

지하수위 변동 해석모델의 개발(II): 함양 특성

김남원* · 김윤정** · 정일문***

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

Development of Analyzing Model of Groundwater Table Fluctuation(II): Characteristics of Recharge

ABSTRACT

In this study, daily based groundwater recharge was estimated under unsteady state by using groundwater table fluctuation model developed by Kim et al. (2013). This technique analyzes groundwater variation characteristics by using reaction factor related with groundwater flow and specific yield related with recharge. For the application of this model, measured groundwater level at JD Yongdam 1 and JW Konghang for 5 years were used. This model can estimate daily based groundwater recharge and the computed groundwater levels showed good agreement with measured groundwater levels. At JD Yongdam 1 and JW Konghang, the estimated recharges (rates) were 520.4 ~ 904.0mm (32.7 ~ 61.8%) and 447.4 ~ 633.4mm (24.0 ~ 45.1%), respectively. The developed model can be suggested as an efficient and precise method to estimate daily based groundwater recharge by using groundwater level data.

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

초록

본 연구에서는 Kim et al. (2013)이 개발한 부정류상태에서의 지하수위 변동 해석모델을 이용하여 단위시간별 함양량을 산정하였다. 지하수위 변동 해석모델은 지하수의 흐름과 관련된 반응계수와 함양에 관련된 비산출율을 매개변수로 이용한다. 해석모델의 적용을 위해 제주도 한천지역의 관측정 중 강우에 대한 반응이 양호한 JW 공항과 JD 용담1지점에 대한 5년(2006-2010)간의 지하수위 관측자료를 이용하였다. 지하수위 해석모델은 국지적인 규모에서의 단위시간별(일별) 함양량 산정이 가능하며 지하수위 자료와 비교한 결과, 함양량과 매개변수가 지하수위를 잘 반영하고 있었다. 함양량 산정결과 JD 용담1 지점은 520.4 ~ 904.0mm (32.7 ~ 61.8%), JW 공항지점은 447.4 ~ 633.4mm (24.0 ~ 45.1%)로 나타났다. 개발된 해석모델은 지하수위 자료를 이용하여 매개변수를 추정과 단위시간별 함양량을 산정하는 방안으로 활용되기를 기대된다.

검색어 : 지하수위, 지하수 함양, 반응계수, 비산출율

1. 서론

지하수 함양량은 지역의 지하수관리계획 및 수자원 정책 수립이 가능하도록 하기위한 중요한 요소이며 수자원에 대한 지하수 의존성이 큰 지역일수록 더욱 중요한 의미를 갖는다. 특히 제주도에 물산업이 활성화되어 지하수의 수요가 증가하여 지하수의 안정적인 공급과 수량 확보를 위한 관리가 요구된다.

Cho and Park (2008)에 따르면 1990년대 이후 지하수의 함양량을 손쉽게 얻기 위해 전체 강우량 중 함양량이 차지하는 비율을

* 정희원 · 한국건설기술연구원 선임연구위원 (nwkim@kict.re.kr)

** 교신저자 · 한국건설기술연구원 연구원 (Corresponding Author · Korea Institute of Construction Technology · yjkim80@kict.re.kr)

*** 정희원 · 한국건설기술연구원 연구위원 (imchung@kict.re.kr)

Received July 12, 2013/ revised August 7, 2013/ accepted September 25, 2013

‘지하수 함양율’이라 하여 활용되고 있다. K-water (2003)에 따르면 제주도의 함양량을 총강수량의 46.1%로 가정하여 적용하였다. 그러나 지하수 함양은 매질의 수리지질학적 영향을 받기 때문에 시공간적 가변성을 가진다. 따라서 같은 지역이라도 국지적으로 다양한 값을 가지므로 지하수 함양량을 산정하기 위해서는 단위시간별 함양량을 산정하여 규명되어야 한다.

현재 함양량 산정을 위해 적용하는 방법으로는 수문성분 분리법, 기저유출 분리법, 지하수위 변동법, 지하수위 변동 모델 등 적용되는 개념에 따라 다양하게 분류되고 있다. 각 추정방법들은 주어진 환경에 따라 크게 영향을 받으며, 연구자나 연구 개념에 따라 상대적인 오차와 장단점이 존재하기도 한다(Yun et al., 2009).

