

ORIGINAL ARTICLE

제주도 표선유역의 물수지 평가를 위한 지하수 유동 모델링

송성호* · 이규상 · 안중기 · 전선금¹⁾ · 이명재¹⁾

한국농어촌공사 농어촌연구원, ¹⁾(주) 지오그린21

Groundwater Modeling for Estimating Water Balance over Pyosun Watershed in Jeju Island

Sung-Ho Song*, Gyu-Sang Lee, Jung-Gi An, Sun-Geum Jeon¹⁾, Myung-Jae Yi¹⁾

Rural Research Institute, Korea Rural Research Institute, Ansan 426-170, Korea

¹⁾Geogreen 21 Ltd., Seoul 152-719, Korea

Abstract

To estimate water balance of Pyosun watershed in Jeju Island, a three-dimensional finite difference model MODFLOW was applied. Moreover, the accuracy of groundwater flow modeling was evaluated through the comparison of the recharge rate by flow modeling and the existing one from water balance model. The modeling result under the steady-state condition indicates that groundwater flow direction was from Mt. Halla to the South Sea and groundwater gradient was gradually lowered depending on the elevation. Annual recharge rate by the groundwater flow modeling in Pyosun watershed was calculated to 236 million m³/year and it was found to be very low as compared to the recharge rate 238 million m³/year by the existing water balance model. Therefore, groundwater flow modeling turned out to be useful to estimate the recharge rate in Pyosun watershed and it would be available to make groundwater management policy for watershed in the future.

Key words : Water balance, Pyosun watershed, MODFLOW, Recharge rate, Groundwater modeling

1. 서론

유역단위의 물수지는 일정기간 동안 해당유역 내로 유입되는 물과 유출되는 물의 균형상태를 말한다. 일반적으로 소유역의 경우 유입량 중 가장 큰 요소는 강수량이지만, 유역 외부로부터 유입되는 하천수량과 지하수량도 포함된다. 반면 유출량은 증발산량, 직접 유출량, 지하수 관정을 통한 취수량과 더불어 유역 외부로 유출되는 지하수량이 포함된다. 따라서 물수지 분석을 위해서는 유입 및 유출량을 평가하는데, 앞서 언급된 강수량, 직접 유출량, 증발산량 및 지하수 취수량 등은 평가 방식에 따

라 체계적으로 계산이 가능하다. 그러나 일반적으로 소유역의 경계부는 지표수 분수량을 기준으로 설정되기 때문에, 대수층 구조가 지표수 유역과 다른 경우 정확한 물수지 분석에 한계가 있다. 그러므로 유역단위의 정확한 물수지 분석을 위해서는 대수층을 통한 지하수 유입 및 유출량의 합리적인 평가가 필수적이다. 이를 위하여 대수층의 지하수 유동을 포함한 다양한 수문학적 연구가 진행되고 있으며, 특히 대수층이 화산암층으로 구성되어 주변 유역간의 수평적인 지하수 유동이 활발한 제주도에 대하여 권역별 지하수위 장기관측자료를 이용한 지하수 부존량 변동 평가 결과들이 제시되고 있다 (Song 등,

Received 28 January, 2015; Revised 9 March, 2015;

Accepted 9 March, 2015

*Corresponding author : Sung-Ho Song, Rural Research Institute, Korea Rural Community Corporation, Ansan 426-170, Korea

Phone: +82-31-400-1723

E-mail: shsong@ekr.or.kr

© The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.

© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

2013; 2014b)

본 연구지역은 제주도 동부유역에 위치한 표선유역으로, 1992년부터 2011년까지 20년간 강수량자료로 분석한 수문총량은 16개 유역 중 가장 많은 평균 537백만 $m^3/year$ 이다 (JSSP, 2012). 이 중 증발산량은 전체 수문총량의 약 29%인 156백만 $m^3/year$ 로, 이 중 해발고도 200~600 m 구간에서 전체의 약 58%인 90 백만 $m^3/year$ 를 차지한다. 직접 유출량은 전체 수문총량의 약 27%인 143백만 $m^3/year$ 로, 수문총량에서 증발산량과 직접 유출량을 제외한 함양량은 238백만 $m^3/year$ 이다. 그러나 JSSP (2012)에서 제시한 동부지역의 함양량은 수문총량의 약 48%인 522백만 $m^3/year$ 로, 동부유역 수문총량 대비 표선유역 수문총량인 약 49%를 적용하면 표선유역의 함양량이 256백만 $m^3/year$ 로 실제 계산한 함양량과 약 18백만 $m^3/year$ 의 차이가 발생한다.

이러한 차이는 수문요소 중 강수량에 의한 수문총량을 제외한 증발산량과 직접 유출량 평가 시 발생하는 다양한 요소들의 불확실성에 기인하는 것으로 판단된다. 특히 동부유역의 경우 12개소의 우량 관측소의 자료를 기초로 수문총량을 계산하는데 비해, 증발산량 평가 시에 활용된 기상관측 지점은 5개소 (성판악, 선흘, 구좌, 성산, 표선)이다. 또한 제한된 관측소의 관측자료로 산정한 기준 증발산량에 대해, 토지이용별 작물계수를 적용함에 따른 오차요인 역시 클 것으로 판단된다 (JSSPDC, 2014). 직접 유출량의 경우에는 미국 천연자원보존국 (NRCS, Natural Resources Conservation Service)에서 제시한 NRCS-CN법을 이용하여 산정하는데, 하천을 통한 유출 특성이 내륙과 달리 유출량 미세측 지역의 분포 면적이 넓어 분석 시 불확실성이 크게 나타날 수 있다 (Song 등, 2014a). 이러한 문제점 극복을 위하여 소유역별로 중산간 및 산악지대에 설치된 우량 관측자료를 이용한 물수지 분석 (An 등, 2006; An과 Kim, 2006, 2008) 및 상시하천에 대한 유출 특성 분석을 위한 시도가 계속되어 왔다 (Ha 등, 2008).

