

물 공급을 위한 에너지 사용 요인분해 분석: Water-Energy Nexus 관점에서

유재호^{1a} · 조연희^{1b} · 김하나² · 전의찬^{1c,†}

¹세종대학교 기후에너지융합학과, ²한국과학기술원 인문사회과학부

Decomposition Analysis of Energy Use for Water Supply: From the Water-Energy Nexus Perspective

Yoo, Jae-Ho^{1a} · Jo, Yeon Hee^{1b} · Kim, Hana² · Jeon, Eui Chan^{1c,†}

¹Department of Climate and Energy, Sejong University

²School of Humanities & Social Sciences, Korea Advanced Institute of Science and Technology(KAIST)

(Received 11 August 2022, Revised 30 September 2022, Accepted 30 September 2022)

Abstract

Water and energy are inextricably linked and referred to as ‘Water-Energy Nexus’. Recently, this topic has been drawing a lot of attention from various studies due to the exacerbated water availability. Korea’s water and energy consumption has been increasing consistently, which calls for better management. This paper aims to identify changes in electricity consumption in relation to water intake and purification processes. Using Log Mean Divisia Index (LMDI) Decomposition Analysis method, this study attributes the changes to major factors such as; Total population (population effect), household/population (structure effect), GDP/household (economic effect), and water-related energy use/GDP (unit effect). The population effect, structure effect, and economic effect contributed to an increase in water-related electricity consumption, while the unit effect contributed to a decrease. As of 2019, the economic effect increased the water supply sector’s electricity consumption by 534 GWh, the population effect increased by 73 GWh, and the structure effect increased by 243 GWh. In contrast, the unit effect decreased the electricity consumption by -461 GWh. We would like to make the following suggestions based on the findings of this study; first, the unit effect must be improved by increasing the energy efficiency of water intake and purification plants and installing renewable energy power generation facilities. Second, the structure effect is expected to increase over time, and to mitigate it, water consumption must be reduced through water conservation policies and the improvement of water facilities. Finally, the findings of this study are expected to be used as foundational data for integrated water and energy management.

Key words : Decomposition analysis, LMDI, Water-energy nexus, Water-related energy use

^{1a} 박사과정(Ph.D. Student), oxds9554@naver.com, https://orcid.org/0000-0001-6340-3710

^{1b} 석사과정(Master Student), bomnaregomee@gmail.com, https://orcid.org/0000-0003-3869-9366

² 조교수(Assistant Professor), hanakim0729@kaist.ac.kr, https://orcid.org/0000-0003-2782-2859

^{1c} Corresponding author, 교수(Professor), ecjeon@sejong.ac.kr, https://orcid.org/0000-0003-2783-4550

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.

1. Introduction

우리가 사용하는 물을 만들기 위해 취수장에서 물을 취수하고, 정수장에서 취수된 물을 깨끗하게 정수하는 등 일련의 과정에서 전기에너지가 사용된다. 에너지를 생산하기 위해서는 발전소에서의 냉각수 사용 등 다양한 용도로 물이 사용된다. 이렇듯 물과 에너지는 서로 긴밀한 관계로 연결되어 있으며, 이러한 상호 의존성을 ‘Water-Energy Nexus’로 부른다 (Kim, 2017).

우리나라의 2019년 연간 총 급수량은 6,666백만 m³으로, 2009년 5,760백만 m³ 이후로 지속적으로 증가하는 추세이며, 1인당 일평균 물 사용량은 2019년 기준 295 L로 관련 통계 자료가 취합되기 시작한 2001년 이후로 계속해서 증가하는 추세를 보이고 있다(Ministry of Environment, 2020). 1981년 이후 우리나라의 1차 에너지 공급량과 최종 에너지 소비량은 증가하는 추세를 보이다가, 2019년에 각각 303,092천 toe, 231,353천 toe로 소폭 감소하였다(Korea Energy Agency, 2021). 물을 공급하는 과정에서 에너지가 소비되며, 에너지를 공급하기 위해서도 물이 소비된다. 자원의 효율적인 이용을 위하여 물과 에너지의 상호 의존성에 주목하여 통합적인 관리가 필요하다.