지하수위 변동자료를 이용한 방법의 대표적인 유형으로는 Healy and Cook (2002)에 의해 제안된 강수시 발생하는 지하수위의 변화량에 대수층의 비산출률을 곱하여 지하수 함양량을 산출하는 지하수위 변동법이 있다. 이외에도 개념과 적용방법에 따라 지하수위 강하법, 누적지하수위 강하법, 등의 다양한 명칭으로 사용되고 있다(Choi et al., 2011; Healy and Cook, 2002; Kim et al., 2010; Choi and Ahn, 1998; Moon and Woo, 2001). 이런 방법들은 특정 상층 또는 하강구간에 대하여 함양율을 산정하여 전 구간에 적용하므로 함양량이 과추정 되거나 단기간의 함양량을 산정할 수 없다는 한계가 있다. 이외에도 Cho and Park (2008)에 의해 제시된 충전공극율을 이용한 지하수위 변동 모델이 있다. 제안한 식은 이론적 근거를 제시하고 있으나 매개변수 산정시 부수적인 조사 및 실험이 요구된다. 상기에 기술한 바와 같이 함양량 추정에 대한 많은 연구가 진행되고 있으나 각 산정법들은 수식상의 오류와 적용상의 한계를 지닌다. 그러나 지하수위 변동자료를 이용하는 방법은 수문성분분리법의 증거자료이고 기저유출률과도 일관성을 유지하며 더욱이 관측자료에 입각한 방법이라는 점에서 충분히 고찰할 필요가 있다. 이와 같은 단점을 보완하는 방법으로 Kim et al., (2013)은 함양과 지하수위 예측을 위한 지하수위 변동 해석모델을 제시하였는데 이는 지하수 흐름과 관련된 반응계수와 지하수 함양과 관련된 비산출율을 기반으로 해석한다. 본 연구에서는 Kim et al., (2013)이 개발한 지하수위 변동 해석모델을 적용하여 국지적 규모의 단위시간별 함양량을 산정하고 그 특성을 규명하고자 한다. 해석모델을 적용하기 위해, 제주도특별자치도 수자원본부에서 운영 중인 제주도지역의 한천하류지점 중 JD 용담1과 JW 공항지점의 지하수위 자료를 이용하였다. 이를 이용하여 각 관측지점의 지하수위의 변동을 좌우하는 매개변수인 반응계수(reaction factor)와 비산출율(specific yield)을 추정하여 부정류 상태에서의 함양량 및 함양특성에 대하여 논하였다.

2. 지하수위 변동 해석모델의 개요

2.1 지하수위 변동 해석모델의 개념

De Zeeuw and Hellinga (1958)는 단위시간(Δt)동안의 함양량($R_{\Delta t}$)이 일정하다고 가정할 때, 부정류상태에서의 지하수위 변동식을 제안하였다. 이는 지하수위를 전 지하수위(h_{i-1})와 반응계수, 함양량 그리고 대수층의 비산출율에 대한 식으로 표현된다. 본 연구에서는 이를 지하수위 변동 해석모델의 기본으로 하여 단위시간별 함양량을 산정하였다(Kim et al., 2013).

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

여기서 h_i 는 i 일에서의 지하수위(L), h_{i-1} 는 $i-1$ 일에서의 지하수위(L), Δt 는 단위시간(T), $R_{\Delta t}$ 는 단위시간에서의 대수층 함양량(L)이다.

2.2 함양량 산정방법

De Zeeuw and Hellinga (1958)가 제안하는 지하수위 변동식을 변형하여 함양량을 산정하였으며 단위시간동안의 함양량, $R_{\Delta t}$ 에 대해 다시 정리하면 Eq. (2)와 같이 표현된다.

$$R_{\Delta t} = \frac{\{h_i - h_{i-1} \exp[-\alpha \Delta t]\} \times 800\mu\alpha}{1 - \exp[-\alpha \Delta t]} \quad (2)$$

이 때, 연속적인 지하수위 관측자료를 획득한다면 h_i , h_{i-1} 에서의 지하수위 값을 이용하여 매개변수인 반응계수(α , reaction factor)와 비산출율(μ , specific yield)을 추정함으로써 부정류상태에서의 단위시간별 함양량($R_{\Delta t}$)을 산정할 수 있다.

2.3 반응계수 산정

부정류 지하수위 변동 해석모델에는 두 개의 매개변수가 있는데 그 중의 하나가 반응계수(α , reaction factor)로, 대수층에서 지하수의 배출형태를 설명하는 인자이다.

