

양구 해안분지에서의 지하수위 분포 및 강우 반응 분석

최현미 · 이진용*

강원대학교 지질학과

Groundwater Level Distribution and Rainfall Response Characteristics in Haean Basin of Yangu

Hyun-Mi Choi · Jin-Yong Lee*

Department of Geology, Kangwon National University

ABSTRACT

The groundwater level distribution and characteristics of responses to rainfall were examined in the Haean basin of Yangu that has a single stream exit to the east. The groundwater levels showed a circular or elliptical distribution converging the center of the basin with different hydraulic gradients in the north and south regions. The waterlevel elevations exhibited a perfect correlation with topographic elevation ($r^2 = 0.99$) while the depth to water showed a rather weak correlation ($r^2 = 0.49$). The water table fluctuation (WTF) method yielded recharge ratios of 6.1~12.65% ($S_y = 0.02$) and 15.2~28.5% ($S_y = 0.05$). The waterlevels of HG3 well, which is much proximal to a stream, were weakly auto-correlated but they were highly sensitive to direct infiltration from the rainfall event. The shorter regulation times of the HG3 represented a quicker dissipation of the input stress (rainfall).

Key words : Basin area, Waterlevel, Groundwater recharge, Autocorrelation, Spectral density function

1. 서 론

강우에 의한 지하수위의 변동은 대수층의 수리전도도, 비저류계수, 대수층의 형태 등과 같은 수리지질학적 특성에 영향을 받는다(이봉주 외, 2001; 이진용 · 이강근, 2002). 지금까지 지하수위를 이용한 지하수 함양량 추정 에 대한 국내 연구가 활발히 진행되었으며 그에 따라 많은 연구결과가 발표된 바 있다(구민호 · 이대하, 2002; 김 규범 외, 2004; 김태희 외, 2006; 최인혁 · 우남칠, 2007; 안정훈 외, 2008). 국내외적으로 널리 알려진 지하수 함양량 추정방법에는 지하수위 변동법, 물수지 방법, 지표수이용방법, 불포화대 및 포화대 이용방법 등이 있다(윤상웅 외, 2009; Scanlon et al., 2002). 가장 고전적으로 사용된 방법은 지하수위 변동법이며 지하수 함양에 의하여 지하수위가 변동하였다는 가정 하에 적용가능하다(Healy and Cook, 2002). 연속적인 지하수위 자료를 이용하여 시

계열 분석을 하는 경우 강우자료와 지하수위 자료만으로도 대상 대수층의 특성 파악이 가능하다. 즉 수리지질학적 또는 물리적인 수식과 관계없이 간단한 해석이 가능하다는 것이다. 이러한 장점으로 시계열 분석이 지하수위 연구에서 자주 이용되었다(이봉주 외, 2001; 이진용 · 이강근, 2002; 하규철 외, 2006; 정지민 외, 2010; Lee et al., 2005).

본 연구의 목적은 강원도 양구군 해안분지 지역 지하수의 변동특성을 파악하는 것으로 여러 분석 방법을 이용하였다. 먼저 각각의 지하수위 자료 그래프를 비교함으로써 강우이벤트에 의한 지하수위 반응 특성을 파악하였다. 그리고 지하수 함양율을 추정하기 위해 지하수위 변동법(WTF)을 이용하였다. 또한 시계열 분석을 이용하여 연속적인 지하수위 자료에 대한 신호적 반응양상을 해석하였다.

*Corresponding author : hydrolee@kangwon.ac.kr

원고접수일 : 2010. 10. 7 심사일 : 2010. 10. 12 게재승인일 : 2010. 12. 4
질의 및 토의 : 2011. 2. 28 까지

