



## Development of the evaluation method for hydrological cycle soundness: application to Gyeongang stream watershed

Kim, Geon<sup>a</sup> · Lee, Jae-Beom<sup>b</sup> · Yang, Jeong-Seok<sup>c\*</sup>

<sup>a</sup>Master's Course, Department of Civil Engineering, Kookmin University, Seoul, Korea

<sup>b</sup>Ph.D Candidate, Department of Civil Engineering, Kookmin University, Seoul, Korea

<sup>c</sup>Professor, Department of Civil Engineering, Kookmin University, Seoul, Korea

Paper number: 21-064

Received: 17 August 2021; Revised: 3 September 2021; Accepted: 3 September 2021

### Abstract

In this study, a hydrological cycle soundness evaluation method was developed using monthly meteorological observation data. The Gyeongang stream watershed was divided into five sub-basins and eight criteria were established for hydrological cycle evaluation: the number of non-rainfall day, the number of non-rainfall day fluctuation, over 30 mm per day, over 30 mm per day fluctuation, average river level, average river level fluctuation, average groundwater level and average groundwater level fluctuation. Observation data were normalized and weights for evaluation by each sub-basin were calculated using the entropy method. The hydrological cycle soundness evaluation indices were calculated using TOPSIS applying the calculated weight value. As a result of the study, it was found that the hydrological cycle soundness was unstable in the Gyeongang-upstream from November to January, the Gyeongang-suwipyo from February to April, Gonjiam stream from April to May, and the Gyeongang-downstream from November to February. In this study, the developed technique is expected to serve as a quantitative basis for policy decision to recover hydrological cycle soundness.

**Keywords:** Hydrological cycle, Soundness, Entropy, TOPSIS, Gyeongang stream watershed

## 수문 순환 건전성 평가 기법 개발 : 경안천 유역 적용

김건<sup>a</sup> · 이재범<sup>b</sup> · 양정석<sup>c\*</sup>

<sup>a</sup>국민대학교 건설시스템공학부 석사과정, <sup>b</sup>국민대학교 건설시스템공학부 박사과정, <sup>c</sup>국민대학교 건설시스템공학부 교수

### 요지

본 연구에서는 월 단위 수문순환 관측자료를 이용하여 수문순환 건전성 평가 기법을 개발하였다. 경안천 유역을 다섯 개의 소유역으로 나누고 무강우 일수, 무강우 일수 변동폭, 일 30 mm 이상 강우 횟수, 일 30 mm 이상 강우 횟수 변동폭, 평균하천수위, 평균하천수위 변동폭, 평균지하수위, 평균지하수위 변동폭으로 8가지 수문순환 건전성 평가 기준을 정하였다. 관측값을 표준화를 하고 엔트로피 방법을 이용하여 각 소유역 별 가중치를 산정하였다. 산정된 가중치 값으로 TOPSIS를 이용하여 수문순환 건전성 평가 지수를 산정하였다. 연구결과 경안천 상류는 11 ~ 1월, 경안천 수위표는 2 ~ 4월, 곤지암천은 4 ~ 5월, 경안천 하류는 11 ~ 2월에 수문순환 건전성 불안정한 것으로 나왔다. 본 연구에서 개발 기법은 수문순환 건전성을 관리 방안을 수립하는 정책적 결정에 있어 정량적 근거가 될 수 있을 것으로 기대된다.

**핵심용어:** 수문순환, 건전성, 엔트로피, TOPSIS, 경안천 유역

\*Corresponding Author. Tel: +82-2-910-4289  
E-mail: jyang@kookmin.ac.kr (J.-S. Yang)

## 1. 서론

미래에는 인구와 산업발달이 증가함에 따라 산업활동이 더욱 활발해지면서 기후변화에 따라 지구온난화는 심해지고 동시에 이상기후 현상은 더욱 빈번히 발생할 것이다. 국내 환경평가 지원을 위한 지역 환경현황 분석 시스템 구축 및 운영 보고서(Bae *et al.*, 2020)에 따르면 인구가 증가함에 따라 대규모 토지개발이 이루어지며 개발로 인한 환경변화는 유역의 수문순환체계를 변화시키게 된다. 국내뿐만 아니라 전 세계적으로 이상기후 현상으로 폭우로 인한 홍수, 극단적인 가뭄, 폭설 등 여러 이상기후 현상이 발생하고 있다. Trenberth (1999)는 지구온난화로 대기의 증가된 온실 가스가 태양복사 에너지를 증가시키고 지표 수분의 증발을 증가시키게 되어 폭풍 규모의 폭우가 발생한다고 하였다. Kundzewicz (2008)는 수문순환과 기후변화는 밀접한 관계에 있으며, 기후변화의 정도와 속도는 계속해서 증가하게 되지만 수문순환의 경우는 따라가지 못한다고 하였다. 또한 이러한 이상기후 현상과 무분별한 개발로 인해 올바른 수문순환의 건전성을 기대하기 어려워지고 물 수요량에 대한 대응이 점점 더 어려울 것으로 예상된다.

수문순환 건전성 평가 관련 연구는 다양하게 수행되었다. Falkenmark (1997)는 세계 물 위기에 대처하여 농촌과 도시의 물 사용, 그러한 물을 동원하기 위한 수자원 관리 방안 그리고 사회적 통제 메커니즘의 요점을 구별하는 수문순환에 기초한 개념적 틀을 제공하였다. Fatichi (2010)는 수문순환의 모델링과 기후변화와의 관계를 바탕으로 상호작용을 연구하였으며, 더 나아가 생태수문과의 역학적 관계를 연구하였다. Choi *et al.* (2009)는 수문순환 건전성을 정량화된 지표로 표현하기 위하여 물순환 건전성을 평가할 수 있는 지표를 선별하는 한편, 이를 기초로 유역 물순환 건전성을 평가할 수 있는 방안을 제시하였다. 또한 Choi *et al.* (2011)는 도시환경개선계획 수립을 위하여 도시 물 순환 건전성을 위한 우수지와 침투기반 저류지의 복합설계기법을 제시하였다. Song *et al.* (2017)는 최근에 1950년 이후 한국, 중국, 일본의 식생변화 및 이에 따른 수문순환 변화 분석을 제시하여 대규모 지표수문모형과 다양한 토양, 토지이용, 식생, 기상 등의 자료를 이용하여 과거 장기간에 걸쳐 나타난 수문순환의 변화를 모의하였다. Lee and Kim (2019)는 기후변화에 대응하여 유역건전성 취약성 및 영향평가 전략으로 기후변화에 따른 유역건전성 및 수자원 취약성 평가와 그에 맞는 취약성 대응 전략을 수집하여 유역 단위 대응전략 수립 가이드라인을 만들었다. 수문순환 불안전함은 대규모의 산림파괴가 또한 수문순환의 특성을 크게

