

## 표준지하수위지수(SGI)를 이용한 농촌지역 지하수계의 가뭄 영향 평가

송 성 호\*

한국농어촌공사 농어촌연구원

### Assessment of Drought Effects on Groundwater System in Rural Area using Standardized Groundwater Level Index(SGI)

Sung-Ho Song\*

Rural Research Institute, Korea Rural Community Corporation

#### ABSTRACT

This study is aimed to quantitatively evaluate the effects of drought on groundwater system in rural areas. For this purpose, the standardized groundwater level index (SGI) was used for 68 groundwater monitoring wells. To determine accumulation period (AP) which represents the month with the highest correlation coefficient between SGI and SPI, correlation analysis between the two for 68 wells were performed. The results indicated the AP values ranged in 1~3 months for most of the well, but it was 7~10 months in some wells. These results can be interpreted such that the total amount of groundwater will not decrease significantly in long-term drought situations unlikely the reservoirs with the high AP values. The nationwide maximum AP values were 4.1 and 4.0 in Chungbuk-do and Gyeongnam-do, while the minimum AP values were 1.8 and 2.0 in Gangwon-do and Chungnam-do, respectively. The maximum and minimum values of correlation coefficient were 0.623 and 0.459 in Gyeongnam-do and Chungnam-do/Chungbuk-do, respectively. Consequently, it could be concluded that the wells with low AP value tend to respond to short-term drought, but it has little effect on groundwater system when the long drought occurs.

**Key words :** Standardized groundwater level index (SGI), Standardized precipitation index (SPI), Drought, Groundwater system, Accumulation period (AP)

#### 1. 서 론

가뭄은 특정지역에서 평균 이하의 강수량이 발생하는 현상으로, 가뭄이 시작되는 시점은 일정 기간 동안의 강수량이 평균치와 비교하여 정량적으로 감소되는 기준을 설정하여 적용한다. 일반적으로 강수량이 감소되면 하천 수 수위, 저수지 수위, 지하수위 등이 변화하게 되는데, 가뭄에 따른 이들의 변화량은 해당 지역의 수문학적 시스템에 따라 서로 다르게 나타난다. 이러한 수문학적 가뭄은 기상학적 가뭄 및 농업 가뭄에 비해 늦게 발생되는데, 이는 강수량의 부족이 토양수분, 하천수량, 지하수 및 저수지 수위 등과 같은 수문학적 시스템에 작용하는데 시간이 많이 걸리기 때문이다(Wilhite and Glantz, 1985). 반

면 농업 가뭄은 강수량의 부족, 실제증발산량과 잠재증발산량의 차이, 토양수분 부족 등에 의해 발생되는데, 이 중 토양수분 부족을 결정짓는 일간 강수량값을 증발산량과 비교한 후 작물의 생육단계별 필요수량과의 관계로 제시된다(NDMC, 2018).

결과적으로 강수량이 부족한 경우에는 농업활동에 직접적인 영향을 미치는 토양수분 함량의 급격한 감소가 나타나지만, 유역 내 강수량 부족이 저수지의 저수량 변화에 미치는 영향은 일정한 기간이 소요된다. 따라서 농업 가뭄에 의한 가뭄 심도, 가뭄 발생기간 및 가뭄 빈도는, 다양한 기상학적 변수, 토양수분 변화 및 생육단계별 필요수량 등의 평가를 통하여 결정된다(Song et al., 2013).

농업 가뭄의 중요 요소인 토양수분 함량은 강수에 즉각

\*Corresponding author : shsong@ekr.or.kr

Received : 2018. 5. 28 Reviewed : 2018. 6. 20 Accepted : 2018. 6. 25

Discussion until : 2018. 8. 31

적으로 반응하는 반면 지표수 및 지하수는 상대적으로 장기간의 강수에 영향을 받는다. 따라서 이러한 특성을 이용하여 대상기간 중의 강수 확률분포를 정규분포로 활용할 수 있도록 고안된 표준강수지수(standardized precipitation index, SPI)는 다양한 시간 간격에 따른 종류별 수자원의 이용가능성에 대한 가뭄의 영향을 반영할 수 있는 장점이 있다(McKee et al., 1993). 따라서 다양한 시간 간격으로 적용이 가능한 표준화된 강수지수의 개발을 통해, 가뭄대책에 필요한 초기 가뭄의 예보에 활용이 가능하다. 이러한 가뭄을 일관된 방식으로 비교할 수 있는 목적으로 지난 수십년 동안 기상, 수문, 농업 등의 가뭄을 대상으로 가뭄심도, 지속 기간 및 공간적 범위 등에 대한 표준화 작업이 시도된 바 있다(Mishra and Singh, 2010). 그러나 기상학적인 가뭄을 대표하는 SPI의 경우 농업활동에 직접적인 영향을 미치는 증발산량에 대한 고려가 없기 때문에, 일부 농업부에서는 대기를 포함한 물 순환 과정을 포함한 표준강수-증발산량지수(standardized precipitation- evapotranspiration index, SPEI)를 개발하여 사용하고 있다(Vincente-Serrano et al., 2010; McEvoy et al., 2012).

