The Journal of Engineering Geology
pISSN : 1226-5268 eISSN : 2287-7169

Vol. 32, No. 2, June, 2022, pp. 281-293
https://doi.org/10.9720/kseg.2022.2.281

RESEARCH ARTICLE

시계열 분석을 이용한 춘천 지역 지하수관측망 수위변동 해석

목종구[1] · 장범주[2] · 박유철[3*] · 신혜수[4] · 김진호[5] · 송세정[6] · 황가영[7]

[1](주)지오쓰리에코 대표이사, [2](주)지오쓰리에코 이사, [3]강원대학교 지구물리학과 부교수,
[4]강원대학교 지구물리학과 석사과정, [5]한국농어촌공사 제주지역본부 차장,
[6]한국농어촌공사 강원지역본부 과장, [7]한국농어촌공사 강원지역본부 대리

Time Series Analysis of Groundwater Level Change in the Chuncheon Area Groundwater Observation Network

Jong-Koo Mok[1] · Bum-Ju Jang[2] · Yu-Chul Park[3*] · Hye-Soo Shin[4] · Jin-Ho Kim[5] · Se-Jeong Song[6] · Ga-Young Hawng[7]

[1]CEO, Geo3eco Co., Ltd.
[2]Director, Geo3eco Co., Ltd.
[3]Associate Professor, Department of Geophysics, Kangwon National University
[4]Master Student, Department of Geophysics, Kangwon National University
[5]Senior Manager, Jeju Regional Headquarters of Korea Rural Community Corporation
[6]Manager, Kangwon Regional Headquarters of Korea Rural Community Corporation
[7]Assistant Manager, Kangwon Regional Headquarters of Korea Rural Community Corporation

Abstract

Time series analysis was performed on data from 2009 to 2018 from the Chuncheon groundwater observation network to understand the characteristics of groundwater level fluctuations in the network. There are five observatories, all of which are installed in rock aquifers, and periodic inspections and management are performed by the relevant operating organization. Auto-correlation, spectral density, and cross-correlation analysis was performed.

Keywords: groundwater observation network, groundwater level, time series analysis, Chuncheon

초 록

본 연구는 강원도 춘천에 설치·운영 중인 지하수관측망의 지하수위 변동특성을 이해하기 위해 2009년에서 2018년까지 장기 관측된 관측망 지하수위 자료에 대하여 시계열분석은 실시하였다. 해당 관측망은 5개소로 모두 암반대수층에 설치되어 있으며, 해당 운영기관에서 주기적인 점검과 관리가 이루어지는 것으로 파악된다. 시계열분석은 자기상관함수, 스펙트럼밀도함수 그리고 교차상관함수 분석을 수행하였다.

주요어: 지하수관측망, 지하수위, 시계열 분석, 춘천

OPEN ACCESS

***Corresponding author:** Yu-Chul Park
E-mail: parkyc@kangwon.ac.kr

Received: 13 June, 2022
Revised: 27 June, 2022
Accepted: 28 June, 2022

Ⓒ 2022 The Korean Society of Engineering Geology

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

서 론

최근 지구온난화에 의한 영향으로 국내에 가뭄이 지속되면서 지하수의 중요성이 대두되고 있다. 이러한 지하수의 이용을 지속적으로 유지하기 위해서 지하수위 변동 및 지하수 함양량에 관한 연구가 국내외적으로 활발히 진행되고 있다(Lee and Lee, 2002; Ha et al., 2006). 지하수위 변동 연구는 물의 이동에 대한 다양한 정보를 제공할 수 있는 매우 중요한 요소로 수문순환을 이루는 성분들에 대한 이해와 정량화를 통해 수자원을 효율적으로 관리할 수 있으며 대수층에 가해지는 수문학적 스트레스에 대한 정보를 제공할 뿐만 아니라 지하수의 함양, 저장 및 배출과정에 나타나는 영향을 보여준다(Lee and Lee, 2000; Lee et al., 2004). 이러한 지하수위 변동 자료는 지하수관측망을 통해서 쉽게 획득할 수 있다.

우리나라는 관리주체 및 관측항목에 따라 국가지하수관측망, 보조지하수관측망, 지하수수질전용측정망, 지역지하수수질측정망, 해수침투관측망, 농촌지하수관리관측망, 먹는샘물측정망, 온천감시정 등 기능이 구분되는 지하수관측망을 설치·운영하고 있다. 이러한 지하수관측망은 지하수장해를 사전에 방지하고 기후위기에 대처하기 위한 다양한 정책수립의 기초 자료를 제공하는 등 수자원 확보와 관리 측면에서 중요한 역할을 한다.

따라서 본 연구에서는 강원도 춘천 지역에 설치·운영 중인 지하수관측망 중 10년 이상 자료가 확보된 관측소 5개소에 대하여 연속적으로 측정된 자료를 통계적으로 해석할 수 있는 시계열분석을 통해 지하수 수위변동의 경향성과 수리적 상호관계를 파악하고자 한다.

연구지역 및 방법

연구지역

춘천시는 강원도의 영서내륙에 위치하고 있으며, 봉의산을 중심으로 북쪽에는 용화산, 서쪽에는 화학산, 동쪽에는 대룡산 그리고 남쪽에는 금병산, 삼악산 등 해발 650~890 m 정도의 크고 작은 산줄기가 사방으로 병풍처럼 솟아 있어 분지형태의 넓은 하상이 발달되어있으며, 북한강과 소양강에 의해 북부, 서부 그리고 동남부 지역으로 분리된다. 연구지역은

