



# 가뭄 시 광역자치단체 별 물 비용 분석 및 해상 이동형 담수화 플랜트 이용 대응 방안 연구

## Cost analysis of water supply and development of desalination vessel as a drought response

양하연<sup>1,2</sup>·구재욱<sup>3</sup>·황태문<sup>3</sup>·정성필<sup>1,4,\*</sup>  
Hayeon Yang<sup>1,2</sup>·Jaewuk Koo<sup>3</sup>·Taemun Hwang<sup>3</sup>·Seongpil Jeong<sup>1,4,\*</sup>

<sup>1</sup>한국과학기술연구원 물자원순환연구센터, 서울시 성북구 화랑로 14길 5, 02792

<sup>2</sup>서울과학기술대학교 환경공학과, 서울시 노원구 공릉로 232, 01811

<sup>3</sup>한국건설기술연구원 국토보전연구본부, 경기도 고양시 고양대로 283, 10223

<sup>4</sup>과학기술연합대학원대학교 한국과학기술연구원 스쿨 에너지-환경 융합공학과, 서울시 성북구 화랑로 14길 5, 02792

<sup>1</sup>Water Cycle Research Center, Korea Institute of Science and Technology, 5, Hwarang-ro 14-gil, Seongbuk-gu, Seoul 02792, Republic of Korea

<sup>2</sup>Department of Environmental Engineering, Seoul National University of Science and Technology, 232 Gongneung-ro, Nowon-gu, Seoul 01811, Republic of Korea

<sup>3</sup>Department of Land, Water and Environment Research, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, 283 Goyang-daero, Ilsanseo-gu, Goyang-si, Gyeonggi-do 10223, Republic of Korea

<sup>4</sup>Division of Energy & Environment Technology, KIST-school, Korea University of Science and Technology, 5, Hwarang-ro 14-gil, Seongbuk-gu, Seoul 02792, Republic of Korea

pp. 001-008

pp. 009-021

pp. 023-033

pp. 035-043

pp. 045-052

pp. 053-060

pp. 061-073

pp. 075-083

### ABSTRACT

Due to global climate change, Korea is experiencing flooding and drought severely. It is hard to manage water resources because intensive precipitation during short periods and drought are commonly occurred in Korea, recently. Severe drought occurred in 2015 and 2017 in the islands, and coastal and inland areas in Korea, and the citizens experienced decreased water supply and emergency water service by using bottled water. Therefore, the Korean government provided additional governmental funds such as the grant of drought disaster. In this study, we tried to calculate the cost of water for drought response based on the cost of tap water for the regional local governments in Korea and the grant of drought disaster by the Ministry of the Interior and Safety in Korea, etc. The estimated costs of water for drought responses in coastal and inland areas which have a chance to apply alternative water sources such as brackish or seawater desalination and water reuse in Korea were higher than in other areas in Korea. Additionally, as the novel approach of drought response, the 300 m<sup>3</sup>/day-scale desalination vessel was suggested to provide desalinated water

Received 25 October 2019, revised 5 February 2020, accepted 7 February 2020.

\*Corresponding author: Seongpil Jeong (E-mail : [spjeongl@kist.re.kr](mailto:spjeongl@kist.re.kr))

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.

for the islands in Korea. The estimated expenses of water supply for the target island areas (Sinan-gun and Jindo-gun) by the desalination vessel was lower than those by emergency water service by using bottled water.

**Key words:** Alternative water source, Cost analysis, Desalination vessel, Drought, Islands

**주제어:** 대체 수자원, 비용 분석, 담수화 선박, 가뭄, 도서 지역

## 1. 서 론

산업화와 인구증가로 인해 전 지구적인 기후변화가 지속되면서 태풍, 가뭄, 홍수 등의 자연재난이 발생되고 있다. 국내에서도 기후변화의 영향으로 연평균기온 변화량은 10년마다 0.18℃ 상승하고 연강수량은 16.3 mm 증가하였으며, 강한 강수(80 mm 이상)의 빈도는 증가하고 약한 강수의 빈도는 감소하여 강수의 양극화가 진행되고 있다 (NIMS, 2018). 따라서, 홍수와 가뭄과 같은 재난의 인적, 물적 피해가 증가할 가능성이 높아지고 있는 상황이다.

우리나라의 경우 취수원으로서 하천수, 댐, 저수지, 지하수 등이 활용되고 있으며, 대부분의 수자원은 빗물에서 유래된 지표수이다. 따라서, 홍수 및 가뭄에 대응하기 위하여 다수의 댐 및 저수지를 건설하여 왔다. 하지만, 최근 환경 문제 및 민원 발생에 따라 추가적인 댐 건설이 어려워지고 있으며, 기후 변화에 따른 강우 변동성 증가 및 도시 내 피복도 증가에 따른 도시 홍수 문제 등도 발생하고 있어, 재난 대응에 관심이 고조되고 있다.