변화 시킨다. Song *et al.* (2017)은 북한에서 1990년대 이후 경제실패로 인해 대규모의 산림파괴가 이루어진 것으로 알려져 있으며, 이는 결과적으로 수문순환의 특성을 크게 변화시켰다. 우리나라도 지속적인 산업활동으로 인해 산림파괴가 된다면 수문순환의 특성이 크게 변동 될 것으로 예상된다. Lee and Kim (2012)는 기존 연구에서 녹색도시 개념을 검토하고 기존의 연구를 바탕으로 도시 및 단지수준에 적합한 물순환 계획요소들을 검토하였다.

이상기후 현상과 무분별한 개발로 인한 수문순환의 문제점들이 발생하고 있어 수문순환 건전성 평가가 필요하다. 기존 연구의 경우 수문순환의 변화 양상을 모의하고 대책 마련을 제시하였다. 본 연구는 수문순환 건전성 평가 기법을 개발하고 제시하여 현 상황의 수문순환 건전성 평가를 수행하였다. 도시하천 유역은 자연과 인공적인 요소의 이중적 구조를 가지고 끊임없이 물순환을 반복한다(Kim *et al.*, 2004). 마찬가지로 연구대상지인 경안천 유역은 우리나라 4대강중 하나인 한강을 본류로 하는 하천으로 경기도 광주시와 용인시를 지나 도십 및 농경지를 모두 아우르는 하천이다. 연구방법으로는 선정된 연구지역에서 평가기준 및 대상으로 가중치는 엔트로피방법을 산정된 가중치 값을 이용하여 수문순환 건전성 평가 지수를 TOPSIS방법을 이용하여 수문순환 건전성 평가 기법을 개발하였다.

## 2. 연구방법

### 2.1 연구순서

연구순서는 Fig. 1과 같이 진행하였으며, 경안천 유역 수문순환 건전성 평가 기법 개발을 위하여 우선은 연구를 위한 기초자료들을 수집하였다. 자료들은 국가수자원관리종합정보시스템(Water Resources Management Information System, WAMIS), 물환경정보시스템(Water Environment Information System, WEIS), 국가지하수정보센터(National Groundwater Information Center, GIMS) 등에서 자료들을 수집하였다. 수집된 자료의 추세를 이용한 평가기준을 마련하여 각 관측소 관측자료의 변동특성을 확인하고 연구진행에 이용하고자 하였다. 평가기준으로는 첫 번째로 강수량자료를 이용하여 가뭄과 호우로 인한 수문순환 불균형을 알기 위해 무 강우 일수(The number of Non-Rainfall Day, NRD), 무 강우 일수 변동폭(The number of Non-Rainfall Day Fluctuation, NRDF), 일 30 mm 이상 횟수(O30, Over 30 mm per day), 일 30 mm 이상 횟수 변동폭(O30F, Over 30 mm per day Fluctuation)을 평가

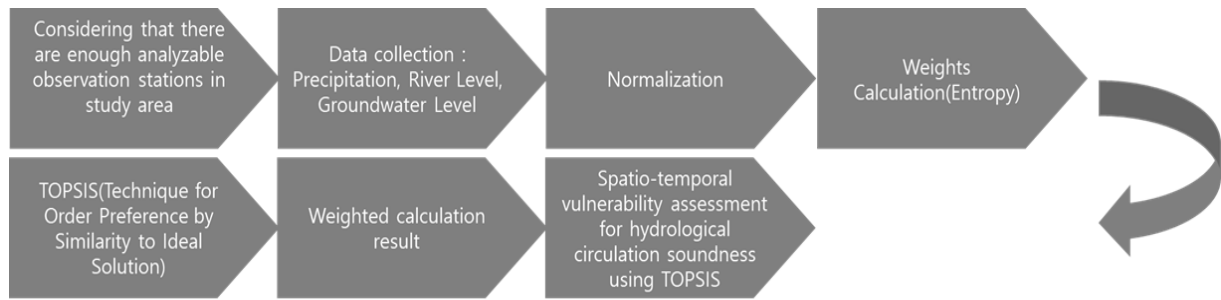


Fig. 1. Procedure of this study

Table 1. Data collection

Case	Data	Sources
1	Precipitation	WAMIS, WEIS
2	River Level	
3	Groundwater Level	GIMS

기준을 정하였다. 두 번째로 하천수위와 지하수위의 변화로 인한 수문순환 불균형을 알기 위해 평균하천수위(Average River Level, RL), 평균하천수위 변동폭(Average River Level Fluctuation, RLF), 평균지하수위(Average Groundwater Level, GWL), 평균지하수위 변동폭(Average Groundwater Level Fluctuation, GWLF)을 정하여 총 8가지 수문순환 건전성 평가 기준을 정하여 선정하였다. 본 연구에서는 수문순환 건전성을 과거 대비 현재의 수문순환 요소가 얼마나 안정적인 거동을 하는지로 정의하였다. 본 연구의 최종목표인 수문순환 건전성 평가 기법 개발을 위한 평가방법으로는 가중치 산정방법중 하나인 엔트로피 방법을 이용하여 월 단위 자료를 평가 기준들 값의 가중치를 산정하였다. 산정된 각각의 평가기준의 가중치 값을 거리 산정에 따른 방법중 하나인 TOPSIS 방법을 이용하여 수문순환 건전성 평가 지수를 산정하여 수문순환 건전성 평가 기법을 개발하였다.

