

ORIGINAL ARTICLE

지하수위 변동 해석모델의 매개변수 특성 연구

김남원 · 김윤정 · 정일문*

한국건설기술연구원 수자원연구소

A Study on the Characteristics of Parameters in Groundwater Table Fluctuation Model

Nam-Won Kim, Youn-Jung Kim, Il-Moon Chung *

Water Resources Research Dept., Korea Institute of Construction Technology, Goyang 411-712, Korea

Abstract

The groundwater level varies according to the characteristics and composite materials of aquifer. In this study, specific yield and reaction factor which are the major two hydrogeological parameters in the WTF(Water Table Fluctuation) method were estimated and analyzed spatial characteristics. 8 groundwater level stations which have enough measuring period and high correlation with rainfall in the Hancheon watershed were used. The results showed that specific yield was randomly distributed and reaction factor showed inverse trend with altitude. If the enough data were collected, reaction factor according to altitude in ungauged points could be estimated by using these parameter characteristics.

Key words : Groundwater level, Parameters, Reaction factor, Specific yield

1. 서론

제주지역은 화산활동으로 인한 현무암 지역으로 대수층의 투수성과 지하수 함양량이 매우 높다. 기상청자료(www.kma.go.kr)에 따르면 제주지역의 연평균 강우량이 약 1,900 mm 이상으로 다우 지역임에도 불구하고 급한 지형경사로 인해 유로연장이 짧으며, 고투성의 매질로 구성되어 다량의 강우가 집중될 경우에만 유출이 발생하므로, 이 지역의 유출률은 내륙에 비해 낮은 수준이다. 다시 말해 제주지역은 지표에 도달한 강우가 하천을 통해 바다로 직접 유출되기보다는 대수층에 유입되는 양이 많아 상시하천이나 강

이 존재하기 어려워 건천이 형성되는 특징이 있다. 따라서 제주지역은 수자원 이용시 지하수에 대한 의존도가 매우 높다(Kim 등, 2013a; Sustainable Water Resources Research Center, 2010).

지하수의 안전채수량(safe yield)은 수량 감소 또는 고갈, 수질악화 등의 지하수의 악영향을 유발하지 않는 범위 내에서 대수층으로부터 채취할 수 있는 한계 채수량을 말한다. 안전채수량을 선정하기 위해서는 정확한 함양량 산정이 선행되어야 한다. 현재 함양량 산정에는 물수지법, 기저유출분리법, 지하수위 감수곡선법, 추적자 시험법 및 지하수위 변동법 등의 다양한 방법이 이용되고 있다(Healy, 2010). 이 중 지하수

Received 10 December, 2013; Revised 25 February, 2014;

Accepted 21 March, 2014

*Corresponding author : Il-Moon Chung, Water Resources Research Dept., Korea Institute of Construction Technology, Goyang 411-712, Korea

Phone: +82-31-9100-334

E-mail: imchung@kict.re.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.

위 변동법은 적용방법의 간편성으로 인해 지하수 함양량 산정시 많이 이용되고 있다(Choi 등, 2011; Healy와 Cook, 2002; Kim 등, 2010). 지하수위 변동법의 대표적인 유형은 강수시 발생하는 지하수위의 변화량과 대수층의 비산출율로 지하수 함양량을 산정하는 방법이며, 적용되는 개념과 방법에 따라 지하수위 강하법, 누적지하수위 강하법, 지하수위 변동 해석모델 등 다양한 명칭으로 사용되고 있다(Kim 등, 2013). 이런 방법들은 적용되는 매개변수에 따라 그 결과가 달라지므로 정확한 매개변수 추정이 요구된다.

제주지역은 지역별, 고도별 강우량의 차이가 큰 특징이 있으며, 이로 인해 함양되는 지하수의 양도 다르다. 또한 수차례 화산활동으로 인해 생긴 화산섬으로 지질 분포와 그 연대의 차이로 수평 및 수직적인 지질 양상도 차이가 난다. 즉, 위치에 따라 수리지질학적 특성이 달라 지하수위 변동법에 적용되는 매개변수에 영향을 주며, 추정되는 함양 시계열도 달라진다. 본 연구에서는 지하수위 변동 해석모델(Kim 등, 2013a; Kim 등, 2013b)을 이용하여 함양량 추정시 적용되는 매개변수(반응계수, 비산출율)에 대한 제주지역의 분포특성을 분석하고자 한다.

