

강우량과 지하수위를 이용한 지하수 함양특성 분석

Analysis of Groundwater Recharge Characteristics Using Relationship between Rainfall and Groundwater Level

이 동 루* / 구 호 본**
Lee, Dong-Ryul / Koo, Hobon

Abstract

A dynamic model, which combined time series model with distributed-lag model, is applied to understand the relationship between rainfall and groundwater level. In the model, rainfall with distribution lags and past groundwater level as a dependent variables were used to estimate present groundwater level. The distribution of the lagged rainfall effects for groundwater levels was modeled by Almon polynomials.

The model was applied to Banglim and Tanbu groundwater stations in Pyungchang river and Bocheong stream watershed which are representative basins for International Hydrological Program (IHP). The dynamic model represents observed groundwater levels very well and can be used to predict the levels. The model parameters reflect hydraulic characteristics of aquifer. In addition, from the parameters it appears that the increase in groundwater level due to rainfall takes place significantly within first two days of the rainfall event. The rainfall of the order of 18mm/day and 30mm/day at Banglim and Tanbu, respectively, had no significant effect on the groundwater levels.

keywords: dynamic model, time series model, distributed-lag model, groundwater level, groundwater recharge, rainfall

요 지

시계열모형과 시차분포모형을 결합한 동적모형을 이용하여 강우량과 지하수위의 관계를 파악하였다. 현재의 지하수위를 종속변수로 하였으며, 시차에 따른 현재 및 과거 강우량과 과거 지하수위를 독립변수로 하여 동적모형을 구성하였다. 지하수위에 미치는 시차에 다른 강우량의 영향을 Almon 다항식으로 분포시켜 시차분포모형의 매개변수를 추정하였다. IHP대표유역의 방림과 탄부의 지하수위관측소에서 적용된 동적모형은 강우량에 따른 지하수위를 매우 잘 재현해주고 있으며, 지하수위의 예측에도 이용할 수 있음을 확인하였다. 또한 모형의 매개변수는 대수층의 지질 특성을 반영하고 있다. 지하수위는 1일전 강우량과 가장 큰 연관성이 있으며, 방림의 경우 18mm/일, 탄부의 경우 30mm/일 이하의 강우량에서는 지하수위의 변동에 큰 영향이 없었다.

핵심용어 : 동적모형, 시계열모형, 시차분포모형, 지하수위, 지하수 함양량, 강우량

* 한국건설기술연구원 수자원환경부 선임연구원
Senior researcher, Water resources and Environmental Research Div., Korea Institute of Construction Technology, Koyang, Kyonggi-Do 411-410, Republic of Korea

** 한국건설기술연구원 토목연구부 선임연구원
Senior researcher, Civil Engineering Div., Korea Institute of Construction Technology, Koyang, Kyonggi-Do 411-410, Republic of Korea

1. 서 론

강우량 침투(infiltration)에 의한 비포압대수층의 지하수 변동과정은 대수층의 비포화대(unsaturated region)의 흐름특성에 좌우되어 해석이 매우 복잡하다. 침투량은 비포화대의 토양습윤량, 지표면 피복 특성 등 많은 인자들의 영향을 받는다. 강우량에 의한 함양량 즉, 강우량이 침투하여 지하수대에 도달하는 양은 해당 대수층의 안정채수량(safe yield)의 결정에 직접적인 영향을 준다(Viswanathan, 1983). 또한, Rusthon 등(1979)이 지적한 것처럼 지하수 함양량은 결국 지하수 이용 가능량이기 때문에 가용 지하수자원의 평가를 위하여 중요한 요소이다. 그러나 현재까지 현장에서 함양량을 직접적으로 명확하게 추정가능하고, 객관적으로 인정되는 방법이 없는 실정이다. 이는 지하수위 변동량으로부터 함양량과 지하수층에서의 흐름 분리가 어렵기 때문이다.

현재까지 일반적으로 많이 이용하는 함양량 추정방법은 다음과 같은 네 가지가 있다. 1) Penman과 Grindly의 연구에 기초를 두고 있는 물수지 분석(Rusthon 등, 1979), 2) Mayboom(1961)이 제안한 유출수문곡선 분석법, 3) 비포화대 흐름을 수학적으로 해석하는 수치모형의 이용(Su, 1994) 및 4) 강우량과 지하수위의 시계열 모형(Viswanathan, 1983)의 이용이 대표적인 방법들이다.

위에서 첫 번째 물수지 분석에 의한 방법은 함양량을 토지이용상태에 따라 공간적으로 분포되는 유효강우량(강우량-증발량)의 함수로 나타낸다. Penman과 Grindly의 물수지 모형의 주된 관점은 함양량을 추정하기 위한 것이 아니라 실제증발산량과 토양습윤부족량(soil moisture deficit)을 결정하는데 있었다. 최근 지하수 함양량을 추정하기 위한 물수지 방법의 연구는 이 방법이 함양량을 적게 추정한다는 것을 입증한 결과가 있다(Rusthon 등, 1979). 두 번째 방법은 하천 유출수문곡선의 지하수유출 감수곡선을 이용하여 유출량-지하저류량 관계를 유도하고, 이로부터 지하수 함양량을 추정하는 것이다. 이 방법은 유출수문곡선에서 지하수 유출의 개념적 분리에 기초를 두고 있고, 가정상의 문제점도 있지만 신뢰성 있는 하천유량 자료가 절대적으로 필요하다. 세 번째 방법은 투수계수(hydraulic conductivity), 공극률(porosity)과 같은 대수층의 물리적 특성을 고려하여 지하수 흐름 방정식의 수치해를 이용하는 것이다. 이 방법은 대수층의 물