표준화 기법을 활용한 지하수계의 가뭄 평가 기법은 Bloomfield and Marchant(2013)에 의해 표준지하수위지수(standardized groundwater level index, SGI)로 제안되었으며, 이 후 Kumar et al.(2016)가 SPI와 SGI의 상관관계를 이용하여 지하수 가뭄 예측을 위한 정량화 지수인 지하수 가뭄 인자(groundwater drought indicator)로 발전시킨 바 있다. 그러나 지하수위 변동의 경우 자연적인 변화 요인과 별개로 토지피복 변화에 따른 불투수층 증가 및 이용량 증가 등 인간활동에 따른 영향이 복합적으로 작용됨에 따라, SPI와 SGI의 상관관계를 정량적으로 해석하는데 한계가 있다.

본 연구에서는 이러한 제한점에도 불구하고 농업 가뭄 극복을 위한 다양한 의사결정을 위한 기초자료로, 전국적으로 농촌지역 소유역에 설치된 지하수 관측공을 대상으로 SPI와 SGI 상관분석을 통한 최적의 누적기간(accumulation period, AP)을 결정하였다. 이를 통하여 기상학적 가뭄이 발생한 경우, 각 행정구역에 대하여 가뭄 발생 기간별로 최적의 지하수 공급 가능량 평가에 활용될 수 있는 기초자료를 제안하였다.

## 2. 분석 방법

### 2.1. 표준강수지수(SPI)

가뭄경향을 분석하기 위한 대표적인 방법은 강수량을 이용하여 계산되는 SPI로, 강수량 부족이 여러 가지 수문 요소(지하수위, 저수지 저수량, 토양수분 함량, 하천수 유량 등)에 미치는 영향을 정량화하기 위하여 다양한 시간 간격(3개월, 6개월, 12개월, 24개월, 48개월)에 대한 강수량 부족을 정량화하도록 개발되었다(McKee et al., 1993). 이러한 시간 간격은 수자원의 종류별로 서로 다른 가뭄의 영향을 반영하는데, 토양수분 함량은 짧은 기간의 강수에 반응하는 반면 지하수위, 하천수량 및 저수지 저수량은 상대적으로 장기간의 강수 상황을 반영한다. SPI는 평균값과 표준편차가 각각 0과 1에 대한 누적정규분포(cumulative normal distribution) 결과를 표준정규분포(standard normal distribution)로 변환시키는 방법으로 계산하는데, 대상 기간 동안의 강수량 시계열 자료를 확률 분포에 맞도록 정규분포로 변환시키기에 따라 특정기간에 대한 평균 SPI는 0이 된다(Fig. 1).

이때 양(+의 값)을 갖는 SPI는 중앙값의 강수량보다 많은 반면 음(-의 값)은 강수량이 적은 것을 지시하기 때문

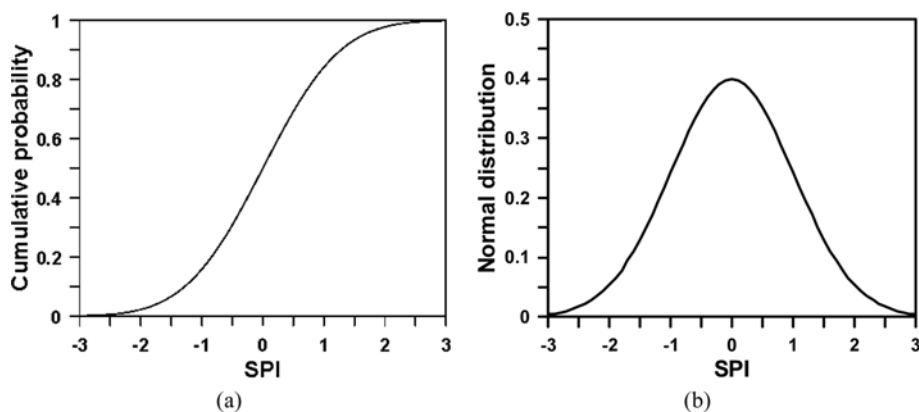


Fig 1. Procedure of SPI calculation using normal distribution curve. [(a) cumulative normal distribution, (b) standard normal distribution].