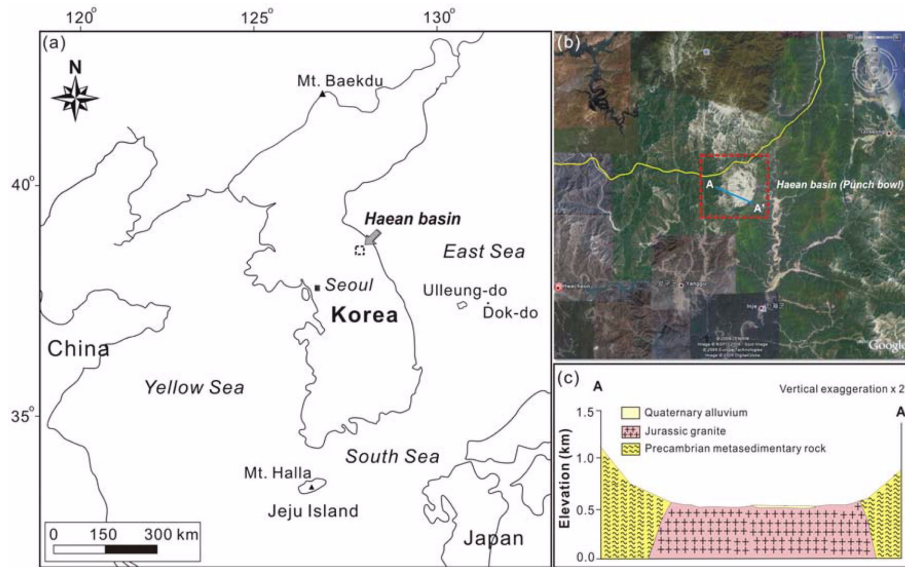


Fig. 1. Location of (a) the Haeon basin in Korea, (b) aerial photograph and (c) geologic map of the Haeon basin (modified from Lee et al., 2010).

2. 연구내용 및 방법

2.1. 연구지역

연구지역은 행정구역상 강원도 양구군 해안면에 위치하고 있는 해안분지 일대이다(Fig. 1). 해안분지는 지형적으로 가운데가 움푹 파인 형태를 가지고 있어 일명 펀치볼 지형이라 한다. 남북방향으로 긴 타원형을 이루며 남북 장축의 길이는 10.5 km, 동서 단축의 길이는 6.7 km, 둘레는 32 km이다(원종관 외, 2006). 분지 내부의 해발고도는 약 400 m이며 외륜부는 해발고도 792.3~1,304.0 m의 산지로 이루어져 있다. 이러한 해안분지의 지형적 특성은 분지의 내부와 외륜부의 암상이 서로 달라 차별침식이 일어났기 때문이다(김봉균 · 박용안, 1967; 원종관 외, 1987; 원종관 외, 1988; 권영식 외, 1990). 해안분지의 외륜부는 선캠브리아기 변성퇴적암, 분지내부는 쥐라기 화강암과 제 4기 충적층으로 구성되어 있는데, 선캠브리아기 변성퇴적암에 쥐라기 화강암이 관입한 뒤 상대적으로 풍화에 약한 화강암이 더 큰 풍화침식 작용을 겪으면서 지금의 지형과 같이 움푹 파였다(Fig. 1).

분지 내에는 성황천, 도솔천, 만대천과 같은 하천과 함께 다수의 지천이 발달하였다. 그럼에도 분지 내에서 바깥쪽으로 빠져나가는 하천은 유일하게 당물골 하나로 다른 지역에 비하여 매우 단순한 수리구조를 가지고 있으며 지하수 또한 이 하천으로 수렴하여 빠져나간다. 이러한 수리구조는 정확한 물수지 평가 및 지하수와 하천간의 상호

관계에 대한 연구에 최적이다(이진용, 2009).

2.2. 연구방법

2.2.1. 지하수위 측정

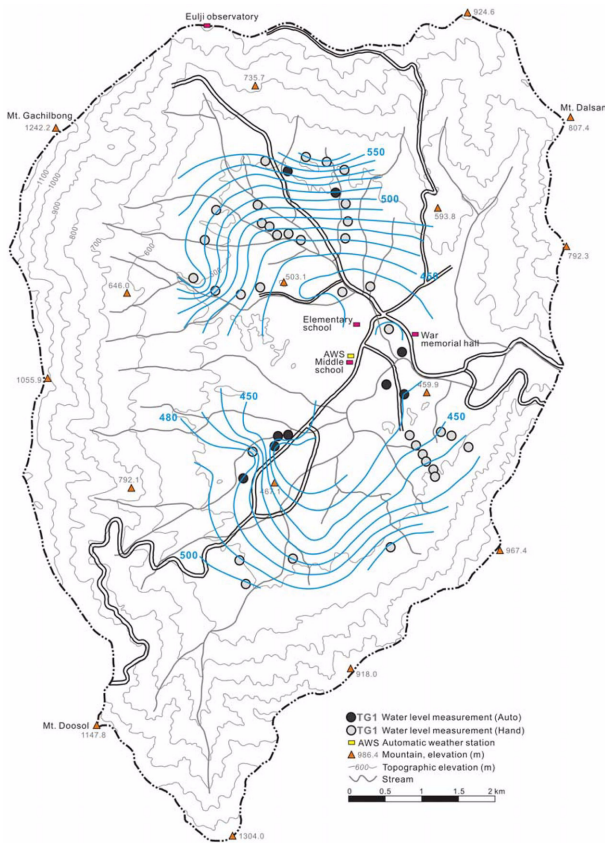
본 연구를 위하여 2010년 4월 1일부터 3일까지 해안분지 내 45개 관측정의 지하수위를 수동수위계(Solinst 101)로 측정하고 이 중 9개 관정에 자동수위측정기(Levellogger)를 설치하였다(Fig. 2). 45개 관측정의 지하수위 자료는 해안분지 내 지하수위 분포도를 작성하는데 이용하였다. 자동수위측정기를 설치한 관정의 위치 및 고도, 관정깊이와 용도를 Table 1에 제시하였다. 9개 관측정은 해발고도 387.1~555.2 m에 위치하고 있으며 관정 깊이는 8.1~180 m로 다양하다. 자동관측은 30분 간격으로 자동 저장되도록 설정하였다. 대부분의 관측정은 농업용 양수를 목적으로 설치된 것이나 조사 기간 중에는 농간기로 양수를 하지 않았다.