이와 같은 Water-energy nexus 관련 연구는 국내외에서 활발하게 연구되고 있다. 지역에서의 정책 시나리오에 따른 water-energy-food nexus를 분석하여 각 자원의 안보 및 상호 의존성을 분석하기도 하였으며(Ravar et al., 2020), Exergy life cycle 분석을 활용하여 식수 공급에 따른 물과 에너지 사용에 대해 분석하기도 하였다(Vanesa et al., 2021). 국내에서는 물에 내재되어 있는 에너지, 즉 수열에너지에 주목하여 Water-energy nexus 관련 연구를 수행하기도 하였다(Jung, 2018).

본 연구는 우리가 사용하는 물을 생산하는 취수 및 정수 과정에서 에너지 사용량 변화의 주요 요인을 분석하는 것에 그 목적이 있으며, 이를 통해 두 자원의 효율적인 관리 방안을 도출하고자 한다. 정수와 취수 과정에서 사용되는 에너지 사용량의 변화를 파악하고, 물 공급을 위한 에너지 사용량 변화에 어떠한 요인들이 어느 정도의 영향을 미쳤는지를 로그평균 디비지아지수(Log Mean Divisia Index, LMDI) 분해 분석법을 활용하여 분석하였다.

연구의 목적을 달성하기 위해 본 논문은 다음과 같이 구성되었다. 2장에서는 본 연구에 사용된 LMDI의 방법과 요인 분해를 위해 사용된 자료들에 대하여 정리하였다. 3장에서는 물 공급을 위한 에너지 사용의 요인분해 분석 결과에 대하여 서술하였고, 마지막으로 4장에서는 본 연구의 결론 및 한계점에 대하여 고찰하였다. 본 연구는 물 관련 에너지 사용의 주요 요인을 정량적으로 파악하고, Water-Energy Nexus 관점에서 물과 에너지의 통합 관리를 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

2. Materials and Methods

LMDI 분해분석법은 에너지 소비 및 온실가스 배출량 요인 분석에 많이 사용되고 있다(Park, 2021). LMDI 분해분석법은 계산식이 비교적 단순하며, 분석결과에 잔차(residual)가 남지 않기 때문에 에너지 소비량에 영향을 미치는 개별 요인들의 효과를 명확하게 구분할 수 있다는 장점이 있다. 최근 기후 변화 관련 연구에서는 산업 부문의 에너지 소비 및 온실가스 배출을 생산효과, 구조효과, 에너지원단위효과로 요인분해 분석을 실시한 연구(Kim et al., 2015)를 비롯하여 발전부문 및 건물부문의 온실가스 배출에 대한 요인을 분석하고(Jeon et al., 2018; Kim, 2018), 제조업 및 에너지원별 에너지 소비에 대한 요인을 생산효과, 구조효과, 집약도효과 등으로 분해하여 분석(Jin and Kim, 2020; Kim and Kim, 2011)하는 등 다양한 부문의 에너지 소비 및 온실가스 배출량의 요인 분석에 사용되고 있다.

LMDI 분해분석법은 에너지 소비 및 온실가스 배출량 등의 변화를 변화량으로 분해분석하는 가법적(Addictive) 방식과 변화율로 분해분석하는 승법적(Multiplicative) 방식으로 구분된다(Ang, 2005). 본 연구에서는 절대량 차이에 대한 요인별 기여도에 집중하기 위해 가법적 방식을 활용하여 물 공급을 위한 에너지 사용 요인을 분해 분석하였다.

서울특별시 시민의 1인당 가정 내 물 사용량은 1인 가구 438 L/day, 2인 가구 266 L/day, 3인 가구 191 L/day 등으로 가구별 구성원수가 증가할수록 세탁기, 싱크대 등의 공동 사용으로 인해 물 사용량은 감소하는 것으로 나타났다(Seoul, 2021). 국가별, 지자체별 수자원 평가에 Driving force-Pressure-Impact-State-Response (DPSIR) 구조를 사용한 여러 연구들을 분석하였을 때, 모든 연구들에서 공통적으로 인구 및 GDP를 수자원에 영향을 미치는 주요 요인으로 설정하였다(Kim and Chung, 2011).