**Table 1.** Classification of drought intensity using SPI (McKee et al., 1993)

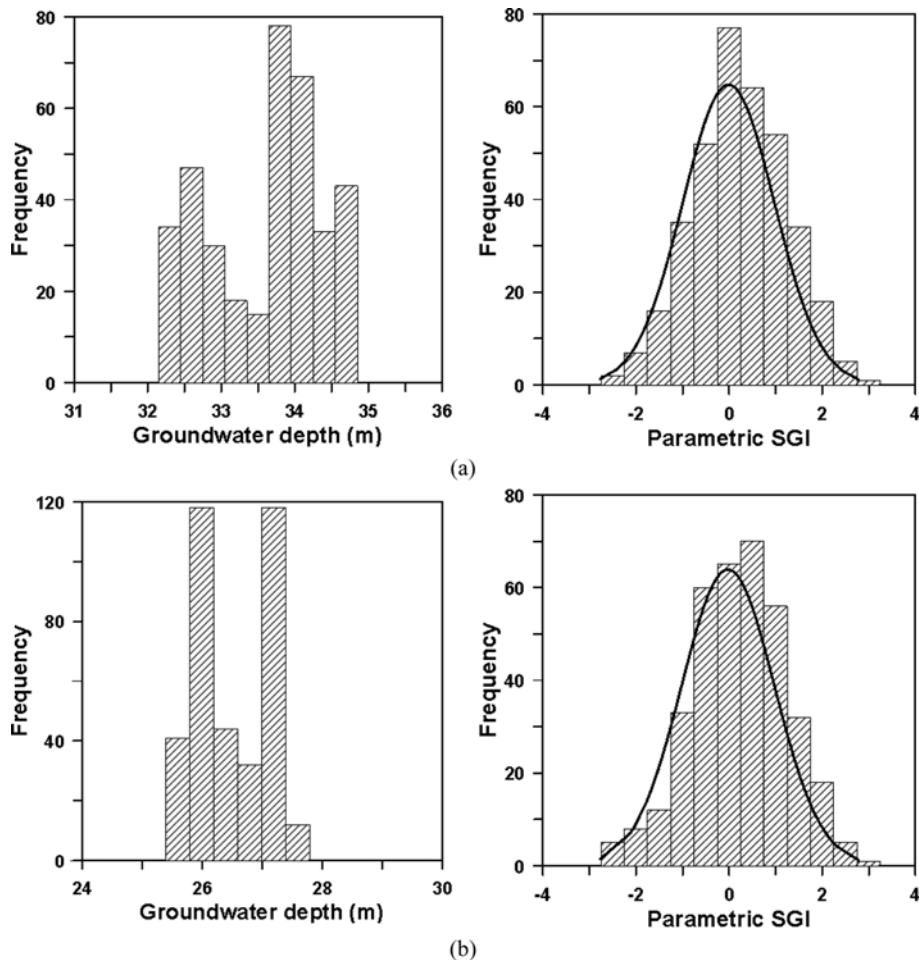
SPI value	Classification
2.00 <	Extreme wet
1.50 ~ 1.99	Very wet
1.00 ~ 1.49	Moderately wet
-0.99 ~ 0.99	Near normal
-1.00 ~ -1.49	Moderate drought
-1.50 ~ -1.99	Severe drought
-2.00 >	Extreme drought

에, 특정 기간 동안에 가뭄은 연속적인 음수로 SPI가 -1.0 이하에 도달하면 발생하지만 양(+)의 값이 되면 종료된다 (Table 1).

## 2.2. 표준지하수위지수(SGI)

시계열 자료(time-series data)를 이용한 정규화(normali-

zation) 방법은 강수량 자료를 이용한 SPI 분석 기법을 시작으로, 저수지의 저류량 변화, 하천을 통한 직접 유출량 변화, 지표 하부의 토양수분 변화 등 다양한 수문학적 관측 결과에 적용되고 있다. Vicente-Serrano and Lopez-Moreno(2005)는 다양한 기간의 SPI 자료와 지표수 수문 자료들의 비교를 통해, 유역 내 하천을 통한 지표수 유출량의 경우 단기간의 SPI와 반응하는 반면 저수지 저수량은 7~10개월의 SPI와 상관성이 높은 것으로 제시한 바 있다. 또한 용설(snowmelt) 발생지역에 대하여 가뭄 기간 중에 SPI와 유출량 변화를 표준화한 표준유출량지수(standardized runoff index, SRI)를 비교한 결과, 유출량 변화에 따른 SRI가 기후의 영향으로 인하여 계절적인 시간 지연이 발생하는 것을 정량적으로 평가한 연구 결과도 제시된 바 있다(Shukla and Wood, 2008). 따라서 이러한 접근법은 계절을 포함한 수개월 단위의 SRI는 가뭄에 대한 SPI와의 상관성을 밝히는 도구로 유용하게 활용이



**Fig. 2.** Histogram of daily groundwater depth and corresponding histogram of normalized value (SGI) with normal distribution curve for GP1 (a) and HwS1 (b) monitoring well during 1 year in 2015.

가능하다. 전지구적인 규모에서는 Sheffield et al.(2008)이 수문관측 자료와 토양수분 자료를 포함한 cluster algorithm을 이용하여, 1950~2000 기간 중 500,000 km<sup>2</sup> 이상의 광대한 지역에서 3개월 이상 지속된 대규모 가뭄 사상 (large-scale drought event) 296개를 밝혀낸 바 있다.

이러한 결과를 기초로 Bloomfield and Marchant(2013)는 지하수위 시계열 자료의 표준화 및 지하수 가뭄의 특성화를 위하여 SGI를 제안하였으며, 영국에 분포하는 주요한 대수층별로 14개소의 지하수위 관측공에 대하여 SGI와 SPI의 비교 분석을 통한 지하수 가뭄 분석 결과를 제시한 바 있다. 일반적으로 지하수위는 강수량과 달리 특정한 기간 중의 자료를 누적할 필요가 없는 연속적인 변동자료로, 분석 시 SPI 계산에서 사용되는 감마분포 (gamma distribution)를 이용한 정규화 과정을 거칠 필요가 없는 특징이 있다. 따라서 관측공에서 측정되는 지하수위 시계열 자료를 적절한 정규화 과정을 거치는 경우 가뭄이 발생하는 경우 대수층 내의 지하수자원의 변동을 정량적으로 평가할 수 있다.

