

제주도 천미천 유역의 지하수위 변동 수치모의

Numerical Modeling Study for Groundwater Flow at Chun-Mi Creek, JeJu Island

최정현*, 박화준**, 김원일***, 호정석****, 안원식*****

Jung Hyun Choi, Hwa Jun Park, Won Il Kim, Jung Seok Ho, Won Sik Ahn

요 지

본 연구에서는 실측 강수 자료를 적용하여 장기 지하수위의 변동을 수치모의하고, 그 결과를 관측정으로부터 측정된 실측 지하수위와 비교하였다. 모형의 구축은 제주도 한라산 중산간으로부터 해안까지 이르는 유역 면적 310km^2 의 천미천 유역을 대상으로 하였으며, 2001년 11월부터 2002년 10월까지 12개월간의 강우에 따른 지하수위의 변동을 평형상태로 해석하였다. 미국 지질조사국 (USGS)에서 개발한 3차원 유한차분 해석 프로그램인 MODFLOW 모형을 선정하여 적용한 결과를 유역 내의 12개 관측정 측정수위와 비교하였으며, 대상지역에서 14.7m의 평균 오차와 21% 정규 실효치를 나타내었다. 향후 모형 구축 및 모의 결과의 신뢰도를 향상시키기 위해 격자수와 크기의 조절 및 공간적 분포에 따른 대수층의 투수계수와 저류계수의 민감도 분석을 수행하여야 할 것으로 판단되며, 계속 연구 수행 중에 있다.

핵심용어 : 수치모형, 지하수위의 변동, 투수계수

1. 서 론

지속가능한 수자원의 개발과 확보를 위해 여러 가지 방안이 제시되고 있지만, 현재 우리나라의 상황에서 비추어볼 때 바다와 접한 해안지역이 많은 지역적 특성과 이로 인한 지하수의 의존도가 상대적으로 높은 현실과 이상기후로 인한 장기적인 가뭄현상 및 집중 호우 등의 발생은 신규 수자원의 개발 및 관리를 점점 더 어렵게 하는 실정이다.

이런 문제점을 안고 있음에도 불구하고 세부적이고 신뢰성 있는 지하수 이용 현황은 조사되지 않았으며, 해안지역의 지역적 특성을 고려한 장기적인 채수량의 확보, 지하수 저류량의 효율적인 이용, 지표수 및 지하수의 통합관리, 지하수 수질의 보전 등의 적정관리가 이루어지지 않고 있는 실정이다. 따라서 현실적으로 직면한 무분별한 관정 개발 등을 억제함과 동시에 기존 관정의 효율적인 운영을 위해서 무엇보다 지하수 개발을 위해 정확한 해석이 선행되어야 할 필요가 있다.

* 수원대학교 토목공학과 석사과정 · E-mail : raydedu79@yahoo.co.kr

** 수원대학교 토목공학과 박사과정 · E-mail : daehan95@hanmail.net

*** 수원대학교 토목공학과 박사과정 · E-mail : wtkim@suwon.ac.kr

**** 공학박사 뉴멕시코대학교 연구교수 · E-mail : jayho@unm.edu

***** 공학박사 수원대학교 토목공학과 교수 · E-mail : wsan@suwon.ac.kr

2. 연구 내용

2.1 대상 유역

본 연구에서는 제주도 동부지역에 위치한 천미천 유역을 대상 유역으로 선정하였으며, 대략적인 유역의 특성 및 개황은 농촌공사의 “제주지역 지하수 인공함양에 관한 연구(1997)”와 “제주도 수문지질 및 지하수자원 종합조사Ⅱ(2002)”에서 조사된 자료를 바탕으로 하였다. 대상유역은 지리적으로 동경 $127^{\circ} 30' 47''$, 북위 $33^{\circ} 20' 45''$ 로 제주도 남동쪽에 위치한 표선지역에 해당되며 천미천은 흙붉은 오름(표고 1,391m)에서 발원하여 구좌읍을 거치면서 남류하는 총연장 37.1km, 유역 면적이 9,614m²를 갖는 도내 최대의 건천하천이다.

2.2 기초자료

2.2.1 강우량

제주도 농촌진흥원(1991)에 따르면 제주도 지역은 내륙지역보다 연평균 강우량이 약 600mm가 많은 다우지역이다. 하지만, 한라산을 중심으로 동부·서부지역의 강우량의 편차가 크기 때문에 내륙지방과 비교를 한다면 이 보다 더 클 수가 있다.

