

ORIGINAL ARTICLE

지하수위 변동 해석모델의 매개변수를 이용한 투수량계수 추정

김남원 · 김윤정* · 정일문

한국건설기술연구원

Estimation of Transmissivity Using Parameters of Groundwater Table Fluctuation Model

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

Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Goyang 411-712, Korea

Abstract

As hydrogeologic parameters such as hydraulic conductivity and specific yield are estimated by aquifer test, these are dependent on specific points at which field test was conducted. To overcome these site-specific limitations, a method of estimating transmissivity of aquifer using distribution features for parameters in Water table fluctuation model is newly suggested. Distribution features in reaction factor, specific yield and transmissivity having the function of pore space in aquifer are used to derive empirical equation for estimating transmissivity. From the result for applying the equation for 10 groundwater stations in Northeast Jeju Island, this equation is available for estimating transmissivity compared to the value estimated by existing equations. The estimated transmissivity ranged from 14.2 to 3,716.9 m²/day, and its average was 821.8 m²/day.

Key words : Water table fluctuation model, Reaction factor, Specific yield, Transmissivity

1. 서론

지하수 유동해석에서 수리지질학적 매개변수인 수리전도도, 투수량계수, 저류계수, 비산출률 등과 같은 항목은 필수불가결한 요소이다. 모델링의 정확도나 지하수위 변동법의 활용에 있어서 위와 같은 변수의 정확한 추정값은 결과의 신뢰도에 직접적인 영향을 미친다. 그러나 이러한 수리지질학적 매개변수들은 현장에서 직접 수집하기에는 경제적, 시간적으로 많은 노력이 요구되므로 취득할 수 있는 자료의 수가 매우 제한적이다.

수리지질 매개변수 중 비산출률을 산정하는 방법에는 현장시험이나 샘플코어를 통해 직접 산정하는 방법, 토

양함수비나 유효함수비 등을 이용한 기존의 경험식을 이용하는 방법, 또는 강우 발생 후 지하수가 매질의 공극을 채우면서 상승한다는 개념을 바탕으로 강우에 대한 수위 상승폭을 이용하여 비교적 단순하게 산정한다(Brakensiek 등, 1984; Duke, 1972; Healy와 Cook, 2002; Nachabe, 2002; Kim 등, 2010; Kim 등, 2013a). 투수량계수나 저류계수와 같은 대수층의 변수는 현장 양수시험 슬러그 시험, 수압시험 또는 실내실험에 의해 산출되는데 현장의 지질 및 시험조건, 시행자의 전문성 등에 따라 값이 달라지므로 정확한 매개변수의 산정이 어렵다.

제주지역은 화산활동에 의한 화산암질의 대수층으로 구성되어, 매질의 투수성이 좋아 다량의 양수에도 내륙

Received 13 January, 2015; Revised 6 April, 2015;

Accepted 8 April, 2015

*Corresponding author: Youn-Jung Kim, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Goyang 411-712, Korea
Phone: +82-31-9100-704
E-mail: yjkim80@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.

에 비해 수위 강하량이 작고 10분 이내 안정수위에 도달하는 경우가 많다(Mace, 1997; Choi, 1999a; Woo 등, 2003; Kim 등, 2004). 따라서 양수에 의한 지하수위 하강구간을 측정하기가 어려우며 이 구간에 대한 대수층의 수리상수를 해석하기에는 많은 어려움이 따른다. 한편, 이와 같이 일반적인 양수시험이 어려운 지역에서의 수리상수 추정을 위해 비양수량을 이용하여 투수계수를 구하는 경험식이 개발되었다(Razack와 Huntley, 1991; Huntley 등, 1992; Mace, 1997; Choi, 1999a; Woo 등, 2003; Kim 등, 2004). 그러나 Choi(1999a)와 Woo 등(2003)에 의하면 Razack와 Huntley(1991), Huntley 등(1992), Mace(1997)의 산정식을 제주지역에서 추정한 비양수량과 투수량계수에 적용하는 경우 제안한 산정식의 기울기와 다소 차이를 보인다. 이에 Choi(1999a)와 Woo 등(2003)은 제주도 내 지하수위 관측정에서의 양수시험자료를 이용하여 제주도에 적용가능한 비양수량과 투수량계수의 관계식을 제안하였다. 전술한 바와 같이 제주지역의 양수시험자료를 살펴보면 안정수위까지의 기간이 매우 짧고 자료의 수가 작아 직접적인 해석에 어려움이 있어 지하수 해석에 필요한 가용 투수량계수 자료의 수가 제한적이다. 또한 Choi(1999b)에 따르면, 제주도의 저류계수와 투수량계수를 산정한 기존 연구에서 영향반경 선정의 임의성과 수리상수 해석의 한계 등이 지적된 바 있다.

본 연구에서는 지하수위 변동 해석모델(Kim 등, 2014)의 매개변수와 Choi(1999a)와 Woo 등(2003)의 경험식을 바탕으로 추정한 투수량계수와 상관성을 분석하고 매개변수와 투수량계수의 상관성에 대한 경험식을 제시하였다.