Fig. 2는 농촌지역 소유역에 설치된 가평1(GP1) 관측공과 화순1(HwS1) 관측공을 대상으로 2015년 1년 간 매일 12시 기준의 지하수위 심도를 분석한 결과로, 정규화 과정을 통한 SGI의 분석 결과가 표준정규분포에 잘 일치되는 것으로 나타남에 따라 국내 지하수 시계열 자료를 이용한 정규화 분석에 활용이 가능한 것으로 나타났다.

### 3. 연구 결과

#### 3.1. 관측공별 SGI 분석

SGI 분석은 행정구역별 농촌지역 소유역에 설치되어 최소 4년 이상의 관측 자료가 축적된 대표 관측공을 대상으로 총 68개소를 선정하였다. SGI는 전체 관측기간 중 전국적으로 가뭄이 발생된 3년(2014~2016년) 기간 동안 매일 12시 기준의 지하수위를 정규분포로 전환하여 계산하는데, 이때 분석 기준은(Table 1)에 제시된 SPI의 6개 단계로 구분하고 확률분포의 평균값과 표준편차를 각각 1과 0으로 설정하였다. Fig. 3은 여주1(YJ1) 관측공(관측기간

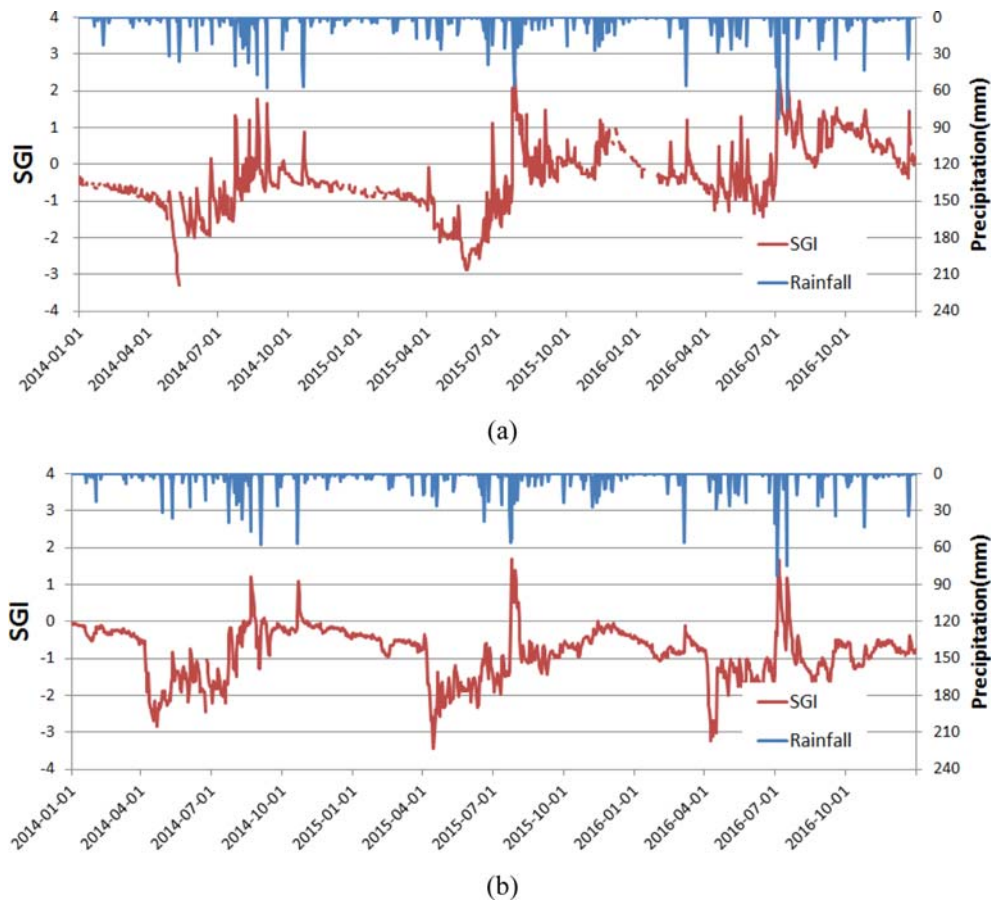


Fig. 3. Calculated time series of SGI with precipitation for YJ1 (a) and IC1 (b) monitoring well.

6년: 2011~2016년)과 이천1(IC1) 관측공(관측기간 9년: 2008~2016년)에 대한 일별 SGI와 강수량의 시계열 자료를 분석하여 도시한 결과로, 전체적으로 강수량의 변화에 따른 SGI 변화가 일치되는 것으로 나타났다. YJ1 관측공은 2015년의 경우 6~7월 기간의 강수량이 매우 적게 나타남에 따른 영향으로 SGI가 낮게 분포하며, IC1 관측공은 2014~2016년 기간 중 6~7월 기간의 강수량 감소에 따른 SGI 감소 현상이 잘 나타남에 따라, SGI를 이용한 정량적인 농업 가뭄의 평가가 가능한 것으로 판단된다.

