

낙동강유역 장기 수질모니터링을 통한 계절적 특성분석 연구

갈병석·박재범^{*}·김성민^{*}·신상민^{*}·장순자^{*}·전민재^{*}

(주)다운솔루션

^{*}국립환경과학원 낙동강물환경연구소

A study on seasonal characteristics through long-term water quality monitoring in the Nakdong River Watershed

Byungseok Ka¹·Jaebeom Park^{*}·Seongmin Kim^{*}·Sangmin Shin^{*}·Soonja Jang^{*}·Minjae Jeon^{*}

Daon Solution co., Ltd.

^{*}Nakdong River Environment Research Center, National Institute of Environmental Research

(Received : 5 October 2022, Revised : 17 November 2022, Accepted : 17 November 2022)

요약

본 연구는 장기 수질모니터링 자료를 이용하여 수질의 계절적 특성을 분석하는 것이 목적이다. 낙동강수계에서 장기 모니터링이 수행되고 있는 34개 지류에서의 모니터링 자료를 이용하여 수질의 계절적 특성을 분석하였고 계절적 분석을 위해 수질의 평균 자료 분석과 변동계수(Coefficient of variation) 분석, 추세분석을 수행하였다. 변동계수 평가결과, 지류가 본류보다 크고 계절적으로는 BOD와 T-P, TOC는 가을철이 크고 T-N은 봄철이 크게 나타났다. 추세분석은 Mann-Kendall과 Sen's Slope를 통해 분석하였으며 BOD와 T-N, T-P는 감소 경향이 많으나 TOC는 증가 경향이 많았다. 또한, 공간적으로는 낙동강 상류보다 하류에서의 증가하는 경향이 많이 나타났다. 본 연구를 통해 장기 수질모니터링 자료의 활용성 평가 및 계절적 특성을 분석할 수 있었고 유역관리를 위해 수질의 안정화 시기, 오염원 증감 변화를 분석할 수 있었다.

핵심어 : 장기 모니터링, 변동계수, 계절 분석, Mann-Kendall 분석

Abstract

The purpose of this study is to analyze the seasonal characteristics of water quality using long-term water quality monitoring data. Seasonal characteristics of water quality were analyzed using monitoring data from 34 tributaries where long-term monitoring was performed in the Nakdong River system, and average data analysis of water quality, coefficient of variation analysis, and trend analysis were performed for seasonal analysis. For seasonal analysis, average data analysis of water quality, coefficient of variation analysis, and trend analysis were performed. As a result of the evaluation of the coefficient of variation, tributaries were larger than main streams, and BOD, T-P, and TOC were larger in autumn and T-N were larger in spring. Trend analysis was analyzed using Mann-Kendall and Sen's Slope. BOD, T-N, and T-P tended to decrease, but TOC had a lot to increase. Through this study, it was possible to evaluate the availability of long-term water quality monitoring data and analyze seasonal characteristics, and to analyze the stabilization period of water quality and changes in pollutant sources for watershed management.

Key words : Long-term monitoring, Coefficient of variation, Seasonal Analysis, Mann-Kendall test

^{*}To whom correspondence should be addressed.
Daon Solution co., Ltd.
E-mail: econeural@gmail.com

• Byungseok Ka 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)
• 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@kore.kr)

1. 서 론

하천에서의 장기적인 수질 모니터링은 하천 수질 관리 및 유역에서의 오염원 관리 측면에서 중요한 역할을 하고 있다. 모니터링을 통해 수집된 자료는 현재 수질의 정도를 파악하여 수질 관리 여부 및 대책 수립까지 도출하는 자료로 활용할 수 있고 장기간 축적된 자료는 수질 경향을 분석하여 오염원 변화 및 장기적인 유역관리를 위해 활용할 수 있다. 그러나, 지금까지 측정지점과 측정 빈도수의 증가와 수질 모니터링 측정항목의 증가로 많은 수질 조사자료를 확보하였지만, 수질은 공간적 및 시간적으로 변화하기 때문에 정확한 수질을 해석하는 데 많은 어려움이 있다(Simeonov et al. 2003; Sargaonkar & Deshpande. 2003). 따라서, 수계의 수질 관리를 위해서는 장기적이고 체계적인 조사가 필요하고 수질변동 특성에 대해 신뢰할 수 있는 해석과 예측방법이 필요하다(Dixon & Chiswell 1996; Simeonov et al. 2003).