### 2.2 자료수집

경안천 유역 특성 파악 및 수문순환 구조를 평가하기 위하여 유역에 포함되는 행정구역인 경기도 용인시와 광주시에 있는 관측소의 자료(강수량, 하천수위, 지하수위)를 수집 하였다. 강우자료와 하천수위자료 및 지하수위자료 모두 2010년 ~ 2019년 자료까지 활용하였다. 유역내에 있는 관측자료와 더불어 강수의 경우 면적 평균 강수량을 소유역 별로 적용하기 위해 연구지역 인근의 강우관측소 관측자료를 수집하였다. Table 1은 위에서 언급한 자료들을 수집한 출처이다.

### 2.3 표준화(Normalization)

다기준 의사결정 기법을 이용하기 위하여 각각의 평가 기준에 적용되는 자료의 종류에 따라 단위나 자료 특성이 상이하기 때문에 수문순환 건전성 평가 시 자료를 표준화 하였다. 적용하는 다기준 의사 결정 방법에 따라 표준화 방법이 다양하게 적용되는데 본 연구에서는 수문순환 관측자료들을 이용하여 연구를 진행하게 되는데 다양한 표준화 방법 중 연구진행에 적합한 자료의 범위를 기반으로 하는 범위 표준화 방법(Nardo *et al.*, 2005)을 이용하였다.

$$r_{ij} = \frac{x_{ij} - \min_i(x_{ij})}{\max_i(x_{ij}) - \min_i(x_{ij})}, i = 1, 2, \dots, n, j \in Ideal \quad (1a)$$

$$r_{ij} = \frac{\max_i(x_{ij}) - x_{ij}}{\max_i(x_{ij}) - \min_i(x_{ij})}, i = 1, 2, \dots, n, j \in Worst \quad (1b)$$

여기서,  $x$ 는 관측값,  $r$ 은 선정된 가중치 값을 나타낸다.  $i$ 는 수문순환 건전성을 평가하는 각각의 인자이고  $n$ 은 1월부터 12월까지를 나타내며,  $j$ 는 평가 대상이며, 본 연구에서는 Eq. (1a)은 각 평가 대상 값이 작을수록 수문순환 건전성이 불안할 때를 나타낼 때, Eq. (1b)는 각 평가 대상 값이 클수록 수문순환 건전성이 불안할 때를 나타낼 때 이용하였다.

### 2.4 가중치 산정

다기준 의사 결정 방법을 이용하여 대안 간의 평가를 위해서는 각각의 가중치 산정이 필요하다. 본 연구에서 개발하고자 하는 수문순환 건전성 평가 기법은 다양한 인자에 대한 가중치를 산정해야 하는데 주어진 자료 간의 차이를 나타내는 엔트로피 방법을 이용하였다. 엔트로피는 어떠한 체계 내에서 그 신호에 대한 정보를 수치로 나타내는 것이므로 엔트로피가 크다는 것은 그 지점에서의 불확실성의 감소 정도가 큼을 뜻하고, 같은 유역 내에서 받아지는 동일 신호에 대해 정보의 양

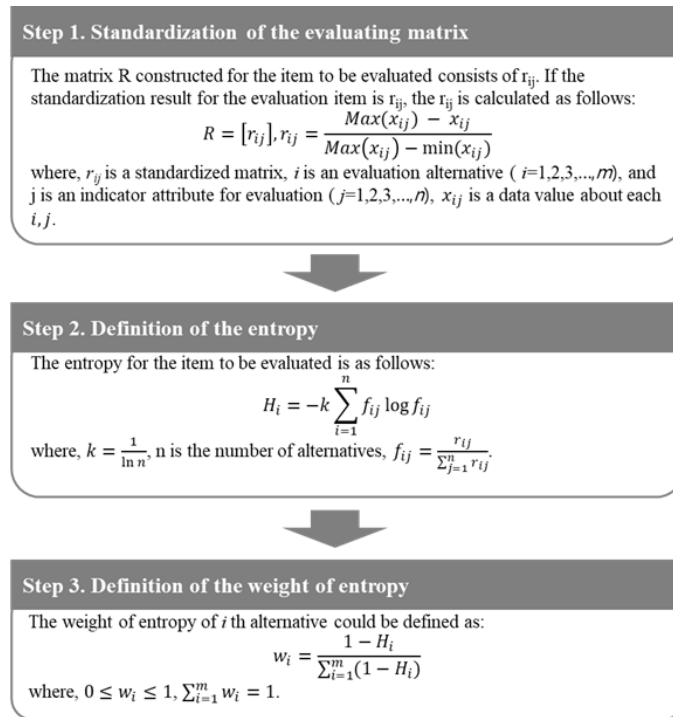


Fig. 2. Procedure of entropy method

이 많이 있다는 것을 의미한다(Shannon and Weaver, 1949). 가중치 결정에 있어 엔트로피 방법을 이용하여 관측소 별 관측 기간에 따른 추세에 대한 가중치를 결정하였다. 엔트로피의 적용은 Fig. 2와 같다(Shannon and Weaver, 1949).

수문순환 건전성 평가를 위해 엔트로피 방법을 이용하여 가중치를 산정하였다. 수문순환 건전성 평가 기준을 상대적인 크기를 나타내는 값을 가중치로 적용하기 위해 표준화 방법을 이용하고, 표준화 방법을 통해 0~1의 범위로 산정되는 값을 해당 평가기준간의 가중치 값으로 결정한다.