우리나라에서 최근 10년(2009~2018년) 이내에 가뭄

의 피해가 가장 컸던 해는 2015년과 2017년이었다. 최근 10년의 평균 강수량이 1266.5 mm이었던 것에 비하여, 2015년 강수량은 949.0 mm, 2017년은 967.8 mm으로 최근 10년간 1000 mm이하로 떨어진 것은 이 두 해가 유일하다(KMA, 2019). 실제로 2015년과 2017년에 가뭄 피해 사례가 많이 보도되었다. 국내 주요 포털 사이트(NAVER)에서 검색해 본 결과, 가뭄 관련 기사의 건수가 최근 5년간 평균 9,000건(2014년: 2,309건, 2015년: 16,350건, 2016년: 4,224건, 2017년: 15,762건, 2018년: 6,303건)이었으며, 2015년과 2017년에는 각각 15,000건 이상이였다.

2015~2017년 동안 국내에서 가뭄이 발생한 광역자치단체를 확인해 보면, 2015년 인천, 경기, 강원, 충북, 충남, 전북, 전남, 경북 지역에서, 2016년 충북, 충남, 전북, 전남, 경북, 경남, 제주 지역에서, 2017년에는 전국적으로 가뭄이 발생하였다 (KWRA, 2016). 충청남도 대부분의 군 지역의 경우 2014~2017년까지 지속적으로 강수량이 부족하여 주요 수원인 보령댐의 수위가 낮아 공급이 물 공급에 어려움을 겪었다. 강원도와 서울·경기 등 중부 지방 역시 강수량 부족으로 수도권 식수원 역할을 하는 소양강댐과 충주댐이 최

**Table 1.** Governmental emergency manual during drought in Korea

○ Establishing drought response system such as shift work and disaster response headquarter
○ Rapid spread of disaster warnings to residents through the media
○ Preparations of resources
- Using idle wells, emergency water supply facility, nearby water production plant, small-scale water supply system, and private waterworks
- Using alternative water sources such as water for agriculture, industry and power plant
- Preparations of equipment and personnel (military and fire fighting) for emergency water service
- Preparation of facility for the emergency water service
○ Establish the plan for limitation or stop the water supply by governmental institutions and by local governments
- 1st~3rd stage (10 ~ 30% decrease of water supply), 4th stage (water supply stop)
○ Announcement of the drought situation and implement of support measures to minimize the damage from the drought
○ Using navy ship as the emergency water service for the islands



저 수위를 기록하였다. 우리나라 대부분의 지역이 지표수 의존도가 높는데 비해 제주도는 한라산 계곡에서 발원하는 용천수를 원수로 하는 어승생 저수지를 수원으로 하고 있다. 그러나 가뭄 때 마다 저수지 유입량이 적어지고 있으며 유일한 지하수도 과다 취수 시 해수 침투 문제가 발생할 수 있는 잠재적 위험이 있다 (JRI, 2017).

가뭄에 대한 대응 방안으로서, 제한 급수와 급수선과 급수차량을 이용한 운반 급수가 실시되고 있다. 2015년에 강원도(강릉, 동해시 등)에 제한 급수와 운반급수가 수행되었으며, 경기도(가평군, 광주시 등)에서는 100명 이하 소규모급수시설을 대상으로 운반 급수가 추진되었다. 충북 단양군에서도 운반 급수가 수행되었으며, 경북 울진군에서도 제한 급수와 운반 급수를 시행하였다. 또한, 도서 지역인 전라남도 신안군과 진도군에서도 제한 급수와 운반 급수가 실시된 바 있다 (National Drought Information-Analysis Center (NDIAC), <http://www.drought.go.kr/main.do>).

행정안전부의 국가안전관리기본계획서(MIS, 2018) 상의 대응대책에 가뭄 발생 시 아래 Table 1과 같은 순서로 대응하는 것으로 나타나 있으며 이 이외의 정부의 추가 대응 방안은 없는 것으로 판단된다.

일반적으로 비상 급수 시에는 정부의 추가 예산이 투입되며, 샘플업체 긴급식수(병입수)와 같은 고비용의 수자원이 공급되게 된다. 따라서 안정적인 재난 예산 확보와 예산의 분배를 위해서 재난위기상황을 고려한 물 비용 분석이 필요하다.