통계학에서 변동계수(Coefficient of Variation: CV)는 서로 다른 자료의 산포도를 나타내기 위해 사용되는 지표이다. 변동계수는 수문학에서 하천유량 변동성을 분석하기 위해 많이 사용되고 있으며 수질 분야에서는 측정된 값들의 변동성을 분석하기 위해 사용되고 있다. 변동계수를 활용한 수질 변동성 연구의 사례를 살펴보면, Son et al. (2016)은 변동계수를 사용하여 낙동강 수질 모니터링 자료와 오염부하량 자료를 비교 분석하여 지류에서의 수질을 평가할 때 사용하였으며 Choi et al.(2018)은 비점오염 모델 적용을 위해 행정구역별 강수 중 강우량에서의 질소 농도에 대한 수질 변동계수를 평가하였다. 변동계수 활용은 수질 외 하천 유량 변화 평가에서 많이 사용되며 Hudson Bay의 연도별 유량 변동성과 10년 단위 수문 특성의 변화를 분석하였고 Strauch et al. (2015)는 변동계수를 활용하여 열대기후를 가진 유역을 대상으로 강우 패턴의 변화가 하천유량에 대해 어떠한 영향을 미치는지 평가하였다. 국내 사례로 Hong et al. (2015)은 한강 수계를 대상으로 변동계수를 활용하여 한강 유역의 일유량 변동성과 하천 유량에 대한 기저 유출 기여도의 관계를 분석하였다.

수질 추세분석은 유역 내 대책의 평가와 향후 대책 수립 모두를 위해 필요하다. 지류에서의 수질 추세분석은 개선되거나 증가하는 오염원을 분석하여 향후 대책이 필요한 오염원을 선정하는 자료로 활용할 수 있다.

수질 추세를 분석하는 방법으로서 국내·외에서 사용하는 방법 중 Mann-Kendall 분석과 Sen's Slope를 이용하는 통계 분석 방법이 많이 사용되고 있다. Jung et al.(2018)은 낙동강수계 남강에서의 수질측정 자료를 이용하여 장기적인 수질 추세를 분석하였고 Cho et al.(2019a)은 한강수계 지류 하천의 수질 모니터링 자료를 이용하고 Cho et al.(2019b)은 팔당호 지역의 수질자료를 이용하여 장기적인 수질 변동성을 분석하였다. 또한, Kim et al.(2020)은 낙동강수계 물환경측정망 자료를 이용하여 상·하류 위치에 따른 수질 경향을 분석하였다.

우리나라는 4계절이 뚜렷한 기후를 나타내고 있어 계절마다 기온, 강수, 풍속, 습도 등 기후가 전혀 다르며 특히, 강수의 경우 여름~가을 사이 집중해서 내림으로 강수로 인해 유출이 많이 되는 오염원은 강수가 적은 계절과 편차가 크게 나타나게 된다. 특히, 지류의 경우는 본류보다 유량의 변화가 커 유량이 많은 시기와 적은 시기 하천 변화 특성이 아주 다르다. 따라서, 하천 수질을 계절적으로 구분하여 평가하는 것이 중요하다.

낙동강수계에는 총 785개의 지류 하천이 존재하며, 낙동강 본류 수질 관리를 위해서는 지류의 수질 관리가 우선시 되어야 한다. 이러한 지류에서의 수질 관리를 목적으로 환경부에서는 지난 2011년부터 낙동강수계의 200개 내외 지점에 대해 모니터링을 수행하고 있으며 오염도가 높은 중점관리지점은 월 1회, 일반 지점은 연 2회 실시하고 있다. 지속적인 지류의 수질 관리를 위해서는 지류의 수질특성이 필요하며 장기간 축적된 자료를 통해 경향을 알아 유역 내 오염원 변화 및 특성을 분석할 수 있다.

