



Research Paper

Analysis of Disinfection By-products Occurrence at Water Treatment Plants in Daegu and Gyeongsangbuk-do, Korea from 2011 to 2024

Changyeon Woo^{id} · Wontae Lee^{id†}

Department of Environmental Engineering, Kumoh National Institute of Technology

(Received November 6, 2025; Revised December 4, 2025; Accepted December 7, 2025)

Abstract : The water treatment plant is a key facility to remove pathogenic microorganisms in order to supply safe tap water to the people, and due to its efficiency, economy, and persistence, a disinfection process using chlorine-based disinfectants is widely used. However, chlorine-based disinfectants react with organic substances during the chlorine disinfection process to produce disinfection by-products that are harmful to the human body, and these substances are strictly managed internationally. The Nakdong River basin has a characteristic that the concentration of disinfection by-products is higher than that of other watersheds due to high contamination load and enhanced chlorine treatment. Therefore, in this study, 91 water treatment plants in the Daegu and Gyeongbuk region were classified according to water supply and analyzed the generated concentration of disinfection by-products (THMs, HAAs, and HANs). Using the data from the national water supply information system, changes by year and month were identified, and the difference in the occurrence of disinfection by-products was compared according to whether or not an advanced treatment process was introduced. In addition, based on the data from the Meteorological Administration, the correlation between temperature and the concentration of disinfection by-products was evaluated through the Pearson correlation coefficient. As a result of the analysis of water treatment plants in Daegu and Gyeongbuk from 2011 to 2024, THMs, HAAs, and HANs all showed high concentrations in water treatment plants using river water and lake water as raw water, and were relatively low in groundwater and riverbed water. THMs showed a positive correlation with rising temperature ($r = 0.4357$), whereas HANs exhibited no correlation. HAAs tended to show increased variability and higher median values with increasing temperature, but no statistically significant correlation was observed. In addition, it was confirmed that the concentration of all disinfection by-products was lower in the water treatment plant that introduced the advanced water treatment process compared to the standard water treatment process. For safe supply of tap water, it is essential to comply with the appropriate concentration of disinfectant injection by seasonal, and in order to effectively remove precursors that may generate disinfectant by-products depending on the water source, it is effective to introduce advanced treatment processes such as ozone and activated carbon.

Keywords : Disinfection by-products, THMs, HAAs, HANs, Water treatment plants

The Korean text of this paper can be translated into multiple languages on the website of <http://jksee.or.kr> through Google Translator.

† Corresponding author

E-mail: wtlee@kumoh.ac.kr

Tel: 054-478-7636

© 2025, Korean Society of Environmental Engineers



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

연구논문

대구·경북지역 정수장의 소독부산물 발생(2011~2024년) 분석

우창연[✉] · 이원태^{✉*}

국립금오공과대학교 환경공학과

요약: 정수장은 국민에게 안전한 수돗물을 공급하기 위해 병원성 미생물을 제거하는 핵심 시설이며 효율성과 경제성, 잔류성으로 인하여 염소계 소독제를 활용한 소독공정을 널리 사용하고 있다. 그러나 염소 소독 과정에서 유기물과 반응하여 인체에 유해한 소독부산물이 생성되며, 이들 물질은 국제적으로 엄격히 관리되고 있다. 특히 낙동강 유역은 높은 오염 부하와 강화된 염소처리로 인해 소독부산물 농도가 타유역에 비해 높게 나타나는 특성이 존재한다. 이에 본 연구에서는 대구·경북 지역 91개 정수장을 대상으로 수원에 따라 복류수, 지하수, 하천수, 호소수로 분류하여 소독부산물(THMs, HAAs, HANs)의 발생 농도를 분석하였다. 국가상수도정보시스템의 2011~2024년 자료를 활용해 연도별·월별 변화를 파악하고, 고도처리공정 도입 여부에 따른 소독부산물 발생 차이를 비교하였다. 또한 기상청 자료를 기반으로 기온과 소독부산물 농도 간의 상관성을 피어슨 상관계수를 통해 분석하였다. 자료분석 결과, THMs, HAAs, HANs 모두 하천수와 호소수를 원수로 사용하는 정수장에서 높은 농도를 보였으며, 지하수와 복류수에서는 상대적으로 낮게 나타났다. THMs는 기온 상승과 양의 상관관계($r = 0.4357$)를 보였고 HANs는 상관성이 보이지 않았다. HAAs는 기온이 증가하면서 발생편차가 증가하는 경향과 중위 값이 증가하는 경향을 보였으나, 통계적으로 유의미한 상관성이 보이지 않았다. 또한 고도정수공정을 도입한 정수장은 표준정수공정에 비해 모든 소독부산물 농도가 낮은 것을 확인하였다. 안전한 수돗물 공급을 위해서는 계절별 적정 소독제 투입 농도 준수가 필수적이며, 수원에 따라 소독부산물을 발생시킬 가능성이 있는 전구물질을 효과적으로 제거하기 위해서는 오존, 활성탄 등 고도처리공정 도입이 효과적이다.

주제어: 소독부산물, 트리할로메탄류, 할로아세틱엑시드류, 할로아세토니트릴류, 정수장

1. 서론

정수장은 먹는물 수질기준에 적합한 수돗물을 생산하기 위한 시설로 특히 병원성 미생물을 효과적으로 살균하여 안전하고 음용 가능한 수준의 수돗물을 국민에게 공급하고 있다. 1908년 최초의 정수시설인 푼도 정수장이 준공되고 난 이후 1990년대 말 수돗물 내 병원성 바이러스의 검출로 인해 「정수처리기준 등에 관한 규정」이 확립되었고 지속적인 발전으로 바이러스 처리 기준이 제정·적용되었다[1]. 이러한 법적근거의 확립을 기점으로 지속적인 투자를 진행한 결과 연간 총 급수량은 2011년 6,020,698,000 m³, 2018년 6,656,000,000 m³, 2023년 6,795,000,000 m³로 해마다 증가하는 추세를 보이며 2023년 말 기준 상수도 보급률은 99.5%를 달성하였다[2].