**2.5 TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Soutlion)**

본 연구는 수문순환 건전성 평가 지수를 선정하기 위하여 Hwang and Yoon (1981)이 제시한 TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Soutlion)를 이용하였다. TOPSIS방법은 양의 이상적인 해(Positive Ideal Solution)와 부의 이상적인 해(Negative Idela Solution)의 거리를 통해 대안을 선정하는 기법으로 대안 별 거리를 통하여 이상적인 해를 찾는 방법이며 기후변화에 따른 다양한 수자원 문제 해결 등의 문제 해결에 활용되고 있다. TOPSIS방법을 적용하는 과정은 다음과 같다.

$$RC_i^+ = \frac{S_i^-}{S_i^+ + S_i^-}, i = 1, 2, \dots, n \tag{2}$$

여기서  $i$ 는 평가대상으로 본 연구에서는 월 기준으로 하여  $n$ 은 1월부터 12월까지를 나타내며  $S_i^+$ 는 양의 이상적인 해,  $S_i^-$ 는 부의 이상적인 해,  $RC_i^+$ 는 수문순환 건전성 평가 지수를 나타낸다.  $RC_i^+$ 는  $0 \leq RC_i^+ \leq 1$ 의 범위를 따르며  $RC_i^+ = 0$ 이면  $S_i^- = 0$ 을 의미하며, 반대로  $RC_i^+ = 1$ 이면  $S_i^+ = 0$ 을 의미한다. 본 연구에서는  $RC_i^+$  값 즉 수문순환 건전성 평가 지수 값이 클수록 수문순환이 불안정하다는 것을 의미하며 연구 결과를 도출하였다. Fig. 3은 TOPSIS 방법 적용 순서도 이다(Chung et al., 2017).

**3. 연구지역**

본 연구에서 선정한 연구지역은 한강의 지류 하천중 경기도 광주시와 용인시를 흐르는 경안천 유역을 선정하였다. 자료수집으로는 선정된 연구지역 내의 강수량, 하천수위, 지하수위 자료를 수집하였다. 더 나아가 선정된 연구지역에 영향을 줄 수 있는 연구지역 인근의 강수량, 지하수위 관측자료들

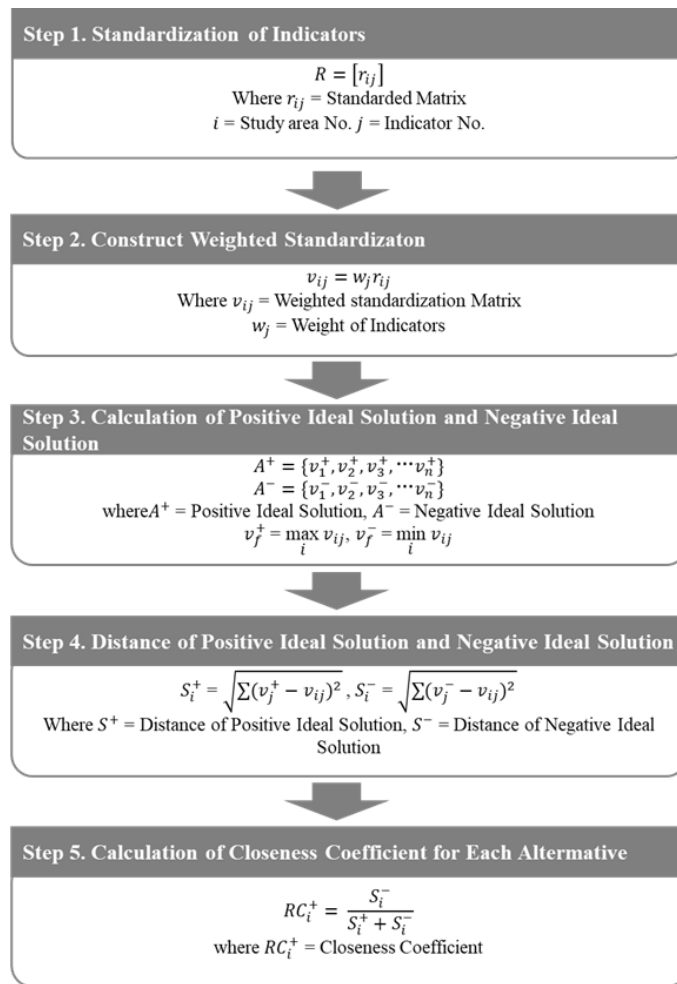


Fig. 3. Procedure of TOPSIS method

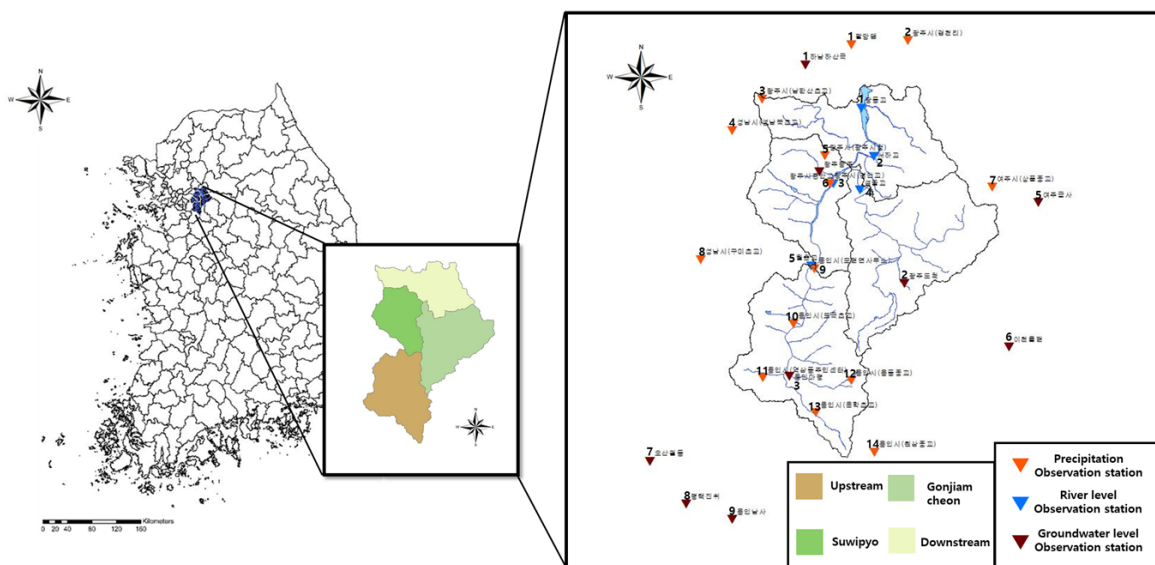


Fig. 4. Study area

을 수집하였다. Fig. 4는 연구지역을 나타낸 것이며, 연구지역 외에 수집한 인근의 관측소도 나타냈다. 본래 경안천 유역을 소유역으로 나누면 경안천 상류, 경안천 수위표, 곤지암천, 오산천, 경안천 하류로 총 5개의 소유역으로 나누어지지만 본 연구에서 오산천 권역은 직접적인 영향을 주는 권역내 지하수

