

## 장기 지하수위 관측자료를 활용한 농업가뭄 재평가 방안 제언

정찬덕\* · 이병선 · 이규상 · 김준겸

한국농어촌공사 농어촌연구원 미래농어촌연구소

### Proposal of Agricultural Drought Re-evaluation Method using Long-term Groundwater Level Monitoring Data

ChanDuck Jeong\* · ByungSun Lee · GyuSang Lee · JunKyum Kim

Korea Rural Community Corporation, Rural Research Institute, Future Rural & Fishing Village Research Lab

#### ABSTRACT

Since climate factors, such as precipitation, temperature, etc., show repeated patterns every year, it can be said that future changes can be predicted by analyzing past climate data. As with groundwater, seasonal variations predominate. Therefore, when a drought occurs, the groundwater level is also lowered. Thus, a change in the groundwater level can represent a drought. Like precipitation, groundwater level changes also have a high correlation with drought, so many researchers use Standard Groundwater Level Index (SGI) to which the Standard Precipitation Index (SPI) method is applied to evaluate the severity of droughts and predict drought trends. However, due to the strong interferences caused by the recent increase in groundwater use, it is difficult to represent the droughts of regions or entire watersheds by only using groundwater level change data using the SPI or SGI methods, which analyze data from one representative observation station. Therefore, if the long-term groundwater level changes of all the provinces of a watershed are analyzed, the overall trend can be shown even if there is use interference. Thus, future groundwater level changes and droughts can be more accurately predicted. Therefore, in this study, it was confirmed that the groundwater level changes in the last 5 years compared with the monthly average groundwater level changes of the monitoring wells installed before 2015 appeared similar to the drought occurrence pattern. As a result of analyzing the correlation with the water storage yields of 3,423 agricultural reservoirs that do not immediately open their sluice gates in the cases of droughts or floods, it was confirmed that the correlation was higher than 56% in the natural state. Therefore, it was concluded that it is possible to re-evaluate agricultural droughts through long-term groundwater level change analyses.

**Key words :** Groundwater, Groundwater level, SPI, SGI, Drought, Agricultural drought

#### 1. 서 언

우리나라는 겨울에는 기온이 낮고 강수량이 적으며, 상대적으로 여름에는 기온이 높고 강수량도 많은 것이 특징이다. 최근 극한 가뭄 발생이 빈번해져다고는 하나 전반적인 계절적 기후 양상은 예년과 같다. 따라서 계절적인

변화 양상을 보여주기 때문에 강수량, 기온 등 과거의 여러 가지 기후 지시인자의 변화 양상을 분석하면 미래의 변화 양상을 예측이 가능하다고 할 수 있다. 지하수위 변화도 마찬가지다. 지하수위 변화는 지형경사, 지표면 변화, 불투수면적, 지질특성, 강수, 기온, 하천수위, 지하수 이용량 등 자연적 또는 인위적인 영향 등으로 변화한다(Hoque et al., 2007; Kim et al., 2016; Jeong et al., 2019, Yeh and Chang, 2019). 지하수위(Groundwater level)라는 용어는 여러 가지로 혼용하여 사용되고 있는데, 본 연구에서는 통상적으로 많은 연구자들이 사용하고 있는 해수면에서 지하수면까지의 높이를 지하수위라고 지칭하였다.

강수량 부족은 가뭄을 유발하고, 가뭄이 발생하면 지표수가 부족하다는 것으로 해석이 가능하다. 또한 가뭄이 발

주저자: 정찬덕, 농어촌연구원 책임연구원  
공저자: 이규상, 농어촌연구원 수석연구원; 이병선, 농어촌연구원  
주임연구원; 김준겸, 농어촌연구원 연구원  
\*교신저자: 정찬덕, 농어촌연구원 책임연구원  
Email: duckiangel@ekr.or.kr

Received : 2021.07.30 Reviewed : 2021.08.04

Accepted : 2021.08.19 Discussion until : 2021. 10. 31

생하면 부족한 용수를 공급하기 위해서 지하수를 평소보다 더 많이 이용하게 되고 결과적으로 가뭄 발생지역의 지하수위는 평년수위보다 더 낮아지게 되므로 지하수위는 가뭄을 대변한다고 할 수 있다. 그래서 많은 연구자들이 표준지하수위지수(Standard Groundwater Level Index; SGI)를 이용하여 농업가뭄의 경향을 분석해왔다. 가뭄의 정도를 평가하고 예측하는데 널리 사용하고 있는 지표인 표준강수지수(Standardized Precipitation Index; SPI)와 달리 SGI는 SPI와 달리 감마분포(Gamma distribution)를 이용한 정규화 과정을 거칠 필요가 없어 자료처리 과정이 수월하므로 지하수위 시계열 관측자료를 적절한 정규화 과정을 거치는 경우 지하수자원의 변동을 정량적으로 평가할 수 있어 많은 연구자들이 SGI를 이용해 농업가뭄 경향을 분석해왔다(Kim et al., 2006, Park, 2007, Yeh et al., 2016, Kumar et al., 2016., Song, 2018., Lee et al., 2018, Song et al., 2019).

그러나 지하수위 관측공 1개소만의 관측자료만으로 분석하는 기존 연구방법으로는 가뭄에 의한 지역 또는 유역 내 지하수위 저하 양상과 지하수위 변화에 의한 농업가뭄을 설명하기 어렵고 대표성도 부족하다(Jeong et al., 2021). 왜냐하면 지하수 관정 개발이 크게 증가한 것도 원인이지만, 최근 웰빙문화 확산에 따른 청정용수 이용 요구 증가, 기술발달로 시설재배단지에서 4계절 내내 작물을 재배하는 등 지하수 이용이 크게 증가하고 있고, 관측공 주변 지하수 이용에 의한 간섭현상이 과거보다 높아졌기 때문에 대표 관측공의 관측자료만으로 지역이나 유역 내의 지하수위 변화를 분석하는 데 많은 오류요인으로 작용하기 때문이다.

일례로 여러 댐들의 월평균 저수위 자료와 월평균 지하수위를 분석한 Lee 등(2017)은 서로 높은 상관관계가 있다고 보았으나, Song 등(2018)은 단일 관측공별 지하수위 관측자료와 인근 저수지의 저수율에 대한 상관관계가 매우 낮다는 연구결과를 제시한 바 있다. 이렇게 서로 다른 의견을 보이는 이유는 강우 시 상승하고 가뭄 시 하강하는 지하수위와 달리 저수지는 홍수 전에도 하류지역의 홍수 예방 등을 위해 수문을 사전에 개방하기도 하고, 가뭄 시에도 최적의 용수공급을 위해 즉시 개방하지 않기 때문에 관측공과 저수지와와의 단순 일대일 비교에서는 상관관계가 낮게 나타날 수밖에 없다. 그러므로 동일지역 내 여러 댐들의 월평균 저수율과 관측공들의 지하수위 값들은, 다소 차이는 있지만, 전체적으로 가뭄이 하강하는 경향을 보여주기 때문에 단일시설이 아닌 지역 내 전체 시설물들의 수위변화는 상관관계가 높게 나타나기 때문인 것으로

해석할 수 있다. 결국 가뭄이 들면 관측공 주변 지하수 이용에 의한 간섭이 있더라도 해당지역에 설치되어 있는 관측공들의 전체적인 평균 지하수위는 낮아지는 경향을 나타내기 때문에 가뭄과의 상관성 또한 높게 나타날 것으로 판단된다.

결국 보다 많은 관측공들의 장기 지하수위 관측자료를 분석한다면 이용간섭의 영향도 극복하고 지하수위 변화에 대한 지역의 대표성도 확보할 뿐만 아니라 미래의 지하수위 변화와 농업가뭄도 예측하는 데도 활용할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 저수지 저수율도 전체적으로는 감소하는 경향을 나타낼 것이기 때문에 이번 연구에서는 장기적인 지하수위 관측자료를 활용하여 가뭄과의 유의미한 상관성을 도출하고 농업가뭄에 대한 재평가가 가능한지 분석해보고자 한다.

## 2. 연구자료

본 연구에서 활용한 분석자료는 한국농어촌공사에서 관리중인 농촌지하수 관측공 582개소 중 2015년 이전에 설치한 205개 중 관측자료가 일부 누락되어 분석에 영향을 미칠 수 있는 43개 관측지점을 제외한 162개소의 장기 지하수위 관측자료와 3,423개 농업용 저수지의 최근 5년간 저수율에 대한 자료를 대상으로 상호 상관관계를 분석해 보았다. 이번 연구에서 분석한 지하수위 관측자료는 농어촌지하수관리시스템([www.groundwater.or.kr](http://www.groundwater.or.kr))에서 제공하는 최근 5년간의 일별 관측자료를 가지고 분석하였으며, 농업용 저수지의 저수율은 한국농어촌공사 RIMS(Rural Infrastructure Management System)에서 제공하는 일별 저수율 자료를 활용하였다.

지하수위는 2015년까지의 월별 평균 지하수위를 평년 수위로 하여 평년수위 대비 최근 5년간 지역별/월별 지하수위 변화를 분석하고, 언론기사와 가뭄피해 현황자료를 토대로 작성한 가뭄 발생시기와의 상관성을 확인함으로써 지하수위 변화를 통한 가뭄단계를 구분하고 미래 지하수위 변화와 농업가뭄 단계를 구분해보았다. 또한 저수지는 최적의 영농용수 공급, 가뭄극복 효과 창출 또는 홍수 예방을 위해 시의적절하게 수문을 개방하기 때문에 지하수위와 마찬가지로 가뭄이 들면 전체적인 저수율은 낮아지는 점을 고려하여 RIMS에서 취득한 전국 3,423개 농업용 저수지의 최근 5년간 저수율과의 상관관계도 지역별로 비교 분석해 보았다(Table 1). 이밖에 지하수위를 이용한 농업가뭄 분석 관련 기존의 논문 및 문헌 등을 참고하였다.

