

지하수 수위 변동을 이용한 지하수 함양률 산정(전주-완주, 곡성 지역)

조민조, 하규철, 이명재*, 이진용*, 이강근**

지질자원연구원 환경지질연구부

*(주)지오그린21

**서울대학교 지구환경과학부

hydrolee@netian.com

요 약 문

To investigate the conditions of groundwater resources in Jeonju, Wanju, and Goksung, a basic groundwater survey was performed. From the survey, various useful informations such as groundwater use, waterlevel distribution, water chemistry were obtained. This study focused on the analysis of the water levels, which were automatically monitored with pressure transducers or manually measured. The monitorings were conducted for both shallow wells completed in alluvial aquifers and deep wells in bedrock aquifers. The automatically monitored waterlevels for alluvial aquifer were also used for estimation of recharge in the study area. This study presents results of the investigation.

key word : groundwater, waterlevel, monitoring, Goksung, recharge.

1. 서론

지하수의 자연 함양률을 추정하는 방법에는 물리적인 방법, 화학적인 방법, 동위원소를 이용한 방법으로 나눌 수 있다. 이중 물수지분석법은 총 강우량에서 직접유출과 증발산량을 뺀 수량으로부터 지하수의 자연 함양량을 추정하는 방법으로, 대상구역의 유출량과 증발산량 조사자료가 충분히 있어야 분석이 가능하다. 수소 동위원소, 산소 동위원소, 염소 이온과 같은 자연 추적자를 이용하여 국부적인 지역이나 광역적인 지역의 자연 함양률을 추정하기도 한다. 또 다른 방법으로는 미국 농무성(Soil Conservation Service, SCS)에서 개발한 SCS-CN방법을 이용해 강우의 침투량을 구하고 여러 해의 평균 침투량과 평균 강우량을 비교하여 지하수 함양율을 구하는 방법(최병수와 안중기, 1998)이 있다.

본 연구에서는 자연상태의 지하수위 변동량을 분석하여 지하수 자연 함양량을 계산하는 방법을 이용하였다. 이 방법은 강우에 의해 지하수로 충전되는 양이 지하수위의 변화량에 공극률 또는 비산출률(S_y)과의 곱과 같다는 기본 가정을 이용한다. 지하수위의 변화는 지하수 함양, 계절적 변화, 기압효과 또는 조수효과, 그리고 양수와 같은 인위적 활동에 의해 영향받는다. 이런 모든 요인에 의한 지하수 저류량의 변화는 지하수위 변화에 반영되기 때문에, 강우를 제외한 요인들이 없거나 무시될 수 있는 자료를 이용하여 함양률을 구하였다. 이를 위해 단일 강우사건(event)를 이용하여 대수층의 함양을 추정하는 방법과 지하수위 강하곡선을 이용하여 함양률을 추정하는 방법을 사용하였다. 한편 다년에 걸친 지하수위의 계절적 변화를 분석하여 추정하는 방법은 이번 연구에서는 자료의 부족으로 적용하지 못하였으나, 추후 자료가 충분히 축적되면 적용이 가능할 것으로 사료된다.

2. 본론

2.1 전주-완주지역

지하수위 강하곡선을 이용하여 지하수위 함양량을 구하는 방법은 Theis(1937)가 제시한 함양이 일어나지 않는 기간 동안 지하수위의 감소율 또는 함양이 일어나는 기간 동안의 지하수위 상승률과 누적 강우량의 차의 비를 이용하면 된다. 이 방법을 사용하기 위해서는 대상지역의 비산출율을 알고 있어야 한다는 단점이 있다. 최병수 등(1998)은 지하수위 강하곡선만을 이용하여 지하수 함양량을 구하는 방법을 제시하였다. 유역의 특성에 따라 강우량의 일부분이 지하수로 함양된다고 할 때 강우량과 함양량과의 관계를 다음과 같이 나타낼 수 있다(최병수, 안중기, 1998).