2. 재료 및 방법

2.1. 지하수위 변동 해석모델 개요

De Zeeuw와 Hellinga(1958)는 단위시간(Δt)동안의 함양량($R_{\Delta t}$)이 일정하다고 가정할 때, 부정류상태에서의 지하수위 변동식을 제안하였다(Eq. 1). 이 식은 대수층의 매개변수를 추정하고 지하수위 변동특성을 해석하는데 이용된다(Kim 등, 2013a).

$$h_i = h_{i-1} \exp[-\alpha \Delta t] + \frac{R_{\Delta t}(1 - \exp[-\alpha \Delta t])}{800\mu\alpha} \quad (1)$$

여기서 h_i 는 i 일에서의 지하수위(L), h_{i-1} 은 $i-1$ 일에서의 지하수위(L), Δt 는 단위시간(T), $R_{\Delta t}$ 는 단위시간에서의 대수층 함양량(L), α 는 반응계수(T^{-1}), μ 는 비산출율(L/L)을 나타낸다.

2.2. 반응계수 산정

반응계수(α , reaction factor)는 대수층에서 지하수의 배출형태를 설명하는 인자로서, 함양이 없는 것으로 가정하여 지하수가 배출됨에 따라 발생하는 지하수위 감수곡선을 이용, 반응계수를 산정한다(Eq. 2).

$$\alpha = \ln\left(\frac{h_{i-1}}{h_i}\right) \quad (2)$$

2.3. 비산출율 산정

비산출율(μ , specific yield)은 지하수의 함양특성을 나타내는 주요인자로 Eq. 3과 같이 표현된다. 본 연구에서는 비산출율 산정시 지하수위 상승구간에서의 함양량은 SWAT-K를 이용하여 산정한 침투량(Chung 등, 2011)을 적용하였으며, 최하부 토양층에서 침투되는 양이 모두 지하수로 함양된다는 가정하에 수문모형의 침투량을 이용하여 매개변수를 최적화하였다.

$$\mu = \frac{R_{\Delta t}(1 - \exp[-\alpha \Delta t])}{800\alpha(h_i - h_{i-1}\exp[-\alpha \Delta t])} \quad (3)$$

3. 연구지역

제주도는 대륙지각내 화산활동에 의해 만들어진 화산섬으로, 화산활동 시기 혹은 용암류의 시기가 지역적, 수직적으로 차이가 있으며 이로 인해 지역에 따라 대수층의 수리지질학적 특성이 다를 수 있다는 것을 의미한다.

제주도는 서귀포층을 표준층서의 지시자로 흔히 이용하며, 이 지층은 지하수 부존 및 산출 특성을 규정하는 중요한 지층이기도 하다. 서귀포층은 해안으로는 오목하고 한라산을 향해서는 볼록한 형태로 분포하고 있으며, 하부에는 저투수성의 U층을 피복하고 있다(Koh 등, 2013).

본 연구지역인 한천유역은 제주도 북쪽 중앙부에 위치한다. 북쪽 해안지역은 완만한 경사의 저지대가 비교적 좁게 발달하였으며, 남쪽은 한라산으로 연결되어 고지대를 형성하고 있다. 한천유역에는 지하수위 관측정과 해수침투 관측정을 포함하여 총 13개의 지하수위 관측소가 분포하고 있다. Fig. 1은 한천유역 내 지하수위 및 지표수 관측소의 위치를 나타낸 것이다.

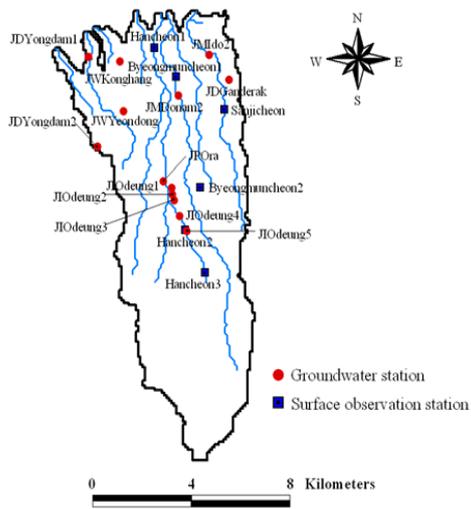


Fig. 1. Location of groundwater monitoring wells in the Hancheon watershed.