2.2.2. 지하수함양량 및 시계열 분석

지하수함양량 산출 방법은 지하수위 변동법을 이용하였다. 지하수위 변동법은 단위시간당(Δt) 지하수위 상승량(ΔH)과 대수층의 비산출율(S_y)로 지하수 함양량(R)을 산정하는데 이용한다(Moon et al., 2004). 본 연구에서는 단기간(약 1시간 30분) 동안 20 mm의 강수가 있었던 시간의 지하수위 상승량을 이용하여 산정하였다. 지하수위 변동법은 다른 지하수 함양을 추정방법에 비해 비교적 간

Table 1. Characteristics of groundwater wells analyzed in this study

Well ID	Location			Well depth (m)	Usage
	Latitude	Longitude	Altitude (m)		
TG1	38°17'08.04"	128°08'42.08"	425.0	8.1	Agriculture
TG2	38°16'31.64"	128°07'38.10"	387.1	15	Agriculture
TG3	38°16'36.85"	128°07'38.71"	454.2	150	Agriculture
TG4	38°16'39.82"	128°07'30.90"	445.0	18	Agriculture
TG5	38°16'42.65"	128°07'16.98"	452.3	20	Agriculture
TG6	38°18'43.93"	128°07'39.47"	555.2	180	Agriculture
HG3	38°18'23.55"	128°08'06.12"	458.8	19.5	Agriculture
HG4	38°16'58.49"	128°08'32.56"	442.2	180	Agriculture
HG5	38°16'52.64"	128°08'44.02"	443.0	78.5	Agriculture

**Fig. 2.** Water level contour (m, elevation) in the Haean basin.

단하게 계산이 가능하나 비산출률의 정확도에 따라 계산 결과의 신뢰성이 달라진다(윤상웅 외, 2009).

$$R = S_y \frac{\Delta H}{\Delta t} \quad (1)$$

자동수위측정기로 획득한 9개 관측정에서의 수위자료에 대하여 시계열분석을 하였다. 수위 자료의 시계열적 특성

을 쉽게 파악하는 방법은 각 수위자료를 시간 및 주파수 영역과 같은 연속적인 신호로 변환시켜 분석하는 것이다. 본 연구에서 사용한 시계열 특성함수는 자기상관함수, 스펙트럼 밀도함수이며 이에 대한 관계식은 아래와 같다.

$$\lambda_k = Cov(x_p x_{t+k}) = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^{n-k} [(x_t - \mu) - (x_{t+k} - \mu)] \quad (2)$$

$$\rho_k = \frac{Cov(x_p x_{t+k})}{Cov(x_p x_t)} = \frac{\gamma_k}{\gamma_0} \quad (3)$$

위 식에서 x_t = 시계열자료, γ_k = 자기분산함수, ρ_k = 자기상관함수, μ = 시계열자료의 평균, k = 지연시간, n = 시계열자료의 길이이다. 자기상관함수는 시간에 대한 연속적인 자기값의 선형성과 기억효과를 간단하게 표현하는 방법이다(이진용 · 이강근, 2002; Angelini, 1997; Larocque et al., 1998). 자기상관함수에 사용된 시계열자료가 강한 자기상관성과 긴 기억효과를 가질수록 자기상관함수는 완만하게 감소하며 장기간의 지연시간에 대해 0 이상의 비교적 큰 값을 나타낸다(이진용 · 이강근, 2002). 그러나 시계열자료가 단기간의 강우와 같이 약한 자기상관성과 짧은 기억효과를 가지면 자기상관함수는 빠르게 감소하며, 짧은 시간에 대하여 0의 값에 수렴한다(이진용 · 이강근, 2002).

