

ORIGINAL ARTICLE

## 지하수위 변동량과 전기전도도 변동량을 이용한 강수 효과 분석

조원기 · 강동환\* · 박경덕 · 김문수<sup>1)</sup> · 신인규<sup>1)</sup>

부경대학교 지질환경연구소, <sup>1)</sup>국립환경과학원

### Analysis of Precipitation Effects Using Groundwater Level and Electrical Conductivity Fluctuations

Won Gi Jo, Dong-hwan Kang\*, Kyoung-deok Park, Moon-su Kim<sup>1)</sup>, In-Kyu Shin<sup>1)</sup>

*Institute of Environmental Geosciences, Pukyong National University, Busan 48513, Korea*

<sup>1)</sup>*National Institute of Environmental Research, Incheon 22689, Korea*

#### Abstract

Moving average precipitation provides periodic precipitation patterns by solving precipitation irregularities. However, due to uncertain moving average periods, excessive data smoothing occurs, which limit the possibility to analyze groundwater levels in the short term. Nonetheless, groundwater level fluctuation can compensate these limitations as it can calculate appropriately for unit time and verify the effect of precipitation penetrated into groundwater in a short time period. In this study, the characteristics of groundwater level were evaluated using groundwater level fluctuation to compensate for limitations of groundwater level analysis using moving average precipitation. In addition, the groundwater quality was investigated using the electrical conductivity fluctuation. The study site was Hyogyo-ri, Yesan-si, Chungcheongnam-do. Four observation wells and an automated weather system were used. The correlation between groundwater level fluctuation and precipitation (Case 1) and the correlation between groundwater level and moving average precipitation (Case 3) were compared. In the analysis for 1 hour data, the correlation coefficient of Case 1 was higher than that of Case 3, and in the analysis for 1 day data, the correlation coefficient of Case 3 was higher than that of Case 1.

**Key words** : Electrical conductivity, Fluctuation, Groundwater level, Moving average precipitation, Precipitation

#### 1. 서론

최근 기후변화와 가뭄, 집중호우를 비롯한 재해로 인해 수자원의 확보 및 물 수요관리에 어려움을 겪고 있다. 우리나라는 1990년대 이후 꾸준히 농업시설의 확장과 활성화를 지원하고 있으며, 이는 농업용수의 수요를 증가시켰다. 농민들은 농업용수로 지하수를 적극 사용하고

있어 지하수에 대한 관심도는 더욱 높아지고 있다(Kim et al., 2005). 이러한 배경으로 지하수의 활용과 특성에 관한 연구들이 매우 활발하게 수행되었다(Lee et al., 2000, Jung et al., 2012).

지하수위 변동은 자연 상태에서 연속적인 변화를 보이나, 강수 특성에 따라 지하수 흐름과 기저 유출에 의한 상승과 하강을 반복하여 평형 상태를 유지한다(Koo et

Received 28 April, 2021; Revised 10 June, 2021;

Accepted 10 June, 2021

\*Corresponding author: Dong-hwan Kang, Institute of Environmental Geosciences, Pukyong National University, Busan 48513, Korea  
Phone : +82-51-629-7393  
E-mail : dhkang@pknu.ac.kr

© The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.  
© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

al, 2002). 이러한 배경으로, 지하수위 변동량은 지하수 연구에 중요한 자료로써, 대표적으로 지하수 함양 특성 및 함양량 산정에 사용되었다. Jung et al.(2007)은 지표수 유출과 지하수위 변동을 동시에 고려한 지하수 함양량 추정 기법을 개발하고 하천 유역에 적용하였다. Yun et al.(2009, 2013)은 강원도 도시지역과 농촌지역의 지하수위 변동 특성을 분석하고 지하수 함양률을 산출함으로써 도농지역의 지하수 활용에 대한 필요성을 제시하였다. Kim et al.(2010)은 지하수위의 급상승 및 인위적인 변동을 고려하기 위해 갈수기의 단위 시간에 대한 지하수위 변동량을 사용하여 대수층의 비산출률을 산정하였다.