본 연구에서는 제주도 표선유역의 포화대에 대한 지하수 유동을 모의할 수 있는 3차원 유한차분 모형을 이용하여 물수지를 분석하였다. 모의 결과는 기존의 수문분석 결과 (JSSP, 2012)와 비교하여 표선유역의 물수지 평가의 개선방안을 제시하였다.

2. 연구방법

2.1. 연구지역

제주도는 한라산을 중심으로 해안방향으로 고도가 완만하게 낮아지는 지형적 특성으로 지표수계 구분은 용이하다. 그러나 수리지질을 구성하고 있는 화산암의 특성상 수평적인 투수성이 높고 내륙에 비해 지하수위가 깊어 지하수계 구분은 상대적으로 어렵다. 이에 따라 약 180여개의 하천 중 상시하천 (perennial stream)은 한라산을 중심으로 남북에 각각 2곳으로 형성되고, 나머지 대부분의 하천은 건천을 이루고 있다. 이러한 수리지질학적 특성으로 제주도 수자원의 약 98% 이상이 지하수이다 (Won 등, 2006).

제주특별자치도에서는 유역별 지하수의 지속 이용 가능량 산정을 위하여, 지표수계를 기초로 4개의 대유역과 16개의 소유역으로 분류하고 있다 (JSSP, 1993). 본 연구대상인 표선유역은 제주도 대유역 중 동부유역에 속하며, 서측으로 한라산에 속하는 높은 지형에서 제주도 동쪽 해안의 낮은 지형으로 동고서저의 지형특성을 나타낸다. 표선유역 내의 상시하천은 없으며, 유역평균 강수량이 80 mm 이상인 경우에 천미천에서 유출이 발생한다 (JSSPDC, 2014).

지층구조는 기저현무암과 서귀포층의 상부에 용암분출로 인한 화산암류로 구성되는데, 상부의 화산암류는 여러차례의 화산활동으로 인하여 다공질 현무암과 치밀한 현무암층이 반복되어 나타난다 (JSSPDC, 2014). 그러나 화산암층의 두께는 표선유역 상류와 하류에서 다양하게 나타남에 따라, 단속적으로 연결된 소규모 대수층이 연결된 것으로 해석된다. 따라서 본 연구에서는 지하수 모델링을 위한 개념모델로 하부의 서귀포층을 기반암으로 상부의 화산암층을 대수층으로 구분하였다.

2.2. 모의영역 설정 및 입력자료

지하수 유동 모형은 지하수 수문 순환 및 오염물질의 이동 특성 등을 단순화시킨 수학적 표현으로, 본 연구에서는 포화대에서의 지하수 유동을 모의할 수 있는 3차원 유한차분 지하수 유동 모형인 MODFLOW를 이용하였다 (McDonald and Harbaugh, 1988).