정수에서 가장 중요한 요소는 병원성 미생물을 효과적으로 제거하는 소독 공정으로, 수돗물의 안전을 확보하기 위한 핵심 과정이다. 국내 정수시설은 효과적인 살균작용을 위해 고도처리공정을 도입하여 오존, UV 등으로 소독 및 오염물질을 제거하고 있으나, 여전히 염소계 소독제를 사용해 정수장에서

생산된 수돗물이 각 가정에 도달하기까지 송·배·급수 과정 중 발생할 수 있는 병원성 미생물의 2차 오염을 방지하고 있다.

반면, 염소로 소독할 때 수중의 천연 유기물질(natural organic matter, NOM), 브롬화 이온, 요오드화 이온 등의 일부 물질과 반응하여 산화되면서 인체에 유해한 다양한 소독부산물이 발생하게 된다. 소독부산물의 생성에 미치는 물리·화학적 인자로는 pH, 접촉시간, 온도, 염소의 투여량, 잔류염소량, NOM의 특성 등이 있다고 알려져 있다[3]. 발생하는 염소 소독부산물의 종류는 크게 트리할로메탄류(THMs), 할로아세틱엑시드류(HAAs), 할로아세토니트릴류(HANs)로 나뉜다. THMs에는 다양한 물질이 포함되어 있지만 그 중에서 클로로포름이 가장 많은 부분을 차지한다. 클로로포름이 인체에 미치는 영향으로는 암을 유발하거나, 간, 신장, 중앙신경계 장애를 일으킨다고 알려져 있다[4]. HAAs는 세포 및 유전 독성을 유발하며 HANs는 발암성이 존재한다는 연구가 존재한다[5].

소독부산물의 위해성으로 인하여 수돗물에 기준을 정해 관리하고 있다. 소독부산물 중 가장 대표적인 물질 군인 THMs에 대하여 미국 환경보호청(USEPA)은 80 µg/L, 독일 50 µg/L,

네덜란드 25 µg/L 등으로 엄격한 기준을 정하였고, 영국, 일본, 캐나다에서는 100 µg/L의 기준을 제시하며 염소계 소독제로 인해 발생하는 소독부산물을 관리하고 있다 [6]. 국내의 경우에도 먹는물 수질기준 항목에 소독제 및 소독부산물질에 관한 기준이 설정되어 THMs 100 µg/L, HAAs 100 µg/L, DBAN(디브로모아세토니트릴) 100 µg/L, DCAN(디클로로아세토니트릴) 90 µg/L, TCAN(트리클로로아세토니트릴) 40 µg/L 등으로 관리하고 있다. 국내 정수장에서는 1개월에 1회 이상의 먹는물 수질기준 충족 여부를 검사하고 있으며 이를 공개하고 있다.

국내의 '4대강 사업' 이후로 낙동강 수계의 T-P 농도는 감소했으나, BOD, COD, TOC의 농도는 증가했으며 THMs의 농도는 우리나라 4대강 중 낙동강 수계가 가장 높게 나타난다 [7]. 낙동강 수계에는 산업도시가 다수 분포해 있어 원수 내에 포함되어 있는 일부 오염물질을 제거하기 위해 다른 지역보다 강화된 염소처리를 하기 때문에 소독부산물의 농도가 높은 것으로 보고되고 있다 [4].

최근의 기후변화에 따른 기온 및 수온 상승, 강우 패턴의 변화, 조류 발생 정도의 변화 등 여러 요소가 복합적으로 작용하여 정수장 원수의 유기물 농도 및 조성을 변화시킬 가능성이 높다. 또한 지표유출이 뚜렷하게 증가하고 수질오염 배출 부하량 역시 증가하여 수질에 부정적인 영향을 미칠 것으로 예상된다 [8]. 이러한 원수의 수질 변화 및 환경 변화는 정수장의 효율적 운영을 저해하여 수질기준 충족을 위한 과도한 소독제 투입 및 소독부산물의 생성으로 이어질 가능성이 있다. 따라서 본 연구에서는 2011년도부터 2024년도까지 대구·경북 지역 내 정수장에서 생산한 수돗물에서 소독부산물의 발생 정도를 분석함으로써 안전하고 안정적인 수돗물 공급과 정수장 관리의 기초자료로 활용하고자 한다.

2. 연구내용 및 방법

2.1. 대상시설 선정

본 연구는 대구·경북지역의 정수장 중 용천수를 원수로 하는 정수장을 제외한 91개 지점에 대해 수원에 따라 복류수, 지하수, 하천수, 호소수 4개로 분류하여 처리수의 소독부산물 발생 농도를 수집하였다. 복류수에 해당하는 지점은 가은, 가흥, 감천, 고령, 예천 정수장 등 59개소이다. 지하수에 해당하는 지점은 가천, 초전, 근남 정수장의 3개소이다. 하천수에 해당하는 지점은 경산, 구미, 문산, 고령광역 정수장, 구미광역 정수장 등 8개소이다. 호소수에 해당하는 지점은 가창, 갈평, 보문, 불국, 공단, 영천통합 정수장 등 21개소이다.

2.2. 자료 수집 및 분석

국가상수도정보시스템에서 대구·경북지역 정수장 91개소의 2011년도부터 2024년도까지 자료를 수집하였다. 수집한

항목은 각 정수장의 정수방법, 수원의 종류, 처리수의 THMs, HAAs, HANs 농도 등이었다. 이때 HANs 농도는 디브로모아세토니트릴(DBAN), 디클로로아세토니트릴(DCAN), 트리클로로아세토니트릴(TCAN)의 합으로 계산했다. 원수 수원 종류는 앞서 분류한 복류수, 지하수, 하천수, 호소수 외에 용천수가 있지만 용천수의 경우 2014년도부터 자료가 존재하며, 울릉군 정수장에서만 이용하기에 자료의 수가 현저히 적어 제외하였다.