2. 연구 지역

제주도특별자치도 제주수자원본부(www.jejuwater.go.kr)에서는 지하수위 및 해수침투 관측망, 고지대시추조사공 등을 운영하며 일별 지하수위를 관측하고 있다. 본 연구에서는 제주도의 4개 유역(강정천, 외도천, 천미천, 한천)을 선정하여 지하수위 관측자료를 수집하여 대수층의 특성을 나타내는 매개변수(반응계수, 비산출률)를 추정하였다(Fig. 1). 해석모델의 매개변수와 투수량계수의 관계를 규명하기 위해 한국농어촌공사(제주도본부)에서 실시한 양수시험자료를 이용하여 비양수량을 산정한 후 Choi(1999a)와 Woo 등(2003)이 제안한 투수량계수와와의 관계식을 이용한 투수량계수 추정치와 비교하였다.

지하수위 관측자료의 수집기간은 2006년부터 5년 동안의 자료이며 지하수위 관측기간이 6개월 미만이거나 지하수위 변동이 확실하게 나타나지 않은 경우는 분석에서 제외하였다. 또한 지하수위 변동양상이 자연적이라 판단하기 어렵거나 지하수위 자료 중 결측기간이 길어 변동양상을 파악하기 어려운 지점도 분석에서 제외하였다. 그러나 결측기간이 짧거나 지하수위 양상의 추정이 가능한 지점에 대해서는 선형보간하여 분석에 적용하였다(Kim 등, 2013a, 2013b). 연구지역 내에는 30개소의 지하수위 관측정이 위치하고 있지만, 전술한 바와 같이 분석이 가능한 21지점에 대해서만 매개변수를 추정하였다. Table 1은 연구지역내 분석이 가능한 관측지점을 정리한 것으로, 고도는 지하수위 관측정이 위치한 해발고도이다. 각 관측정에서 해안까지의 거리는 ArcGIS 9.3

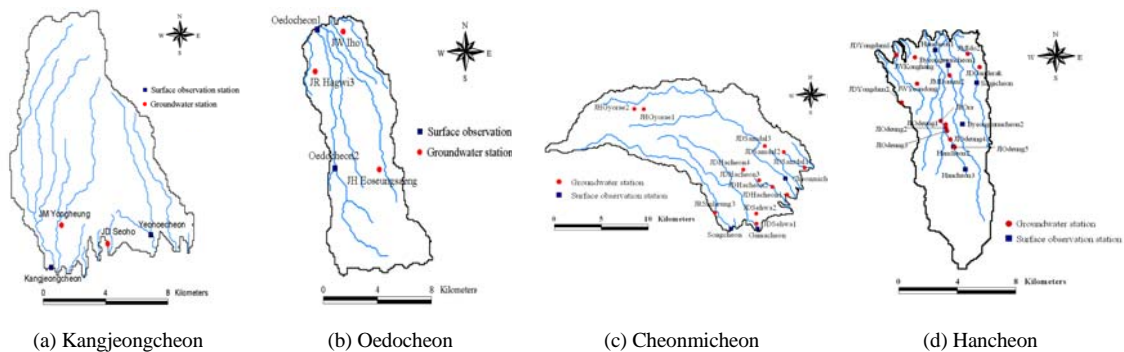


Fig. 1. Location of groundwater monitoring wells in four representative watersheds.

Table 1. Summary of groundwater monitoring wells in four representative watersheds

Watershed	Total stations	Analysed stations	Analysed station	Elevation (m)	Distance to coast (km)
Kangjeongcheon	2	1	YH	128.49	2.69
Oedocheon	3	2	IH	35.43	0.66
			HG3	115.63	2.80
			GR2	438.99	16.87
			SH1	23.31	1.66
			SH2	58.10	0.59
			SD1	27.96	0.70
Cheonmicheon	12	10	SD2	90.21	3.40
			SD3	126.13	5.50
			SH3	80.55	2.57
			HC1	25.78	0.80
			HC3	87.45	3.80
			HC4	117.99	6.10
			GDR	112.18	2.83
			KH	47.43	1.73
			DN	86.00	2.91
			Hancheon	13	8
YD	105.14	3.48			
YD1	38.46	1.00			
YD2	162.20	4.20			
OR	233.09	6.23			

을 이용하여 1:5,000 축척의 수치지형도에서 관측소로부터 해안선까지의 거리를 산정한 것이다.

3. 분석방법

본 연구의 목적은 지하수위의 변동양상을 이용하여 추정된 매개변수와 투수량계수와와의 관계를 분석함으로써 양수시험을 수행하지 않았거나 수리상수의 추정이 어려운 지역의 투수량계수를 추정하는데 있다. Fig. 2는 매개변수와 투수량계수를 추정하는 과정을 개략적인 모식도로 나타낸 것이다. 지하수위 변동 해석모델(Kim 등, 2013a)을 이용하여 매개변수인 비산출률과 반응계수를 추정하였으며, 산정 시 적용한 함양량은 강수량의 일정 비율 대신 수문모형(SWAT-K)의 토양층에서 침투되는 양을 적용하여 매개변수 추정결과에 대한 신뢰성을 높이고자 하였다(Kim 등, 2014). 또한 기 연구된 제주지역의

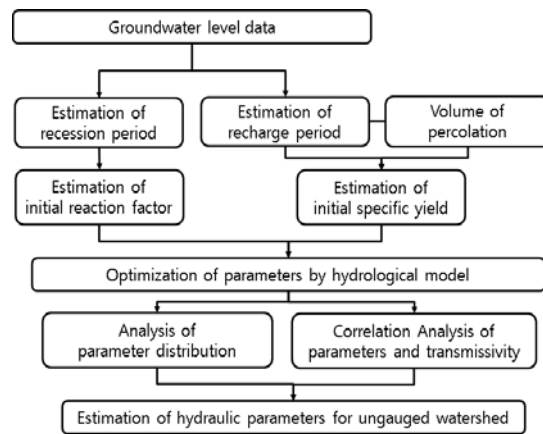


Fig. 2. Procedure for estimating parameters.