**Table 2.** Lists of selected observation station

(a) Precipitation observation station

No.	Precipitation observation station	Data length (year)	Reference
1	Geomcheon-ri	2010-2019	WAMIS, WEIS
2	Paldang Dam		
3	Namhansan Elementary School		
4	Seongnambuk Elementary School		
5	Gwangju City Hall		
6	Gyeongan-gyo		
7	Sangpung Middle School		
8	Gumi Elementary School		
9	Mohyeonmyeon Office		
10	Pogok Elementary School		
11	Yeoksam-dong Community Center		
12	Yongdong Middle School		
13	Unhak Elementary School		
14	Wonsam Middle School		

(b) River level observation station

No.	River level gauge station	Data length (year)	Reference
1	Gwangdongg-yo	2010-2019	WAMIS, WEIS
2	Seoha-gyo	2014-2019	
3	Gyeongan-gyo	2010-2019	
4	Seomtteul-gyo		
5	Wolchon-gyo	2012-2019	

(c) Groundwater level observation station

No.	Groundwater level gauge station	Data length (year)	Reference
1	Gwangju Gwangju	2010-2019	GIMS
2	Gwangju Docheok	2012-2019	
3	Yongin Mapyeong	2010-2019	
4	Hanam Hasangok		
5	Yeosu Geumsa		
6	Icheon Yulhyeon		
7	Osan Gwoldong		
8	Pyeongtaek Jinwi		
9	Yongin Namsa		

위 관측소가 부재하여 오산천 권역은 빼도록 하였다. 오산천 권역을 제외한 나머지 4개의 권역에서 강수량 관측자료는 유역안에 있는 관측소와 유역 인근 관측소를 합쳐 14개의 관측소 자료를 수집하였고, 수위 관측자료는 총 5개의 관측소 자료, 지하수위 관측 자료는 9개의 관측소 자료를 수집하였다. Table 2는 본 연구에서 선정된 강수량, 하천수위, 지하수위 관측소 목록이다.

## 4. 연구결과

### 4.1 가중치 산정 결과

앞서 모은 자료 강수량, 하천수위, 지하수위를 고려한 수문순환 건전성 평가를 위한 가중치를 산정하였다. 월 단위로 각 수문순환 건전성 평가 기준을 1~12월 대상으로 연구를 진행하였다. 경안천 유역의 각 소유역 별 가중치 산정에 앞서 각 소유역 별로 해당 관측소의 관측자료 값을 정리하였다. 강수량의 경우 소유역내에 있는 관측 자료와 소유역 인근의 관측 자료와 함께 면적 평균 강수량을 Thiessen법을 이용하여 계산하였다. 정리된 자료를 각 소유역 별로 가중치 산정을 위한 표준화를 진행하였다. 표준화를 진행에 앞서 각 평가 기준별로 편익, 비용을 구분하였다. 본 연구에서는 평균하천수위와 평균지하수위를 편익, 평균하천수위와 평균지하수위를 제외한 나머지 평가 기준을 비용으로 선정하였다. Tables 3~6는 수집된 자료의 표준화 결과 이다.

표준화된 평가 대상에 대하여 엔트로피 방법을 이용하여 가중치를 산정하였다. Table 7은 표준화한 자료들을 엔트로피 방법을 이용한 가중치 값을 나타낸 것이다.

### 4.2 TOPSIS 적용 결과

앞서 엔트로피 방법을 이용하여 가중치를 산정된 값을 이용하여 TOPSIS 방법을 적용하였다. 표준화된 각 평가 기준 값에 앞서 엔트로피 방법으로 선정한 가중치 값을 서로 곱해주었다. 계산된 값으로 최댓값과 최솟값을 이용하여 각 소유역 별로 수문순환 건전성 평가 기준을 1~12월 대상으로 수문순환 건전성 평가 지수를 선정하였다. Table 8은 TOPSIS 방법을 이용한 수문순환 건전성 평가 지수를 나타낸 것이다.

TOPSIS 방법을 이용하여 최종적으로 도출된 수문순환 건전성 평가 지수로 각 소유역 별 1~12월까지의 그림을 표현하여 나타내었다. 연구결과 경안천 하류의 경우 대체적으로 무강우 일수가 많고 무강우 일수 변동폭이 큰 겨울철인 11~2월에 수문순환 건전성 평가 지수가 높게 나왔다. 경안천 수위표

**Table 3.** Gyeongan-upstream normalization value

N	NRD	NRDF	O30	O30F	RL	RLF	GWL	GWLF
1	0.000	0.913	1.000	1.000	0.000	1.000	0.096	0.930
2	0.273	0.690	0.933	0.901	0.040	0.779	0.000	0.846
3	0.218	0.744	0.961	0.828	0.066	0.935	0.086	0.559
4	0.562	0.753	0.859	0.675	0.137	0.964	0.509	0.325
5	0.310	1.000	0.776	0.741	0.341	0.708	0.903	0.334
6	0.421	0.943	0.691	0.172	0.190	0.695	0.744	0.205
7	1.000	0.180	0.000	0.064	1.000	0.000	1.000	0.000
8	0.874	0.000	0.346	0.000	0.836	0.520	0.938	0.485
9	0.471	0.506	0.615	0.334	0.492	0.873	0.951	0.690
10	0.184	0.856	0.831	0.745	0.256	0.374	0.541	0.864
11	0.573	0.951	0.928	0.760	0.184	0.556	0.389	0.786
12	0.299	0.912	0.987	0.963	0.142	0.858	0.380	1.000