소독부산물(THMs, HAAs, HANs) 자료는 복류수, 지하수, 하천수, 호소수 4개의 수원으로 분류한 후 연도별, 월별로 분석하였다. 고도처리공정을 도입한 정수장과 표준정수공정을 도입한 정수장의 소독부산물 발생을 비교하기 위해 고도처리 유무를 기준으로 분리하여 소독부산물 발생량의 평균을 산출했다. 이때 수원에 따른 소독부산물 발생량의 변화를 최소화하기 위해 고도정수를 도입한 정수장이 대부분 사용하는 하천수만 분리하여 사용하였다.

소독부산물 발생 농도와 온도의 상관성을 알아보기 위해 기상청에서 운영하는 기상자료개방포털에서 대구·경북지역의 2011년도부터 2024년도까지의 일평균 기온 자료를 수집하였고 정수장 위치 지역 내 기온 데이터가 없을 경우 최인접 지역의 기온을 대체하여 사용하였다. 정수장에서 수온을 별도로 측정하지 않았기 때문에, 수온의 대체 지표로 기온 자료를 활용하였다. 기온과 소독부산물의 상관관계는 피어슨 상관관계수(PCC)로 나타내어 분석하였다. PCC는 코사-슈바르츠 부등식에 의해 +1과 -1 사이의 값을 가지며, +1은 완벽한 양의 선형 상관관계, 0은 선형 상관관계 없음, -1은 완벽한 음의 선형 상관관계에 있다고 판단한다. 소독부산물의 발생에는 기온 말고도 다양한 인자가 영향을 미치고, 분석에 활용한 자료만으로는 다양한 인자와의 상관관계를 판단할 수는 없기에 기온과 소독부산물의 연관성만을 간단히 알아보기 위해 PCC를 사용했다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 트리할로메탄류(THMs)

2011년부터 2024년까지 대구·경북지역 정수장 처리수의 월별 THMs 농도를 원수 유형별로 구분하여 Fig. 1에 제시하였다. 하천수 및 호소수를 원수로 사용하는 정수장의 THMs 농도가 복류수 및 지하수를 사용하는 정수장보다 상대적으로 높게 나타났다. 일반적으로 THMs의 전구물질은 자연적으로 발생하는 NOMs 뿐만 아니라 인간의 생활 및 산업활동에서 배출되는 방향족 탄화수소, 의약품, 개인위생제품, 살충제, 미세 플라스틱 등 인위적인 화학물질도 포함된다 [9]. 지표면에 노출되어 있는 호소수의 경우 강우로 인해 유입되는 낙엽, 나뭇가지 등이 분해되어 자연유기물질 농도가 증가할 가능성이 있고, 하수처리시설에서 하천 등 수계로 유입되는 방류수의

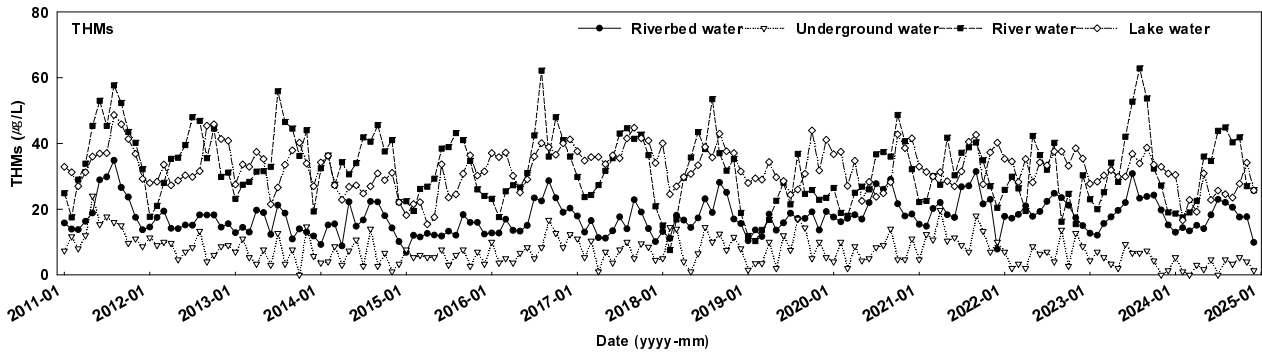


Fig. 1. Variation of THM concentrations in finished water by raw water source. Each point represents monthly average of riverbed water (n=10,307), underground water (n=478), river water (n=1,081), and lake water (n=3,509).

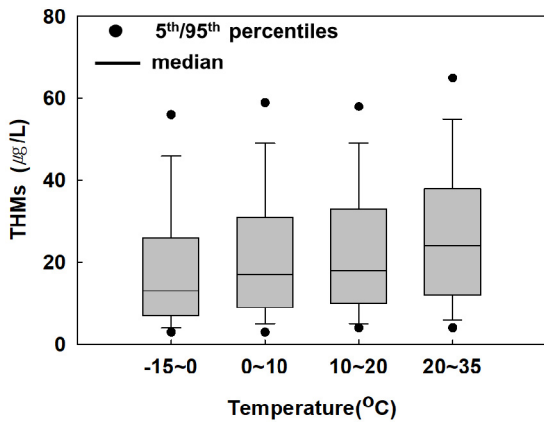


Fig. 2. Box-and-whisker plots of THMs concentration by temperature range.