비양수량에 대한 투수량계수의 경험식(Choi, 1999a; Woo 등, 2003)을 이용하여 양수시험자료가 있는 10개

지점에 대한 투수량계수를 매개변수와와의 상관성분석에 적용하였다.

3.1. 지하수위 변동 해석모델

(groundwater table fluctuation model)

지하수 함양량은 기상조건, 토양 및 대수층의 특성, 지형과 식생분포 및 토지이용에 따라 달라진다. 또한 토양층과 비포화대를 이동하는 메커니즘에 의해 함양의 양과 형태가 시공간적으로 달라진다(Memon, 1995; Kim 등, 2013a). Kim 등(2013a)은 수문순환과정을 Fig. 3과 같이 단순화하여 설명한 바 있다. 강우가 토양의 침투능 이상으로 발생할 경우, 침투와 동시에 토양층의 경사면을 따라 유출이 발생한다. 이 때 발생한 침투는 비포화대를 따라 이동하는데 해당 대수층의 매질의 특성에 따라 지체되거나 확산되어 포화대인 지하수에 함양된다(Kim 등, 2009; Sustainable Water Resources Research Center, 2010; Kim 등, 2013a). 따라서 대수층의 매질 및 수리적 특성이 불균질하기 때문에 함양시계열 역시 시공간적인 변동성을 지니게 된다. 결과적으로 지하수위 자료는 대수층의 함양 또는 배출 특성이 모두 반영된 최종 자료이므로 이를 이용하면 대수층의 특성도 규명할 수 있을 것이다.

De Zeeuw와 Hellinga(1958)는 배수로 설계 시 지하수위 조절을 위해 고안된 정류상태의 지하수위 변동식인

simple Hooghoudt equation (식 1)을 이용하여 부정류상태의 지하수위 변동식을 제안한 바 있다.

$$q = \frac{8Kdh}{L^2} \tag{1}$$

여기서, q는 지하수의 배출량(L²/T), h는 지하수위(L), L은 배수로까지의 길이(L), K는 대수층 수리전도도(L/T), d는 대수층 두께(L)를 나타낸다.

식 (1)에 비산출률과 보정계수를 추가하여 식 (2)와 같이 표현하여 부정류상태의 지하수위 변동양상을 설명하고자 하였다.

$$\frac{\partial h}{\partial t} = \frac{R_c - q}{C\mu} = \frac{R_c - q}{0.8\mu} \tag{2}$$

여기서, R_c는 다른 구역에서의 유입량 또는 함양량(L²/T), μ는 대수층의 비산출률(L³/L³), C는 곡선형태의 지하수위 변화율을 직선으로 가정할 때, 발생하는 오차를 보정하는 계수로 통상적으로 0.8을 적용한다(Smedema와 Rycroft, 1983). 함양 및 배출에 의한 지하수위의 변화율이 선형관계라 할 때, 식 (2)와 식 (1)을 이용하여 부정류상태에서의 지하수 함양과 배출에 관한 식 (3)으로 나타낼 수 있다.

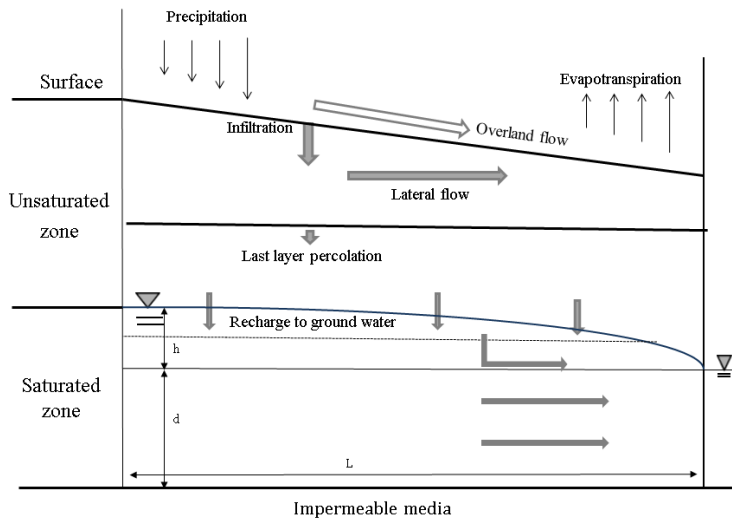


Fig. 3. Conceptualization of groundwater table fluctuation.

$$\frac{\partial q}{\partial t} = 10 \frac{Kd}{\mu L^2} (R_c - q) = \alpha (R_c - q) \quad (3)$$

식 (3)에서 α 는 반응계수(reaction factor, L/L)를 나타내며 식 (4)과 같이 정의된다.

$$\alpha = 10 \frac{Kd}{\mu L^2} \quad (4)$$

지하수위 변동 해석모델을 통해 반응계수와 비산출률을 산정하고 대수층 두께(d)만 정확히 알 수 있다면 수리전도도 추정이 가능하다. 그러나 실제로 현장에서 포획된 대수층의 두께를 파악하는 것은 어려움이 크다. 대수층내 존재하는 불투수층의 수직 및 수평적 위치를 명확히 파악하기 위해서는 모든 지점에 대해 시추를 하여야 하는데 현실적으로 무리가 있다.