4. 지하수위 관측자료

지하수위 관측자료는 제주도 수자원본부(www.jeuwater.go.kr)에서 운영 중인 지하수위 관측정을 이용하였으며 본 연구에서는 한천유역의 총 13개의 지하수위 관측공 가운데 관측기간이 매우 짧고 자료의 교란이 심한 오동 1~5의 자료는 분석에서 제외하였다. Fig. 2 에 8개 지점의 강수량과 지하수위자료를 도시하였으며, 이 지점들에 대한 최적 매개변수를 추정하였다.

일정량 이상의 강우이벤트 발생에 따른 지하수위 상승과 지수함수적인 감쇠양상의 형태와 시기는 모든 관측지점에서 전반적으로 유사하게 나타났다. 8개 지점의 지하수위 관측자료는 강우의 발생과 지하수위 변동의 양상 및 반응기간에 따라 2가지 유형으로 분류가 가능하다. 첫 번째는 강우에 대하여 지하수위가 즉각적인 반응을 보이는 유형으로 용담1, 공항 및 용담2 지점이 여기에 속하며, 해당 관측지점의 지하수위 자료는 강우이벤트에 따라 상승 또는 하강을 반복해 진동형태를 보인다. 두 번째로 강우에 대한 지하수위변동이 지연반응을 보이는 유형으로 이도2, 도남2, 간드락 및 오라관측소가 이에 속한다. 해당 관측지점의 지하수위는 지표하로 침투한 강우가 지하수에 함양되기 까지 지연시간이 발생하여 완만한 곡선형태로 나타난다.

다. 그러나 연동관측소는 앞서 기술한 두 유형에 속하지 않는데 이는 인근 지하수 관정에서의 양수, 타 유역에서의 유입량 등 자연함양이외의 타 영향이 결합된 지하수위 변동형태로 해석된다.

5. 매개변수 최적화

5.1. 반응계수

지표하로 침투된 강우는 최하부 토양층으로 이동하며, 비포화대인 토양층에서 대수층으로 흘러가는 동안 지연시간이 발생한다. 지연시간은 지하수면의 위치와 비포화대 및 대수층의 수리지질학적 특성에 따라 결정된다(Kim 등, 2013a; Sustainable Water Resources Research Center, 2010). 이에 지하수위 자료의 감수부를 이용하여 반응계수를 산정할 때 적용되는 감수곡선의 변동폭은 지체된 함양에 의해 대수층 본연의 지하수위 감소폭보다 작게 나타난다. 따라서 실제 반응계수는 지하수위 자료에서 산정한 초기 추정치보다 크거나 같은 값을 가진다(Kim 등, 2013a). 본 해석모델에서 적용하는 반응계수는 지하수위 감수부에서 단위시간동안 발생하는 지하수위의 차에 대한 로그값으로, 추정된 값 자체에 임의성을 포함하여 정확한 매개변수로 적용하기 어렵다. 따라서 지하수위 자료를 토대로 산정된 값을 반응계수 초기치로 적용하였다.

5.2. 비산출율

비산출율은 암석 또는 토양의 체적에 대한 중력배수에 의해 암석 또는 토양이 배출할 수 있는 물의 체적의 비율을 일컫는다(Fetter, 2000). 해석모델에서의 비산출율은 배수가능공극(drainable pore space)을 뜻하며 물이 매질을 통해 배출할 수 있는 공간을 의미한다. 일반적으로 강우는 토양층과 비포화대를 이동하는 메커니즘을 거쳐 지하수에 함양되고 그 결과로 지하수위가 상승한다. 이 경우의 지하수위 상승은 매질 내 공극을 채우면서 나타나므로 배수가능공극을 비산출율과 동일한 개념으로 적용하였다(Kim 등, 2010; Kim 등 2013a).