본 연구의 목적은 낙동강수계의 지류에서 장기간 측정된 수질 모니터링 자료에 대하여 유역의 수질평가를 계절로 구분하여 변동계수를 통해 평가하고 추세분석을 통해 수질 변화 경향을 평가하여 유역에서의 오염원 변화 양상을 검토하는 것이 목적이다.

2. 연구방법

2.1 장기모니터링을 통한 수질평가 방법

본 연구는 Fig. 1.과 같이 크게 2개 분석 단계로 구분된다. 현재 수질 현황을 파악하여 계절적 특성을 파악하는 것과 추세분석을 통해 유역의 수질 변화를 분석하는 것으로 구분할 수 있다.

현재 수질 상태의 계절적 분석은 장기 수질 모니터링 자료를 이용하여 변동계수를 통해 검토한다. 수질 변화는 측정지점으로 유입되는 오염원과 기상 및 기후에 따라 차이가 크게

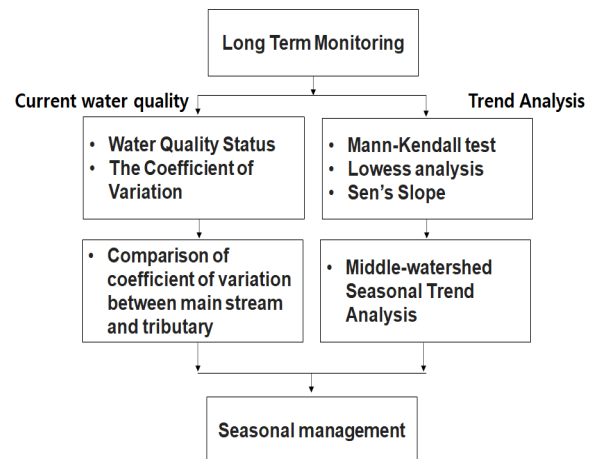


Fig. 1. Analysis Flowchart

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)

발생함으로 장기간 측정자료에 대하여 기상 및 기후적 영향을 평가한다.

추세분석은 통계적 기법인 Mann-Kendall test와 Sen's Slope를 이용하여 평가하는 방법으로써 모니터링 자료를 이용하여 유역에서의 수질 변화를 분석한다. 분석은 전 기간 자료와 계절별 자료 나누어 분석하여 시기별 수질 변화 양상을 검토하게 된다.

2.2 연구지역 및 모니터링 현황

연구지역은 낙동강수계로써 평가에 사용된 측정지점은 국립환경과학원 낙동강물환경연구소에서 측정하는 195개 지류 모니터링 지점 중 34개 중점관리지점을 선정하였다. 34개 중점관리지점은 195개 측정지점 중에서 오염도가 높아 중점적으로 관리하기 선정된 지점이며 월 1회 측정하고 있다. 해당 지점은 낙동강수계 33개 중권역 중 26개 중권역에 포함되어 있고 유출은 모두 낙동강 본류로 유출되고 있는 권역이다. 평가 기간은 2011~2022년 6월까지이고 평가하기 위한 수질

항목은 하천 수질측정에서 많이 평가되고 있는 BOD, T-N, T-P, TOC 4개 항목이며 해당 하천 현황은 아래 Table1.과 같다(Fig 2.).

2.3 변동계수

변동계수(coefficient of variation, CV)는 표준편차를 산술 평균으로 나눈 것이다. 상대 표준편차(relative standard deviation, RSD)라고도 한다. 변동계수의 값이 클수록 상대적인 차이가 크다는 것을 의미한다(Nelson, 1999).

아래 식(1)은 변동계수 식을 나타내고 있다.

$$\text{Coefficient of variation} = \frac{\text{std}}{\text{mean}} (\%) \quad (1)$$

여기서, std는 표준편차를, mean는 평균값을 의미한다.

변동계수는 단위(unit)를 갖지 않기 때문에 이 통계량을 이용하면 서로 다른 집단 간 변동의 상대적 비교가 가능하다. 이러한 특성 때문에 변동계수는 다품종 소량생산을 하는 제조공정에서 제품의 산포 관리, 의료기기의 성능평가, 실험실 측정 장비의 재현성 평가 등에 유용하게 사용된다.