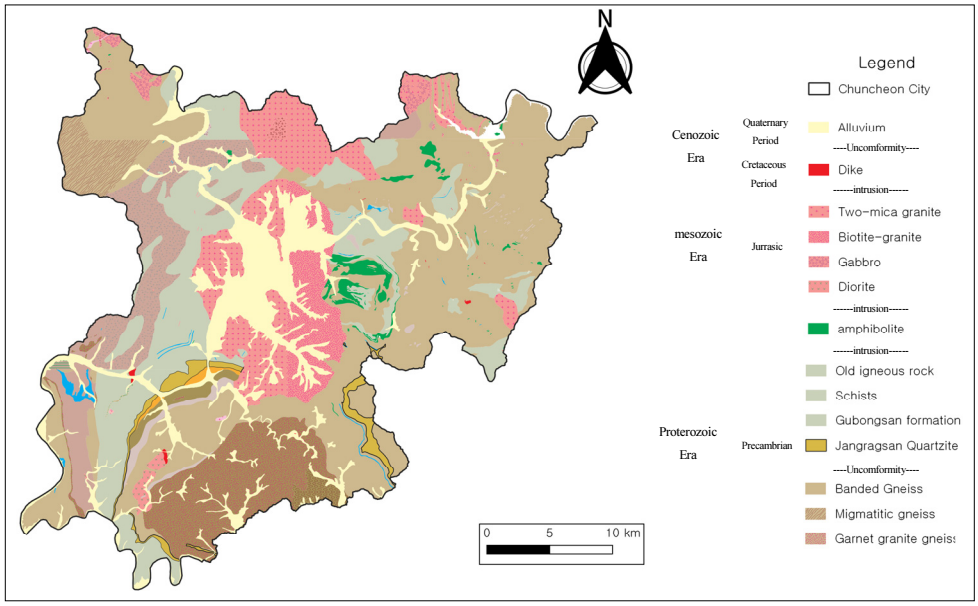

Fig. 1. Geological map of the study area modified from KIGAM (2021).

춘천시를 중심으로 하는 북위 37°50'~38°00', 동경 127°45'~128°00'에 이르는 지역으로 연구 지역의 지질은 크게 선캠브리아기의 변성암류, 이를 관입한 시대 미상의 화성 변성암류 그리고 그 후 쥬라기에 관입한 화성암류로 구분된다(Fig. 1)(Lee et al., 1974; Park et al., 1974, 2006; KIGAM, 2021).

강원도 춘천지역에 설치 · 운영 중인 지하수관측망은 2019년 기준으로 국가지하수관측망 8개소, 농촌지하수관리관측망 4개소 그리고 지역지하수관측망 8개소로 모두 20개소이다. 이중 10년(2009~2018년) 이상 자료가 확보된 국가지하수관측망 3개소(춘천북산, 춘천신동, 춘천우두) 농촌지하수관리관측망 2개소(춘천-1, 춘천-2) 총 5개소에 대하여 시계열분석을 하였다(Fig. 2).

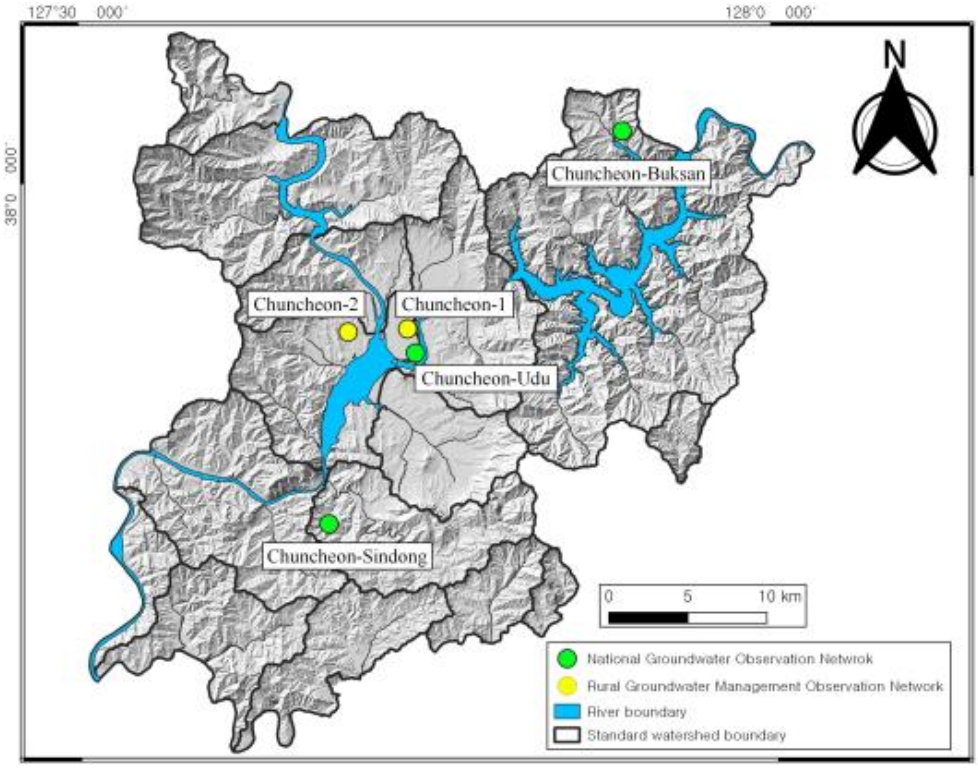

Fig. 2. Location of the observatories.

시계열분석

연속적인 지하수자료는 각각의 시계열 특성을 갖고, 이러한 특성들을 파악하기 위하여 각 자료의 연속적인 신호를 시간영역 및 주파수영역에서 해석할 수 있다(Larocque et al., 1998; Lee and Lee, 2000; Kim et al., 2008a). 일반적으로 각기 고유한 시계열 특성을 갖는 연속적인 수리자료들은 시계열 분석을 적용할 수 있다(Kim et al., 2008b). 이번 연구의 시계열 분석에는 각 지하수관측망의 지하수위 일별 자료와 일일 강수량 자료를 이용하여 시계열 특성인 자기상관(auto-correlation)함수, 스펙트럼밀도(spectral density)함수, 교차상관(cross-correlation)함수를 구하였다(Larocque et al., 1998; Lee and Lee, 2000; Mok et al., 2011).