식 (4)에서 $K(L/T)$ 와 $d(L)$ 는 수리전도도와 대수층 두께를 나타내므로 투수량계수(Kd)로 대체할 수 있으며 이는 반응계수, 비산출률 및 배수로까지의 거리에 대한 함수로 표현할 수 있다. 그러나 본 연구에서는 배수로에 의한 지하수위 변동이 아니라 자연적인 함양 및 배출에 대한 변동식을 고안하고자 하였기 때문에, 배수로까지의 거리를 관측지점에서 해안까지의 거리로 적용하였다. 해안까지의 거리를 적용한 것은 제주지역의 지형 및 지질학적 특성상 강우가 함양되고 지하수가 유동하면서 최종적으로 해안으로 배출되는 형태를 보이기 때문이다. 따라서 Kim 등(2014)에 의해 산정된 매개변수인 반응계수와 비산출률, 해안까지의 거리를 이용한다면 미세측지역의 투수량계수를 추정할 수 있을 것으로 판단하였다.

3.2. 비양수량에 의한 투수량계수 추정방법

제주도지역의 대수층은 다수의 화산활동으로 형성된 화산암질 현무암으로 구성되어 투수성이 높은 특성을 가진다. 이에 우물에서 많은 양의 지하수를 양수하여도 수위강하량은 작고 안정수위에 도달하는 시간도 내륙지역에 비해 현저하게 짧다. 이러한 특성으로 양수 시 비평형상태의 초기수위변화를 측정하는데 어려움이 있어 양수 시험을 해석하여 수리상수를 산정하지 못하는 경우가 많다(Choi, 1999a).

Fig. 4는 연구지역내 분석지점 중 양수시험일보가 있

는 총 10개 지점에서의 대표적인 지하수위 수위강하 형태를 도시한 것이다. Fig. 4 (a)는 양수시험 시작 후, 1회 측정으로 안정수위에 도달하는 경우로, 대다수의 시험지점이 여기에 속한다. 이런 형태는 비양수량은 산정이 가능하나 투수량계수의 추정에 어려움이 있다. Fig. 4 (b)는 다량의 양수를 하여도 수위변화가 나타나지 않는 경우로, 대수층의 투수성이 좋고 저유량이 큰 대수층에서 주로 나타나는 형태이다. 이런 경우, 양수에 대한 수위강하를 관측할 수 없어 비양수량과 투수량계수 모두 추정하기 어렵다. Fig. 4 (c)와 (d)는 양수에 대해 초기지하수위 변화가 관측되는 경우이다. Fig. 4 (c)는 지하수위가 일정기간 양수 후에도 안정수위에 도달하지 못하고 계속적으로 감소하는 형태이며 Fig. 4 (d)는 일정기간 지하수위 강하가 발생한 후 안정수위에 도달하는 형태이다. Fig. 4 (c)와 (d)는 양수시험 해석에 의해 투수량계수를 구할 수 있으나 연구지역내 양수시험일보가 있는 관측지점에서 이러한 지하수위 강하곡선이 나타나는 경우는 5개 지점에 불과했다.

양수시험의 해석이 어려운 경우에는 비양수량과 투수량계수가 비례하는 특징을 이용하여 투수량계수를 추정하기도 한다. 여기서, 비양수량(specific capacity)이란 지하수의 단위 수위강하량에 대한 양수량의 비를 의미하는데 양수정의 지하수 산출능력을 나타낸다.

국내의 연구자들에 의해 비균질 총적대수층, 결정질 균열 암반대수층, 용해성 석회질 암반대수층 등 대수층의 매질의 조건에 따른 비양수량과 투수량계수간의 경험식을 산정하였다(Razack와 Huntley, 1991; Huntley 등, 1992; Mace, 1997; Choi, 1999a; Woo 등, 2003). 그러나 Choi(1999a)와 Woo 등(2003)에 의하면 제주지역에서 실시한 양수시험의 관측자료를 이용하여 추정된 비양수량과 투수량계수를 도시한 결과, 결정질 균열 암반대수층과 용해성 석회질 암반대수층의 사이에 분포하여 기존의 경험식과는 차이를 보인다. 이에 본 연구에서는 제주도의 양수시험자료를 이용한 Choi(1999a)와 Woo 등(2003)의 경험식을 모두 적용하여 관측지점의 투수량계수를 추정하여 분석에 이용하였다(식 11~12). Fig. 5는 연구지역내 지하수위 관측지점 중 초기수위강하를 측정할 수 있었던 양수시험자료를 토대로 산정한 투수량계수와 전술한 두 경험식과 함께 도시한 것이다. 본 연구에서는 AQTESOLV (Window ver. 3.01)를 이용하여 투수량