어떤 면적 A의 유역에 강우량 P가 내렸을 때의 함양량을 R이라고 한다면 $R = aA(P - P_0)$ 이다. 여기서 P_0 는 지하수로 함양이 일어나는 강우량(threshold rainfall)을 말한다. 이때 어떤 기간 동안 강우량 P_1 에 의한 함양량이 R_1 이고, 일정기간 경과 후 그 기간의 강우량 P_2 에 의한 함양량이 R_2 라고 한다면 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$R_1 = a_1 A (P_1 - P_0), \quad R_2 = a_2 A (P_2 - P_0)$$

여기서 두 기간에서의 함양률 a_1, a_2 를 전체 기간에 대한 평균값으로 설정하고, P_0 의 값도 같다고 가정하면 다음과 같은 식이 성립된다.

$$R_1 - R_2 = aA(P_1 - P_2)$$

한편, 유역내 대수층에서 유동가능한 유량(V)은 대수층의 높이를 H라고 할 때, 비산출율을 이용하여 다음과 같이 구할 수 있다.

$$V = A \cdot H \cdot S_y$$

비가 지속적으로 내리지 않으면 이 유량은 기저유출과 증발산에 의하여 감소하게 된다. 유역 내에서 강우에 의한 함양이나 양수 등의 기작이 일어나지 않는다면 유역내 대수층의 유동가능한 유량의 감소율은 기저유출량과 증발산량(Et)의 합과 같다고 볼 수 있다.

$$-dV/dt = -A \cdot S_y \cdot dH/dt = Q_0 \cdot e^{-kt} + Et$$

증발산량은 기저 유출량에 비하여 매우 작은 비율이므로 무시될 수 있다고 가정하면 다음과 같은 식이 성립된다.

$$dH/dt = -Q_0/A \cdot S_y \cdot e^{-kt}$$

즉 기저유출량은 다음과 같은 식으로 표현할 수 있다.

$$Q = Q_0 \cdot e^{-kt}$$

여기서 Q_0 는 기준시점에서 기저유출량이고 Q는 t시간 경과후 기저유출량이며 k는 기저유출 감쇠상수이다. 또한 t=0일 때 H=H₁, t=t 일 때, H=H₂라고 하고 양변을 적분하면 지하수위 강하량 (s= H₁-H₂)은 다음과 같이 정리된다.

$$s = Q_0/A \cdot S_y \cdot 1/k(1 - e^{-kt})$$

또 장기간 무강우일때의 지하수위 최대 강하량은 다음과 같이 표현된다.

$$s_m = Q_0/A \cdot S_y \cdot 1/k$$

계산의 편의를 위해서 무강우 지속일수를 30일이라고 가정하였을 때의 30일 동안의 지하수위 강하량 $s_{30} = P_1/S_y \cdot a$ 가 된다. 최대강하량 s_m 과 30일간의 수위강하량 s_{30} 의 비를 수위강하율 $\gamma = s_{30}/s_m$ 이라고 정의하면

$$s_m = Q_0/AS_y \cdot 1/k = a/\gamma \cdot P_1/S_y$$

이고, 따라서 다음과 같은 수위강하 감쇠상수와 지하수 함양율의 관계가 만들어진다.

