

TOPTISIS를 이용한 낙동강 지류에서의 수질측정망 평가 연구

갈병석·박재범[†]·김성민*·심규현*·신상민*·최수연*

(주)다운솔루션

*국립환경과학원 낙동강물환경연구소

A Study on Evaluation of Water Quality Measurement Network in the Nakdong River Tributary Using TOPSIS

Byungseok Kal·Jaebeom Park[†]·Seongmin Kim*·Kyuhyun Shim*·Sangmin Shin*·Suyeon Choi*

Daon Solution co., Ltd.

*Nakdong River Environment Research Center, National Institute of Environmental Research

(Received : 4 January 2022, Revised : 9 February 2022, Accepted : 9 February 2022)

요약

본 연구에서는 TOPSIS(Techniques for Order Performance by Similarity to Ideal Solution)을 이용하여 낙동강수계 34개 지천에서의 수질측정망 설치 지점에 대하여 평가하였다. 낙동강수계에서는 지난 2011년부터 195개 지천에서 수질 및 유량을 측정하고 있다. 특히, 34개 중점관리지점은 오염원이 많고 수질이 불량한 지역으로서 지속적인 수질이 관리가 필요하다. 관리가 필요한 지점 선정을 위해 평가항목은 10개 지표를 선정하였으며 선정된 지표를 표준화하고, 엔트로피 방법(Entropy Method)을 이용하여 가중치를 부여하였다. 가중치 산정결과, 인근 측정망 유무가 가장 크고 평균 수질과 산업단지 유무도 높은 가중치를 얻었다. 평가결과, 상위 지점은 인근 측정망이 없고 산업단지와 폐수처리시설이 있고 평균 수질이 타 지점보다 높은 지점이다. 평가된 자료는 향후 낙동강수계에서의 신규 수질측정망 설정 및 지속적인 지류에서의 수질 관리를 위해 필요한 연구 결과로 판단된다.

핵심용어 : TOPSIS, 수질 모니터링, 다기준 의사결정

Abstract

In this study, TOPSIS(Techniques for Order Performance by Similarity to Ideal Solution) was used to evaluate the installation points of water quality monitoring networks in 34 streams of the Nakdong River watershed. The Nakdong River System has been measuring water quality and flow in 195 local streams since 2011. In particular, the 34 key management points are areas with many pollutants and poor water quality, requiring continuous water quality management. For the selection of points requiring management, 10 indicators were selected for evaluation, and the selected indicators were standardized and weighted using the entropy method. As a result of weight calculation, the presence or absence of a nearby measuring network received the greatest weight, and the average water quality and presence of an industrial complex obtained the highest weight. The evaluated data are judged to be the research results necessary for the establishment of a new water quality measurement network in the Nakdong River system and continuous water quality management in tributaries.

Key words : TOPSIS, Peak Water Quality Monitoring, Multi-Criteria Decision Making

[†]To whom correspondence should be addressed.

Daon Solution co., Ltd.
E-mail: econeural@gmail.com

- Byungseok Kal Daon Solution co., Ltd. / General Manager (kalbs1@naver.com)
- Jaebeom Park Daon Solution co., Ltd. / CEO (econeural@gmail.com)
- Seongmin Kim Nakdong River Environment Research Center, National Institute of Environmental Research / Research Officer (frogksm@me.go.kr)
- Kyuhyun Shim Nakdong River Environment Research Center, National Institute of Environmental Research / Research Fellow (ghsim@korea.kr)
- Sangmin Shin Nakdong River Environment Research Center, National Institute of Environmental Research / Research Fellow (clicktomessm@korea.kr)
- Suyeon Choi Nakdong River Environment Research Center, National Institute of Environmental Research / Research Fellow (tndus6322@korea.kr)

1. 서론

지류·지천은 본류 하천의 근간이 되는 곳으로서 건강한 수생태계 환경을 위해 가장 먼저 관리가 필요한 곳이다. 낙동강수계에는 총 785개의 지류 하천이 존재하며, 전체 유역면적의 약 82%를 차지하고 있어 본류 수질 관리를 위해서는 지류 관리가 우선시 되어야 한다. 이러한 지류에서의 수질 관리를 목적으로 환경부에서는 지난 2011년부터 낙동강수계의 지류·지천을 대상으로 200개 내외 지점에 대해 모니터링을 수행하고 있으며 오염도가 높은 중점관리지점은 월 1회, 일반 지점은 연 2회 실시하고 있다. 지속적인 지류에서의 수질 관리를 위해서는 환경부의 일반측정망과 같이 정기적인 운영이 필요하며 이런 지점을 선정하기 위해서는 측정지점에 영향을 미치는 요인들을 분석하는 것이 중요하다. 그러나, 영향을 미치는 요인이 많으므로 최적의 의사결정을 위해서는 여러 가지 의견을 종합해야 하며 이 경우 다 기준 의사결정 방법이 많이 사용된다.

