

## PE10) 수치모형을 이용한 도서지방의 지하수유동해석

이병철\*, 안승섭<sup>1</sup>, 정도준, 서명준

경일대학교 대학원, <sup>1</sup>경일대학교 건설정보공학과

### 1. 서 론

계속되는 도시화로 인해 수자원의 수요는 날로 증가하고 있다. 화산도서인 제주도의 수자원에 있어 특히, 지하수를 관리, 활용하고 이를 수행하기 위한 계획을 수립하는데 있어서 대수층내에서 발생하는 지형 및 지질 특성인자들의 정확한 상호 관련성의 규명을 통한 지하수 유동과정의 정확한 해석과 예측이 절실히 필요한 실정이다. 대수층내에서 발생하는 유동시스템은 대수층의 조건에 따라 시공간적으로 변동이 매우 심하고 대수층내의 지하수 유동상태를 나타내는 특성인자들은 그 수가 매우 많으므로 지하수 유동시스템 해석에 모두 반영한다는 것은 매우 어려운 문제이다. 현재 제주도는 16개의 권역으로 분류하여 지하수를 관리하고 있다. 그러나 동·서부지역과 제주시·서귀포지역이 지형지질특성이 상이하어 각 권역별 및 부존형태별 지하수 유동특성에 대한 분석이 되지 않아 효율적인 지하수 관리 및 개발에 많은 어려움을 겪고 있는 실정이다.

또한, 지하수 개발·이용시에도 엄격한 제한을 두고 있음에도 불구하고 국지적인 지하수 과다개발로 해수 침입 및 오염확산 등으로 인하여 제주도의 인문활동 및 생태계에 미치는 영향이 매우 크다. 따라서, 지하수를 수자원으로 적절히 이용하기 위해서는 지하에서의 물의 흐름원리, 즉 지하수의 수리현상을 정확하게 이해함이 필요하다. 그러나 지금까지 화산도서 유역에서의 지하수 유동해석에 관한 연구는 국내에서는 활발히 이루어지지 않아 제주도의 지하수 유동시스템 해석을 통하여 적용가능성을 파악하여 지하수 관리 및 이용을 극대화할 수 있으리라 판단된다.

본 연구에서는 제주도의 지하수 유동특성을 분석하기 위해서 권역별 지형 및 지질을 파악하고 수치해석에 의한 시뮬레이션을 위해서 ArcView 3.2a Software 및 GMS(Ground-Water Modeling System) 6.0 모델을 이용하였으며 지하수 유동 시스템의 예측에 대한 적용성과 정확성을 향상시키는데 목적이 있다.

### 2.1. 연구대상유역의 특성

도서지역인 제주도는 화산도서로서 주로 현무암질 용암류의 연속적인 분출에 의해 만들어진 순상화산체이다. 연간 1,820mm의 강우량을 기록하는 국내 최다우지역이나, 화산도의 특징을 갖는 제주도는 지표층을 구성하고 있는 화산암류와 화산쇄설물이 투수력이 좋아 지하수를 함양할 수 있는 능력이 뛰어난 반면 지표수를 차집하여 하천을 이룰 수 있는 능력은 상대적으로 빈약하여 하천은 대부분 건천이며 수계발달도 미약하다. 이에 따라 제주도의 대부분의 수자원은 지하수에 의존하고 있다. 다음 Fig. 1.은 서귀포시의 지하수 개발 허가지역

을 나타내고 있다.

