



Analysis of domestic water usage patterns in Chungcheong using historical data of domestic water usage and climate variables

Kim, Min Ji^a · Park, Sung Min^b · Lee, Kyungju^c · So, Byung-Jin^d · Kim, Tae-Woong^{e*}

^aPh.D. Student, Department of Smart City Engineering, Hanyang University, Seoul, Korea

^bPh.D. Student, Department of Civil and Environmental System Engineering, Hanyang University, Seoul, Korea

^cPh.D. Student, Department of Civil and Environmental System Engineering, Hanyang University, Seoul, Korea

^dResearch Professor, Research Institute of Engineering Technology, Hanyang University, Ansan, Korea

^eProfessor, Department of Civil and Environmental Engineering, Hanyang University, Ansan, Korea

Paper number: 23-095

Received: 16 November 2023; Accepted: 7 December 2023

Abstract

Persistent droughts due to climate change will intensify water shortage problems in Korea. According to the 1st National Water Management Plan, the shortage of domestic and industrial waters is projected to be 0.07 billion m³/year under a 50-year drought event. A long-term prediction of water demand is essential for effectively responding to water shortage problems. Unlike industrial water, which has a relatively constant monthly usage, domestic water is analyzed on monthly basis due to apparent monthly usage patterns. We analyzed monthly water usage patterns using water usage data from 2017 to 2021 in Chungcheong, South Korea. The monthly water usage rate was calculated by dividing monthly water usage by annual water usage. We also calculated the water distribution rate considering correlations between water usage rate and climate variables. The division method that divided the monthly water usage rate by monthly average temperature resulted in the smallest absolute error. Using the division method with average temperature, we calculated the water distribution rates for the Chungcheong region. Then we predicted future water usage rates in the Chungcheong region by multiplying the average temperature of the SSP5-8.5 scenario and the water distribution rate. As a result, the average of the maximum water usage rate increased from 1.16 to 1.29 and the average of the minimum water usage rate decreased from 0.86 to 0.84, and the first quartile decreased from 0.95 to 0.93 and the third quartile increased from 1.04 to 1.06. Therefore, it is expected that the variability in monthly water usage rates will increase in the future.

Keywords: Water usage pattern, Water distribution ratio, Domestic water demand, SSP scenarios

생활용수 실적자료와 기후 변수를 활용한 충청권역 생활용수 이용량 패턴 분석

김민지^a · 박성민^b · 이경주^c · 소병진^d · 김태웅^{d*}

^a한양대학교 대학원 스마트시티공학과 박사과정, ^b한양대학교 대학원 건설환경시스템공학과 박사과정,

^c한양대학교 대학원 건설환경시스템공학과 박사과정, ^d한양대학교(ERICA) 공학기술연구소 연구조교수, ^e한양대학교(ERICA) 건설환경공학과 교수

요 지

우리나라는 기후변화의 영향으로 지속되는 가뭄으로 인해 물 부족 문제가 심화되고 있다. 제1차 국가물관리기본계획에 따르면, 생활 및 공업용수 부족량은 과거 최대 가뭄빈도(50년) 기준으로 0.07억 m³/년으로 전망되고 있다. 이러한 물 부족 문제에 효과적으로 대응하기 위해서는 장기적인 용수 수요 전망이 필수적이다. 공업용수의 경우 월별 사용량이 비교적 일정하지만, 생활용수의 경우 월별 패턴이 뚜렷하기 때문에 연단위 분석이 아닌 월단위 분석을 수행해야 한다. 본 연구는 충청권역을 대상으로 2017~2021년의 월별 용수 이용량 자료에 대해 패턴을 분석하고, 기후 변수와의 상관성을 이용하여 용수 분배 비율을 계산하였다. 그 결과 월별 생활용수 이용량을 연 이용량으로 나눈 월별 용수 이용률을 다시 평균기온으로 나누는 방법으로 계산한 경우가 절대오차가 가장 작게 산정되었으며, 이를 활용하여 충청권역의 월별 분배 비율을 산정하였다. 또한 충청권역의 월별 분배 비율에 SSP5-8.5 시나리오의 평균기온을 곱해 충청권역의 미래 월별 용수 이용률을 전망하였다. 그 결과, 최댓값의 평균은 1.16에서 1.29로 증가하고 최솟값의 평균은 0.86에서 0.84로 감소하였으며, 1사분위수는 0.95에서 0.93으로 감소하고 3사분위수는 1.04에서 1.06으로 증가하였다. 따라서 미래에는 현재와 비슷한 패턴을 유지할 것으로 보이지만, 월별 용수 이용률의 변동성은 커질 것으로 예상된다.