**Table 1.** Status of groundwater monitoring wells and agricultural reservoirs used for analysis

	Monitoring well	Agricultural Reservoir
Total	162	3,423
Gyeonggi (GG)	21	172
Gangwon (GW)	23	186
Chungbuk (CB)	17	228
Chungnam (CN)	21	439
Jeonbuk (JB)	9	1,000
Jeonnam (JN)	24	669
Gyeongbuk (GB)	28	564
Gyeongnam (GN)	19	91

\*Source: Korea Rural Community Corporation (2021)

### 3. 연구방법

#### 3.1. 기존 연구방법 분석

농업가뭄 분석을 위해 많은 연구자들이 표준강수지수(Standardized Precipitation Index; SPI)와 표준지하수위지수(Standard Groundwater Level Index; SGI)를 이용해왔다. 가뭄의 정도를 평가하고 예측하는데 널리 사용하고 있는 지표인 SPI는 McKee 등(1993)이 제안한 가뭄평가 지수로서 강수의 부족이 지하수위, 저수지 저수량, 토양 수분함량, 적설, 하천수량 부족을 초래함에 따라 강수 부족을 정량화함으로써 가뭄을 평가한다. 즉 1개월, 3개월, 6개월, 9개월, 12개월, 48개월 등 다양한 기간으로 누적량을 산정하여 정량화함으로써 가뭄의 경향을 분석한다. 특

정 지점에 대한 SPI 산정은 대상 기간에 대한 장기간의 강수량 시계열 자료를 이용하는데, 이러한 장기기록은 확률분포에 맞추어지며 그 분포는 감마분포(gamma distribution)를 이용하여 정규화 분포로 변환함으로써 나타낸다. 감마분포는 빈도와 확률밀도함수로 정의되는 시계열 기상 강우와 잘 맞는 분포패턴으로 끝이 0인 오른쪽으로 치우쳐진 분포를 나타낸다(Thom, 1966).

장기 시계열 강수량 자료를 정규화할 때 사용하는 감마 분포는 다음과 같이 정의된다.

$$g(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta} \quad (x > 0) \quad (1)$$

여기서,

$\alpha$ 는 형상모수(shape parameter)

$\beta$ 는 척도모수(scale parameter)

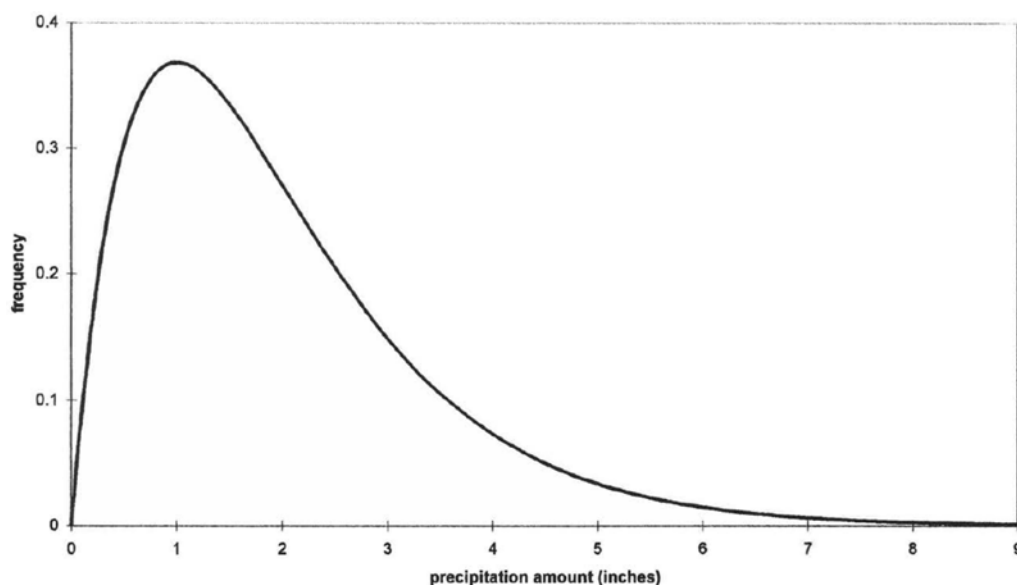
$x$ 는 강수량(precipitation amount)

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^\infty y^{\alpha-1} e^{-y} dy \quad \Gamma(\alpha) \text{는 감마함수(gamma function)}$$

다양한 기간으로 산정한 누적 강수량을 확률밀도함수로 정의하기 위해 식 (2)를 이용해 누적 감마함수를 구하여,  $\alpha=2$ ,  $\beta=1$ 인 그래프를 도시하면 Fig. 1과 같다.

$$G(x) = \int_0^x g(x) dx = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \int_0^x x^{\alpha-1} e^{-x/\beta} dx \quad (2)$$

그리고 누적확률 감마분포를 표준정규분포(standard normal distribution)로 변환하기 위하여 평균이 0이고 분

**Fig. 1.** Gamma frequency distribution with the parameter alpha=2 and beta=1 (McKee et al., 1993).

산이 1인 값으로 동일하게 변환하면 이 값이 SPI 값이다 (Fig. 2). 어느 특정지점과 기간에 대한 평균 SPI는 0이 되며, 양(+)의 값을 갖는 SPI는 중앙치 강수량보다 강수량이 많음을 나타내며 음(-)의 값은 적음을 나타낸다. 따라서 특정 기간에 대한 평균 SPI는 0이 되며, 가뭄은 연속적인 음수로 -1.0 이하에 도달하면 발생하고 양수가 되면 종료된다. 이를 관측지점의 장기 SPI에 대한 평균과 표준편차가 각각 0과 1이 되도록 하는 정규분포로 변환하여 사용하였는데, SPI가 (+)양의 방향으로 커질수록 강수가 많은 정도를 가리키며, (-)음의 방향으로 갈수록 강수가 적은 정도를 가리키게 된다. 우리나라에서는 SPI가 강

수량만으로 가뭄 정도를 평가하는 방법이 보편화되어 기상학적 가뭄지수로 많이 활용하고 있다(Fig. 3). McKee 등(1993)이 가뭄과 관련있는 SPI (-)값에 해당하는 구간을 가뭄단계로 구분하여 분류한 가뭄등급은 Table 2와 같다.

Bloomfield and Marchant(2013)가 제안한 SGI는 시계열 지하수위 관측자료를 SPI와 동일한 자료처리과정을 거쳐 정규분포로 전환하여 백분위 순위값으로 환산한 값을 농업가뭄 분석에 활용한다. 계산방법은 평균과 표준편차가 각각 0과 1인 표준정규분포를 이용한다.

지하수위는 무강우가 발생하는 강수량 자료와 달리 특정한 기간 중의 자료를 누적할 필요가 없는 연속적인 변

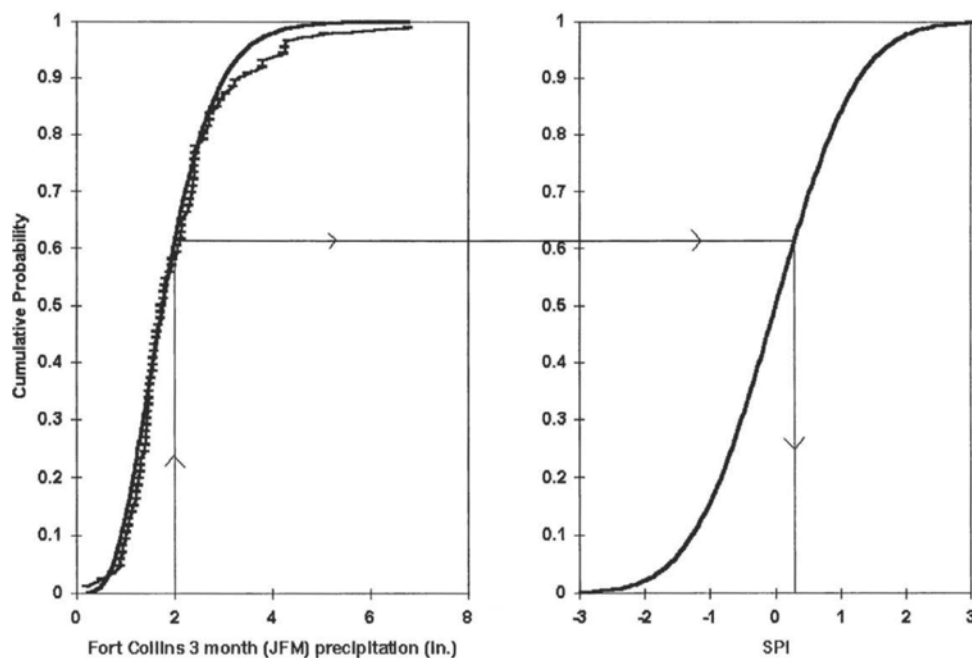


Fig. 2. Example of equiproability transformation from fitted gamma distribution to standard normal distribution (McKee et al., 1993).

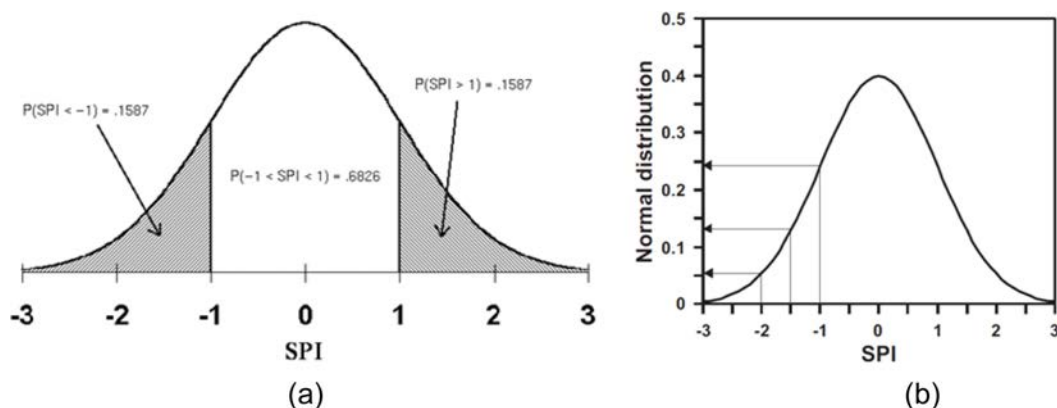


Fig. 3. Concept of SPI and Percentile: (a) Standard normal distribution with the SPI having a mean of zero and a variance of one; (b) Percentile of SPI in normal distribution.