자기상관함수는 측정된 시계열 자료에 연속적인 자기상관값의 기억효과가 얼마나 지속되는지를 나타낸다. 예를 들어 시계열 자료 결과의 기억 효과가 오랜 시간동안 지속되면 자기상관함수의 기울기는 천천히 감소하며 짧은 시간동안 기억효과가 나타나면 자기상관함수의 기울기는 빠르게 감소한다(Larocque et al., 1998; Lee and Lee, 2000).

스펙트럼밀도함수는 이러한 자기상관함수의 푸리에 변환(Fourier transformation)을 통해 시계열 자료의 주기성을 알 수 있으며 조절시간(regulation time)을 통해 입력신호에 대한 지속시간과 대상에 대한 충격의 지속시간(길이)을 나타낼 수 있다(Davis et al., 1986; Larocque et al., 1998; Lee and Hwang, 2008). 자기상관함수, 스펙트럼밀도함수 및 조절시간을 다음과 같이 계산한다.

$$\gamma_k = \frac{C(k)}{C(0)} \tag{1}$$

$$C(k) = \frac{1}{n}\sum_{t=1}^{n-k}\left[\left(x_t - \overline{x}\right) - x_{t+k} - \overline{x}\right] \tag{2}$$

$$S(f) = 2\left[1 + 2\sum_{k=1}^{m} w(k) r_k \cos(2\pi f k)\right] \tag{3}$$

$$T_{reg} = \frac{S(f=0)}{2} \tag{4}$$

여기서, r_k는 자기상관함수, k는 0에서 m값의 범위를 가지며, m은 절삭점(cutting point), n은 시계열 자료의 길이, $\overline{x}$는 시계열 자료의 평균, $S(f)$는 스펙트럼밀도함수, T_{reg}는 조절시간을 의미한다.

교차상관함수는 입력 시계열 자료와 출력 시계열 자료간의 시간 영역에서의 유사도와 선형 관계를 나타내기 위한 것으로, ±1의 범위를 가지며 최고점에 도달한 시간을 지연시간(time delay)이라 한다. 지연시간은 강우 등의 입력 자료의 영향으로부터 지하수위 등의 출력자료에 대해 최대로 영향을 끼칠 때의 시간을 의미한다. 예를 들어 시차 $k=0$과 최대 상관함수 사이의 시간차인 지연시간을 통해 입력 및 출력자료의 두 시계열 상호간의 스트레스 전파 속도를 나타낼 수 있다(Larocque et al., 1998; Lee and Lee, 2002). 교차상관함수는 다음과 같이 계산한다.

$$r_{xy}(k) = \frac{C_{xy}(k)}{\sigma_x \sigma_y} \tag{5}$$

$$C_{xy}(k) = \frac{1}{n}\sum_{n=1}^{n-k}\left[\left(x_t - \overline{x}\right) - \left(y_{t+k} - \overline{y}\right)\right] \tag{6}$$

여기서, σ_x와 σ_y는 x_t와 y_t의 표준편차, $\gamma_{xy}(k)$는 $k > 0$에서의 교차상관함수, n은 시계열 자료의 길이, $\overline{x}$와 $\overline{y}$는 시계열 자료 x_t와 y_t의 평균을 의미한다.

본 연구에서는 장주기를 가지는 시계열분석에서 좀 더 명확한 해석을 위해 변동경향성 제거를 수행하였다(Lim et al., 2011; Mok et al., 2011). 변동경향성 제거는 기존의 시계열에서 선형회귀직선의 함수 값을 빼주는 것으로 자연적 혹은 인

위적인 영향을 제거하는데 목적이 있다(Molénat et al., 1999; Hanson et al., 2004). 변동경향성 제거는 다음과 같이 계산한다.

$$Y_d = Y_{raw} - Y_{reg} \tag{7}$$

여기서, Y_d는 변동경향성이 제거된 시계열(detrended time series data), Y_{raw}는 원래의 시계열(original time series data) 그리고 Y_{reg}는 선형회귀직선(linear regression)의 함수이다.

결과 및 토의

지하수위 변동 특성

분석에 이용된 관측소(춘천북산, 춘천신동, 춘천우두, 춘천-1, 춘천-2)의 굴착 깊이는 60~70 m이고, 고도는 77.53~218.42 m에 위치한다(Table 1). 각각의 관측소에서 측정된 수리자료의 변동특성을 살펴보기 위해 2009년에서 2018년까지의 기본통계 결과(Tables 2~7)와 지하수위 변동과 강수자료를 도시하였다(Figs. 3~7).

Table 1. Observatory details

Observatory	Installation (year)	Depth (m)	Elevation (EL. m)	Coordinate
Chuncheon-Buksan	2003	70	218.42	127°53'31", 38°01'40"
Chuncheon-Sindong	2003	70	211.24	127°40'43", 37°48'17"
Chuncheon-Udu	1995	70	77.53	127°44'30", 37°54'07"
Chuncheon-1	2007	60	85.50	127°44'10", 37°54'65"
Chuncheon-2	2007	60	76.80	127°41'36", 37°54'08"

Table 2. Annual water level statistics for the Chuncheon-Buksan observatory

Year	n	Mean	Max.	Min.	Median	Std.dev.	Kurtosis	Skew.
2009	363	213.3	214.0	213.1	213.3	0.11	18.78	3.30
2010	365	213.1	214.2	213.0	213.1	0.14	18.49	3.34
2011	362	213.3	214.5	213.0	213.3	0.21	5.82	1.59
2012	365	213.2	213.8	213.1	213.2	0.09	3.00	1.24
2013	363	213.2	214.4	213.1	213.2	0.16	16.54	3.54
2014	362	213.1	213.4	212.9	213.1	0.05	1.26	-0.06
2015	364	213.1	213.6	212.8	213.1	0.07	5.63	0.92
2016	364	213.1	214.3	212.9	213.1	0.11	41.69	4.55
2017	363	213.1	214.0	212.8	213.1	0.16	9.75	2.05
2018	363	212.9	213.8	212.8	212.9	0.11	14.42	2.73
Sum	3,634	213.2	214.5	212.8	213.1	0.16	9.14	1.72

