

낙동강유역 지류에서의 장기 수질모니터링 자료를 이용한 관리 대상물질 분석 연구

갈병석* · 박재범** · 김성민** · 신상민** · 장순자** · 전민재** · 이동현**

*㈜다온솔루션

**국립환경과학원 낙동강물환경연구소

Analysis study on substances subject to management using long-term water quality monitoring data in tributaries of the Nakdong River basin

Byungseok Kal* · Jaebeom Park** · Seongmin Kim** · Sangmin Shin** ·
Soonja Jang** · Minjae Jeon** · Donghyun Lee**

*Daon Solution co., Ltd.

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

(Received : 5 October 2023, Revised : 30 October 2023, Accepted : 30 October 2023)

요약

본 연구는 낙동강수계 지류에서의 장기 수질모니터링 자료를 이용하여 수질의 목표수질 초과율, 증가 추세를 검토하여 지류에서 문제 되는 물질이 무엇인지 파악하는 것이 목적이다. 낙동강수계에서는 중점 관리가 필요한 38개 지류에 대하여 월 1회 모니터링이 수행되고 있으며 이 자료를 이용하여 지점별 목표수질 초과 및 증가 경향을 분석하였다. 분석 항목은 하천 수질 기준으로 평가가 가능한 DO, BOD, COD, TOC, SS, 총인, 분원성 대장균군, 총대장균군 8개 항목이다. 분석 결과, 목표수질 초과율이 50% 이상이며 증가추세인 항목은 TOC, 분원성 대장균군 총대장균수로 나타났으며 초과율이 50% 이하이나 증가 경향을 가진 항목은 SS로 나타났다. TOC는 난분해성 물질의 증가로 인한 원인으로 판단되며 대장균의 지속적인 증가는 향후 하수처리시설에서의 방류수질 중 대장균의 관리가 필요할 것으로 판단된다.

핵심용어 : 장기모니터링, 추세분석, 목표수질, 관리, 오염물질

Abstract

The purpose of this study is to use long-term water quality monitoring data from tributaries of the Nakdong River system to identify problematic substances in tributaries by examining the rate of exceedance and increase in water quality targets. In the Nakdong River system, monitoring is conducted once a month for 38 tributaries that require intensive management, and this data was used to analyze trends in exceeding and increasing target water quality at each point. The analysis items are eight items that can be evaluated based on river water quality standards: DO, BOD, COD, TOC, SS, total phosphorus, fecal coliform, and total coliform. As a result of the analysis, the target water quality exceedance rate was more than 50%, and the items with an increasing trend were TOC, fecal coliform and total E. coli counts, and the items with an exceedance rate of less than 50% but an increasing trend were SS. TOC is believed to be caused by an increase

*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@korea.kr)
• Sangmin Shin Nakdong River Environment Research Center, National Institute of Environmental Research / Research Fellow (clicktomessm@korea.kr)
• Soonja Jang Nakdong River Environment Research Center, National Institute of Environmental Research / Research Fellow (jsj8792@korea.kr)
• Minjae Jeon Nakdong River Environment Research Center, National Institute of Environmental Research / Research Fellow (jmin2206@korea.kr)
• Donghyun Lee Nakdong River Environment Research Center, National Institute of Environmental Research / Research Fellow (cloudy13@korea.kr)

in non-degradable substances, and the continued increase in Total Coliform will require management of Total Coliform in effluent water from sewage treatment facilities in the future.

Key words : Long-term monitoring, Trend Analysis, Target Water Quality, Pollutants

1. 서 론

정책의 추진 및 결정을 내리는 데 있어서 과거의 경험 및 통계 자료는 중요한 판단 기준이 될 수 있다. 이에 따라 하천에서의 장기적인 수질 모니터링은 하천 수질 및 오염원 관리 측면에서 중요한 역할을 하고 있으며 장기간 걸쳐 수집된 자료들은 과거에서 현재까지 진행되고 있는 유역의 모습을 담고 있어 미래의 계획을 세우고 추진하는데 활용할 수 있다.

우리나라는 하천 수질관리를 위해 환경정책기본법을 기반으로 오염물질에 대한 수질 기준을 수립하여 관리하고 있다(Park et al., 2013). 수립된 수질 기준은 목표수질을 설정하여 관리하는데 이는 중권역별 수질목표등급, 오염총량관리 제도에서의 단위유역별 목표수질 등이 해당한다. 그러나, 하천 수질기준이 환경정책기본법의 생활환경기준과 사람의 건강보호 기준으로 28종의 항목에 대해 설정하고 있으나 중권역별 수질목표등급과 오염총량제도의 목표수질은 BOD와 T-P만 설정되어 있다. 그중 BOD는 수중의 생태적 변화 등으로 측정치의 변동이 심하고, 난분해성 유기물의 반영이 어려운 특징이 있어 유기오염물질을 대표하는 물질로 적용하기에 한계가 있다는 문제점이 계속 제기되고 있다(Kim et al., 2019). 기존의 수질오염총량관리 대상물질의 선정 및 적절성에 대한 연구로 Park et al. (2006)은 수질관리 기준인 BOD의 한계를 제시하였고 Park et al. (2013)은 3대강(낙동강, 금강, 영산강)을 대상으로 중권역별 목표수질 초과 빈도를 분석하여 TOC를 대상 물질로 제시하였다. 또한, 하천에서 측정되고 있는 다른 수질항목에 대해서도 지속적인 연구가 이루어지고 있으며 Choi et al. (2015)은 한강수계에서 BOD, COD, T-N, T-P 등 15개 수질 항목에 대한 군집 분석, 요인분석을 수행하였으며 Lee et al. (2017)은 한강수계에서 10개 수질 항목에 대한 지역적 및 계절적 수질변화를 분석하였다. 그리고 Kim et al. (2011), Choi et al.

(2017), Yu et al. (2018) 등도 다양한 수질 항목에 대한 특성 분석 연구를 수행한 사례가 있다.