**Table 4.** Gyeongan-Suwipyo normalization value

N	NRD	NRDF	O30	O30F	RL	RLF	GWL	GWLF
1	0.000	0.808	1.000	1.000	0.298	0.914	0.000	0.702
2	0.302	0.972	0.961	0.892	0.968	0.531	0.038	0.957
3	0.270	0.702	0.955	0.798	1.000	0.000	0.260	0.818
4	0.587	0.864	0.890	0.863	0.660	0.057	0.366	0.672
5	0.328	0.978	0.840	0.800	0.330	0.263	0.406	1.000
6	0.453	0.908	0.763	0.359	0.270	0.256	0.262	0.962
7	1.000	0.214	0.000	0.000	0.009	0.662	0.963	0.101
8	0.887	0.000	0.402	0.628	0.000	0.870	1.000	0.328
9	0.470	0.694	0.703	0.100	0.013	1.000	0.798	0.816
10	0.236	0.783	0.881	0.859	0.014	0.981	0.440	0.373
11	0.530	1.000	0.948	0.710	0.048	0.990	0.288	0.000
12	0.246	0.811	0.999	0.997	0.286	0.904	0.180	0.324

**Table 5.** Gonjam-stream normalization value

N	NRD	NRDF	O30	O30F	RL	RLF	GWL	GWLF
1	0.000	0.769	1.000	1.000	0.030	0.000	0.161	0.545
2	0.324	0.991	0.952	0.965	0.000	0.175	0.050	0.554
3	0.253	0.644	0.967	0.844	0.202	0.417	0.327	0.629
4	0.555	0.837	0.898	0.831	0.340	0.049	0.987	0.775
5	0.340	0.942	0.830	0.873	0.535	0.410	0.578	0.792
6	0.420	0.818	0.770	0.442	0.400	0.393	0.161	0.682
7	1.000	0.181	0.000	0.000	1.000	0.987	1.000	1.000
8	0.860	0.000	0.400	0.370	0.810	1.000	0.502	0.878
9	0.474	0.680	0.712	0.353	0.516	0.947	0.144	0.917
10	0.204	0.827	0.872	0.828	0.082	0.700	0.000	0.464
11	0.533	1.000	0.946	0.821	0.181	0.408	0.351	0.284
12	0.249	0.829	1.000	1.000	0.174	0.427	0.782	0.000

Table 6. Gyeongan-downstream normalization value

N	NRD	NRDF	O30	O30F	RL	RLF	GWL	GWLF
1	0.000	0.889	1.000	1.000	0.641	0.983	0.000	0.664
2	0.324	0.970	0.973	0.908	0.591	0.760	0.036	0.714
3	0.277	0.734	0.959	0.821	0.770	0.317	0.303	0.677
4	0.595	0.941	0.905	0.922	0.485	0.000	0.421	0.417
5	0.360	1.000	0.852	0.819	0.370	0.244	0.260	0.903
6	0.494	0.807	0.743	0.427	0.000	0.964	0.084	0.950
7	1.000	0.271	0.000	0.000	0.856	0.415	0.827	0.000
8	0.910	0.000	0.427	0.632	1.000	0.810	1.000	0.682
9	0.489	0.695	0.698	0.108	0.749	0.447	0.829	0.965
10	0.256	0.699	0.881	0.819	0.689	0.725	0.328	1.000
11	0.528	0.996	0.953	0.748	0.880	1.000	0.396	0.406
12	0.239	0.769	0.996	0.991	0.816	0.648	0.472	0.845

Table 7. Weight value

Weight	NRD	NRDF	O30	O30F	RL	RLF	GWL	GWLF
Upstream	0.117	0.193	0.224	0.087	0.013	0.191	0.073	0.102
Suwipyo	0.113	0.182	0.206	0.129	0.132	0.096	0.062	0.081
Gonjiam stream	0.100	0.179	0.220	0.169	0.020	0.129	0.044	0.139
Downstream	0.091	0.156	0.172	0.106	0.250	0.078	0.024	0.123

Table 8. Hydrological cycle soundness evaluation value

Month	Gyeongan Downstream		Gyeongan Suwipyo		Gonjiam Stream		Gyeongan Upstream	
	Value	Rank	Value	Rank	Value	Rank	Value	Rank
1	0.736	4	0.665	6	0.610	9	0.780	2
2	0.740	3	0.782	1	0.684	4	0.688	7
3	0.700	6	0.672	3	0.655	6	0.699	6
4	0.637	10	0.687	2	0.708	2	0.718	4
5	0.651	7	0.666	5	0.732	1	0.707	5
6	0.538	11	0.574	9	0.593	10	0.612	10
7	0.399	12	0.284	12	0.462	12	0.244	12
8	0.644	9	0.436	11	0.526	11	0.408	11
9	0.645	8	0.550	10	0.651	8	0.633	9
10	0.730	5	0.614	8	0.656	5	0.640	8
11	0.804	1	0.647	7	0.690	3	0.741	3
12	0.788	2	0.671	4	0.655	7	0.811	1

의 경우 평균하천수위와 평균지하수위가 낮은 2~4월에 수문순환 건전성 평가 지수가 높게 나왔다. 곤지암천 경우 4~5월에 가장 수문순환 건전성 평가 지수가 가장 높게 나왔다. 평균지하수위는 높지만 평균지하수위 변동폭과 무강우 일수 변동폭이 높은 것으로 확인되었으며 하천 주위에 논과 밭이 많은 것으로 확인되었다. 경안천 상류의 경우 11~1월에 수문순환

건전성 평가 지수가 높게 나왔다. 무강우 일수의 변동폭이 크고 평균하천수위와 평균지하수위가 낮은 것으로 확인되었다. Fig. 5는 1~12월까지의 각 소유역 별 수문순환 건전성 평가 지수를 나타낸 것이다.