Table 3. Annual water level statistics for the Chuncheon-Sindong observatory

Year	n	Mean	Max.	Min.	Median	Std.dev.	Kurtosis	Skew.
2009	365	205.3	206.2	204.8	205.2	0.28	0.46	0.76
2010	365	205.4	206.0	205.0	205.4	0.25	-1.18	0.07
2011	365	205.2	206.1	204.9	205.2	0.24	0.38	0.95
2012	366	205.3	205.9	204.8	205.3	0.24	-0.46	0.26
2013	365	205.3	206.1	205.0	205.2	0.16	4.23	1.35
2014	365	205.2	205.9	204.9	205.1	0.16	1.75	1.05
2015	365	205.1	205.8	204.7	205.1	0.21	-0.24	0.60
2016	366	205.3	206.1	204.8	205.2	0.22	0.58	0.81
2017	365	205.1	205.9	204.8	205.1	0.23	0.04	0.78
2018	365	205.2	205.9	204.6	205.2	0.27	-0.25	-0.19
Sum	3,652	205.2	206.2	204.6	205.2	0.24	0.26	0.56

Table 4. Annual water level statistics for the Chuncheon-Udu observatory

Year	n	Mean	Max.	Min.	Median	Std.dev.	Kurtosis	Skew.
2009	365	71.2	72.2	70.7	71.2	0.34	-0.06	0.60
2010	365	71.2	72.3	70.8	71.0	0.33	2.04	1.58
2011	365	71.2	73.5	70.7	70.9	0.62	2.66	1.76
2012	366	71.0	71.4	70.7	71.0	0.23	-1.23	0.15
2013	365	71.1	72.3	70.7	71.0	0.35	2.65	1.66
2014	365	70.9	71.3	70.7	70.9	0.16	-0.99	0.45
2015	365	70.9	71.2	70.6	70.9	0.14	-0.64	0.15
2016	366	70.9	71.4	70.5	70.9	0.18	0.09	0.30
2017	365	70.9	71.5	70.5	70.9	0.21	-0.38	0.32
2018	365	70.8	71.3	70.6	70.8	0.16	0.99	1.14
Sum	3,652	71.0	73.5	70.5	70.9	0.33	9.99	2.46

Table 5. Annual water level statistics for the Chuncheon-1 observatory

Year	n	Mean	Max.	Min.	Median	Std.dev.	Kurtosis	Skew.
2009	365	80.7	83.8	78.7	80.7	1.46	-1.48	0.11
2010	365	80.5	83.6	78.6	80.5	1.47	-1.44	0.10
2011	365	80.6	84.0	78.3	80.3	1.63	-1.30	0.26
2012	366	80.2	82.5	78.0	80.4	1.42	-1.58	-0.15
2013	365	80.3	83.4	78.7	80.1	1.32	-1.05	0.45
2014	365	79.7	81.4	77.9	80.0	1.19	-1.66	-0.20
2015	365	79.5	81.5	77.3	80.0	1.36	-1.42	-0.43
2016	366	79.7	82.5	77.6	80.0	1.34	-1.36	-0.17
2017	365	79.6	82.1	77.3	80.1	1.47	-1.47	-0.15
2018	365	79.4	81.8	77.0	79.8	1.39	-1.44	-0.33
Sum	3,652	80.0	84.0	77.0	80.2	1.48	-0.88	0.05

Table 6. Annual water level statistics for the Chuncheon-2 observatory

Year	n	Mean	Max.	Min.	Median	Std.dev.	Kurtosis	Skew.
2009	365	73.7	74.4	73.0	73.7	0.30	-0.95	0.41
2010	361	73.7	75.0	73.3	73.7	0.40	0.30	0.90
2011	114	73.6	74.0	73.2	73.6	0.20	-0.90	0.30
2012	366	73.5	74.0	72.6	73.5	0.32	-1.04	-0.30
2013	365	73.7	74.5	72.8	73.7	0.33	0.04	0.52
2014	365	73.3	74.3	72.6	73.4	0.18	2.75	-1.22
2015	365	73.1	73.7	72.5	73.1	0.22	0.59	0.33
2016	366	73.5	74.1	72.6	73.5	0.28	-0.54	0.00
2017	365	73.5	74.3	72.4	73.4	0.36	-0.14	0.07
2018	365	73.5	74.2	72.8	73.7	0.33	-0.78	-0.77
Sum	3,397	73.5	75.0	72.4	73.5	0.35	0.20	0.27

Table 7. Rainfall data for the Chuncheon area from the Meteorological Administration

Year	n	Mean	Max.	Std.dev.	Kurtosis	Skew.
2009	365	4.0	200.5	18.86	74.59	8.13
2010	365	4.3	195.0	15.33	73.83	7.38
2011	365	5.6	262.5	21.18	74.10	7.61
2012	366	3.6	92.0	12.27	26.82	4.95
2013	365	4.8	140.0	15.47	33.26	5.27
2014	365	1.9	95.8	7.54	89.36	8.42
2015	365	2.1	58.6	6.28	28.77	4.76
2016	366	3.6	241.6	16.23	132.16	10.05
2017	365	3.3	124.3	12.70	44.94	6.22
2018	365	3.8	170.7	14.71	55.70	6.57
Sum	3,652	3.7	262.5	14.74	94.44	8.27