$$1/k = a/\gamma \cdot A \cdot P_1/Q_0$$

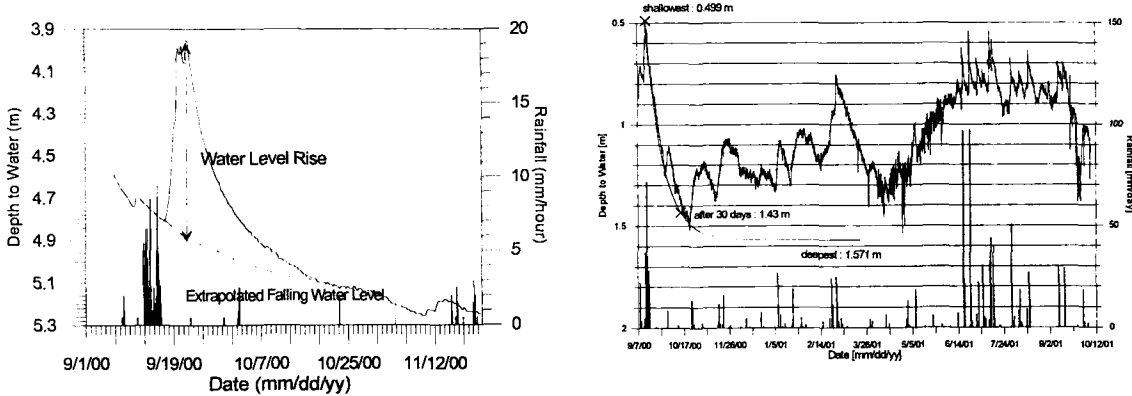
이 식에서 $A \cdot P_1$ 은 대상구역의 강우총량을 말하므로 $A \cdot P_1/Q_0$ 는 기간 중 총 강우량이 기저유출로 배수되는 시간을 의미한다. 이것을 T라 놓으면 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$a = \gamma/k \cdot T$$

한편 양변에 자연로그를 취하면 $kt = \ln s_m/s_m - s$ 이므로 $s \rightarrow s_m$ 일 때 $t \rightarrow T$ 이 된다. 만약 $s_m - s = \delta \cdot s_m$ ($0 < \delta < 0.1$)이 될 때의 t를 T로 잡으면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$kT = \ln s_m / \delta \cdot s_m = \ln 1/\delta = \text{const}(\text{상수})$$

따라서 다음과 같이 된다. $a = 1/\ln(1/\delta) \cdot \gamma = C \cdot s_{30}/s_m$ ($C = -1/\ln \delta$). 즉 어떤 대상지역의 함양율 a 는 상수값 C를 알고 있으면 지하수위 강하율을 이용해서 간단히 구할 수 있다. 최병수 등은 SCS-CN법을 이용하여 먼저 지하수 함양율을 계산하고 이에 대한 평균값을 이용하여 C값을 0.2178로 제시하였다. 본 연구에서는 이 값을 이용하여 함양율을 구하였다.



[그림 1] 단일강우에 의한 수위변화패턴 적용 예 및 Fitting Method 적용.

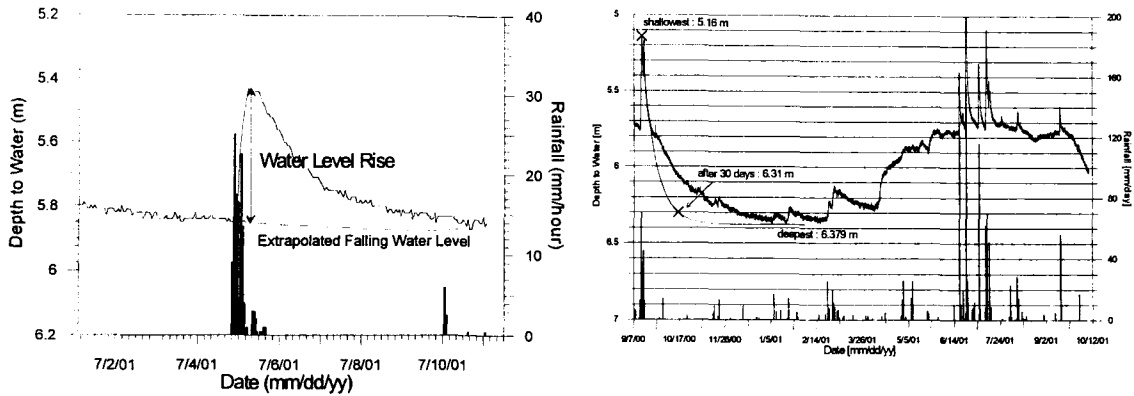
[표 1]. 각 관정별로 추정된 총적층 지하수 함양률.