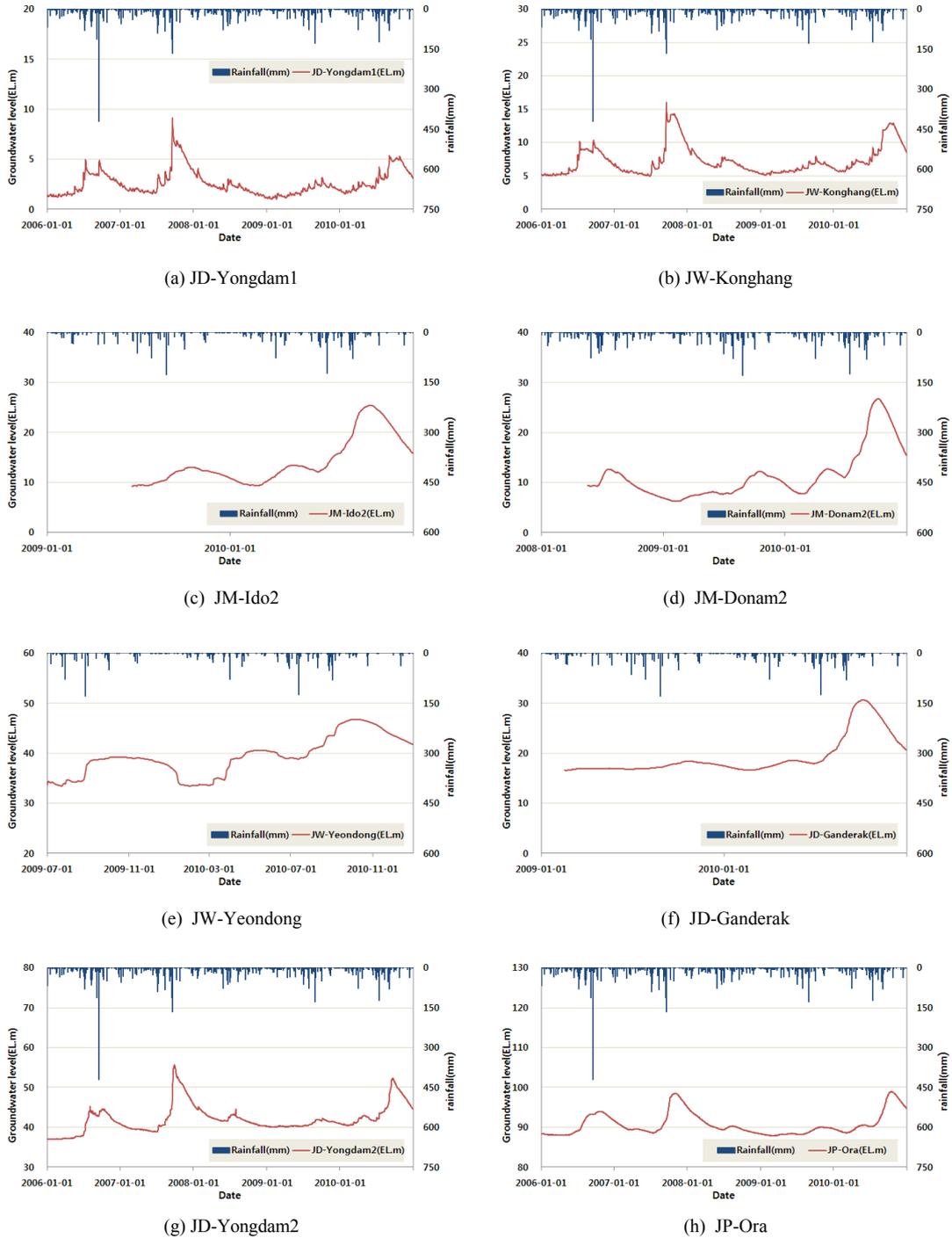


Fig. 2. Observed rainfall and groundwater level.

비산출율은 지하수위 자료와 앞서 추정된 초기 반응계수를 적용하여 산정하는데(Eq. 3), 이때 적용한 지하수 함양량은 토양층에서 침투된 양이 지하수에 모두 함양된다는 가정 하에 Chung 등(2011)이 각 수문반응단위(HRU)별로 산정한 침투량을 적용하였다.

5.3. 매개변수 보정

유역수문모형의 침투량과 산정된 초기 매개변수(비산출율, 반응계수)를 경계값으로 이용하여 매개변수를 보정하였으며, 지하수위 자료와 비교하여 최종 매개변수를 산정하였다.