선행연구를 토대로 물 관련 전력 사용량(C)에 영향을 미치는 요인을 인구(P), 가구의 구조(S), 경제 활동(E), 물 관련 전기의 원단위(U)가 곱해진 항등식으로 표현하였다(식 (1) 참고). LMDI 분해분석법을 활용하여 분석 기간의 물 관련 전력 사용량(ΔC_{tot})을 인구효과(ΔC_{pop}, 주민등록상 총 인구), 구조효과(ΔC_{str}, 인구당 가구수), 경제효과(ΔC_{eco}, 가구당 GDP), 원단위효과(ΔC_{uni}, GDP당 물 관련 전력 사용량)로 분해하였다(식 (2)~(6) 참고).

$$C = \sum_i C_i = \sum_i P \frac{H}{P} \frac{G}{H} \frac{C}{G} = \sum_i PSEU \tag{1}$$

$$\Delta C_{tot} = C^t - C^0 = \Delta C_{pop} + \Delta C_{str} + \Delta C_{eco} + \Delta C_{uni} \tag{2}$$

$$\Delta C_{pop} = \sum_i \frac{C_i^t - C_i^0}{\ln C_i^t - \ln C_i^0} \ln \left(\frac{P^t}{P^0} \right) \tag{3}$$

$$\Delta C_{str} = \sum_i \frac{C_i^T - C_i^0}{\ln C_i^T - \ln C_i^0} \ln\left(\frac{S^T}{S^0}\right) \quad (4)$$

$$\Delta C_{eco} = \sum_i \frac{C_i^T - C_i^0}{\ln C_i^T - \ln C_i^0} \ln\left(\frac{E^T}{E^0}\right) \quad (5)$$

$$\Delta C_{umi} = \sum_i \frac{C_i^T - C_i^0}{\ln C_i^T - \ln C_i^0} \ln\left(\frac{U^T}{U^0}\right) \quad (6)$$

3. Results and Discussion

3.1 연간 취수 · 정수량 및 물 관련 에너지 사용량

2010년부터 2019년까지의 우리나라 연간 취수량 및 정수생산량을 분석하였다(Fig. 1 참조). 연간취수량의 증감은 일반적으로 물 수요의 간접지표로 활용 가능하다(Statistics Korea, 2022). 우리나라의 연간 취수량은 2011년 1.2% 감소한 이후, 계속해서 증가하는 추세를 보이다가 2015년에 10.2% 감소하였다. 이후 2019년까지 지속적으로 증가하고 있다. 2015년 이전의 취수량은 2015년 이후의 취수량보다 비교적 많은 것으로 나타났는데, 2015년부터 상수도통계 작성 시 공업용수 취수량을 제외하여 통계를 산정하였기 때문이다. 우리나라의 연간 정수 생산량은 2010년 이후 증가하는 추세를 보이다가, 2019년에는 2018년 대비 소폭 감소하였다.

전반적으로 취수 · 정수량은 증가하는 추세이다. 우리나라의 급수인구도 2010년부터 2019년까지 지속적으로 증가하고 있으며, 1인 1일 급수량도 함께 증가하고 있다(Table 1). 늘어나는 급수량을 감당하는 과정에서 취수 · 정수량이 함께 증가하는 것으로 판단된다.

강, 호수, 댐, 저수지 등 수원에서 물을 끌어들이는 취수와 취수된 물을 사용 및 음용할 수 있게 처리하는 정수 과정에서

Table 1. Water supply population and water supply per person per day

	Water supply population (thousand person)	Water supply (L/person/day)
2010	48,395	333
2011	48,938	335
2012	49,354	332
2013	49,910	335
2014	50,373	335
2015	50,804	335
2016	50,971	339
2017	51,247	341
2018	51,499	348
2019	51,667	347