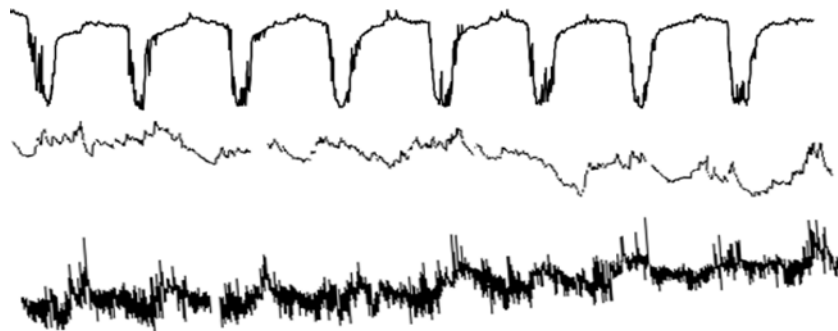
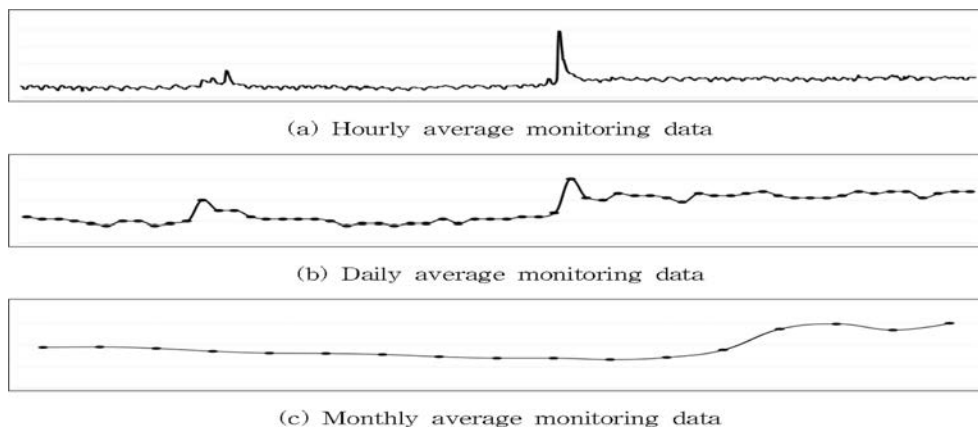
**Table 2.** Classification and Percentile value of SPI (McKee et al., 1993)

SPI value	Classification	Percentile Value
2.00 <	Extremely wet	0.9460
1.50 ~ 1.99	Very wet	
1.00 ~ 1.49	Moderately wet	0.7580
-0.99 ~ 0.99	Near Normal	
-1.00 ~ -1.49	Moderate drought	0.242
-1.50 ~ -1.99	Severe drought	0.1295
-2.00 >	Extreme drought	0.054

\* SPI values less than zero are associated with drought

동자료이다. 따라서, 관측공에서 측정되는 지하수위 시계열 자료를 적절한 정규화 과정을 거치면 가뭄 기간 중의 지하수자원의 변동을 정량적으로 평가할 수 있다. SPI와 달리 감마분포를 이용한 정규화 과정을 거칠 필요가 없어 자료처리 과정이 수월하므로 지하수위에 대한 시계열 관측자료를 적절한 정규화 과정을 거치는 경우 지하수자원의 변동을 정량적으로 평가할 수 있다(Song et al., 2019). SGI 값이 0보다 작을수록 평년수위 같은 달(月)의 지하수위보다 낮아졌음을 의미한다.

그러나 SPI 적용방식은 오로지 강수량 자료만 사용되기 때문에 증발산량의 영향을 고려하지 못하고, 통계분석상 30년 이상의 장기 관측자료가 요구되는 단점이 있다(이진영, 2012). 또한 SGI를 이용한 가뭄분석은 지하수위 관측공 1개소만의 관측자료로 분석하기 때문에 가뭄으로 지하수위가 낮아지는 지역의 농업가뭄을 설명하기에는 대표성이 부족하다. 예를 들어, 1개 관측공의 과거 10년 동안의 지하수위 변화가  $\pm 0.1$  m 내외인 관측자료가 있다고 가정하면, 기존 SPI나 SGI 방식과 같이 가뭄등급으로 구분하게 되면, 실제로는 정상등급(Near Normal)임에도 불구하고 최소 0.03 m 변화에도 심각단계(Extreme drought)로 구분될 수 있기 때문이다. 또한 강우나 지하수위 관측자료는 실시간으로 자동관측되기 때문에 지하수위 상승과 하강 폭이 커 전체적인 경향을 이해하거나 분석하기가 어려운 문제점을 안고 있다. 따라서 지역 또는 유역 전체의 농업가뭄을 대변할 수 있는 보편적이고 합리적인 방법을 적용하기 위해 SPI, SGI의 월별 누적산정방식을 도입하되, Fig. 4와 같이 매시간 측정되는 다양한 시계열 관측자료를 Fig. 5와 같이 일단위, 월단위로 평균값을 구하고, 이를 다시 지역별, 유역별 전체 관측자료의 평균값을 산정


**Fig. 4.** Groundwater level change graph for one monitoring well. It shows a very variety of groundwater level changes.

**Fig. 5.** Example of calculating the daily and monthly average data from hourly data. It is easy to understand the groundwater level trend.

함으로써 지하수위의 상승과 하강 폭을 평탄화되도록 하였다. 연 단위까지 평균값을 구하면 계절적인 변화와 전체적인 경향 파악이 어려워져 월 단위까지만 평균값을 구하였다. 이렇게 산정한 평균 지하수위 값들은 타지역의 지하수위와 월별 상호비교도 가능하고 지역이나 유역 전체의 지하수위 변화 경향이나 추세를 파악하는데 매우 용이하다.

### 3.2. 월평균 지하수위 변화 분석

최근 웰빙 문화 확산과 청정용수 이용에 대한 국민들의 관심이 증가하면서 지하수 이용도 지속적으로 증가하고 있다. 이에 따라 지하수 이용에 의한 관측자료의 이용 간섭현상이 두드러져 과거처럼 배경수위를 측정할 관측자료만을 분석하여 지역의 지하수위 변화를 대표할 수 없는 상황이 되었다. 또한 수문학적 가뭄은 토양수분, 지하 매질의 특성 등으로 인해 기상학적 가뭄보다는 다소 시간이 걸리지만(Wilhite and Glantz, 1985), 관측공 주변 지하수 이용 여부에 따라 지역내 지하수위가 변동되기 때문에 지역을 대표할 수 있는 다양한 지점에서의 지하수위를 측정할 필요가 있다. 그러나 지금까지의 지하수위 관측자료는 지하수관정 개발-이용 증가로 인한 이용간섭 때문에 지하수위가 하루에도 여러 차례 변화하여 지하수위 변동 차가 큼에도 불구하고 단일공에 대한 지하수위 변화를 보여줌으로써 해당지역 전체의 지하수위를 알기 쉽게 제시하는 데는 한계가 있었다.

그리고 관측공의 지하수위 변동의 영향범위 내에 분포하는 많은 지하수 관정들 중 어떤 지역은 지하수를 이용하고 있어 지하수위가 하강하고 있고, 어떤 관정은 사용을 중지하여 지하수위 변화가 없더라도 해당지역 전체의 장기적인 지하수위 변화는 영농시기 또는 기후 환경에 따라 상승 또는 하강하는 양상을 나타낼 것이므로 전체적인 추세를 파악하기 위해서는 지역을 대표할 수 있도록 보다 많은 관측자료에 대한 분석이 필요할 것으로 판단했다. 결국 지역에 설치된 관측공별 지하수위 변화에 대한 대표값을 쉽게 제시하기 위해서는 유역 전체 관측공들의 과거 평균 지하수위에 비해 현재 평균 지하수위가 어느 정도 차이가 나는지 분석해보면 쉽게 지역의 지하수위 수준을 알 수 있고, Kim 등(2006)이 제시한 바와 같이 지하수위는 기상 조건에 민감하게 반응하지 않아 가뭄 평가 인자로서 활용될 수 있을 것으로 판단했다.

따라서, 본 연구에서는 장기 지하수위 관측자료를 축적한 162개 관측공의 일별 지하수위 값에서 월 단위 평균값을 산정하고, 다시 해당 지역별로 평균값을 산정하였다.

이때 산정된 월평균 지하수위 값을 평년수위 값으로 하여 평년수위 대비 최근 5년간 월별 지하수위 증감을 분석하였다. 이렇게 산정된 평년수위 값을 0으로 가정하면, 0보다 지하수위가 낮아지면 (-) 값을, 상승하면 (+) 값으로 표기하여 현재 지하수위가 평년수위에 비해 상승했는지 하강했는지 쉽게 구분이 가능하도록 작성하였다. 그리고 지하수위 증감자료는 표준정규분포로 전환하여 백분위값을 산정하고 SPI가 (-)인 백분위 값에 따라 농업가뭄 등급을 4단계로 구분하였다. 또한 지역별 지하수위 증감 범위를 구하고, 이렇게 구한 평년수위 대비 지하수위 증감이 최근 5년간 발생한 가뭄을 얼마나 정확하게 대변하는지 지역별 가뭄발생시기와 비교해보았다.

### 3.3. 월평균 저수지 저수율 분석

저수지 저수율은 한국농어촌공사에서 RIMS에서 관리중인 전국 3,423개 농업용 저수지 자료를 제공받아 지하수위와 마찬가지로 월평균 저수율과 지역별 평균 저수율을 산정하였다. 저수지는 지하수위와 달리 홍수가 가뭄이 발생해도 즉시 수문을 개방하지 않기 때문에 강우량에 의해 좌우되는 가뭄 발생시기와 비교해 볼 때 지하수위와의 상관관계보다 더 낮게 나타난다. 왜냐하면 홍수가 나면 저수지 하류 주민 또는 농경지 등의 침수를 방지하기 위하여 만수위까지 최대한 물을 가득고 있다가 방류하고 있고, 가뭄 시에도 가장 효율적인 가뭄 해소 효과를 거두기 위해 최적의 방류 시기에 수문을 개방하기 때문에 저수율은 가뭄이나 홍수에 즉각적인 상관관계는 나타나지 않기 때문이다. 특히 만수상태에서는 강우가 내리면 바로 방류하기 때문에 저수율이 오히려 낮아지는 경향을 보일 수가 있어 만수위 기간을 제외한 평수기의 강우 기여율은 30~40% 정도이고, 가뭄시에는 72~86%까지 높게 나타난다는 연구결과도 보고된 바 있다(Shin et al., 2019).