만약 함양이 없다고 가정할 때 지하수가 배출됨에 따라 지하수위는 하강하게 되는데, 이때의 감속곡선을 이용하여 반응계수를 산정한다. 다시 말해 Eq. (1)은 함양이 없는 경우($R_{\Delta t} = 0$ 일 경우)에 단위시간 Δt 를 1 day라 하면 지하수위 자료를 이용하여 반응계수를 산정할 수 있게 된다.

$$\alpha = \ln\left(\frac{h_{i-1}}{h_i}\right) \quad (3)$$

2.4 비산출율 산정방법

모델의 두 번째 매개변수는 비산출율(μ , specific yield)로, 이는 지하수의 함양특성을 나타내는 주요인자이다. Eq. (1)을 비산출율에 대해 정리하면 Eq. (4)과 같이 표현할 수 있다.

$$\mu = \frac{R_{\Delta t}(1 - \exp[-\alpha \Delta t])}{800\alpha(h_i - h_{i-1}\exp[-\alpha \Delta t])} \quad (4)$$

그러나 Eq. (4)의 비산출율은 반응계수와 함양량을 미리 알아야 하기 때문에 직접 산정할 수 없다. 기존연구에서는 함양량 대신에 강수량을 점목하나 본 연구에서는 지하수의 함양에 의한 발생하는 지하수 상승구간에 대해 수문모형(SWAT-K)에서의 마지막 토양층에서의 침투된 양이 모두 함양된다고 가정하여 이를 함양량으로 이용하였다. 수문모형(SWAT-K)의 분석결과는 Chung et al. (2011)이 분석한 한천유역 자료를 이용하였다. 비산출율은 구간별 지하수위 변동 자료와 수문모형의 침투량을 이용하여 보정을 하여 해석모델에 적용하였다.

3. 연구 지역

해석모델의 적용을 위해 제주도의 한천유역을 선정하였으며 지하수위 자료는 제주도특별자치도 수자원본부(www.jejuwater.go.kr)에서 운영 중인 JD 용담1, JW 공항지점의 관측자료를 이용하였다(Fig. 1). 지하수위 변동 해석모델은 지하수위 자료를 이용하여 함양량을 산정하기 때문에 실측자료에 대한 의존도가 매우 높다. 따라서 강수에 대한 수위 변화가 잘 나타나는 충적층에 관측지점을 선정하였다(Kim et al., 2013).

제주도의 북쪽 중앙 해안가에 위치한 한천유역은 조면 현무암류와 조면암 및 현무암류로 구성되어 있는데, 특히 현무암에 발달한 클리커층이 지하수의 함양과 유동에 중추역할을 한다. 이러한 제주도의 지질학적 특성은 지하수의 침투와 함양에 유리하여 타 내륙지역보다 함양량이 크게 나타난다(Choi et al., 2011).

Fig. 2는 JD 용담1과 JW 공항지점의 실측 지하수위와 강수량 자료를 나타낸 것이다. 강수는 제주 강우관측소의 자료이며 지하수

위는 각 지점에서 5년간(2006-2010) 관측한 자료이다. 지하수위와 강수량자료와의 관계를 관찰한 결과 두 지점 모두 강우에 대한 수위 상승 반응이 빠른 것으로 나타났다. 또한 지하수위 감수와 상승구간이 뚜렷하게 나타나 모델 적용에 용이한 것으로 판단되었다. 자료가 결측된 구간에 대해서는 선형보간하여 자료를 보완하였다. 2007년의 지하수위 자료 중 단기간에 강수량이 급증하여 지하수위의 상승부가 침투형태로 매우 급경사를 이루고 있는데 이는 단기간에 내린 다량의 강수로 인해 발생한 지하수 상승과 관측정에 강수가 직접적으로 유입됨으로서 과충정되어 나타난 결과로 판단된다. 지형적으로 인접한 두 관측지점은 강수와 지하수위 변동 형태는 전반적으로 유사한 형태를 보이고 있다.

4. 함양 분석

지하수위 변동 해석모델에 적용하여 JD 용담1, JW 공항지점에서의 단위시간별 함양량을 산정하였다. 산정된 지하수의 일별 함양량을 이용하여 조사지점의 함양형태 및 특성을 살펴보았다. 본 해석모델의 실제 적용가능성에 대해 분석해 보았으며 산정된 매개

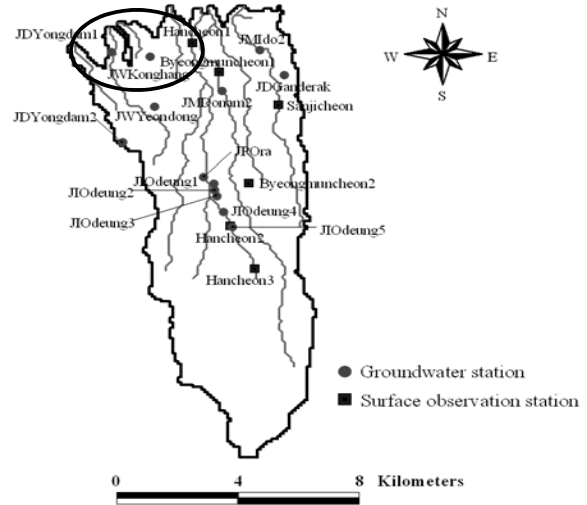


Fig. 1. Location of Groundwater Monitoring Wells in Jeju Island (Figure from Kim et al. (2013))