핵심용어: 용수 이용 패턴, 용수 배분 비율, 생활용수 수요량, SSP 시나리오

*Corresponding Author. Tel: +82-31-400-5184

E-mail: twkim72@hanyang.ac.kr (Kim, Tae-Woong)

1. 서론

인구 증가, 경제 발전 등 다양한 원인으로 인한 물 수요는 증가하고 기후변화의 영향으로 가뭄 빈도와 심도의 증가는 수자원 감소로 이어지고 있다. 그 결과 세계 많은 국가에서 물 부족은 주요 도전 과제이다. 특히 물 부족은 기후변화로 인해 강수량이 감소하고 온도가 상승한 지역에서 더 심각하게 발생하고 있다. 우리나라의 경우, 과거 최대 가뭄빈도인 약 50년 기준으로 생·공용수의 물부족량은 0.07억 m³/년으로 전망되며, 일부 취약 지역(도서·해안, 접경지역, 지류 상류지역 등) 중심으로 기상 상황 등에 따라 하천유지유량 및 각종 용수가 부족할 가능성이 있다(Joint Ministries, 2021). 이로 인해 더 나은 급수 시스템 계획, 시스템 확장 실행, 수자원 개발 및 관리가 필요하게 되었고, 효율적인 수요 관리를 위한 정책 및 전략 개발에 대한 의사 결정에 도움을 줄 수 있는 미래의 장기적인 용수 수요의 전망은 필수적이다.

현재 국내외적으로 용수 수요량을 전망하는 다양한 연구가 진행되고 있다. 예를 들어, Avni *et al.* (2015)은 물 소비 특성에 관한 다양한 자료 표현 방법을 고려하여 월간 평균과 변동성 분석을 수행하였다. Rondinel-Oviedo and Samieto-Pastor (2020)은 물 사용 패턴과 기후 요인인 평균 강수량, 평균 기온, 가뭄지수를 대상으로 수자원 분배 개선에 필수적인 물 소비에 미치는 영향을 분석하였으며, 그 결과 기온 및 강수량은 물 소비량과 밀접한 연관성을 가지는 것으로 나타났다. Niknam *et al.* (2022)는 2010년부터 2021년까지 용수 수요 예측과 관련된 100여 개의 논문을 분석한 결과, 단기 용수 수요 예측 모델은 대부분 일단위 이하로 분석하였고, 중장기 용수 수요 예측 모델 중 74%는 월단위 분석을 수행한 것으로 나타났다. Niknam *et al.* (2023)에 따르면, 물 소비는 기후 요인의 영향을 받기 때문에 기후 요인과 물 사용량을 고려한 다변량 Long Short-Term Memory (LSTM) 모델을 이용하여 월별 물 소비량을 예측하는 것이 필요하다.

국내의 용수 수요량 전망 연구는 농업용수 수요량 산정에 관한 연구가 대부분이었으며(Kim and Kim, 2017; Song *et al.*, 2018; Park *et al.*, 2020), 생활용수 수요량의 패턴을 적용하여 분석한 연구는 Oh *et al.* (2022)이 있다. Oh *et al.* (2022)은 생활 및 공업용수의 물이용 패턴을 고려한 물수급 전망을 비교하였으며, 기존의 연 단위 분석이 아닌 월 단위 자료를 활용하여 한강권역의 대표 월 단위 패턴을 도출하였다.

현재 우리나라는 국가물관리기본계획에 따라 지역의 1인 1일당 급수량(급수량 원단위)을 바탕으로 5년 단위의 목표연도별로 용수 수요량을 추정하고 있다. 이러한 용수 수요량 추

정량은 연평균 개념을 바탕으로 하기 때문에 연중 일정한 값을 가지게 된다. 그러나 용수 사용량의 패턴(일별, 월별, 계절별)을 고려한 개선의 필요성이 국가물관리기본계획에 명시되어 있다. 이에 본 연구에서는 과거 실측 자료인 월별 용수 이용량을 바탕으로 월별 이용 패턴을 도출하여 미래 연단위 용수 수요 예측을 월단위로 변환하는 방안을 제시하였다.

2. 연구 방법

2.1 연구지역 및 자료

본 연구는 생활용수 부족 및 증가가 예상되는 충청권역을 대상지역으로 선정하였다. 충청권역은 대전광역시, 세종특별자치시, 충청남도, 충청북도의 36개 시군구로 이루어져 있으며, 2014년과 2017년에 크게 가뭄이 발생하였고, 2022년 상반기에도 가뭄으로 인해 생활용수 제한 및 운반급수의 피해가 발생하였다. 또한 세종특별자치시 설립으로 2012년부터 지속적으로 인구가 증가하고 있어 미래의 생활용수 수요량의 증가가 예상된다. 과거 생활용수 실적자료는 환경부와 K-water가 발간하는 가뭄기초조사 보고서에서 제시한 지자체 지방상수도 시설의 2017~2021년의 월별 운영 실적자료를 활용하였다(ME and K-water, 2018; 2019; 2020; 2021; 2022).