국내에서의 측정망 선정 및 계획에 관한 연구들을 살펴보면 Lee et al.(2013)는 금강수계에 수질측정망을 엔트로피 이론을 이용하여 평가하였으며 Park et al.(2007)은 낙동강수계의 수질 측정망 설계를 위해 유전자 알고리즘을 이용하여 평가하였다. 수질 사고를 감시하기 위해 수질자동측정망을 운영하는 한국환경공단(2020)에서는 운영 중인 수질자동측정망에 대한 개편을 위한 로드맵을 수립하기 위하여 측정망 특성을 분석하고 배점을 매겨 유역별 존치 또는 이전, 확장 등의 근거 자료를 위한 연구를 수행하였다. 분석내용은 취수시설과 상수원보호구역 유무, 폐수처리장 및 산업단지 유무, 하수처리장 시설 규모, 수질 사고 우려, 인근 수질 측정망과 수위 및 유량 관측 지점 유무, 보 유무, 정성 평가 등으로 구성되어 있다. 국외에서는 Ilker et al.(2009) 신뢰성을 달성하면서 하천 네트워크에 대한 오염물질 검출 시간을 최소화되도록 측정지점 위치결정 방안 제안했고 Michael et al.(2011)은 수질 및 조기경보에 대한 최신 기술과 수중 오염물질 탐지를 위한 온라인 모니터링 체계의 개발 및 배치에 관련된 연구를 수행했으며 Micael et al.(2019)은 가중치와 의사결정을 위한 설문 결과를 바탕으로 측정소 배치에 대한 방법론을 제안했다.

다기준 의사결정 방법에서 가중치는 대안의 최종 순위를 결정하는 데 영향을 미치므로 가중치 선정 방법은 과학적이고 합리적 과정이 필요하다. 따라서 지표의 가중치 결정 방법은 다양한 기법이 사용될 수 있고 같은 지표에 대하여 서로 다른 값이 사용될 수 있다(Hobbs et al., 1992; Al-Kloub et al., 1997; Yeh et al., 1999). 수자원 측면의 취약성 연구에서는 델파이(Delphi) 기법이 여러 차례 사용되었으나(Lee et al., 2013; Chung et al., 2014), 전문가 또는 이해당사자들에게 대한 설문결과를 이용함으로 주관적인 방법으로 구분된다. 반면 엔트로피 방법은 수집된 자료의 정량적 자료의 특성만을 반영함으로써 객관적인 분석이 가능하다.

Hajkowicz and Collins(2007)는 물관리 연구에 적용된 의사결정 기법들을 조사하였고 그 결과 각 지표의 입력자료와 가중치의 불확실성을 해소하기 위해 다기준 의사결정 기법

(Multi Criteria Decision Making, MCDM)에 퍼지개념을 결합하였으며 특히 TOPSIS(Technique for Order Performance by Similarity to Ideal Solution; Hwang and Yoon, 1981) 기법이 가장 많이 사용되었다고 보고한 바 있다. TOPSIS 기법은 Hwang and Yoon(1981)이 개발하였고 거리를 바탕으로 거리의 가깝고 먼 것을 통해 의사결정자가 대안을 선택할 수 있도록 한다. Lee et al. (2019)는 가뭄과 연관된 다양한 관련 요인을 TOPSIS로 분석하여 가뭄 취약성 평가방안을 수립하는 데 활용하였고 Kim et al.(2012)는 우리나라 홍수 취약성을 기후변화 요소를 이용하여 평가하는데 퍼지 가중치 기법과 함께 적용하였다. Park et al.(2016)은 주관적·객관적 가중치에 따른 TOPSIS 결과를 비교하여 단위유역별 물 이용에 대한 취약성을 평가하였다.

본 연구의 목적은 지류·지천에서 운영하는 측정망 중에서 지속적인 관리가 필요한 지점을 선정하기 위하여 다기준 의사결정 기법의 하나인 TOPSIS를 활용하여 낙동강수계 34개 중점관리 지점을 대상으로 평가하고자 한다. TOPSIS 기법은 앞선 사례들을 분석해 볼 때 수자원 및 물 이용, 기후변화 분야의 취약성을 평가하는 데 많이 활용하고 있어 수질측정망 선정과 같은 수환경 분야에 대한 평가 활용도 기대해 볼 수 있다.

2. 연구방법

2.1 연구 대상 지점 및 모니터링 현황

본 연구 대상 지점은 국립환경과학원 낙동강물환경연구소에서 측정하는 195개 지천 모니터링 지점 중 34개 중점관리지점을 선정하였다. 34개 중점관리지점은 측정지점 중에서 오염도가 높아 수질 관리 관심이 높은 지점이고 낙동강수계 6개 중권역에 포함되어 있다. 평가 기간은 2011~2021년의 11년간 자료를 사용하였으며 해당 하천 현황은 아래 Table 1과 같다(Fig. 1).

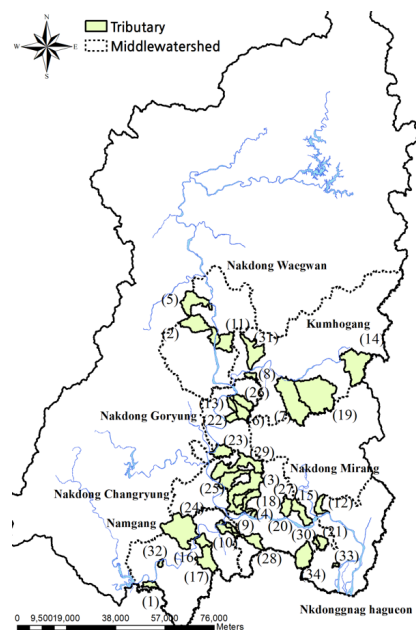


Fig. 1. Sampling site.