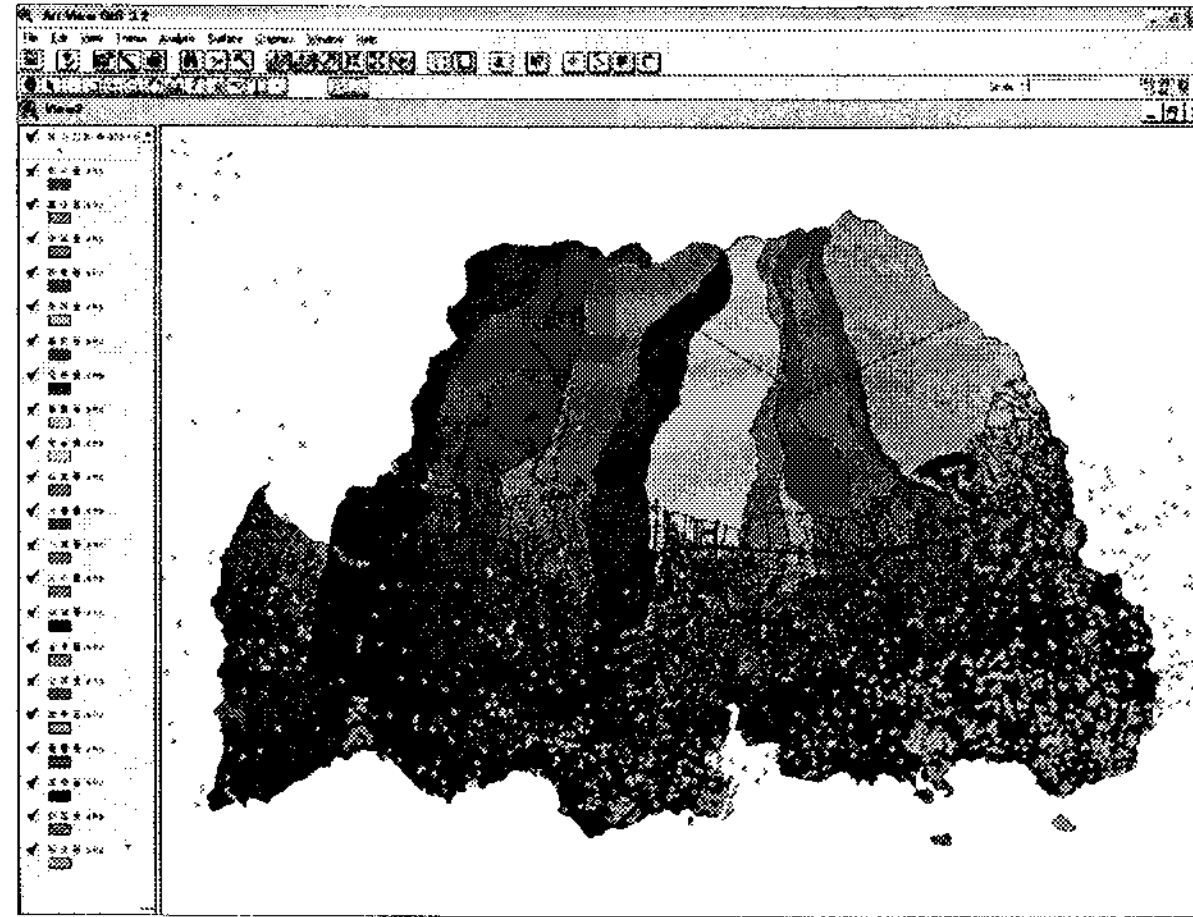


Fig. 1. 제주시와 서귀포시의 지하수 개발 허가지역

## 2.2. 모델의 기본 이론

GMS(Ground-Water Modeling System) 6.0은 Brigham Young University's Environmental Modeling Research Laboratory에서 개발하고 EMS-I가 공급하는 지하수 모델링 환경에 가장 적합한 프로그램이다.

지역의 특성화에 따른 MODFLOW, MODPATH, MT3D/RT3D, FEMWATER, ART3D, SEAM3D, NUFT, UTCHEM, FACT & SEEP2D 등의 모델을 갖추고 있다. 본 연구에서는 지하수의 흐름을 모의하고 우물, 지류, 강, 배수구, 증발산, 비균질대수층 특성을 지닌 흐름 계로의 재유입, 경계조건 등 복잡한 영향을 고려할 수 있다. MODFLOW interface module 을 이용하였다.

본 연구에 있어서 실제유역에서의 지하수유동계를 파악하기 위해 사용된 MODFLOW 모델은 유한차분법에 근거한 모델로서 그 기본이론은 다음과 같다.

일정한 밀도를 가지는 다공성 매질을 통해 흐르는 3차원 지하수 유동은 다음의 식(1)과 같이 편미분 방정식으로 나타낼 수 있다.

$$\frac{\partial}{\partial x} (K_{xx} \frac{\partial h}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (K_{yy} \frac{\partial h}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z} (K_{zz} \frac{\partial h}{\partial z}) - W = S_s \frac{\partial h}{\partial t} \quad (1)$$

여기서,  $K_{xx}$ ,  $K_{yy}$ ,  $K_{zz}$ 는  $x, y, z$  좌표축에 따른 투수계수이며,  $h$ 는 수두(potential head),  $W$ 는 단위체적당의 체적 flux,  $S_s$ 는 비저류율 및  $t$ 는 시간이다.

한편,  $S_s$ ,  $K_{xx}$ ,  $K_{yy}$ ,  $K_{zz}$ 는 공간의 함수( $S_s = S_s(x, y, z)$ ,  $K_{xx} = K_{xx}(x, y, z)$ , etc)이고,  $W$ 는 시간과 공간의 함수이며 ( $W = W(x, y, z, t)$ ), 식(1)은 불균질, 비등방성 매질에서의 비평형 상태하에서 지하수 흐름을 나타낸다.