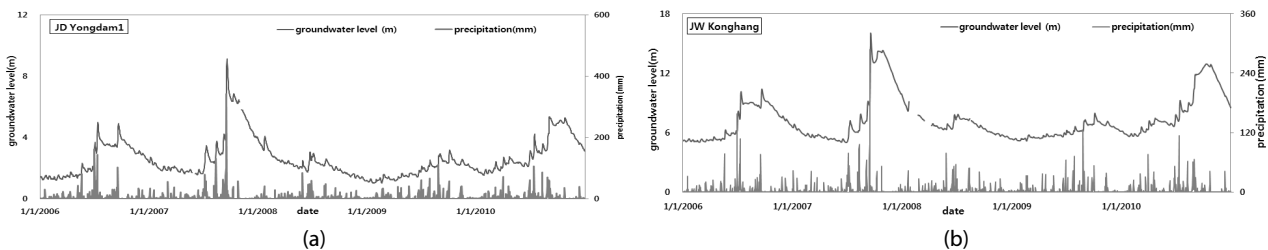


Fig. 2. Observed Rainfall and Groundwater Level at JD Yongdam1(a) and JW Konghang(b)

변수를 이용하여 함양량을 산정하였다. JD 용담1과 JW 공항지점의 함양량 분석에 이용된 지하수위 변동 해석모델의 매개변수는 Table 1과 같다.

4.1 함양의 형태

Fig. 3은 두 지점에 대해 조사 기간동안의 일별 강수량과 함양량을 도시한 결과이다. 강우량에 따라 함양량이 늘어나지만 강우가 발생하지 않는 기간에도 함양이 일어나고 있는 것을 알 수 있다. 이는 앞서 설명한바와 같이 함양은 토양층과 비포화대를 이동하는 메커니즘에 의해 발생하며 매질의 특성에 의해 그 양과 형태가 결정된다는 것을 반증하는 것이다. 두 지점의 함양형태를 살펴보면 전체적인 함양의 변화양상은 유사하게 나타내는데 이는 Fig. 2의 지하수위 관측 자료에서도 알 수 있는 것처럼 지하수위 변동 양상이 비슷한 두 지점이므로 함양되는 과정도 유사하다는 것을 나타낸다. 그러나 Fig. 3의 (d)와 같이 이벤트 강우에 따른 단기간의 함양 양상은 다소 차이를 보이는데 이는 침투된 양이 토양층을 통해 이동하는 과정에 따라 함양과 배출의 형태가 달라지기 때문이다. 다시 말해, 인근 지역이라 하더라도 대수층의 수리지질학적 특성에 따라 매개변수가 달라져 발생하는 것이다.

Table 1. Applied Parameters

| Location | Reaction factor(α) | Specific yield(μ) |
|-------------|-----------------------------|-------------------------|
| JD Yongdam1 | 0.039 | 0.023 |
| JW Konghang | 0.028 | 0.009 |

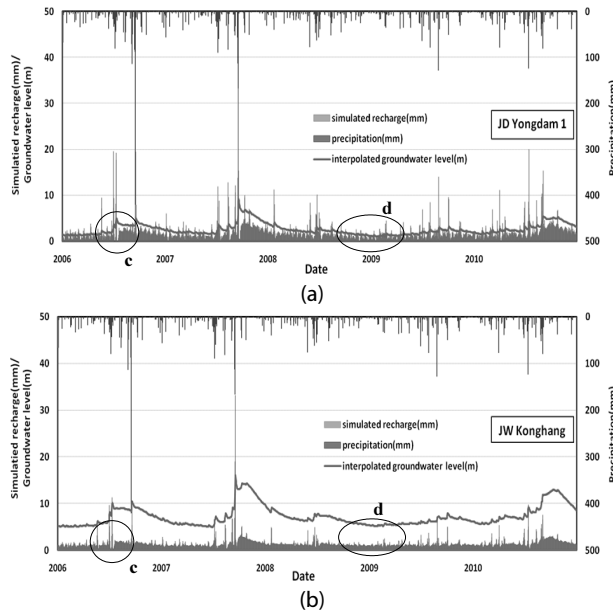


Fig. 3. Observed Groundwater Level and Simulated Recharge at JD Yongdam1(a) and JW Konghang(b)