Table 1. 34 Tributary status

Middle Watershed	Tributary
Kumhogang	Namcheon(7), Dalseocheon(8), Bookancheon(14), Omokcheon(19), Palgeocheon(31)
Nakdonggang Haguen	Mijeoncheon(12), Hogyeocheon(33)
Nakdong Goryung	Gisegokcheon(6), Bonricheon(13), Yonghacheon(22), Yonghocheon(23), Cheonecheon(26)
Nakdong Mirang	Gyuseongcheon(3), Guangokcheon(4), Sangnamcheon(15), Yeongsancheon(18), Ohocheon(20), Yongdeokcheon1(21), Chodongcheon(27), Chilwoncheon(28), Toiraecheon(30), Hwapocheon(34)
Nakdong Waegwan	Gyunghocheon(2), Gumicheon(5), Dongjeongcheon(11)
Nakdong Changryung	Changrungcheon(25), Topyungcheon(29)
Namgang	Gajwacheon(1), Daesacheon(9), Daesancheon(10), Seokgyocheon1(16), Seokgyocheon2(17), Uirungcheon(24), Hyunjicheon(32)

2.2 분석방법

본 연구의 분석 과정은 Fig. 2과 같이 4단계로 구분될 수 있다. 먼저 1단계는 지점별 분석을 위한 평가 지표를 선행 연구 자료 및 분석을 통해 선정하는 단계이다. 측정지점에 영향을 미치는 지표를 조사하여 해당 지표들을 분석하기 위해 자료를 수집하고 결정한다. 2단계는 선정된 지표에 대하여 표준화를 통해 지표를 정규화한다. 3단계는 정규화된 자료를 엔트로피 방법을 통해 가중치를 결정하는 것으로서 가중치 결정을 통해 어느 지표가 해당 지점에서 더욱 신뢰성 높은 지표로 분석되는지 확인할 수 있으며 동일한 가중치와 비교하여 지점별 지표의 변화를 확인할 수 있다. 4단계는 가중치가 적용된 지표를 TOPSIS를 이용하여 지점별로

우선순위를 평가하는 단계이다. 우선순위가 결정된 지점을 통해 지속적인 관리가 필요한 지점에 대한 방향성을 확인할 수 있다.

2.3 지표의 선정

본 연구에서는 수질측정망 우선 선정을 위해 10가지 지표를 선정하였다. 이 지표들은 선행 연구인 한국환경공단(2020)에서 사용한 지표들과 유역 내 환경적 특성인 오염원 지표를 이용한 지표이다. 지표는 아래 Table 2에 정리하였다. Table에서 1~5는 유역 내 오염 및 수질 관리 시설 등 공간적 특성에 대한 지표이고 6~10은 오염원 및 수질 모니터링 자료 등 오염원을 분석한 지표이다. 취수시설은 유역 내 시설 여부에 따라 배점하였으며 산업폐수처리시설은 시설용량을 사용하였다. 산업단지는 입지 형태에 따라 국가, 일반, 농공단지로 구분하여 배점하였고 공공하수처리시설은 산업폐수처리 시설과 같이 시설용량을 사용하였다. 그리고 지점이 속한 중권역 내 낙동강 본류의 보 유무와 인근 수질 측정망 유무를 선정하였다. 평균 수질과 유달 부하량은 지난 11년간 측정 자료의 평균을 이용하였고 배출 부하밀도는 2019년 기준 전국오염원 조사자료를 이용하여 산정된 부하량 값이다. 목표 수질 달성률은 지점이 속한 중권역의 목표 수질에 대한 지점에서의 측정 수질의 달성 여부를 백분율화하여 평가하였다. 수질 및 부하량, 목표 수질 달성률은 T-P를 기준으로 하였다. 자료는 국토교통부(MOLIT), 국립환경과학원(NIER),

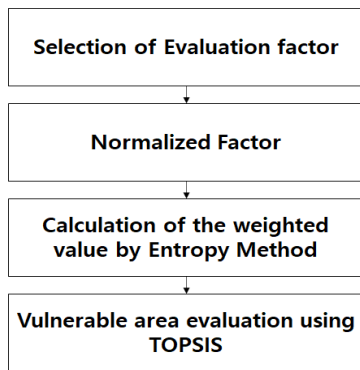


Fig. 2. Analysis flowchart.