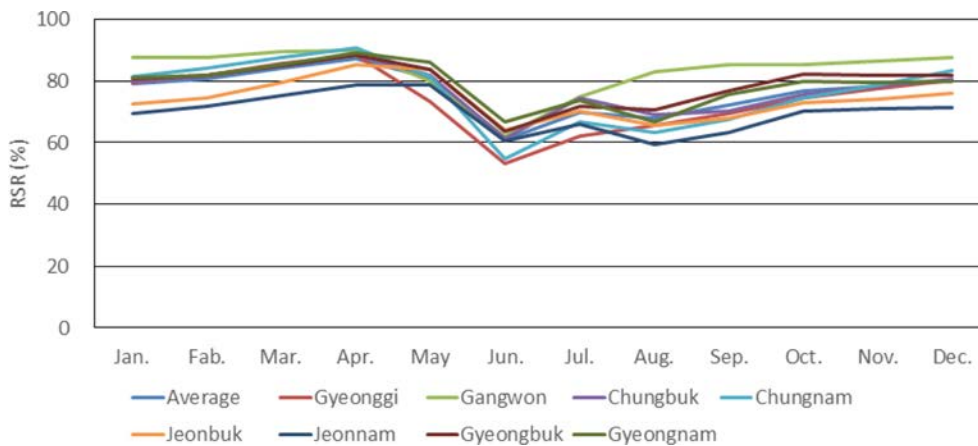
이번에 분석한 2016년부터 2020년까지 5년간의 농업용 저수지의 월평균 저수율을 보면 영농철인 4월 말부터 조금씩 낮아지다 6월에 가장 낮은 저수율을 보이고, 장마철인 7~8월에는 홍수 대비 방류로 인해 다소 낮아지나, 영농철 이후 다시 저수율이 회복하는 걸 알 수 있다(Table 3, Fig. 6).

그럼에도 불구하고 일반적으로 저수지의 저수율은 가뭄 시에는 낮아지고, 홍수시에는 높아지기 때문에 관련 부처 및 기관에서 개별 저수지의 저수율보다는 지역내 전체 저수지의 월별 저수율로 농업가뭄 단계를 구분하여 많이 활용하고 있다. 농업가뭄 단계를 보면, 관심단계는 영농기(4~10월) 평년 저수율이 70% 이하인 경우, 주의단계는

**Table 3.** Reservoir storage rate by province for recent 5 years

(unit : %)

	Ave.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
Average	76.4	79.0	80.7	84.2	87.4	81.2	60.8	70.0	67.9	72.1	77.0	78.5	80.2
Gyeonggi	79.0	79.7	82.0	85.9	88.3	73.4	53.1	62.1	65.6	69.3	74.5	77.6	80.4
Gangwon	80.7	87.6	87.8	89.8	90.0	79.9	62.3	74.7	82.9	85.4	85.5	86.6	87.5
Chungbuk	84.2	79.9	81.6	85.2	88.5	81.8	61.3	74.5	69.0	70.1	75.8	78.2	80.8
Chungnam	87.4	81.5	84.1	87.6	90.6	81.5	54.8	66.7	63.2	67.7	74.6	78.9	83.3
Jeonbuk	81.2	72.4	74.4	79.4	85.3	83.9	63.9	70.2	65.7	67.8	73.1	74.3	76.0
Jeonnam	60.8	69.4	71.6	75.3	78.9	78.6	60.4	66.2	59.4	63.5	70.2	71.1	71.4
Gyeongbuk	70.0	80.8	81.9	85.0	88.5	84.0	63.8	71.8	70.6	77.0	82.1	81.7	81.9
Gyeongnam	67.9	80.9	82.0	85.5	89.3	86.2	66.8	73.8	66.6	75.6	80.1	79.7	80.0



**Fig. 6.** Monthly average reservoir storage rate graph of agricultural reservoirs. During the farming season, it is the lowest from late April to June.

영농기 평년 저수율이 60% 이하, 경계단계는 영농기 평년 저수율이 50% 이하, 심각단계는 영농기 평년 저수율이 40% 이하의 경우로 구분하고 있고, 저수율 70%를 초과하는 경우는 정상단계로 구분하고 있다.

따라서 본 연구에서도 최근 5년간 저수지 저수율과 평년수위 대비 지하수위 증감과 비교해봄으로써 평년수위 대비 지하수위 증감분석 방법이 어느 정도 농업기름을 평가하는데 적용할 수 있는지 확인해보았다.

## 4. 연구결과

### 4.1. 평년수위 대비 지하수위 증감

지하수위는 대개 1시간 주기로 측정하고 있기 때문에 일별, 월별 관측자료 그래프를 보면 외부의 영향에 크게 변동하는 것처럼 보이기 때문에 시간별 관측자료에서 일별, 월별 평균값을 산정하고 다시 지역내 장기 관측공 전체의 월 평균값을 구함으로써 외부간섭에 의한 지하수위

**Table 4.** Average annual groundwater level

(unit : m)

	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
Gyeonggi	6.08	6.15	6.13	6.04	5.82	5.76	5.54	5.38	5.42	5.68	5.97	5.94
Gangwon	5.03	5.12	5.07	4.99	4.74	4.70	4.50	4.40	4.47	4.73	4.99	5.11
Chungbuk	5.81	5.68	5.66	5.61	5.68	5.72	5.43	5.34	5.34	5.45	5.46	5.46
Chungnam	4.06	4.02	3.96	3.84	3.82	3.86	3.54	3.44	3.43	3.67	4.28	4.31
Jeonbuk	6.04	6.03	5.95	5.94	5.90	6.00	5.83	5.74	5.82	5.87	5.91	5.92
Jeonnam	5.63	5.76	5.58	5.33	5.44	4.82	5.29	5.37	5.28	5.28	4.91	4.72
Gyeongbuk	4.77	4.87	4.78	4.69	4.94	5.13	4.87	4.95	4.60	4.85	4.98	4.96
Gyeongnam	6.84	6.92	6.27	5.00	4.78	4.93	4.90	4.65	4.58	4.66	4.79	5.41

**Table 5.** Groundwater level change compared with the average annual groundwater level in the last 5 years

(unit : m)

	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Max	Min
Average	0.05	0.01	0.06	0.00	0.01	-0.06	0.02	-0.06	0.08	0.17	0.03	-0.12	0.17	-0.12
Gyeonggi	-0.09	-0.12	-0.05	-0.06	-0.04	-0.08	-0.08	-0.02	-0.09	-0.04	-0.11	-0.20	-0.02	-0.2
Gangwon	-0.01	-0.01	-0.03	0.06	0.06	0.08	0.13	0.12	0.13	0.10	0.04	0.07	0.13	-0.03
Chungbuk	0.05	0.00	0.07	-0.05	-0.07	-0.17	0.01	0.00	0.12	0.11	0.03	-0.05	0.12	-0.17
Chungnam	0.07	-0.02	-0.07	-0.16	-0.22	-0.22	-0.30	-0.36	-0.25	-0.03	0.01	-0.09	0.07	-0.36
Jeonbuk	0.06	0.08	0.12	0.20	0.18	0.15	0.25	0.14	0.26	0.29	0.18	0.04	0.29	0.04
Jeonnam	0.41	0.47	0.48	0.31	0.27	0.31	0.26	0.18	0.39	0.48	0.23	0.01	0.48	0.01
Gyeongbuk	0.00	0.00	-0.03	-0.10	0.13	-0.25	-0.18	-0.35	0.05	0.16	-0.10	-0.23	0.16	-0.35
Gyeongnam	-0.11	-0.34	0.00	-0.18	-0.22	-0.27	0.07	-0.22	0.05	0.27	-0.06	-0.49	0.27	-0.49

**Table 6.** Years of drought in the last 10 years. Droughts occurred even when there is a lot of precipitation

Year	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Precip. (mm)	1,622.6	1,479.1	1,162.9	1,173.8	949.0	1,272.5	967.8	1,386.9	1,184.3	1,588
Climate	-	<				Drought			>	-
Drought-affected Area		GG	-	GG	GG	GG	GG	GG	GG	
		GW	GW	GW	GW	-	-	GW	GW	
		CB	-	CB	CB	CB	CB	-	-	
		CN	-	CN	CN	CN	CN	CN	CN	
	-	JB	JB	JB	JB	-	-	-	-	-
		JN	JN	JN	-	-	JN	JN	-	
		GB	GB	GB	GB	-	-	GB	-	
		-	GN	GN	GN	-	-	-	-	

\* GG; Gyeonggi, GW; Gangwon, CB; Gangwon, CN; Chungnam, JB; Jeonbuk, JN; Jeonnam, GB; Gyeongbuk, GN; Gyeongnam

변화를 최소화하고 지역의 지하수위 변화를 한눈에 알아볼 수 있도록 하였다. 이 방법은 Edwards and McKee (1993)가 분석한 단기, 중기, 장기가뭄 분석을 위해 3월, 6월, 12개월, 24개월, 48개월 등으로 일 강우자료를 누적 합산한 SPI 산정방식과 유사하다고 할 수 있다.