특히, 도서 지역의 경우 지하수를 이용한 마을상수도나 소규모 해수담수화 시설(< 100 m<sup>3</sup>/일 이하, 대부분 10~30 m<sup>3</sup>/일 규모)로 물을 공급하고 있으며, 이러한 시설이 없는 도서지역도 상당수 분포하고 있다. 하지만, 도서지역에 설치되어 있는 소규모 해수담수화 시설은 다양한 운영의 어려움을 겪고 있다. 소규모 시설로 물을 생산하기 때문에, 단위 부피당 물 생산 단가가 높으며, 전문가가 항상 시설을 운영하기 어렵기 때문에 분리막의 잦은 교체 등으로 운영비 단가가 매우 높고, 고장 발생 시 전문가가 방문할 때까지 물 사용의 제약이 발생하게 된다. 이런 문제를 해소하기 위하여 2017년 환경부(당시 국토부)의 해상 이동형 해수담수화 플랜트 연구단(DREAMS (Desalination by Resilient, Energy-efficient, & Advanced Mobile System) 연구단)이 발족하여, 300 m<sup>3</sup>/일 규모의 해상 이동형 해수담수화 선박을 이용하여

물을 공급하는 안을 제안한 바 있다. 이 규모는 하루 1,000인에게 생활용수로 담수를 공급할 수 있는 정도의 규모이며, 도서 지역에 상시 물 공급량과 위기 대응 시 물 공급 필요량이 고려되었다.

따라서, 이 연구에서는 가뭄에 따른 실질 물 비용의 변화를 분석하기 위하여 국내 광역자치단체들을 대상으로 상수도 비용과 가뭄 대응 비용을 고려한 실질 상수도 비용을 비교하였다. 또한, 특히 가뭄이 자주 심하게 발생하고 있는 도서 지역을 대상으로 하여, 가뭄 위기 상황 발생 시 해상 이동형 담수화 선박을 이용한 물 공급 안을 기존 병입수 공급안과 비교하여 비용 분석을 수행하였다.

## 2. 연구방법

### 2.1 국내 광역자치단체의 위기 고려 물 비용 분석

#### 2.1.1 국내 물 비용 분석

국내에서 가뭄이 발생하였던 2015년과 2017년을 대상으로 상수도 통계(MOE, 2016, 2018) 자료의 광역자치단체의 부과액(총 수도 지출액, Expenditure of tap water,  $E_{TW}$ ), 부과량(총 수도 사용량, Volume of tap water,  $V_{TW}$ ) 및 평균단가(수도 비용, Cost of tap water,  $C_{TW}$ ) 자료를 조사하였다.

#### 2.1.2 가뭄 대응 비용 분석

가뭄 대응 비용을 계산하기 위하여 아래의 수식을 사용하였다.

$$E_{DR} = G_{DD} + E_{BW} \quad (1)$$

여기서, 가뭄 대응 지출액(Expenditure of drought response,  $E_{DR}$ , (1))은 가뭄 시 지출되는 금액으로 행정안전부의 특별교부세(Grant for drought disaster,  $G_{DD}$ )와 정부와 민간에서 제공한 병입수 지출액(Expenditure of bottled water,  $E_{BW}$ )을 합한 비용이다. 특별교부세( $G_{DD}$ )는 지방교부세 운영사항(MOIS, 2016, 2018)에서 가뭄을 위해 교부된 금액만을 사용하였다. 병입수 지출액( $E_{BW}$ , (2))은 아래의 수식을 통해 계산한다.

$$E_{BW} = V_{BW} \times C_{BW} \quad (2)$$

병입수 수량(Volume of bottled water,  $V_{BW}$ )은 정부와

pp. 001-008

pp. 009-021

pp. 023-033

pp. 035-043

pp. 045-052

pp. 053-060

pp. 061-073

pp. 075-083

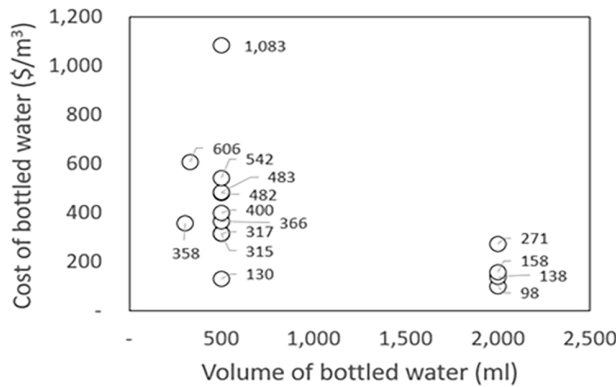


Fig. 1. Cost of bottled water.