2.2 기후변화 시나리오

기후변화 시나리오는 인간 활동에 따른 인위적인 원인으로 인한 미래의 기후(기온, 강수, 습도, 바람 등) 변화에 대한 전망정보를 제공한다. 기후변화에 관한 정부간 협의체(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) 5차 평가보고서에서 제시한 대표농도경로(Representative Concentration Pathway, RCP) 시나리오는 복사강제력에 따른 4가지 온실가스 농도 경로에 대한 기후변화 시나리오이다. 2019년에 발간된 IPCC 6차 평가보고서는 공동 사회경제 경로(Shared Socioeconomic Pathways, SSP) 시나리오를 적용하였다. 이는 복사강제력 강도와 함께 인구, 경제, 에너지 등의 사회경제시스템의 변화를 적용한 시나리오이다.

용수 수요량은 다양한 영향인자가 있으며, SSP 시나리오를 활용하여 미래의 용수 수요량을 전망할 수 있다. 하지만 사회·경제 인자는 월별 변화가 크지 않기 때문에 연단위 혹은 10년 단위로 SSP 시나리오에 제공되고 있다. 본 연구에서는 월별 패턴을 고려하기 위해 일단위 및 월단위의 자료를 활용할 수 있는 SSP 시나리오의 기후 변수를 활용하였다. SSP 시나리오는 기상청에서 HadGEM3-RA (국립기상과학원), WRF (부산

대), CCLM (포항공대), GRIMs (공주대), RegCM4(울산과학기술원) 모델을 앙상블한 5ENSMN 모델을 활용하여 남한상세지역 및 2021~2100년을 대상으로 산정한 데이터를 활용하였다. 그중에서 행정구역 단위의 시나리오를 제공하는 SSP5-8.5을 이용하여 미래 용수 수요 패턴을 전망하였다. SSP 시나리오의 기후 변수는 강수량, 최고기온, 최저기온, 상대습도, 풍속, 일사량 등이며, 미래 전망 자료가 일단위로 제공되고 있다. 본 연구에서는 일단위 기후 변수를 월단위의 기후 변수로 변환하여 사용하였으며, 월단위의 평균·최고·최저 기온, 월강수량, 평균·최대 풍속 총 6개의 기후 변수를 활용하였다.

2.3 용수 이용 패턴 전망

과거에는 용수 이용량에 대한 실측 자료의 부족으로 월별 패턴 분석에 어려움이 있었지만, 최근 가뭄기초조사로 실측 자료를 활용할 수 있게 되었으며(ME and K-water, 2018; 2019; 2020; 2021), 이를 통해 생활용수 월별 패턴을 도출하였다. 용수 이용량과 기후 인자 간의 상관성을 활용하여 과거의 용수 사용 패턴을 도출하고, 이를 기후변화 시나리오에 적용하여 미래의 월별 용수 수요량 패턴을 전망하는 본 연구의 과정은 다음과 같다.

① 과거 용수 수요 패턴을 분석하기 위해 월단위 이용량을 연단위 이용량으로 나누어 월별 용수 이용률을 계산한다. ② 월별 용수 이용률과 기후 변수 상관성을 고려하여 월별 용수 이용률을 기후 변수로 나누는 분법과 곱하는 승법을 활용하여 용수 분배 비율을 계산한다. ③ 과거 실측 월별 용수 이용률과 산정한 월별 용수 이용률의 절대오차를 계산한다. 기후 변수와 분법 및 승법의 조합 중 절대오차 평균이 가장 작은 경우를 최종 용수 분배 비율로 선정한다. ④ SSP 시나리오의 기후 변수와 최종 용수 분배 비율을 ② 과정을 역으로 계산하여 월별 용수 이용률을 산정한다.

3. 연구 결과

3.1 월별 용수 이용률

가뭄기초조사 보고서를 활용하여 충청권역 37개 시군구의 연별 월단위 생활용수 이용량을 수집하였다. 37개의 시군구의 5개년 자료를 총 180개의 시계열로 구축하였고, 시계열 중 평년 대비 절반 혹은 2배 이상의 자료가 나타난 경우를 이상치로 간주하였으며, 최종적으로 11개의 시계열을 제외한 169개의 시계열을 대상으로 분석하였다.

본 연구에서 활용 가능한 시계열 자료의 기간이 짧기 때문

에, resampling 방법 중 하나인 Jackknife 기법을 이용하였다. Table 1과 같이, 5개년 자료 중 3개년은 검정(calibration) 자료 세트(용수 분배 비율을 산정하는데 활용), 2개년은 검증(validation) 자료세트(용수 이용률을 산정하여 오차를 계산하는데 활용)로 구성하였으며, 총 10개의 자료세트에 대해 결과를 산정하였다.