Table 2. Factors for vulnerability analysis

Index	Description of indicator	Reference	Period
1	WIF Water Intake Facility existence and nonexistence(Existence: 40, Nonexistence: 0)	WAMIS	2021
2	IWT Industrial Wastewater Treatment plant capacity(m ³ /day)	NIER	2019
3	IC Industrial Complex(National: 12, Normal: 8, Agricultural: 4, Nonexistence: 0)	MOLIT	2021
4	SW Sewage treatment capacity(m ³ /day)	NIER	2019
5	MCW Main Channel Weir existence in Middle Watershed(Existence: 5, Nonexistence: 0)	Analysis	2021
6	NWQM Nearby Water Quality Measurement Point existence and nonexistence(Existence: 15, Nonexistence: 0)	WEIS	2021
7	AWQ Average Water Quality from 2011~2020(mg/L)	Analysis	2011~2021
8	TWA Target Water Quality Achievement rate(%), Achievement rate of Target water quality by branch	Analysis	2011~2021
9	DPL Delivery Pollutant Load(kg/day), Measurement data analysis: Flow X T-P water quality	Analysis	2011~2021
10	LD Load Density(kg/day·km ²), Data Analysis(Daily Load(kg/day)/Area(km ²))	NIER	2019

NIER: NATIONAL INSTITUTE OF ENVIRONMENTAL RESEARCH, WAMIS: Water resources Management Information System, WEIS: Water Environment Information System, MOLIT: Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Analysis: Analysis result

물환경정보시스템(WEIS), 국가수자원관리시스템(WAMIS)에서의 자료를 사용하였다.

2.4 표준화 방법

평가항목에 대한 각 자료는 서로 다른 단위와 성질을 가지고 있어 평가하기 위해서는 표준화를 시키는 과정이 필요하다. 표준화 방법으로는 Z-스코어법, 스케일 재조정(re-scaling)법, 기준선과의 차이(distance to reference country) 및 범주 스케일(categorical scale)등이 있다. 본 연구에서는 스케일 재조정 방법의 하나인 Dimension Index 방법을 이용하였다. 이 방법은 자료를 전체 자료 범위 내에서 등수에 따라 일렬로 줄 세우는 방법으로 많이 사용하는 방식으로 아래 Eqn. 1과 같다.

$$X_i = \frac{x_i - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \times 100 \quad (1)$$

여기서 X_i 는 i 번째 표준화된 값, x_i 는 i 번째 자료값, x_{\max} 는 최댓값, x_{\min} 은 최솟값이다.

2.5 Entropy 가중치 산정방법

본 연구에서는 가중치 산정을 위해 엔트로피 방법을 사용하였다. 엔트로피 방법은 1948년 Shannon에 의해 처음 제안되었으며 대안과 속성을 많이 포함하는 기준 의사결정 문제에 대해 의사결정자가 이해하기 쉬운 방법을 적용한 것이다. 정보의 양의 불확실성을 측정하기 때문에 불확실성이 있는 자료를 평가하는데 이용한다(Sarraf and Nejad, 2020). 엔트로피 방법은 평가항목의 정보만을 이용하여 가중치를 산정하기 때문에 다른 방법에 비해 객관적인 가중치 산정이 가능하다.

엔트로피 가중치 산정 절차는 먼저 지표의 변수들을 각 열이 지표의 값을 대표하도록 자료들을 구성하고 정규화하는 과정이 필요하다. 정규화된 지표들의 엔트로피 값을 산정한 후 최종적으로 엔트로피 가중치를 산정한다. 가중치 산정 절차는 다음과 같다.

① 지표의 자료 행렬 구성

$$R = [r_{ij}] \quad (r_{ij}: \text{표준화된 행렬})$$

(i : 평가대안, j : 지표)

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}} \quad (i=1,2,3,\dots,m; j=1,2,3,\dots,n)$$

② 지표별 엔트로피 산정

$$H_i = -k \sum_{i=1}^n f_{ij} \log f_{ij}$$

$$(k = \frac{1}{\ln n}, n \text{은 대안의 수이며, } f_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sum_{j=1}^n r_{ij}})$$

③ 다양성의 정도를 나타내는 a_i 를 이용하여 다양성 정도($a_i = 1 - H_i$)의 표준화를 통해 평가할 항목별 가중치(w_i)를 산정

$$w_{ij} = \frac{1 - H_i}{\sum_{i=1}^m (1 - H_i)} \quad (0 \leq w_i \leq 1, \sum_{i=1}^m w_i = 1)$$

2.6 TOPSIS 분석방법

다기준 의사결정 기법(Multi Criteria Decision Making, MCDM)은 평가 기준과 고려해야 할 사항이 다수일 경우 각 기준의 중요도에 따른 가중치를 부여하여 최선의 대안이나 순위 등을 결정하는 것을 의미하며 많은 연구에서 대안 등을 결정하는 데 활용되고 있다. TOPSIS는 양의 이상적인 해(Positive Ideal Solution, PIS)와 부의 이상적인 해(Negative Ideal Solution, NIS)를 산정하여 각 해의 가깝고 먼 것을 통해 대안을 찾는 방법으로 다양한 의사결정 문제에 활용되고 있다(Kim and Chung, 2014; Won et al., 2015).

TOPSIS 산정 절차는 다음과 같다.

① 지표의 자료 행렬 구성

$$R = [r_{ij}] \quad (r_{ij}: \text{표준화된 행렬})$$

(i : 평가대안, j : 지표)

($i = 1, 2, 3, \dots, m; j = 1, 2, 3, \dots, n$)

② 표준화된 데이터에 가중치 적용

$$v_{ij} = w_j r_{ij} \quad (v_{ij}: \text{가중화된 표준화 값,}$$

w_j : 지표의 가중치)

③ 양과 음의 이상적 해 산정

$$A^* = v_1^*, v_2^*, \dots, v_n^*$$

$$A^- = v_1^-, v_2^-, \dots, v_n^-$$

$$v_j^* = \max v_{ij}, v_j^- = \min v_{ij}$$

④ 각 대안에 대한 양의 이상적인 해(S_i^*)와 음의 이상적인 해(S_i^-) 산정

$$S_i^* = \sqrt{\sum (v_j^* - v_{ij})^2}$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum (v_j^- - v_{ij})^2}$$

⑤ 근접도 거리 계수(C_i^*)

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^* + S_i^-}$$

상대적 근접도 거리 계수를 통해 대안별 순위를 뽑는다.