모의영역은 표선유역에 대하여 100×100 m의 격자망으로 설정하였으며, 지하수를 연중 채수하는 상류부의

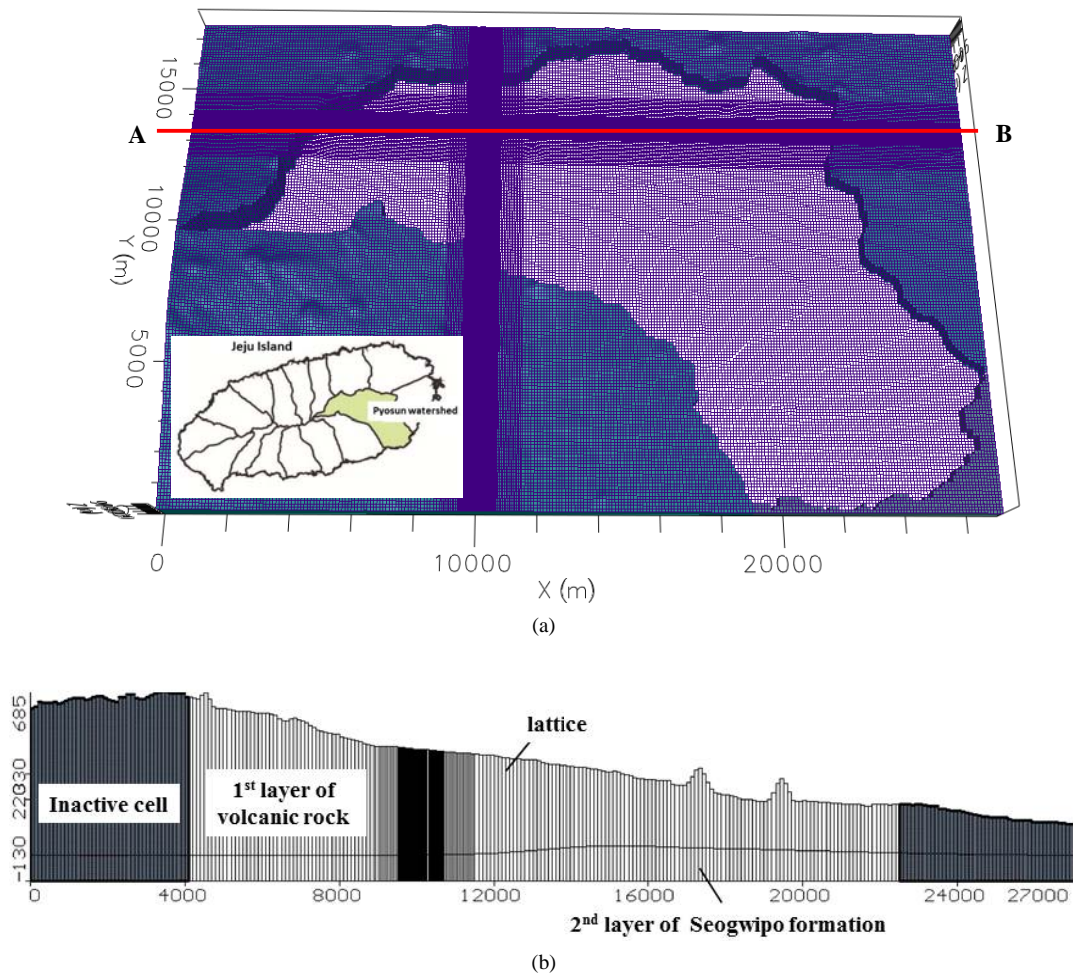


Fig. 1. Mesh structure (a) and vertical section along the A-B line in Pyosun watershed.

삼다수 먹는샘물 취수정 인근에 대하여는 격자 간격을 50×50 m와 25×25 m로 세분하였다 (Fig. 1(a)). 지층은 화산암층과 서귀포층을 2개 층으로 구분하였으며, 각각 주대수층과 기저층으로 설정하였다 (Fig. 1(b)). 이때 서귀포층의 바닥 표고는 -130 m로 설정하였다. 경계조건은 유역을 경계로 바깥 부분은 비활성격자 (no-flow boundary), 남쪽 해안선은 일정수두경계 (constant head boundary)로 설정하였다.

모의지역 상부층의 수리전도도는 해발고도 200 m 이하의 기존의 농업용 관정의 양수시험 결과를 이용하였으며, 200 m 이상은 먹는샘물 취수정에 대한 양수시험 해석 결과를 이용하였다 (JSSPDC, 2007)(Fig. 2). 또한 하

부 서귀포층의 경우에는 기존의 자료를 해발고도 200 m를 기준으로 적용하였다 (Table 1). 이때 기존의 농업용 관정과 먹는샘물 취수정의 대수층의 두께를 고려하여 산출된 비저류계수 (S_s)와 비산출률 (S_y)을 모의에 적용하였다.

함양량은 유역 표고별로 200 m 이하, 200~600 m, 600 m 이상으로 구분한 후, 각 부분별로 수문총량에서 증발산량과 직접유출량을 제외한 양으로 각각 915 mm/year, 1,412 mm/year, 1,854 mm/year을 입력하였다 (JSSP, 2012)(Table 2). 이때 해안선으로부터 직선거리로 500 m 이내의 범위는 지하수 함양 지역에서 제외하였다.

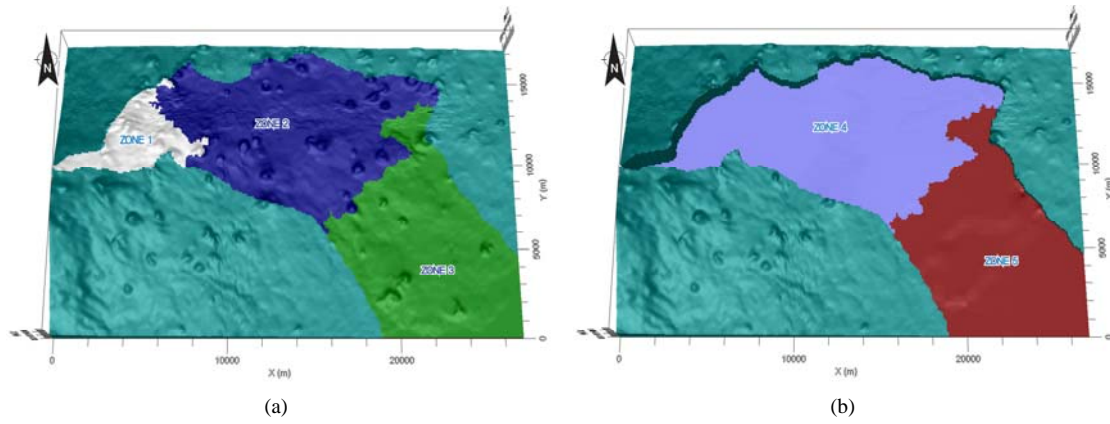


Fig. 2. Distribution of hydraulic conductivity to five zones for upper layer (a) and lower layer (b) in Pyosun watershed.