영향으로 THMs 전구물질 농도 증가의 가능성이 존재한다. 특히 대구·경북지역의 경우 대다수의 하천이 낙동강 유역에 속하며, 산업단지가 몰려있는 특성상 하천으로 유입되는 유기성 물질의 농도가 높기 때문에 판단된다[10]. 반면 복류수와 지하수는 지표층을 통과하는 과정에서 흡과 자갈층에 의해 THMs의 전구물질이 부분적으로 제거되어 잔류 염소와의 반응을 통해 형성되는 소독부산물의 발생 가능성이 낮아지기에 원수에 따른 차이점이 발생한다고 판단된다.

또한, 원수 유형별 계절적 변동을 살펴보면, 복류수·지하수·하천수의 경우 8~9월에 THMs 농도가 높게 나타났고, 호소수는 상대적으로 늦은 시기인 9~10월에 최고치를 보였다. 이러한 결과는 THMs 생성이 온도의 영향을 크게 받는 특성과 관련이 있으며 기온이 상승하는 여름철에 반응 속도가 증

가하여 THMs의 농도가 높게 나타나는 것으로 해석된다.

기온과 THMs 농도 간의 상관관계를 보다 정량적으로 파악하기 위하여, 기온 구간별 THMs 농도범위를 Fig. 2에 제시하였다. THMs의 생성은 지역별 수질 특성, 정수 공정, 염소 주입량 등 다양한 요인에 의해 복합적으로 영향을 받으므로, 기온과 THMs 농도의 단순 비교만으로 상관관계를 명확히 규명하기는 어렵다. 그럼에도 불구하고 전체적인 경향을 살펴보면, 기온이 상승할수록 THMs 농도 역시 증가하는 추세를 보였다.

원수 유형별 분석 결과, 하천수와 호소수는 기온 상승에 따라 THMs 농도가 뚜렷하게 증가한 반면, 지하수와 복류수는 기온 변화에 대한 영향이 비교적 미미하게 나타났다. 이와 같은 결과는 하천수와 호소수는 환경적 요인에 의해서 기온 변화의 영향을 지하수, 복류수에 비해 더 많이 받는 점을 고려할 때, 기온이 THMs 생성에 주요한 영향을 미치는 요인으로 작용함을 시사한다. 경향성을 수치로 확인하기 위해 각 연도별 하천수를 원수로 하는 정수장의 THMs 농도와 기온 사이의 상관계수를 Table 1에 나타내었다. 상관계수는 2011년도에 0.8513으로 가장 높고 2020년도에 0.1965로 가장 낮다. 전체 평균이 0.4357로 기온과 THMs의 농도는 양의 상관관계에 있다고 볼 수 있다.

표준정수 정수장과 고도정수공정을 도입한 정수장의 THMs의 농도를 비교하기 위해 표준과 고도 정수공정별 연간 THMs 농도 범위를 Fig. 3에 나타내었다. 이때 대구·경북지역에서 고도정수과정을 사용하는 정수장은 대부분 하천수를 사용하기 때문에 원수에 의한 차이를 최소화하기 위해 표준정수과정을 사용하는 정수장도 하천수를 사용하는 곳으로만 선택하여 정

Table 1. Correlation between temperature and THM concentrations in finished water at water treatment plants with river water as source water

	Pearson Correlation Coefficient															
	average	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	
THMs	0.4357	0.8513	0.7225	0.6286	0.2212	0.3716	0.3501	0.3913	0.5326	0.3873	0.1965	0.4752	0.4393	0.6667	0.4715	

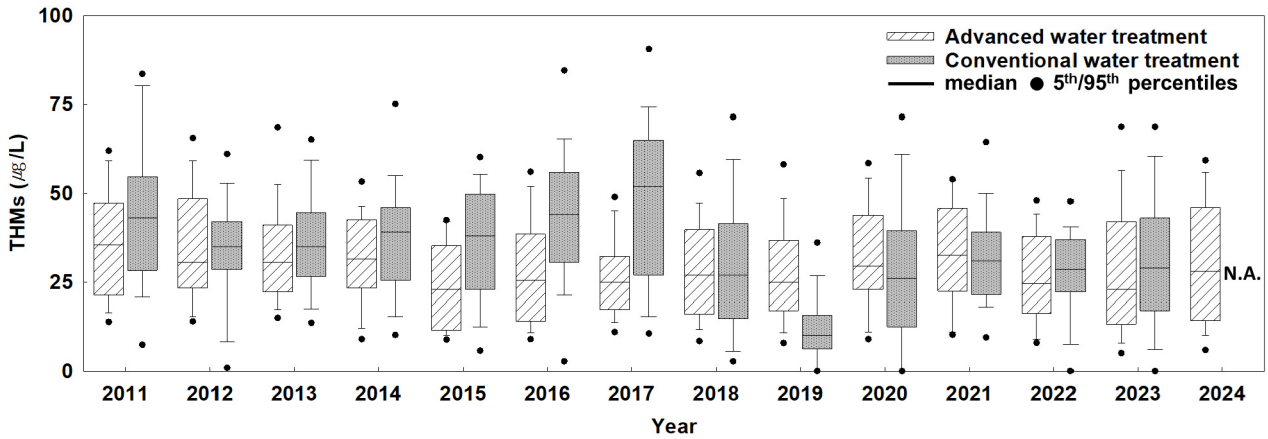


Fig. 3. Box-and-whisker plots of THMs concentration in finished waters of conventional and advanced water treatment plants. 3 advanced and 5 conventional treatment plants in 2011-2015; 4 advanced and 4 conventional treatment plants in 2016-2022; 7 advanced and 1 conventional treatment plants in 2023; and 8 plants operated with advanced treatment in 2024.