천층 자유면 대수층은 지표면에 가깝기 때문에 강수 유입 및 오염 농도 변화에 쉽게 노출된다. 천층대수층의 지하수위는 상부토양층을 통한 강수의 유입에 민감하고 암반대수층의 지하수위는 상대적으로 강수의 유입에 안정적인 특성을 보인다(Lee et al., 2002). 전기전도도에 대한 강수의 영향 분석에서 지속적인 강수 사례에서는 수질 변화에 뚜렷한 영향을 미치고, 단기 집중적인 강수 사례에서는 수질 변화에 큰 영향을 미치지 않았다(Lee et al., 2002). Lee et al.(2007)은 농업용 저수지 내에서 수질 변이의 특성을 파악하기 위해 계절별 강우분포에 따른 수질 변이 및 경향성을 분석하였고, 전기전도도는 장마 전과 후 수치가 거의 일정한 결과를 보였다. Hong et al.(2015)은 액비 시비에 따른 토양 내 수분 및 오염물질 이동이 일으키는 지하수 수질 오염의 문제점 및 대책방안을 도출하기 위해 토양수 및 천층지하수를 모니터링하여 토양 및 수질오염에 대한 영향을 평가하였다.

지하수는 강수에 의해 많은 영향을 받기 때문에 강수와 지하수의 상관관계를 정확하게 이해하는 것이 매우 중요하다. Yang et al.(2005, 2007, 2008, 2011)은 하천을 비롯한 한반도 곳곳에서 강수량과 지하수위의 상관관계를 분석하였으며, 지하수위에 대한 선행 강수를 고려하기 위하여 강수량의 이동평균(moving average)을 사용하였다. 이동평균을 활용한 선행 강수를 고려하는 것은 강수의 비주기성을 해결할 수 있는 방법이지만, 지하수위의 단기 분석에서는 미흡한 점이 있다. 첫째는 강수량의 이동평균기간에 대한 검토가 간과되었다는 점이다. 교차상관함수가 최대일 때의 이동평균기간을 사용하는데 그 범위는 유역별, 지역별로 수일에서 수백일까지 설정된다. 과도한 이동평균은 강수량의 변동을 평활화

(smoothing)하여 극값의 폭을 줄이기 때문에 이동평균 강수량이 지하수에 미치는 영향에 대하여 객관적으로 확인할 필요가 있다. 둘째는 이동평균 강수량을 계산하면서 설정한 기간 내의 강수량에 대하여 같은 비중을 두는 점이다. 과거에 흘러가 버렸을 가능성이 있는 수자원의 영향에 대하여 고려할 필요성이 있다.

본 연구는 지하수위와 전기전도도에 대한 강수 효과를 분석하고 강수에 의한 지하수위와 전기전도도의 장기적/단기적인 변동을 파악하는 데 목적이 있다. 본 연구에서는 이동평균 강수량을 활용한 분석에서 나타나는 문제점을 보완하기 위하여 지하수위 변동량과 전기전도도 변동량을 활용하여 강수량과 지하수의 관계를 분석하였다. 먼저, 선행 강수를 고려한 이동평균 강수량을 활용한 분석 결과를 통해 연구적 문제점과 한계를 제시하였다. 다음, 선행 강수를 고려하지 않기 위하여 단위 시간당 강수량을 지하수위 변동량, 전기전도도 변동량과 비교 분석하였고, 이 결과를 이동평균 강수량을 활용한 지하수위 분석 결과와 비교하였다.

## 2. 자료 및 방법

본 연구에서는 충청남도 예산군 효교리에 설치한 자동기상관측장비(Automated Weather System, AWS)를 통해 강수량을 관측하였고, AWS 부근 지하수 관측정 4개 지점에서 지하수위와 전기전도도를 관측하였다. 연구 기간은 2019년 7월 1일부터 2020년 6월 30일까지이다. AWS는 1분 간격으로 강수량을 관측하고, 지하수 관측정은 10분 간격으로 지하수위와 전기전도도를 관측한다. 관측정의 심도와 표고는 Table 1에 나타내었다. 관측 자료를 비교하기 위하여 강수량은 1시간과 1일 누적강수량을 산출하였고 지하수위와 전기전도도는 정시에 관측된 자료를 사용하였다.