이에 하천에서의 대상물질 확대를 위한 연구가 시도되고 있다. 한강수계 수질의 통계분석 및 유량조건에 따른 수질 변화와 경향을 분석한 연구(Choi et al. 2017)는 경향성 분석을 통해 BOD 대신 COD 등의 유기물질을 대상물질로 고려가 가능한 것으로 제시하였고 한강수계의 중권역별 추세분석 및 목표수질 달성도 평가를 통한 우선 관리물질을 분석한 연구(Kim et al., 2019)에서는 한강유역에서의 물환경관리 측정망과 총량측정망에서의 선형 추세 경향과 목표수질 달성도 평가 등을 통해 BOD, T-P 외에 TOC, 분원성 대장균, 총대장균 등도 향후 관리가 필요한 물질로 제시하고 있다.

낙동강수계에는 총 785개의 지류 하천이 존재하며, 유역의 전반적인 수질 관리는 이런 작은 유입 지천에서부터 시작해야 한다. 이러한 지류에서의 수질 관리를 위해서 환경부에서는 지난 2011년부터 낙동강수계의 200개 내외의 지류·지천에서 수질 및 유량 모니터링을 수행하고 있으며 그중 오염도가 높은 중점관리지점은 월 1회를 대상으로 측정하고 있다. 지속적인 지류의 수질 관리를 위해서는 지류의 수질 항목(또는 오염 물질)중 관리가 필요한 항목이 무엇인지 확인이 필요하며 해당 물질을 통한 향후 유역에서의 장기적인 대책 마련 및 수질관리를 추진할 수 있다.

본 연구의 목적은 낙동강수계 지류에서 장기간 측정된 수질 모니터링 자료에 통해 유역의 수질을 평가하고 유역의 목표수질에 대한 초과 여부와 추세분석을 통해 관리가 필요한 오염물질이 무엇인지 분석하는 것이다.

2. 연구방법

2.1 장기모니터링을 통한 수질평가 방법

본 연구는 Fig. 1과 같이 크게 4개 분석 단계로 구분된

Table 1. 38 Tributary status

Middle Watershed	Target Water Quality Index	Tributary
Kumhogang(6)	II	Namcheon(7), Dalseocheon(8), Bookancheon(14), Omokcheon(19), Palgeocheon(31), Sincheon(35)
Nakdonggang Haguen(2)	Ib	Mijeoncheon(12), Hogyecheon(33)
Nakdong Goryung(6)	Ib	Gisegokcheon(6), Bonricheon(13), Yonghacheon(22), Yonghocheon(23), Cheonecheon(26), Jincheoncheon(36)
Nakdong Mirang(11)	Ib	Gyuseongcheon(3), Guangokcheon(4), Sangnamcheon(15), Yeongsancheon(18), Ohocheon(20), Yongdeokcheon1(21), Chodongcheon(27), Chilwoncheon(28), Toiracheon(30), Hwapocheon(34), Soosancheon(37)
Nakdong Waegwan(3)	II	Gyunghocheon(2), Gumicheon(5), Dongjeongcheon(11)
Nakdong Changryung(2)	Ib	Changrungcheon(25), Topyungcheon(29)
Namgang(8)	Ib	Gajwacheon(1), Daesacheon(9), Daesancheon(10), Seokgyocheon1(16), Seokgyocheon2(17), Uirungcheon(24), Hyunjicheon(32), Hachoncheon(38)

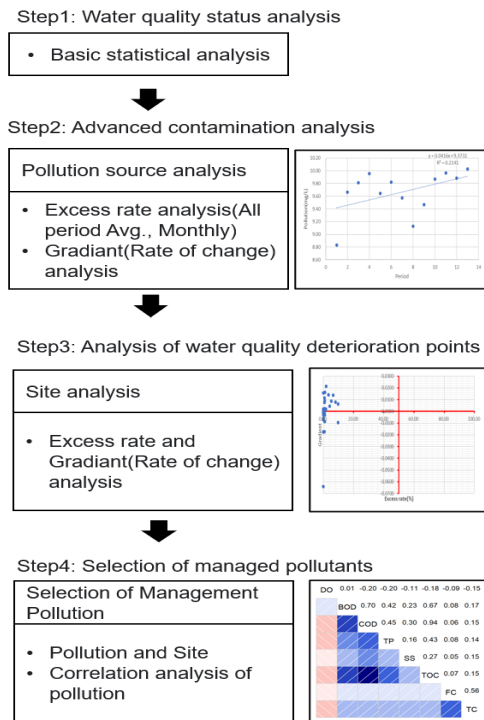


Fig. 1. Analysis Flow Chart

다. 1단계는 수질의 기초통계 분석을 통해 현재 수질 현황을 파악하는 것이고 2단계는 수집된 데이터를 이용하여 목표수질 초과율과 추세경향을 분석하는 것이다. 3단계는 목표수질 초과율과 증가율을 이용하여 수계에서 현재 관리가 필요한 오염대상물질이 무엇인지 검토하는 것이고 4단계는 오염물질간의 상관성 분석을 통해 오염원간의 영향을 분석하는 것이다.

대상 물질의 선정은 목표수질 초과율과 증가 추세를 통해 검토하였으며 초과율이 높고 증가추세인 수질이 수계에서 관리가 필요한 물질로 판단하였다. 증가추세는 Sen's slope의 기울기를 통해 추세 경향을 파악하였다.

2.2 연구지역 및 모니터링 현황

연구지역은 국립환경과학원 낙동강물환경연구소에서 측정하는 낙동강수계 198개 지류 모니터링 지점 중 38개 중점관리지점을 선정하였다. 38개 중점관리지점은 측정지점 중에서 오염도가 높아 월 1회 측정을 진행하는 지점이다.

해당 지점은 낙동강수계 33개 중권역 중 7개 중권역에 포함되어 있고 유출은 모두 낙동강 본류로 유출되고 있는 권역이다.