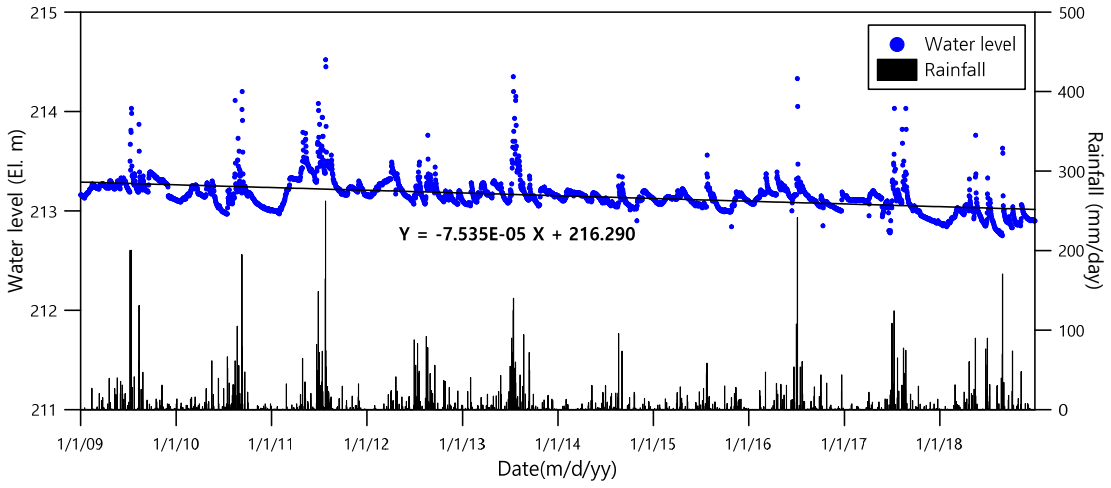

Fig. 3. Water level and daily rainfall at the Chuncheon-Buksan observatory.

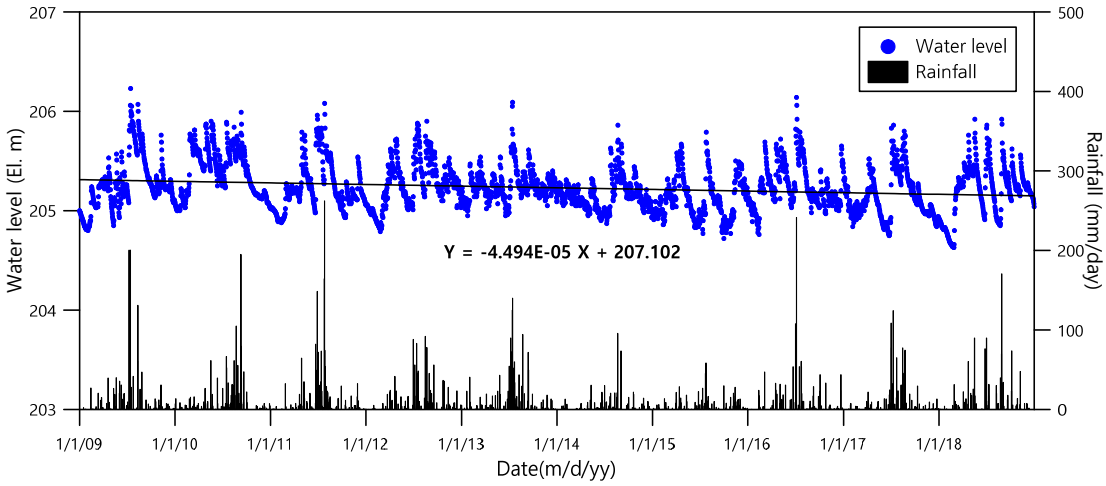

Fig. 4. Water level and daily rainfall at the Chuncheon-Sindong observatory.

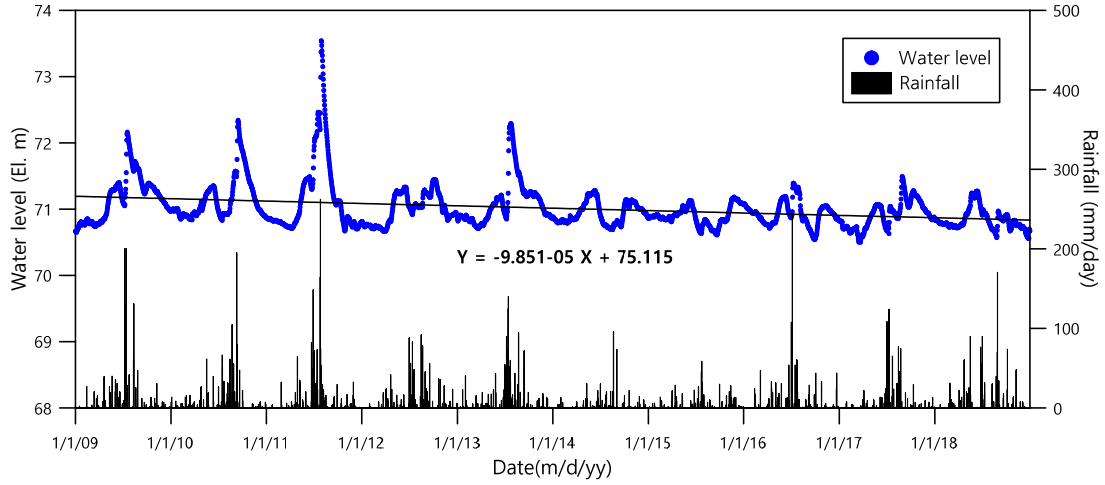

Fig. 5. Water level and daily rainfall at the Chuncheon-Udu observatory.