시군구별 용수 이용량의 차이를 개선하기 위해 용수 이용 패턴을 도출할 때 비율로 변환하였다. 월별 용수 이용량을 연간 용수 이용량으로 나누어 계산하였으며, 월별 일수가 다른 것을 고려하기 위해 일평균으로 재산정하였다(Fig. 1). 본 연구에서는 산정된 결과를 월별 용수 이용률(Monthly water usage rate) 즉, 과거 용수 이용 패턴(Historical water use pattern)으로 정의하였다. 그 결과 6~10월에 생활용수 이용량이 많고 겨울철 동파방지용수 등으로 인해 2월에 물 이용량이 많게 산정되었다. Oh *et al.* (2022)의 월별 패턴 분석 결과 6~9월에 용수

Table 1. Calibration and validation dataset (calibration : ○, validation : ■)

	2017yr	2018yr	2019yr	2020yr	2021yr
Dataset 1	○	○	○	■	■
Dataset 2	○	○	■	○	■
Dataset 3	○	○	■	■	○
Dataset 4	○	■	○	○	■
Dataset 5	○	■	○	■	○
Dataset 6	○	■	■	○	○
Dataset 7	■	○	○	○	■
Dataset 8	■	○	○	■	○
Dataset 9	■	○	■	○	○
Dataset 10	■	■	○	○	○

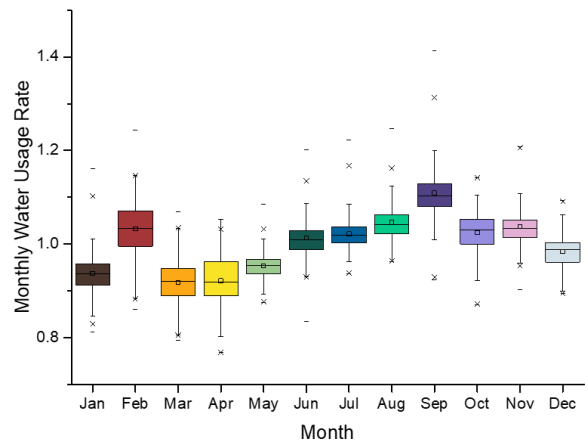


Fig. 1. Distribution of monthly water usage rate in Chungcheong

Table 2. Basic statistics for climate variables and relative error in conversion rate

	Average Temp.	Max. Temp.	Min. Temp.	Precip.	Average wind speed	Max. wind speed
Unit	°F	°F	°F	mm	m/s	m/s
Average	55.4	77.5	35.1	101.0	1.5	7.0
Max	84.2	104.0	73.4	789.1	3.2	16.7
Min	21.2	45.5	-6.3	0.1	0.7	4.1
Std.	17.2	14.7	20.1	114.7	0.3	1.4
Median	56.1	82.2	32.7	65.1	1.4	6.8
Skew.	-0.1	-0.4	0.1	2.5	1.2	1.3
Kurt.	-1.3	-1.1	-1.1	8.1	3.0	3.4