### 3.2. SGI-SPI 상관분석을 통한 행정구역별 누적기간(AP) 결정

#### 3.2.1. 상관분석

상관분석은 두 변량 X와 Y 사이의 상관 정도를 계량화한 상관계수(correlation coefficient)를 계산하는 분석 기법으로, 이때 상관계수  $r_{xy}$ 는 둘 이상의 값 사이의 통계적 관계를 정량화한 숫자이다. 상관계수는 두 변량 X, Y 사이의 상관관계의 정도를 나타내는 수치로, 측정값(x, y)에 대하여 n개인 측정값( $x_1, y_1$ ), ( $x_2, y_2$ ), ..., ( $x_n, y_n$ )이 주어졌을 때 다음과 같은 식으로 계산할 수 있다.

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{(n-1)s_x s_y}$$

이때,  $\bar{x}$ 와  $\bar{y}$ 는 각각 x, y의 평균값이고,  $s_x$ 와  $s_y$ 는 각각

x와 y의 표준편차,  $\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})$ 는 x와 y의 공분산이다.

따라서 상관 계수는 산점도(scatter plot)가 직선에서 멀어지는 정도로 절대 값이 1에 가까울수록 데이터가 선형에 가까운 반면, 0에 가까운 데이터 세트는 선형적인 관계가 나타나지 않는다.

#### 3.2.2. 누적기간(AP) 결정

지하수위는 대기압, 강수량, 양수 여부, 주변 하천과의 상호작용, 조석, 지진 등 다양한 요인에 의해 변동되지만, 장기간의 변화는 주로 강수의 함양과 유출에 의해 결정된다(Todd, 1980). 특히 유출이 발생하는 하천 인근의 대수층은 가뭄에 의한 하천 수량 변화에 따라 하천 및 대수층의 상호작용에 의해 지하수위가 변동되는 것이 일반적이다.

그러나 농촌지역의 지하수 관정은 지표수 공급이 불리한 지역에 위치함에 따라, 하천-대수층 연계에 의한 지하수위 변동 요인은 크지 않은 특징이 있다. Song et al. (2007)이 농촌지역 소유역에 설치된 53개소 지하수 관측망의 지하수위 변동 형태 분류 결과 약 91%인 48개소가 강수에 의한 영향으로 제시함에 따라, 이를 포함하여 본 연구에서 사용된 농촌지역 지하수 관측공의 지하수위 변동은 강수량 변화에 의한 영향이 주된 요인으로 해석이 가능하다. 따라서 관측공의 지하수위 변동 자료를 이용하여 가뭄이 지하수계에 미치는 영향을 분석하는데 적절한 것으로 판단된다.

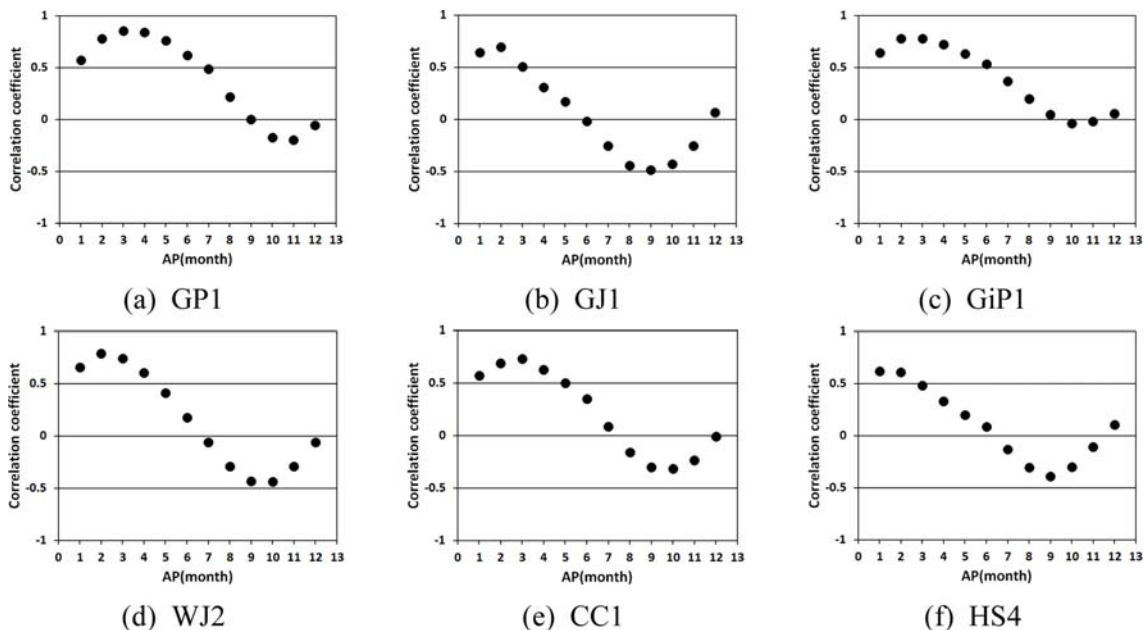


Fig. 4. Results of SGI-SPI correlation analysis for representative 6 monitoring wells.