리적 특성을 잘 설명할 수 있다는 점에서 유용한 방법이라고 할 수 있으나 수치해를 얻기 위한 가정사항들로 인하여 많은 어려움이 있고, 특히 대유역에서의 적용은 더욱 어렵다. 마지막으로 강우량과 지하수위의 시계열 모형을 이용한 추정 방법은 현재의 지하수위의 변동을 전 지하수위, 현 강우량 및 전 강우량의 함수로 나타내어 추정된 시계열의 매개변수를 통하여 함양량의 특성을 파악하는 것으로서, Viswanathan(1983)은 이 방법이 다른 방법들보다 매우 간단하게 함양량을 추정할 있다고 하였다.

국내의 연구에서 이동률(1996)은 우리나라 5대 하천의 유출수문곡선을 이용하여 지하수함양량을 추정하여 제시하였고, 한국자원연구소(1993)에서는 물수지 분석에 의한 지하수 부존량을 추정하였다. 그러나 이들의 분석들은 기시적인 분석으로 선행 및 현행 강우량에 의해 나타나는 시간적인 지하수함양 특성을 파악하기엔 어려운 결과들을 주고 있다.

본 연구에서는 강우량이 지하수위에 미치는 시간적 거동을 시계열모형과 시차분포모형을 결합한 동적모형을 통하여 분석하고 이를 이용하여 함양특성을 파악하고자 한다. 또한, 지하수위에 영향을 미칠 수 있는 임계강우량을 파악하고자 한다. 이와 같은 분석은 강우량을 이용하여 지하수위를 예측할 수 있는 정보를 제공할 것이다.

2. 모 형

2.1 동적모형

본 연구에서는 시차분포모형(distributed-lag model)과 시계열모형(time series model)을 결합한 동적모형(dynamic model)인 식 (1)을 이용하여 강우량과 지하수위의 관계를 해석하였다.

$$H_t = a_0 + \sum_{i=0}^{\infty} b_i R_{t-i} + \lambda H_{t-1} + u_t \quad (1)$$

여기서 H_t 는 지하수위, R_t 은 강우량, a_0 , b_i 및 λ 는 모형 매개변수로서 대수층의 상태를 나타낸다. 또한, u_t 는 오차를 나타내는 확률변수이다. 식 (1)은 종속변수인 지하수위의 1차 자기회귀모형(first order autoregressive model, AR(1))의 시계열분석과 지하수위에 영향을 미치는 현재 및 과거의 독립변수(강우량)의 함수로 정의하는 회귀분석을 결합한 형태이다.

지하수위만을 이용한 단순 시계열모형에서는 수위변동의 인과관계를 파악할 수 없다. 그러나 식 (1) 모형은 인과관계를 설명하기 위하여 강우량의 영향을 나타내는 시차분포모형을 시계열모형과 함께 적용함으로써 지하수위의 거동을 효과적으로 파악할 수 있다. 시차분포모형이란 현재 및 과거에 시차를 두고 발생한 설명변수(여기서는 강우량)를 포함한 모형을 말한다. 이들 모형의 특성들은 유지성(1998), 이종원(1998)에 상세히 기술되어 있다.

시계열모형을 이용한 초기연구의 하나는 식 (1)에서 지하수위의 변동을 AR(1)으로 분석한 Eriksson (1970)의 연구이다. 이후 Rennols 등(1980)은 현재의 강우량과 AR(1)을 결합한 모형을 이용하였다. 이들 모형들은 시차를 두고 발생한 선행 강우량을 고려하지 않았고, 대수층의 매개변수가 시간적인 변동이 없다고 가정하여 최우도법(maximum likelihood method, MLM)에 의해 모형매개변수를 추정하였다. Viswanathan (1983, 1984)은 Rennols 등(1980)의 연구를 발전시켜 지하수위와 강우량의 시차를 고려하고, 대수층의 상태를 나타내는 모형매개변수들이 시간종속적이라는 가정하에 순환알고리즘(recursive algorithm)을 이용하여 매개변수를 추정하였다.

식 (1)의 모형은 지하수위 시계열이 자기상관(autocorrelation)되어 있기 때문에 확률변수, u_t 에 식 (2)와 같은 자기상관이 존재한다.

$$u_t = \varepsilon_t - \lambda \varepsilon_{t-1} \quad (2)$$

여기서 ε_t 는 평균 0, 표준편차 σ_ε 을 갖는 정규확률변수, $N(0, \sigma_\varepsilon)$ 로서 $E(\varepsilon_i \varepsilon_j) = 0$ 이다.

전통적으로 최소자승법(ordinary least squares, OLS)을 이용하여 매개변수를 추정하는 선형회귀모형은 확률변수에 자기상관이 존재하지 않는다는 가정하고 있다. 자기 상관이 존재하면 OLS에 의해 추정된 매개변수는 편의(biased)된 추정량을 얻는다.