본 연구에서 제시한 모델을 이용하여 산정한 함양량 중 일부가 음수 또는 0의 값으로 나타나 Fig. 3의 (c)와 같이 다량의 강우 후 함양을 추정하지 못하는 경우가 발생하기도 한다. 이에 대해 현재로서는 논리적인 설명이 어려우며 모델자체의 오차이거나 강수와 지하수위 관측자료의 오류 또는 함양량보다 배출되는 양이 많아 나타나는 현상으로 추정할 수 있으나 이런 현상에 대해서는 추가적인 연구가 더 이루어져야 할 것으로 보인다.

4.2 함양량

Tables 2 and 3은 지하수위 변동자료를 이용하여 일별로 산정된 함양량을 분기별, 연별로 합산하여 나타낸 결과이다.

JD 용담1지점의 함양량 분석결과를 살펴보면, 전반적으로 1~3월에 가장 낮게 나타나고 점점 증가하다가 7~9월에 가장 높게 나타난다. 2007년은 1~6월까지 낮은 값이 나타나고 9~12월까지 계속

Table 2. Estimated Recharge at JD Yongdam1

| Date (Year) | Date (Months) | Precipitation (mm) | Simulated recharge (mm) | Recharge ratio (%) |
|-------------|---------------|--------------------|-------------------------|--------------------|
| | | | | |
| | 4~6 | 190.8 | 135.9 | 71.2 |
| | 7~9 | 1,414.5 | 280.8 | 19.9 |
| | 10~12 | 262.8 | 183.4 | 69.8 |
| | Total | 2,139.8 | 699.2 | 32.7 |
| 2007 | 1~3 | 237.0 | 131.6 | 55.5 |
| | 4~6 | 162.4 | 111.4 | 68.6 |
| | 7~9 | 988.4 | 346.0 | 35.0 |
| | 10~12 | 221.5 | 315.0 | 142.2 |
| | Total | 1,609.3 | 904.0 | 56.2 |
| 2008 | 1~3 | 222.6 | 170.0 | 76.4 |
| | 4~6 | 445.4 | 175.1 | 39.3 |
| | 7~9 | 353.4 | 135.2 | 38.2 |
| | 10~12 | 152.3 | 89.0 | 58.4 |
| | Total | 1,173.7 | 569.3 | 48.5 |
| 2009 | 1~3 | 186.4 | 103.3 | 55.4 |
| | 4~6 | 308.4 | 109.0 | 35.4 |
| | 7~9 | 479.2 | 161.0 | 33.6 |
| | 10~12 | 167.2 | 147.1 | 88.0 |
| | Total | 1,141.2 | 520.4 | 45.6 |
| 2010 | 1~3 | 219.6 | 130.0 | 59.2 |
| | 4~6 | 396.8 | 176.9 | 44.6 |
| | 7~9 | 638.0 | 303.6 | 47.6 |
| | 10~12 | 151.2 | 258.1 | 170.7 |
| | Total | 1,405.6 | 868.7 | 61.8 |

Table 3. Estimated Recharge at JW Konghang

| Date | Precipitation (mm) | Simulated recharge (mm) | Recharge ratio (%) | |
|------|--------------------|-------------------------|--------------------|--------|
| | | | | (Year) |
| 2006 | 1~3 | 271.7 | 92.7 | 34.1 |
| | 4~6 | 190.8 | 110.4 | 57.8 |
| | 7~9 | 1,414.5 | 183.6 | 13.0 |
| | 10~12 | 262.8 | 126.3 | 48.1 |
| | Total | 2,139.8 | 513.0 | 24.0 |
| 2007 | 1~3 | 237.0 | 100.9 | 42.6 |
| | 4~6 | 162.4 | 91.5 | 56.4 |
| | 7~9 | 988.4 | 213.8 | 21.6 |
| | 10~12 | 221.5 | 207.2 | 93.5 |
| | Total | 1,609.3 | 613.4 | 38.1 |
| 2008 | 1~3 | 222.6 | 125.8 | 56.5 |
| | 4~6 | 445.4 | 126.6 | 28.4 |
| | 7~9 | 353.4 | 121.7 | 34.4 |
| | 10~12 | 152.3 | 99.5 | 65.3 |
| | Total | 1,173.7 | 473.6 | 40.4 |
| 2009 | 1~3 | 186.4 | 97.7 | 52.4 |
| | 4~6 | 308.4 | 105.0 | 34.1 |
| | 7~9 | 479.2 | 124.9 | 26.1 |
| | 10~12 | 167.2 | 119.8 | 71.7 |
| | Total | 1,141.2 | 447.4 | 39.2 |
| 2010 | 1~3 | 219.6 | 107.6 | 49.0 |
| | 4~6 | 396.8 | 137.3 | 34.6 |
| | 7~9 | 638.0 | 209.7 | 32.9 |
| | 10~12 | 151.2 | 178.8 | 118.2 |
| | Total | 1,405.6 | 633.4 | 45.1 |