본 연구에서 이용된 SPI와 SGI는 두 인자 모두 평균과 표준편차가 각각 0과 1인 정규분포 모형을 이용하고 있기 때문에, 관측공별로 계산된 SGI와 1개월 단위로 계산된 SPI에 대한 상관분석을 실시하였다. 상관분석 결과는 SGI와 1개월 단위의 SPI(SPI 1, 2, 3, ..., 11, 12) 사이의 상관계수 중 최대값을 갖는 개월을 관측공별로 누적기간으로 정하였다. Fig. 4는 6곳의 지하수 관측공을 대상으로

1~12개월 기간 동안 매 1개월 단위로 SGI와 SPI의 상관분석을 수행한 결과이다. 상관분석 결과 최대값을 갖는 누적기간은 주로 1~3개월이 주를 이루는 것으로 나타났으며, 상관계수는 0.621~0.856으로 두 인자간의 상관성이 매우 높은 것으로 나타났다(Fig. 4).

RRI(2017)는 최근 가뭄발생이 빈번한 충청남도 지역의 20개 저수지를 대상으로 SPI와 저수율의 시계열 상관분석

**Table 2.** Results of correlation analysis between SGI and SPI for 68 monitoring wells

Well name	Maximum AP	Correlation coefficient	Well name	Maximum AP	Correlation coefficient
GP1	3	0.856	GC1	3	0.720
GJ1	2	0.696	NW1	1	0.536
GiP1	2	0.780	MJ1	1	0.621
YJ1	6	0.657	BA1	8	0.434
YI1	1	0.347	SuC1	10	0.467
IC1	7	0.626	JS1	1	0.744
PJ1	2	0.679	JE1	2	0.602
PT1	2	0.073	JA1	3	0.708
HS4	1	0.621	Jeonbuk-do	3.6	0.604
Gyunggi-do	2.9	0.593	MA2	4	0.628
GS1	2	0.856	BS1	1	0.428
YG1	1	0.249	SunC1	2	0.792
WJ2	2	0.792	SA1	3	0.646
IJ1	2	0.653	YoG1	1	0.474
CC1	3	0.733	JS1	7	0.451
PC1	1	0.320	JH1	1	0.321
HC1	3	0.851	JD1	1	0.249
HwC1	1	0.474	HP1	3	0.741
HS1	1	0.123	HwS1	2	0.572
Gangwon-do	1.8	0.561	Jeonnam-do	2.5	0.530
GoS1	2	0.317	MG1	2	0.680
BE1	9	0.448	BH1	1	0.548
YD1	1	0.596	SJ3	2	0.699
OC1	4	0.238	AD2	2	0.477
ES1	3	0.541	YC1	1	0.636
JC1	1	0.646	CS1	10	0.661
JP1	7	0.305	Gyungbuk-do	3.0	0.617
JiC1	6	0.582	GJ1	2	0.595
Chungbuk-do	4.1	0.459	GC1	6	0.779
GoJ1	1	0.792	GH1	7	0.644
GuS1	1	0.378	MY1	2	0.568
NS1	3	0.707	SaC1	9	0.607
BR1	1	0.195	SanC1	2	0.641
BY1	2	0.525	JJ1	1	0.706
SC1	2	0.457	CN2	6	0.615
CY1	3	0.636	HD4	3	0.800
HoS1	3	0.547	HaC1	2	0.275
Chungnam-do	2.0	0.530	Gyungnam-do	4.0	0.623



을 통하여, 전체적으로 AP가 작을 때 SPI와 낮은 상관성을 보이는 반면 AP가 커짐에 따라 SPI와의 상관성이 커지는 것으로 제시한 바 있다. 특히 이 지역의 경우 AP가 9~11개월에서 최대값이 나타나는 것으로 분석하였다. 이러한 결과는 저수지의 규모 및 용수 공급 비율 등의 다양한 요인에도 불구하고 단기간 보다 장기간의 가뭄에 취약한 것으로 해석될 수 있다. 특히 SPI와 저수지 저수율 및 인근 관측공의 지하수위의 AP값을 적용하면, 공주지역의 경우 저수율의 AP가 9개월인데 반해 공주1(GoJ1) 관측공 지하수위의 AP는 1개월 나타났다.

이러한 결과는 저수율은 9개월 기간의 농업 가뭄이 발생하면 영향을 받는 반면, 지하수위는 1개월의 단기간 가뭄에 반응하지만 이 기간 보다 길어지는 경우에는 가뭄이 지하수계(groundwater system)에 미치는 영향이 거의 없는 것으로 해석될 수 있다. 결과적으로 가뭄을 대비하여 농업용수를 확보하는 저수지의 경우에는 장기간의 가뭄에 영향을 받기 때문에, 상대적으로 대수층의 지하수 보유 능력이 큰 것으로 나타난 관측공별 AP를 이용하면 관측공 주변의 가뭄의 영향을 정량적으로 판단하는 것이 가능할 것으로 판단된다.

### 3.2.3. AP 분석을 통한 지하수계의 가뭄 영향 평가

앞서 제시된 AP는 SGI에 대한 월 단위의 SPI의 상관 분석에서 상관계수가 최대값을 나타내는 기간으로, 분석 결과 전국적으로 지하수위가 저수율에 비해 상대적으로 짧은 기간으로 나타났다. 이러한 결과는 Fig. 4에서 제시된 바와 같이 가뭄이 지하수계에 미치는 영향이 1~3개월의 비교적 단기간에 나타나지만, 이 기간 이후에는 가뭄의 영향이 크지 않음을 지지하는 것으로 해석이 가능하다.