본 연구에 사용된 분석 자료를 Table 2에 정리하였다. Case 1과 Case 4는 각각 지하수위와 전기전도도를 강수량과 분석한 것이고, Case 2와 Case 5는 각각 지하수위 변동량과 전기전도도 변동량을 강수량과 분석한 것이고, Case 3은 지하수위를 이동평균 강수량과 분석한 것이다. 먼저, 시계열 분석을 통해 강수량과 지하수위, 전기전도도의 연간 관측 패턴을 파악하고, 교차상관분석을 통해 산정한 지연 시간(lag time)을 활용하여 강수량에 대한

**Table 1.** Groundwater well depth and elevation

Well	M-1	M-11	PS-M1	PS-M2
Depth (m)	47.9	28.3	30.0	30.0
Elevation (m)	23.7	16.8	18.4	17.9

**Table 2.** The analysis cases and parameters used in correlation analysis

	Groundwater level	Groundwater level fluctuation	Electrical conductivity	Electrical conductivity fluctuation
Precipitation	Case 1	Case 2	Case 4	Case 5
Moving averaged precipitation	Case 3			

지하수위와 전기전도도의 상관성을 분석하였다. 교차상관분석은 관측 시작 시점으로부터 최대 교차상관함수 값을 가질 때까지 걸리는 시간을 계산하는 방법이고, 지연 시간은 두 자료 간 상관계수가 가장 클 때까지 걸리는 시간을 의미한다. 다음, 선행 강수를 고려하기 위하여 이동 평균 강수량과 지하수위를 분석하였고, 선행 강수를 고려하지 않기 위하여 강수량과 지하수위 변동량을 분석하였다. 각 분석 방법으로 도출한 결과를 서로 비교하였으며, 수질에 대한 강수량의 영향을 파악하기 위하여 강수량과 전기전도도 변동량의 분석을 수행하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 관측 자료 분석

본 연구지역에서 4개 지하수 관측정의 지하수위와 전기전도도를 시계열 그래프로 작성하였다(Fig. 1). 강수량은 여름과 가을에 많고 겨울과 봄에 적은 경향을 보였다. 365일 중 강수일은 110일이고 일 최대 강수량은 107.6 mm였다. 지하수위는 10~17 m 범위였으며, M-1과 M-11은 각각 10~12 m, 15~17 m이고 나머지 관측정은 12~14 m로 관측되었다(Fig. 1(a)). 수위의 변동 폭은 2 m 이내였으며 급격한 변동은 나타나지 않았다. 강수량이 적을 경우, 지하수위는 천천히 하강하는 양상을 보였고 강수량이 많을 경우, 지하수위는 급격하게 상승하는 양상을 보였다. 이러한 양상은 M-1을 제외한 관측정에서 뚜렷하였다. 전기전도도는 200~400  $\mu\text{S}/\text{cm}$  범위에서 관

측되었다(Fig. 1(b)). M-1은 여름에 큰 변동을 보였으며, M-11은 1년간 거의 변화가 없었다.

분석 자료의 단위 시간에 따른 Case 1과 Case 4의 상관계수를 Table 3에 정리하였다. Case 1의 1시간 상관계수는 -0.04~0.06, Case 1의 1일 상관계수는 -0.08~0.18의 범위를 보였다. Case 4의 1시간 상관계수는 -0.06~0.02, Case 4의 1일 상관계수는 -0.12~0.26의 범위를 보였다. 지하수위는 과거의 관측값의 영향을 받아 누적되는 값이고, 강수량은 단위 시간당 관측되어 더해지는 값이기 때문에 통계적인 측면에서 다른 개념을 가지고 있다. Table 3에서 Case 1과 Case 4의 상관계수는 대체로 낮으나, 강수에 의해 지하수위와 전기전도도의 증감이 1시간 자료보다 1일 자료에서 더 명확히 나타나는 것을 보여준다.

교차상관분석을 통한 강수량에 대한 지하수위와 전기전도도의 지연 시간을 Table 4에 정리하였다. Case 1의 지연 시간은 M-1과 M-11에서 각각 73일, 3일이었고, 나머지 관측정에서 11일이었다. Case 4의 지연 시간은 41~285일이었다. 앞서 Table 3의 Case 4를 보면, M-11과 PS-M1에서 250일 이상의 지연 시간을 적용하여 산출된 상관계수는 1시간 자료와 1일 자료의 부호가 반대로 나타났으며, 이러한 통계적 수치는 수 백일이라는 자료의 시간 격차에 의한 결과라고 보인다. 지하수위와 전기전도도의 지연 시간은 관측정마다 큰 차이를 보였고, 이처럼 일정하지 않은 지연 시간은 관측 지점에서 지하수위와 전기전도도가 상관관계를 규명하기에 적합하지