매개변수 추정의 정확성을 기하기 위해 지하수위

Table 1. Analysis results of parameters on various periods in study area

Station	Analysis		Reaction factor	Specific yield
	No.	period		
JD-Yongdam1	1	15days	0.039	0.028
	2	1month	0.057	0.031
	3	3months	0.039	0.021
	4	6months	0.064	0.021
	5	1year	0.039	0.030
	6	2years	0.039	0.028
	7	3years	0.039	0.025
	8	whole period	0.039	0.023
JW-Konghang	1	15days	0.029	0.021
	2	1month	0.028	0.017
	3	3months	0.028	0.010
	4	6months	0.028	0.013
	5	1year	0.028	0.011
	6	2years	0.028	0.009
	7	3years	0.028	0.009
	8	whole period	0.028	0.009
JM-Ido2	1	5months	0.010	0.029
	2	1year	0.008	0.032
	3	whole period	0.007	0.031
JM-Donam2	1	1month	0.011	0.038
	2	3months	0.011	0.012
	3	6months	0.011	0.031
	4	1year	0.011	0.039
	5	whole period	0.011	0.041
JW-Yeondong	1	whole period	0.026	0.002
JD-Ganderak	1	6months	0.007	0.020
	2	whole period	0.007	0.019
JD-Yongdam2	1	1month	0.007	0.012
	2	3months	0.007	0.014
	3	6months	0.007	0.009
	4	1year	0.007	0.008
	5	2years	0.007	0.007
	6	3years	0.007	0.007
	7	whole period	0.007	0.007
JP-Ora	2	1month	0.002	0.006
	3	3months	0.002	0.004
	4	6months	0.002	0.015
	5	1year	0.002	0.014
	6	2years	0.002	0.012
	7	3years	0.002	0.012
	8	whole period	0.002	0.012

자료에 대해 각 관측구간을 달리하여 매개변수를 산정하였으며, 이때의 매개변수 변화량을 살펴보았다. 관측구간은 15일, 1개월, 3개월, 6개월, 1년, 2년, 3년 및 전 관측구간으로 설정하여 각각 구간 1~8로 구분하였으며, 관측기간이 짧은 지하수위자료에 대해서는 해당 관측구간까지만 분석에 적용하였다. 연동지점은 지하수위 자료의 변동차가 커 구간설정에 어려움이 있어 전 구간을 분석기간으로 설정하였다. 모든 관측 지점에 대해 구간별 매개변수를 추정한 결과를 Table 1에 정리하였다. Table 1의 반응계수를 보면 각 지점 별로 분석구간에 상관없이 거의 일정한 값으로 나타

나며 비산출율은 반응계수에 비해서 변동폭이 크나 분석구간을 길게 잡을수록 그 변화량은 작아진다.

분석구간에 따른 매개변수 추정의 영향을 가시화 하기 위해 분석지점 중 관측기간이 비교적 긴 오라, 공항, 용담2 지점의 구간별 매개변수를 Fig. 3에 도시하였다. 기간이 짧은 지점들은 자료가 부족하여, 관측구간에 따른 경향을 파악하기 어려워 분석에서 제외하였다. 전술한 바와 같이 반응계수는 관측구간에 따른 변화가 거의 나타나지 않은 반면, 비산출율은 단 기간에서의 매개변수 추정치는 비교적 큰 차이를 보이거나 분석기간이 6개월 이상인 경우에는 추정 매개변수