포함된 중권역을 보면 낙동밀양 중권역이 11개 지점으로 가장 많고 남강 중권역 8개, 낙동고령과 금호강이 6개 지점으로 나타나고 있다.

평가 기간은 2013~2022년 12월까지 10년간이고 평가하기 위한 수질 항목은 하천 수질기준으로 평가 가능한 DO, BOD, COD, TOC, SS, 총인, 분원성 대장균군, 총대장균군 8개 항목이며 해당 하천 현황은 아래 Table 1.과 같다(Fig 2.).

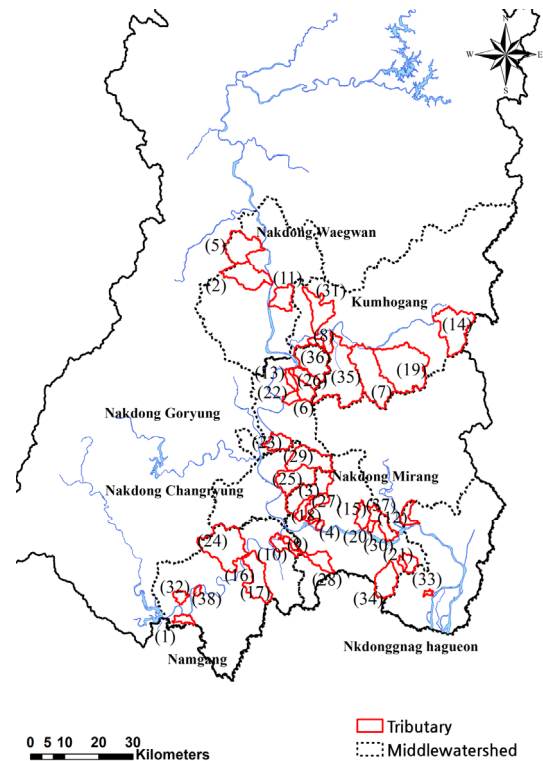


Fig. 2. Sampling site

2.3 Sen's Slope

Sen's Slope는 Sen(1968)에 의해 제안되었으며 데이터에 대한 추세 기울기를 평가하는 방법이다. 아래 식 (1)은 기울기 산정 식을 나타내고 있다.

$$Q_i = \frac{X_j - X_k}{j - k} (i = 1, \dots, n) \quad (1)$$

여기서 X_j , X_k 는 각각 j와 k 시간에서의 데이터 값을 나타낸다($j > k$). 하나의 측정치에서 $N = n(n-1)/2$ 이며 n은 자료 기간의 수이다. 여러 개의 측정값에서 $N < n(n-1)/2$ 이며 n은 측정치의 총 개수이다. Sen's slope 추정량의 중앙값(Q_{med})은 아래와 같다.

$$Q_{med} = \begin{cases} Q_{[(n+1)/2]}, & \text{if } N \text{ is odd} \\ \frac{Q_{[n/2]} + Q_{[(n+2)/2]}}{2}, & \text{if } N \text{ is even} \end{cases} \quad (2)$$

Q_{med} 는 데이터의 경향을 보여주며, 그 값들은 경향의 기울기를 나타낸다. Sen's slope의 값이 양이면 증가, 음이면 감소 경향을 나타낸다.

Sen's slope는 $P \leq 0.05$ 일 때 통계적으로 유의하며, $P > 0.05$ 경우는 통계적으로 유의한 경향성은 없다고 판단한다.

2.4 관리 필요물질 결정

관리 필요항목을 결정하는 방법 중 가장 간단한 방법은

수질의 오염도를 평가하는 것으로서 유역의 목표수질에 대한 초과 정도와 해당 물질이 증가하는지를 평가하는 것이다. 유역의 오염물질이 목표수질을 초과하면서 증가하는 경향을 가지면 수질 관리가 시급한 물질이고 반면 목표수질 초과가 적고 감소하는 추세라면 수질관리의 필요성이 시급하지 않은 물질로 평가된다. 기준은 아래 Table 2.와 같이 중권역 목표기준에 대한 초과율과 추세경향분석으로 설정하였다. 이러한 항목을 결정하기 위하여 좌표법을 이용하였다.

좌표법의 기준은 수질 측정지점에서의 목표수질 초과율 50%와 증가추세와 교차하는 수직선을 기준으로 하여 각각 좌측 하단으로부터 시계방향으로 I분위(양호), II분위(관리 지속), III분위(관리 주의), IV분위(관리 필요)로 구분할 수 있다(Fig. 3.).

I분위에 분포하는 물질은 현재 관리가 잘되고 있는 물질로서 목표수질 초과율이 낮고 오염물질도 감소하는 추세를 보이는 물질로서 해당 물질은 “양호”하다고 판단되는 물질이고 II분위에 분포하는 물질은 목표수질 초과율은 50%를 넘으나 오염물질의 경향이 감소하는 추세로서 오염물질에 대한 관리가 잘되어 수질이 감소하고 있으나 아직 목표수질 초과율은 높아 “관리 지속”이 필요한 물질로 판단된다. III분위에 분포하는 물질은 현재 목표수질 초과율은 50%를 넘지지는 않으나 경향이 증가하는 추세로서 “관리 주의”가 필요한 물질이며 IV분위에 분포하는 물질은 초과율이 50%를 넘고 증가하는 추세로서 관리가 시급한 “관리 필요” 물질로 판단할 수 있다. 이렇게 분위별로 속한 대상 물질을 통해 물질별 현황 특성을 파악할 수 있다.