에너지가 사용된다. 물 공급 과정에서 사용되는 에너지를 환경부에서 제공하는 상수도통계를 활용하여 정리하였다(Fig. 2). 에너지 사용량을 정리하는 과정에서 일부 데이터의 보정 작업을 수행하였다. 상수도통계에 따르면 2014년 강원도 취수장의 연간 전력 사용량은 748,904,103 kWh로, 분석 기간 중 2014년을 제외한 강원도 취수장의 연평균 전력 사용량인 50,058,011 kWh의 15배 수준이다. 이와 같은 차이를 발견하여 지자체별 상수도통계 관련 담당자들에게 문의하였으며, 문의 결과, 통계 취합 과정의 오류임을 확인하였다. 이에 이상치(Outlier)를 제거하기 위해 광역시 및 지자체별 연간 물 관련 전력 사용량의 박스플롯(Box-plot)을 활용하였으며, 이상치를 제외한 전력 사용량의 중간값을 사용하여 데이터를 보정하였다. 데이터 보정을 수행하지 않은 물 관련 전력 사용량은 부록에 작성하였다. 우리나라의 취수 및 정수에 사용되는 전력 사용량은 2011년 15.7%가 상승한 이후 비교적 큰

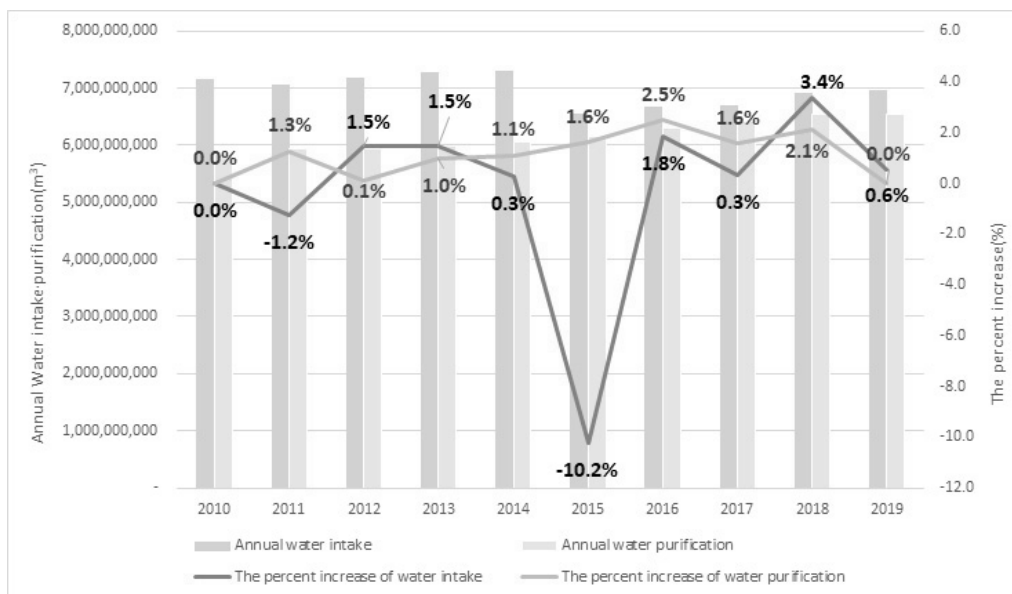


Fig. 1. Annual water intake and water purification.

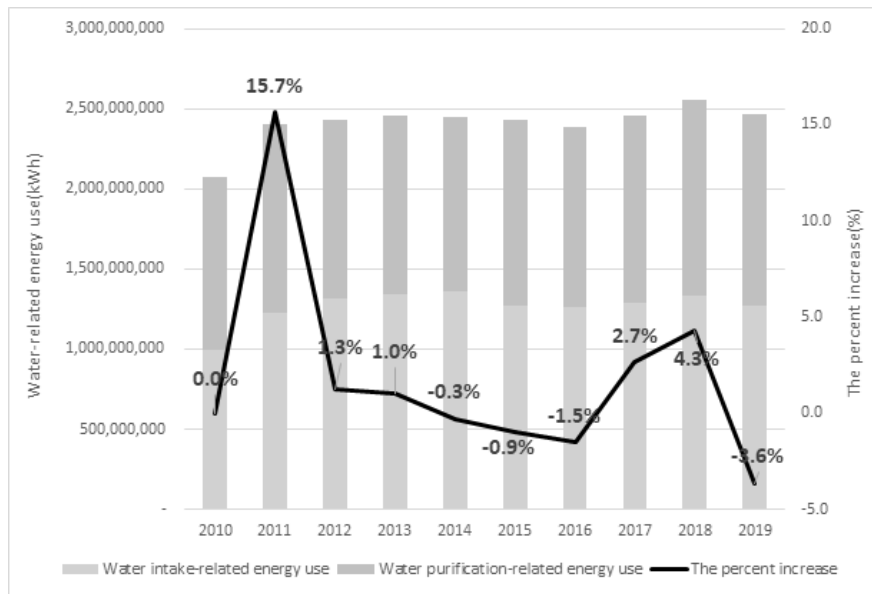


Fig. 2. Water-related energy use.