Table 1. Hydraulic conductivity allocated to five zones for each layer in Pyosun watershed

Layer		Kx = Ky (cm/sec)	Kz (cm/sec)	Ss (m-1)	Sy (-)
Volcanic rocks	Zone 1	1.00×10^{-2}	1.00×10^{-3}	2.3×10^{-5}	0.12~0.14
	Zone 2	3.37×10^{-2}	3.37×10^{-2}		
	Zone 3	3.59×10^{-2}	3.59×10^{-2}		
Seogwipo formation	Zone 4	1.64×10^{-4}	1.64×10^{-5}	2.0×10^{-5}	0.12
	Zone 5	1.98×10^{-5}	1.98×10^{-6}		

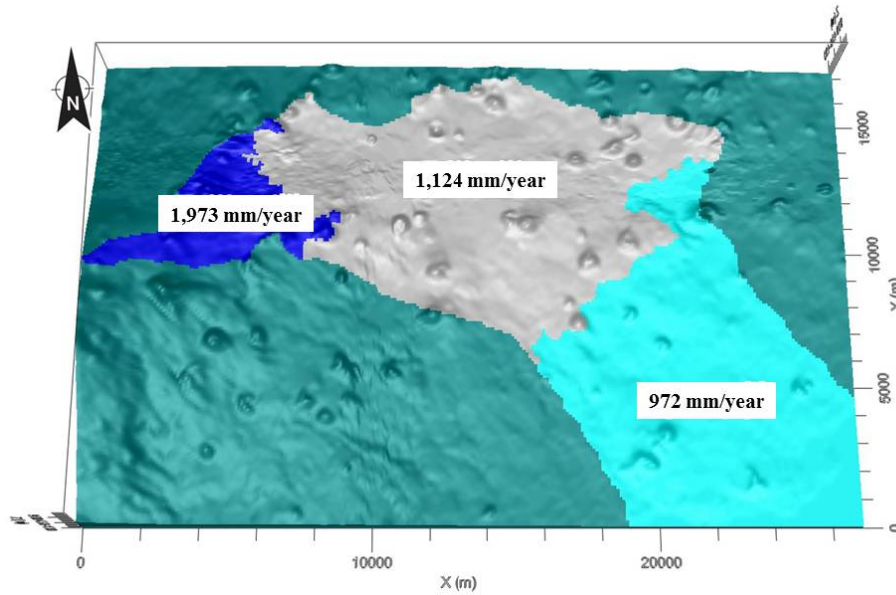


Fig. 3. Distribution of recharge rate for each zone in Pyosun watershed.

Table 2. Hydrological elements for each level in Pyosun watershed

Elevation	TWR (10 ⁶ m ³ /yr)	EVT (10 ⁶ m ³ /yr)	DR (10 ⁶ m ³ /yr)	Recharge rate		Recharge ratio (%)
				10 ⁶ m ³ /yr	mm/yr	
< 200 m	189	46	63.8	79.2	972	42.1
200~600 m	277	90	69.2	117.8	1,124	42.5
> 600 m	71	20	10.0	41.0	1,973	57.2

TWR: total amount of water resources, EVT: evapotranspiration, DR: direct runoff

3. 지하수 유동 모의

3.1 정류상태의 모의 결과

정류상태의 모의는 총 243개소 관정에 대해 일평균 양수량을 유지하는 것을 가정하였으며, 이 중 수위자료가 확보된 33개소에 대하여 2005년 12월부터 2007년 3월까지 매 월 약 13회에 걸쳐 측정된 지하수위를 평균한 값을 입력한 후 모형을 보정하였다. 이때 8개의 수위관측정을 대상으로 관측 수위와 계산 수위의 차이가 최소가 되도록 조정하였다.

일반적으로 모형 보정 시에는 식 (1)과 (2)와 같은 RMS (root mean square)와 Normalized RMS가 가능한 최소가 되도록 한다.

$$RMS = \frac{1}{n} \sqrt{\sum_{i=1}^n (X_{cal} - X_{obs})^2} \quad (1)$$

$$Normalized\ RMS = \frac{S}{(X_{obs})_{max} - (X_{cal})_{min}} \quad (2)$$

여기서 X_{obs} 는 현장 측정 수두값, X_{cal} 는 모의 결과 수두값으로, 본 연구에서는 두가지 모두 최소가 되도록 한 후 물수지 분석 결과 계산되는 불일치 (discrepancy)가 $\pm 1\%$ 미만이 되도록 모의하였다. 계산 결과 모의영역에서 함양량으로부터 유입되는 총유입량은 647,780 m³/day이고, 바다로 유출되는 양은 647,900 m³/day로 나타났다 (Table 3).

따라서 지하수 유동 모델링 수행 결과 표선유역의 연간 함양량은 236백만 m³/year로, 앞서 제시한 수문총량에서 증발산량과 직접 유출량을 제외한 함양량은 238백만 m³/year와 비교하면 2만 m³/year의 차이로 거의 유사한 것으로 나타났다.

유역 내 33개소 지하수위 관측정을 대상으로 계산된 수위와 관측된 수위를 비교한 결과 전체적으로 계산된 수위가 높게 나타났다. 그러나 해발고도 100 m 이상의 관정들의 경우에는 관측수위가 상대적으로 높은 것으로 나타났다. 이는 유역 상류부에 밀집한 삼다수 취수정 8곳이 반경 50 m 이내에 밀집된 반면 지하수위는 최대 33 m