3. 연구결과

3.1 지표의 표준화

아래 Table 3과 같이 지표를 표준화하였다. 취수시설 유무에 대한 지표(WIF)는 오목천 지점에만 있었고 산업폐수 처리 시설 처리용량 지표(IWT)는 남천에서 가장 크게 나타나고 있다. 산업단지 유무 지표(IC)는 달서천 외 11개 지점에서 크게 나타났고 하수처리시설 용량 지표(SW)는 달서천이 가장 크게 나타났다. 인근 측정망 유무 지표(NWQM)는 측정망이 없는 지점이 경호천 외 12개 지점으로 나타났고 평균 수질 지표(AWQ)가 가장 큰 지점은 호계천으로 나타났다. 목표 수질 달성률 지표(TWA)는 가좌천 외 9개 지점이 목표 수질 달성률이 가장 낮았고 유달부하량 지표(DPL)는 오목천 지점이 가장 크게 나타났으며 부하밀도 지표(LD)는 용덕천1 지점이 부하밀도가 가장 큰 것으로 나타났다.

3.2 가중치 산정

수질측정망 설정을 위한 가중치를 엔트로피 방법으로 산정하였다. 산정결과, 아래 Table 4과 같이 목표 수질 달성에 대한 가중치가 가장 크게 나타나고 있으며 다음으로 인근 수질 측정망 유무, 평균 수질과 산업단지 유무 순으로 높게 나타나고 있다. 목표 수질 달성도가 상대적으로 낮은 지역과 인근 측정망이 없는 지점은 해당 유역에 대한 지속적인 관리의 필요성을 나타낸다고 할 수 있다. 취수시설의 가중치가 가장 낮게 나타나는 이유는 34개 지점 중에서 취수시설이 있는 지점은 오목천 지점 1개 지점이므로 지점들을 비교하는 가중치로서 변별력이 가장 떨어지기 때문으로 해석된다. 그 외 가중치는 유역의 오염원 유출에 해당하는 지표들로서 수질측정망에서의 오염도가 차지하는 비중이 큰 것으로 해석된다.

가중치를 통한 중권역별 지표의 크기를 아래 Fig. 3과 같

Table 3. Result of normalized

Site	WIF	IWT	IC	SW	MCW	NWQM	AWQ	TWA	DPL	LD
Gajwacheon	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.30	0.00	0.19	0.09
Gyunghocheon	0.00	0.00	0.00	0.04	1.00	0.00	0.12	0.17	0.14	0.12
Gyuseongcheon	0.00	0.00	0.00	0.01	1.00	0.00	0.17	0.02	0.10	0.16
Guangokcheon	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.29	0.00	0.04	0.30
Gumicheon	0.00	0.00	0.00	0.11	1.00	0.00	0.14	0.07	0.25	0.06
Gisegokcheon	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.92	0.17	0.02	0.03
Namcheon	0.00	1.00	0.50	0.07	0.00	0.00	0.05	0.97	0.54	0.12
Dalseocheon	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.17	0.82	0.51	0.92
Daesacheon	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.11	0.03	0.12	0.09
Daesancheon	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.13	0.04	0.06	0.10
Dongjeongcheon	0.00	0.00	0.50	0.00	1.00	1.00	0.23	0.00	0.12	0.08
Mijeoncheon	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.43	0.00	0.03
Boricheon	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.31	0.25	0.02	0.07
Bookancheon	0.00	0.02	0.50	0.04	0.00	1.00	0.05	1.00	0.29	0.14
Sangnamcheon	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.16	0.04	0.22	0.09
Seokgyocheon1	0.00	0.02	1.00	0.00	0.00	1.00	0.12	0.06	0.92	0.09
Seokgyocheon2	0.00	0.01	0.50	0.00	0.00	1.00	0.09	0.03	0.75	0.05
Yeongsancheon	0.00	0.00	0.50	0.00	1.00	1.00	0.17	0.03	0.05	0.11
Omokcheon	1.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.08	0.74	1.00	0.17
Ohocheon	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.19	0.04	0.00	0.00
Yongdeokcheon1	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.19	0.00	0.04	1.00
Yonghacheon	0.00	0.25	1.00	0.00	1.00	1.00	0.47	0.02	0.06	0.16
Yonghocheon	0.00	0.01	1.00	0.00	1.00	0.00	0.16	0.52	0.06	0.14
Uirungcheon	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.05	0.16	0.19	0.06
Changrungcheon	0.00	0.00	0.50	0.01	0.00	0.00	0.29	0.01	0.06	0.21
Cheonecheon	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.10	0.88	0.03	0.04
Chodongcheon	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.20	0.08	0.03	0.08
Chilwoncheon	0.00	0.00	0.50	0.00	0.00	1.00	0.16	0.04	0.02	0.02
Topyungcheon	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.23	0.00	0.25	0.10
Toiracheon	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.20	0.00	0.00	0.31
Palgeocheon	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.98	0.14	0.06
Hyunjicheon	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.38	0.00	0.04	0.13
Hogyeocheon	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00	0.02	0.14
Hwapocheon	0.00	0.01	1.00	0.02	0.00	0.00	0.24	0.00	0.19	0.09

이 비교하여 평가하였고 엔트로피 적용을 통한 중권역별 변화를 확인할 수 있었다.