### 3.1. 경계조건 및 매개변수 추정

본 연구에서 모의발생을 위한 서귀포지역의 경계설정에 있어서는 동측, 서측 및 북측 지역은 분수계를, 남측지역은 해안부를 경계지역으로 설정하고 실측한 양수자료를 토대로 정류상태의 해석을 위한 투수량 계수 및 부정류상태 해석을 위한 저류계수의 초기치를 결정하고, 이로 인한 결과치를 이용하여 MODFLOW모델에 적용하여 정류상태 하에서 기동에 관측된 지하수위 자료에 가장 접근할 수 있는 최적매개변수를 산정하였다.

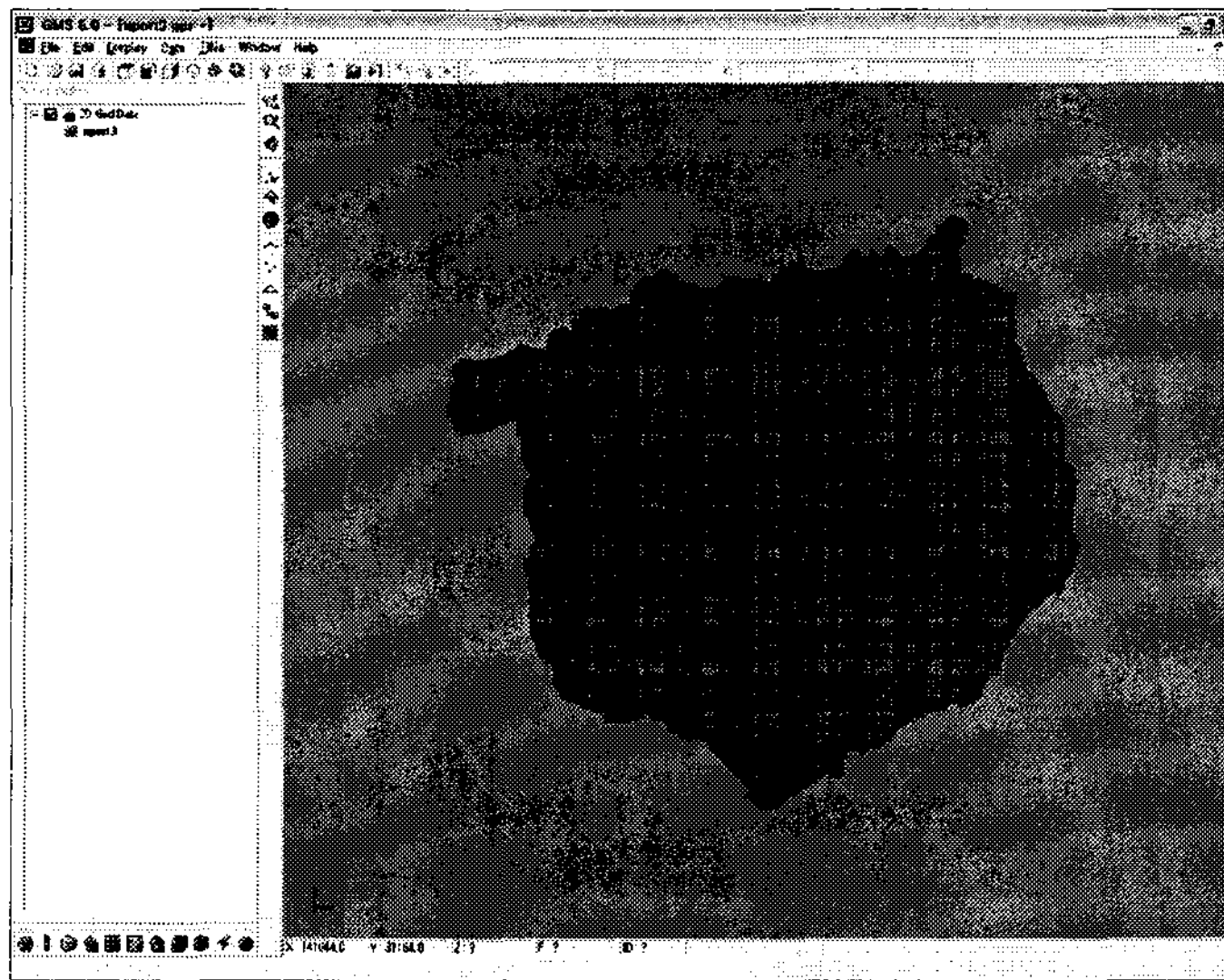


Fig. 2. GMS를 이용한 경계조건 설정 및 최적매개변수 추정

### 3.2. 투수량계수(T) 및 저류계수(S)의 추정

본 연구에서는 MODFLOW에 모델에 적용할 투수량계수(T) 및 저류계수(S)의 초기치 결정을 위하여 서귀포시내에서 양수한 자료들과 양수정으로부터 관측점들의 수위변화를 측정하여 양수에 따른 수위변화 측정결과를 토대로 Tesis방법, Cooper-Jacob방법에 의하여 투수량계수 및 저류계수의 초기치를 결정하였다.