리하였다. 고도정수를 사용하는 정수장이 표준정수를 사용하는 정수장에 비해 THMs의 농도가 낮음을 확인하였다. 표준정수에서는 THMs이 최대 95.0 µg/L, 평균 34.0 µg/L이었으며, 고도정수에서는 최대 78.0 µg/L, 평균 30.6 µg/L이다. 표준정수과정 중 완전히 제거되지 않은 소독부산물의 전구물질을 고도정수과정에서 추가로 제거하기 때문에 고도처리를 사용하는 정수장이 표준처리를 사용하는 정수장보다 THMs의 발생량이 적은 것으로 판단된다. 다만, 2018년 이후로 THMs 발생의 경향은 비슷해지는 경향을 보이는데, 이는 대구·경북 지역 내 하천수를 수원으로 하는 정수장에서 고도처리공정을 도입하여 표준정수공정 비교군이 적어지기 때문이며, 2024년에는 모든 하천수를 원수로 하는 정수장에 고도처리공정을 도입하였다.

3.2. 할로아세틱엑시드류(HAAs)

자료 조사 기간(2011~2024년) 대구·경북지역 정수장 처리수의 HAAs 월평균 농도를 Fig.4에 나타내었다. THMs과 유

사하게 호소수와 하천수를 원수로 사용하는 정수장의 HAAs 농도가 높게 나타났으며 지하수는 낮은 농도를 나타내거나 검출되지 않았다. 복류수의 경우 2016~2020년의 농도가 점차 증가하면서 하천수와 비슷한 수치를 보이고 있다. 지하수는 대부분의 시점에서 HAAs가 발생되지 않았다.

THMs과 달리 계절의 변화에 따른 HAAs 농도의 변화는 뚜렷하지 않았으며, 이는 HAAs의 생성에 온도가 미치는 영향이 크지 않다는 것을 나타낸다. 2011~2024년의 자료 중에서 HAAs의 최댓값은 43.3 µg/L로 수질기준(HAAs 100 µg/L)은 잘 지켜지고 있다. 하지만 2020년부터 HAAs의 농도가 증가하는 경향이 나타나고 있으며, 특히 호소수를 수원으로 하는 정수장에서 이러한 현상이 뚜렷이 발견되고 있다.

온도에 따른 영향을 확인하기 위해 기온 범위에 따른 HAAs 농도를 Fig.5에 나타내었다. THMs과 마찬가지로 수온 대신 기온을 사용하여 정리하였다. 기온에 따라 HAAs의 발생농도는 편차가 커지는 경향이 있으며 중위 값이 기온상승에 따라 다소 약하게 증가하는 경향을 보이긴 하였으나 통계적으로

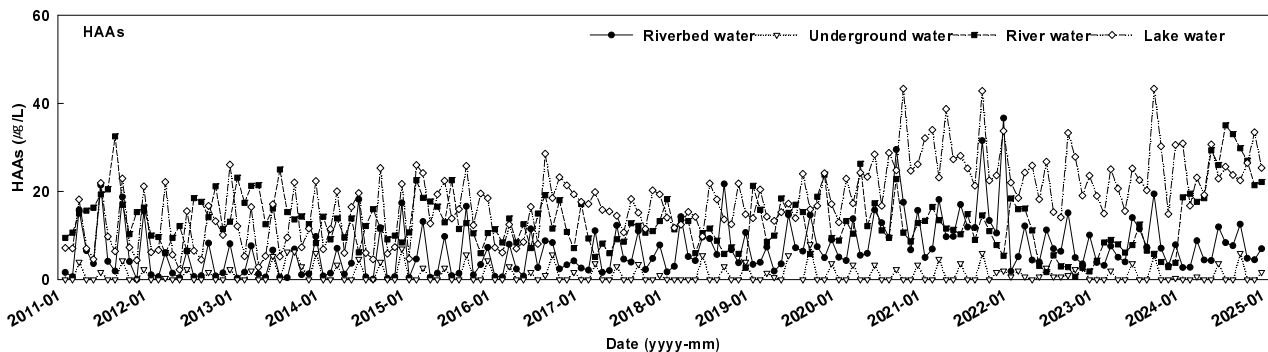


Fig. 4. Variation of HAA concentrations in finished water by raw water source. Each point represents monthly average of riverbed water (n=10,307), underground water (n=478), river water (n=1,081), and lake water (n=3,509).

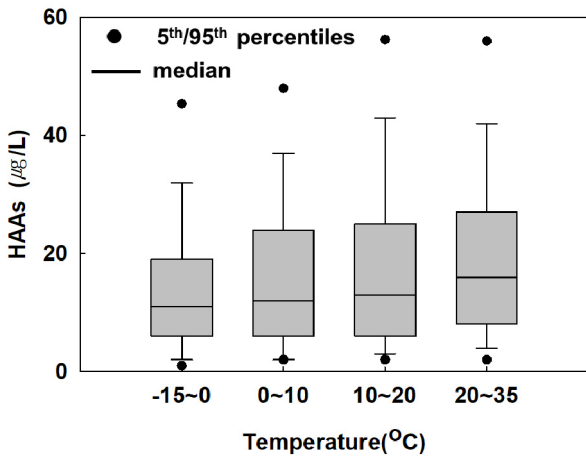


Fig. 5. Box-and-whisker plots of HAAs concentration by temperature range.

유의미한 값을 보이지 않았다. 원수별로도 대부분 기온에 상관없이 일정한 수치를 보인다. 다른 해외 연구사례에서 온도가 증가하면 HAAs의 발생량도 증가한다는 연구 결과가 있지만, 실제 국내 정수장에서는 원수 내 전구물질 성분, 정수 공정, 염소계 소독제 주입 농도 및 위치 등의 여러 요인이 해외와 일치하지 않아 유의미한 통계적 상관성이 없는 것으로 판단된다 [11].

