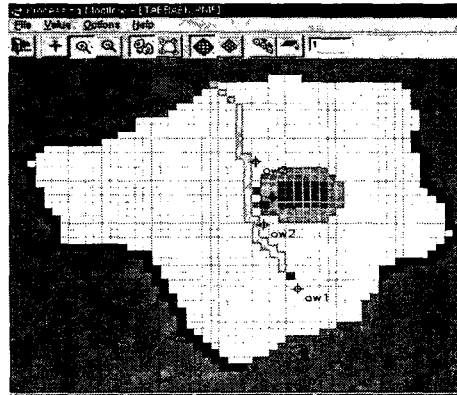


Figure 6. 지하수 오염도의 동영상 화면

## IV. 결론

지하수 및 토양 등 지하 환경 보전을 위한 통합 관리 시스템을 개발하기 위하여 전산모형과 지리정보시스템을 연계하였으며, 공간정보해석기능이 뛰어난 ArcView와 PMWIN을 사용하여 다음과 같은 연구 결과를 도출할 수 있었다.

- ArcView를 이용하여 지하 환경에 관련된 각종 자료를 수치지도상에 구축, 분석하였다.
- PMWIN의 다음과 같은 장점을 활용할 수 있었다.
  - \* 모든 입출력 작업을 모델링 격자망상에서 수행하였다.
  - \* 계산 결과는 등수위, 등농도, 유속장, 유선 등으로 표현된다.
  - \* 동영상 파일을 구성하여 변화 양상을 효과적으로 분석할 수 있다.
  - \* 자동 파라미터 예측 모형을 이용하여, 투수도, 저류능 등의 계수를 쉽게 분석한다.
  - \* 모델링 결과를 DXF 파일로 저장하여 ArcView에서 분석이 가능하다.

본 연구에 의해 개발된 시스템은 지하수 개발 및 보전에 관련된 각종 사업에 효과적으로 이용될 수 있을 것이다.

## 참고 문헌

1. 김준현 등, 생수 수출을 위한 생수의 의학적 효과 분석, 시장 조사 및 자동화 기술 확립, 산학연 공동기술개발 지역컨소시엄, 1999.
2. 김준현 등, 지하매설 가스배관중 누출가스의 지중 확산거동에 관한 연구, 1998.
3. 함광준, 지하수유동의 해석해, 수치모형 및 GIS를 연계한 통합적 지하수자원 정보관리시스템 개발, 강원대 석사 논문, 1998.
4. Chiang, W. H. and W. Kinzelbach, Processing Modflow for Windows (PMWIN), A Simulation System for Modeling Groundwater Flow and Pollution, 1996-1998.
5. McDonald, M. C. & A. W. Harbaugh, MODFLOW, A modular three-dimensional finite difference ground-water flow model. U. S. Geological Survey Open-file report 83-875, Chapter A1, 1988.