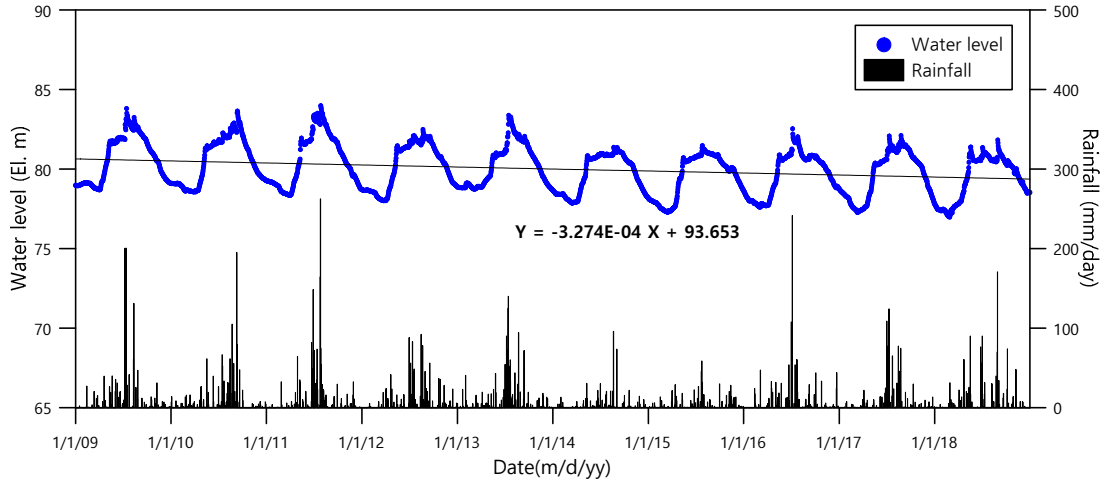

Fig. 6. Water level and daily rainfall at the Chuncheon-1 observatory.

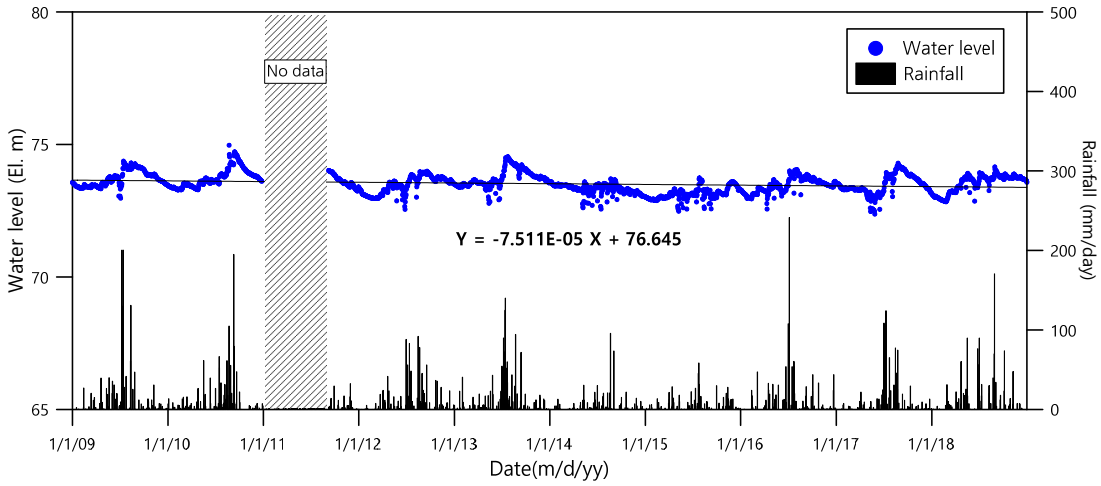

Fig. 7. Water level and daily rainfall at the Chuncheon-2 observatory.

각각의 관측소에 대한 10년 해발기준 평균 지하수위(변동폭)는 춘천북산이 214.5 m (△1.8 m), 춘천신동이 205.2 m (△1.6 m), 춘천우두가 71.0 m (△3.0 m), 춘천-1이 80.0 m (△7.0 m) 그리고 춘천-2가 73.5 m (△2.6 m)로 나타났으며, 각 관측소의 지하수위는 계절적 변동이 우세하였다. 시간경과(10년)에 따른 지하수위 선형분석결과 1.6~12.0 cm/yr 범위에서 관측소 5개소 모두에서 지하수위 하강이 지속적으로 나타났다(Table 8).

Table 8. Decrease in water level at each observatory

Observatory	Reduce/10 year (m)
Chuncheon-Buksan	-0.275
Chuncheon-Sindong	-0.164
Chuncheon-Udu	-0.360
Chuncheon-1	-1.196
Chuncheon-2	-0.274

시계열자료 분석

각 관측소의 지하수위 자료의 특성을 파악하기 위하여 자기상관함수와 스펙트럼밀도함수를 분석하였으며, 강수량 자료는 춘천 기상대의 자료를 이용하였다. 각 관측정춘천북산, 춘천신동, 춘천우두, 춘천-1, 춘천-2의 지연시간(time lag)은 각각 132일, 70일, 75일, 97일, 133일로 자기상관함수가 느리게 감소하는 변동양상을 보였다. 이는 긴 지연시간에 대해 느리게 0으로 감소하는 강한 자기상관성을 나타내고 있으며, 강우의 지연시간은 65일로 나타났다(Fig. 8a). 스펙트럼밀도함수는 춘천북산, 춘천신동의 경우 조절시간(regulation time)이 3,633일(power 188.56), 3,651일(power 187.46)의 장주기성이 나타나는 것으로 분석되었고, 춘천우두, 춘천-1, 춘천-2의 경우는 조절시간이 365일(power 475.22), 78일(power 40.33), 87일(power 21.33)의 주기성이 나타나는 것으로 분석 되었다. 강수의 조절시간이 361일(power 73.51)로 춘천우두 지하수위 자료와는 강한 선형성과 기억효과를 가지고 있는 것으로 판단된다(Fig. 8b).