주파수 영역의 스펙트럼 밀도함수는 시계열 자료의 주기적 변동 특성을 이용한 해당 자료의 전반적인 특성 확인 방법이며 푸리에 변환으로 나타낸다.

$$S(f) = 2 \left[1 + 2 \sum_{k=1}^m w(k) \rho_k \cos(2\pi f k) \right] \quad (4)$$

$$w(k) = \frac{1}{2}[1 + \cos(\pi k/m)] \quad (5)$$

$$T_{reg} = \frac{S(f=0)}{2} \quad (6)$$

여기서 $S(f)$ 는 스펙트럼 밀도함수이며 $w(k)$ 는 수리학에서 제한된 길이의 시계열자료를 사용할 때 발생 가능한 편향 또는 절단 오차에 대한 필터다(Larocque et al., 1998). T_{reg} 는 조절시간(regulation time)이며 영향인자에 대한 지속성과 그 시간에 대한 길이를 나타낸다(Angelini, 1997; Larocque et al., 1998).

3. 결과 및 토의

3.1. 지하수위

조사기간 동안 측정된 해안 분지 내 관측정의 지하수위를 이용하여 등수위선도를 작성하였다. 관측정의 지하수위는 430~560 m로 분포하며 등수위선은 대체로 등고선과 일치하는 양상을 보인다(Fig. 2). 수두경사 또한 대체로 등고선의 분포양상과 일치하여 경사가 급한 곳일수록 수두경사가 크게 나타났다. 수두경사는 동부 및 남부지역의 경사가 가장 완만한 곳에서 0.021~0.046, 서부 및 북부지역의 경사가 가장 높은 지역에서는 0.063~0.075로 나타났다. 지하수 유속은 $2.1 \times 10^{-5} \sim 3.0 \times 10^{-5}$ cm/sec 범위로 계산되었다. 각 관측정의 해수면 기준 지하수위와 표고와의 관련성을 그래프에 도시한 결과 결정계수(r^2)가 0.99로 나타나 수위와 표고는 서로 상관성이 매우 높음으로 나타났다. 한편 지하수 심도(depth to water)와 표고와의 상관성은 결정계수가 0.49로 계산되어 비교적 상관성이 낮은 것으로 나타났다(Fig. 3).

자동수위측정기로 획득한 9개 관측정의 지하수위 자료를 각각 그래프에 도시하였다. 모든 그래프는 자동수위측정기를 설치하기 시작한 오후 2시를 기준으로 도시한 것이며 오후 2시 30분경부터 오후 4시까지 약 20 mm 정도의 비가 내렸다. 지하수위 변화 그래프에서 강수의 영향으로 상승한 지하수위 높이(waterlevel rise)와 각 관측정의 표고(topographic elevation), 지하수 심도와와의 관련성을 비교하였다(Fig. 4). 각 관정의 지하수위는 비가 내린 뒤 수위가 점점 상승하였으며 1,005~1,164분 경과했을 때 가장 높은 지하수위를 기록하였다. 이러한 지하수위의 상승 원인에는 직접적인 강우의 지하수함양 증가와 하천의 유량 증가로 인한 대수층 내 압력 증가가 있다. HG3의 경우 하천과 매우 근접한 위치(약 1~2 m)에 있기 때