표준정수 정수장과 고도정수공정을 도입한 정수장의 HAAs의 농도를 비교하기 위해 Fig. 6에 나타내었다. 고도정수 정수장이 표준정수 정수장에 비해 HAAs의 농도가 현저히 낮게 발생하였다. 표준정수에서는 HAAs의 연평균 최대 값은 30.5 µg/L 전체 평균 21.9 µg/L이며, 고도정수에서 연평균의 최대 값은 9.6 µg/L, 전체 평균 6.0 µg/L이다. 대부분의 소독부산물은 원수에 포함되지 않으며 정수 과정에서 염소계 소독제와 전구물질의 화학적 반응으로 생성되기 때문에 표준정수 과정

중 잔여 전구물질에 의해 HAAs의 발생 농도가 증가하는 것으로 사료된다. 고도처리를 사용하는 정수장이 표준처리를 사용하는 정수장보다 전구물질의 산화 능력이 우수하기에 HAAs의 발생량이 적은 것으로 판단된다 [12]. 이러한 결과를 토대로 볼 때 안정적인 수처리와 효과적인 오염물질 제거 및 먹는 물 수질기준 강화에 대비하여 각 정수시설의 고도화는 필수로 사료된다.

3.3. 할로아세토니트릴류(HANs)

2011년부터 2024년까지 대구·경북지역의 정수장에서 월평균 HANs 농도를 Fig. 7에 나타내었다. 호소수와 하천수를 원수로 사용하는 정수장의 HANs 농도가 높게 나타났으며 지하수는 적게 발생하거나 검출되지 않았다. 복류수의 경우 하천수와 호소수에 비해 수질이 깨끗하지만, 하천수의 수질에 직접적으로 영향을 받기 때문에 하천수의 수질악화, 홍수 등에 의해 수질이 악화되어 HANs의 농도가 높게 나타난 것으로 판단된다. 2020년도 6월부터 호소수를 사용하는 정수장에서 HANs의 농도가 높게 나타나는 빈도가 늘어났으며, 이는 HAAs의 발생특성과도 유사하다. HAAs와 HANs 둘 다 비슷한 시기부터 호소수를 사용하는 정수장에서 농도가 높게 나타나기 시작했는데, 본 연구에서는 명확한 원인을 규명할 수 없으나 향후 강화된 모니터링과 수처리가 필요할 것으로 보인다.

온도와 HANs 농도 사이의 상관관계를 알아보기 위해 월평균 기온과 HANs 농도를 Fig. 8에 나타내었다. 그래프상 기온 분류에 따라 HANs의 최대 발생값은 증가함을 보이나, 증위값은 변화가 없다는 점에서 전반적인 HANs 농도는 기온에 크게 영향을 받지 않는 것으로 판단되고, 기온과 HANs 농도 사이의 상관관계가 보이지 않는다. 기온, THMs, HAAs, HANs 항목별 회귀분석 및 상관분석 결과에서 하천수를 원수로 하는 정수

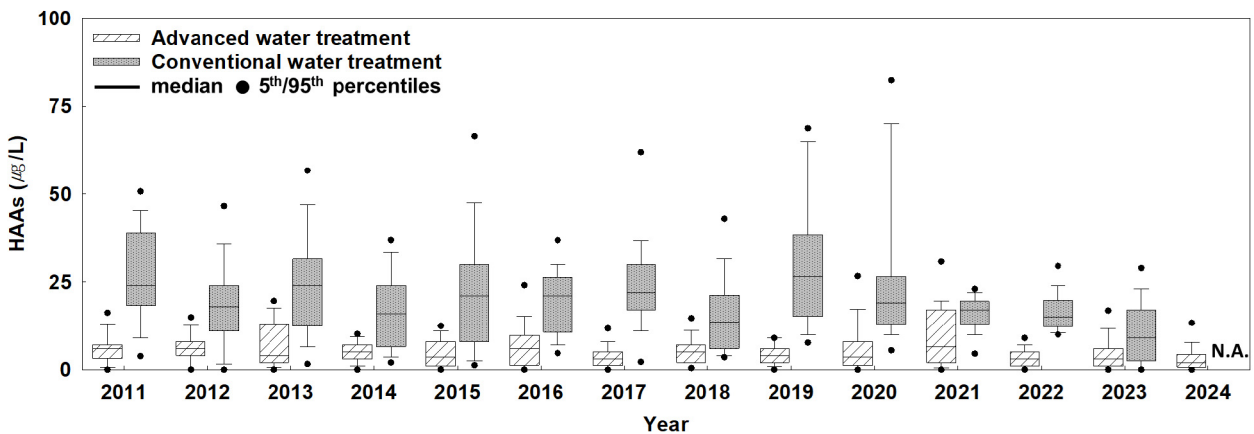


Fig. 6. Box-and-whisker plot of HAAs concentration in finished waters of conventional and advanced water treatment plants. 3 advanced and 5 conventional treatment plants in 2011-2015; 4 advanced and 4 conventional treatment plants in 2016-2022; 7 advanced and 1 conventional treatment plants in 2023; and 8 plants operated with advanced treatment in 2024.

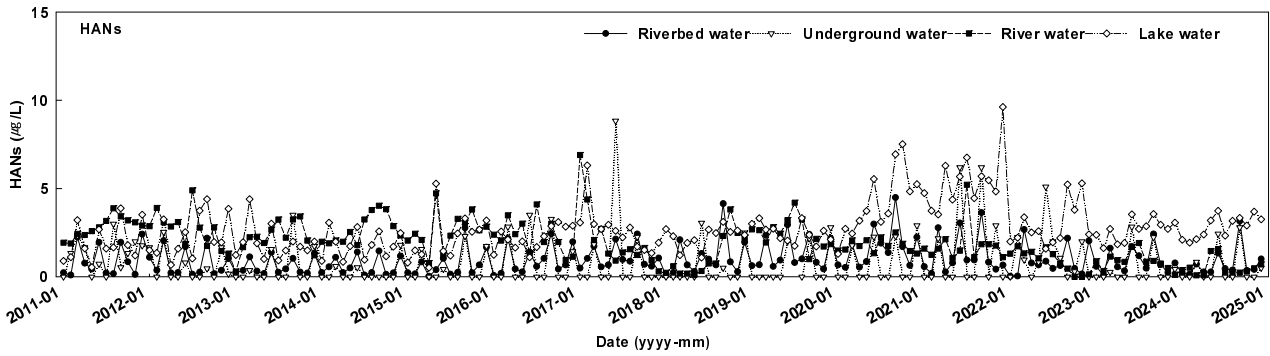


Fig. 7. Variation of HAN concentrations in finished water by raw water source. Each point represents monthly average of riverbed water (n=10,307), underground water (n=478), river water (n=1,081), and lake water (n=3,509).