2.4 Mann-Kendall test

비모수적 방법으로 장기적인 시계열자료의 경향성을 분석하는 데 많이 이용되는 Mann-Kendall test(Mann 1945; Kendall, 1975)는 Dietz와 Kileen에 의하여 Mann-Kendall 통계치의 공분산이 제시되고, 계절적 변동특성을 갖는 수질 자료에 적용할 수 있도록 발전되었다(Hirsch and Slack, 1984). 계절 맨-켄달 검정법은 상관계수인 켄달의 타우(Kendall tau)를 구하고 그 유의성을 검증함으로써 경향성 유무를 파악할 수 있다. 자료는 연도별 월평균 시계열 자료를 이용하게 되며, 켄달 통계 추정치 S-value이 양의 값을 가지면 증가, 음의 값을 가지면 감소 추이를 의미한다(Kim, 2008). 그리고 맨-켄달 통계치 Z-value를 계산한 다음 p-value를 구하여 유의성을 검증함으로써 경향성을 판단하게 된다. 양쪽으로 95% 신뢰구간에서 유의수준 ($\alpha=0.05$)에 대한 p-value 0.05이면 경향성이 없다는 귀무가설을 수용하고, p-value 0.05일 때 귀무가설을 기각하고 경향성이 있다는 대립가설을 수용한다(Kim, 2001).

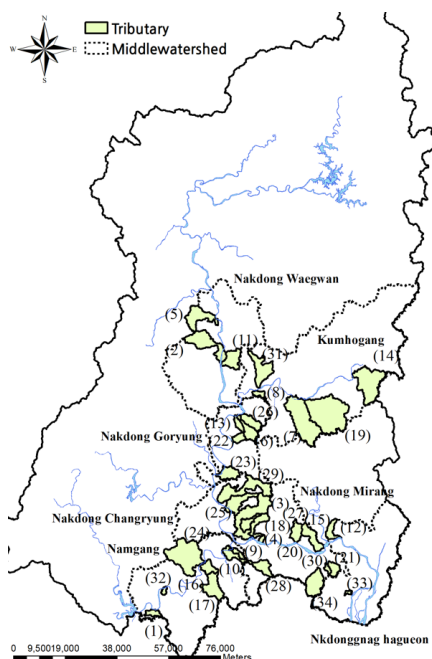


Fig. 2. Sampling site

2.5 Sen's Slope

Sen's Slope는 Sen(1968)에 의해 제안되었으며 데이터에 대한 추세 기울기를 평가하는 방법이다. 아래 식 (2)는 기울기 산정 식이다.

$$Q_i = \frac{X_j - X_k}{j - k} \quad (i = 1, \dots, n) \quad (2)$$

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

$$Q_{med} = \begin{cases} Q_{[(n+1)/2]}, & \text{if } N \text{ is odd} \\ \frac{Q_{[n/2]} + Q_{[(n+2)/2]}}{2}, & \text{if } N \text{ is even} \end{cases} \quad (3)$$

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, $P > 0.05$ 일 경우 통계적으로 유의한 경향성은 없다고 판단한다.

본 연구에서는 Mann-Kendall 검정의 유의수준 ($\alpha = 0.05$)에 따라 신뢰구간을 계산하였으며, 신뢰구간은 아래와 같다.

$$C_a = Z_{1-\alpha/2} \sqrt{VAR(S)} \quad (4)$$

$VAR(S)$ 는 S 에 대한 분산으로 Mann-Kendall 검정에서 사

용한 값이며, $Z_{1-\alpha/2}$ 는 표준정규분포로부터 얻을 수 있다. Q_{min} 과 Q_{max} 는 신뢰구간의 하향한계와 상향한계이며 Q_{med} 와 유사한 특성을 보인다.

3. 연구결과

3.1 현재 수질 및 변동계수 평가 결과

2011년 1월부터 2022년 6월까지 매월 측정된 수질 자료를 통해 수질 현황을 분석하였다. 수질은 전 기간(All Period)과 봄(3~5월), 여름(6~8월), 가을(9~11월), 겨울(12~2월)로 구분하였고 아래 Table 2,와 같이 평가하였다(Fig. 4.).