이를 해결하기 위하여 Rennols 등(1980)은 MLM을 이용하여 매개변수를 추정하였으나, 전절에서 기술한 것과 같이 선행 강우량을 고려하지 않았고, 순환알고리즘(recursive algorithm)을 이용한 Viswanathan (1982, 1983)연구는 매개변수 추정이 상당히 어렵고, 이에 대한 확률적 평가가 없다.

2.2 모형의 구성 및 매개변수 추정

식 (1)을 이용하기 위해서는 선행 강우량이 지하수위에 유의적인 영향을 주는 시차 i 를 결정하여야 한다. 본 연구에서는 지하수위와 강우량간의 교차상관분석을 통하여 강우량의 시차를 현재 및 6일 전까지 하여 식 (3)의 모형을 구성하였다.

$$H_t = a_0 + b_0 R_t + b_1 R_{t-1} + b_2 R_{t-2} + b_3 R_{t-3} + b_4 R_{t-4} + b_5 R_{t-5} + b_6 R_{t-6} + \lambda H_{t-1} + u_t \quad (3)$$

위 모형에서 지하수위에 대한 강우량의 시차에 따른 영향을 Almon 다항식(polynomial)으로 분포되도록 하여 매개변수, $b_i (i = 0 \dots 6)$ 를 추정함으로써 매개변수의 시간종속성을 고려할 수 있다. b_i 의 분포는 식 (4)와 같은 Almon의 다항식에 강우량의 시차에 대한 영향을 사전에 부여할 수 있다고 가정한다(유지성, 1998; 이종원, 1998).

$$b_i = f(i) = \alpha_0 + \alpha_1 i + \alpha_2 i^2 + \dots + \alpha_r i^r \quad (4)$$

여기서 α_r 은 b_i 를 추정하기 위해 도입한 계수이고 i 는 시차를 나타내며, r 은 다항식의 계수로서 2이면, 즉 2차함수 경우에 시차에 다른 강우량의 영향의 분포는 역V자 구조를 갖게되고, $r = 3$ 인 3차함수의 경우에 시차분포는 순환적(cyclical) 구조를 갖게 된다. 이 방법은 시차를 i 의 몇차 함수로 파악하는가에 따라 다양한 유형의 시차분포를 포괄할 수 있다는 장점이 있다(이종원, 1998). 식 (4)는 b_i 를 α_r 의 선형함수로서 나타낸 것이다. 여기에서 α_r 을 산정하면 b_i 의 값을 구할 수 있다. r 은 일반적으로 3 또는 4의 낮은 것으로 가정되며 본 연구에서는 3을 이용하였다(유지성, 1998). 식 (3)에 b_i 를 α_r 의 선형함수로서 나타낸 식 (4)를 적용하여 재구성하면 식 (5)와 같다.

$$H_t = a_0 + \sum_{i=0}^6 (\alpha_0 + \alpha_1 i + \alpha_2 i^2 + \alpha_3 i^3) R_{t-i} + \lambda H_{t-1} + u_t = a_0 + \alpha_0 W_0 + \alpha_1 W_1 + \alpha_2 W_2 + \alpha_3 W_3 + \lambda H_{t-1} + u_t \quad (5)$$

여기서, $W_0 = \sum_{i=0}^6 R_{t-i}$, $W_1 = \sum_{i=0}^6 iR_{t-i}$,
 $W_2 = \sum_{i=0}^6 i^2 R_{t-i}$, $W_3 = \sum_{i=0}^6 i^3 R_{t-i}$ 이다. 본 연구
 에서는 MLM으로 식 (5)의 매개변수를 추정하고, 여
 기에서 산정된 a_r 을 식 (4)에 적용하여 b_i 를 추정
 하고 이들 식 (3)의 모형에 적용한다. 상세한 추정과정
 은 유지성(1998), 이종원(1998) 및 SAS/ETS 사용자
 지침서(SAS Institute Inc., 1993)를 참조할 수 있다.

3. 대상 지역 및 자료

본 연구는 평창강 및 보청천 IHP(International
 Hydrological Program)대표유역의 일강우량과 지하
 수위를 이용하였으며, 그림 1과 2는 이들 대표유역도
 와 수문관측소를 나타낸 것으로 유역면적은 각각
 692km², 496km²이다. 평창강 유역은 방림 지하수위
 와 우량 관측소, 보청천 유역은 탄부 지하수위 및 주
 변의 관기 우량관측소 자료를 "국제수문계획연구보고서
 (건설교통부, 1987~1997)"에서 수집하여 이용하였다.