변화가 없는 것으로 나타났다.

3.2 물 공급을 위한 에너지 사용 요인분해 분석

Table 2에 본 연구에 사용된 요인들의 통계를 정리하였다. 우리나라의 인구는 2010년 5,143만 명에서 2019년 5,312만 명으로 증가하였으며, 연평균 성장률은 0.3%로 나타났다. 가구수는 2010년 1,749만 가구에서 2019년 2,011만 가구로 증가하였고, 연평균 성장률은 1.4%로 나타났다. 인구의 연평균 성장률은 0.3%에 불과하지만, 가구의 연평균 성장률은 1.4%로 비교적 높게 나타나 시간이 흐를수록 1인 가구가 증가하는 것으로 나타났다. 실제로 우리나라의 1인 가구 비율은 2010년 23.9%에서 2020년 31.7%로 상승하였다(Statistics Korea, 2021a).

우리나라의 GDP는 2010년 1,322조 원에서 2019년 1,924조 원으로 연평균 3.8% 성장하였다. 취수 및 정수 과정에서 사용되는 물 관련 전력 사용량은 2010년 2,077 GWh에서 2019년

2,466 GWh로 연평균 1.7% 성장한 것으로 나타났다. 모든 요인들에 대한 통계를 정리했을 때, 우리나라의 인구 성장률은 다른 요인들의 성장률에 비하여 적은 것으로 나타났으며, GDP 성장률은 다른 요인들의 성장률보다 높은 것으로 나타났다.

LMDI 분해분석법을 사용하여 물 관련 전력 사용의 요인을 분해 분석하였다(Table 3 참조). 분석 결과, 2010년 대비 2011~2019년까지의 총 효과는 모두 양의 값으로 나타났다. 2011년부터 2019년까지 물 관련 전력 사용이 2010년 대비 감소한 적이 없으며, 항상 증가하였음을 의미한다.

물 관련 전력 사용이 증가한 요인을 분해 분석하였을 때, 2013년까지는 인구효과, 구조효과, 경제효과, 원단위효과 모두 양의 값으로 나타났으며, 2011년과 2012년에는 원단위효과가 전력 사용량에 큰 영향을 미쳤다. 2014년부터 원단위효과는 -4 GWh로 음의 효과를 보이기 시작하였으며, 점차 음의 효과가 증가하여 2019년 기준 -461 GWh로 나타났다. 이

Table 2. Key statistics in water-related energy consumption

	Population (Person)	Household (Household)	GDP (billion won)	Water-related energy use (GWh)	Household/Population	GDP/Household	Water-related energy use/GDP
2010	51,434,583	17,494,884	1,322,611	2,077	0.34	0.08	0.002
2011	51,716,745	17,879,317	1,389,937	2,402	0.35	0.08	0.002
2012	51,881,255	18,118,513	1,440,111	2,432	0.35	0.08	0.002
2013	52,127,386	18,388,488	1,500,819	2,457	0.35	0.08	0.002
2014	52,419,447	18,704,975	1,562,929	2,450	0.36	0.08	0.002
2015	52,672,425	19,012,895	1,658,020	2,427	0.36	0.09	0.001
2016	52,857,893	19,281,443	1,740,780	2,390	0.36	0.09	0.002
2017	52,950,306	19,570,670	1,835,698	2,454	0.37	0.09	0.002
2018	53,072,685	19,871,152	1,898,193	2,559	0.37	0.10	0.001
2019	53,121,668	20,115,725	1,924,498	2,466	0.38	0.10	0.001

Table 3. Result of Decomposition Analysis

(Unit: GWh)