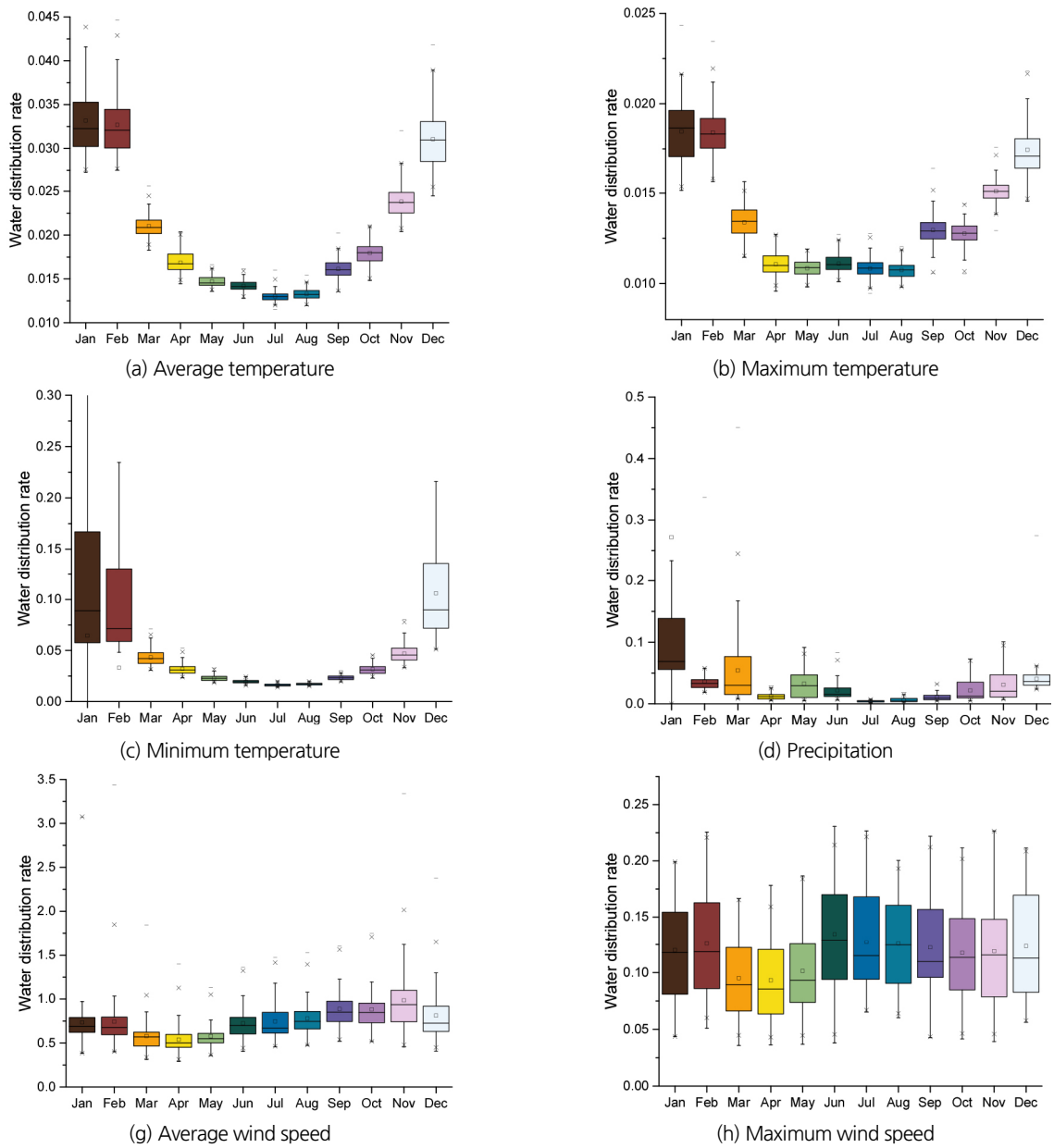


Fig. 2. Water distribution rates calculated by dividing by climate variables

이용량이 높게 나타나고 3~4월 대비 2월의 용수 이용량이 높게 나타났으며, 본 연구에서 산정한 월별 패턴과 용수 패턴이 비슷하게 나타난 것을 알 수 있다.

3.2 용수 분배 비율

용수 분배 비율을 산정하기 위해 평균·최고·최저 기온, 월

강수량, 평균·최대 풍속 등의 기후 변수를 사용하였으며, 기초 통계량은 Table 2와 같다.

생활용수 이용량과 기후 변수의 상관성을 이용하여 월별 패턴을 도출하기 위하여 용수 분배 비율(Water distribution rate)을 산정하였다. 용수 분배 비율은 3.1절에서 산정한 월별 용수 이용률을 기후 변수로 나누거나(분법) 혹은 곱하여(승