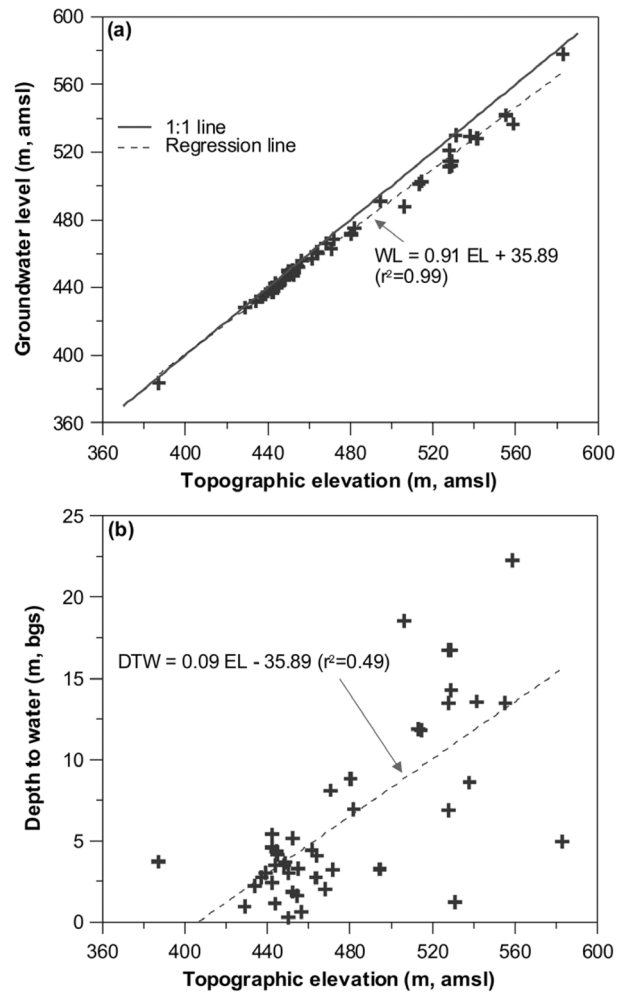


Fig. 3. Relationships between (a) groundwater level and (b) depth to water relation and topographic elevation.

문에 직접적인 강우의 지하수함양 증가와 하천 유량 증가로 인한 지하수 유입의 영향을 동시에 받아 다른 관정보다 더욱 빠르고 높은 지하수위 상승이 일어난 것으로 사료된다(Fig. 4(g)).

각 관정의 표고, 지하수 심도, 지하수위 상승 높이와 최고 지하수위 지점시간(peak time)을 Table 2에 제시하였다. 각 관정의 지하수위 상승 높이와 표고와의 결정계수는 모든 관정에 대하여 분석한 경우 결정계수가 0.04로 나타나 비교적 상관성이 낮았다. 그러나 TG6을 제외한 경우의 결정계수는 0.30으로 나타나 모든 관정에 대하여 분석한 결과보다 결정계수가 컸다. 각 관정의 지하수 상승 높이와 지하수 심도와와의 결정계수는 모든 관정에 대하여 분석한 결과가 0.01, TG6과 HG3을 제외한 경우에는 0.07로 모두 상관성이 낮았다. 최고 지하수위 지점시간과 표고와의 결정계수는 0.03이었으며 최고 지하수위

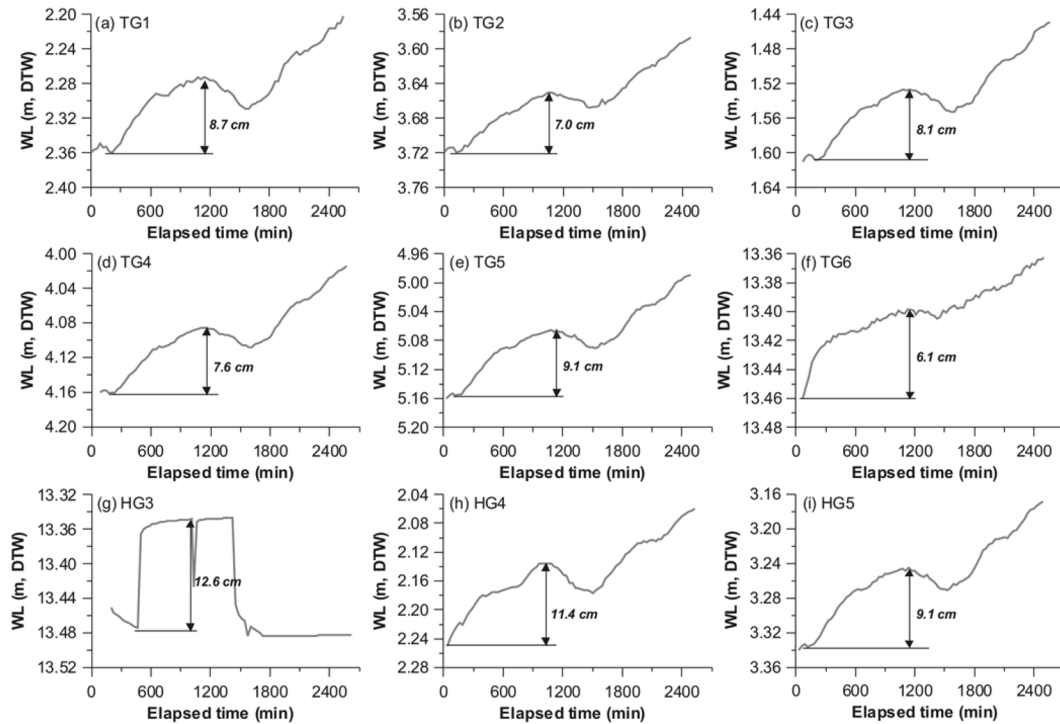


Fig. 4. Water level fluctuations of the monitoring wells.