	Total effect on energy relate water	Population effect	Structure effect	Economic effect	Unit effect
2010	-	-	-	-	-
2011	325	12	36	61	216
2012	355	19	59	113	164
2013	380	30	82	173	94
2014	373	43	108	226	-4
2015	350	53	134	321	-158
2016	313	61	156	396	-300
2017	377	66	188	488	-364
2018	482	72	222	540	-352
2019	389	73	243	534	-461

는 물 관련 전력 사용량의 성장률이 연평균 1.7%인데 비하여 GDP 성장률은 연평균 3.8%로 비교적 급격하게 성장하였기 때문인 것으로 판단된다. 즉, GDP 당 전력 사용량인 원단위 효과가 시간의 흐름에 따라 개선되어 물 관련 전력 사용량에 음의 효과를 보이고 있다.

2014년부터 경제효과가 전력 사용량 증가에 가장 큰 영향을 미쳤으며, 2019년 기준 534 GWh의 영향을 미쳤다. 앞서 언급한 바와 같이 GDP 성장률은 연평균 3.8%로 다른 요인들의 성장률에 비해 빠르게 성장하였다. 그에 따라 물 관련 전력 사용에 가장 많은 영향을 미치는 것으로 나타났다. 인구효과와 구조효과는 2011년부터 2019년까지 지속적으로 물 관련 전력 사용에 양의 영향을 미쳤다.

2019년을 기준으로 요인별 효과를 정리하면 다음과 같다. 분석 기간의 우리나라 인구 연평균 증가율은 0.3%로 다른 요인들에 비해 적게 증가하였으며, 인구효과로 인한 물 관련 전력 사용량은 73 GWh로 소폭 증가하였다. 우리나라 가구의 연평균 증가율은 1.4%로 인구 연평균 증가율에 비해 약 5배 가량 높은 것으로 나타나 1인 가구가 빠른 속도로 증가하는 것으로 나타났다. 이러한 구조효과로 인해 물 관련 전력 사용량은 243 GWh 증가하여 1인 가구가 증가함에 따라 물 관련 전력을 많이 사용하는 것으로 나타났다. 경제효과는 모든 요인 중 가장 강한 양의 효과를 보였는데, 우리나라 GDP는 연평균 3.8%씩 성장하여 물 관련 전력 사용에 534 GWh의 영향을 미쳤다. 물 관련 전력 사용량은 연평균 성장률 1.7%로 성장하였지만, GDP 성장률이 더 높게 나타나 우리나라의 물 관련 전력 사용의 원단위효과는 -461 GWh로 개선된 것으로 분석되었다.

4. Conclusion

본 연구는 취수와 정수 등 물을 공급하기 위한 과정에서 사용되는 전력 사용량을 대상으로 인구효과, 구조효과, 경제효과, 원단위효과 등 LMDI 요인분해 분석을 수행하였다. 분석을 위해 우리나라의 연간 취수·정수량 및 취수와 정수 과정에서 사용되는 전력 사용의 추이를 함께 살펴보았다. 전반적으로 우리나라의 연간 취수량 및 정수량은 큰 폭의 변화는

없지만, 지속적으로 증가하는 추세이다. 2015년에 취수량이 10% 감소하는 것으로 나타났는데, 이는 2015년부터 취수량 통계 산정 시 공업용수 취수량을 제외하여 취합하였기 때문이다. 물 관련 전력 사용량도 연간 취수량 및 정수량과 마찬가지로 큰 변화를 보이지 않았으며, 2017년과 2018년에 증가하였다가 2019년에 소폭 감소하는 모습을 보인다.

분석 결과, 인구효과, 구조효과, 경제효과는 물 관련 전력 사용량을 증가시켰으며, 원단위효과는 물 관련 전력 사용량을 감소시키는 것으로 나타났다. 우리나라의 지속적인 인구 증가와 1인 가구의 증가는 인구효과와 구조효과를 통해 물 관련 전력 사용량을 증가시키는 요인으로 작용하였으며, GDP의 증가는 물 관련 전력 사용량 증가에 가장 큰 영향을 미치는 경제효과로 이어졌다. 원단위효과는 물 관련 전력 사용을 감소시키는 요인으로 분석되었다.