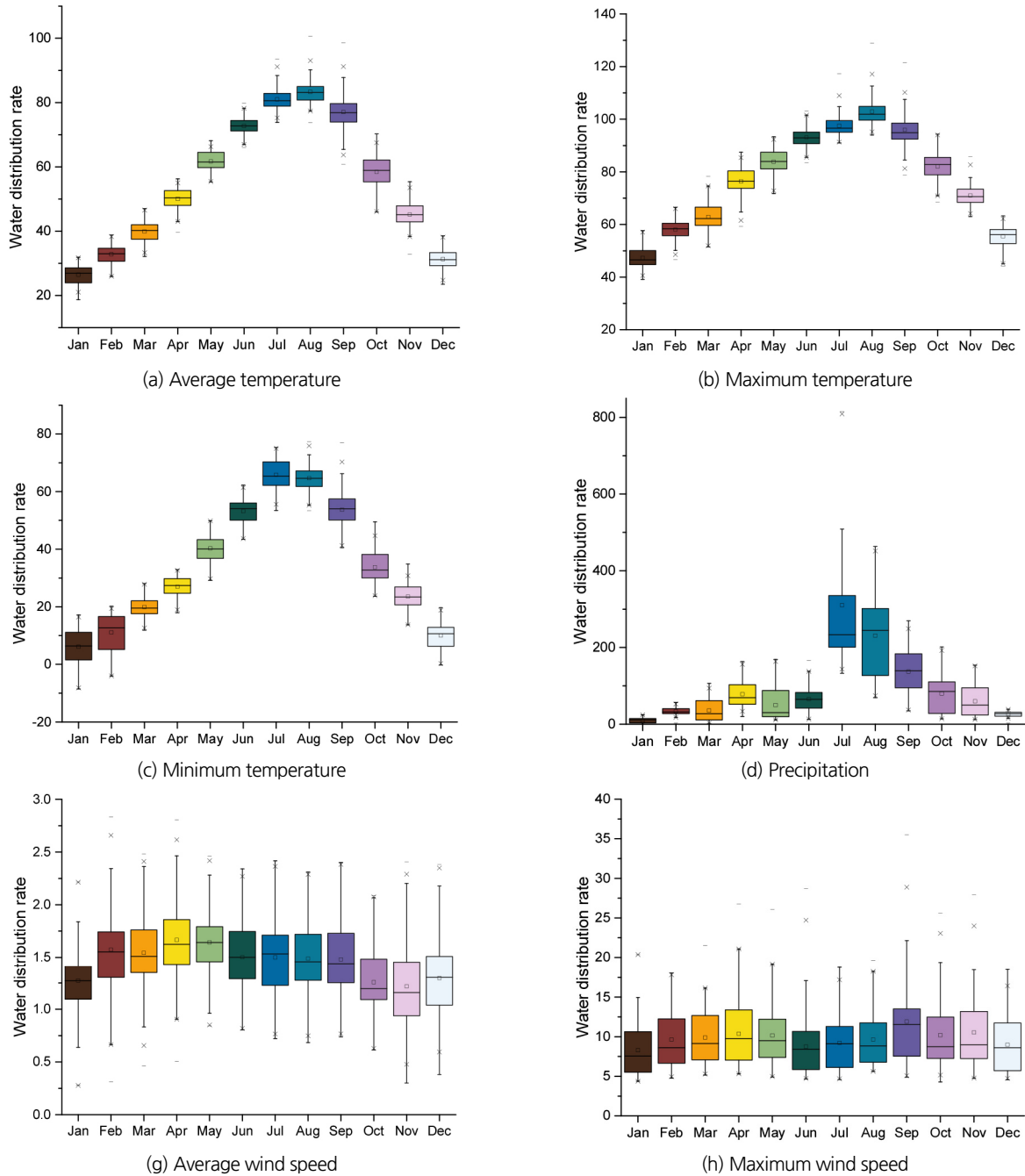


Fig. 3. Water distribution rates calculated by multiplying climate variables

법) 산정한 것이다. 월별 용수 이용률에 기후 변수를 분법하여 용수 분배 비율을 산정한 결과는 Fig. 2와 같고, 월별 용수 이용률에 기후 변수를 승법하여 용수 분배 비율을 산정한 결과는 Fig. 3과 같다. 예를 들어, 계룡시의 경우 2017~2020년에 해당하는 월별 기후 변수 자료인 평균 기온을 해당 날짜의 용수 이

용률에 분법 및 승법으로 용수 분배 비율을 계산하였다. Table 3은 계룡시의 2017년 용수 분배 비율을 계산한 결과이다.

6개의 기후 변수에 대해 분법과 승법으로 계산한 12개의 결과중 가장 적합한 시나리오를 선정하기 위하여 절대오차를 계산하였다. 실측 과거 용수 이용률과 본 연구에서 산정된 용

Table 3. Water distribution rate calculation for Gyeryong-si

	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May.	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
Water usage rate	0.93	1.04	0.90	0.98	0.90	1.04	1.03	1.08	1.11	0.98	1.05	0.96
Average temperature	31.3	34.2	44.2	58.1	67.3	73.9	80.8	78.8	70.0	59.7	43.5	31.3
Water distribution rate calculated by dividing	0.03	0.03	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03
Water distribution rate calculated by multiplying	29.00	35.55	39.60	57.11	60.65	77.23	82.91	84.95	77.55	58.61	45.82	30.08

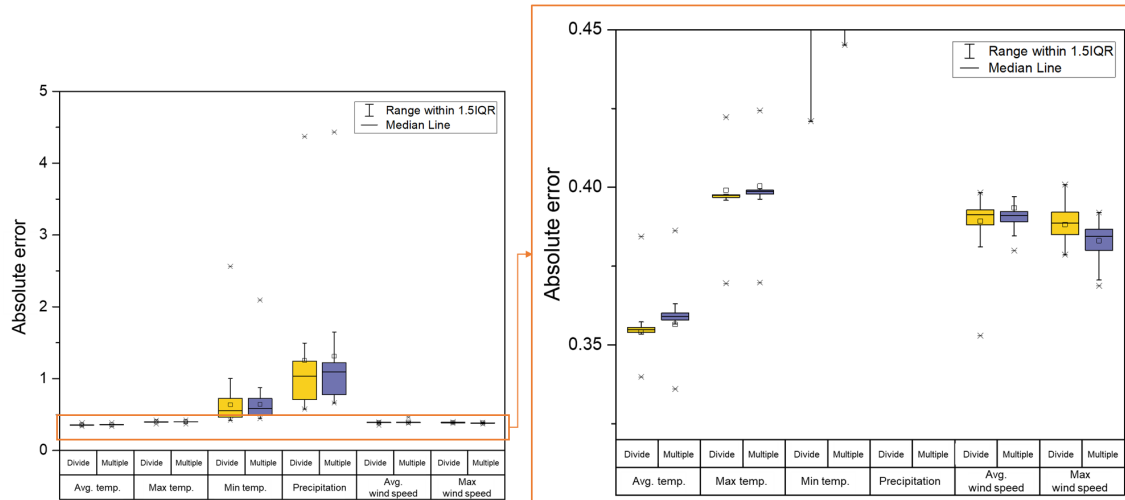


Fig. 4. Absolute error between past water usage rate and calculated water usage rate