Table 2. Decision criteria

Standard	Target Water Quality Index
Excess rate	Mid-watershed target water quality 50% excess rate(%)
Trend analysis	Sen's slope Up and Down Trend analysis

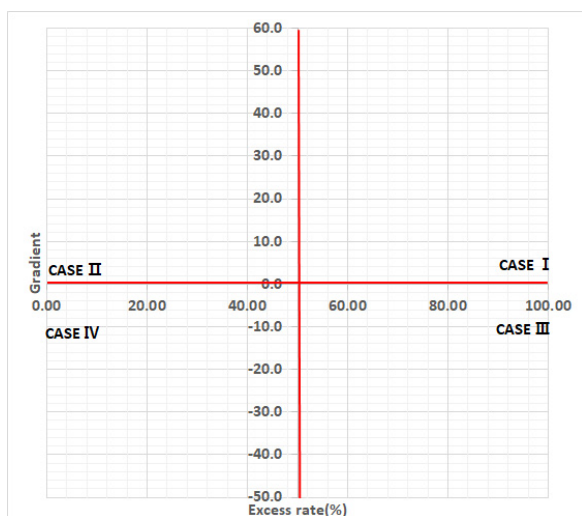


Fig. 3. Excess rate-Gradient with the coordinate method

Table 3. Water quality status

Division	Water Quality							
	DO (mg/L)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	T-P (mg/L)	SS (mg/L)	TOC (mg/L)	Fecal Coliform (MPN/100 mL)	Total Coliform (MPN/100 mL)
MAX.	44.9	22.6	30.4	2.649	496.000	28.2	4,350,000	18,000,000
MIN.	3.2	0.3	0.7	0.012	0.300	0.8	—	5
AVG.	9.7	3.0	7.8	0.162	15.023	5.5	9,576	134,955
STDEV.	2.8	2.1	3.0	0.174	23.030	2.5	86,209	494,445
n	3,614	3,614	3,614	3,614	3,614	3,614	3,346	3,346

3. 연구결과

3.1 현재 수질 평가 결과

2013년 1월부터 2022년 12월까지 10년 동안 매월 측정된 수질 자료를 통해 수질 현황을 분석하였다(Table 3.).

수질평가 결과, 전 기간 평균 DO 9.7mg/L, BOD 3.0mg/L, COD 7.8mg/L, T-P 0.162mg/L, SS 15.023mg/L, TOC 5.5mg/L, Fecal Coliform 9,576 MPN/100mL, Total Coliform 134,955 MPN/100mL로 나타났다. 생활환경기준의 하천수질 평가 방법으로 평가하면 DO는 “매우 좋음”(Ia) (7.5mg/L 이상), BOD는 “약간 좋음”(II)(2.0~3.0mg/L 이하), COD는 “약간 나쁨”(IV)(7.0~9.0mg/L 이하), T-P는 “보통”(III)(0.1 ~0.2mg/L 이하), SS는 “매우 좋음”(Ia)(25mg/L 이하), TOC는 “약간 나쁨”(IV)(5.0~6.0mg/L이하), Fecal Coliform과 Total Coliform은 보통 등급 기준인 1,000 MPN/100mL과 5,000 MPN/100mL을 초과하는 것으로 나타났다.

중권역 목표수질 기준인 BOD와 T-P로 평가하면 “약간 좋음”~“보통” 수준의 수질을 나타내고 있으나 COD, TOC, 대장균군 등의 수질은 “약간 나쁨” 이하의 좋지 않은 수질을 보인다. 이는 목표수질 위주의 수질관리 영향으로 해당 물질 등의 관리에 치중한 결과로 보인다.

3.2 목표수질 초과율 평가

목표수질 초과율은 월별 중권역별로 관리되고 있는 목표수질에 대한 초과 정도를 전 기간과 월별로 구분하여 평가하였다.

아래 Table 4.과 Fig. 4.에서 보면 전 기간 평가 결과, 가장 초과가 많은 물질은 COD로 평균 93.22%로 가장 높게 나타나고 있으며 T-P, TOC, 총대장균의 초과율이 80% 이상으로 높게 나타나고 있다.

가장 초과를 적게 하는 항목은 DO로 1.77%가 초과되었고 SS도 13.95%로 나타났다.

월별 평가 결과, 6월이 66.48%로 초과율이 가장 높게 나타나고 있으며 12월이 54.18%로 초과율이 가장 낮게 나타나고 있다. 초과율이 높은 시기를 보면 5~7월로서 COD, T-P, TOC의 초과율이 다른 오염물질보다 높게 나타나고

Table 4. Target water quality exceedance rate

Division	Target water quality exceedance rate(%)								
	DO n=3,614	BOD n=3,614	COD n=3,614	T-P n=3,614	SS n=3,614	TOC n=3,614	Fecal Coliform n=3,346	Total Coliform n=3,346	AVG.
Jan.	0.00	68.18	89.77	79.55	10.23	80.68	82.35	97.06	63.48
Feb.	0.30	67.75	90.53	80.18	10.36	82.84	51.53	79.32	57.85
Mar.	0.64	71.34	94.90	80.89	18.79	88.54	51.52	83.50	61.27
Apr.	0.00	68.79	95.45	78.18	17.58	88.48	61.62	91.58	62.71
May	0.62	66.15	97.20	83.85	19.25	91.30	71.72	90.91	65.13
Jun.	2.64	66.01	99.01	86.80	18.81	95.71	73.58	89.30	66.48
Jul.	5.14	46.83	96.98	91.54	21.75	93.05	79.93	91.97	65.90
Aug.	7.41	37.65	96.30	88.89	13.27	91.05	88.29	93.65	64.56
Sep.	1.29	29.45	93.85	83.50	10.68	77.35	84.62	94.65	59.42
Oct.	0.90	29.52	88.55	78.31	10.84	70.78	79.21	93.40	56.44
Nov.	0.62	42.15	86.77	75.38	8.62	74.46	65.36	88.89	55.28
Dec.	0.34	47.32	86.91	71.81	4.03	72.15	62.37	88.50	54.18
AVG.	1.77	52.49	93.22	81.74	13.95	84.09	70.29	89.78	61.06
MAX.	7.41	71.34	99.01	91.54	21.75	95.71	88.29	97.06	66.48
MIN.	0.00	29.45	86.77	71.81	4.03	70.78	51.52	79.32	54.18