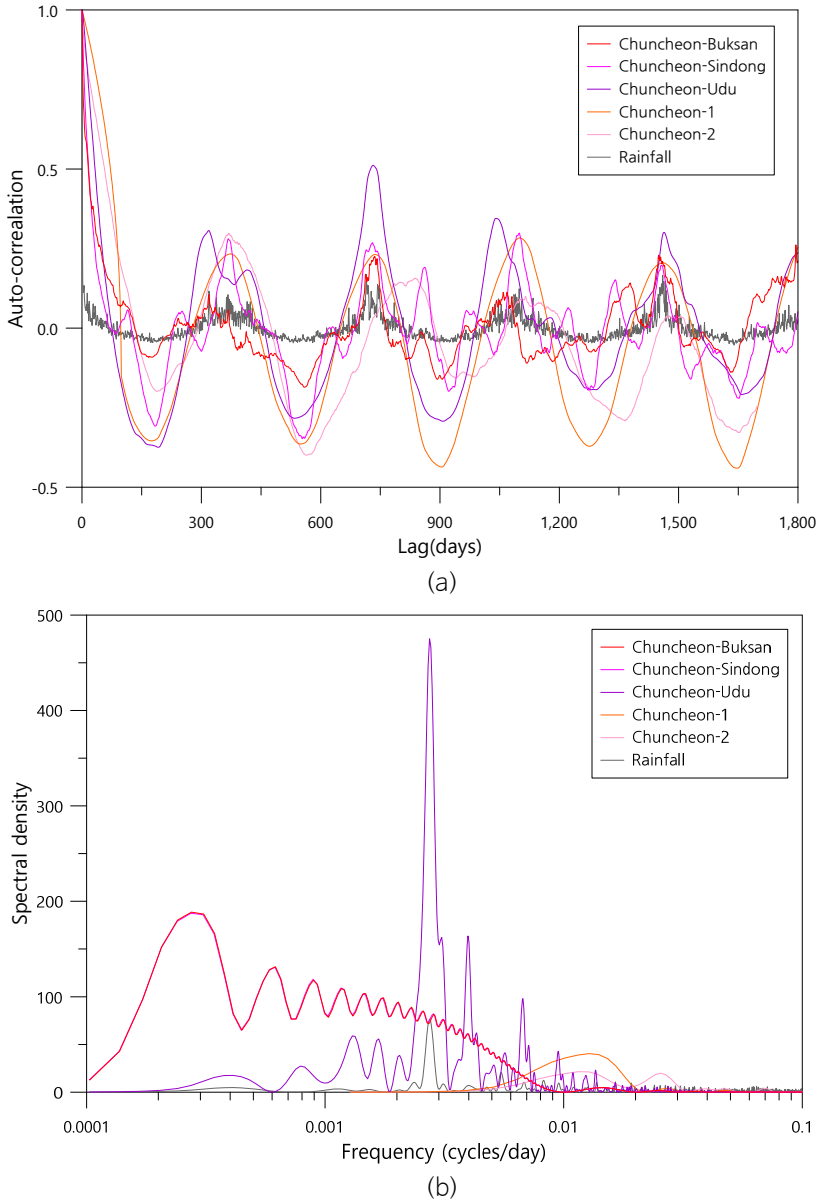

Fig. 8. (a) Auto-correlation and (b) spectral density functions for the daily water level and rainfall at each observatory.

강수량에 대한 지하수위의 상호 연관성을 파악하기 위해 강수를 입력(input)으로 지하수위를 출력(output)으로 간주하여 교차상관함수를 분석하였다(Fig. 9). 각 관측정 춘천북산, 춘천신동, 춘천우두, 춘천-1, 춘천-2의 최대 교차상관값은 0.32, 0.36, 0.28, 0.23, 0.22로 나타났다. 이는 강수에 대하여 어느 정도의 상호상관성을 보여주며, 지연시간(delay time)은 각각 1일, 1일, 8일, 8일, 10일로 비교적 지하수위가 짧은 시간에 영향을 받는 것을 알 수 있다(Table 9).

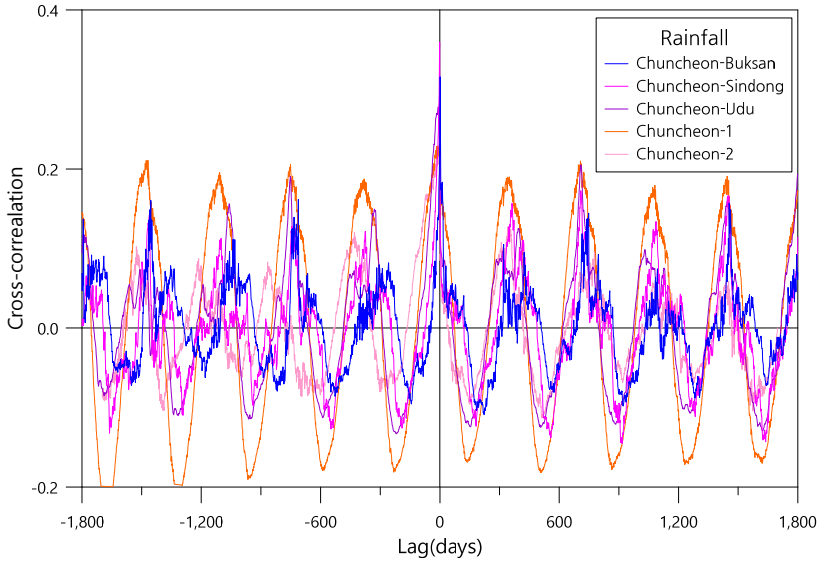

Fig. 9. Cross-correlation values for the daily water table and rainfall at each observatory.