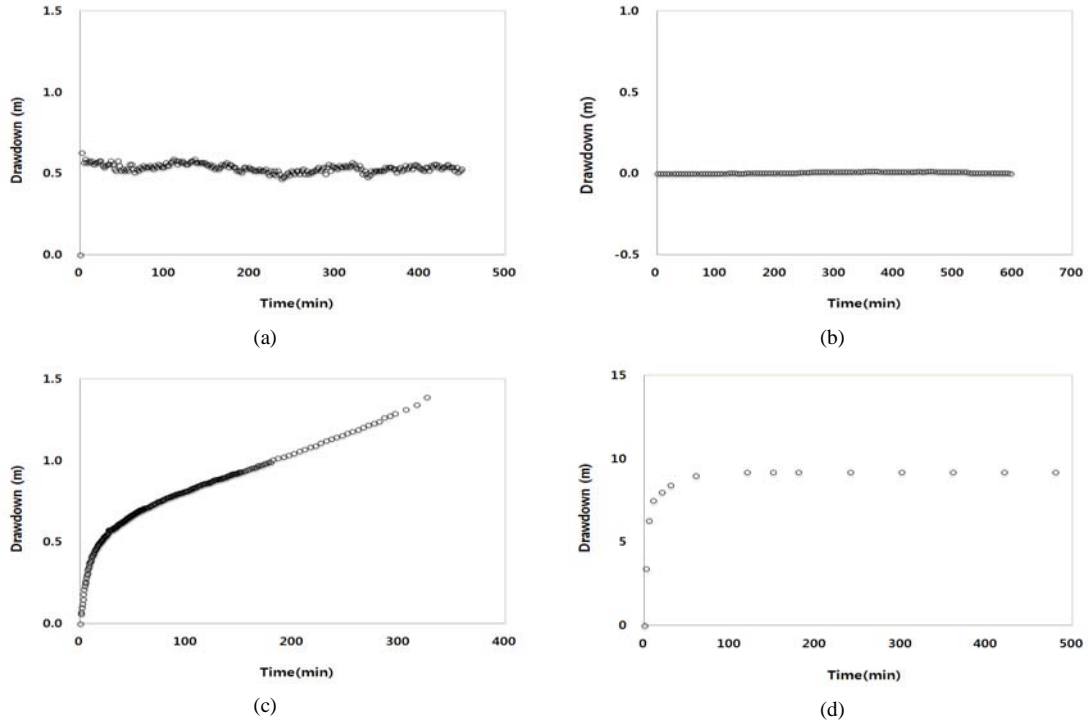


Fig. 4. Representative drawdown types from 10 pumping tests in four watersheds.

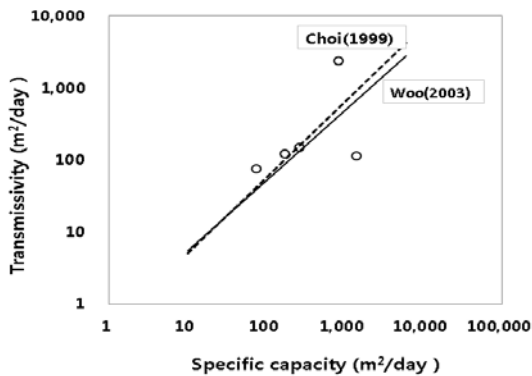


Fig. 5. Relationship between specific capacity and transmissivity.

계수를 산정하였으며 4개 유역내 투수량계수의 산정이 가능한 지점이 5개소로, 자료수가 적어 기존식과 비교하기에 어려움이 있어, 본 연구에서는 기존의 두 경험식을 모두 적용하여 투수량계수를 추정·비교하였다. 그러나 총 21개 지점 중 양수시험 자료가 없거나 양수량이 도시되지 않은 GR2, SH1, SH3, YH, HG3, DN, OR, SD3,

HC4 지점과 양수기간동안 수위강하가 발생하지 않은 SD2, SH2 지점은 투수량계수를 산정하기 어려워 분석에서 제외하였다.

4. 매개변수 산정

4.1. 반응계수(reaction factor)

지하수위 변동 해석모델에는 두 개의 매개변수가 있는데 그 중의 하나가 반응계수로, 지하수의 배출에 대한 반응형태를 나타낸다(Smedema와 Rycroft, 1983; Kim 등, 2013a). 식 (5)~(6)을 보면 반응계수는 지하수가 배출되면서 수위가 감소할 때의 감수곡선의 기울기로 표현되므로 함양이 없다고 가정할 때 지하수가 배출됨에 따라 지하수위의 감수곡선을 이용하여 반응계수를 산정한다(Kim 등, 2013a).

$$h_i = h_{i-1} \exp[-\alpha \Delta t] \tag{5}$$

여기서 단위시간 Δt 를 1 일로 가정하면 식 (6)과 같이 표현할 수 있다.

$$\alpha = \ln\left(\frac{h_{i-1}}{h_i}\right) \quad (6)$$

4.2. 배수가능공극(drainable pore space)

배수가능공극은 모델의 매개변수 중 하나로, 지하수가 함양 및 배출되면서 매질의 공극을 포화시키거나 유출될 수 있는 공극의 부피를 말한다. 이러한 공극의 부피는 토양의 구조나 상태에 따라 달라지며 지하수면의 위치에 따라서도 다양한 값으로 나타난다(Smedema와 Rycroft, 1983; Kim 등, 2014). 배수가능공극은 토양 또는 암석의 체적에 대한 중력배수 가능한 지하수의 체적의 비를 나타내는 비산출률과의 개념적 유사성을 인해 동일하게 사용하기도 한다(Fetter, 2000; Kim 등, 2013a). 이에 본 연구에서도 배수가능공극을 비산출률과 동일하게 적용하였으며 혼돈을 줄이기 위해 비산출률로 통일하여 기술하였다.

제주도는 한라산을 중심으로 돔(dome)형태의 지형구조를 보이는데 지하수면은 지형구조에 대한 상관성이 매우 높아 지형과 유사한 형태로 나타난다. Kim 등(2014)은 지하수위 변동 해석모델을 이용하여 지하수위 관측지점에 대한 비산출률과 반응계수의 추정치를 고도에 따라 도시하여 매개변수의 분포특성을 파악한 바 있다(Fig. 6).