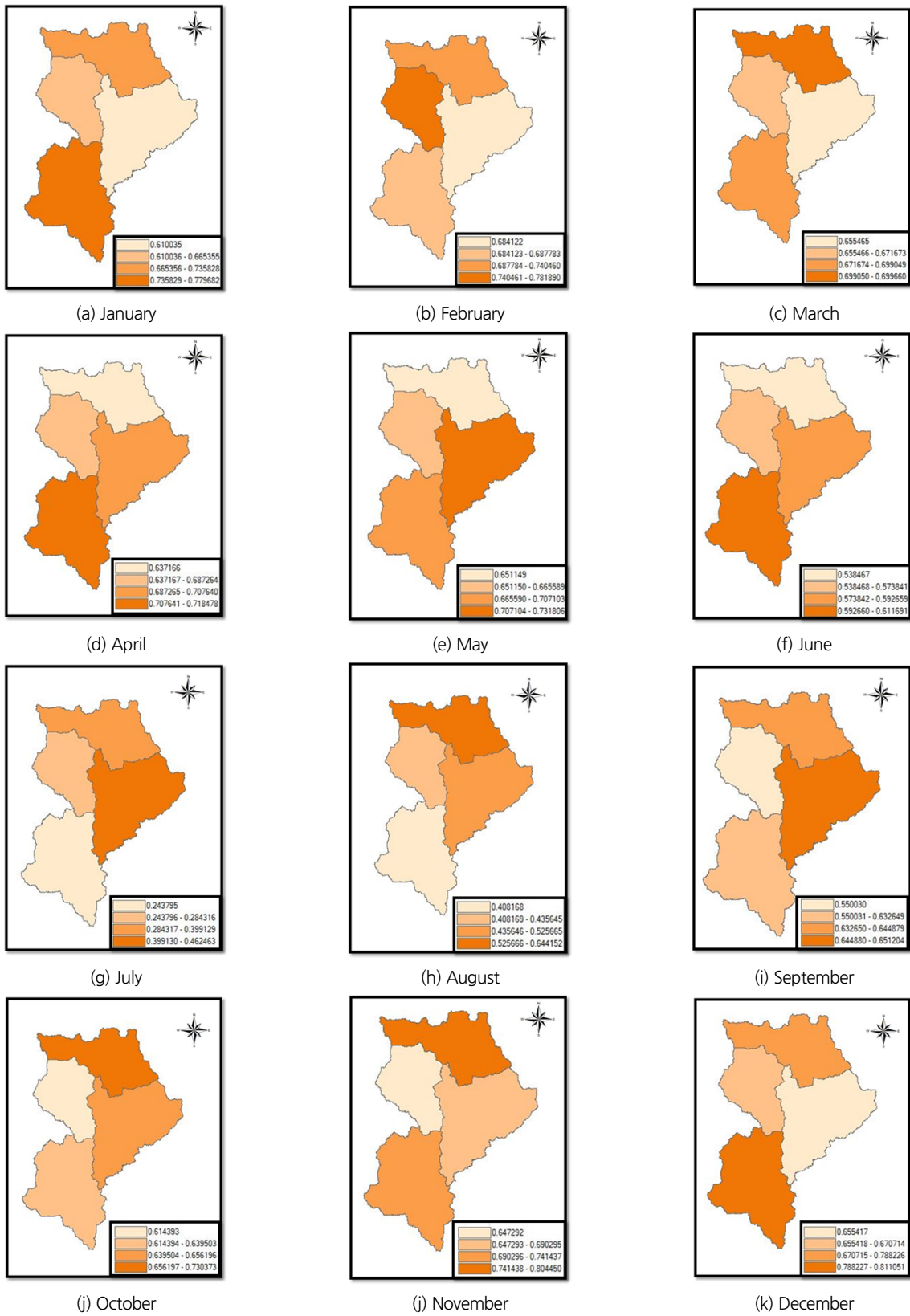


Fig. 5. Monthly results

## 5. 결론

지구온난화 및 이상기후현상 등 다양한 재난 재해로 인한 피해가 커짐에 따라 수문순환 건전성 평가는 중요한 요소로 자리매김중이다. 이에 본 연구는 경안천 유역을 대상으로 월 단위 수문순환 관측자료들을 이용하여 수문순환 건전성 평가 기법을 개발하였다. 연구지역 내의 강우량, 하천수위, 지하수위 관측소를 선정하여 수집하였고, 더 나아가 연구지역 인근의 강우량 관측소와 지하수위 관측소를 추가적으로 선정하여 자료를 수집하였다.

본 연구 진행은 월 단위로 진행하게 되는데 관측자료중 일 단위 관측 자료들 경우 일 단위 관측 자료를 수집하고 월 평균을 내어 연구를 진행하였다. 자료의 범위는 2010년부터 2019년까지 10년간의 자료를 수집하였고, 평가기준으로는 무 강우 일수, 무 강우 일수 Slope 절대값, 일 30 mm 이상 강우 횟수, 일 30 mm 이상 강우 횟수 Slope 절대값, 평균하천수위, 평균하천수위 Slope 절대값, 평균지하수위, 평균지하수위 Slope 절대값으로 8가지 기준을 정하였다. 8가지 기준을 1~12월 1년 12개월을 대상으로 연구를 진행하였다.

수문순환 건전성 평가를 위해 본 연구는 취약성 평가가 필요하게 되는데 취약성 평가를 위한 가중치 산정을 먼저 진행하였다. 가중치 산정 방법은 엔트로피방법을 이용하였고, 가중치 산정에 앞서 각 수집된 관측자료 값을 표준화를 진행하였다. 선정된 가중치 값은 TOPSIS 방법을 이용하여 수문순환 건전성 평가 지수를 계산하였으며, 이 수문순환 건전성 평가 지수가 클수록 수문순환 건전성이 불안정하다고 결론을 내렸다. 평가결과 경안천 하류의 경우 대체적으로 무 강우 일수가 많고 무 강우 일수 변동폭이 큰 겨울철인 11~2월에 수문순환 건전성 평가 지수가 높게 나왔다. 경안천 수위표의 경우 평균하천수위와 평균지하수위가 낮은 2~4월에 수문순환 건전성 평가 지수가 높게 나왔다. 곤지암천 경우 4~5월에 가장 수문순환 건전성 평가 지수가 가장 높게 나왔다. 평균지하수위는 높지만 평균지하수위 변동폭과 무 강우 일수 변동폭이 높은 것으로 확인되었으며 하천 주위에 논과 밭이 많은 것으로 확인되었다. 경안천 상류의 경우 11~1월에 수문순환 건전성 평가 지수가 높게 나왔다. 무 강우 일수의 변동폭이 크고 평균하천수위와 평균지하수위가 낮은 것으로 확인되었다.