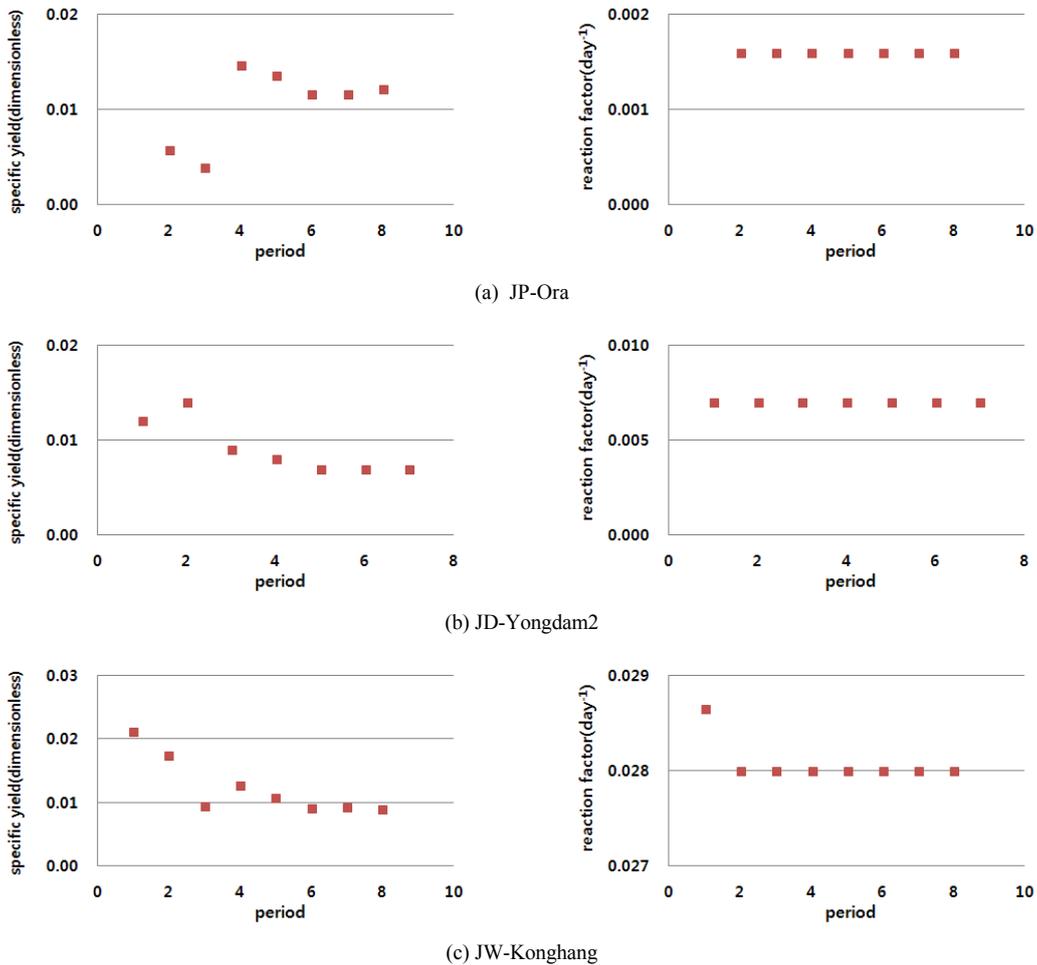


Fig. 3. Distributions of parameters on various periods.

의 변화량이 점차적으로 적어지며 값이 안정화되는 것을 알 수 있었다. 단기간의 비산출율의 변화는 선정된 분석구간이 대수층을 대표하지 못해 나타나는 오류로 판단되어, 본 연구에는 추정매개변수의 오류를 줄이기 위해 전 관측기간에 대해 산정한 매개변수를 적용하였다.

6. 고도에 따른 매개변수 특성

분석에 이용된 관측지점들은 해발 38.46 m에서 233.09 m 사이에 위치하고 있으며, 고도에 따른 매개변수의 변화양상을 살펴보고자 한다. 고도는 관측소가 위치한 지점을 기준으로 적용하였으며 전 관측구간을 대상으로 각 지점별 분석한 매개변수(반응계수, 비산출율)를 적용하였다.

6.1. 고도별 비산출율

Table 2는 분석지점의 고도와 비산출율을 정리한 것이며, Fig. 4에는 고도에 따른 비산출율을 도시하였다. 고도에 따라 비산출율은 일정한 규칙성을 보이지 않으며 무작위로 분포하였다. 비교적 낮은 고도에서는 그 값의 범위가 다양하게 나타났으며 높은 고도에서는 관측자료의 수가 적어 그 분포특성을 논하기에는 어려움이 있었다. 앞서 기술한 바와 같이 비산출율은 토양이 배출할 수 있는 물의 체적을 나타내는 지표로 대수층 매질의 구성 또는 구조적인 특성에 따라 지

역적으로 크게 달라진다. 또한 연구지역인 제주는 수차례 화산활동으로 다양한 지질구조를 형성하고 있어 비산출율의 지역적으로나 수직적인 차이가 클 것으로 예상된다. 이에 비산출율은 고도외의 대수층의 수리 지질학적 특성과 연계한 연구가 수행된다면 매개변수의 특성을 파악하는데 도움이 될 것으로 판단된다.

6.2. 고도별 반응계수

반응계수는 지하수위 감수부의 경사를 이용하여 지하수의 배출형태를 설명하는 것으로, 지하수위 감수부가 완만한 곡선형태를 보이는 관측지점에서는 비교적 낮은 매개변수 추정치를 보이며 강우에 의한 지하수위 변화가 빠른 진동형태의 관측지점들에서는 반응계수가 다소 높게 분석되었다.