중권역 분석을 통해 동일 가중치 적용 시 영향이 큰 지표들은 부하 밀도와 목표 수질 달성률이며 그 외 본류에서의 보 유무와 인근 수질 측정망의 유무이다. 그리고 엔트로피 가중치를 통한 영향이 큰 지표들은 인근 수질 측정망 유무와 본류 보 유무, 산업단지 유무와 목표 수질 달성률로 나타났다. 엔트로피 가중치 적용을 통해 동일 가중치에서 보다 부하 밀도와 목표 수질 달성률에서 인근 측정망 유무의 중요성이 커졌으며 목표 수질 달성률은 계속 그 영향이 크게 나타났다.

중권역별 변화를 보면 금호강 중권역은 동일 가중치 적용 시 부하 밀도에 대한 영향이 가장 컸으나 엔트로피 가중치에서는 산업단지 유무와 인근 측정망 유무의 영향이 가장 큰 것으로 나타났다. 금호강 중권역 내에는 타 유역보다 산업시설이 많고 오염도가 높아 측정망 지점 선정 시 산업시설이

있고 인근 측정망이 없는 지점에 대해 우선적 선택이 필요할 것으로 판단된다. 낙동강 하구엔 중권역에서는 동일 가중치와 엔트로피 모두 지표 크기 순서가 바뀌지 않았다. 낙동강 하구엔 중권역 내에서는 인근 측정망이 없고 목표 수질 달성도가 낮은 순으로 지점을 선정하는 것이 필요하다. 낙동고령과 낙동왜관 중권역은 동일 가중치 적용 시 본류의 보 유무가 가장 큰 지표로 나타났다. 이는 두 중권역 내 구미보, 칠곡보, 강정고령보, 달성보, 합천창녕보로 5개 다목적 보가 있기 때문으로 판단된다.

그러나, 엔트로피 적용 시 낙동왜관은 보 유무가 가장 크게 영향을 미치지만 낙동고령은 인근 수질측정망 유무가 가장 큰 영향을 주는 것으로 평가되었다. 낙동밀양과 낙동창녕, 남강 중권역은 동일 가중치 적용 시 부하밀도의 영향이 가장 큰 것으로 나타났지만 엔트로피 적용 시 인근 측정망 유무의 영향이 가장 큰 것으로 평가되었다. 따라서, 권역별 우선 지점 선정 시에는 해당 권역에서의 엔트로피 기준 변화를 통해 우선 관리가 필요한 지점을 확인할 수 있으리라 판단된다.

Table 4. Entropy Weight for Index

Indicator	Weight
Target water quality achievement rate	0.17
Nearby Measurement point	0.14
Water Quality	0.12
Industrial Complex	0.12
Delivey Pollution Load	0.10
Load Density	0.10
Main Channel Weir	0.10
Sewage treatment plant	0.05
Industrial wastewater treatment	0.05
Water intake facility	0.05

3.3 TOPSIS를 이용한 순위 선정

표준화된 각 지표 자료에 대하여 엔트로피 가중치를 적용하였으며 지표들을 통합하고 분석하기 위해 TOPSIS 방법을 사용하였다. 그리고, 동일 가중치로 선정된 우선순위와 엔트로피 가중치를 통한 순위를 비교하였다. 평가결과, Table 5에서 동일 가중치에서의 상위 지점은 용덕천1, 달서천, 용하천, 퇴래천, 관곡천 순으로 나타났으며 엔트로피 가중치를 적용한 경우 용하천, 용덕천1, 석교천1, 오목천,