Table 4는 지역별로 산정한 평균 지하수위 값으로서, 이 값을 평년수위로 기준을 삼았고, 평년수위 대비 최근 5년간 월평균 지하수위 값의 증감을 분석하였다(Table 5). 평년수위 대비 지하수위 증감은 월평균 지하수위 값에서 평년수위를 뺀 값으로, 평년수위를 0으로 하여 평년수위와 비교하여 지하수위가 증가했으면 파란색, 감소했으면 빨간색으로 표기하여 한눈에 지하수위 증감을 파악할 수 있게 그래프로 작성하였다(Fig. 7). 경기, 충남, 전남, 경북, 경남의 경우 2016년, 2017년, 2018년에 극심한 가뭄에 시달렸는데, 지하수위도 평년수위와 비교할 때 지속적으로 낮아진 것을 알 수 있다. 월 단위로 살펴보면 월평균 지하수위는 평년수위 대비 10월에 0.17 m로 가장 크게 상승하였고, 12월에 -0.12 m로 가장 많이 하강한 것으로 나타났다. 또한 지역별로 보면 전남이 3월에 0.48 m로 가장 높게 상승하였고, 경남이 -0.49 m로 가장 낮은 지하수

위 증감을 나타냈다. 이는 타지역에 비해 전남, 경남의 강우량이 많고 지하수 이용률이 높아 지하수위 증감 폭이 가장 크게 나타났다고 볼 수 있다. 특이한 점은 경기도의 경우 유일하게 지하수위 증감 최대값이 0보다 작은 -0.02 m로 나타나, 타지역에 비해 가뭄이 가장 빈번하게 발생했을 것으로 해석될 수 있다. 실제로 경기도는 최근 5년간 가뭄으로 가장 많은 피해를 입은 지역이기도 하다.

이렇게 평년수위 대비 지하수위가 감소된 달(月)이 지역별 가뭄 발생지역과 발생기간과도 유사하게 나타나는 것으로 보아 평년수위 대비 지하수위 증감을 분석하면 지역의 지하수위 상태와 수준을 제시할 수 있는 대표성도 확보하고 현재 지역에서 발생하고 있는 가뭄의 심각성을 보여줄 수 있을 것으로 평가되므로 미래 물 수요관리와 농업가뭄 대비에 활용할 수 있을 것으로 판단된다(Table 6).

#### 4.2. 지하수위 증감과 저수율 상관관계 분석

단일 관측공의 지하수위 시계열자료와 단일 저수지의 저수율과의 상관성을 분석한 결과 지하수위와 저수지 저수율과의 상관관계에서는 낮은 상관관계를 보였으나(Song et al., 2017), 장기 지하수위 자료를 축적한 지역 내 모



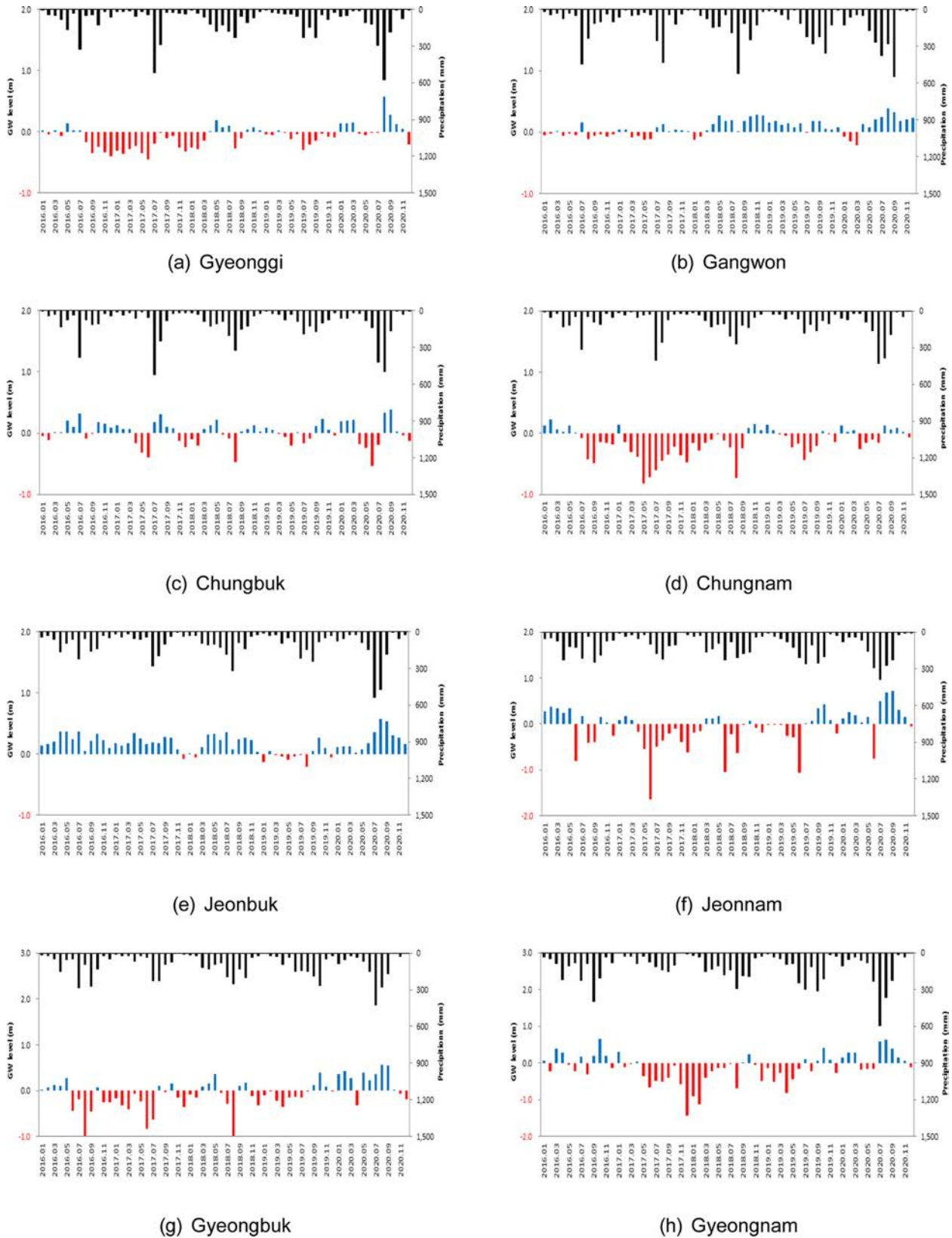
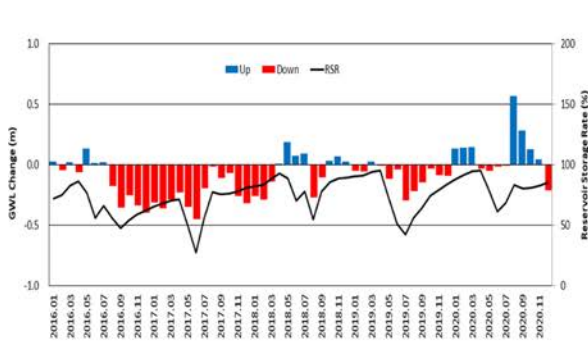
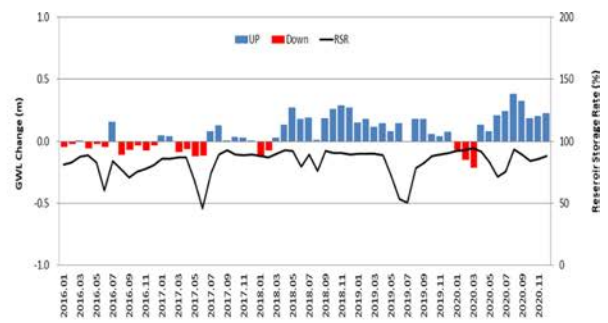


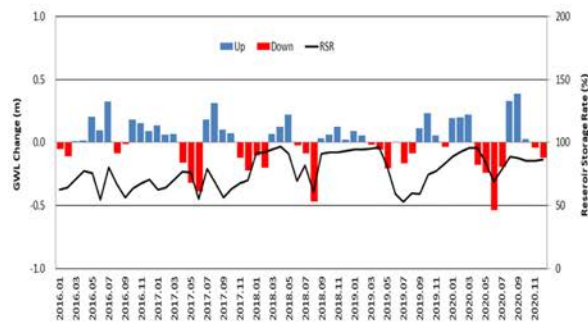
Fig. 7. Comparison graph of the groundwater level change and precipitation. Areas (a), (d), (f), (g) and (h) are similar to the time of the drought.