따라서 이러한 해석 결과를 토대로 전국적으로 농촌지역 소유역에 분포한 68개 관측공별로 상관계수가 가장 높은 AP가 나타난 SPI를 해당 관측공이 속한 행정구역의 지하수계에 대한 농업 가뭄의 영향 지표로 설정하였다 (Table 2). 분석 결과 일부 관측공(YJ1, IC1, BE1, JiC1, SuC1, JS1, GC1, GH1, SaC1, CN2)에서의 AP 최대값이 6~10개월로 나타남에 따라, 이 지역 인근 대수층은 장기간의 가뭄에 취약한 것으로 분석되었다. 행정구역별 관측공들의 분석 결과를 기초로 전국적으로 계산된 평균 AP 최대치는 충청북도와 경상남도가 각각 4.1과 4.0으로 높게 분석된 반면, 최소값은 강원도와 충청남도 각각 1.8과 2.0로 나타났다. 이때 상관계수의 최대치와 최소치는 경상남도와 충청남도/충청북도가 각각 0.623과 0.459로 분석되었다.

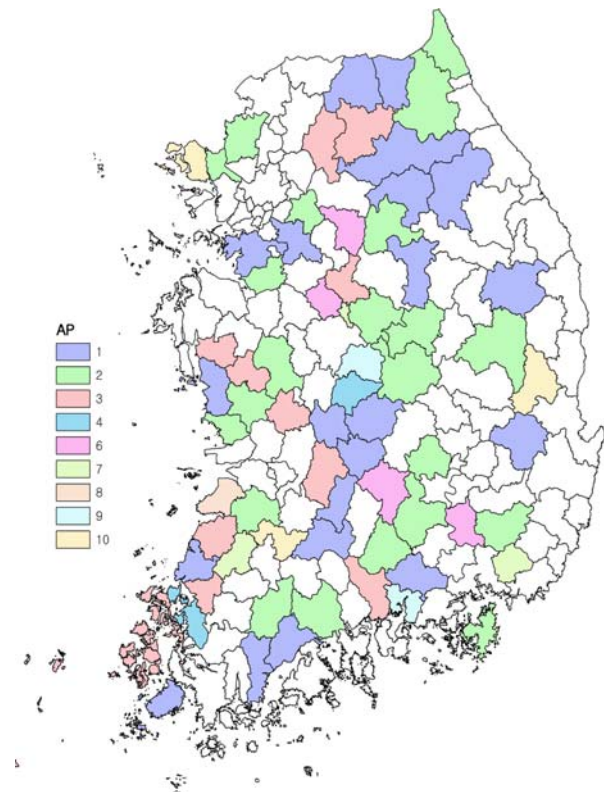


Fig. 5. Distribution map of maximum AP using correlation analysis of SGI-SPI. (White areas indicate the administrative districts without monitoring wells including more than 4 years data).

수리지질 특성과 관련하여 퇴적층 또는 변성 퇴적층으로 구성되어 투수성이 상대적으로 양호한 경상남도과 충청북도의 경우에는, SGI와 SPI의 상관분석에 따른 AP가 다른 지역에 비해 상대적으로 높게 나타났다. 반면 대수층이 결정질 암반으로 구성되어 투수성이 상대적으로 불량한 강원도와 충청남도의 경우에는 AP가 상대적으로 낮은 것으로 분석되었다. 이러한 결과는 지표수를 이용한 저수율의 AP와 마찬가지로 대수층의 투수성이 상대적으로 높은 지역의 경우 AP가 상대적으로 길어, 장기간의 가뭄에 취약성이 높을 것으로 판단된다.

Fig. 5는 68개소의 지하수 관측망을 포함하는 행정구역별로 SGI와 SPI의 상관분석을 통한 최대 AP값을 갖는 기간(월)을 도시한 결과로, 향후 본 도면을 이용하는 경우 행정구역별로 가뭄이 농촌지역의 지하수계에 미치는 취약성을 관리하는 지표로 활용이 가능하다.

## 4. 결 론

본 연구는 관측공별로 농업 가뭄이 지하수계에 미치는

영향을 정량적으로 평가하기 위하여, 현재 가뭄지수로 사용되고 있는 SPI를 기반으로 SGI를 계산하여 적용하였다. 이를 위하여 행정구역별 농촌지역 소유역에 위치하고 최소 4년 이상의 관측자료가 축적된 대표 관측공 68개를 대상으로 SGI를 분석하였다. SGI 계산은 전체 관측기간 중 전국적으로 가뭄이 발생된 3년(2014~2016년) 기간 동안의 지하수위를 기준으로 매일 12시 기준의 지하수위를 정규분포로 전환하여 계산하는데, 이때 분석 기준은 SPI 정의에서 5개 단계의 구분을 적용하고 확률분포의 평균값과 표준편차를 각각 1과 0으로 설정하였다.

SGI와 SPI 사이의 AP는 관측공별로 계산된 SGI와 1개월 단위로 계산된 SPI에 대한 상관분석 결과 상관계수 최대값을 갖는 개월로 결정하였으며, 이 기간이 해당 관측공에서 가뭄의 영향을 최대로 나타나는 것으로 해석하였다. 행정구역별 관측공에 대한 상관분석 결과 AP는 주로 1~3개월로 나타났지만, 일부 관측공은 7~10개월로 분석되었다. 반면 충청남도 20개 저수지에 대한 분석 결과 저수율과 SPI는 9~11개월로 나타났다. 이러한 분석 결과는 장기적인 가뭄 상황에서 지표수자원(댐과 저수지)의 저수량은 지속적으로 감소하는 반면, 지하수 부존량은 크게 감소하지 않고 유지되는 것으로 판단할 수 있다.