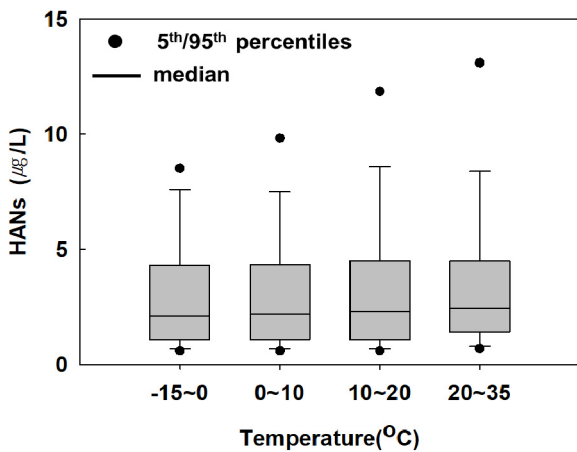


Fig. 8. Box-and-whisker plots of HANs concentration by temperature range.

장의 THMs농도와 기온간 양의 상관성($r = 0.4357$)이 확인되었고, 전체 정수장에서 발생하는 HAAs-HANs 농도 항목간 양의 상관성($r = 0.5833$)이 보였으나, 나머지 항목간 상관성은 관찰되지 않았다.

지 않았다.

표준정수 정수장과 고도정수를 도입한 정수장의 HANs의 농도를 비교하기 위해 Fig. 9에 나타내었다. THMs과 마찬가지로 하천수를 사용하는 정수장만을 분류하여 정리하였다. 표준정수에서는 HANs가 연평균 최대 값은 5.3 µg/L, 전체 평균 3.9 µg/L이며, 고도정수에서는 연평균 최대 값은 2.1 µg/L, 전체 평균 1.0 µg/L이다. 고도정수 정수장의 HANs 농도가 표준정수 정수장에 비해 평균 3.5배 정도 낮았다. 표준정수 중에 완전히 제거되지 않은 소독부산물의 전구물질을 고도정수공정에서 추가로 제거하기 때문에 고도처리를 사용하는 정수장이 표준처리 정수장보다 HANs의 발생량이 적은 것으로 판단된다.

4. 결론

2011년부터 2024년까지 14년간 대구·경북지역 정수장의 소독부산물 발생 현황에 대해 분석하여 다음의 결론을 얻었다.

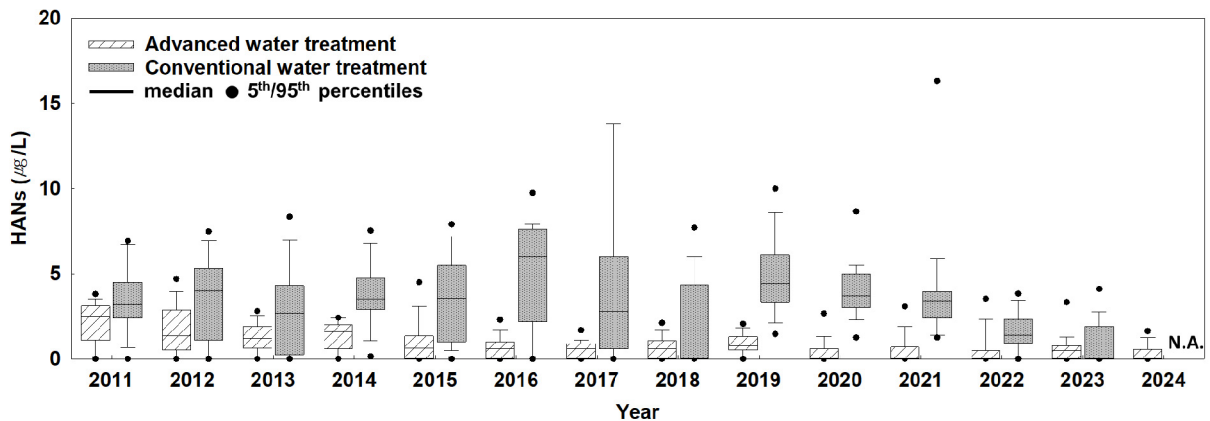


Fig. 9. Box-and-whisker plot of HANs concentration in finished waters of conventional and advanced water treatment plants. 3 advanced and 5 conventional treatment plants in 2011-2015; 4 advanced and 4 conventional treatment plants in 2016-2022; 7 advanced and 1 conventional treatment plants in 2023; and 8 plants operated with advanced treatment in 2024.