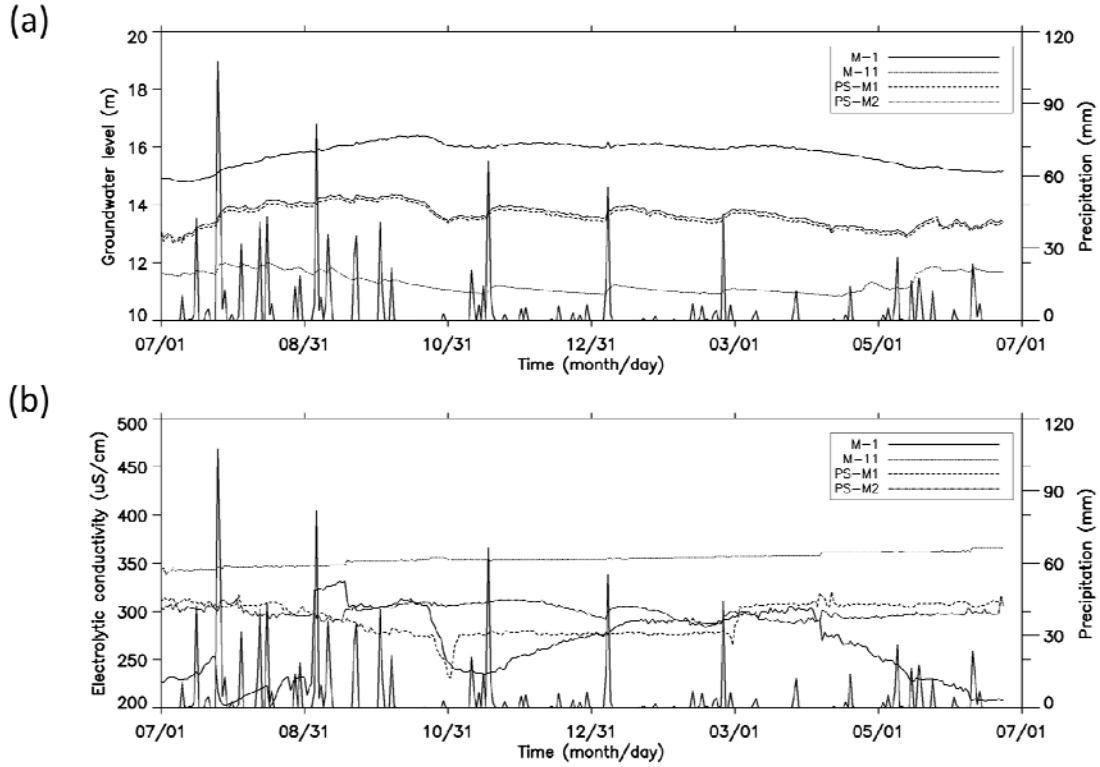


Fig. 1. Time series of precipitation (1 day) and (a) groundwater level, (b) electrical conductivity.

Table 3. The correlation coefficient of Case 1 and Case 4

	Case 1		Case 4	
	1 h	1 d	1 h	1 d
M-1	-0.04	-0.08	-0.02	-0.12
M-11	0.06	0.18	-0.06	0.13
PS-M1	0.02	0.08	0.02	-0.03
PS-M2	0.02	0.09	-0.01	0.10

Table 4. The lag time of Case 1 and Case 4

	hour		day	
	Case 1	Case 4	Case 1	Case 4
M-1	1767	998	73	41
M-11	49	6901	3	285
PS-M1	279	6247	11	255
PS-M2	279	1518	11	71

**Table 5.** The correlation coefficient of Case 3

	Case 3	
	hour	day
M-1	-0.04 (2 h)	-0.05 (198 d)
M-11	0.54 (682 h)	0.60 (26 d)
PS-M1	0.32 (682 h)	0.33 (48 d)
PS-M2	0.32 (682 h)	0.33 (30 d)

**Table 6.** The lag time of Case 2 and Case 5

	hour		day	
	Case 2	Case 5	Case 2	Case 5
M-1	3	964	0	41
M-11	1	190	0	12
PS-M1	3	1309	0	99
PS-M2	3	455	0	214

않다.