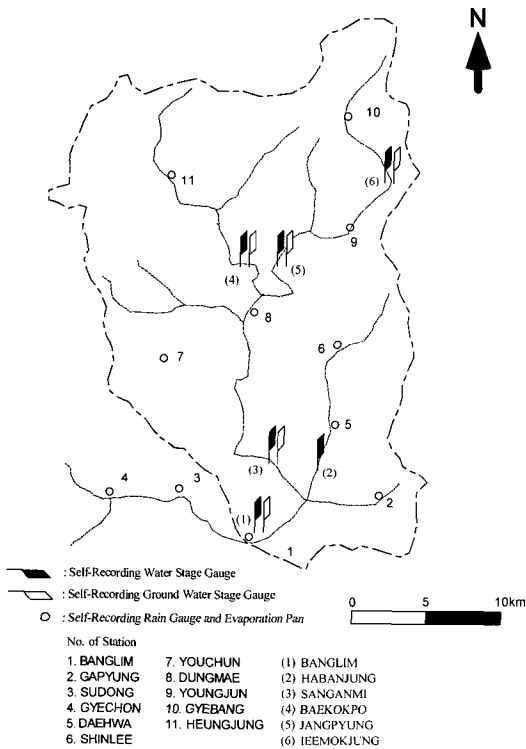


그림 1. 평창강 대표유역의 수문관측소

이용자료는 자료기간을 매개변수를 추정하기 위한 기
 간과 추정된 매개변수를 이용하여 지하수위를 예측하
 는 기간으로 구분하였다. 그림 3과 4는 대상지점의 강
 우량과 지하수위 자료를 도시한 것이다.

4. 대상 지역의 지질특성

4.1 평창강 대표유역

평창강 대표유역의 광역지질은 그림 5와 같이 시생
 대 및 원생대(선캠브리아)의 혼성편암(AR1)과 화강
 편암(PRgr)이 기반암으로 분포하며, 상부에 고생대
 의 대석회암층군(O) 및 평안층군(C, P, T), 중생대의
 대보화강암(Jgr) 및 불국사화강암(Kgr)과 제4기 충적
 층으로 구성되어 있다. 유역 출구에 위치하고 있는 방
 림 지하수위관측소는 고생대 대석회암층(O)에 위치하
 고 있으며, 이들은 일부 다른 암종이 포함되나 주로
 석회암으로 구성되며 석회질 세일과 석회암과의 호층
 으로 석회질 세일의 양이 많다. 석회암층의 수리특성은
 투수계수(hydraulic conductivity) 10~500m/day,
 투수량계수(transmissivity) 10~10,000m²/day, 저류
 계수(storage coefficient)는 10⁻¹~10⁻⁵로서 지하수의
 부존성이 상당히 큰 지질특성을 가지고 있다(한국자원
 연구소, 1993).