Fig. 6을 보면 비산출률은 비교적 낮은 고도(약 120 m 이하)에서는 무작위로 분포하며 변동폭도 크게 나타나지

만, 일정 고도이상에서는 매개변수의 변동폭이 현저히 줄어드는 것을 알 수 있다. 반면, 반응계수와 고도와의 관계는 $y = 15.22x^{-1.41}$ 로, 관측지점의 고도가 증가수록 작아지는 경향이 나타난다. 이는 고도가 높아질수록 통과하는 비포화대의 두께 역시 커지므로 침투된 지하수의 지연 및 확산됨으로 인해 지하수위 변동양상이 완만해지기 때문이다(Kim 등, 2014).

4.3 투수량계수(transmissivity)

Choi(1999a)와 Woo 등(2003)은 제주지역의 지하수위 관측정과 양수자료를 이용하여 비양수량과 투수량계수의 경험식을 제시한 바가 있다(식 7~8). Fig. 7은 연구지역내 지하수위 관측정 중 양수량과 수위강하가 자료가 있는 지점에 대해 각 경험식을 이용하여 투수량계수를 산정한 결과를 나타낸 것이다. 투수량계수의 값이 작은 지점에 대해서는 두 경험식간의 차이도 작게 나타나며, 투수량계수가 커질수록 그 차도 커지는 것을 알 수 있다. Woo 등(2003)에 의하면 추정된 투수량계수의 값이 전반적으로 Choi(1999a)보다 작게 나타는데, 이는 각자 다른 수리상수의 계산식을 적용되어 두 경험식의 기울기가 달리 산정되었기 때문이다(식 (7)~(8)).

$$T = 0.448\left(\frac{Q}{s}\right)^{1.053} \quad (7)$$

$$T = 0.582\left(\frac{Q}{s}\right)^{0.974} \quad (8)$$

여기서 Q 는 양수량(L^2/T)을 의미하며 s 는 양수기간 동안에 발생하는 지하수위 강하량(L)을 의미한다.

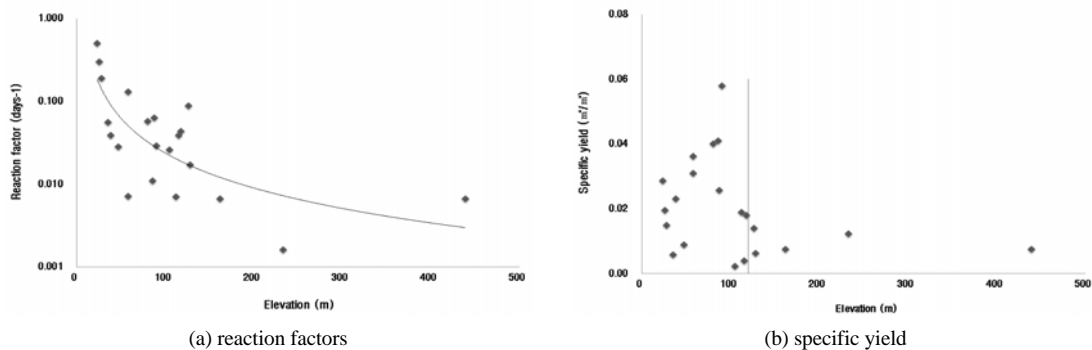


Fig. 6. Distribution of reaction factors and specific yield.

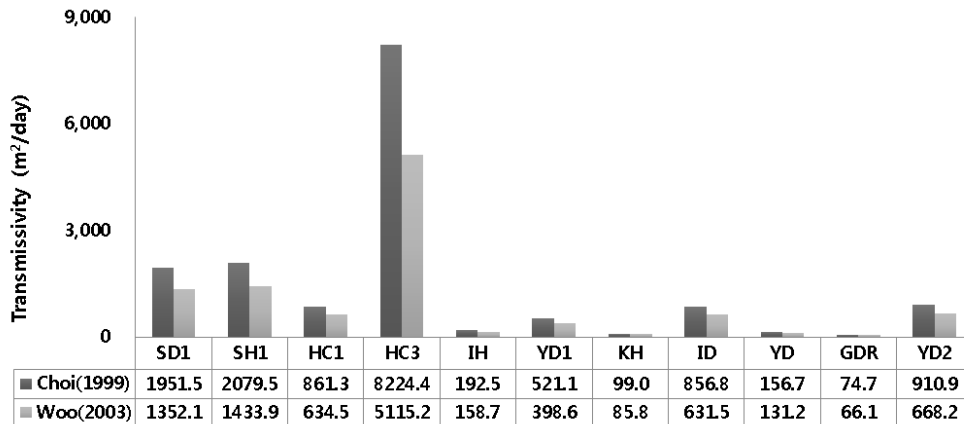


Fig. 7. Transmissivity by Choi(1999a) and Woo et al.(2003) equations.