Table 2. Topographic elevations, depth to waters, amplitude of waterlevel rises and peak times of 9 monitoring wells

Well ID	Topographic elevation (m, amsl)	Depth to water (m, bgs)	Waterlevel rise (mm)	Peak time (min)
TG1	425.0	2.36	87	1,140
TG2	387.1	3.72	70	1,050
TG3	454.2	1.61	81	1,090
TG4	445.0	4.16	76	1,164
TG5	452.3	5.16	91	1,139
TG6	555.2	13.46	61	1,123
HG3	458.8	13.45	126	1,005
HG4	442.2	2.25	114	1,025
HG5	443.0	3.34	91	1,139

지점시간과 지하수 심도와와의 결정계수는 0.06으로 계산되어 두 경우 모두 상관성이 매우 낮았다.

3.2. 지하수 함양율

단일강우 시 발생하는 단위시간당 지하수위 상승량과 대수층의 비산출률을 이용하는 지하수위 변동법으로 지하수 함양율을 계산하였다. Table 3는 지하수위 변동법으로 계산한 강우 이벤트에 따른 각 관측정의 지하수 함양율이다. 비산출률은 현장에서 직접 산정하는데 어려움이 있어 국가지하수정보센터의 관측소 제원정보의 0.02와 한국농

촌공사(2008)의 해안분지 이현지구 지하수개발 보고서의 0.05를 각각 사용하고 서로 비교하였다. 비산출율 0.02를 이용하여 계산한 경우 9개 관정의 지하수 함양율은 6.1~12.6% 범위로 나타났으며 평균 지하수 함양율은 8.9%이었다. 비산출율 0.05를 이용하여 계산한 경우 지하수 함양율은 15.2~28.5% 범위로 나타났으며 평균 지하수 함양율은 22.1%이었다. 윤상웅 외(2009)가 계산한 평균 지하수 함양율 범위가 4.2~37.5%로 관정별로 큰 차이를 보인 것에 비하면 본 연구의 계산결과는 범위 폭이 비교적 작게 계산되었다.

Table 3. Recharge ratios estimated from the water level rises caused by the single rainfall event. The S_y values were adopted from Yun et al. (2009)

Well ID	ΔP (mm)	ΔH (mm)	$\Delta H_x/\Delta P_x$	Recharge ratio (%)
TG1	20	87	4.35	8.7 ^a /21.7 ^b
TG2	20	70	3.50	7.0/17.5
TG3	20	81	4.05	8.1/20.2
TG4	20	76	3.80	7.6/19.0
TG5	20	91	4.55	9.1/22.7
TG6	20	61	3.05	6.1/15.2
HG3	20	126	6.30	12.6/31.5
HG4	20	114	5.70	11.4/28.5
HG5	20	91	4.55	9.1/22.7
Mean	20	88.6	4.43	8.9 ^a /22.1 ^b

^a In case of $S_y = 0.02$

^b In case of $S_y = 0.05$

지하수 함양율이 6.1%, 15.2%로 가장 낮게 나타난 TG6 관정의 표고는 해발 555.2 m이며 9개 관측정 중 가장 높은 곳에 위치하고 있다. 지하수 함양율이 12.6%, 28.5%로 가장 높게 나타난 HG4의 경우 해발고도 442.2 m에 위치하고 있다. 각 관정의 지하수 함양율과 표고의 상관성을 분석해보면 비산출률 0.02로 계산한 경우 상관 계수(r) = -0.21, 유의수준(p) = 0.59이며, 0.05로 계산한 경우는 r = -0.21, p = 0.58이다. 위의 결과는 신뢰도가 높지 않으나 상대적으로 해발고도가 낮은 지역에서 지하수 함양율이 높음을 의미한다. 이는 원주지역 소규모 수계에서 지하수위 관측위치에 따른 함양율 추정치의 분포결과(즉 수계 상부보다 하부 함양율 추정치가 큼)와 잘 일치한다 (Lee et al., 2005).

3.3. 시계열 분석

Fig. 5는 9개 관측정의 시간별 지하수위의 자기상관 및 스펙트럼 밀도함수이다. 9개 관측정 지하수위의 자기상관 함수는 평균 494분의 지연시간에 0.5에 도달하며 이때 평균 조절시간은 936분이다(Table 4). HG3은 다른 8개 관정에 비해 자기상관함수가 가장 급격한 감소를 보인다. 이와 같은 결과로 보아 HG3은 자기상관성이 다른 관정에 비해 자기상관성이 떨어지고 기억효과가 작은 것으로 판단되며 이는 곧 다른 8개 관정의 지하수위보다 HG3 관정이 불안정적임을 의미한다. 스펙트럼 밀도함수는 HG3이 0.01(40 h 주기)에, 다른 관정은 모두 0.02(23 h 주기)에 최고치를 보였다. HG3에서 위와 같은 특성이 나타나는 것은 HG3이 하천과 불과 1~2 m 거리에 위치하고 있어 강우에 의한 하천의 유량증가의 직접적인 영향을 받기