관측지점의 고도와 반응계수를 Table 3에 정리하였으며, Fig. 5에 고도에 대해 도시하였다. 반응계수 산정결과를 보면 연동지점을 제외하고 용담1에서 오라지점으로 관측지점의 고도가 높아질수록 반응계수는 감소하는 경향을 보이고 있다. 타 지점과의 경향성에서 벗어나는 연동지점은 Fig. 2의 지하수위 관측자료에서도 볼 수 있듯이 비슷한 고도인 도남2와 간드락 지점과 비교할 때, 지하수위의 변동양상이 차이를 보인다. 이는 강우에 의한 지하수위 변동이외의 인위적인 영향도 함께 받은 것으로, 연동지점의 지하수위자료에 대한 신뢰성 검토가 필요한 것으로 판단된다.

Table 2. Specific yields of 8 groundwater monitoring wells

Location	Elevation (EL.m)	Specific yield(μ)
JD-Yongdam1	38.46	0.023
JW-Konghang	47.43	0.009
JM-Ido2	58.07	0.031
JM-Donam2	86.00	0.041
JW-Yeondong	105.14	0.002
JD-Ganderak	112.18	0.019
JD-Yongdam2	162.20	0.007
JP-Ora	233.09	0.012

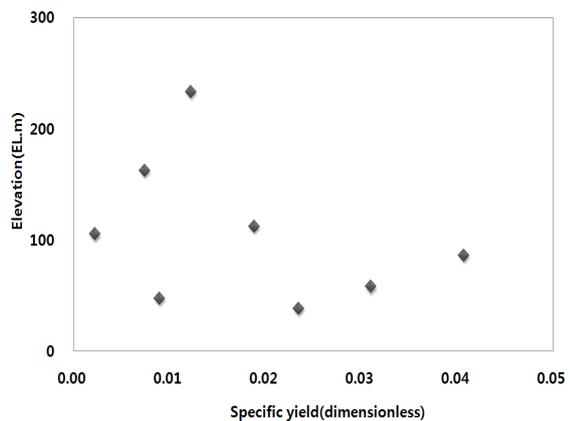


Fig. 4. Distribution of specific yields according to altitude.

고도와 반응계수와의 관계식은 $y = -52.47 \ln(x) - 133.08$ 이며, 결정계수(R^2)는 0.7로 높게 나타났다. 관측소의 고도가 높아짐에 따라 반응계수가 낮아지는 것을 알 수 있었다. Fig. 2를 보면, 연동과 이도2 지점이 경향성에서 다소 벗어나지만, 전체적인 반응계수의 분포 특성을 따르는 것을 알 수 있었다. 반응계수는 지하수위의 감수부를 이용하여 추정하는데, 토양내 침투된 유량이 비포화대를 거치면서 분산 또는 확산되어 지하수에 함양됨으로써 지하수위의 변동을 완화시킨다. 이 때 감수부의 경사가 낮아지면서 반응계수 역시 작아지게 되는 것이다. 지하수위의 감수부의 변화는 Fig. 2의 지하수위 그래프에서 고도가 높아질수록 지하수위 변동양상이 진동형태에서 완만한 곡선형태를 변화하는 것으로 확인할 수 있다.

이 분포특성을 이용하여 유역의 고도별 대푯값을 추정함으로써 미세측 지점의 매개변수를 추정할 수 있을 것으로 판단된다. 물론 반응계수의 분포특성이 본 연구지점들에 국한되어 나타나는 현상인지 일반적인 경향성인지에 대한 판단은 더 많은 지점에 대한 매개변수를 추정하거나 제주지역이외의 지역에 적용하는 등의 추가적인 연구가 수반되어야 신뢰성을 높일 수 있을 것으로 판단된다.

7. 토의 및 결론

지하수위 변동 해석모델의 경우 함양량 산정시 매

개변수에 따라 그 양과 시계열이 달라지며, 모델에 적용되는 매개변수는 지하수위의 변동양상에 의해 좌우된다. 본 연구에서는 지하수위 관측구간에 따른 해석모델의 매개변수를 산정하였으며, 고도에 따른 분포 특성을 연구하였다. 매개변수 분석결과, 비산출율은 고도에 대해 무작위로 분포하는데 이는 제주지역의 다양한 시기의 화산활동으로 인해 용암류의 분포시기도 지역적, 수직적인 이질성으로 인해 야기된 것으로 판단된다. 차후, 많은 데이터를 확보한다면 지하수위 변동양상 및 지질특성을 고려한 지역화도 고려할 수 있을 것으로 예상된다. 고도에 따른 반응계수는 관계식 $y = -52.47 \ln(x) - 133.08$ ($R^2 = 0.7$)로 고도가 높아짐에 따라 낮아지는 경향을 보이는데, 이러한 상관성을 통해 미세측 지점에서의 고도별 반응계수의 추정이 가능할 것으로 판단된다. 그러나 매개변수의 지역적인 분포특성에 대해 정확한 정의를 내리기에는 분석 자료의 양이 부족하므로 제주도내 타 지역이나 내륙지역의 매개변수에 대해서도 추정해 볼 필요가 있다.