5. 매개변수(비산출률, 반응계수)를 이용한 투수량계수 산정

비산출률과 수리전도도는 모두 토양 공극의 구조에 의해 좌우되는 수리상수로써 서로간의 연관성이 존재한다(Smedema와 Rycroft, 1983). 또한 투수량계수는 수리전도도와 대수층 두께에 대한 함수이므로 토양 공극간의 상관성을 가진다. 이에 비산출률의 분포특성을 이용하여 투수량계수와 상관성을 파악할 수 있을 것으로 판단된다. 이러한 상관성을 구체화한다면 해석모델의 매개변수(반응계수, 비산출률)를 이용하여 미계측지역의 투수량계수를 추정할 수 있을 것이다. 식 (9)는 앞서 기술한 식 (4)를 투수량계수에 대해 정리한 것이다.

$$T = \frac{\alpha \mu L^2}{10} \quad (9)$$

여기서, T는 투수량계수(L^2/T), L은 배수로까지의 거리(m)를 의미한다. 앞서 기술한바와 같이 제주도의 지형 및 지질학적 특성을 고려하여 관측지점에서 해안까지의 거리를 식 (9)의 L로 적용하여 투수량계수를 산정하였다. 비양수량은 각 관측지점에서 수행한 양수시험 중 양수량과 지하수위 강하량을 알 수 있는 10개 지점에 대한 관측자료를 이용하였다. Fig. 8~9는 비양수량을 이용하여 산정된 투수량계수와 지하수위 변동 해석모델의 매개변수를 이용한 투수량계수를 도시한 것으로, Choi

(1999a)와 Woo 등(2003)의 경험식을 모두 적용하여 비교하였다.

각 경험식을 이용하여 추정된 투수량계수와 매개변수를 이용한 투수량계수를 도시한 결과, Choi(1999a)의 경우는 $y = 62.5e^{0.0004x}$ 로 나타났으며 Woo 등(2003)은 $y = 59.3e^{0.0007x}$ 로 분석되었다. 두 지점을 제외한 나머지 지점들은 추세선에 근접하여 분포하는 것을 알 수 있다. Fig. 8~9을 보면, Woo 등(2003)의 경험식을 적용한 경우, Choi(1999a)보다 다소 적합하게 나타나지만 두 경험식에 모두 결정계수(R^2)가 0.7로 나타났다. 따라서 두 식 중 어느 것을 적용하더라도 투수량계수의 추정치에는 큰 변화가 없을 것으로 보인다.

Table 2는 본 연구에서 산정한 투수량계수와 앞서 두 경험식에 의해 산정된 결과를 정리하여 나타낸 것이다. Choi(1999a)는 제주전역을 대상으로 총 281 개소에 대해 비양수량 자료를 이용하여 투수량계수를 산정하였으며 1.4~9,556 m^2/day 사이로 나타났으며 Woo 등(2003)의 경우는 제주도내 총 88 개소에 대해 0.4~1,038.5 m^2/day 로 나타났다. 본 연구에서는 지하수위 변동 해석 모델을 적용한 4개 유역(강정천, 외도천, 한천, 천미천) 내 총 21개 지점에 대해 투수량계수를 산정한 결과, 14.2~3,716.9 m^2/day 사이로 분포하고 있으며 평균 투수량계수는 821.8 m^2/day 로 나타났다. 그러나 본 연구에서 분석된 투수량계수는 기존의 두 연구자료에 비해 최소값과 평균이 다소 크게 나타났다. 이는 분석자별 최소 및

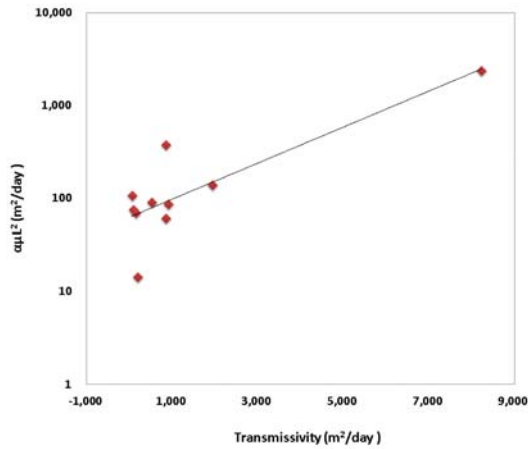


Fig. 8. Relationship between $aquL^2$ and transmissivity by Choi (1999a) equation.

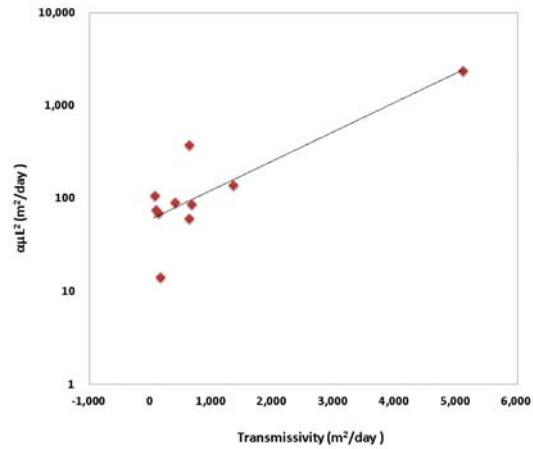


Fig. 9. Relationship between $aquL^2$ and transmissivity by Woo et al. (2003) equation.

Table 2. Comparison of transmissivity values from Choi(1999a), Woo et al.(2003) and this study in Jeju island

	Choi(1999a)	Woo et al.(2003)	This study
Stations(number)	281	88	21
Transmissivity (m ² /day)	Minimum	1	14.2
	Maximum	9,556	3,716.9
	Average	202	821.8

최대값을 살펴보면 이번 연구에서 선정된 지점들의 투수량계수가 높은 지점들로 편중되어 나타난 것으로 판단된다.