Table 9. Time lags, regulation times and delay times for water level at the observatories

Observatory	Time lag (days)	Regulation time (days)	Delay (days)
Chuncheon-Buksan	132	3,633	1.0
Chuncheon-Sindong	70	3,651	1.0
Chuncheon-Udu	75	365	8.0
Chuncheon-1	97	78	8.0
Chuncheon-2	133	87	10.0
Rainfall	65	361	Input

결 론

본 연구에서는 강원도 춘천 지역에 설치 · 운영 중인 지하수관측망 중에서 10년 이상 관측자료가 확보된 관측소 5개소(국가지하수관측망 3개소, 농촌지하수관리관측망 2개소)에 대하여 지하수위 자료에 대한 시계열 분석을 실시하였다. 관측소는 60~70 m의 암반대수층으로 구성되어 있다. 2009년에서 2018년까지 10년간 측정된 시계열 자료를 사용하여 통계분석, 자기상관함수, 스펙트럼밀도함수 및 교차상관함수의 시계열 특성 함수를 분석하였다. 각 관측소에서의 지하수위 선형분석결과 1.6~12.0 cm/yr의 지하수위 하강이 나타났다. 모든 관측소에서 강한 자기상관성이 나타났으며, 특히 춘천우두의 지하수위 조절시간과 강수의 조절시간이 매우 유사한 특성을 보여 이들의 관계는 강한 선형성과 기억효과를 가지고 있는 것으로 판단된다. 강수와 지하수위의 교차상관함수를 분석한 결과 강우에 대하여 어느 정도의 상호상관성을 보이고 있으며, 지연시간은 1~10일 범위로 비교적 지하수위가 짧은 시간에 영향을 받고 있다. 이는 단열암반층의 특성상 강수의 함양이 직접적이지 않고, 먼 곳으로부터 함양되고 있음을 지시한다. 이번 연구지역인 춘천시는 지역지하수관측망을 39개소까지 추가 설치하는 것을 계획하고 있어, 향후 이를 통해 활용 가능한 보다 정밀한 자료획득이 가능할 것으로 여겨진다.

사사

본 논문은 2022년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구 사업(NO. 2019R1A6A1A03033167)에서 지원을 받아 수행되었습니다. 본 논문에 좋은 의견을 주신 익명의 심사위원님들께 감사드립니다.

References

Davis, J.C., 1986, Statistics and data analysis in geology, John Wiley & Sons, New York, 646p.

Ha, K.C., Ko, K.S., Koh, D.C., Yum, B.W., Lee, K.K., 2006, Time series analysis of the responses of the groundwater levels at multi-depth wells according to the river stage fluctuations, Economic and Environmental Geology, 39(3), 269-284 (in Korean with English abstract).

Hanson, R.T., Newhouse, M.W., Dettinger, M.D., 2004, A methodology to asess relations between climatic variability and variations in hydrologic time series in the southwestern United States, Journal of Hydrology, 287, 252-269.

KIGAM (Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources), 2021, Geo big data open platform, Retrieved from https://data.kigam.re.kr.

Kim, T.W., Hamm, S.Y., Cheong, J.Y., Ryu, S.M., Lee, J.H., Son, K.T., Kim, N.H., 2008a, Time series and groundwater recharge analyses using water fluctuation data in mountain Geumjeong area, Journal of Environmental Science International, 17(2), 257-267 (in Korean with English abstract).

Kim, Y.L., Woo, N.C., Lee, S.D., Hong, T.K., Kim, J., 2008b, Periodic variation of water table at a headwater catchment in the Gwangneung ecohydrological research site, Journal of Soil and Groundwater Environment, 13(1), 43-51 (in Korean with English abstract).

Larocque, M., Mangin, A., Razack, M., Banton, O., 1998, Contribution of correlation and spectral analyses to the regional study of a large karst aquifer (Charente, France), Journal of Hydrology, 205, 217-231.

Lee, B.J., Hwang, S.E., 2008, Evaluation of characteristics of seawater intrusion based on the groundwater fluctuations: Baksu area, Yeonggwang-gun, Journal of the Geological Society of Korea, 44(2), 232-240 (in Korean with English abstract).

Lee, D.S., Lee, H.Y., Nam, K.S., Yang, S.Y., 1974, Explanatory text of the geological map of Chuncheon sheet (1:50,000), Geological and Mineral Institute of Korea, 18p.

Lee, J.Y., 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, 190-201.

Lee, J.Y., Lee, K.K., 2002, A comparative study on characteristics of waterlevel responses to rainfall in the two aquifer systems, Journal of Soil and Groundwater Environment, 7(1), 3-14 (in Korean with English abstract).

Lee, M.J., Kim, G.B., Sohn, Y.C., Lee, J.Y., Lee, K.J., 2004, Time series analysis of groundwater level data obtained from national groundwater monitoring stations, Journal of the Geological Society of Korea, 40(3), 305-329 (in Korean with English abstract).

Lim, H.G., Choi, H.M., Lee, J.Y., 2011, Comparison of hydrogeological time series analysis results before and after detrending, Journal of Soil and Groundwater Environment, 16(2), 30-40 (in Korean with English abstract).

Mok, J.K., Lim, H.G., Jang, B.J., Park, Y.C., Lee, J.Y., 2011, Time series analysis of the effect of ground-source heat pumps on groundwater characteristics, Journal of Engineering Geology, 21(1), 35-43 (in Korean with English abstract).

Molénat, J., Davy, P., Gascuel-Odoux, C., Durand, P., 1999, Study of three subsurface hydrologic systems based on spectral and cross-spectral analysis of time series, Journal of Hydrology, 222, 152-164.

Park, H.I., Chi, J.M., Chang, K.H., Ko, I.S., 1974, Explanatory text of the geological map of Naepyeong sheet (1:50,000), Geological and Mineral Institute of Korea, 13p.

Park, Y.Y., Lee, K.S., Yu, J.Y., 2006, Seasonal variations of dissolved ions and oxygen and hydrogen isotopic compositions of precipitation in Chuncheon, Korea, Journal of the Geological Society of Korea, 42(2), 283-292 (in Korean with English abstract).