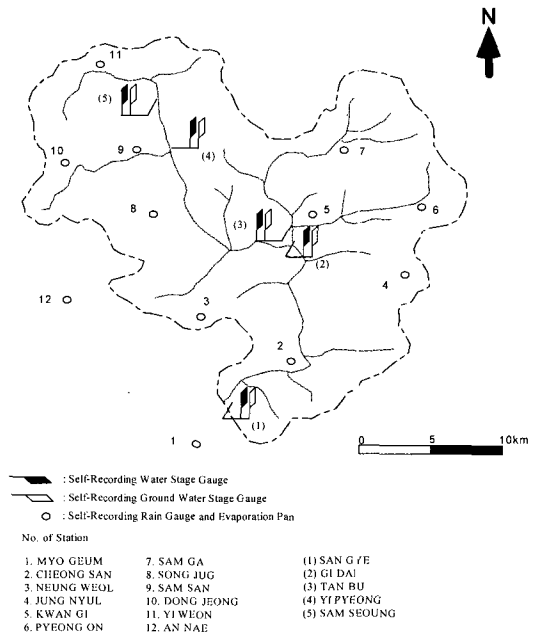


그림 2. 보청천 대표유역의 수문관측소

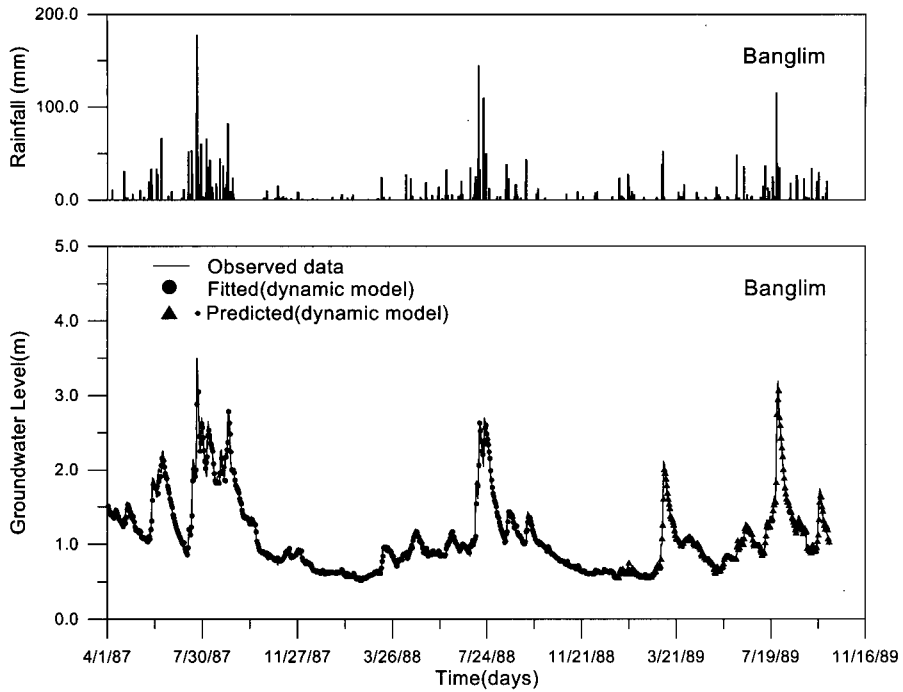


그림 3. 방림 지하수위 및 강우량

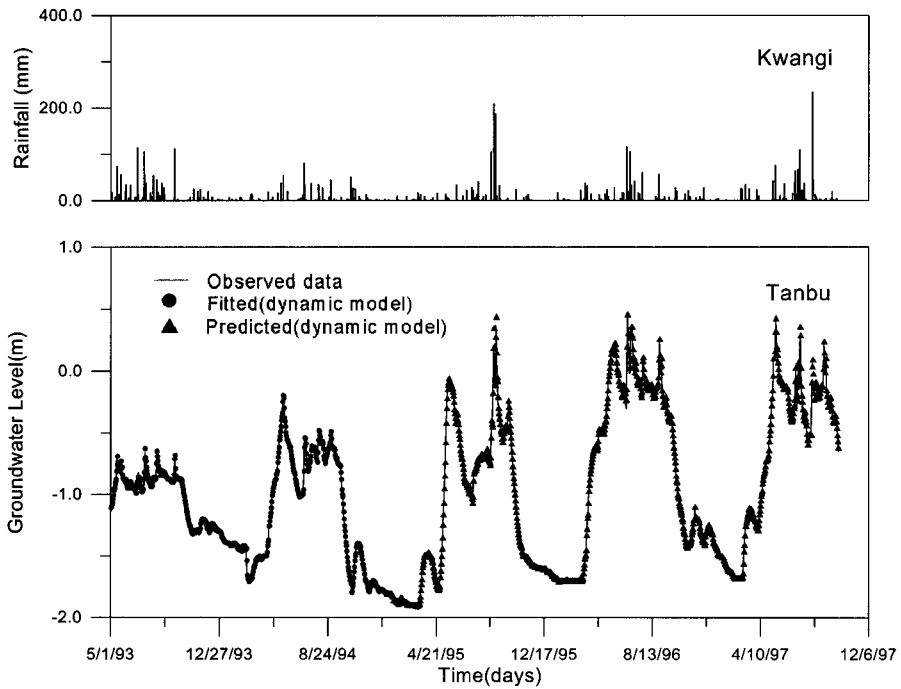


그림 4. 탄부 지하수위 및 관기 강우량

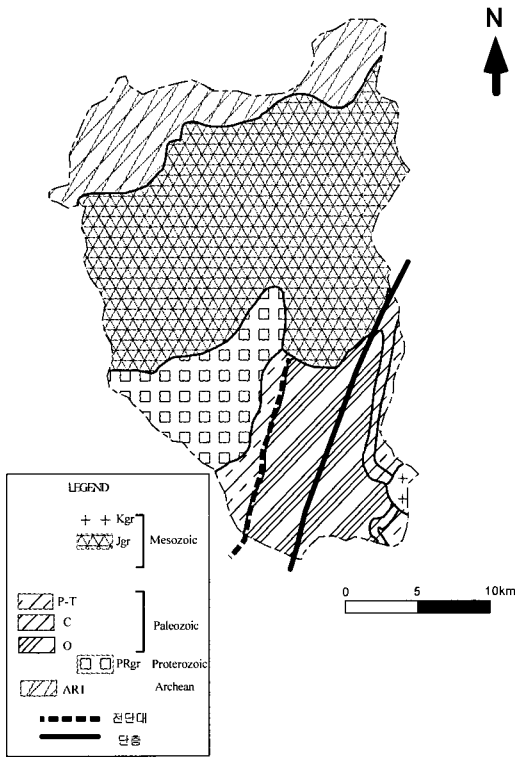


그림 5. 평장강 대표유역의 지질도

4.2 보청천 대표유역

보청천 대표유역의 광역지질은 그림 6과 같이 시대 미상의 옥천층군(og1, og2, og3)과 대석회암층군(O), 이를 관입하고 있는 고기화강암류(PALgr)와 류라기의 대동층군(J1), 그 상부로 대보화강암(Jgr)과 유천층군(K3) 및 제4기의 충적층으로 구성되어 있다. 탄부 지하수위관측소는 대보화강암(Jgr) 지대에 위치하고 있다. 일반적인 경우 대보 화강암은 화강암 내지 화강섬록암에 속하며 흔히 한 암체에서 이들 두 암상이 점이적인 관계를 갖는다. 또한, 대보 화강암은 지하심부에서 천천히 냉각되었으므로 중립 내지 조립질을 보이며 중립질 조직이 우세하다. 대보화강암의 수리특성은 투수계수 0.01~1m/day, 투수량계수 5~50m²/day, 저