민간에서 제공한 병입수의 총 용량이며, 병입수 비용은 (Cost of bottled water,  $C_{BW}$ )은 국내 병입수 시장 가격을 조사하여 분석한 뒤, 가장 낮은 값인 98  $\$/m^3$ 을 사용하였다 (Fig. 1). 이 때, 적용된 원달러 환율은 1,191 Won/\$ 이었다.

$$C_{TWDR} = ( E_{DR} + E_{TW} ) / V_{TW} \quad (3)$$

가뭄 대응 시 수도 비용(Cost of tap water for drought response,  $C_{TWDR}$ , (3))은 앞서 계산한 가뭄 대응 지출액(Expenditure of drought response,  $E_{DR}$ )에 총 수도 지출액(Expenditure of tap water,  $E_{TW}$ )을 더한 값에서 총 수도 사용량(Volume of tap water,  $V_{TW}$ )을 나누어 도출하였다. 총 수도 지출액( $E_{TW}$ )과 총 수도 사용량( $V_{TW}$ )은 2015년과 2017년의 상수도통계를 참고하였다 (MOE, 2016, 2018).

## 2.2 국내 도서 지역의 가뭄 시 물 공급 비용 분석

### 2.2.1 대상 지역

국내 도서 지역 중에서 가뭄 피해를 겪었던 전라남도의 신안군·진도군 두 지역을 연구 대상 지역으로 선정하였다. 각 지역의 일반적인 현황 자료는 아래 Table 2에 정리하였다.

Table 2. General information of Sinan-gun and Jindo-gun during drought

	Sinan-gun	Jindo-gun
Total population (capita)	42,837	33,008
Area (km <sup>2</sup> )	656	440
Water supply (m <sup>3</sup> /day)	12,105	8,783
Water supply cost (Won/m <sup>3</sup> )	831.7	530.4
Drought year (year)	2015	2009
Drought-affected population (capita)	11,343	656
Drought-affected period (day)	174	19

### 2.2.2 가뭄 시 물 공급 기술

행정안전부의 국가안전관리기본계획서(MIS, 2018)에 나와 있듯이, 가뭄 시 도서 지역의 긴급 식수공급 방안은 운반 급수이며, 병입수를 배로 운반하는 방식이 많이 활용되었다. 이 연구 과제에서 제안하는 가뭄 대응 방안은 자항식 해수담수화 선박에 300 m<sup>3</sup>/일 규모의 고효율 초집적 SWRO(Seawater reverse osmosis, 해수 이용 역삼투) 공정을 설치하여 도서 지역에 물을 공급하는 방식이다.

### 2.2.3 가뭄 대응 기술 별 물 공급 비용 비교

섬 지역 내 가뭄 발생 시 가장 일반적인 물 공급 방법인 병입수 공급안과 연구 과제에서 개발 중인 자항식 해상 이동형 담수화 플랜트의 담수 공급안을 중심으로 가뭄 피해를 자주 겪었던 전라남도 신안군과 진도군 두 지역 내 필요한 물 비용을 계산하였다.

병입수 공급 방안과 비교를 위하여 해상 이동형 담수화 플랜트 연구단에서 개발 중에 있는 300 m<sup>3</sup>/일 규모의 자항식 담수화 선박의 목표 물 생산 비용 목표(8,000 Won/m<sup>3</sup>의 15% 절감액)로 물을 공급하였을 때의 물 공급 비용을 비교하고자 한다. 또한, 병입수 가격의 범위를 파악하기 위하여 국내 시중에 판매되고 있는 병입수의 용량별 가격을 조사하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 국내 광역자치단체의 가뭄 위기를 고려한 물 비용 분석

#### 3.1.1 국내 광역자치단체의 물 비용 분석

전국 및 각 광역자치단체 별 2015년과 2017년의 수도요금 정보와 변화량을 Table 3과 Table 4에 정리하였다. 전국 평균 수도요금은 2015년은 683.4 Won/m<sup>3</sup>, 2017년은 723.3 Won/m<sup>3</sup>이었으며, 수도 사용량이 많은 지역은 경기, 서울, 부산, 인천, 경남 순으로 이는 각 광역자치단체의 인구수의 순서와 일치하는 결과를 나타내었다. 평균 수도요금이 높은 지역은 전북, 울산, 강원, 경남, 전남 순으로 나타났다. 수도 사용량과 평균 수도요금은 각 광역자치단체 별로 큰 차이를 보였다.