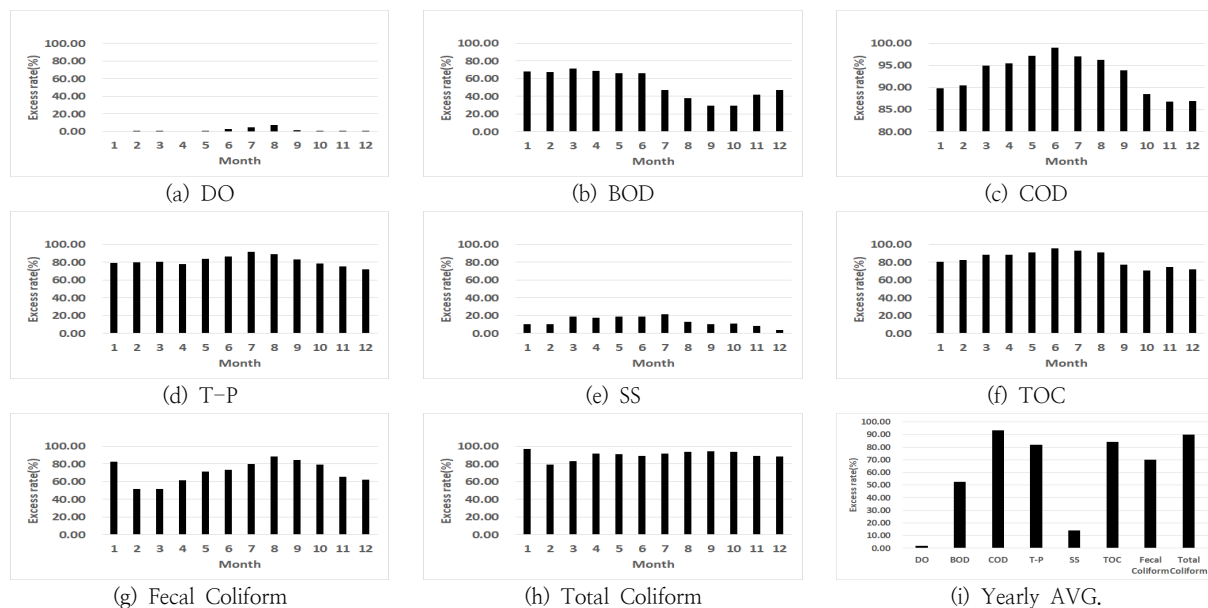


Fig. 4. Monthly target water quality exceedance rate analysis

있다. 5~7월은 타 시기에 비해 강우가 많고 기온이 높고 농작물 재배가 활발하여 비료 등의 살포도 많이 되는 시기로서 계절적 특성으로 인한 수질의 악화가 원인으로 판단된다.

초과율이 낮은 시기는 10~12월로 COD, TOC, 총대장균의 초과율이 다른 오염물질보다 높게 나타나고 있다. 이 시기는 강우 영향이 줄어들어 초과율이 앞선 5~7월 시기보다 상대적으로 낮아지는 것을 확인할 수 있으며 대장균도 8~9월에 비해 초과율이 소폭 낮아지는 것으로 보아 기초시설 영향 외 유입 오염원 영향도 있는 것으로 판단된다.

3.3 수질 경향 분석

지점별 측정자료를 통해 장기간 수질 경향성을 분석하였다. 분석은 Sen's Slope를 이용하여 평가하였으며 유의수준 5% 이내의 경우 경향성이 있음을 평가하였다. 아래 Table 5.과 Fig. 5.은 Sen's Slope를 분석한 결과이다.

평가 결과, Sen's Slope의 기울기만을 고려할 때 SS, TOC, 분원성 대장균과 총대장균은 증가하고 DO, BOD, COD, T-P는 감소하는 것으로 나타났다.

그러나 DO, BOD, COD는 유의수준 5%를 벗어나고 있어 경향이 유의미하지 않은 것으로 나타났다.

Table 5. Sen's slope analysis

Division	DO	BOD	COD	T-P	SS	TOC	Fecal Coliform	Total Coliform
z	-0.746	-0.864	-1.114	-2.206	2.094	1.971	5.657	8.034
p-value	0.456	0.388	0.265	0.027	0.036	0.049	0.000	0.000
solpe	-0.004	-0.002	-0.004	-0.000	0.028	0.005	56.154	1,563.254