### 3.2. 이동평균 강수량을 활용한 지하수위 분석

선형 강수의 영향을 고려하기 위해 이동평균 강수량과 지하수위의 상관관계를 분석한 결과, Table 3의 상관계수보다 더 높게 산정되었다. Table 5에 이동평균 강수량과 지하수위의 상관계수 그리고 이동평균기간을 정리하였다. 1시간 자료에서 682시간 동안의 이동평균을 계산하였고, 상관계수는 0.32~0.54의 범위를 보였다. 1일 자료에서 26~198일 동안의 이동평균을 계산하였고, 상관계수는 0.33~0.60의 범위를 보였다. 다른 관측정에 비해 M-1의 이동평균기간은 1시간 자료에서 2시간, 1일 자료에서 198일로 상반된 결과를 보였다.

### 3.3. 강수량과 지하수위 변동량 관계 분석

교차상관분석을 통한 Case 2와 Case 5의 지연 시간을 Table 6에 정리하였다. 지하수위 변동량의 지연 시간은 모든 관측정에서 0일 이내였고 시간 단위로 산정하였을 때, 1~3시간이었다. 전기전도도 변동량의 지연 시간은 12~214일이었다. 지하수위 변동량의 지연 시간이 하루 이내로 나타난 것으로 보아 강수량이 지하수위 변동에 빠르게 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 전기전도도 변동량의 지연 시간은 관측정마다 큰 차이를 보였고, 전기전도도 변동에 대한 강수량의 영향을 명확하게 파악하기

어렵다.

Fig. 2는 Case 2의 1일 회귀상관분석 결과이다. 지하수위 변동량은 -0.3~0.3 m이고, 강수량과 지하수위 변동량의 상관계수는 0.32~0.59의 범위로 나타났다. 관측정 M-11에서 강수량이 0 mm에 가까울 때 지하수위 변동량은 0.0 m에서 조금 증가하거나 감소하고 강수량이 많아질수록 지하수위 변동량이 상승하는 분포를 나타내었다. 다른 관측정에서도 이와 같은 분포를 확인할 수 있었다. 강수량 30 mm 미만에서 지하수위는 최대 0.15 m 상승하거나 하강하였다. 강수량 30~60 mm에서 지하수위는 최대 0.30 m 상승하였으며, 이 구간에서 지하수위의 하강 변동은 나타나지 않았다. 또한 자료로부터 강수량이 30 mm 미만인 경우에 강수량이 적어 강수가 지하수에 빠르게 도달하지 않아 지하수위의 하강이 일어나고, 강수량이 30 mm 이상인 경우에 강수량이 많아 강수가 지하수에 빠르게 도달하여 지하수위의 상승이 일어났다. 이를 통해 지역마다 지하수위의 상승과 하강의 기준을 나타내는 강수량을 산정한다면 강수량으로부터 지하수위의 변동을 예측할 수 있다.

Table 2에 정리한 지하수위 분석 사례(Case 1, Case 2, Case 3)에 대한 상관계수를 Table 7에 정리하였다. 1시간 자료에 대한 상관계수는 Case 3 - Case 2 - Case 1 순으로 높았고 1일 자료에 대한 상관계수는 Case 2 -