기존 두 경험식은 양수시험에서 초기지하수위 강하기간을 측정하기 어려워 투수량계수를 직접 산정하지 못하는 경우, 비양수량을 이용하여 투수량계수를 산정할 수 있으나 본 연구에서는 양수시험을 미수행 지점에 대해서도 지하수위 변동 해석모델의 매개변수와 해안까지의 거리를 이용하여 투수량계수를 산정할 수 있을 것으로 판단된다.

6. 결론

수문해석모델을 구축하거나 함양량 산정 및 지하수위를 예측할 때, 대수층의 수리지질학적 매개변수로 비산출률, 수리전도도, 투수량계수 등이 이용된다. 그러나 이러한 수리상수들은 현장시험 등을 통해 얻어지는데 모든

지점에 현장시험을 수행하기에 한계가 있다. 따라서 본 연구에서는 지하수위 변동 해석모델의 매개변수를 이용하여 투수량계수를 예측하는 경험식을 제안하였다. 반응계수, 비산출률 및 투수량계수는 모두 대수층의 공극과 관계가 있으므로 매개변수간의 분포특성을 이용하여 투수량계수를 산정하였다. 매개변수를 이용하여 추정된 투수량계수와 비양수량을 이용하여 추정된 투수량계수를 도시한 결과, 기존의 연구 결과와 비교하여 결정계수(R²)가 0.7로 나타남에 따라 실제 적용가능성이 높은 것으로 나타났다. 이에 따라 연구지역 내 모든 지점들에 대한 투수량계수를 산정한 결과, 전체적으로 14.2~3,716.9 m²/day (평균 821.8 m²/day)로 나타났다.

결과적으로 매개변수와 투수량계수와의 상관성을 이용하는 경우 양수시험이 불가능한 지점에 대한 투수량계수 산정이 가능해짐에 따라, 향후 모델링 구축 시 좀 더 신뢰성있는 입력변수로서의 활용이 가능할 것으로 기대한다.

감사의 글

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

REFERENCE

- Brakensiek, D. L., Rawls, W. J., Stephenson, G. R., 1984, Modifying SCS hydrologic soil groups and curve numbers for rangeland soils, ASAE Paper No. PNR- 84-203, St. Joseph, Mich.
- Choi, B. S., 1999a, Determination of aquifer characteristics from specific capacity data of wells in Jeju Island, J. the Korean Society of Groundwater Environment, 6(4), 180-187.
- Choi, B. S., 1999b, Research of the aquifer by Single wells Pumping test(II): the case of ground water in Jeju Island, Agricultural and Industrial Technology report, 62, 87-100.
- De Zeeuw, J., Hellinga, W. F., 1958, Precipitation and drain, Agricultural Magazine, 70, 405-421.
- Duke, H. R., 1972, Capillary properties of soils-influence upon specific yield, Transaction of the ASAE, 15, 688-691.
- Jeju Special-Governing Province Water Resource Head-quarter, www.jeuwater.go.kr
- Healy, R. W., Cook, P. G., 2002, Using groundwater levels to estimated recharge, J. Hydrol., 10, 91-109.
- Huntley, D., Nommensen, R., Steffey, D., 1992, The use of specific capacity to assess transmissivity in fractured-rock aquifer, Groundwater, 30(3), 396-402.
- Mace, R., 1997, Determination of transmissivity from speicfic capacity tests in a Karst aquifer, Groundwater, 35(5), 738-742.
- Memon, B. A., 1995, Quantitative analysis of springs, Environmental Geology, 26, 111-120.
- Nachabe, M. H., 2002, Analytical expressions for transient specific yield and shallow water table drainage, Water resources research, 38(11), 11-1-11-7.
- 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, J. Engineering Geology, 20(1), 61-70.
- Kim, N. W., Chung, I. M., Yoo, S. Y., Lee, J. W., Yang, S. K., 2009, Integrated surface-groundwater analysis in Jeju Island, J. the Environmental Sciences, 18(9), 1017-1026.
- Kim, N. W., Kim, Y. J., Chung, I. M., 2013a, Development of analyzing model of groundwater table fluctuation (I) : tTheory of model, J. 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, J. the Korean Society of Civil Engineers, 33(6), 2285- 2291.
- Kim, N. W., Kim, Y. J., Chung, I. M., 2014, Sensitivity analysis of hydrogeologic parameters in groundwater table fluctuation model, J. the Korean Society of Civil Engineers, 34(5), 1409-1420.
- Kim, C. O., Koh, G. W., Park, Y. S., Yoon, J. S., 2004, A study of groundwater yield properties of aquifers in the western region of Jeju Island, J. Soil and Ground-water Environment Fall Conference, 83-88.
- Razack, M., Huntley, D., 1991, Assessing transmissibility from specific capacity in a large and heterogeneous alluvial aquifer, Groundwater, 29(6), 856-861.
- Smedema, L. K., Rycroft, D. W., 1983, Land drainage -planning and design of agricultural, Drainage Systems, Cornel University Press, Ithaca, NY.
- Sustainable Water Resources Research Center, 2010, Development and Application of the Integrated SWAT-MODFLOW Model report.
- Woo, Y. J., Hamm, S. Y., Cheong, J. Y., Lee, S. S., Jung, C. Y., Park, Y. S., Kim, B. S., 2003, Hydraulic properties of aquifer in volcanic rock by pumping test in Jeju Island, J. Soil and Groundwater Environment Fall Conference, 292-295.