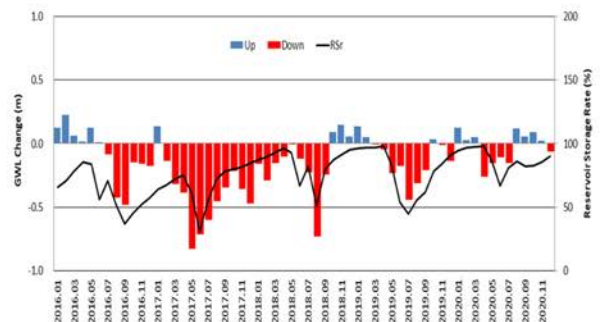
(a) Gyeonggi



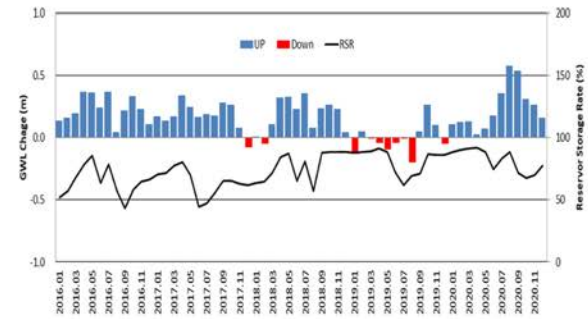
(b) Gangwon



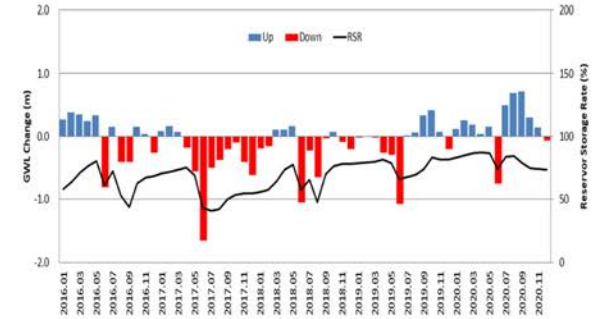
(c) Chungbuk



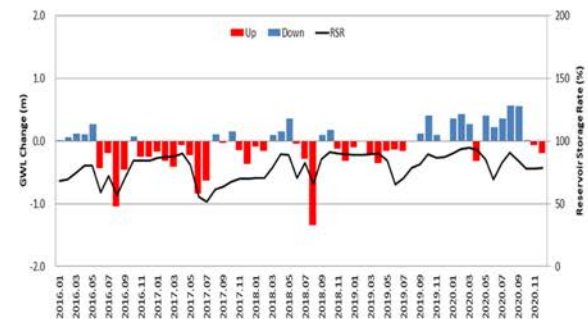
(d) Chungnam



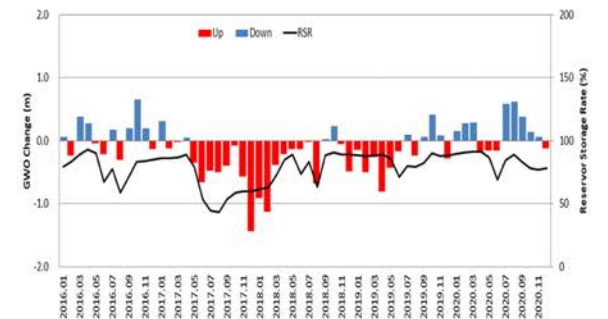
(e) Jeonbuk



(f) Jeonnam



(g) Gyeongbuk



(h) Gyeongnam

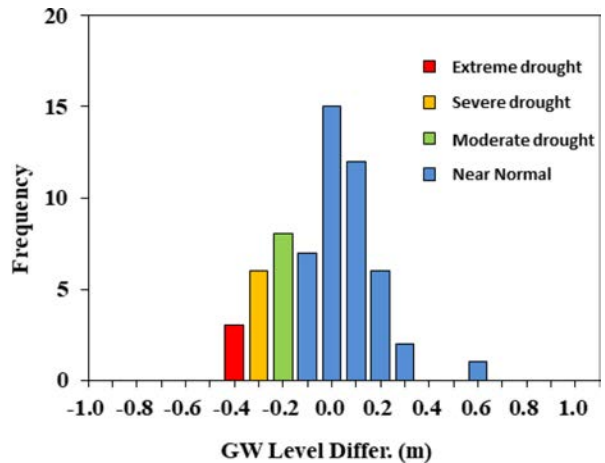
Fig. 8. Comparison of the groundwater level change and reservoir storage rate graph.

**Table 7.** Correlation of groundwater level change and reservoir storage rate

Province	Average groundwater level change (m)	Average agricultural reservoir storage rate	Correlation Coefficient
Gyeonggi	0.02	74.3%	55.9%
Gangwon	-0.02	83.3%	18.8%
Chungbuk	0.04	77.2%	20.9%
Chungnam	-0.01	76.2%	54.9%
Jeonbuk	0.00	73.9%	0.8%
Jeonnam	-0.06	69.7%	58.9%
Gyeongbuk	0.02	79.1%	48.5%
Gyeongnam	-0.06	78.9%	55.0%

는 관측공들의 평년수위 대비 지하수위 증감자료와 저수지 저수율의 상관관계를 분석해보면 0.8%에서 높게는 58.9%까지 나타났다. 가뭄이 심했던 경기, 충남, 전남, 경북, 경남의 경우 48.5~58.9%의 비교적 높은 상관성을 나타냈고, 상대적으로 강우가 많이 내렸던 강원, 충북, 전북, 경남의 경우 0.8~38.7%로 낮은 상관성을 보였다(Table 7).

이는 가뭄이 발생하는 경우 지하수 이용이 증가하여 지하수위는 낮아지나, 저수지 저수율은 가장 효과가 높은 시기에 방류하여 용수를 공급하기 위해서 쉽게 수문을 개방하지 않기 때문에 위와 같은 결과가 나타난 것으로 판단된다. 또한 강우가 내리는 경우에도 지하수위는 상승하나, 저수지는 홍수 예방을 위해 강우 전에 수문을 개방하여 홍수를 예방하거나 또는 만수위까지는 수문을 개방하지 않는 경우가 많아 일반적인 상관관계를 보이지는 않는다. 그럼에도 불구하고 평년수위 대비 현재 지하수위의 증감값과 저수율을 그래프로 도시해 비교해보면 매우 유사한 상관관계를 나타냄을 확인할 수 있으며, 가뭄이 발생한 지



**Fig. 9.** Calculate the percentile of the groundwater level difference.

역일수록 더 유사한 양상을 나타냄을 알 수 있다(Fig. 8).

#### 4.3. 지하수위 증감 빈도분석 및 가뭄단계 구분

SPI 또는 SGI 분석시 일별 강우량이나 지하수위 자료를 3개월, 6개월, 12개월, 24개월, 48개월 등 다양한 기간으로 묶어 정량화하는 방법과 유사한 방식으로 지하수위 감소가 농업가뭄의 경향을 나타낼 수 있는지 분석해보았다. 이를 위해 평년대비 최근 5년간 지하수위 증감 분석결과값에 대한 빈도분석을 실시하고 SPI 방식에서 가뭄 등급을 구분하는 백분위수(Percentile value)를 구해 적용해봄으로써 농업가뭄 단계를 구분해보았다(Fig. 9).

2016년, 2017년에 가뭄이 심했던 경기도의 경우 -0.25 m 보다 큰 값은 정상(Near Normal), -0.32 ~ -0.25 m 구간은 보통가뭄(Moderate drought), -0.36 ~ -0.32 m 구간은

**Table 8.** Groundwater level change relative to the average annual groundwater level by province

(unit : m)

Month	AVE.	GG	GW	CB	CN	JB	JN	GB	GN
2016.01	0.00	0.03	-0.05	-0.05	0.12	0.14	0.60	-0.70	0.05
2016.02	0.03	-0.05	-0.02	-0.11	0.23	0.16	0.72	-0.71	-0.23
2016.03	0.06	0.02	0.01	0.01	0.06	0.20	0.70	-0.68	0.38
2016.04	0.05	-0.06	-0.05	0.02	0.02	0.37	0.61	-0.67	0.27
2016.05	0.19	0.14	-0.02	0.20	0.12	0.36	0.72	-0.10	-0.04
2016.06	0.04	0.02	-0.05	0.10	0.01	0.24	0.64	-0.65	-0.22
2016.07	-0.08	0.02	0.16	0.33	-0.08	0.37	0.51	-0.35	0.17
2016.08	-0.48	-0.17	-0.11	-0.09	-0.43	0.05	-0.01	-1.14	-0.31
2016.09	-0.37	-0.35	-0.07	-0.01	-0.48	0.22	-0.05	-0.53	0.19
2016.10	-0.08	-0.25	-0.03	0.18	-0.15	0.34	0.51	0.28	0.65
2016.11	-0.20	-0.36	-0.08	0.15	-0.16	0.23	0.33	0.29	0.19
2016.12	-0.09	-0.44	-0.03	0.09	-0.18	0.10	0.12	0.40	-0.14
2017.01	0.07	-0.31	0.05	0.13	0.13	0.17	0.56	-0.42	0.31

Table 8. continued

Month	AVE.	GG	GW	CB	CN	JB	JN	GB	GN
2017.02	-0.01	-0.36	0.04	0.06	-0.14	0.14	0.62	-0.51	-0.12
2017.03	-0.05	-0.29	-0.08	0.07	-0.32	0.17	0.54	-0.65	-0.02
2017.04	-0.02	-0.23	-0.06	-0.16	-0.39	0.34	0.24	-0.32	0.05
2017.05	-0.18	-0.35	-0.12	-0.32	-0.82	0.25	-0.16	-0.18	-0.36
2017.06	-0.29	-0.45	-0.12	-0.39	-0.72	0.17	-0.23	-0.62	-0.66
2017.07	-0.13	-0.19	0.08	0.18	-0.60	0.19	-0.20	-0.41	-0.48
2017.08	0.06	-0.02	0.13	0.31	-0.45	0.18	-0.04	0.28	-0.50
2017.09	0.04	-0.11	0.01	0.10	-0.35	0.28	0.11	0.23	-0.40
2017.10	0.14	-0.07	0.04	0.07	-0.22	0.26	0.21	0.51	-0.08
2017.11	-0.05	-0.32	0.03	-0.12	-0.36	0.08	-0.09	0.29	-0.57
2017.12	-0.20	-0.41	0.01	-0.22	-0.47	-0.08	-0.35	0.14	-1.44
2018.01	-0.07	-0.26	-0.12	-0.10	-0.16	0.01	0.18	-0.18	-0.91
2018.02	-0.12	-0.29	-0.08	-0.20	-0.29	-0.05	0.18	-0.22	-1.12
2018.03	0.09	-0.14	0.03	0.07	-0.15	0.11	0.42	0.01	-0.39
2018.04	0.21	0.01	0.14	0.13	-0.10	0.32	0.39	0.14	-0.22
2018.05	0.35	0.19	0.27	0.22	0.00	0.33	0.48	0.59	-0.13
2018.06	0.22	0.08	0.18	-0.02	-0.12	0.23	0.31	0.43	-0.14
2018.07	0.18	0.09	0.19	-0.09	-0.23	0.36	0.09	0.38	-0.02
2018.08	-0.28	-0.27	0.01	-0.47	-0.73	0.08	-0.30	-0.60	-0.69
2018.09	0.21	-0.11	0.18	0.03	-0.24	0.24	0.30	0.85	0.02
2018.10	0.36	0.03	0.26	0.06	0.09	0.26	0.38	1.01	0.23
2018.11	0.36	0.05	0.29	0.13	0.15	0.23	0.16	1.14	-0.06
2018.12	0.26	0.02	0.27	0.02	0.05	0.04	0.04	0.90	-0.49
2019.01	0.14	-0.05	0.15	0.09	0.14	-0.13	0.29	0.00	-0.14
2019.02	0.14	-0.05	0.18	0.05	0.05	0.05	0.26	0.06	-0.50
2019.03	0.10	0.03	0.11	-0.02	0.00	-0.01	0.26	-0.09	-0.26
2019.04	0.01	0.00	0.14	-0.06	-0.05	-0.04	0.02	-0.15	-0.81
2019.05	0.01	-0.12	0.08	-0.21	-0.23	-0.10	-0.08	0.39	-0.44
2019.06	0.16	-0.04	0.15	0.00	-0.17	-0.05	0.25	0.53	-0.17
2019.07	0.07	-0.30	-0.01	-0.17	-0.44	-0.01	0.20	0.61	0.09
2019.08	0.13	-0.21	0.18	-0.09	-0.31	-0.20	0.29	0.81	-0.23
2019.09	0.28	-0.14	0.18	0.11	-0.21	0.05	0.56	0.93	0.06
2019.10	0.43	-0.03	0.06	0.23	0.04	0.26	0.67	1.27	0.41
2019.11	0.31	-0.04	0.04	0.05	-0.01	0.10	0.35	1.20	0.08
2019.12	0.19	-0.03	0.08	-0.03	-0.14	-0.05	0.12	0.73	-0.28
2020.01	0.28	0.14	-0.07	0.20	0.12	0.11	0.44	0.38	0.15
2020.02	0.31	0.14	-0.15	0.20	0.03	0.13	0.57	0.45	0.28
2020.03	0.25	0.15	-0.22	0.22	0.05	0.13	0.50	0.30	0.29
2020.04	0.06	-0.03	0.13	-0.18	-0.26	0.02	0.31	-0.18	-0.17
2020.05	0.21	-0.05	0.08	-0.24	-0.15	0.07	0.40	0.95	-0.15
2020.06	0.22	-0.01	0.21	-0.54	-0.11	0.18	0.57	0.84	-0.16
2020.07	0.36	-0.01	0.25	-0.19	-0.16	0.36	0.70	0.97	0.58
2020.08	0.67	0.57	0.38	0.33	0.12	0.58	0.96	1.18	0.62
2020.09	0.59	0.28	0.32	0.39	0.06	0.54	1.00	1.15	0.38
2020.10	0.27	0.13	0.19	0.03	0.09	0.31	0.62	0.63	0.14
2020.11	0.32	0.23	0.20	-0.04	0.02	0.26	0.48	0.85	0.06
2020.12	0.17	0.03	0.23	-0.12	-0.06	0.16	0.27	0.38	-0.12