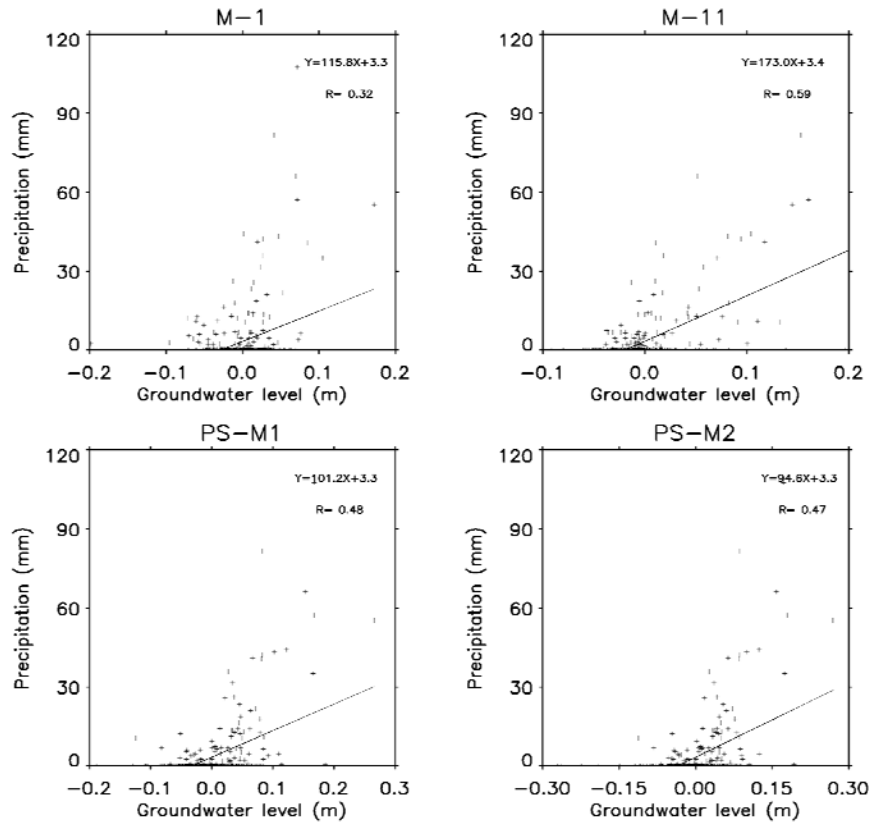


Fig. 2. The regression analysis between precipitation and groundwater level fluctuation.

Table 7. The correlation coefficient of Case 1~3

	hour			day		
	Case 1	Case 2	Case 3	Case 1	Case 2	Case 3
M-1	-0.04	0.06	-0.04 (2 h)	-0.08	0.32	-0.05 (198 d)
M-11	0.06	0.20	0.54 (682 h)	0.18	0.59	0.60 (26 d)
PS-M1	0.02	0.08	0.32 (682 h)	0.08	0.48	0.33 (48 d)
PS-M2	0.02	0.09	0.32 (682 h)	0.09	0.47	0.33 (30 d)

Case 3 - Case 1 순으로 높았다. 1시간 자료에서 Case 3는 682시간 동안의 이동평균으로 인해 강수량이 평활화되어 가장 높은 상관성을 보였다. 본 연구에서는 1일 자료에서 Case 3는 26~198일 동안의 이동평균으로 인해 강수량이 평활화되었음에도 불구하고 Case 2보다 낮은 상관성을 보였고 이는 자료의 평활화가 장기간 수행되었기 때문에 강수량과 지하수위의 관계를 규명하는 데

한계가 있다.

### 3.4. 강수량과 전기전도도 변동량 관계 분석

Fig. 3은 Case 5의 1일 회귀상관분석 결과이다. 전기전도도 변동량은  $-40\sim40 \mu\text{S}/\text{cm}$ 이고, 강수량과 전기전도도 변동량의 상관계수는  $-0.12\sim0.26$ 의 범위로 나타났다. 관측점 M-11에서 강수량이 0 mm에 가까울 때 전기전