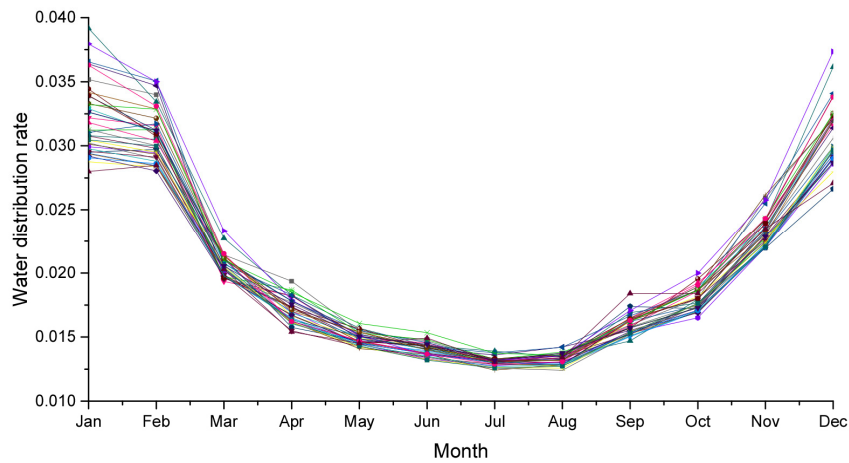


Fig. 5. Water distribution rates using mean temperature in Chungcheong

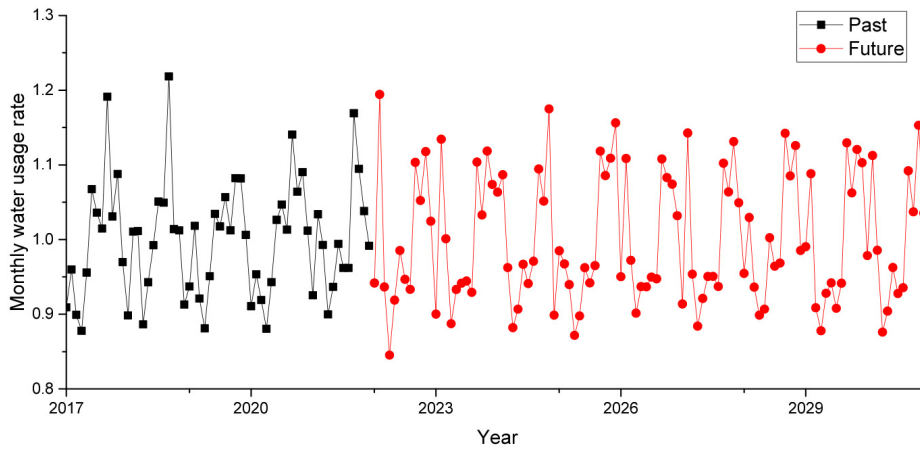


Fig. 6. Past and future domestic water usage rates for Gyeryong-si

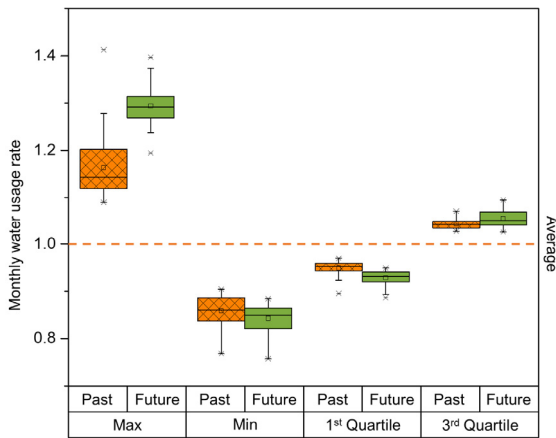


Fig. 7. Comparison of basic statistics on past and future water usage rates

수 이용률의 차이를 과거 용수 이용률로 나누어 절대오차를 계산한 후 자료세트의 절대오차 평균을 계산하였다(Fig. 4).

36개의 시군구의 절대오차 산정 결과, 평균기온 및 분법을 적용한 경우는 25개 지역(70%), 평균기온 및 승법을 적용한 경우는 10개 지역(27%), 최고기온 및 분법을 적용한 경우는 1개 지역(3%)이 가장 적합한 시나리오로 나타났다. 전반적으로 평균기온 및 분법을 적용한 결과의 절대오차가 작기 때문에, 최종적으로 용수 분배 비율은 평균기온과 분법을 적용하여 산정하였으며, 그 결과는 Fig. 5와 같다.

3.3 미래 생활용수 이용 패턴

3.2절에서 산정한 월별 분배 비율과 SSP5-8.5 시나리오의 월별 평균기온 자료를 곱하여 2022~2100년 미래 월별 용수 이용률을 산정하였으며, 그 결과가 미래 생활용수 이용 패턴이다. 예시로 계룡시의 2017~2021년 과거 용수 이용 패턴과

2022~2030년 미래 용수 이용 패턴은 Fig. 6과 같다.