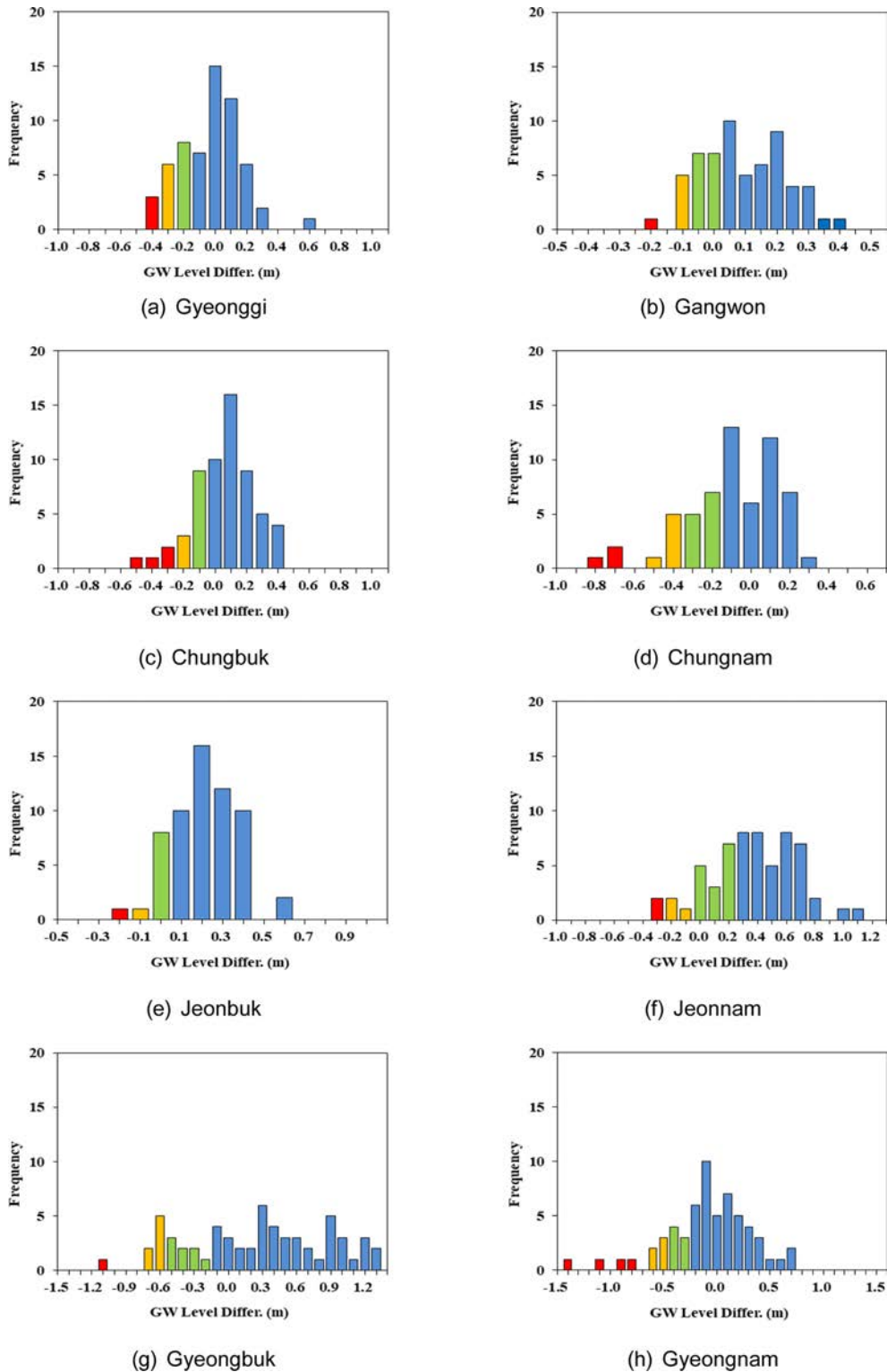


Fig. 10. Frequency analysis of groundwater level difference.

심각가뭄(Severe drought), -0.36 m 보다 작은 구간은 극한가뭄(Extreme drought)으로 구분되었다. 또한 충남의 경

우 -0.28 m 보다 큰 경우 정상, -0.43 ~ -0.28 m 구간은 보통가뭄, -0.58 ~ -0.43 m 구간은 심각가뭄, 그리고 극한

**Table 9.** Agricultural drought classification by frequency analysis

	Near Normal	Moderate drought	Severe drought	Extreme drought
Gyeonggi	> -0.25	-0.32 ~ -0.25	-0.36 ~ -0.32	-0.36 >
Gangwon	> -0.04	-0.08 ~ -0.04	-0.12 ~ -0.08	-0.12 >
Chungbuk	> -0.11	-0.20 ~ -0.11	-0.31 ~ -0.11	-0.31 >
Chungnam	> -0.28	-0.43 ~ -0.28	-0.58 ~ -0.43	-0.58 >
Jeonbuk	> 0.05	-0.02 ~ -0.05	-0.05 ~ -0.07	-0.07 >
Jeonnam	> 0.12	-0.04 ~ -0.12	-0.19 ~ -0.04	-0.19 >
Gyeongbuk	> -0.29	-0.60 ~ -0.29	-0.68 ~ -0.60	-0.68 >
Gyeongnam	> -0.34	-0.50 ~ -0.34	-0.78 ~ -0.50	-0.78 >

가뭄은 -0.58 m 보다 작은 구간으로 구분된다. 또한 경북의 경우도 0.29 보다 큰 경우 정상, -0.60 ~ -0.29 m 구간은 보통가뭄, -0.68 ~ -0.60 m 구간은 심각가뭄, 그리고 극한가뭄은 -0.68 m 보다 작은 구간으로 구분하였다. 이처럼 가뭄이 심했던 지역은 평년수위 대비 지하수위가 감소한 범위도 넓게 나타남을 알 수 있고, 가뭄이 발생하지 않거나 강우량이 풍부했던 강원, 충북, 전북 지역의 경우는 지하수위 감소 범위가 좁게 나타남이 확인되었다(Fig. 10, Table 8, Table 9). 기존 단일 관측공의 지하수위 관측자료를 가지고 농업가뭄을 분석한 경우에 비해 지역별 가뭄단계를 쉽게 구분할 수 있다. 특히 장기간의 지하수위 변화가 작은 경우 정상단계의 지하수위임에도 불구하고 심각단계로 나타나는 오류를 방지할 수 있는 장점이 있다.

이와 같은 방법으로 농업가뭄 등급을 표기해보면, 경기, 충남, 전남, 경북, 경남에서 주로 가뭄이 발생한 것으로 분석된다. 경기도의 경우, 2016년 9월부터 2017년 6월까지, 그리고 2017년 말부터 2018년 2월까지 가뭄이 발생한 것으로 나타났고, 충남은 2016년 8, 9월에 심한 가뭄이 발

생하였고, 이후 2017년 3월부터 2018년 2월까지 지속적으로 가뭄이 발생한 것으로 나타났다. 또한 전남의 경우, 간헐적이기는 하지만 2016년 6월부터 12월까지 극심한 가뭄이 발생한 것으로 보이며, 2017년 5월부터 12월까지 보통가뭄이 발생한 것으로 나타났다. 경북은 2016년 8월에 극심한 가뭄이 발생한 이래로 간헐적으로 가뭄이 발생하였다. 경남의 경우 2017년 5월부터 2018년 3월까지 가뭄이 지속적으로 발생하였고, 특히 2017년 6월과 8월에는 매우 극심한 가뭄이 발생한 것으로 나타났다(Table 10). 그리고 2018년 9월 이후부터는 일부기간을 제외하고 대부분의 지역이 가뭄에서 벗어난 것으로 분석된다. 각 시도별 평년수위 대비 지하수위 증감 범위는 Fig. 11과 같다. 특이한 점은 경북, 경남의 지하수위 변동폭이 경기, 강원, 충북 등 타지역보다 더 큰 것을 볼 수 있다. 과거에 비해 지하수위 변동 폭이 큰 지역은 가뭄외에도 많은 강우로 인한 홍수 발생도 잦은 지역으로 판단되며, 지하수위 변동폭이 작은 지역은 홍수보다는 가뭄 발생이 더 많을 것으로 판단되므로 지역의 지하수 관리대책 수립시 활용하면 유용할 것으로 판단된다.