본 연구의 제언사항은 다음과 같다. 취수·정수장의 에너지 효율을 개선하여 원단위효과를 제고해야 한다. 원단위효과는 GDP 당 물 관련 전력 사용량이며, 이를 개선하기 위해서는 다양한 에너지 효율 개선 방안을 도입해야 한다. 취수·정수장에 재생에너지 발전원 및 Energy Storage System (ESS) 등을 도입하여 자체 생산 전력의 사용 및 외부 전력 사용량 감소가 이루어져야 하며, 취수·정수 시설의 효율 개선을 통해 물 관련 전력 사용량을 줄여야 한다.

우리나라의 총 인구는 2020년을 기점으로 감소하기 시작하여 2070년에는 2020년 대비 72% 수준인 3,766만 명까지 감소될 것으로 예상된다(Statistics Korea, 2021b). 반면, 1인 가구 비율은 계속해서 증가하여 2047년에는 전체 가구 중 37.3% (832만 가구)가 1인 가구로 전망된다(Statistics Korea, 2019). 인구 감소는 물 관련 전력 사용량에 음의 효과를 미칠 것이며, 1인 가구 비율의 증가는 양의 효과를 미칠 것이다. 향후 우리나라의 물 관련 전력 사용량을 감소시키기 위해서는 보다 많은 음의 원단위효과가 나타나도록 원단위를 개선해야 한다. 또한, 1인 가구 증가(구조효과)에 따른 물 관련 전력 사용을 저감할 수 있도록 물 절약 정책 및 수도시설 개선 등 물 소비 저감 방안을 마련해야 한다.

우리나라 물 관련 통계 작성의 고도화를 통해 통계의 신뢰성을 제고할 필요가 있다. 분석 기간 평균값과 비교하여 취

수·정수량은 큰 차이가 없지만, 전력 사용량은 2~5배 가량 크게 나타난 경우¹⁾가 있었고, 이는 취수·정수량 증가 등 외 부적인 요인으로 인한 전력 사용량 증가가 아닌 통계 취합 과정의 오류로 판단된다. 국가통계의 제3차 검증 등을 통해 통계 작성을 고도화하고, 정확한 통계자료를 제공해야 한다.

본 연구는 우리나라의 취수·정수량과 물 관련 전력 사용량의 변화를 종합적으로 정리하였으며, 물 관련 전력 사용량이 어떤 요인에 의해 증가 및 감소하였는지 정량적으로 분석하였다는 점에 그 의의가 있다. 본 연구의 결과는 향후 물과 에너지의 통합 관리를 위한 기초자료로 활용될 것으로 기대되며, 국내 물 관련 통계 작성에 긍정적인 영향을 미칠 것으로 보인다.

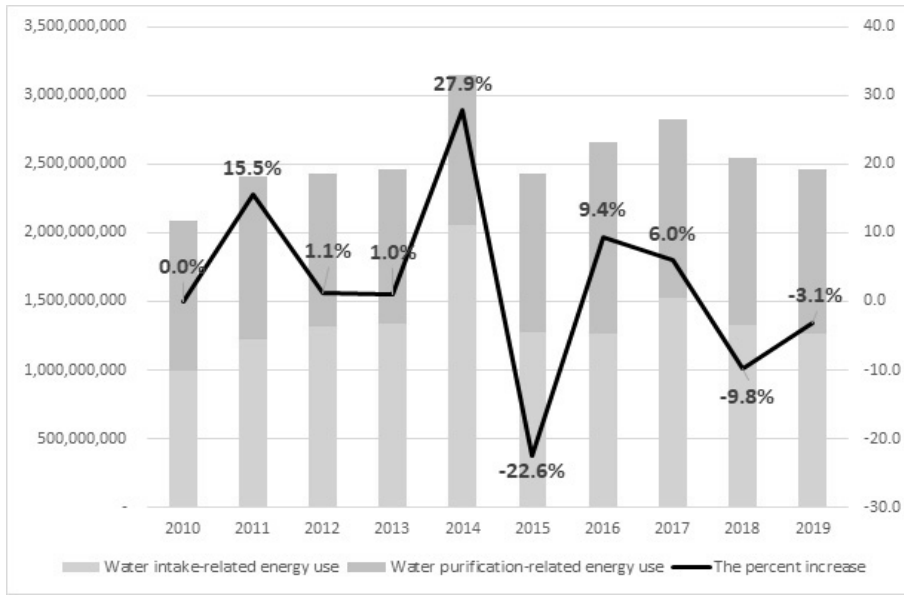
Acknowledgement

본 연구는 환경부 “기후변화특성화대학원사업”과 과학기술정보통신부의 재원으로 한국연구재단의 지원(NRF-2018R1A5A7025409)을 받아 수행되었습니다.

