

제주지역 유역분할 방법에 따른 지하수 흐름특성

Groundwater Flow Characteristics of according to Watershed Segmentation Method in Jeju Island

김민철*, 양성기**, 강명수***

Min-Chul Kim, Sung-Kee Yang, Myung-Su Kang

요 지

제주지역 지하수개발을 위해서는 굴착예정지역의 지하수위를 예측하고, 지하수 해석 모델을 이용하여 사용량에 따른 수위변동을 분석한다. 그러나 지하수 개발예정지역은 관측결과가 없는 미계측 지점으로 정확한 수위를 예측하기에는 한계가 있다. 일반적으로 실무에서는 분석유역 내 관측점의 관측수위와 모델에서 계산된 지점수위만을 비교한 후 부정류 해석을 실시한다. 이러한 경우 관측지점에 한하여 유사한 지하수위를 도출할 수 있지만 미계측 지역의 지하수위는 검증되지 않은 결과이기 때문에 정확한 부정류해석이 어렵다. 특히, 제주지역의 지하수흐름은 지역별 표고분포와 상이한 결과가 나타나기 때문에 실제 지하수흐름과 유사하게 묘사될 수 있도록 분석지역의 특성에 적합한 지하수 모델 분석방법이 필요하다. 본 연구에서는 지하수 해석모형을 이용하여 대정유역의 지하수흐름을 모의하고, 실무에서 적용되는 방법의 문제점을 파악하여 모델의 지하수흐름이 실제 흐름과 유사하게 묘사될 수 있도록 모델경계설정방안을 분석하였다.

핵심용어 : 대정유역, 지하수위, 지하수흐름, 경계설정

1. 서론

제주지역은 현재 고도성장시기로 매우 많은 인구가 유입됨에 따라 안정적인 용수확보를 위한 지하수의 신규개발이 지속적으로 증가되고 있는 실정이다. 신규 지하수를 개발하기 위해서는 제주특별자치도 지하수관리조례에 의거하여 지하수 영향조사서가 작성되어야 하며, 굴착예정지역의 지하수위를 예측하고, 지하수 해석모형을 이용하여 지하수의 양수에 따른 수위강하 및 유동방향 등 다양한 분석을 수행하여야 한다.

지하수 해석모형은 실제 현장을 재현하기 위한 수치해석 모델로 지역별 지하수 개발에 따른 유동특성 및 가뭄에 따른 수위강하, 지하수위 변화 예측 등 부정류 해석을 위해 많은 연구기관에서 사용되고 있다. 실무에서는 일반적으로 분석유역 내 지하수 관측수위와 계산된 지하수위를 비교·검증하여 정상류상태의 지하수흐름을 구축한 후 부정류해석을 실시한다. 이와 같은 경우 관측지점에 한하여 유사한 지하수위를 도출할 수 있으나, 미계측지역의 수위 및 지하수의 흐름은 검증되지 않은 결과이기 때문에 명확한 부정류상태의 결과를 도출하기 어렵다. 또한 지하수 분석을 위한 유역설정은 지표의 지형 및 분수량, 하천 등으로 구분된 지표유역을 기준으로 분석되고, 각각의 함양량 및 수리전도도, 공극률 등 적용인자들의 경계조건 또한 지표의 경계에 따라 적용되고 있어 지하수 모델분석의 보정과정 및 결과에 대한 면밀한 검토가 필요하다

본 연구에서는 2014년 제주도 지하수 관측수위를 활용하여 지하수 등수위선을 작도하고, 중유역으로 구분된 16개 유역을 대상으로 동일표고지점에서 지하수위의 오차가 가장 크게 나타나는 유역을 연구대상유역으로 선정하였다. 또한 지하수 모델링을 통해 연구대상유역의 지하수흐름을 모

* 정회원 · 제주대학교 토목해양공학과 박사과정 · E-mail : minchul1122@hanmail.net

** 정회원 · 제주대학교 토목해양공학과 교수 · E-mail : skyang@jejunu.ac.kr

*** 정회원 · 제주대학교 토목해양공학과 박사과정 · E-mail : hallaman7@naver.com

의하고, 실제 등수위선과의 유사성을 비교·검토하였으며, 실무에서 적용되는 방법의 문제점을 파악하여 모델의 지하수 흐름이 실제 흐름과 유사하게 묘사될 수 있도록 모델적용방안을 분석하였다.