평균 수질 평가결과, 전 기간 평균 BOD 3.1mg/L, T-N 3.801mg/L, T-P 0.171mg/L, TOC 5.5mg/L로 나타났다. 생활환경기준의 하천 수질 평가 방법으로 평가하면 지류에서의 평균 수질은 “보통(Ⅲ)”등급(BOD 3.0~5.0mg/L, T-P 0.1~0.2mg/L)에 해당한다.

평균 수질을 전 기간과 계절별로 비교하면, BOD와 T-N은 전 기간보다 봄과 겨울의 수질이 높고 여름과 가을은 낮게 분석되었다. 그리고, T-P는 여름철이 높고 봄과 가을, 겨울은 낮게 분석되었으며 TOC는 봄과 여름철이 높게 나타나고 있었다. 따라서, 겨울철에는 하천에서 BOD와 T-N의 수질이 높아지고 T-P와 TOC는 여름철에 높아지는 것을 알 수 있었다.

변동계수를 계절별로 구분하여 평가하였다(Table 2., Fig 5.). 평균 변동계수를 비교한 결과, 전 기간 기준으로 BOD 58.26%, T-N 48.44%, T-P 69.36%, TOC 35.54%로 나타나 T-P의 변동계수가 가장 크고 TOC가 가장 작은 것으로

Table 2. Water quality by subwatershed

Season	Division	Water Quality(mg/L)				The coefficient Variation(%)			
		BOD	T-N	T-P	TOC	BOD	T-N	T-P	TOC
All Period n=3,663	MAX.	22.6	25.322	2.649	29.4	81.93	95.03	119.54	64.52
	MIN.	0.3	0.146	0.012	0.8	43.53	21.40	42.21	19.62
	AVG.	3.1	3.801	0.171	5.5	58.26	48.44	69.36	35.54
	STDEV.	1.8	1.755	0.120	1.9	9.54	16.76	18.04	9.78
Spring (Mar~May) n=1,025	MAX.	22.6	22.334	1.629	25.2	74.57	84.21	121.51	67.91
	MIN.	0.3	0.385	0.022	0.9	31.72	20.50	30.11	14.02
	AVG.	3.8	4.088	0.166	5.8	47.02	46.09	55.85	30.95
	STDEV.	1.8	1.799	0.098	1.8	11.20	16.64	24.96	11.59
Summer (Jun~Aug) n=990	MAX.	16.4	15.356	1.753	20.2	71.81	75.05	106.98	51.11
	MIN.	0.4	0.146	0.027	0.8	30.13	17.39	22.48	13.09
	AVG.	2.9	3.015	0.203	6.1	50.99	41.96	55.08	28.38
	STDEV.	1.5	1.195	0.114	1.7	10.66	14.95	21.91	8.13
Autumn (Sep~Nov) n=937	MAX.	19.9	14.825	2.022	29.4	95.28	100.79	105.05	65.56
	MIN.	0.3	0.280	0.017	0.9	38.29	18.95	34.71	14.38
	AVG.	2.3	3.553	0.156	4.8	61.00	41.95	66.82	32.61
	STDEV.	1.4	1.392	0.107	1.6	14.58	17.47	19.30	12.04
Winter (Dec~Feb) n=711	MAX.	14.2	25.322	2.649	22.1	98.45	107.42	149.43	88.98
	MIN.	0.3	0.359	0.012	1.2	26.39	15.77	31.84	12.14
	AVG.	3.4	4.807	0.154	5.2	47.05	35.82	63.27	31.18
	STDEV.	1.5	1.642	0.106	1.6	16.20	21.68	31.13	14.94