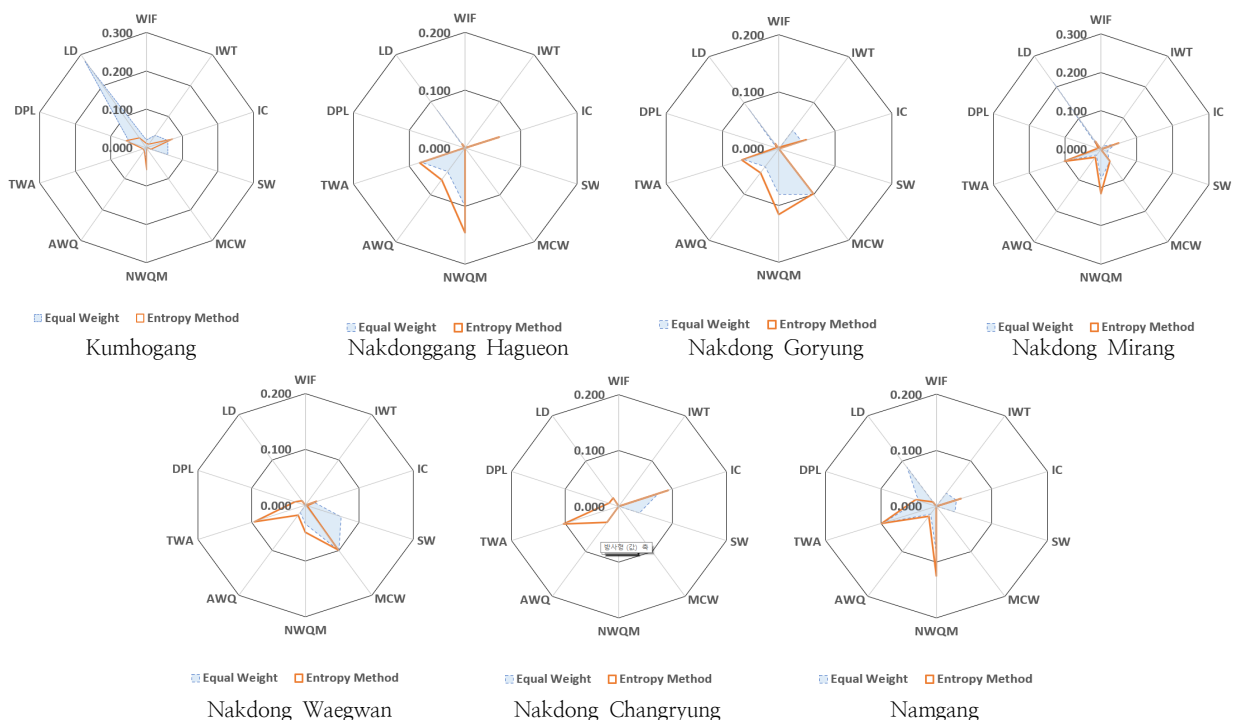


Fig. 3. Changes in indicators by basin according to weight change.

Table 5. Rank Comparison

Site	Equal Weight	Entropy method	Site	Equal Weight	Entropy method
Gajwacheon	26	18	Yeongsancheon	12	7
Gyungchocheon	18	31	Omokcheon	6	4
Gyuseongcheon	15	29	Ohocheon	28	15
Guangokcheon	5	9	Yongdeokcheon1	1	2
Gumicheon	21	28	Yonghacheon	3	1
Gisegokcheon	20	6	Yonghocheon	11	20
Namcheon	17	32	Uirungcheon	33	33
Dalseocheon	2	13	Changrungcheon	13	30
Daesacheon	19	11	Cheonecheon	32	26
Daesancheon	22	24	Chodongcheon	29	25
Dongjeongcheon	14	5	Chilwoncheon	30	16
Mijeoncheon	31	17	Topyungcheon	25	22
Bonricheon	23	14	Toiraecheon	4	8
Bookancheon	10	27	Palgeocheon	34	34
Sangnamcheon	27	21	Hyunjicheon	24	19
Seokgyocheon1	7	3	Hogyeocheon	16	12
Seokgyocheon2	8	10	Hwapocheon	9	23

동정천 순으로 나타났다. 이 지점들은 목표 수질 달성률이 낮고 인근 측정망이 없으며 산업단지가 있는 지점들이다. 동일 가중치 적용 지점과 비교하면 용덕천1과 용하천은 엔트로피 가중치에서도 높게 나타나나 석교천1, 오목천, 동정천은 순위가 많이 높아진 것을 알 수 있다.

석교천1은 함안, 범수강주 일반산업단지과 함안일반산업 폐수시설이 있어 산업시설로 인한 오염 유출 우려가 큰 지점이고 오목천은 경산2~4 일반 산업단지와 경산취수장이 있고 유달 부하량도 커 수질관리가 필요한 지점이다. 동정천은 목표 수질 달성률이 매우 낮고 칠곡농기계특화 농공단지 등이 조성되어 있어 수질 관리가 필요한 지점으로 판단된다.

측정 수질의 정도, 목표 수질 달성률, 지점이 속한 구역에서의 부하량 등은 사용하기 쉬운 지표들이나 해당 지점을 단순히 평가하기엔 한계를 가지고 있다. 따라서, 우선 지점이 필요한 수질측정망 선정 시 측정망에 영향을 미칠 수 있는 지표들을 고려한 복합적인 분석을 통해 과학적인 지점이 가능하다.

4. 결 론

본 연구에서는 낙동강수계 지류에서의 우선 수질 측정망 지정에 관한 방법을 평가하여 그 우선순위를 산정하였다. 낙동강수계에서는 2011~2011년까지 약 11년간 지류·지천에서 수질 및 유량이 측정되고 있으며 이 중 오염이 우심한 지점 34개를 중점관리 지점으로 선정하여 관리하고 있다. 이 측정망 중에서 현재 환경부에서 운영하는 하천측정망과 같이 지속적인 측정이 필요한 지점 선정을 위해 지표를 선정하고 분석하였다. 평가 방법은 다기준 의사결정방법 중 하나인 TOPSIS 방법을 이용하며 의사결정에 사용하기 위한 의사결정을 위한 가중치 산정을 위해서는 엔트로피 방

법을 적용하였다. 지표들의 가중치를 엔트로피 방법을 통하여 분석한 결과, 목표 수질 달성률과 인근 측정망 유무, 평균 수질과 산업단지 유무 순으로 가중치가 산정되었다. 우선순위가 높은 지점은 용하천, 용덕천1, 석교천1, 오목천, 동정천 순으로 평가되었으며 지점들의 특징은 목표 수질 달성률이 낮고 인근 측정망이 없으며 산업단지 및 폐수처리시설이 있는 지점들로 나타났다.