함양량이 높아지는데 이는 이전 강우의 영향으로 상승한 지하수에 의한 것으로 보여진다. 연도별 총 함양량은 520.4~904.0mm로 나타났다. 2008년에 가장 적게 함양되었으며 이 시기의 강수량 역시 낮게 나타났다. 2006년과 2007년의 강수와 함양량을 비교해 보면, 강수량은 2006년이 2,139mm로 더 많으나 함양량은 2007년에 함양량이 더 높게 나타났다. 이는 2006년의 7~9월간의 집중된 강수의 다수가 함양되지 못하고 지표유출이나 직접유출 등으로 배출되어 나타난 것으로 판단된다.

연단위의 강우대비 함양량의 비를 살펴보면 32.7~61.8(%)사이로 나타났다. 또 함양량과 달리 7~9월이 낮게 나타는데 이는 7~9월 동안 내린 강수량이 타시기보다 커 함양량이 차지하는 비율이 낮게 나타난 것이다. 반대로 10~12월이 높은 비율을 보이며 일부 시기는 100%를 초과하여 나타나기도 하는데 이는 겨울철 강수량은 낮아지고 이전 7~9월 동안 내린 강우에 의한 지체된

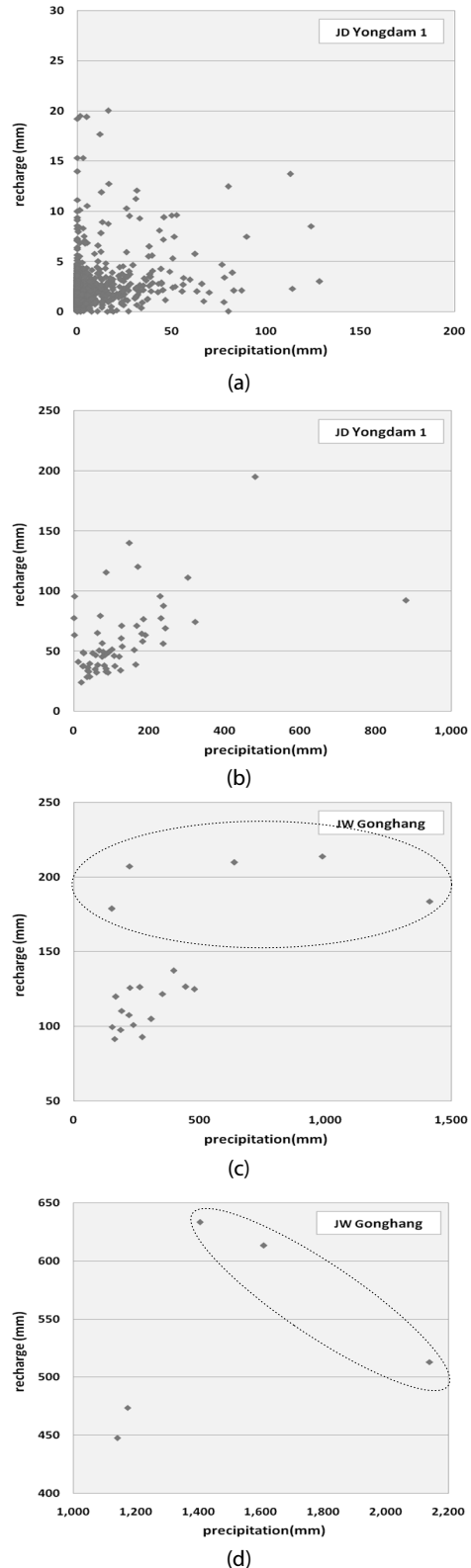


Fig. 4. Comparison of Rainfall and Simulated Recharge at JD Yongdam 1 : (a) Daily, (b) Monthly, (c) Quarterly, (d) Annual