2. 제주도 등수위선 작성 및 연구대상구역

제주특별자치도 수자원본부에서 운영하는 131개소의 지하수 관측공 중 자료 확보가 가능한 126개소의 2014년 연평균 지하수위자료를 활용하여 제주지역 지하수 등수위선 작성하였다(Fig. 1). 제주도 남·북지역의 지하수흐름은 표고상승여부에 따라 유사하게 나타나지만 동·서지역은 표고상승과 상이한 결과가 나타났으며, 특히, 서부지역의 대정구역이 동일 표고지점 지하수위오차가 가장 크게 발생되어 본 연구의 연구대상구역으로 선정하였다(Fig. 1, Table 1).

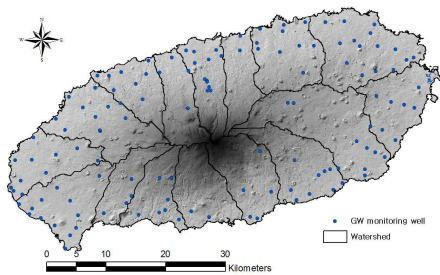


Fig. 1. 제주도 관측공 현황

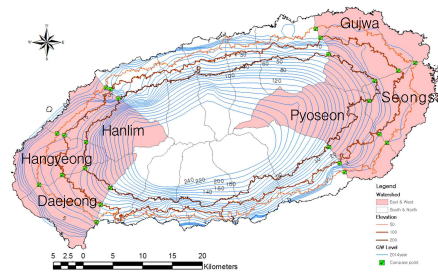


Fig. 2. 동·서부지역 표고와 지하수위 비교

Table 1. 동·서부지역 표고에 따른 지하수위 오차

표고(m)	동부지역 수위오차(m)			표고(m)	서부지역 수위오차(m)		
	구좌	성산	표선		한림	한경	대정
50	0.20	0.20	0.00	50	3.91	2.95	5.72
100	0.14	0.92	4.25	100	5.88	15.91	19.54
200	10.92	8.81	39.18	200	23.66	18.39	46.29
평균	3.75	3.31	14.48	평균	11.15	12.42	23.85

3. 모형구축

지하수 흐름 해석을 위해 MODFLOW(McDonald와 Harbaugh, 1988)를 이용하였으며, 입력인자는 지층, 함양량, 공극률, 수리전도도, 관측수위자료를 적용하였다. 1층은 투수성이 양호한 화산암층, 2층은 투수성과 공극률이 낮은 저투수층으로 단순화하였으며, 지하수 함양량은 제주특별자치도 수자원관리종합계획(Jeju Special Self-Governing Province, 2013)의 자료를 참고하여 대정구역의 고도별 함양량을 적용하였다. 수리전도도는 제주도 수문지질 및 지하수자원 종합조사Ⅲ(Jeju, 2003) 중 제주도 광역상수도 및 해수침투 감시관측정 자료의 서부지역 평균 수리전도도에 제시된 자료를 이용하여 분석하였고, 공극률은 화산분출암의 공극률 14~40% 범위 내에서 적용하였다(Fetter, 1994).

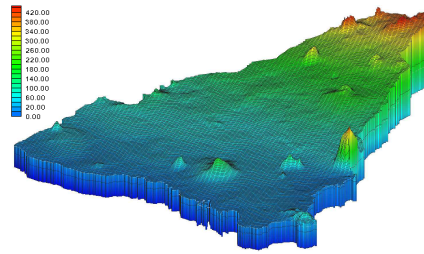
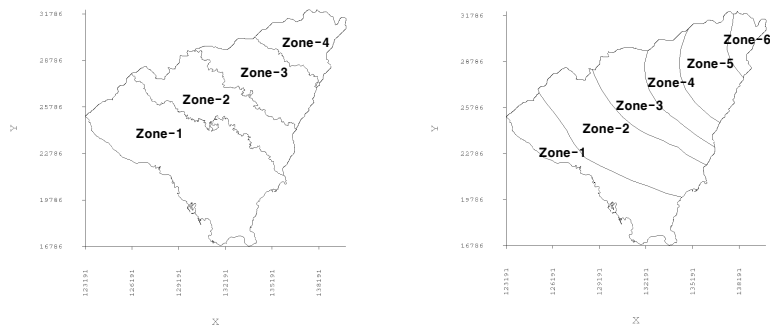