2015년에 비해 2017년의 경우 전국적으로 수도 사용량이 0.1~39.6% 증가하였으며, 총 수도요금은 -0.7~16.2%의



**Table 3.** Water supply and cost in Korea in 2015 (a) and in 2017 (b)

(a)

2015			
	Expenditure of tap water (million won)	Volume of tap water (million m <sup>3</sup> )	Cost of tap water (Won/m <sup>3</sup> )
Korea	3,617	5,293	683.4
Seoul	630	1,101	572.5
Busan	243	338	718.2
Daegu	169	264	641.4
Incheon	214	318	673.5
Gwangju	85	149	570.5
Daejeon	91	172	525.5
Ulsan	96	111	865.8
Sejong	13	17	740.3
Gyeonggi	857	1,296	661.0
Gangwon	133	158	845.0
Chungcheongbuk	138	195	707.5
Chungcheongnam	160	207	769.9
Jeollabuk	162	177	916.6
Jeollanam	124	150	824.9
Gyeongsangbuk	207	280	741.7
Gyeongsangnam	242	291	831.2
Jeju	53	68	772.6

(b)

2017			
	Expenditure of tap water (million won)	Volume of tap water (million m <sup>3</sup> )	Cost of tap water (Won/m <sup>3</sup> )
Korea	3,999	5,529	723.3
Seoul	626	1,101	568.4
Busan	288	345	834.6
Daegu	184	268	687.6
Incheon	226	335	674.0
Gwangju	101	155	651.0
Daejeon	107	193	554.9
Ulsan	98	113	863.8
Sejong	18	24	760.9
Gyeonggi	966	1,386	696.9
Gangwon	161	168	957.6
Chungcheongbuk	163	210	776.0
Chungcheongnam	186	214	869.6
Jeollabuk	174	185	938.9
Jeollanam	138	161	857.0
Gyeongsangbuk	233	287	812.3
Gyeongsangnam	266	305	871.2
Jeju	64	78	826.0

변화를 나타내었다 (Table 4). 이는 업종별 평균 단가에서 기타 용도를 제외한 모든 상수도 평균 단가가 증가하였기 때문이며, 사용량이 많은 가정용과 일반용의 평균 단가 상승에 많은 영향을 받은 것으로 판단된다. 수요요금의

**Table 4.** Variations of water supply and cost in Korea between 2015 and 2017

	Variation of total tap water cost (%)	Variation of tap water supply (%)	Variation of average tap water cost (%)
Korea	10.6	4.5	5.8
Seoul	-0.6	0.1	-0.7
Busan	18.3	1.8	16.2
Daegu	9.0	1.7	7.2
Incheon	5.2	5.2	0.1
Gwangju	19.2	4.4	14.1
Daejeon	18.3	12.1	5.6
Ulsan	1.7	1.9	-0.2
Sejong	43.5	39.6	2.8
Gyeonggi	12.7	6.9	5.4
Gangwon	20.8	6.6	13.3
Chungcheongbuk	18.6	8.1	9.7
Chungcheongnam	16.7	3.3	13.0
Jeollabuk	6.9	4.3	2.4
Jeollanam	11.4	7.2	3.9
Gyeongsangbuk	12.4	2.7	9.5
Gyeongsangnam	9.8	4.8	4.8
Jeju	22.1	14.2	6.9

변화가 가장 컸던 지역은 부산(16.2%)이었으며, 다음으로 광주(14.1%), 강원(13.3%), 충남(13%) 그리고 충북(9.7%) 순이었다. 반면에 수도요금이 감소(서울(-0.7%), 울산(-0.2%))하거나 변화가 적은 지역(인천(0.1%))도 있었다. 또한, 수도 사용량 기준으로는 세종(39.6%)이 가장 큰 증가를 보였으며, 다음으로 제주(14.2%), 대전(12.1%), 충북(8.1%), 전남(7.2%) 순으로 나타났다.

### 3.1.2 국내 광역자치단체의 가뭄 위기 시 물 비용 분석

광역자치단체 별 가뭄 대응 지출액( $E_{DR}$ )을 계산 해본 결과, 2015년은 전국 평균 523.1억원, 2017년에는 362.3억원으로 2017년 대비 2015년의 가뭄 대응 지출이 많았다. 2015년의 경우, 가뭄 대응 지출액이 충남(144억원), 전북(99억원), 경북(57억원), 강원(44.1억원), 전남(34억원) 순으로 나타났으며, 2017년은 충남(94.6억원), 전남(87.8억원), 전북(52.5억원), 경기(48.1억원), 충북(13.9억원)으로 나타났다. 2015년과 2017년에 자료를 바탕으로 분석하였을 때, 공통적으로 충남, 전북, 전남 지역의 가뭄 대응 지출액이 타 지역들에 비해 컸다.