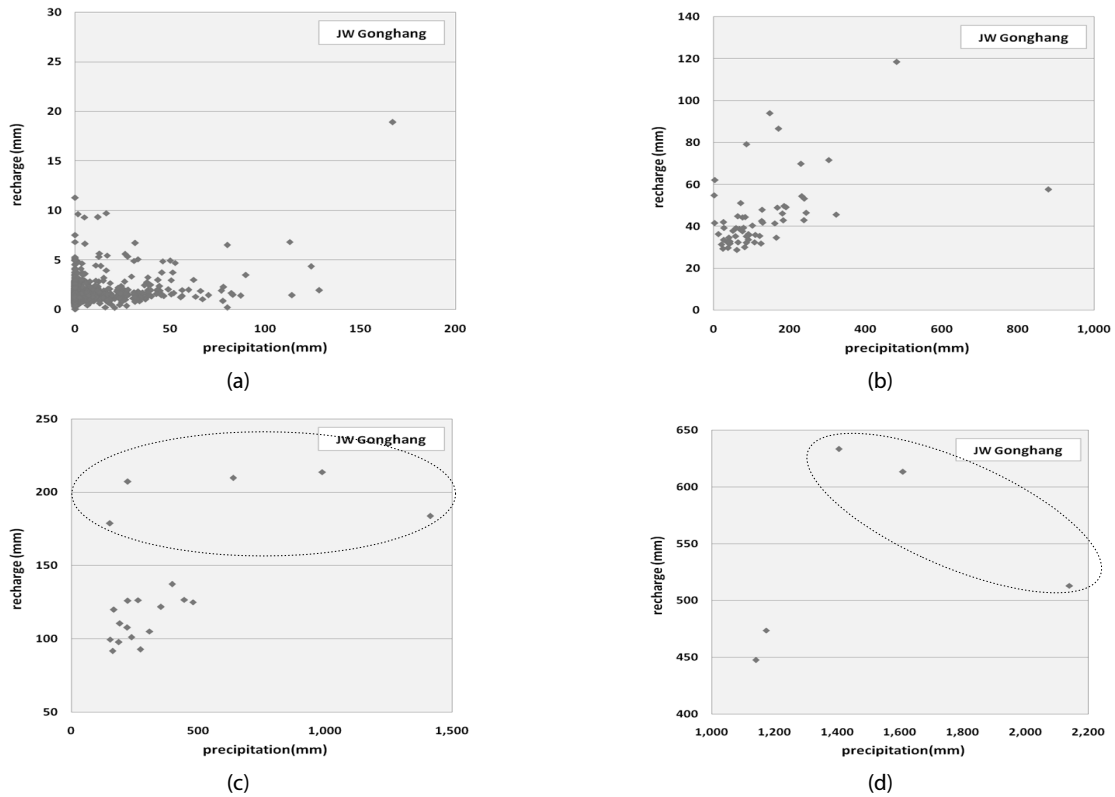


Fig. 5. Comparison of Rainfall and Simulated Recharge at JW Gonghang :(a) Daily, (b) Monthly, (c) Quarterly, (d) Annual

함양과 지하수흐름에 의한 영향으로 판단된다. 그러나 이러 현상이 일반적인 것인지에 대한 판단은 명확치 않다.

JW 공항지점의 함양량 분석결과를 살펴보면, 전반적으로 점점 증가하다가 7~9월에 가장 높게 나타나고 다시 겨울철 감소하는 양상으로 JD 용담1지점과 유사한 형태로 나타난다. 연도별 함양량은 447.4~633.4mm로 나타났다. JW 공항지점에서도 JD 용담1지점과 동일하게 2010년 10~12월사이의 함양율이 100%를 초과하여 나타났다. 인근 지역인 JD 용담1과 비교할 때 함양량과 함양율이 차이를 보이는데 두 지점의 자료의 오류이거나 지하수의 거동 형태가 달라 나타나는 현상으로 판단된다. JW 공항지점의 강우대비 함양량의 비를 살펴보면 연별 함양비는 24.0~45.1(%)사이로, 전반적으로 JD 용담1지점보다 낮게 나타났다.

4.3 함양 특성

Figs. 4~5는 함양량을 일별(a), 월별(b), 분기별(c), 연별(d)로 나누어 강수량과 함께 도시한 결과이다. 각 지점에서의 일별 함양량은 강수량과 일정한 상관성을 보이지 않는다. 월별에서 분기별로 함양량 합산 기간이 길어질수록 상관성이 있어 보이나 분산 역시 크게 나타났다. Tables 2 and 3에서 볼 수 있듯 강수량 대비 함양량

의 비율이 매년 달리 나타남을 알 수 있다. 또 Figs. 4 and 5의 (c)와 (d)에서 알 수 있듯, 강수량의 증가가 함양량의 증가로 직결되지 않는 것을 알 수 있다. 강수량이 토양층의 침투능을 초과하면 지표하로 침투하지 못하고 직접유출 등으로 인해 흘러나가기 때문에 함양량이 증가하는데 한계가 있다. 따라서 강수량의 일정비율을 함양량으로 가정하여 함양을 설명하는 것은 많은 오차를 포함하게 되므로 함양량 산정시 단위시간별에 따른 함양량을 적용하여야 신뢰성을 높일 수 있을 것이다.