충청권역 시군구의 2017~2021년(과거)과 2022~2100년(미래)의 생활용수 이용 패턴을 비교해 보면, Fig. 7과 같다. 과거 월별 용수 이용률의 최댓값은 1.28, 최솟값은 0.80, 1사분위수(Q1)는 0.95, 3사분위수(Q3)는 1.04로 나타났다. 미래 월별 용수 이용률의 최댓값은 1.30, 최솟값은 0.79, 1사분위수는 0.93, 3사분위수는 1.06으로 변화하였다. 비교 결과, 시군구 용수 이용률 최댓값의 평균값이 1.16에서 1.29로 증가가 두드러졌으며, 최솟값 역시 0.86에서 0.84로 감소하였다. 또한, 사분위수 범위가 0.09에서 0.13으로 증가하였고, 과거에 비해 미래 전망에서 월별 용수 이용률의 변화가 더욱 커지는 것으로 나타났다.

4. 결론

본 연구에서는 과거의 생활용수 이용 패턴을 분석하고 미래의 생활용수 이용 패턴을 전망하였다. 충청권역을 대상으로 생활용수 이용 패턴을 분석하기 위해 월별 생활용수 이용량을 연간 용수 이용률로 나누어 월별 용수 이용률을 산정하였다. 또한 월별 용수 이용률을 평균기온으로 나누어 월별 분배 비율을 산정하였다.

미래의 용수 수요량을 전망하기 위해 SSP5-8.5 기후변화 시나리오의 평균기온 자료와 본 연구에서 산정한 월별 분배 비율을 곱하여 미래 월별 이용률을 전망하였다. 2022년부터 2100년까지 월별 용수 이용률을 전망한 결과, 평균은 현재와 비슷하게 나타났지만, 최댓값의 평균값은 1.16에서 1.29로, 최솟값의 평균값은 0.86에서 0.84로 변화될 것으로 보이며, 사분위수 범위가 0.09에서 0.13으로 증가하므로 월별 용수 이

용량의 변화가 더욱 커지는 것으로 나타났다.

짧은 시계열의 월별 용수 이용량 자료를 기반으로 미래의 수요를 분석할 경우 정확도가 낮게 산정될 우려가 있으며, 이를 해결하기 위해 상대적으로 긴 시계열 자료인 연별 용수 이용량 자료를 월별 용수 이용량으로 변환하는 방안을 제시하였다. 고정된 물이용 패턴 비율이 아닌 기상인자를 고려한 월별 용수 이용률을 통해 장래 용수 수요량 추정 시 신뢰도를 높일 수 있다고 판단된다.

감사의 글

이 논문은 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 가뭄 대응 물관리 혁신기술개발사업의 지원을 받아 연구되었습니다(2022003610001).

Conflicts of Interest

The authors declare no conflict of interest.

References

- Avni, N., Fishbain, B., and Shamir, U. (2015). "Water consumption patterns as a basis for water demand modeling." *Water Resources Research*, Vol. 51, No. 10, pp. 8165-8181.
- Joint Ministries (2021). *1st National water management plan report [2021-2030]* (in Korean).
- Kim, C.G., and Kim N.W. (2017). "Estimation and evaluation of irrigation water need using net water consumption concept in Jeju Island." *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 50, No. 7, pp. 503-511 (in Korean).
- Ministry of Environment (ME) and K-water (2018). *Drought basic survey report in 2018* (in Korean).
- Ministry of Environment (ME) and K-water (2019). *Drought basic survey report in 2019* (in Korean).
- Ministry of Environment (ME) and K-water (2020). *Drought basic survey report in 2020* (in Korean).
- Ministry of Environment (ME) and K-water (2021). *Drought basic survey report in 2021* (in Korean).
- Ministry of Environment (ME) and K-water (2022). *Drought condition survey report in 2022* (in Korean).
- Niknam, A. Zare, H.K., Hosseinasab, H., Mostafaeipour, A., and Herrera, M. (2022). "A critical review of short-term water demand forecasting tools - what method should I use?" *Sustainability*, No. 14, Vol. 9, 5412.
- Niknam, A., Zare, H. K., Hosseinasab, H., and Mostafaeipour, A. (2023). "Developing an LSTM model to forecast the monthly water consumption according to the effects of the climatic factors in Yazd, Iran." *Journal of Engineering Research*, Vol. 11, No. 1, 100028.
- Oh, J.H., Lim, D.J., Kim, I.K., Shin, J.B., and Ryu, J.S. (2022). "Evaluation and comparison of water balance and budget forecasts considering the domestic and industrial water usage pattern." *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 55, No. 11, pp. 941-953 (in Korean).
- Park, C.K., Hwang, J., and Seo, Y. (2020). "Improvement of agricultural water demand estimation focusing on paddy water demand." *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 53, No. 11, pp. 939-949 (in Korean).
- Rondinel-Oviedo, D.R., and Samieto-Pastor, J.M. (2020). "Water: consumption, usage patterns, and residential infrastructure. A comparative analysis of three regions in the Lima metropolitan area." *Water International*, Vol. 45, No. 7-8, pp. 824-846.
- Song, H.S., Myoung, W.H., An, J.G., Jang, J.S., and Baek, J.H. (2018). "Estimation of regional future agricultural water demand in Jeju Island considering land use change." *Korean Society of Soil And Groundwater Environment*, Vol. 23, No. 1, pp. 92-105 (in Korean).