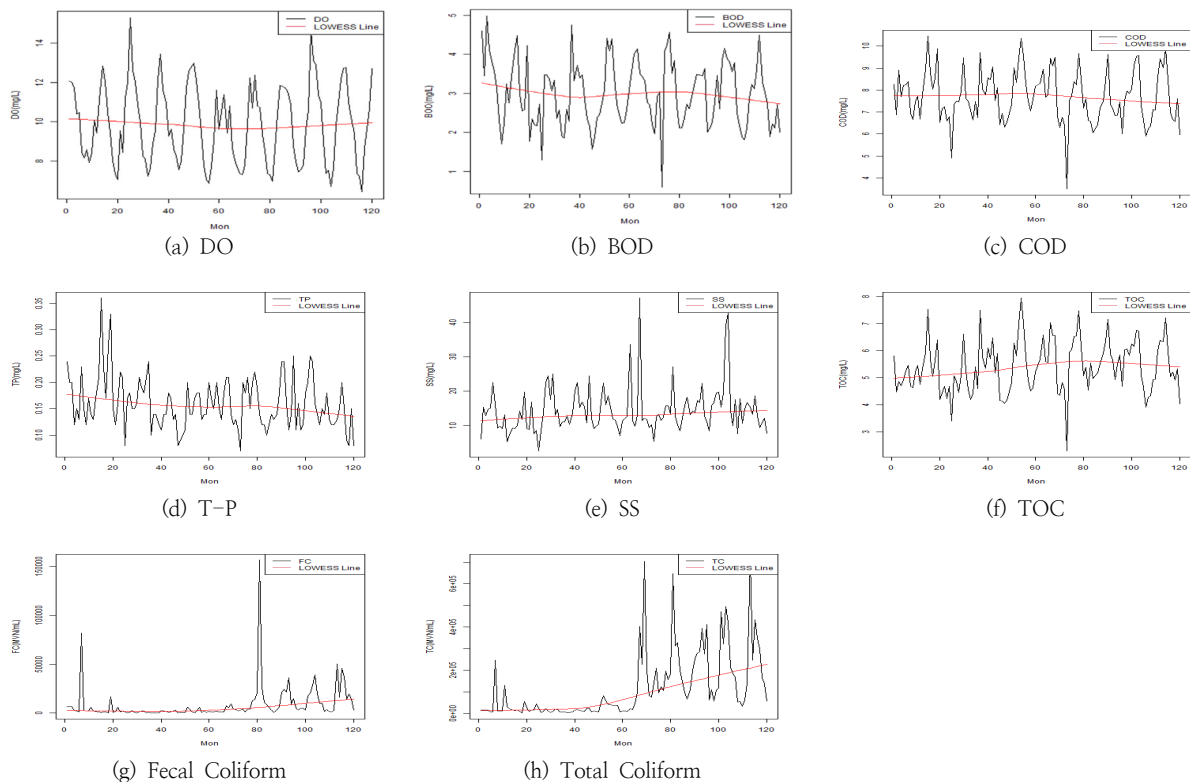


Fig. 5. Sen's slope analysis

그래프 형태를 보면 DO는 계절적 영향을 많이 받는 모습이고 COD, T-P, SS, TOC는 오염원 유입, 강우 등 외부 요인으로 인한 변화가 많은 모습을 보인다. 대장균은 60개월까지는 수치 변화가 적었으나 최근 5년 사이 많이 증가하는 모습을 나타내고 있다.

3.4 필요 관리물질 평가

목표수질 초과율과 추세경향에 대한 결과를 이용하여 지류에서의 필요 관리물질을 평가하였다. 아래 그림 Fig. 6.은 목표수질 초과율과 추세 경향을 평가한 내용을 좌표로 표시한 것이다.

평가 결과, I분위(좌측하단, 청정)에 속하는 물질은 DO로 나타났다. 그러나 DO는 증가할수록 수질이 양호한 것으로 판단되는 항목으로서 I분위가 아닌 III분위(좌측상단, 주의 필요)로 관리가 되는 것이 필요할 것으로 판단된다.

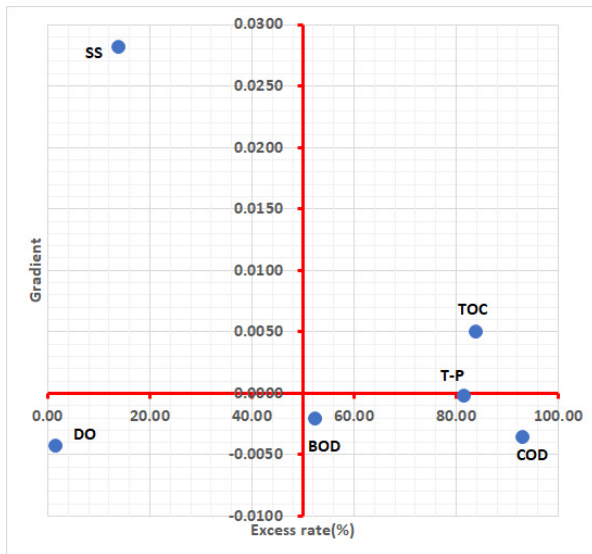
II분위(우측하단, 관리 지속)에 속하는 물질은 BOD, T-P, COD로서 목표수질은 50%를 초과하고 있으나 추세는 감소로 나타나는 물질이다. BOD와 T-P는 물환경관리

계획 및 수질오염총량관리제를 통해 관련제도 및 법으로서 관리하고 있는 항목들로서 지속적인 관리로 수질이 감소하고 있는 것으로 판단되나 아직 초과율이 목표수질 대비 50% 이상 초과되고 있어 향후에도 지속적인 관리가 필요할 것으로 판단된다.

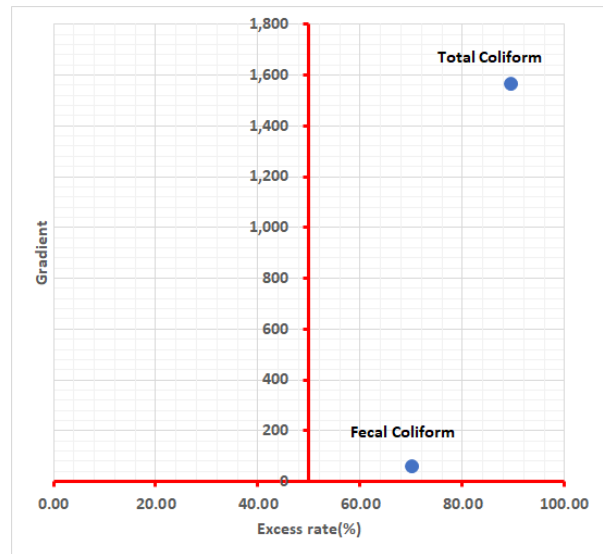
III분위(좌측상단, 주의 필요)에 속하는 물질은 SS로서 초과율은 50%를 넘지 않으나 증가추세로 나타난 물질이다. SS가 증가 되는 원인으로서의 지천들 대부분이 농업지역 또는 도시하천의 말단지점으로서 농업지역 및 도시지역에서 유입되는 토사 및 부유물질 등의 증가로 판단된다.

IV분위(우측 상단, 관리 필요)에 속하는 물질은 TOC와 분원성 대장균, 총대장균으로 나타났다. 난분해성 물질 등 수체내 총유기탄소를 나타내는 TOC가 높아지는 것은 화학물질의 사용, 산업폐수시설 등의 증가로 난분해성 유기물질의 유입이 늘어나고 있는 현황으로 판단된다.