또한, 계산으로 도출된 가뭄 대응 시 수도 비용( $C_{TWDR}$ )의 경우 2015년 가장 비싼 곳부터 나열하면, 전북(1,475 Won/m<sup>3</sup>), 충남(1,465 Won/m<sup>3</sup>), 강원(1,124 Won/m<sup>3</sup>), 전남(1,052 Won/m<sup>3</sup>), 세종(1,029 Won/m<sup>3</sup>)

pp. 001-008

pp. 009-021

pp. 023-033

pp. 035-043

pp. 045-052

pp. 053-060

pp. 061-073

pp. 075-083

**Table 5.** Expenditures related to drought and costs of water for drought responses in 2015 (a) and in 2017 (b)

(a)

2015				
	Grant of drought disaster (billion Won)	Expenditure of bottled water (billion Won)	Expenditure of drought response (billion Won)	Cost of tap water for drought response (Won/m <sup>3</sup> )
Korea	52.3	0.1	52.4	782
Seoul	0.0		0.0	573
Busan	0.0		0.0	718
Daegu	0.0		0.0	641
Incheon	5.9		5.9	859
Gwangju	0.4		0.4	597
Daejeon	0.0		0.0	526
Ulsan	0.0		0.0	866
Sejong	0.5		0.5	1,029
Gyeonggi	3.2		3.2	686
Gangwon	4.4	0.1	4.5	1,124
Chungcheongbuk	2.7		2.7	846
Chungcheongnam	14.4	0.005	14.4	1,465
Jeollabuk	9.9		9.9	1,475
Jeollanam	3.4		3.4	1,052
Gyeongsangbuk	5.7	0.003	5.7	946
Gyeongsangnam	1.8		1.8	893
Jeju	0.0		0.0	773

(b)

2017				
	Grant of drought disaster (billion Won)	Expenditure of bottled water (billion Won)	Expenditure of drought response (billion Won)	Cost of tap water for drought response (Won/m <sup>3</sup> )
Korea	36.2		36.2	789
Seoul	0.0		0.0	568
Busan	0.0		0.0	835
Daegu	0.0		0.0	688
Incheon	1.1		1.1	707
Gwangju	0.04		0.0	654
Daejeon	0.0		0.0	555
Ulsan	0.09		0.1	872
Sejong	0.5		0.5	968
Gyeonggi	4.8		4.8	732
Gangwon	1.0		1.0	1,020
Chungcheongbuk	2.0		2.0	873
Chungcheongnam	9.5		9.5	1,312
Jeollabuk	5.3		5.3	1,223
Jeollanam	8.8		8.8	1,403
Gyeongsangbuk	1.4		1.4	861
Gyeongsangnam	1.7	0.009	1.7	928
Jeju	0.0		0.0	826

순이었다. 2017년의 경우에는 전남(1,403 Won/m<sup>3</sup>)이 가장 높았고 이후 충남(1,312 Won/m<sup>3</sup>), 전북(1,223 Won/m<sup>3</sup>), 강원(1,020 Won/m<sup>3</sup>), 세종(968 Won/m<sup>3</sup>) 순이었다. 2015년과 2017년 모두 가뭄 대응 시 수도 비용이 높은 지역으로 강원, 충남, 전북, 전남, 세종 지역이 순서만 바뀐 채 도출되었다. 충남, 전북, 전남 지역의 경우는 가뭄 대응 지출액이 커서 가뭄 대응 시 수도 비용이 높은 것으로 판단되며, 강원 지역의 경우

수도 비용이 타 지역 보다 높아, 가뭄 대응 지출액이 상대적으로 적었음에도 가뭄 대응 시 수도 비용이 높은 것으로 사료된다. 세종시의 경우는 상수도 사용량이 적고 상대적으로 많은 가뭄 대응 지출액을 배정받아, 가뭄 대응 시 수도 비용이 높게 계산되었다.

2015년과 2017년의 가뭄 대응 시 수도 비용을 분석해 본 결과 전라도 지역과 충청도 지역이 타 지역들에 비해 2배가량 높은 것을 알 수 있었다. 따라서, 안정적인 물 공급 방안으로서 수도수 보다 비용이 높지만, 지표수 이외의 대체 수자원을 활용할 수 있는 기수 또는 해수담수화, 하수재이용 등의 기술을 도서 지역, 해안 지역 또는 내륙 지역의 추가 물 공급 방식으로 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

### 3.2. 국내 도서 지역 가뭄 시 물 공급 비용 분석 결과

도서 지역의 가뭄 발생에 따른 비상 시 물 사용량을 예측하기 위하여 다음과 같은 수식(4)을 이용하였다.

$$WI_D \text{ (L/capita/day)} = W_s \text{ (L/capita/day)} \times RWR \text{ (\%)} \times WR_{PC} \text{ (\%)} \text{ (4)}$$

여기서, 도서 지역의 가뭄 발생에 따른 비상 시 물 사용량(Water intensity during a drought, WI<sub>D</sub>)의 계산을 위하여 상수도 통계 자료의 급수량(Water supply, W<sub>s</sub>)과 유수율(Revenue water ratio, RWR)을 사용하였으며, 음료 및 취사 용수 사용율(Water ratio for potable and cooking purposes, WR<sub>PC</sub>, 0.21%)자료도 활용하였다.