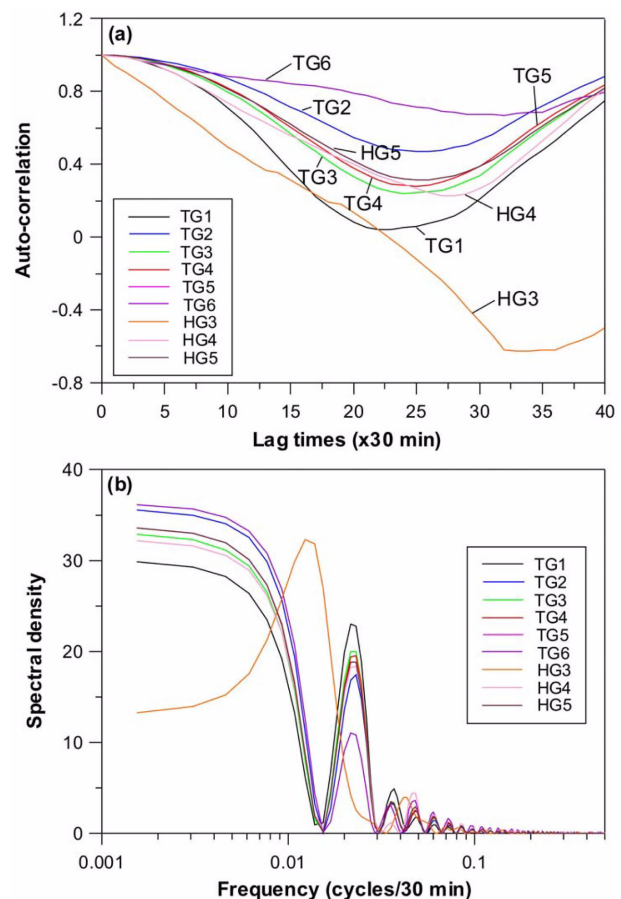


Fig. 5. Auto-correlations and spectral density functions for the water levels of the 9 monitoring wells.

때문으로 사료된다. 9개 관측정의 자기상관성과 스펙트럼 밀도함수로는 암반층과 충적층 관정의 구분이 어려웠다. 즉 9개 관측정 모두 수리적 연결성이 매우 좋은 편이므로

Table 4. Characteristics of hydrologic time series data (water levels)

Well ID	Peak time (min/hrs)	Time lag (0.5 ^a) (min/hrs)	Regulation time (min/hrs)
TG1	1,140/19.0	405/6.7	898/14.9
TG2	1,050/17.5	660/11.0	1,065/17.7
TG3	1,090/18.2	495/8.2	986/16.4
TG4	1,164/19.4	525/8.7	1,006/16.7
TG5	1,139/18.9	534/8.9	1,008/16.8
TG6	1,123/18.7	NA (> 1,200)	1,084/18.1
HG3	1,005/16.7	294/4.9	398/6.6
HG4	1,025/17.1	504/8.4	965/16.1
HG5	1,139/18.9	534/8.9	1,008/16.8
Mean	1,097/18.3	494/8.2 ^b	936/15.6

^a Time to reach autocorrelation = 0.5^b Value of TG6 was excluded for calculation

관정의 심도와 상관없이 지하수 변동법 적용이 적절한 것으로 사료된다.

4. 결 론

본 연구에서는 양구 해안분지 내 관정에서 측정한 지하수위 자료를 이용하여 이 지역의 지하수위 분포 및 강우 반응 분석을 실시하였다. 관정의 지하수위는 430~560 m로 분포하였고 지형고도와 깊은 상관성을 보였다. 수두경사는 0.021~0.075, 지하수 유속은 $2.1 \times 10^{-5} \sim 3.0 \times 10^{-5}$ cm/sec 범위로 산정되었다. 수위는 강우 이벤트 이후 각 관측정의 하천과의 거리, 표고에 따라 변동양상이 다르게 나타났다. 지하수 함양율은 6.1~28.5% 범위로 나타났으며 상대적으로 해발고도가 낮은 지역에서 더 높게 나타났다. 시계열분석의 경우 대부분의 관정이 자기상관성이 높은 것으로 나타났으나 하천과 근접한 관정은 자기상관성이 떨어지고 기억효과가 작았다.

사 사

이 논문은 2008년도 정부재원(교육인적자원부 학술연구 조성사업비)으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 연구되었습니다(KRF-2008-331-C00281). 건설적인 수정의견을 주신 심사위원님들께 감사드립니다.