분원성 대장균과 총대장균의 유입원인은 대부분 환경기초시설로서 수계 내 신·증설된 기초시설의 방류가 원인으로 판단되는데 처리장 방류수질 기준을 보면 대장균수를 1일



(a) DO, BOD, COD, SS, T-P, TOC



(b) Fecal Coliform, Total Coliform

Fig. 6. Evaluation distribution with the coordinate method

하수처리용량 500m³ 이상인 시설의 Ⅱ지역 기준으로 3,000 개/㎖ 이하로 관리하고 있어 지속적인 대장균이 증가한다면 기초시설 방류 기준의 재검토도 필요할 것으로 판단된다.

3.5 물질별 상관성 분석

오염물질 간의 상관성을 분석하여 서로의 영향을 평가하였다. 아래 그림 Fig. 7과 Table 6.는 오염물질 간의 상관성 분석결과이다.

분석결과, DO는 각각의 오염물질과는 음의 상관성을 나타내고 있어 오염물질이 증가할 때 수체의 용존산소는 감소하는 것으로 나타났다. 분석자료 중 T-P와 분원성 대장균(FC)와의 음의 상관성이 가장 높게 나타나고 있는 것으로 보아 강우시 유입되는 비점오염원과 하수처리장 방류수의 증가에 따라 DO 감소가 커지는 것으로 판단된다.

BOD는 COD와 TOC에서 높은 양의 상관성을 나타내고 있어 같은 유기물질간의 영향으로 판단되며 T-P와 SS는

각각의 오염물질들과 양의 상관성을 나타내고 있다. T-P는 유기물과의 상관성이 상대적으로 높아 유기물 오염이 큰 지역에서는 전반적인 수질이 나쁠 수 있고 SS는 크진 않지만 각각의 오염물질과 양의 상관성을 가지고 있어 SS에 부착되어 유출되는 오염원과 영향이 있음을 알 수 있다.

분원성 대장균과 총대장균은 각 오염원과 약한 상관성을 나타내고 있으나 분원성 대장균과 총대장균은 서로 높은 상관성을 보여 총대장균에서 분원성 대장균이 차지하는 비중이 큰 것으로 판단된다. 이는 인체 및 동물에서 유래되는 분원성 대장균이 기초시설 등에서 하천으로 유입되고 있음을 알 수 있다.

3.6 필요 관리물질 선정

앞서 목표수질 초과와 증가율을 고려해볼 때 지류에서 관리가 필요한 물질은 TOC와 대장균으로 나타나고 있다.

TOC의 경우 BOD, COD와 높은 상관성을 보이고 있다.

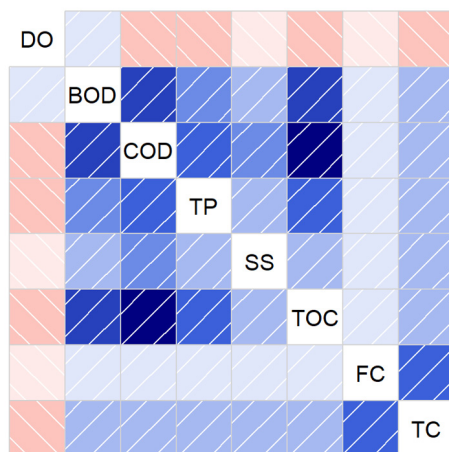


Fig. 7. Correlation analysis for each water quality

Table 6. Correlation analysis for each water quality

	DO	BOD	COD	T-P	SS	TOC	FC*	TC*
DO	1							
BOD	-0.014	1						
COD	-0.197	0.698	1					
T-P	-0.199	0.418	0.450	1				
SS	-0.107	0.233	0.297	0.161	1			
TOC	-0.183	0.671	0.938	0.432	0.267	1		
FC*	-0.087	0.084	0.063	0.080	0.049	0.068	1	
TC*	-0.145	0.174	0.145	0.143	0.148	0.154	0.561	1

FC*: Fecal Coliform, TC*: Total Coliform

수질오염총량제 관리 등으로 BOD 수질이 많이 개선되었다고는 하지만 난분해성 유기물질에 대한 관리 필요성이 현재 목표수질 초과와 증가 추세를 통해 나타나고 있다. 따라서, 향후 수질 관리 정책은 이런 난분해성 물질을 관리할 수 있는 방향으로 진행이 필요하리라 판단된다.

분원성 대장균과 총대장균의 증가와 목표수질의 초과는 기초시설 방류로 인하여 낙동강 지류에서 급격하게 늘어나는 추세이다. 이런 추세가 지속된다면 하천 내 활동 및 낙동강 원수를 식수로 사용하는 낙동강 유역의 국민들에게 위화감을 줄 수 있는 상황이 발생할 수도 있다. 따라서, 낙동강수계에서는 향후 수질 관리시 하수처리장과 산업폐수처리장에서의 대장균 관리도 중요할 것으로 판단된다.

SS의 경우 현재는 목표수질초과율이 50%를 넘지 않으나 증가 추세에 있고 SS와 각 오염물질간의 상관성을 볼 때 SS 증가가 수체 내 다른 오염물질 증가로 영향을 미칠 수 있어 강우 시 비점오염원 관리 등을 통해 SS관리도 지속적으로 관심을 가질 필요가 있다고 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 낙동강 지류에서의 수질모니터링 자료를 평가하고 목표수질 초과와 추세경향을 통해 향후 관리가 필요한 물질을 평가하였다.

1) 평균 수질평가 결과, 평균 수질은 하천 생활환경기준으로 BOD는 “약간 좋음”(Ⅱ), T-P는 “보통”(Ⅲ)으로 나타나고 있으나 TOC는 “약간 나쁨”(Ⅳ), 대장균은 “보통”(Ⅲ)을 초과하고 있어 오염원별 수질상태가 다른 것으로 나타났다.