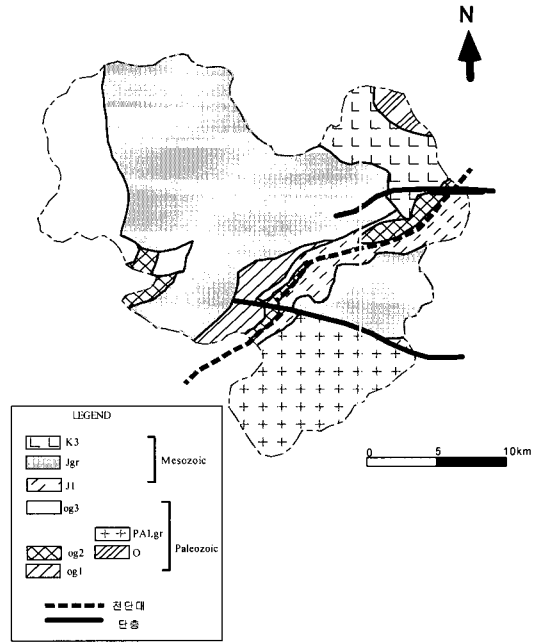


그림 6. 보청천 대표유역의 지질도

류계수 10⁻⁴~10⁻⁵로서 지하수의 부근성은 낮은 편이다 (한국자원연구소, 1993).

5. 자료분석 및 결과

강우량에 따른 방림과 탄부 지하수위의 영향을 평가하기 위하여 적용한 식 (3)의 동적모형 매개변수와 이 모형의 적정성을 나타내는 결정계수를 표 1에 제시하였다. 표 1의 계수는 지하수위에 대한 강우량의 시차 영향을 Almon 다항식으로 분포시켜 추정한 계수들로서 2.2절의 과정을 이용하여 추정되었다. 모형변수들의 추정에서 방림의 경우 1987. 4.~1988. 12., 탄부의 경우 1993. 5.~1994. 12. 기간을 보정기간으로 이용하여 추정된 것이다. 이때 이용한 자료는 일자료이고, 단위는 m이다.

표 1에 제시된 계수들은 5% 유의 수준에서 모두 통계적 유의성이 있는 값들이고, 5일과 6일 전의 강우량의 영향을 나타내는 계수 b_5 , b_6 은 유의성이 없어

표 1. 대상 지점의 모형 매개변수

모형변수	a_0	b_0	b_1	b_2	b_3	b_4	λ	결정계수	
값	방림	0.048	2.47	3.84	-0.21	-0.65	-0.65	0.938	0.98
	탄부	-0.008	0.61	0.88	0.41	-0.21	-0.36	0.996	0.99

제외하였다. 산정된 매개변수에 의한 동적모형은 1일전 지하수위, 현재 및 4일전까지의 강우량으로 두 지역의 현재 지하수위를 98%를 설명할 수 있다. 모형을 이용하여 계산된 지하수위를 그림 3과 4에 관측치와 같이 도시하였고, 이들의 제곱평균제곱근오차(root mean square error)는 방림 0.0062, 탄부 0.0006으로 거의 오차가 발생하지 않았다.

산정된 계수로부터 강우량에 따른 지하수위 변동 특성을 파악할 수 있다. 방림과 탄부 지하수위의 경우 1일전의 강우량에 의한 지하수 함양이 가장 크고, 강우량이 발생한 후 방림의 경우 2일, 탄부의 경우 3일 후부터 지하수위의 하강이 발생한다. 사실, 강우량과 지하수위의 교차상관분석결과 방림 및 탄부지점 모두 1일전의 강우량과 지하수위가 각각 0.406, 0.247로 가장 크게 나타났다. 이는 산정된 모형계수에서도 같은 결과를 보여주고 있다.

방림의 지하수위는 탄부보다 같은 강우량에서 더 많은 부분이 지하 수위에 도달하는 것을 알 수 있다. 그러나, 강우량이 없을 때 지하수위의 감수는 λ 를 비교할 때 탄부의 지하수위가 완만하게 감소되는 것을 알 수 있다. 이는 각 지역의 다른 지질특성을 반영하고 있고, 방림 석회암의 지질특성이 화강암 지역의 탄부보다 투수계수, 투수량계수 및 저류계수가 상당히 큰 것을 그대로 보여주고 있다.

a_0 는 강우량이 없을 때의 1일전 지하수위(H_{t-1})로 H_t 를 구할 때 추가되는 평균지하수위 변화를 나타내는 것으로 이때 H_t 는 식 (6)과 같다.

$$H_t = a_0 + \lambda H_{t-1} \quad (6)$$

평균지하수 수위변화의 주요 요인으로 고려할 수 있는 것은 해당 지하수위 관측소 내로 또는 외부로 향하는 대수층내의 수평적인 지하수흐름이 지배적일 것이고, 이는 해당 관측소지역의 지질특성에 의해 좌우된다. 평창강 방림의 경우, a_0 는 0.047m로 강우가 없어도 지하수위의 증가요인이 있다. 이는 방림의 관측소의 위치가 평창강 대표구역의 유역출구에 위치하고 있는 것으로 볼 때 상류에서 지하수 흐름이 방림 지하수위를 증가시키고 있음을 보여준다. 보청천 탄부의 a_0 는 -0.008m로 변화의 크기는 작으나 방림과 달리 강우가 없는 경우 관측소 외부로 지하수 흐름이 발생하여 추가적인 지하수위 감수를 초래함을 보여준다. 이는 보

청천 상류에 위치한 탄부관측소의 지하수 위치에너지가 상대적으로 크기 때문에 하류로 흐름이 진행되기 때문일 것이다. 또한, 탄부보다 방림의 평균지하수위의 변화 크기가 상당히 큰 것은 λ 의 결과에서 보여준 것과 같은 지질특성 분석 결과를 보여주고 있다.