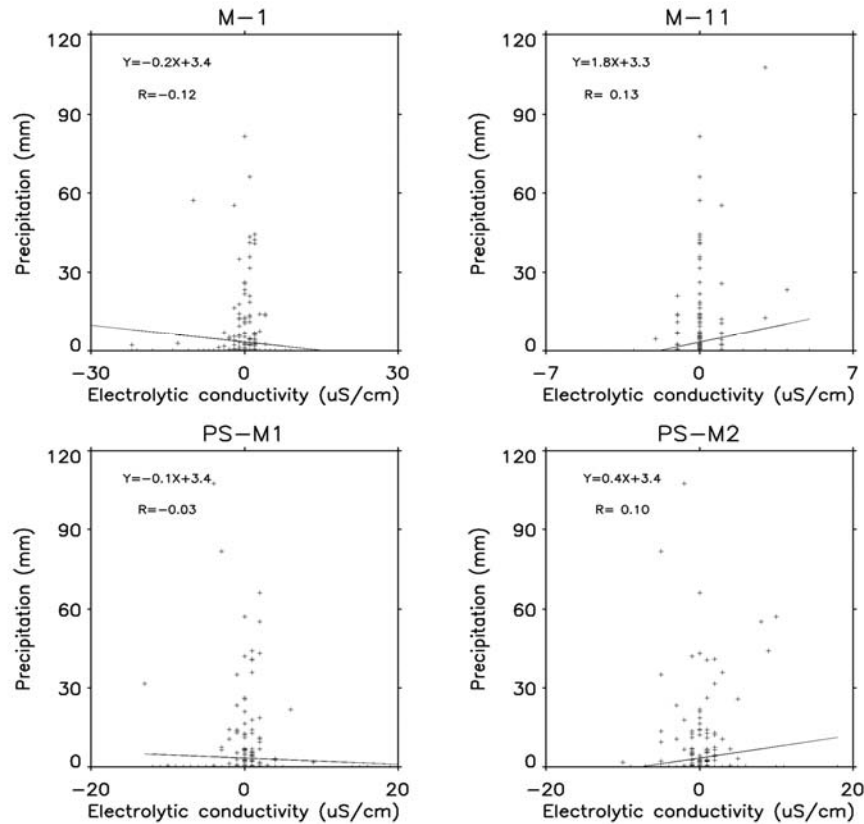


Fig. 3. The regression analysis between precipitation and electrical conductivity fluctuation.

도도 변동량은  $0.0 \mu\text{S}/\text{cm}$ 에서 조금 증가하거나 감소하였고, 강수량이 많을 때 전기전도도 변동량은 큰 변화 없이 강수량이 적을 때와 비슷하였다. 다른 관측정에서도 이와 같은 분포를 확인할 수 있었다. 많은 연구에서 강수량과 전기전도도는 반비례 관계를 보이지만(Shim et al, 2002, Park et al. 2010), 본 연구에서는 강수량에 대한 전기전도도 변동량이 양(+)의 수치를 더 많이 보였다. 선행연구(Lee et al., 2002, Lee et al., 2007)에서 전기전도도는 약한 비, 강한 비, 장마 등 강우 유형에 따라 농도 변화 특성이 다르게 나타나기 때문에 오직 강수량으로 이와 같은 수치를 설명하기 어렵다. 강수가 농업 비료나 주변 환경에 의해 토양층에 분포하는 성분과 함께 토양층을 거쳐 지하수로 침투하기 때문에 지하수의 전기전도도 변동 특성 분석은 강수량뿐만 아니라 작물(종류), 비료(종류, 유형, 양) 등 영향 인자들을 고려하여 더 심도

있게 연구되어야 한다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 강수에 의한 지하수위 변동량과 전기전도도 변동량을 산정하고 상관성 분석을 수행하였으며, 연구 결과는 아래와 같이 정리하였다.

- (1) 지하수위 변동량과 강수량의 상관성은 지하수위와 강수량의 상관성보다 더 높고, 전기전도도 변동량과 강수량의 상관성은 전기전도도와 강수량의 상관성보다 더 높다.
- (2) 지하수위와 전기전도도의 변동 특성은 1시간 강수량보다 1일 강수량과 비교하였을 때 더 큰 영향을 미치며, 지하수위와 전기전도도 변동에 대한 강수량의 영향은 지하수위에서 더 크다.
- (3) 선행 강수를 고려한 이동평균 강수량과 지하수위

의 분석은 긴 시간과 많은 자료를 요구하지만, 선행 강수를 고려하지 않은 강수량과 지하수위 변동량 분석은 천층 자유면 대수층에서 1일 정도의 단기적인 지하수위 변동 해석에 적합하다.

(4) 본 연구를 통해 강수량과 지하수위 변동량의 상관관계로부터 강수에 의한 지하수의 단기적인 변동 특성의 예측이 가능하며, 향후 강수량을 이용한 지하수 함양률 산정 연구에 도움이 될 것으로 기대한다.

### 감사의 글

본 논문은 환경부의 재원으로 국립환경과학원의 농축산 지역 지하수 중 질산성질소 수질관리 개선사업(V)의 지원을 받아 수행하였습니다(NIER-2020-04-02-052).

본 논문은 2020년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행되었습니다(NRF-2020 R111A1A01073860).