- 1) 소독부산물의 월별 평균 농도를 원수별로 나누어 비교한 결과, THMs, HAAs, HANs 모두 호소수와 하천수를 원수로 사용하는 정수장에서 비슷하게 높은 발생농도를 보였고, 복류수와 지하수를 원수로 사용하는 정수장에서 발생농도가 낮음을 확인하였다.
- 2) 조사지역 하천수를 원수로 하는 정수장 처리수의 THMs 농도-기온간, 전체 정수장 처리수의 HAAs-HANs 농도간 양의 상관관계를 나타냈으며, HAAs 농도는 기온이 증가함에 따라 발생농도의 편차가 증가하는 경향을 보이고 증위값이 다소 증가함을 보였으나, 통계적 수치 분석 시 HAAs와 HANs의 농도는 기온과 명확한 상관관계를 나타내지 않았다.
- 3) 하천수를 원수로 하는 정수장에서 소독부산물(THMs, HAAs, HANs) 농도는 고도처리 운영 시 표준정수 대비 낮았고, 특히 HAAs와 HANs의 경우 농도 차이가 크게 나타났다. 따라서 고도처리는 HAAs와 HANs의 전구물질 처리에 효과적이라고 볼 수 있다.

Acknowledgement

이 연구는 국립금오공과대학교 대학 연구과제비로 지원되었음(2024~2026).

References

1. Ministry of Climate, Energy and Environment. Guidelines for Water treatment [Internet]. Daejeon: Ministry of Climate, Energy and Environment; c2013 [cited 22 September 2025]. Available from: https://www.mcee.go.kr/home/web/policy_data/read.do?menuId=10264&seq=5194
2. Ministry of Climate, Energy and Environment. Water Supply Statistics 2023 [Internet]. Daejeon: Ministry of Environment, Climate, Energy and Environment; c2024 [cited 22 September 2025]. Available from: https://www.mcee.go.kr/home/web/policy_data/read.do?pagerOffset=0&maxPageItems=10&maxIndexPages=10&searchKey=title&searchValue=%EC%83%81%EC%88%98%EB%8F%84%ED%86%B5%EA%B3%84&menuId=10264&orgCd=&condition.toInpYmd=null&condition.fromInpYmd=null&condition.deleteYn=N&condition.deptNm=null&seq=8379
3. Lee KC, Lee WT. Effects of pH, Water Temperature and Chlorine Dosage on the Formation of Disinfection Byproducts at Water Treatment Plant. *J. Korean Soc. Environ. Eng.* 2015;37(9):505-510. <http://dx.doi.org/10.4491/KSEE.2015.37.9.505>
4. Hwang SH, Kwon WY, Kim HK, Kim TS, Kim SK, Choi JH, Pyo HS. Monitoring and Risk Assessment of Disinfection By-products Found in Chlorinated Drinking Water in Korea. *J. of the Korean Society for Environmental Analysis.* 2010; 13(1):11-20.
5. Pals JA, Ang JK, Wagner ED, Plewa MJ. Biological mechanism for the toxicity of haloacetic acid drinking water disinfection byproducts. *Environ Sci Technol.* 2011;45:5791-5797. <https://dx.doi.org/10.1021/es2008159>
6. Villanueva CM, Evlampidou I, Ibrahim F, Donat-Vargas C, Valentin A, Tugulea AM, Echigo S, Jovanovic D, Lebedev AT, Lemus-Pérez M, Rodriguez-Susa M, Luzati A, de Cássia dos Santos Nery T, Pastén PA, Quiñones M, Regli S, Weisman R, Dong S, Ha M, Phattarapattamawong S, Manasfi T, Egbenya Musah S-I, Eng A, Janák K, Rush SC, Reckhow D, Krasner SW, Vineis P, Richardson SD, Kogevinas M. Global assessment of chemical quality of drinking water: the case of trihalomethanes. *Water Res.* 2023;230:119568. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2023.119568>
7. Cho HK, Lim HJ, Kim SM. Comparison of water quality before and after four major river project for water monitoring stations located near 8 weirs in Nakdong River. *J Agric Life Sci.* 2018;52(6):89-101. <https://doi.org/10.14397/jals.2018.52.6.89>
8. Jang JH, Ahn JH. Assessing future climate change impact on hydrologic and water quality components in Nakdong River Basin. *J Korean Water Resour Assoc.* 2012;45(11):1121-1130. <http://dx.doi.org/10.3741/JKWRA.2012.45.11.1121>
9. Narasimha Rao J, Parsai T. Wildfire-driven changes in the formation of disinfection by-products (DBPs) and their precursors: prioritization and human health risk assessment using two-dimensional Monte-Carlo simulation. *J Hazard Mater.* 2025;499:139924. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2025.139924>
10. Kim YS, Son HJ, Seo CD, Kim HY, Lee WT, Hwang IS. Evaluation of NOM characteristics and disinfection by-products (DBPs) formation potential in Nakdong River Basin. *J Korean Soc Environ Eng.* 2018;40(12):495-504. <https://doi.org/10.4491/KSEE.2018.40.12.495>
11. Kim KS, Oh BS, Kang JW. Formation of HAAs and application of HAAs formation model using chlorine demand. *J Korean Soc Environ Eng.* 2004;26(11):1272-1277.
12. Xiao R, Deng Y, Xu Z, Chu W. Disinfection byproducts and their precursors in drinking water sources: origins, influencing factors, and environmental insights. *Engineering.* 2024;36: 36-50. <https://doi.org/10.1016/j.eng.2023.08.017>
13. K-water. Drinking Water Quality Standard Test Data in Republic of Korea [Internet]. Daejeon: K-water; c2025 [cited 16 September 2025]. Available from: <https://www.waternow.go.kr/web/tapWaterData>
14. Korea Meteorological Administration. Temperature statistics data [Internet]. Daejeon: Korea Meteorological Administration; c2025 [cited 16 September 2025]. Available from: <https://data.kma.go.kr/cmmn/main.do>

Declaration of Competing Interest

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

Authors and Contribution Statement

Changyeon Woo

Department of Environmental engineering, Kumoh National Institute of Technology, Ph.D. Course, [ORCID](#) 0000-0002-2569-6740: Data analysis, visualization, and draft writing..

Wontae Lee

Department of Environmental engineering, Kumoh National Institute of Technology, professor, [ORCID](#) 0000-0001-9660-4455: Project administration, review and editing.