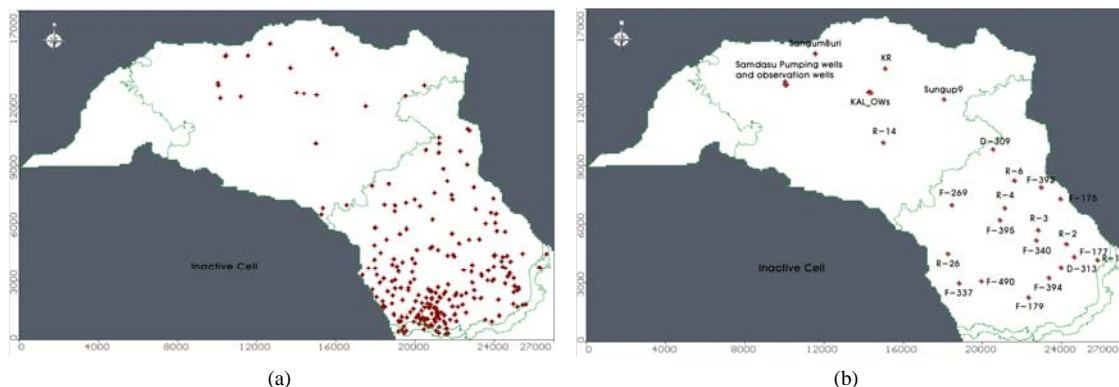


Fig. 4. Distribution of 243 existing wells (a) and 33 observation wells (b) over Pyosun watershed.

Table 3. Water budget under the steady-state condition in Pyosun watershed

	Inflow (m ³ /day)	Outflow (m ³ /day)
Recharge rate	647,780	0
Constant head boundary	0	647,900
Total	647,780	647,900
In - Out		-120
Discrepancy (%)		-0.02

이상으로 매우 크기 때문에 전체적인 모형에 미치는 영향을 반영한 것으로 판단된다 (Fig. 5).

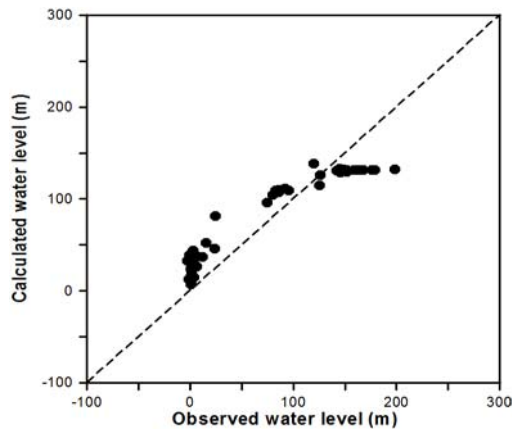


Fig. 5. Comparison between compared and observed wells after calibration of modelling.

• 민감도 분석 (Sensitivity analysis)

본 모델링에서는 수리전도도와 함양량의 입력값이 모델링 결과 지하수위에 미치는 영향을 분석하기 위하여, 두 가지 요소를 각각 20% 증가 및 감소시킨 경우에 대해

민감도를 분석하였다 (Table 4). 분석 결과 수리전도도를 20% 증가시킨 경우에는 유출량과 유입량의 차이가 21 m³/day로 거의 없지만, 20% 감소시킨 경우에는 117 m³/day으로 전체의 약 98% 차이가 발생함에 따라 민감도가 큰 것으로 나타났다. 20% 증가와 감소 시의 RMS와 Normalized RMS는 모형 보정 결과와 비슷한 것으로 나타났다. 함양률의 경우 20% 감소시킨 경우 유출량과 유입량의 차이가 각각 28 m³/day로 차이가 크지 않지만, 20% 증가시킨 경우에는 59 m³/day으로 상대적으로 큰 것으로 분석되었다. RMS와 Normalized RMS는 수리전도도와 마찬가지로 모형 보정 결과와 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 따라서 민감도 분석 결과 수리전도도와 함양율은 각각 20% 감소와 증가 시 유입량과 유출량에 영향을 크게 미치는 것으로 나타났다.

이러한 결과를 기초로 지하수 정류상태를 모의한 결과 전반적인 지하수의 흐름은 지형고도를 반영하여 서쪽의 한라산 능선부에서 유역 내 남해로 유출되는 형태로 나타났다 (Fig. 6). 해발고도 200 m 까지는 먹는샘물 취수정 밀집과 지형구배의 영향으로 등수위선이 조밀하게 나타남에 따라 수두구배가 크게 나타났다. 반면 200 m 이하의 지하수 흐름은 비교적 완만하게 나타나는 것으로

Table 4. Results of sensitivity analysis according to the variation of hydraulic conductivity and recharge rate

Parameter	Calibration	Hydraulic conductivity		Recharge rate		
		20% decrease	20% increase	20% decrease	20% increase	
Absolute residual mean (m)	38.1	38.4	40.3	40.8	37.6	
RMS (m)	64.7	61.4	69.6	70.8	61.6	
Normalized RMS (%)	17.4	16.5	18.7	19.1	16.6	
Water budget (m ³ /day)	Inflow	647,780	647,779	647,779	518,223	777,324
	Outflow	647,900	647,776	647,920	518,371	777,385
	In - Out	-120	3	-141	-148	-61
	Discrepancy(%)	-0.02	-0.00	-0.02	-0.03	-0.01