**Table 10.** Classification of the agricultural drought level using groundwater level change

	GG	KW	CB	CN	JB	JN	GB	GN
2016.01		M.Drought						
2016.02								
2016.03								
2016.04		M.Drought						
2016.05								
2016.06		M.Drought				E.Drought	M.Drought	
2016.07								
2016.08		S.Drought		M.Drought		E.Drought	E.Drought	
2016.09	S.Drought	M.Drought		S.Drought		E.Drought	M.Drought	
2016.10	M.Drought							
2016.11	S.Drought							
2016.12	E.Drought					E.Drought		

Table 10. continued

	GG	KW	CB	CN	JB	JN	GB	GN
2017.01	M.Drought							
2017.02	M.Drought						M.Drought	
2017.03	M.Drought			M.Drought			M.Drought	
2017.04				M.Drought				
2017.05	M.Drought		M.Drought	M.Drought		M.Drought		M.Drought
2017.06	M.Drought		M.Drought	M.Drought		M.Drought	M.Drought	S.Drought
2017.07				M.Drought		M.Drought	M.Drought	M.Drought
2017.08				M.Drought		M.Drought		S.Drought
2017.09				M.Drought				M.Drought
2017.10								
2017.11	M.Drought			M.Drought		M.Drought		S.Drought
2017.12	M.Drought			M.Drought		M.Drought	M.Drought	E.Drought
2018.01	M.Drought							E.Drought
2018.02	M.Drought			M.Drought				E.Drought
2018.03								M.Drought
2018.04								
2018.05								
2018.06						M.Drought		
2018.07							M.Drought	
2018.08	M.Drought		M.Drought	M.Drought		M.Drought	M.Drought	S.Drought
2018.09								
2018.10								
2018.11								
2018.12							M.Drought	M.Drought
2019.01								
2019.02				M.Drought				
2019.03								
2019.04								
2019.05								
2019.06								
2019.07	M.Drought							
2019.08								
2019.09								
2019.10								
2019.11								
2019.12								
2020.01								
2020.02								
2020.03								
2020.04				M.Drought			M.Drought	
2020.05								
2020.06			M.Drought			M.Drought		
2020.07								
2020.08								
2020.09								
2020.10								
2020.11								
2020.12								



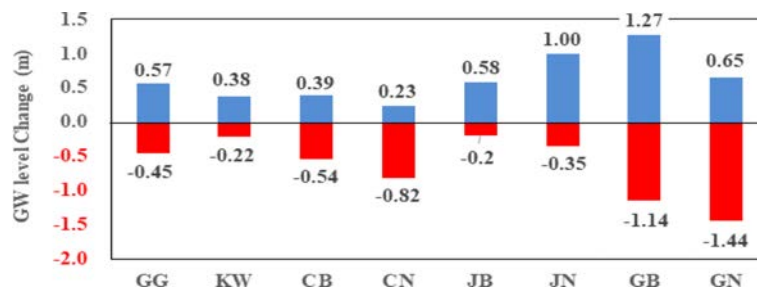


Fig. 11. Comparison graph of groundwater level changes of province.

## 5. 토의 및 결론

본 연구는 장기 지하수위 관측자료를 토대로 2015년 이전 설치한 관측공들의 월평균 지하수위를 산정하고, 이 값들을 평년수위로 삼아 평년수위 대비 최근 5년간 지하수위 증감을 분석하여 지역을 대표할 수 있는 지하수위 상태를 쉽게 제시할 수 있는 복잡하지 않고 기존 분석방법과 유사한 방식의 지하수위 증감 분석방법을 제시하였다. 또한 평년수위 대비 지하수위 증감 분석 결과값을 도출하고, 빈도분석과 백분위수로 나누어 지역별로 농업가뭄 단계를 구분함으로써 평년수위 대비 지하수위 증감자료 분석만으로 가뭄발생 시기와 발생지역이 매우 유사하게 나타나는 것을 확인하였다. 이러한 방법은 단순하면서도 기존 단일공 관측자료를 분석할 경우 발생하는 정상단계의 지하수위 임에도 불구하고 심각단계로 구분되는 가뭄단계 구분의 오류발생을 방지할 수 있다.

결론적으로 기존 단일 관측공 관측자료만을 활용하여 농업가뭄을 구분하여 나타내는 분석방법보다 지역의 대표성 확보도 가능하고 이해도가 쉬운 방식을 제시했을 뿐만 아니라 농업가뭄 단계에 적용하여 현재의 가뭄의 심각수준이나 지하수위 상태 파악은 물론, 미래 가뭄대비 예·경보 자료로도 활용이 가능할 것으로 판단된다. 다만, 지역 특성에 맞는 보다 정확한 분석을 위해서는 보다 많은 장기 지하수위 관측자료가 요구되나, 현재까지는 전국 시·군 또는 읍·면, 소유역을 대표할 수 있는 관측공 설치 개소가 부족한 실정이다.

향후 보다 많은 관측공 설치와 장기 지하수위 관측자료가 축적되면 보다 정확한 지하수위 변화에 대한 분석은 물론 미래 농업가뭄 예·경보 자료로도 활용이 가능할 것으로 판단된다. 또한 지하수위가 기상변화에 지표수보다 늦게 반응하는 시간을 고려한다면 평년대비 현재의 지하수위 단계를 농업가뭄에 적용함으로써 물 부족 시대에 지역의 지하수 부존량과 최대 취수가능량 등을 산정하는 데

도 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

## 사 사

본 연구는 환경부 수요대응형 물공급서비스 연구사업 「상시 가뭄지역의 지하수 최적 공급관리를 위한 IoT 기반 인공지능 및 Well Network 기술 개발」 과제의 연구비 지원에 의해 이루어졌다.

## References

- Blookfield, J.P. and Marchant, B.P., 2013, Analysis of groundwater drought building on the standardized precipitation index approach, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, **17**(12), 4769-4787.
- Edwards, D.C. and McKee, T.B., 1997, Characteristics of 20th century drought in the United States at multiple time scales. *Climatology Report No. 97-2*, Colorado State Univ., Ft. Collins, CO.
- Hoque, M., Hoque, M., and Ahmed, K., 2007, Declining groundwater level and aquifer dewatering in Dhaka metropolitan area, Bangladesh: causes and quantification, *Hydrogeology Journal*, **15**, 1523-1534.
- Jeong, C.D., Lee, G.S., Lee, B.S., and Seo, S.J., 2021, The need to expand monitoring of the groundwater level in agricultural land around rivers following the opening of weirs, 2021 Joint Conference of the Geological Science & Technology of Korea, Academic presentations.
- Jeong, J.N., Koh, D.C., and Lee, J.H., 2019, A study of an effect of a land cover change on a groundwater level, *The Geological Society of Korea*, 474p.
- Kim, G.B., Yun, H.H., and Kim, D.H., 2006, Relationship between standardized precipitation index and groundwater levels: A proposal for establishment of drought index wells, *J. Soil and Groundwater Environment*, **11**(3), 31-42.
- Kumar, R., Musuza, J.L., Van Loon, A.F., Teuling, A.J., Bar-



- thel, R., Ten Broek, J., Mai, J., Samaniego, L., and Attinger, S., 2016, Multiscale evaluation of the standardized precipitation index as a groundwater drought indicator, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, **20**, 1117-1131.
- Lee J.J., Kang S.U., Kim T.H., and Chun G.I., 2018, Assessment of drought effects on groundwater system in rural area using Standardized Groundwater Level Index (SGI), *Journal of Korea Water Resources Association*, pp.1021-1029.
- Lee J.J., Kang, S.U., Jeong, J.H., and Chun, G.I., 2018, Development of groundwater level monitoring and forecasting technique for drought analysis(I); Groundwater drought monitoring using standardized groundwater level index (SGI), *J. Korea Water Resour. Assoc.*, **51**(11), 1011-1020.
- Lee, H.G., Jeon, W.H., Yun, S.W., Kwon, K.D., and Lee, J.Y., 2017, Comparative study of variation of groundwater and dam storage from 1996-2015 in Korea, *Journal of the Geological Society of Korea*, **53**(5), 715-726.
- Lee, J.J., Kang, S.U., Kim, T.H., and Chun, G.I., 2018, Development of groundwater level monitoring and forecasting technique for drought analysis (II) - Groundwater drought forecasting Using SPI, SGI and ANN, *Journal of Korea Water Resources Association*, **51**(11), 1021-1029.
- McKee, T.B., Doesken, N.J., and Kleist, J., 1993, The relationship of drought frequency and duration of time scales, *Eighth Conference on Applied Climatology*, *American Meteorological Society*, Jan. 17-23, Anaheim CA, pp.179-186.
- Shin, H.J., Kim, H.D., Lee, J.N., Kim, D.E., and Kang, M.S., 2019, Sensitivity of precipitation and storage capacity caused by climate changes in agricultural reservoir, *Korea Water Resources Association*, Academic presentation materials.
- Song, S.H., 2018, Assessment of drought effects on groundwater system in rural area using Standardized Groundwater level Index (SGI), *J. Soil Groundwater Environ.*, **23**(3), 1-9.
- Song, S.H., Ahn, J.G., Lee, B.S., and Goo, M.H., 2017, Development of agricultural drought evaluation technology based on ICT-based real-time analysis of groundwater level, *Korea Rural Research Institute*.
- Song, S.H., Lee, G.S., Jeong, C.D., and Myoung, W.H., 2019, Estimation of potential water supply for agricultural water demand based on time-series groundwater level data in Jeju Island, *Korea Rural Research Institute*, pp.64-67.
- Yeh, H.F. and Chang, C.F., 2019, Using standardized groundwater index and standardized precipitation index to assess drought characteristics of the Kaoping River Basin, Taiwan, *Water Resources*, **46**(5), 670-678.
- Yeh, H.-F., Chang, C.-F., Lee, J.W., and Lee, C.H., 2016, SGI and SPI for drought characteristics in Gaoping river basin, Taiwan, *Journal of Chinese Soil and Water Conservation*, **47**(1), 45-52.