Fig. 3. 모의영역 및 격자구성

수리전도도 적용을 위한 유역분할은 실무에서 일반적으로 적용되는 표고기준 방법과 지하수 등수위선 기준 방법으로 세분화하였으며, 수리전도도 적용방법에 따른 지하수흐름을 검토하였다. 표고기준의 유역분할 방법은 대정유역의 토지이용현황을 배경으로 표고 50 m이하(Zone1), 50 ~ 100 m(Zone2), 100 ~ 200m(Zone3), 200 m이상(Zone4) 총 4개의 구역으로 구분하였다(Fig. 4.a). 지하수 등수위선을 이용한 유역구분은 앞절에서 구축한 제주도 지하수 등수위선 자료를 토대로 대정유역 경계에 따라 등수위선을 산출하였다. 유역은 수위선을 기준으로 5 m이하(Zone1), 5 ~ 20 m(Zone2), 20 ~30m(Zone3), 30 ~ 50 m(Zone4), 50 ~ 100 m(Zone5), 100 m이상(Zone6)으로 분할하였다(Fig. 4.b).



a. 표고기준 유역분할 b. 등수위선기준 유역분할

Fig. 4. 대정유역 수리전도도 적용 경계설정

4. 표고기준 유역분할에 따른 지하수흐름

대정유역 정상류상태에서 계산된 수위를 실제 관측수위와 비교한 결과 수위오차는 -4.22 ~ 1.54m, RMSE는 1.465로 비교적 양호한 결과가 산출되었다(Table 3). 지하수의 흐름은 DEM을 이용하여 분석된 대정유역의 지형구배와 유사한 서남방향으로 발달하는 것으로 확인되었다(Fig. 5). 반면, 등수위선을 통해 구축된 대정유역의 지하수 흐름은 Fig. 6과 같이 서쪽방향으로 흐름을 보이다가 해안지역으로 진행될수록 서남방향으로 진행되어 분석결과의 지하수 흐름과 상이한 것으로 확인되었다.

실무에서는 지하수 흐름에 대한 검증은 실시하지 않고, 관측소 지점의 실제 관측수위와 계산된 수위의 오차만을 비교하여 부정류 해석을 실시하게 된다. 표고를 기준경계로 설정하여 지하수 해석을 실시한 경우 관측지점에 대한 오차율은 비교적 작게 나타나지만 지하수의 흐름은 상이한 결과를 보여주는 것으로 확인할 수 있다. 이러한 결과를 바탕으로 부정류 해석을 실시하게 된다면 관측소가 위치한 지점에 한하여 수위변화 예측이 가능하지만 미계측된 지역의 수위 변동 및 흐름 방향에 대해서는 신뢰도가 낮은 결과로 분석된다.

Table 3. 관측수위와 계산수위 비교 (표고기준)

관측점	관측수위	계산수위	오차
SG2	24.56	26.10	1.54
SG1	27.54	23.32	-4.22
AS	14.50	14.68	0.18
HM2	1.38	2.87	1.49
HM1	0.34	0.35	0.01
IG	3.33	3.48	0.15
YR1	2.86	3.73	0.87
SM2	6.56	6.12	-0.44
SM1	2.75	2.96	0.21
ML2	8.82	8.97	0.15
SG3	98.61	98.92	0.31