2) 목표수질 초과율을 검토한 결과, 가장 초과가 많은 물질은 COD로 평균 93.22%로 가장 높게 나타나고 있으며 T-P, TOC, 총대장균의 초과율이 80% 이상으로 높게 나타나고 있다. 시기별로는 5~7월 시기의 초과가 가장 많이 나타났다.

3) 수질 추세분석은 Sen's slope을 이용하여 분석하였다. 분석결과, 기온기만을 고려할 때 SS, TOC, 분원성 대장균과 총대장균은 증가하고 있으며 DO, BOD, COD는 감소하는 것으로 나타났다.

4) 목표수질 초과율과 추세경향에 대한 결과를 이용하여 지류에서의 필요 관리물질을 평가하였다. 평가 결과, 가장 필요한 항목은 초과율이 50%이상, 증가추세로 나타나는 TOC와 대장균으로 검토되었다. 난분해성 물질의 유입 및 하수처리장에서 방류되는 대장균수가 지속적으로 증가하여 향후 하천에서 해당 물질에 대한 관리가 필요할 것으로 판단된다. 또한, 초과율은 50% 이하이나 증가하고 있는 SS와 초과율은 50%를 초과하나 감소 추세인 BOD, T-P, COD는 지속적인 관리가 필요한 물질로 판단된다.

5) 오염물질 간의 상관성을 분석하여 서로의 영향을 평가하였다. 분석 결과, 유기물질 간의 상관성이 높았고 T-P와 SS는 다른 오염물질과 양의 상관성이 나타나고 있었다. 분

원성 대장균은 총대장균과 상관성이 높게 나타나 하천수질에서의 대장균은 하수처리장으로의 영향이 큰 것으로 파악된다.

본 연구에서는 장기간 측정된 수질 모니터링 자료를 이용하여 지류에서의 수질 상태 및 목표수질 초과율, 추세경향을 분석하여 수계에서의 관리가 필요한 물질을 분석하였다. 분석결과 수질오염총량제 등 지속적인 관리를 통해 BOD와 T-P는 목표수질 초과율은 50%를 넘으나 감소 추세로 나타나 지속적으로 수질이 개선되고 있는 것으로 나타났다. 그러나, 난분해성 물질의 영향을 받는 TOC의 증가는 향후 수계에서의 해당 물질에 대한 관리가 필요한 항목으로 평가되는 부분이다. 또한, 대장균의 지속적인 증가는 하천을 이용한 식수, 레저활동을 할 때 그 활동을 저해할 수 있는 요소가 될 수 있어 향후 하천활동이 활성화될 때에 문제될 수 있는 요소로 판단되어 향후 하수처리장에서의 대장균 방류기준도 새로 검토가 필요할 것으로 판단된다. 이러한 결과를 바탕으로 수계 내에서의 장기 수질 모니터링의 중요성과 필요성을 확인할 수 있어 수계 내 물 이용 관리를 위해 작은 지류에 대한 지속적인 관리가 필요하다고 사료된다.

감사의 글

본 연구는 낙동강수계관리위원회에서 시행한 “낙동강수계 지류·지천 장기 모니터링 및 목표수질 달성도 평가”의 결과입니다.

References

- Choi, O. Y., K. H. Kim, and I. S. Han, 2015. A study on the spatial strength and cluster analysis at the unit watershed for the management of total maximum daily loads. *Journal of Korean Society on Water Environment*, 31(6): 700–714. DOI : <https://doi.org/10.15681/KSWE.2015.31.6.700>.
- Choi, O. Y., H. T. Kim, H. S. Seo, and I. S. Han, 2017. Analysis of water quality changes & characterization at the watershed in Han River basin for target indicator in TMDLs. *Journal of Korean Society on Water Environment* 33(1): 15–33. DOI: <https://doi.org/10.15681/KSWE.2017.33.1.15>.
- Kim, Y., and S. Lee, 2011. Evaluation of water quality for the Han River tributaries using multivariate analysis. *Journal of Korean Society of Environmental Engineers* 33(7): 501–510. DOI: <https://doi.org/10.4491/KSEE.2011.33.7.501>.
- Kim, K. S., Song, J. H., Lee, D. G., Hwang, H. S., and Kang, M. S. 2019. Pollutants Classification based on Trend Analysis and Assessment of Water Pollutants Achievement in Subbasins of Han River Basin. *Journal of the Korean*

- Society of Agricultural Engineers 61(3): 67–76. DOI : <https://doi.org/10.5389/KSAE.2019.61.3.067>.
- Lee, J. S., S. Lee, and J. Lee, 2017. Evaluation of attainment ratio on water quality goal of the mid-watershed representative station. *Journal of Korean Society on Water Environment* 33(5): 525–530. DOI : <https://doi.org/10.15681/KSWE.2017.33.5.525>.
- Park, J. H., Oh, S Y., Park, B. K., Kong, D. S., Rhew, D. H., and Jung, D. I. 2006. Applicable Water Quality Indicators for Watershed Management. *Journal of Korean Society on Water Environment*, 22(6): 1004–1013.
- Park, J. D., J. H. Park, S. Y. Oh, and J. K. Lee, 2013. Evaluation of stream water quality to select target indicators for the management of total maximum daily loads. *Journal of Korean Society on Water Environment* 29(5): 630–340.
- Sen, P.K. 1968. Estimates of the Regression Coefficient based on Kendall's Tau. *Journal of the American Statistical Association*, 63, 1379–1389. DOI : <https://doi.org/10.1080/01621459.1968.10480934>.
- Yu, S., H. Cho, I. Ryu, J. Son, M. Park, and B. Lee, 2018. Characteristics of spatial and temporal organic matter in the Han River watershed. *Journal of Korean Society on Water Environment* 34(4): 410–423. DOI : [10.15681/KSWE.2018.34.4.410](https://doi.org/10.15681/KSWE.2018.34.4.410).