본 연구는 낙동강수계에서 운영되고 있는 지류·지천 측정망 중에서 하천측정망과 같이 지속적인 모니터링이 필요한 지점을 선정하기 위해 측정지점에 영향을 미치는 지표를 선정하고 다기준 의사결정방법을 통해 지표를 평가하고 우선순위를 산정하였다. 본 연구결과를 통해 향후 수계에서의 신규 측정망 설치 및 변경 등의 계획 수립시 유용한 정보를 제공할 것이라 기대된다.

사 사

이 연구는 낙동강수계관리기금 환경기초조사사업을 통해 수행되었습니다.

References

- Al-Kloub, B., Al-Shemmeri, T., Pearman, A.(1997), The role of weights in multi-criteria decision aid, and the ranking of water projects in Jordan, *European Journal of Operational Research* 99, pp.278-88, [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(96\)00051-3](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(96)00051-3)
- Chung ES, Won KJ, Kim YJ, Lee HS(2014), Water resource vulnerability characteristics by district's population size in a changing climate using subjective and objective weights. *Sustainability* 6, pp.6141-6157, <https://doi.org/10.3390/s61416141>

- [org/10.3390/su6096141](https://doi.org/10.3390/su6096141)
- Hajkowicz, S., Collins, K.(2007), A review of multiple criteria analysis for water resource planning and management. *Water Resources Management* 21(9), pp.1553-1566, <https://doi.org/10.1007/s11269-006-9112-5>
- Hwang, CL, Yoon, KP(1981), Multiple attribute decision making an introduction. Sage Publications. Thousand Oaks London New Delhi, pp.38-45.
- Kim YK, Chung ES, Lee GS(2012), Fuzzy TOPSIS Approach to Flood Vulnerability Assessment in Kore. *Journal of Korean Water Resources Association* 45(9), pp.901-913 [Korean Literature] <https://doi.org/10.3741/JKWRA.2012.45.9.901>
- Lee JH, Song YH, Hong SH, Kim DH, Lee SH, Park MJ(2016), Evaluation of Water Quality Monitoring Network in Geum River System Using Entopy Theory, *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation*, 13(6), pp.447-453. <https://doi.org/10.9798/KOSHAM.2013.13.6.447>
- Lee CW, Shin HJ, Kwon MS, Lee GM, Nam SH, Kang MS(2019), An Approach to Drought Vulnerability Assessment using TOPSIS Method. *Journal of the Korean association of Geographic Information Studies* 22(4), pp.102-115, <https://doi.org/10.11108/kagis.2019.22.4.102>
- Park SY, Wang SK, Choi JH, Park SS(2007), Design of a Water Quality Monitoring Network in the Nakdong River using the Genetic Algorithm, *Journal of Korean Society on Water Quality*, 23(5), pp.697-704, [Korean Literature] <http://www.riss.kr/link?id=A75366599>
- Hobbs, B. F., Chankong, V., Hamadeh, W., Stakhiv, E. Z.(1992), Does choice of multicriteria method matter? An experiment in water resources planning. *Water Resources Research* 28, pp.1767-1779, <https://doi.org/10.1029/92WR00712>
- Ilker T.T., Kijin N., Jiabao, G., Mustafa M.A.(2009), Optimal water quality monitoring network design for river systems, *Journal of Environmental Management*, 90(10), pp. 2987-2998,[Korean Literature] <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2009.04.011>
- Korea Environment Corporation.(2020), A study on establishing a roadmap for reorganization of operation and management by watershed of automatic water quality measurement network. pp.133-139[Korean Literature]
- Lee GM, Jun KS, Chung ES(2013), Integrated multicriteria flood vulnerability approach using fuzzy TOPSIS and Delphi technique, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 13, pp.1293-1312. <https://doi.org/10.5194/nhess-13-1293-2013>
- Micael, S.F., Demetrius D.S., Abrahão, A.A.E., Hugo, A.S.G.(2019), Methodological proposal for the allocation of water quality monitoring stations using strategic decision analysis, *Environmental monitoring and assessment*, 191(12), p.776, <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7974-2>
- Michael V.S., Bram, G., Brendan P.B.(2011), Advances in on-line drinking water quality monitoring and early warning systems, *Water Research*, 45(2), pp.741-747, <https://doi.org/10.1016/j.watres.2010.08.049>
- Park HS, Kim JB, Um MJ, Kim YJ(2016), A Study for the Selection Method of Control Area of Nonpoint Pollution Source. *Journal of Korean Water Resources Association* 49(8), pp.685 - 692[Korean Literature] <https://doi.org/10.5389/KSAE.2014.56.6.011>
- Yeh, C.H., Willis, R.J., Deng, H., Pan, H.(1999), Task oriented weighting in multi-criteria analysis. *European Journal of Operational Research* 119, pp.130-146, [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(98\)90353-8](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(98)90353-8)