지하수위 변동 해석모델은 단위시간별 지하수위 변동 폭을 이용하여 매개변수와 지하수 함양량을 산정하는 방식으로 반응계수와 비산출율의 조합에 따라 함양 시계열의 형태가 결정되므로 적정값을 선정하는 것이 매우 중요하다. 또한 분석된 매개변수의 분포특성은 미세측 지점에서의 매개변수를 추정하는데 이용할 수 있을 것으로 판단된다.

Table 3. Reaction factors of 8 groundwater monitoring wells

location	elevation (EL.m)	reaction factor(α)
JD-Yongdam1	38.46	0.039
JW-Konghang	47.43	0.028
JM-Ido2	58.07	0.007
JM-Donam2	86.00	0.011
JW-Yeondong	105.14	0.026
JD-Ganderak	112.18	0.007
JD-Yongdam2	162.20	0.007
JP-Ora	233.09	0.002

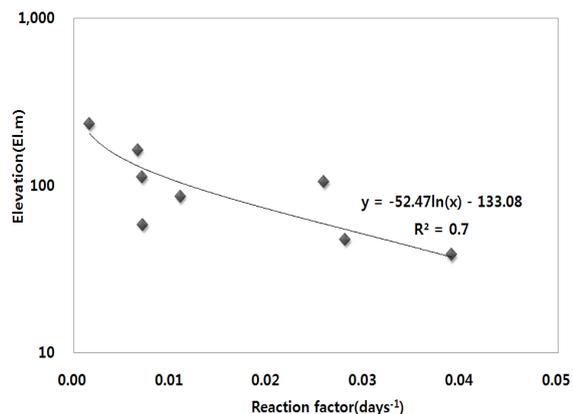


Fig. 5. Distribution of reaction factors according to altitude.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 건설교통기술지역특성화사업의 연구비 지원(10지역기술혁신B02, 제주수자원연구단)에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- Choi, H. M., Lee, J. Y., Ha, K. C., Kim, G. P., 2011, The study on time series analysis of groundwater data and groundwater recharge in Jeju Island, *Journal of Engineering Geology*, 21(4), 337-348.
- Chung, I. M., Lee, J. W., Kim, J. T., Na, H. N., Kim, N. W., 2011, Development of threshold runoff simulation method for runoff analysis of Jeju Island, *Journal of the environmental sciences*, 20(10), 305-312.
- De Zeeuw, J., Hellinga, W. F., 1958, Precipitation and drain, *Agricultural Magazine*, 70, 405-421.
- Fetter, C. W., 2000, *Applied Hydrogeology*, Prentice-Hall.
- Jeju Special-Governing Province Water Resource Headquarter, www.jejuwater.go.kr
- Healy, R., 2010, *Estimating Groundwater Recharge*. Cambridge University Press, 256p.
- Healy, R. W., Cook, P. G., 2002, Using groundwater levels to estimated recharge, *Hydrogeology Journal*, 10, 91-109.
- Kim, G. B., Choi, D. H., Jeong, J. H., 2010, Considerations on the specific yield estimation using the relationship between rainfall and groundwater level variations, *Journal of Engineering Geology*, 20(1), 61-70.
- Kim, N. W., Kim, Y. J., Chung, I. M., 2013a, Development of analyzing model of groundwater table fluctuation (I) : theory of model, *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, 33(6), 2277-2284.
- Kim, N. W., Kim, Y. J., Chung, I. M., 2013b, Development of analyzing model of groundwater table fluctuation (II) : characteristics of recharge, *Journal of the Korean Society of Civil Engineers* 33(6), 2285-2291.
- Koh, G. W., Park, J. B. Kang, B. R., Kim, G. P., Moon, D. C., 2013, Volcanism in Jeju Island, *Journal of the Geological Society of Korea*, 49(2), 209-230.
- Korea Meterological Administration, <http://web.kma.go.kr>
- Sustainable Water Resources Research Center, 2010, Main Structure of Korean Watershed Hydrologic Model SWAT-K report.