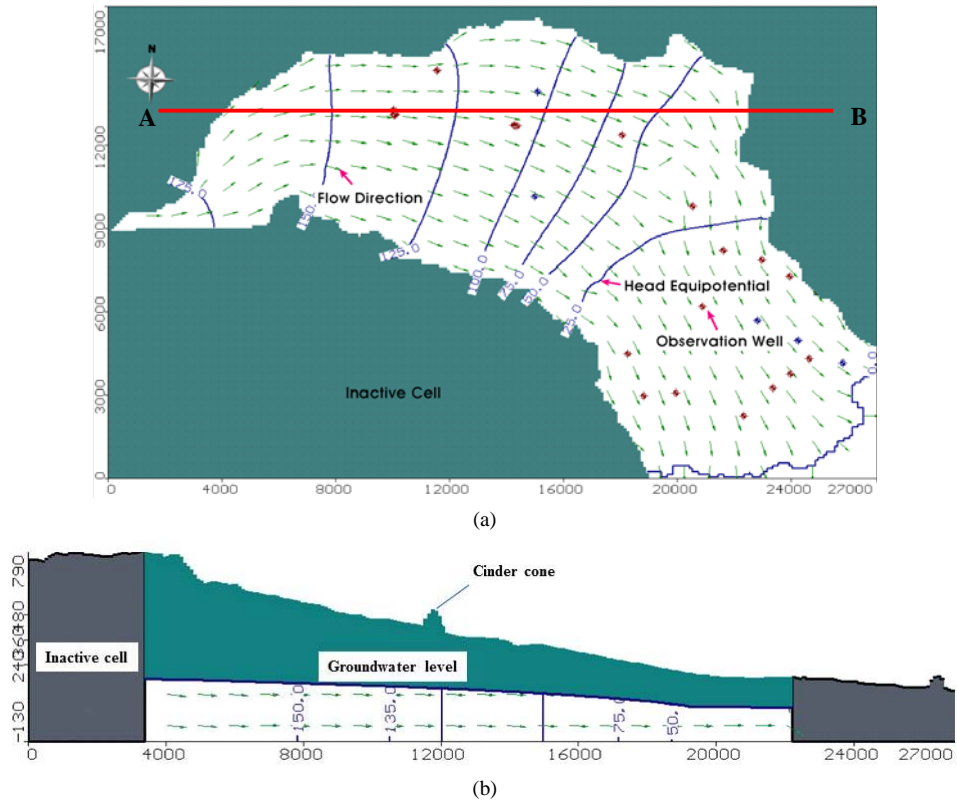


Fig. 6. Equipotential lines (a) and vertical head distribution along AB line (b) under the steady-state condition over Pyosun watershed.

분석되었다.

3.2 부정류 상태의 모의 결과

부정류 상태의 모델링을 위한 함양량 산정은 기존 정류모델에서 이용한 200~600 m 지역의 함양량 1,124 mm/년을 평균으로 산정하고, 2002년부터 2013년까지 성판악과 선흘 관측소의 강수량을 기준으로 과우년(2005)과 2009~2013년 강수량을 적용하였다 (Table

5). 부정류 상태 모의는 아래의 두 가지 경우를 대상으로, 유역전체의 지하수에 미치는 영향을 산정하였다. 첫 번째 시나리오는 강수의 변동에 따른 지하수위 변동 모사로, 2009년부터 2013년까지 함양량을 변경하여 강수의 변동에 따른 표선유역의 지하수위 변동을 모사하는 것이다. 두 번째 시나리오는 2014년부터 향후 5년간 과우년, 평년, 과우년, 평년, 과우년이 지속될 때 발생 가능한 지하수위 변동을 모의하는 것이다.

Table 5. Estimation of recharge rate for transient modelling

(unit: mm)

	Year						
	Mean	Dry year (2005)	2009	2010	2011	2012	2013
Rainfall	-	2,244	3,218	4,165	3,348	4,495	2,248
Recharge rate	1,124	954	1,014	1,312	1,054	1,416	771

• 시나리오 1: 과거 강수량 변동에 따른 지하수위 변동 모의

강수량 변동에 따른 수위변동 모의를 위하여, 2009년부터 2013년까지 5년간 표선유역 200~600 m 지역의 함양량을 변동시켜 모의를 수행하였다 (Table 6). 모델링 결과 먹는샘물 취수정 주변의 두 관측정 (O2와 KR)에서는 2010년과 2011년 함양량이 각각 1,312 mm 증가와 1,054 mm 감소에 따라, 지하수위는 O2의 경우 0.807 m 증가 후 0.522 m로 증가폭이 감소하는 것으로 나타났다. KR 관측정의 경우에도 O2관측정과 동일하게 각각 0.801 m와 0.515 m로 증가폭의 변화가 나타났다. 이러한 결과는 2012년과 2013년의 함양율 변화에 따른 지하수의 변동 양상이 동일하게 진행되는 것으로 나타났다 (Fig. 7). 이에 비해 하류부에 위치하는 R1, R2, R3, R4 관측정의 경우에는 2009년에는 상류부의 낮은 함양량을 반영하여 각각 0.009, 0.030, 0.051, 0.087 m 수위

가 낮아지지만, 5년 경과 후인 2013년에는 함양량 증가에 따라 각각 0.053, 0.146, 0.196, 0.219 m 수위가 높아지는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 상류부의 경우 지형고도에 따른 지하수위 구배가 상대적으로 커 함양율 변화에 따른 지하수위가 단기간에 변화하지만, 하류부의 경우는 지하수위의 구배가 상대적으로 작기 때문에 발생하는 것으로 판단된다.