2.2.2 관측정 수위자료

지하수 모델링은 컴퓨터에 의해 계산되어지는 것으로서 대수층 조건과 흐름등의 자연상태를 수식으로 표현한다. 만일 입력자료가 부정확할 경우 그 분석결과의 신뢰도에도 심각한 문제가 발생되게 되므로 현장조사에서 얻어지는 모든 자료들의 정확한 분석과 입력이 선행되어야 하고 이에 따르는 검증 또한 필요하다. 이 검증들은 수식과 입·출력자료들의 이론적 배경확인은 물론이거니와 현장에서 실측자료와 컴퓨터 출력자료가 일치해야만 한다. 이를 위해 2002년에 대상유역에서 실측된 수위관측자료를 모의의 초기 조건으로 적용하였다.

3. 연구방법

본 연구에서 적용된 대수층의 투수계수와 저류계수는 농촌공사의 “제주지역 인공함양에 관한 연구(1997)”에서 조사된 자료를 기초로 하였으며, 관측정 측정수위와 강우량 자료는 제주도의 “제주도 수문지질 및 지하수자원 종합조사Ⅱ(2002)”에서 조사된 자료를 사용하였다.

3.1 모의과정

강우 사상에 따른 지하수위의 변동을 분석하기 위하여 다음과 같은 방법으로 연구를 수행하였다. 유역 면적 310km²의 천미천 유역에 수치모형을 구축하였고, 초기 조건으로 2001. 11. ~ 2002. 10의 실측된 강우량 자료를 적용하였다. 해안 경계조건은 정수위(0m) 평행상태로 분석을 하였으며, 강우시에만 흐름을 갖는 천미천은 경계조건으로 고려하지 않았다. 유역내 대수층의 대부분은 침상정석현무암으로 하구부에서 성읍까지 분포되어 있는 것으로 조사되어 모형에 적용하였으며, 모의기간은 1년간 평행상태로 하였다.

3.2 MODFLOW

본 연구에서 선정된 수치모형은 3차원 유한차분 모형인 MODFLOW을 이용하였다. MODFLOW 모형은 저류량과 단위포화체적당 유체의 유·출입량을 고려한 부정류 지하수 흐름 편미분 방정식을 유한차분법으로 해석하는 수치모형으로, 미국 지질 조사소(USGS)에서 개발되어 현재 전 세계적으로 가장 많이 이용되고 있는 지하수 유동 예측 프로그램이다.

4. 모의 결과

지하수위 변동을 분석하기 위해 제주도 보고서 (2002)에서 조사한 관측정들의 실측수위를 수학적으로 모델화 하여서 MODFLOW모형에 지하수위 현상을 반영하도록 하였다. 그 실측치 값이 모델화하였을 때 거의 일치하기 위해 몇가지 가정을 하였다. 모의 구역 선정에서 천미천 동쪽 삼달리 와 신흥리 서쪽의 지하수 흐름은 각각의 경계와 평행하게 흐른다고 가정하였다. 모의 유역 대수층은 1개의 다공질 매체로 구성되었으며 1% ~ 12%의 공극률을 가진다고 가정하였다. 대수층 평면의 값이 일정한 2차원 등방성 투수계수로 가정하였고 증발산은 무시하였다.

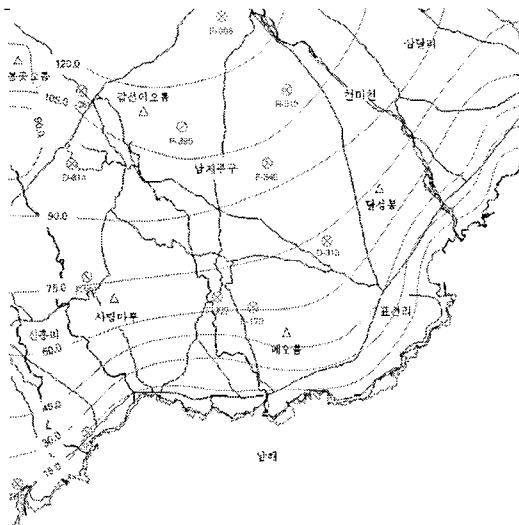


그림 1. 지하수 모의 등수위선도

그림 1은 모의된 지하수위 분포를 나타낸다. 지하수위는 해안선을 따라 비교적 등분포하고 있으며, 해발고도 290m에 이르는 북서부 봉곳 오름 주위에서는 지형적 영향을 상당히 받는 것으로 모의 되었다. 모의 유역 동서쪽 경계에는 지하수의 흐름이 유역경계와 평행으로 유지된다고 가정하였으므로 등수위선도 유역경계와 직각으로 분포되게 계산되었다. 대부분의 관측정들은 이와같이 가정한 유역경계 조건들에서 멀리 떨어져 위치하고 있어 직접적인 영향을 받지는 않을 것으로 사료되나, 태홍 영구정(TH-2)과 신흥 영구정(SH-1)등 비교적 경계와 가까이 위치한 측정 지하수위에는 가정에 따른 오차가 발생하고 있다.