### REFERENCES

- Hong, E. M., Choi, J. Y., Nam, W. H., Lee, S. H., Yoo, S. H., 2015, Impact assessment of liquid manure application on soil and shallow groundwater, *J. Korean Soc. Agric. Eng.*, 57(1), 25-35.
- Jung, C. D., Kim, Y. B., Park, K. Y., Park, S. J., 2012, Efficient management method of groundwater in farming and fishing villages, *J. Soil Groundwater Environ.*, 17(4), 81-90.
- Jung, I. M., Kim, N. W., Lee, J. W., 2007, Estimation of groundwater recharge by considering runoff process and groundwater level variation in watershed, *J. Soil and Groundwater Environ.*, 12(5), 19-32.
- Kim, G. B., Choi, D. H., Jeong, J. H., 2010, Considerations on the specific yield estimation using the relationship between rainfall and groundwater level variations, *J. Engineering Geology*, 20(1), 61-70.
- Ko, K. S., Kim, Y. G., Koh, D. C., Lee, K. S., Lee, S. G., Kang, C. H., Seong, H. J., Park, W. B., 2005, Hydrogeochemical characterization of groundwater in Jeju Island using principal component analysis and geo-statistics, *J. Econ. Environ. Geol.*, 38(4), 435-450.
- Koo, M. H., Lee, D. H., 2002, A Numerical analysis of the water level fluctuation method for quantifying groundwater recharge, *J. Geo. Soc. Korea*, 38(3), 407-420.
- Lee, D. R., Koo, H. B., 2000, Analysis of groundwater recharge characteristics using relationship between rainfall and groundwater level, *J. Korea Water Resour. Assoc.*, 33(1), 51-59.
- Lee, S. H., Song, H. B., Cho, C. R., Lee, Y. J., Lee, S. Y., Jeon, H. S., Jung, D. S., Jang, W. S., 2002, The characterization of the rainfall effects on the chemical and microbiological mineral water quality (in Daegu area), *J. Korean Soc. Environ. Eng.*, 24(12), 2213-2225.
- Lee, J. Y., Lee, J. H., Shin, K. H., Hwang, S. J., An, K. G., 2007, Trophic state and water quality characteristics of Korean agricultural reservoirs, *Korean J. Limnol.*, 40(2), 223-233.
- Lee, J. Y., Lee, K. K., 2002, A Comparative study on characteristics of waterlevel responses to rainfall in the two aquifer systems, *J. Soil Groundwater Environ.*, 7(1), 3-14.
- Park, Y. Y., Choi, H. M., Lee, J. Y., 2010, Fluctuation of water level and electric conductivity of groundwater influenced by typhoon, *J. Geo. Soc. Korea*, 46(6), 633-645.
- Shim, B. O., Chung, S. Y., Kim, H. J., Sung, I. H., Kim, B. W., 2002, Characteristics of sea water intrusion using geostatistical analysis of geophysical surveys at the southeastern coastal area of Busan, Korea, *J. Soil Groundwater Environ.*, 7(3), 3-17.
- Yang, J. S., Ahn, T. Y., 2007, The Correlation between the groundwater level and moving average of precipitation in Nakdong river watershed, *J. Engineering Geology*, 17(4), 507-510.
- Yang, J. S., Ahn, T. Y., 2008, The Correlation between the moving average of precipitation and groundwater level in southern regions of Korea, *J. Engineering Geology*, 18(4), 393-403.
- Yang, J. S., Kim, N. K., 2011, The Correlation between the moving average of precipitation and groundwater level in Korea, *J. Korean Soc. Civil Engineers B*, 31(3B), 265-276.
- Yang, J. S., Lim, C. H., Park, J. H., Par, C. K., Jeong, G. C., 2005, The correlation between the precipitation considering critical infiltration and groundwater level in Ssangchun watershed, *J. Engineering Geology*, 15(3), 303-307.



- Yun, S. W., Jo, Y. J., Lee, J. Y., 2009, Comparison of groundwater Recharges estimated by waterlevel fluctuation and hydrograph separation in Haeon basin of Yanggu, J. Geol. Soc. Korea, 45(4), 391-404.
- Yun, S. W., Kim, Y. S., Kim, D. H., Kim, H. C., Shin, M. C., Park, J. Y., Kim, H. J., Lee, J. Y., 2013, Comparative study on waterlevel fluctuation and recharge characteristic in groundwaters of urban and rural areas in Gangwon province, J. Geol. Soc. Korea, 49(4), 503-51.

- 
- Full-time Researcher. Won-Gi Jo  
Institute of Environmental Geosciences, Pukyong National University  
brilliantwg@gmail.com
  - Ph.D. Dong-hwan Kang  
Institute of Environmental Geosciences, Pukyong National University
  - Full-time Researcher. Kyeong-Deok Park  
Institute of Environmental Geosciences, Pukyong National University  
godsla6593@nate.com
  - Senior. Moon-Su Kim  
National Institute of Environmental Research  
hyd009@korea.kr
  - Researcher. In-Kyu Shin  
National Institute of Environmental Research  
sik5932@korea.kr