• 시나리오 2: 미래 강수량 변동 예측에 따른 지하수위 변동 모의

미래 강수량 변동 예측에 따른 지하수위변동을 모사하기 위하여, 성판악과 선홍 관측소의 2002~2013년 기간 중 최소 강수년인 2005년의 함양량 954 mm를 기준으로 과우년 3년, 평균 강수량이 2년 지속되는 조건으로 부정류 모의를 수행하였다 (Table 7). 경과시간 1년은 과우년의 함양량이 적용되어 먹는샘물 취수정 인근의 두 관측정 (O2와 KR)에서는 각각 0.697 m와 0.701 m 수

Table 6. Estimation of groundwater level according to the change of recharge rate under the scenario 1

(unit: m)

Well #	Year				
	2009	2010	2011	2012	2013
Samdasu O2	0.208	-0.807	-0.522	-1.879	-0.214
KR	0.218	-0.801	-0.515	-1.876	-0.204
R1	0.009	0.004	-0.016	-0.044	-0.053
R2	0.030	0.006	-0.048	-0.136	-0.146
R3	0.051	-0.005	-0.072	-0.223	-0.196
R4	0.087	-0.043	-0.100	-0.367	-0.219

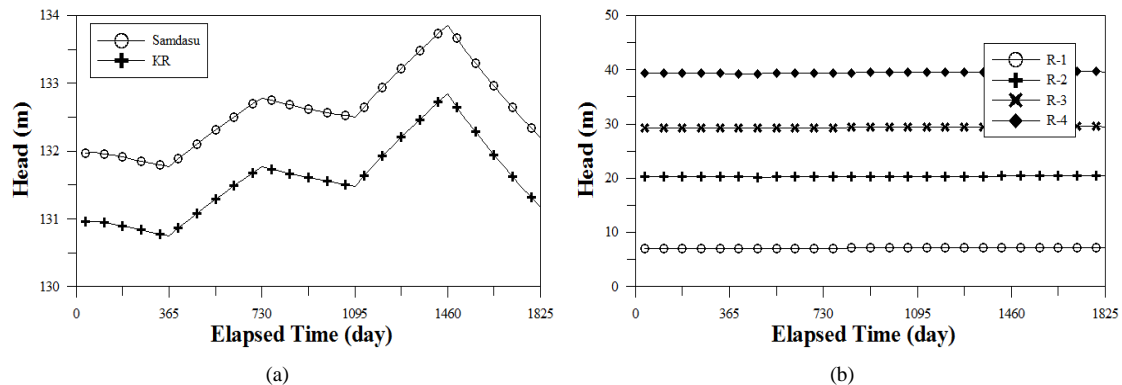


Fig. 7. Results of groundwater level fluctuation according to the change of recharge rate under the scenario 1 at two observation wells near Samdasu (a) and four observation wells in the downstream (b).

Table 7. Estimation of groundwater level according to the change of recharge rate under the scenario 2

(unit: m)

Well #	Year				
	2009	2010	2011	2012	2013
Samdasu O2	0.697	0.573	1.282	1.099	1.761
KR	0.701	0.577	1.287	1.103	1.766
R1	0.017	0.041	0.061	0.083	0.100
R2	0.054	0.120	0.182	0.241	0.293
R3	0.092	0.179	0.280	0.357	0.442
R4	0.158	0.252	0.417	0.493	0.636

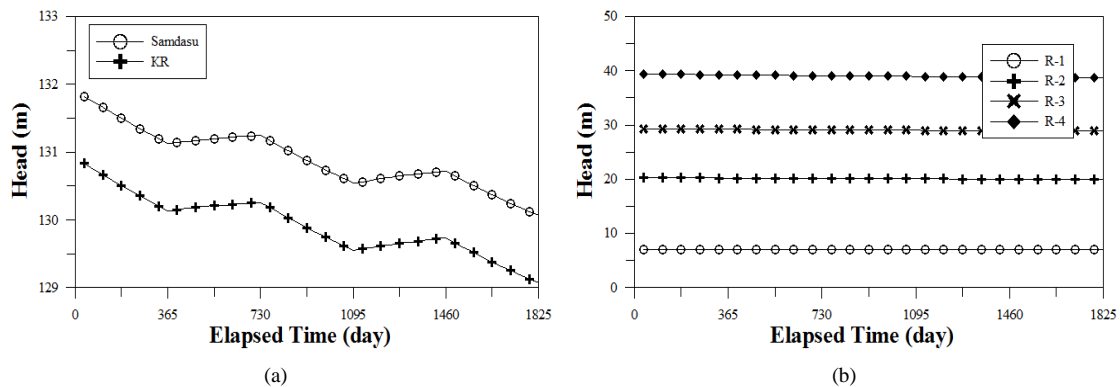


Fig. 8. Results of groundwater level fluctuation according to the change of recharge rate under the scenario 2 at two observation wells near Samdasu (a) and four observation wells in the downstream (b).

위가 낮아지는 것으로 모의되었다. 또한 과우년이 3년 간 지속되는 조건의 경우에는 5년 후에 각각 1.761 m와 1.766 m 낮아지는 것으로 예측되었다 (Fig. 8). 하류부에 위치하는 R1, R2, R3, R4 관측정의 경우에는 상류부의 관측정과 달리 하강효과는 상대적으로 적은 것으로 나타났으며, 특히 5년 후 각각 0.100, 0.293, 0.442, 0.636 m의 수위강하가 발생하는 것으로 예측되었다. 따라서 시나리오 1과 마찬가지로 지형고도에 따른 지하수 위 구배의 영향이 모의 결과에 주된 영향을 미치는 것으로 판단된다.

4. 결론

제주도 표선유역의 지하수 유동을 모의하기 위하여 3차원 유한차분 모형인 MODFLOW를 이용하여 물수지를 분석하였다. 또한 모의 결과로 나타난 함양율과 기준

의 수문분석 결과를 비교하여, 지하수 유동 모델링의 정밀도를 평가하였다.