5. 요약 및 결론

시공간적으로 변동하는 지하수 함양량을 산정하기위해 국지적 규모의 단위시간별 지하수 함양량을 산정하고자 하였다. De Zeeuw and Hellinga (1958)가 제안한 지하수위 변동식을 변형하여 개발된 지하수위 변동 해석모델을 이용하여 함양량을 산정하였다. 해석모델을 적용하기 위해 비교적 강수에 대한 반응이 양호한 제주도 한천지역의 지하수 관측망 중 JW 공항, JD 용담1 지점의 지하수위 관측자료(2006-2010)를 이용하였다. 적용된 매개변수는 JD 용담1 지점의 반응계수는 0.039, 비산출율은 0.023이며 JW 공항지점은

각각 0.028과 0.009이다. 연별 함양량을 산정결과를 비교하면 JD 용담1지점은 520.4~904.0mm이며 JW 공항지점은 447.4~633.4mm로 분석되었다. 두 지점의 전반적인 변동 양상은 유사하나 함양량과 강수대비 비율은 다소 차이를 보인다.

개발된 지하수위 변동 해석모델은 지하수위 자료를 이용하여 매개변수와 단위시간별 함양량을 산정하는 방법으로 실제 적용결과, 지하수의 함양에 대한 특성을 잘 설명할 수 있었으며 이에 지하수의 함양량을 산정하는 방법으로 활용 가능할 것으로 판단된다. 또한 지하수위에 의한 함양량 및 포화대에서의 매개변수 추정하는 수단으로도 활용되기를 기대한다.

감사의 글

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

References

- Cho, J. W. and Park, E. G. (2008). "A study on delineation of groundwater recharge rate using water-table fluctuation and unsaturate zone soil water content model." *Journal of the Korean Society of Groundwater Environment*, Vol. 13, No. 1, pp. 67-76 (in Korean).
- Choi, B. S. and Ahn, J. G. (1998). "A study on the estimation of regional groundwater recharge ra." *Journal of the Korean Society of Groundwater Environment*, Vol. 5, No. 2, pp. 57-65 (in Korean).
- Choi, H. M. and Lee, J. Y. (2010). "Groundwater level distribution and rainfall response characteristics in haean basin of Yangu." *Journal of the Korean Society of Groundwater Environment*, Vol. 15, No. 6, pp. 1-8 (in Korean).
- Chung, I. M., Lee, J. W., Kim, J. T., Na, H. N. and Kim, N. W. (2011). "Development of threshold runoff simulation method for runoff analysis of Jeju island." *Journal of the environmental sciences*, Vol. 20, No. 10 pp. 305-312 (in Korean).
- De Zeeuw, J. and Hellinga, W. F. (1958). "Precipitation and drain." *Agricultural Magazine*, Vol. 70, pp. 405-421 (in Dutch).
- Healy, R. W. and Cook, P. G. (2002). "Using groundwater levels to estimate recharge." *Hydrogeology Journal*, Vol. 10, No. 1, pp. 91-109.
- Kim, G. B., Choi, D. H. and Jeong, J. H. (2010). "Considerations on the specific yield estimation using the relationship between rainfall and groundwater level variations." *Journal of Engineering Geology*, Vol. 20, No. 1, pp. 61-70 (in Korean).
- Kim, N. W., Kim, Y. J. and Chung, I. M. (2013). "Development of analyzing model of groundwater table fluctuation (i) : Theory of model." *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 33, No. 6, pp. 2277-2284.
- K-Water (2003). Comprehensive Investigation report on Hydrgeologic and groundwater in Jeju island (III) (in Korean).
- Moon, S. K. and Woo, N. C. (2001). "Estimation of groundwater recharge ratio using cumulative precipitation and water-level change." *Journal of the Korean Society of Groundwater Environment*, Vol. 6, No. 1, pp. 33-43 (in Korean).
- Yun, S. W., Jo, Y. J. and Lee, J. Y. (2009). "Comparison of groundwater recharges estimated by waterlevel fluctuation and hydrograph separation in haean basin of yanggu." *Journal of the Geological Society of Korea*, Vol. 45, No. 4, pp. 391-404 (in Korean).