단위 강우량(1000mm)에 의한 지하수위 변동을 표 1의 계수를 이용하여 나타내면 다음과 같다 (Viswanathan, 1984).

$$\text{방림: } \Delta H_t = 0.048 + 2.47 + 3.84 - 0.21 - 0.65 - 0.65 = 4.85m$$

$$\text{탄부: } \Delta H_t = -0.008 + 0.61 + 0.88 + 0.41 - 0.21 - 0.36 = 1.32m$$

이들 결과는 방림이 탄부에 비하여 상대적으로 많은 지하수함양이 이루어지고 있음을 보여준다. 만약 지하수 함양량이 a 이고, s 가 비피압대수층의 저류계수인 비산출량(specific yield)라면 단위 강우량에 따른 지하수위 변동은 식 (7)과 같이 주어진다.

$$\Delta H_t = \text{함양량}(a) / \text{비산출량}(s) \quad (7)$$

방림과 탄부 지하관측소의 실측된 비산출량이 없어 대부분의 비피압대수층 비산출량의 범위 0.1~0.3 (Lohman, 1979)에서 최소치를 가정하여 적용하면 방림의 경우 단위 강우량에 따른 함양량(a)은 강우량의 48%, 탄부의 경우 13%정도가 지하수위에 도달한다.

선정된 동적모형을 강우량에 따른 지하수위 예측에 이용하기 위하여 모형을 검증하였다. 검증을 위하여 방림 1989. 1~1989. 9., 탄부 1995. 1.~1997. 9.기간을 선정하여 적용하였다. 이들 기간에 대하여 예측된 결과 역시 그림 3과 4에 도시하였고 이들의 제곱평균제곱근 오차는 방림 0.0045, 탄부 0.0023으로 거의 발생하지 않고 있다. 또한, 강우량이 발생하지 않는 갈수기간에서도 지하수위의 예측치와 관측치가 잘 일치하고 있다. 따라서 현재 및 과거의 강우량과 지하수위를 동적모형에 적용함으로써 효율적으로 지하수위 예측을 수행할 수 있음을 보여준다.

6. 지하수함양의 임계강우량

동적모형에서 산정된 매개변수에서 t 일의 지하수위는 $t-1$ 일의 강우량에 가장 큰 영향을 받는 것으로 나타났다. 따라서, 두 지역의 지하수 함양에 영향을 미치는 임계강우량(threshold rainfall)을 파악하기 위하여 t 일의 강우량, R_t 와 $t+1$ 일 및 t 일의 지하수위

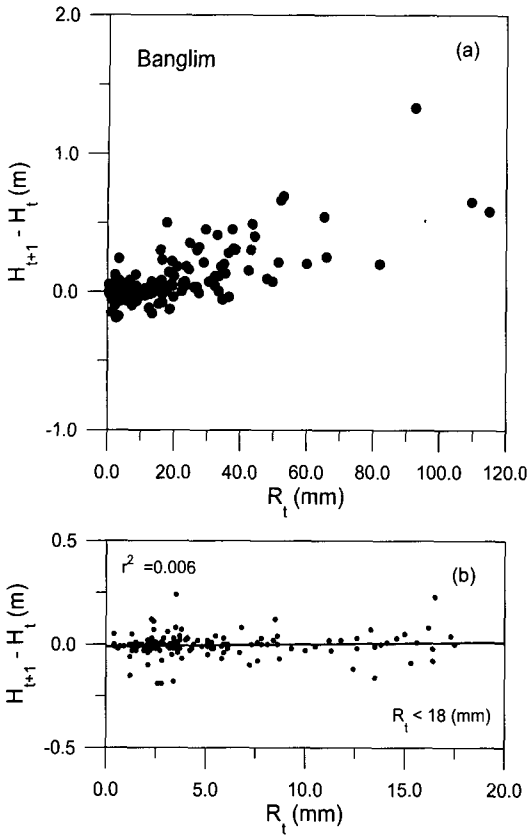


그림 7. 강우량과 지하수위의 변화(방림)

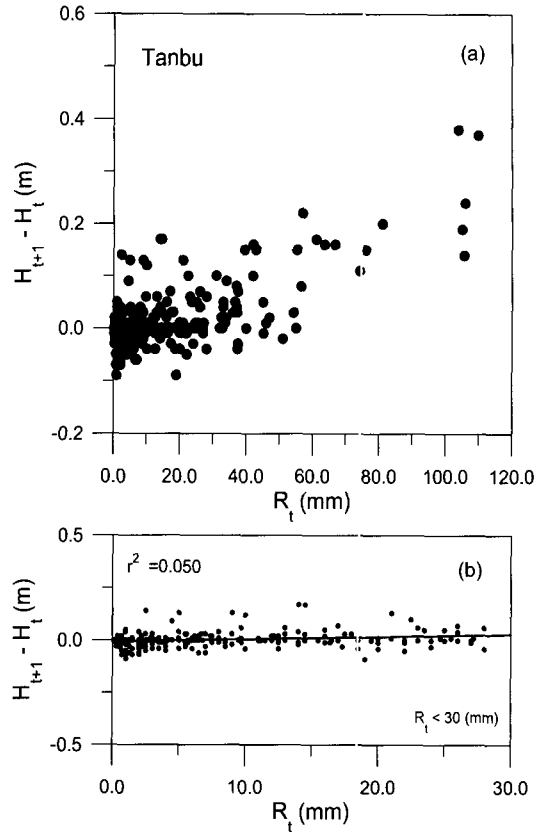


그림 8. 강우량과 지하수위의 변화(탄부)

차, $H_{t+1} - H_t$ 의 관계를 도시하여 그림 7과 8에 나타내었다.