도서지역의 가뭄 대응 지출액(Expenditure of drought response, E<sub>DR</sub>, (5))은 도서 지역의 가뭄 발생에 따른 비상 시 물 사용량(Water intensity during a drought, WI<sub>D</sub>)에 병입수 가격(Cost of bottled water, C<sub>BW</sub>) 또는 해수담수화 비용(Cost of desalinated water, C<sub>DW</sub>)과 가뭄정보포털(NDIAC)에 나와 있는 신안군과 진도군의 가뭄일수(Drought-affected period, D<sub>PE</sub>)와 가뭄 피해 인원(Drought-affected population, D<sub>PO</sub>)을 곱한 값들을 합산하여 곱해주었다.

$$E_{DR} = WI_D \times (C_{BW} \text{ or } C_{DW}) \times \sum (D_{PE} \times D_{PO}) \text{ (5)}$$

도서 지역을 대상으로 가뭄 시 병입수를 비상 용수로 공급하는 방안과 담수화 선박으로 담수를 공급하는 방안에 대하여 가뭄 대응 지출액을 계산하여 다음 Table 6에 나타내었다.



**Table 6.** Expenditures of drought responses in Sinan-gun and in Jindo-gun according to the water supply methods during drought

	Type 1 - Water supply with bottled water		Type 2 - Water supply with desalination vessel	
	Sinan-gun (2015)*	Jindo-gun (2009)*	Shinan-gun (2015)*	Jindo-gun (2009)*
Expenditure of water supply during a drought (million Won)	9,430	60	570	3.7

\*NDIAC

가뭄 시 신안군과 진도군의 예측 가뭄 대응 지출액은 가뭄 발생에 따른 비상 시 물 사용량을 기준으로 신안군은 94억원, 진도군은 0.6억원으로 나타났다. 2017년 신안군 의회에서 신안군 가뭄대책예산으로 총 350억원을 요청하였고, 가뭄대책예산이 생활용수가 아닌 용도로 사용되는 비율을 감안해보았을 때, 예측된 신안군 가뭄 대응 비용인 94억원이 요청된 예산에 포함될 수 있는 범위임을 알 수 있다 (Pressian, 2017). 또한 진도군은 2017년 먹는 물 지원 시 153명을 대상으로 1인당 31.7 L의 병입수를 공급한 바 있었다 (NEWS1, 2017). 이는 예측에 활용한 생활용수 사용량인 1인당 42 L와 큰 차이가 없음을 알 수 있다. 진도군에 50 m<sup>3</sup>/일 규모로 병입수를 연간 월 1~2회 지원하는 경우의 지출액이 약 0.7~1.4억원인 것을 고려해보았을 때, 당해년도 진도군 가뭄 대응 지출액 예측값인 0.6억원과 비슷한 수준인 것을 알 수 있다. 즉, 위 식으로 계산된 신안군과 진도군의 가뭄 대응 비용이 적절한 선에서 예측되었다고 볼 수 있다.

위의 도서 지역의 가뭄 발생에 따른 비상 시 물 사용량을 기준으로 해상 이동형 담수화 선박으로 물을 제공할 시 가격을 계산해보았다. 해상 이동형 담수화 플랜트 연구단에서 최종 목표로 삼고 있는 연구단 물 공급 비용인 약 0.006 \$/L(현재 도서 지역 소규모 해수담수화 비용의 15% 절감액)으로 가뭄 시 물을 공급한다고 가정하였을 때, 가뭄 대응 지출액은 신안군 5.7억원, 진도군 0.0037억원으로 계산되었다. 따라서, 가뭄 대응 시의 일반적인 물 공급 방식인 병입수 공급보다 약 15배 낮은 비용으로 물 공급이 가능할 것으로 기대된다. 또한 예측된 가뭄 대응 지출액과 가뭄 일수 및 가뭄 피해 인원 등을 고려하였을 때, 진도군 대비 신안군이 가뭄 시 물 수요가 높다고 사료된다.