대상유역의 유효수두 및 등수위선도 와 비교하여 시행착오법에 의한 조정을 통하여 최종 결과치를 결정하였다.

### 3.3. 모델의 적용

지하수 유동시스템의 모의발생을 위한 유동해석 모델이 선정되면 모델로부터 산저오던 결과치가 관측치에 최대한 접근하도록 모델의 매개변수를 조정하고 점차적인 수정과정을 통하여 최종계산치를 결정한다.

본 연구에서 MODFLOW모델에 사용된 매개변수의 초기치를 서귀포유역에서 관정개발 관측된 지하수 등수위선 및 최근 측정된 제주특별자치도 수위관측망 자료를 최대한 일치될수 있도록 초기매개변수를 변화시키면서 각 층에 대한 최종매개변수의 최확치를 결정하였다.

### 3.4. 유한차분법에 의한 해석

본 연구에서 매개변수 추정을 통한 수치해석을 이용하여 실제 대상 유역에서의 적용가능성을 검토하기 위하여 정류 및 부정류 상태에 따른 양수량에 의한 지하수위 변동 분석을 검토하기 위하여 정류 및 부정류 상태에 따른 양수량에 의한 지하수위 변동분석을 실시하였다.

### 3.5. 유한요소법에 의한 해석

본 연구에 있어 지하수위의 초기치를 구하기 위하여 유한요소법에 의한 2차원 부정류시물레이션을 실시하였다. 부정류상태에 대한 해석을 위해 본 연구대상 유역인 서귀포지역인 유한요소격자망을 구성하였으며, 다음으로 연구에 적용된 투수량계수, 저류계수 및 비산출율의 산정을 위한 초기치는 유한차분법에서 적용된 값을 본 분석에서 이용하였다.

본 연구에서 사용되는 각 층에 대한 매개변수의 값들을 개발당시의 각 정호에서 관측된 유효수두를 이용한 지하등수선도에 일치시키기 위하여 시행착오법을 이용하여 추정하였다.

### 3.6. 수두분포검토

본 연구에서 수행한 지하수 유동시스템 해석을 위한 모델은 MODFLOW모델을 제안하였으며, 분석결과는 각 모델에서 계산된 지하수두와 관측수두를 비교할 수 있도록 정호에 따른 수두분포표를 작성하여 비교하였다.

### 3.7. 유동경로해석

본 연구에서는 모의발생한 계산치를 이용하여 지하수 유동경로에서 해석을 실시하였으며, 정류상태, 90일, 180일, 270일 및 365일 동안 양수할 경우에 있어 각각에 대한 유속벡터 분포를 나타내었다.

## 4. 결 론

본 유역에서 화산도서유역에서의 지하수 유동시스템의 해석과 유동예측 알고리즘을 확립하기 위하여 대상유역에 유한차분모델인 MODFLOW를 중심으로 지하수두분포를 산정하고 실제 관측수두와 비교 분석하였다. 또한 분석대상 유역에 지하수 관정의 양수기간에 따른 지하수두변동분포를 계산하고 유속벡터를 산정하였다.

- 1) 지하수 유동시스템 해석을 위하여 대상유역을 수치해석을 실시하였으며, 그 결과 지하수 유동시스템의 특성이 잘 반영됨을 알 수 있다.
- 2) 지하수 유동해석을 위하여 양수자료를 이용하여 매개변수 추정하여, 이로부터 투수량계수 및 저류계수 초기치를 선정하여 시행착오법을 통한 최종 매개변수를 얻을 수 있다.
- 3) 본 대상유역에 분석관정에서 일시에 양수할 경우 유속벡터가 초기의 정류상태에 대한 유속벡터와 다소 큰 차이가 있는 결과를 나타내고 있으나, 이후로 안정된 수두결과를 보이고 있으며, 지하수 유동경로 각 방향으로 분산되어 유출되는 것으로 판단된다.

## 참 고 문 헌

- 최윤영, 1997, 지하수 흐름의 유동시스템 해석, 영남대학교  
제주도 수문지질 및 지하수자원 종합조사(III), 2003, 제주도, 한국수자원공사
- Choi Soon Hak, 1990, Hydrogeological and hydrochemical Characterstics of Groundwater  
in Cheju Island
- Kayane,1 I, 1991, New groundwater investigation methods with examples. Sankaido,  
Tokyo, 171
- Lee Soontak, 1996, Groundwater Movement in the Volcanic Island of Cheju, Korea