관 정 명	구간A	구간B	평 균
KJIM1	0.208	0.171	0.190
KJIM2	0.189	-	0.189
KWJM1	0.197	0.182	0.181
완주 용진*	0.194	0.197	0.195

*국가 지하수관측망 자료 이용

2.2 곡성지역

본 조사에서는 자연상태의 지하수위 변동량을 분석하여 지하수 자연 함양량을 계산하는 방법을 이용하였다. 이 방법은 강우에 의해 지하수로 충전되는 양이 지하수위의 변화량에 공극률 또는 비산출률(S_y)과의 곱과 같다는 기본 가정을 이용한다. 지하수위의 변화는 지하수 함양, 계절적 변화, 기압효과 또는 조수효과, 그리고 양수와 같은 인위적 활동에 의해 영향받는다. 이런 모든 요인에 의한 지하수 저류량의 변화는 지하수위 변화에 반영되기 때문에, 강우를 제외한 요인들이 없거나 무시될 수 있는 자료를 이용하여 함양률을 구하였다.



[그림 2] 단일강우에 의한 수위변화패턴 적용 예 및 Fitting Method 적용.

[표 2]. 각 관정별로 추정된 총적층 지하수 함양률.

관 정 명	구간A	구간B	평 균
KGSM1	0.205	-	0.205
KGSM2	0.202	-	0.202
곡성 입면*	0.161	0.174	0.168

*국가 지하수관측망 자료 이용

3. 결론

전주-완주 및 곡성지역의 지하수위를 자동으로 모니터링한 자료를 이용하여 지하수 함양율을 추정하였다. 추정결과 다른 연구에서 추정한 우리나라의 지하수 함양율과 동일한 수준을 보였다. 본 연구의 결과는 전주-완주 및 곡성지역 지하수자원의 상태 이해 및 효율적 관리에 도움을 줄 것으로 사료된다.

4. 참고문헌

- 최병수, 안중기, 1998. 지역단위 지하수 자연함양율 산정방법 연구, 지하수환경 5(2), 57~65.
- 박재성, 김경호, 전민우, 김지수, 1999. 소유역의 지하수함양율 추정기법, 지하수토양환경 6(2), 76~86.
- 고용권, 배대석, 김천수, 김경수, 정형재, 김성용, 2001. 환경동위원소를 이용한 여수지역 소유역에서의 지하수함양특성 고찰, 지하수토양환경 6(3), 93~106.
- 문상기, 우남철, 2001. 누적 강수량과 지하수위 곡선을 이용한 지하수 함양률 추정 기법, 지하수토양환경 6(2), 33~43.
- Angelini, P., 1997. Correlation and spectral analysis of two hydrogeological systems in Central Italy, Hydrological Sciences Journal 42(3), 425-439.
- Larocque, M., Mangin, A., Razack, M., and Banton, O., 1998. Contribution of correlation and spectral analyses to the regional study of a karst aquifer (Charente, France), Journal of Hydrology 205, 217-231.
- Lee, J.Y., and Lee, K.K., 2000. Use of hydrologic time series data for identification of recharge mechanism in a fractured bedrock aquifer system, Journal of Hydrology 229(3-4), 190-201.
- Mangin, A., 1984. Pour une meilleure connaissance des systmes hydrologiques partir des analyses corrélatrice et spectrale, Journal of Hydrology 67, 25-43.
- Padilla, A., Pulido-Bosch, A., 1995. Study of hydrographs of karstic aquifers by means of correlation and cross-spectral analysis, Journal of Hydrology 168, 73-89.
- Wei, W.W.S., 1994. *Time Series Analysis*, Addison-Wesley Publishing Company, p.293.