참 고 문 헌

구민호, 이대하, 2002, 지하수위 변동법에 의한 지하수 함양량 산정의 수치해석적 분석, 지질학회지, **38**(3), 407-420.

국가지하수정보센터, 2010, 국내지하수 현황, www.gims.go.kr.

권영식, 이형호, 한옥, 김원형, 김동진, 김두일, 엄승준, 1990, 해안분지의 지구과학적 분석, 지구과학회지, **11**(3), 236-241.

김규범, 이명재, 김정우, 이진용, 이강근, 2004, 수위강하곡선을 이용한 함양량 추정기법의 국가 지하수관측소 지하수위 자료에의 적용성 평가, **14**(3), 지질공학, 313-323.

김봉균, 박용안, 1967, 편차불의 생성원인, 지질학회지, **3**(1), 61-66.

김태희, 김용제, 이강근, 2006, 지하수 함양량 추정시 공간상에서의 자료 Sampling 방법에 따른 Minimum Entropy Deconvolution의 적용성에 관한 검토, 지하수토양환경, **11**(3), 52-58.

안정훈, 함세영, 이정환, 김남훈, 양대복, 황지광, 2008, 물수지 및 수리지질 분석을 통한 울산광역시 중래천-보은천 지역의 지하수 함양량산정, 자원환경지질, **41**(4), 427-442.

원종관, 나기창, 이문원, 1988, 민통선 북방지역 지질, 민통선 북방지역자원조사 보고서(지질), 문화재청, p. 114-120.

원종관, 이문원, 우준기, 1987, 해안분지의 지질과 지형적 특성, 강원대학교 개교40주년 기념도서, p. 45-57.

원종관, 이문원, 진명식, 한상복, 2006, 양구 해안분지, 2006 지질·광물문화재 정밀조사 보고서, 문화재청, p. 50-83.

윤상용, 조운주, 이진용, 2009, 양구 해안분지에서 지하수위 변동과 하천유출을 이용한 지하수 함양율 추정 비교, 지질학회지, **45**(4), 391-404.

이봉주, 문상호, 조병욱, 성익환, 이철우, 2001, 스펙트럼 분석을 통한 지하수위 변동의 원인 규명, 지질학회지, **37**(2), 287-296.

이진용, 2009, 양구군 해안분지 지역에 대한 수리지질 및 수문학적 연구의 중요성, 지질학회지, **45**(4), 405-414.

이진용, 이강근, 2002, 강우에 대한 지하수위 반응양상 비교분석: 강원도 원주지역과 경기도 의왕지역, 지하수토양환경, **7**(1), 3-14.

정지민, 박유철, 조운주, 이진용, 2010, 강원도 춘천시 천전리 지하수위 변동자료의 시계열 분석, 지질학회지, **46**(2), 171-176.

- 최인혁, 우남칠, 2007, 지하수 함양량 평가를 위한 NRCS-CN 법의 적용 한계, *지하수토양환경*, **12**(5), 1-6.
- 하규철, 고경석, 고동찬, 엄병우, 이강근, 2006, 시계열 분석을 이용한 하천수위에 따른 다심도 관정의 지하수위 변동해석, *자원환경지질*, **39**(3), 269-284.
- 한국농촌공사, 2008, 이현지구 발기반정비 지하수개발 지하수영향조사서, 한국농촌공사 강원지역본부, p. 53.
- Angelini, P., 1997, Correlation and spectral analysis of two hydrogeological systems in Central Italy, *Hydrol. Sci. J.*, **42**(3), 425-439.
- Healy, R.W. and Cook, P.G., 2002, Using groundwater levels to estimate recharge, *J. Hydrol.*, **10**, 91-109.
- 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), *J. Hydrol.*, **205**, 217-231.
- Lee, J.Y., Lee, K.S., Choi, H.M., Jo, Y.J., and Park, Y., 2010, Chemical and isotopic compositions of groundwater and stream water in a basin, Korea: indication of fast circulation. *C.R. Geoscience* (submitted).
- Lee, J.Y., Yi, M.J., and Hwang, D., 2005, Dependency of hydrologic responses and recharge estimates on water-level monitoring location within a small catchment, *Geosciences J.*, **9**(3), 277-286.
- Moon, S.K., Woo, N.C. and Lee, K.S., 2004, Statistical analysis of hydrographs and water-table fluctuation to estimate groundwater recharge, *J. Hydrol.*, **292**, 198-209.
- Scanlon, B.R., Healy, R.W., and Cook, P.G., 2002, Choosing appropriate techniques for quantifying groundwater recharge, *J. Hydrol.*, **10**, 18-39.