## 4. 결 론

전 지구적 기후 변동이 커짐에 따라 가뭄 발생의 위험이 증가하고 있어, 그에 대한 대응이 필요한 실정

이다. 우리나라에서도 가뭄은 시기적, 지역적으로 다르게 발생하고 있어, 보유한 수자원을 안정적으로 활용하기 위한 대응이 필요하다. 그 방법으로서 각 광역 자치단체의 가뭄 대응 시 수도 비용을 바탕으로 가뭄 대응 시 수도 비용을 도출하였다. 가뭄이 발생한 지역의 경우 가뭄 대응 시 수도 비용이 기존 수도 비용의 2배가량 높을 수 있어, 해당 지역에는 향후 대체 수자원 확보 기술(기수, 해수담수화, 하수재이용)의 적용이 가능할 것으로 판단된다. 특히, 가뭄이 많이 발생하는 도서 지역의 경우, 타 지역에서 지표수를 가져오는 것이 불가능하기 때문에, 평시에는 다수의 소규모 해수담수화 플랜트가 운영되고 있으며, 가뭄 발생 시에는 병입수를 기반으로 하는 운반 급수가 수행되고 있다. 이에 대한 대응으로서 해상 이동형 해수담수화 플랜트로 물을 공급하는 경우가 경제적인 수 있음을 확인하였다. 또한, 연구 대상 도서 지역 중에서는 진도군에 비해 신안군이 가뭄 시 물 수요가 더 높은 것으로 판단되었다.

## 약어 정리

- 수도 비용(Cost of tap water,  $C_{TW}$ )
- 가뭄 대응 시 수도 비용(Cost of tap water for drought response,  $C_{TWDR}$ )
- 가뭄 대응 지출액(Expenditure of drought response,  $E_{DR}$ )
- 특별교부세(Grant for drought disaster,  $G_{DD}$ )
- 병입수 지출액(Expenditure of bottled water,  $E_{BW}$ )
- 병입수 수량(Volume of bottled water,  $V_{BW}$ )
- 병입수 비용(Cost of bottled water,  $C_{BW}$ )
- 총 수도 지출액(Expenditure of tap water,  $E_{TW}$ )
- 총 수도 사용량(Volume of tap water,  $V_{TW}$ )
- 도서 지역의 가뭄 발생에 따른 비상 시 물 사용량 (Water intensity during a drought,  $WI_D$ )
- 급수량(Water supply,  $W_s$ )
- 유수율(Revenue water ratio,  $RWR$ )
- 음료 및 취사 용수 사용율(Water ratio for potable

pp. 001-008

pp. 009-021

pp. 023-033

pp. 035-043

pp. 045-052

pp. 053-060

pp. 061-073

pp. 075-083

and cooking purposes,  $WR_{PC}$ )

## 사 사

본 연구는 환경부 한국환경산업기술원 플랜트연구사업(146841)의 지원으로 수행되었습니다.

## References

- Asiatoday. (2015). [http://www.asiatoday.co.kr/view.php?key=20150120\\_010010599](http://www.asiatoday.co.kr/view.php?key=20150120_010010599) (October 17, 2019).
- Jeju Research Institute(JRI). (2017). Drought occurrence characteristics of Jeju Long-term countermeasures.
- Jindo-Gun. (2018). 2018 Jindo statistical year book.
- Korea Meteorological Administration(KMA). (2019). [http://www.index.go.kr/potal/main/EachDtlPageDetail.do?idx\\_cd=1401](http://www.index.go.kr/potal/main/EachDtlPageDetail.do?idx_cd=1401) (October 17, 2019).
- Korea Water Resources Association(KWRA). (2016). Water for future, <http://hydro.kma.go.kr/help/menu600.do> (October 17, 2019).
- Ministry of Environment(MOE). (2016). 2015 Statistics of Waterworks.
- Ministry of Environment(MOE). (2018). 2017 Statistics of Waterworks.
- Ministry of the Interior and Safety(MOIS). (2016). Local grant tax operation in 2015.
- Ministry of the Interior and Safety(MOIS). (2018). Local grant tax operation in 2017, 30-130.
- Ministry of the Interior and Safety(MOIS). (2018). National safety management plan 2015~2019, 76.
- National Drought Information-Analysis Center(NDIAC). <http://www.drought.go.kr/main.do> (October 17, 2019).
- National Institute of Meteorological Sciences(NIMS). (2018). Climate change in the Korean peninsula for 100 years.
- NEWS1. (2017). <http://news1.kr/articles/?3025509> (October 17, 2019).
- Pressian. (2017). <http://www.pressian.com/news/article/?no=161113> (October 17, 2019).
- Sinan-gun. (2018). 2018 Sinan statistical year book, 58.