그림 7(a)와 그림 8(a)는 R_t 과 $H_{t+1} - H_t$ 의 전 자료를 도시한 것이고 각각의 (b)는 (a)에서 유의적인 지하수위의 변동이 없는 부분까지 R_t 를 선정하여 결정계수(r^2)와 함께 도시한 것이다. 이들 결과에서 방림의 경우 18mm이하에서 일강우량은 지하수위의 변동을 단지 0.6%, 탄부의 경우 30mm이하에서는 5%의 지하수위 변동을 설명하고 있다. 이는 강우량에 따른 평균적인 지하수위의 변화가 거의 나타나지 않는다는 것을 보여준다. 따라서 이들 강우량을 지하수위의 상승을 유발시키는 지하수위 임계강우량이라 할 수 있다.

이들 서로 다른 임계강우량은 지하수 함양에 영향을 주는 수리화학적 지질 특성을 반영하고 있다. 또한, 5절에서 제시한 동적모형 매개변수의 경우 탄부지점이

방림보다 상당히 적은 강우량이 혼양되고 있는 것을 보이고 있다. 임계강우량에서도 이와 같은 특성으로 인한 결과로 탄부지점에서는 방림보다 약 12mm 정도의 강우량이 더 발생해야만 지하수위가 상승하고 있다.

7. 결 론

(1) 시계열 모형과 시간지체 모형을 결합한 동적모형을 이용하여 강우량과 지하수위의 관계를 나타내었다. 이 모형은 관측 지하수위를 매우 잘 재현해주고 있어 지하수 함양특성을 파악할 수 있고, 지하수위 예측에도 이용될 수 있다.

(2) 시차분포모형에서 지하수위에 영향을 주는 현재 및 과거 강우량의 매개변수를 Almon 다항식으로 사전 분포시켜 매개변수를 추정하였다.

(3) 1일전의 강우량이 지하수위에 가장 큰 영향을 주고 있다.

(4) 동적모형의 매개변수와 지하수위의 상승을 유발

하는 임계강우량은 해당지역의 지질 특성을 반영하고 있다. 함양조건이 상대적으로 양호한 지질 특성을 가지고 있는 방립의 경우 18mm 이상의 강우량에서 지하수위의 상승이 있으며, 탄부의 경우는 30mm 이상에서 상승이 있다.

감사의 글

본 연구는 1999년에 수행한 한국건설연구원의 책임 연구과제로서 지원에 감사드립니다.

참 고 문 헌

건설교통부 (1987~1997). 국제수문개발계획(IHP)연구보고서.

유지성 (1998). 계량경제학원론. 박영사.

이동률, 윤용남 (1996). "우리나라의 지하수 함양량 추경과 분석." 대한토목학회논문집, 대한토목학회, 제16권, 제II-4호, pp. 321-334.

이종원 (1998). 계량경제학, 박영사.

한국자원연구소 (1993). 지하수자원기본조사보고서, 수자원 93-GR-1, 한국수자원공사.

Eriksson, E. (1970). "Groundwater time series, an exercise in stochastic hydrology." *Nordic Hydrology*, Vol. 1, No. 3, pp. 181-205.

Lohman, S.W. (1989). *Ground water hydraulics*, Geological Survey Professional Paper 708, U.S. Geological Survey.

Mayboom, P. (1961). "Estimating groundwater recharge from stream hydrographs." *Journal of Geophysical Research*, Vol. 66, No. 4, pp. 1203-1214.

Rushton, K.R., and Ward, C. (1979). "The estimation of groundwater recharge." *Journal of Hydrology*, Vol. 41, pp. 345-361.

SAS Institute Inc. (1993). SAS/ETS User's guide. SAS Institute Inc.

Su, N. (1994). "A formula for computation of time-variant recharge of groundwater." *Journal of Hydrology*, Vol. 160, pp. 123-135.

Viswanathan, M.N. (1983). "The rainfall/water-table level relationship of an confined aquifer." *Ground Water*, Vol. 21, No. 1, pp. 49-56.

Viswanathan, M.N. (1984). "Recharge characteristics of an unconfined aquifer from the rainfall-water table relationship." *Journal of Hydrology*, Vol. 70, pp. 233-250.

Rennolls, K., Carnell, R., and Tee, V. (1980). "A descriptive model of the relationship between rainfall and soil water table." *Journal of Hydrology*, Vol. 47, pp. 103-114.

(논문번호:99-067/접수:1999.08.28/심사완료:1999.11.09)