12개 관측정의 지하수위 계산치와 측정치의 오차를 그림 2에서 비교하였다. 계산 수위와 측정 수위가 각각 세로축과 가로축에 점들로 도시되어 있다. 계산치와 측정치가 일치하는 값들은 45° 실선위에 위치하며 주위의 점들은 측정치의 95% 신뢰구간을 나타낸다. 그림 2에서 보는 바와 같이, 모든 점들은 실선위에 분포하고 있는데, 이는 모든 계산치들이 측정치보다 높게 모의 되었음

을 의미한다. 그래프 좌측하단부에 위치한 태홍 영구정(TH-2)과 신흥 영구정(SH-1)의 값들은 95% 신뢰구간에 들지 못하였다. 그 원인은 위에서 제기된 가정된 유역경계조건의 영향으로 사료되며 따라서 서쪽 경계 유역은 좌우로 진행되는 지하수 유동이 있을 것으로 예상된다. 중심부에 위치한 관측정 F-338과 F-179의 경우는 상대적으로 유역의 정수위 경계조건에서 떨어져 있으므로 오차의 범위가 비교적 높게 모의된다. 국지적인 대수층 투수계수와 저류계수의 조절이 필요하다 총 12개 관측정 측정치와 비교결과, 약 14.7m의 평균 오차와 21% 정규 실효치로 모의되었다.

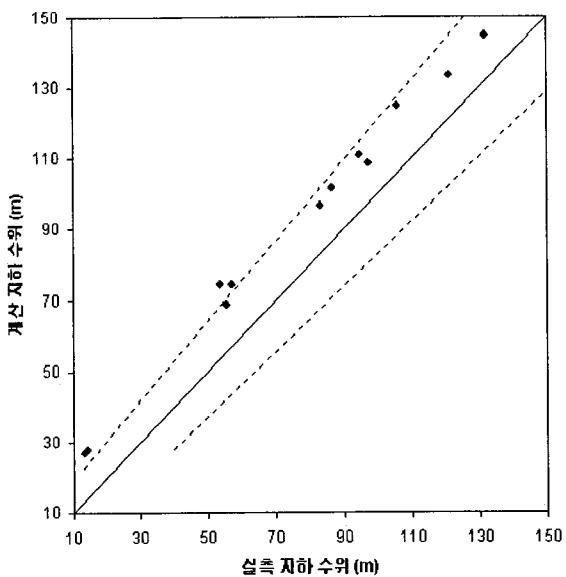


그림 2. 모의된 지하수위와 실측치의 비교

5. 결 론

본 연구에서는 1년간의 강우에 따른 지하수위 변동을 평형상태로 모의하였다. 보다 신뢰성 있는 모형 구축을 하기위해 대수층의 세부적인 형태, 투수계수, 저류계수, 공극률에 대한 민감도 분석이 필요할 것으로 판단되며, 또한 유역 크기와 경계조건 및 이에 따른 유한차분 격자수와 크기의 조절들도 필수적이다.

지금까지 수행된 평형상태의 지하수위 모의 결과를 바탕으로 비평형상태의 지하수위 변동에 대한 모의가 계획중에 있다. 향후 계속되어지는 연구를 수행하여 기초 자료의 D/B화 및 해안 지역의 유출 특성 파악으로 신뢰도 있는 제주도 지역의 지하수 해석에 대한 평가가 수행될 것으로 기대되며, 이를 통해 개발 가능량 및 험양량 등에 대한 정량적인 평가도 수행될 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- 박남식, 심명근, 홍성훈, 한수영(2003). 해안지역 지하수 개발의 필요성과 개발 가능성, 한국수자원학회지, 1738-9488, 제36권1호, pp. 99-106.
- 홍성훈, 한수영, 박남식(2003). 해안지역의 지하수 개발가능량 평가, 대한토목학회논문집, Vol. 23, No. 3B, pp. 201-207.

3. 1996. 제주지역 지하수 인공함양에 관한 연구. 농림부. 보고서.
4. 2002. 제주도 수문지질 및 지하수자원 종합조사Ⅱ. 제주도. 보고서.
5. Harbaugh, A. W.(2005). Modflow-2005, The U.S. Geological Survey Modular Groundwater Model—the Ground-Water Flow Process, USGS Techniques and Methods 6-A16, USGS., Reston, Virginia.