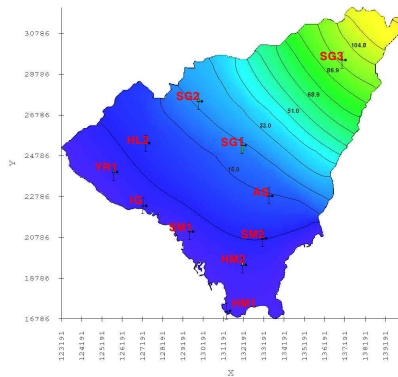


Fig. 5. 표고기준 유역분할에 따른 지하수흐름

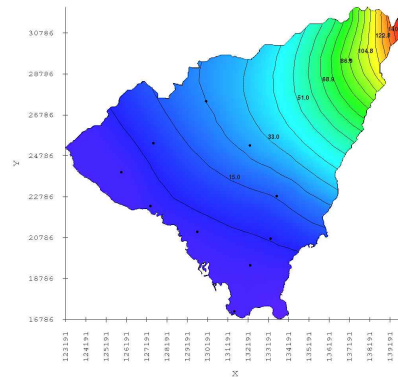


Fig. 6. 실제 지하수흐름

5. 등수위선기준 유역분할에 따른 지하수흐름

등수위선을 기준하여 유역을 세분화하고 모의한 결과 관측수위와 계산수위의 오차는 -0.95 ~ 1.26 m이며, RMSE는 0.676으로 기존 표고를 기준으로 세분화하여 분석한 결과에 비해 오차는 작게 발생되었다(Table 5). 또한 지하수 흐름은 대정유역의 등수위선과 유사한 방향으로 진행되는 것으로 분석되어 등수위선으로 세분화하여 수리전도도를 적용한 결과가 상대적으로 높은 상관도가 있는 것으로 분석되었다(Fig. 7).

Table 5. 관측수위와 계산수위 비교 (등수위선기준)

관측점	관측수위	계산수위	오차
SG2	24.56	23.61	-0.95
SG1	27.54	28.78	1.24
AS	14.50	14.91	0.41
HM2	1.38	2.65	1.27
HM1	0.34	0.28	-0.06
IG	3.33	3.25	-0.08
YR1	2.86	3.38	0.52
SM2	6.56	5.91	-0.65
SM1	2.75	2.55	-0.20
ML2	8.82	8.56	-0.26
SG3	98.61	98.59	-0.02

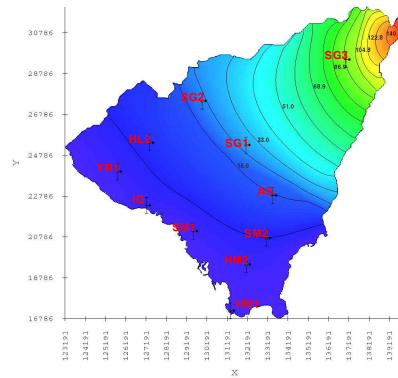


Fig. 7. 등수위선기준 유역분할에 따른 지하수흐름

6. 결론

실제 지하수의 흐름은 함양조건과 다양한 지형·지질특성에 의해 지배되지만 일반적으로 수문 분석은 지표의 고도경계를 기준으로 수행되므로 지하수의 흐름특성을 고려하여 다양한 요소의 경계를 설정하기에는 한계가 있다. 이 연구는 지표의 고도분포와 지하수의 수위관계가 상이하게 나타나는 지역을 대상으로 모델적용의 문제점을 파악하고, 자연현상과 유사한 형태로 모의될 수 있도록 모델 경계설정방안에 대하여 분석하였으며, 이러한 결과는 실무에서 매우 유용하게 적용될 것으로 판단된다. 그러나, 본 연구에서는 지하수 관측수위를 활용하여 구축한 등수위선을 실제 지하수흐름으로 적용한 것으로 향후 지하지질의 수리특성 및 미세측지역에 대한 정밀한 수위예측 등 다양한 연구방법에 따라 지하수 모델적용방안을 지역적 특성을 고려하여 개선해 나갈 필요가 있겠다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부의 건설교통기술지역특성화사업 “제주권 국토교통기술 지역거점센터(16RDRP-B076 272-03)에 의해 수행되었습니다.

참고 문헌

1. McDonald, M. G., Harbaugh, A. W., 1988, A modular three-dimensional finite-difference groundwater flow model, Techniques of Water-Resources Investigations of the United States Geological Survey.
2. Jeju Special Self-Governing Province, 2013, Water resources management master plan.
3. Jeju, 2003, Comprehensive Survey of Hydrogeology and groundwater resources in Jeju Island(III), 173-179.
4. Fetter, C. W. 1994. Applied Hydrogeology, third edition, Macamillan College Publishing Company.