본 연구는 수문순환의 변화 양상을 모의하고 대책 마련 제시 위주의 기존 연구들과 달리 필요할 시기에 바로 수행이 가능한 수문순환 건전성 평가 기법을 제시하였다. 개발된 수문순환 건전성 평가 기법을 이용하여 상대적으로 높은 지수가 나왔던 월을 알게 된다면 해당되는 월에는 미리 수문순환 불

균형을 방지할 계획을 세운다면 효과적인 수문순환 균형을 이룰 것으로 전망된다. 또한 개발된 수문순환 건전성 평가 기법을 이용하여 수문순환 균형을 위한 방지 대책을 수립하기 전 후를 비교하여 보기 쉽게 대책 효과를 눈으로 확인할 수 있을 것으로 전망된다.

이번 연구에서는 경안천 유역의 수문순환 요소의 관측값을 기준으로 수문순환 건전성 평가 지수를 파악하여 건전성 평가를 제시하였지만 경안천 유역 관측소가 많지 않아 향후 관측소가 확충되면 더 정확한 수문순환 건전성 평가 연구를 수행할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 이후 연구에서 제시한 기법으로 경안천 유역뿐만 아니라 전국단위로 평가가 이루어질 것으로 기대된다. 평가 항목으로 강우량, 하천수위, 지하수위와 같은 수문순환 관측자료를 이용하여 연구 수행을 하였지만 토지피복도, 급수량, 지하수이용량 등 수문순환에 영향을 주는 더 다양한 인자들을 적용하여 향후 수문순환 건전성 평가 기법을 제시할 수 있을 것으로 기대된다. 기존의 수문순환 변동 양상 및 대책 마련 연구들과 함께 본 연구에서 제시된 평가 방법을 이용할 경우 수문순환 불균형에 대응할 수 있는 정책을 적용하여 보다 효율적이고 안정적인 수자원 관리를 할 수 있을 것으로 기대된다.

## 감사의 글

본 연구는 2021년도 한강수계관리위원회 환경기초조사 사업의 지원을 받아 수행된 연구입니다.

## References

- Bae, Y.J., Lee, Y.J., Jeong, B.U., and Jeong, H.C. (2020). *Korean Climate Change Assessment Report 2020*.
- Choi, C.H., Choi, D.G., Lee, J.K., and Kim, S.D. (2011). "An hybrid approach for designing detention and infiltration-based retentions to promote sound urban hydrologic cycle." *Journal of Korean Society of Environmental Engineers*, Vol. 33, No. 1, pp. 1-8.
- Choi, W.H., Sin, J.W., Choi, M.H., and Park, H.Y. (2009). "A study of index and method for estimating the rate of rehabilitated hydrological cycle." *Proceedings of Korea Society of Civil Engineers Conference*, KSCE, pp. 2114-2117.
- Chung, E.S., Abdulai, P.J., Park, H., Kim, Y., Ahn, S.R., and Kim, S.J. (2017). "Multi-criteria assessment of spatial robust water resource vulnerability using the TOPSIS method coupled with objective and subjective weights in the Han River basin." *Sustainability*, Vol. 9, No. 1, p. 29.

- Falkenmark, M. (1997). "Society's interaction with the water cycle: A conceptual framework for a more holistic approach." *Hydrological Sciences Journal*, Vol. 42, No. 4, pp. 451-466.
- Faticchi, S. (2010). *The modeling of hydrological cycle and its interaction with vegetation in the framework of climate change*. Ph. D dissertation, University of Firenze, Florence, Italy, pp. 247-278.
- Hwang, C.L., and Yoon, K. (1981). *Methods for multiple attribute decision making*. In *Multiple attribute decision making*, Springer, Berlin, Heidelberg. pp. 58-191.
- Kim, H.J., Kim, D.P., Jung, I.M., Hong, I.P., Jang, C.H., and Noh, S.J. (2004). "Water balance analysis in the Cheonggyecheon watershed by observation data." *Proceedings of the Korea Water Resources Association Conference*, KWRA, pp. 620-623.
- Kundzewicz, Z.W. (2008). "Climate change impacts on the hydrological cycle." *Ecohydrology & Hydrobiology*, Vol. 8, No. 2-4, pp. 195-203.
- Lee, J.M., and Kim, J.L. (2012). "The urban water cycle planning elements and hydrologic cycle simulation for green city." *LHI Journal of Land, Housing, and Urban Affairs*, Vol. 3, No. 3, pp. 271-278.
- Lee, J.W. and Kim, S.J. (2019). "Watershed management sector climate change watershed vulnerability and impact assessment strategy." *KSCE magazine*, Vol. 67, No. 8, p. 10.
- Nardo, M., Saisana, M., Saltelli, A., and Tarantola, S. (2005). "Tools for composite indicators building." *European Commission, Ispra*, Vol. 15, No. 1, pp. 19-20.
- Shannon, C.E. and Weaver, W. (1949). *The mathematical theory of communication*. University of Illinois Press, London and New York, U.S.
- Song, S.U., Cho, E., and Yoo, C. (2017). "Analysis of change in hydrological cycles of South Korea, China and Japan due to the change of their vegetation since 1950." *Journal of Wetlands Research*, Vol. 19, No. 4, pp. 470-483.
- Song, S.U., Lee, J., Cho, E., and Yoo, C. (2017). "Comparative evaluation of hydrological cycle in South and North Korea using a land surface model." *Journal of Wetlands Research*, Vol. 19, No. 1, pp. 16-29.
- Trenberth, K.E. (1999). "Conceptual framework for changes of extremes of the hydrological cycle with climate change." *Climate Extremes*, Vol. 42, pp. 327-339.