References

- Ang, B. W. (2005). The LMDI approach to decomposition analysis: A practical guide, *Energy Policy*, 33(7), 867-871.
- Jeon, E. D., Jeong, Y. S., and Yoon, S. H. (2018). Index decomposition analysis for the characteristics of greenhouse gas emissions in building sector, *KIEAE Journal*, 18(1), 91-96. [Korean Literature]
- Jin, T. and Kim J. (2020). A decomposition analysis of primary energy supply and final energy consumption by source, *Korean Energy Economic Review*, 19(2), 65-97. [Korean Literature]
- Jung, Y. (2018). Estimation of the probable maximum water thermal energy in Korean dams based on the water-energy nexus concept, *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*, 60(2), 45-53. [Korean Literature]
- Kim, H. (2017). Energy-water nexus: The implications of water use intensities by energy source in South Korea, *Journal of Environmental Policy and Administration*, 25(4), 213-239. [Korean Literature]
- Kim, S. (2018). Decomposition analysis on GHG emissions of domestic electricity generation sector, *Korean Energy Economic Review*, 17(1), 241-264. [Korean Literature]
- Kim, S. and Kim, H. S. (2011). LMDI decomposition analysis for energy consumption of Korea's manufacturing industry, *Korean Energy Economic Review*, 10(1), 49-76. [Korean Literature]
- Kim, T. H., Lim, D. O., and Kim, Y. K. (2015). Decomposition analysis for the surge of energy consumption in industrial sector in 2008~2011, *Korean Energy Economic Review*, 14(3), 203-227. [Korean Literature]
- Kim, Y. and Chung, E. S. (2011). *Water resources: Their current state and assessment*, Korea Environment Institute.
- Korea Energy Agency. (2021). *Energy statistics handbook*, Korea Energy Agency. [Korean Literature]
- Ministry of Environment. (2020). *Statistics of water supply 2020*, Ministry of Environment. [Korean Literature]
- Park, N. B. (2021). Decomposition analysis of greenhouse gas emissions in the power industry in Korea since the covid-19 outbreak, *Journal of Energy Engineering*, 30(2), 30-42. [Korean Literature]
- Ravar, Z., Zahraie, B., Sharifinejad, A., Hamid, G., and Samannaz, J. (2020). System dynamics model of sustainable water resources management using the nexus water-food-energy approach, *Ain Shams Engineering Journal*, 12, 1267-1281.
- Seoul. (2021). *Seoul News, In Seoul, tap water usage was investigated... In ten years, Seoulites' daily water use grew by 3%. Seoul.* <https://news.seoul.go.kr/env/archives/514374> (accessed Sep. 2022). [Korean Literature]
- Statistics Korea. (2021a). *Future population estimation: 2020~2070*, Statistics Korea. [Korean Literature]
- Statistics Korea. (2021b). *2020 population and housing census*, Statistics Korea. [Korean Literature]
- Statistics Korea. (2019). *Future household forecast: 2017~2047*, Statistics Korea, [Korean Literature]
- Statistics Korea. (2022). *Annual withdrawal of groundwater and surface water*, https://www.index.go.kr/potal/main/EachDtlPageDetail.do?idx_cd=2719 (accessed 2021 Jan 20)
- Vanesa, R. M., Claudia, U. T., Caroline, B., and Yannay, C. L. (2021). Evaluation of Water-Energy nexus in the treatment of urban drinking water in Chile through exergy and environmental indicators, *Journal of Cleaner Production*, 317, 128494.

1) 2014년 강원도 취수장의 연간 전력 사용량, 2016년 수자원공사 정수장의 연간 전력 사용량, 2017년 경상북도 취수·정수장의 연간 전력 사용량 등



Appendix 1. Water-related energy use (prior to correction)