지하수 유동 모델의 민감도 분석 결과 전반적인 지하수위 분포 및 흐름에 가장 큰 영향을 미치는 인자는 수리전도도와 지하수 함양율로 나타났다. 따라서 본 모의에서는 현장에서 측정된 수리전도도를 고려하여 모형보정을 수행하였으며, 함양율은 표선유역의 표고별 함양량을 적용하였다. 연구지역의 주대수층은 화산암층으로, 양수 시험 결과 수리전도도는 2×10^{-2} cm/sec로 나타났다. 이는 대수층이 모래 및 자갈층에 해당하는 값으로 매질의 수리적 연결성이 높은 특징이 있다.

모형보정을 통해 지하수 정류상태를 모의한 결과, 전반적인 지하수의 흐름은 지형고도를 반영하여 서쪽의 한라산 능선부에서 유역 내 남쪽바다로 유출되는 것으로 나타났다. 또한 삼다수 취수정이 위치한 지역을 포함하여 표선유역 전체 구간의 수두구배는 완만하게 나타나는

것으로 분석되었다.

과거 5년간의 강수량 변동에 따른 지하수위를 모의한 결과 상류부의 관측정에서의 지하수위는 강수량 증감에 따라 0.5~0.8 m 증가하지만, 하류부에 위치하는 관측정의 경우에는 최대 약 0.2 m 수위가 높아지는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 상류부의 경우 지형고도에 따른 지하수위 구배가 상대적으로 커 함양을 변화에 따른 지하수위가 단기간에 변화하지만, 하류부의 경우는 지하수위의 구배가 상대적으로 작기 때문에 발생하는 것으로 판단된다. 과거 자료를 기준으로 과우년 3년, 평균 강수량이 2년 지속되는 조건으로 부정류 모의를 수행한 결과, 과우년이 5년간 지속되는 경우 상류부에서는 5년 후에 약 1.8 m 낮아지지만 하류부에서는 약 0.6 m 이내의 수위강하가 발생하는 것으로 예측되었다. 따라서 시나리오 1과 마찬가지로 지형고도에 따른 지하수위 구배의 영향이 모의 결과에 주된 영향을 미치는 것으로 판단된다.

지하수 유동 모델링 수행 결과 표선유역의 연간 함양량은 236백만 m^3 /년으로, 수문총량에서 증발산량과 직접 유출량을 제외한 함양량 238백만 m^3 /년과 2만 m^3 /년의 차이로 거의 유사한 것으로 나타났다. 따라서 본 연구결과를 이용하는 경우 향후 표선유역에 대한 지하수 관리 정책에 유용한 도구로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 건설교통기술지역특성화사업 “제주형 물순환 해석 및 수자원 관리 기반 구축 연구(10 지역기술혁신B02)” 지원으로 수행되었습니다.

REFERENCE

- An, J.G., Lee, Y.D, Hwang, J.H, 2006, Estimation of the spatial distribution of groundwater recharge by grid-based soil water balance method, J. Korean Soc. Soil and Groundwater Environ., 11(1), 65-76.
- An, J.G., Kim, T.H., 2006, Water balance of a small catchment in the subalpine grassland of Mt. Halla, Southern Korea, J. Korean Geographical Soc., 41(4), 404-417.
- An, J.G., Kim, T.H., 2008, Rainfall partitioning in a small catchment of a monogenetic volcano in Jeju Island: case study on Eoseungsaeng-oreum of Mount Halla, J. Korean asso. regional geographers, 14(3), 212-223.
- Ha, K., Moon, D., Koh, K.W., Park, K.H., 2008, Runoff Characteristics of the Oedocheon Watershed in Jeju Island, J. Korean Soc. Soil and Groundwater Environ., 13(5), 20-32.
- JSSP (Jeju Special Self-Governing Province), 1993, Master plan for water resources management in Jeju Special Self-Governing Province.
- JSSP (Jeju Special Self-Governing Province), 2012, Master plan for water resources management in Jeju Special Self-Governing Province.
- JSSPDC (Jeju Special Self-Governing Province Development Corporation), 2007, Report of groundwater impact assessment for development and use of groundwater.
- JSSPDC (Jeju Special Self-Governing Province Development Corporation), 2014, Report of groundwater impact assessment for development and use of groundwater.
- McDonald, M.G., Harbaugh, A.W., 1988, A modular three-dimensional finite-difference ground-water flow model: Techniques of Water-Resources Investigations of the United States Geological Survey, Book 6, Chapter A1, 586 p.
- Song, S.H., An, J.G., Lee, G.S., 2014a, Analysis of water budget in mountainous area of Pyosun watershed considering runoff characteristics, Proceeding of KSEG Conference.
- Song, S.H., Lee, B.S., Choi, K.J., Kim, J.S., Kim, G.P., 2014b, Evaluation of drought effect on groundwater system using groundwater level data in Jeju Island, J. Environ. Sci. Int., 23(4), 637-647.
- Song, S.H., Choi, K.J., Kim, J.S., 2013, Evaluation of regional characteristics using time-series data of groundwater level in Jeju Island, J. Environ. Sci. Int., 22(5), 609-623.
- Won, J.H., Lee, J.Y., Kim, J.W., Koh, G.W., 2006, Groundwater occurrence on Jeju Island, Hydrogeology Journal, 14(4), 532-547.