전국적으로 평균 AP 최대값은 충청북도와 경상남도가 각각 4.1과 4.0으로 높게 분석된 반면, 최소값은 강원도와 충청남도 각각 1.8과 2.0로 나타났다. 이때 상관계수의 최대값과 최소값은 경상남도와 충청남도/전라남도가 각각 0.623과 0.530으로 분석되었다. 이러한 결과는 대수층이 퇴적층 또는 변성 퇴적층으로 구성되어 투수성이 상대적으로 양호한 경상남도와 충청북도 지역이 결정질 암반으로 구성되어 투수성이 상대적으로 불량한 강원도와 충청남도에 비해 AP가 비해 상대적으로 높은 결과와 일치된다. 이는 저수지의 저수율과 마찬가지로 대수층의 투수성이 상대적으로 높은 지역이, 투수성이 낮은 지역에 비해 장기간의 가뭄에 상대적으로 취약성이 높을 것으로 판단된다.

결과적으로 관측공에서의 짧은 기간의 AP는 단기간의 가뭄에 반응하지만 보다 긴 가뭄이 발생하는 경우에도 가뭄이 지하수계에 미치는 영향이 크지 않은 것으로 해석이 가능하다. 따라서 장기간의 AP는 저수지와 같이 장기간의 가뭄에 영향을 받기 때문에 상대적으로 대수층의 지하수 보유 능력이 큰 것으로 나타난 관측공별 AP를 이용하면, 관측공 주변 대수층에 대한 가뭄 영향을 정량적으로 평가하는 것이 가능할 것으로 판단된다.

## 사 사

본 연구는 농림축산식품부의 농촌개발시험연구사업과 국토교통부의 수요대응형 물공급서비스사업(과제명: 상시 가뭄지역의 지하수 최적 공급관리를 위한 IoT 기반 인공함양 및 Well Network 기술 개발)의 지원에 의해 이루어졌습니다.

## References

- Bloomfield, J.P. and Marchant, B.P., 2013, Analysis of groundwater drought building on the standardised precipitation index approach, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, **17**, 4769-4787.
- Kumar, R., Musuza, J.L., Van Loon, A.F., Teuling, A.J., Barthel, 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.
- McEvoy, D. J., Huntington, J. L., Abatzoglou, J. T., and Edwards, L. M., 2012, An evaluation of multiscalar drought indices in Nevada and eastern California, *Earth Interact.*, **16**, 1-8.
- McKee, T. B., Doesken, N. J., and Leist, J., 1993, The relationship of drought frequency and duration time scales, 8th Conference on Applied Climatology, 17-22 January 1993, Anaheim, California, USA, p.179-184.
- Mishra, A. K. and Singh, V. P., 2010, A review of drought concepts, *J. Hydrol.*, **391**, 202-216.
- NDMC (National Drought Mitigation Center), 2018, <http://drought.unl.edu/droughtbasics/typesofdrought.aspx/> [accessed 18.05.21]
- RRI (Rural Research Institute, KRC), 2017, Development of Assessment Technology for Agricultural Drought using the Analysis of Real-time Groundwater Data, Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, p.263.
- Sheffield, J., Andreadis, K.M., Wood, E.F., and Lettenmaier, D.P., 2008, Global and continental drought in the second half of the twentieth century: Severity-Area-Duration analysis and temporal variability of large-scale events, *J. Climate*, **22**, 1962-1981.
- Shukla, S. and Wood, A.W., 2008, Use of a standardized runoff index for characterizing hydrologic drought, *Geophys. Res. Lett.*, **35**, L02405.
- Song, S.H., Lee, J.Y., and Yi, M.J., 2007, Evaluation of long-term data obtained from seawater intrusion monitoring network using variation type analysis, *J. Korean Earth Sci. Soc.*, **28**(4),



478-490.

Song, S.H., Yoo, S.H., and Bae, S.J., 2013, Regional drought assessment considering climate change and relationship with agricultural water in Jeju Island, *J. Environ. Sci. Int.*, **22**(5), 625-638.

Todd, D.K., 1980, *Groundwater Hydrology*, 2<sup>nd</sup> ED, John Wiley & Sons, NY, p.535.

Vincente-Serrano, S.M., Begueria, S., and Lopez-Moreno, J.I., 2010, A multiscale drought index sensitive to global warming:

The standardized precipitation evapotranspiration index, *J. Climate*, **23**, 1696-1718.

Vincente-Serrano, S.M. and Lopez-Moreno, J.I., 2005, Hydrological response to different time scales of climatological drought: an evaluation of the Standardized Precipitation Index in a mountainous Mediterranean basin, *Hydro. Earth Syst. Sci.*, **9**, 523-533.

Wilhite, D.A. and Glantz, 1985, Understanding the drought phenomenon: The role of definition, *Water Int.*, **10**(3), 111-120.