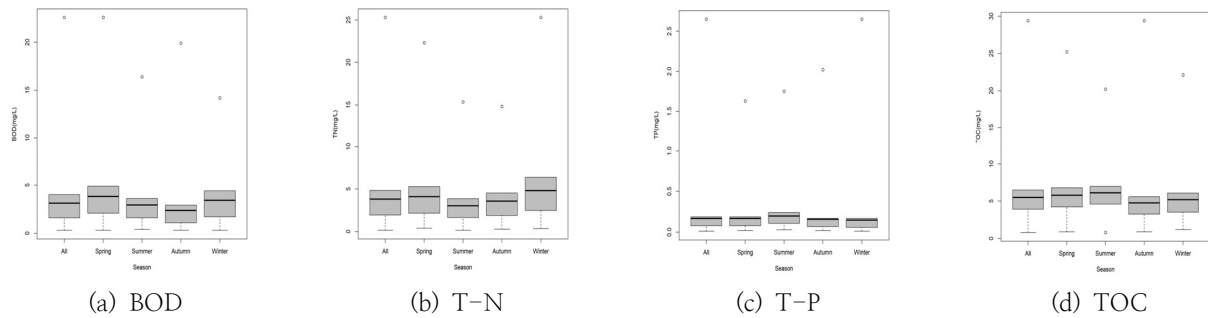


Fig. 4. Water quality by period

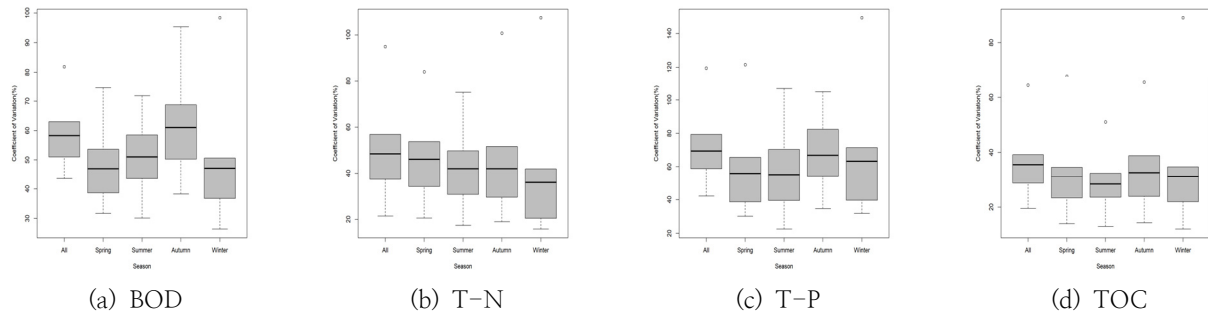


Fig. 5. Coefficient of Variation by Period

Table 3. Comparison of coefficient of variation between main stream and tributary(Unit: %)

Season	BOD			T-N			T-P			TOC		
	Tri.	Main	Tri. -Main.	Tri.	Main	Tri. -Main.	Tri.	Main	Tri. -Main.	Tri.	Main	Tri. -Main.
All	58.26	40.77	17.49	48.44	30.07	18.36	69.36	66.87	2.48	35.54	33.37	2.17
Spring	47.02	32.26	14.76	46.09	25.42	20.67	55.85	56.89	-1.04	30.95	24.32	6.63
Summer	50.99	35.00	15.99	41.96	25.53	16.43	55.08	55.96	-0.88	28.38	27.38	1.00
Autumn	61.00	38.29	22.71	41.95	23.41	18.55	66.82	54.01	12.81	32.61	30.70	1.91
Winter	47.05	40.10	6.95	35.82	19.11	16.71	63.27	61.27	2.00	31.18	26.61	4.58

나타났다. 따라서, 평균보다 편차가 T-P가 가장 크게 나타나 T-P가 기상적인 요인 및 외부 오염원 유입 영향이 가장 큰 것으로 판단할 수 있고 반면에 TOC가 가장 적은 것으로 판단된다.

오염원별 변동계수 평가결과, 변동계수가 가장 큰 시기는 BOD와 T-P, TOC가 가을로 분석되었고 T-N은 봄으로 나타나 하천에서의 수질이 봄, 가을에 가장 불안정한 상태인 것으로 판단된다.

낙동강 지류에서의 변동계수 정도를 평가하기 위해 낙동강 본류에서의 계절별 수질 변동계수와 비교하였다(Table 3., Fig. 5.). 비교 자료는 지류에 속해 있는 26개 중권역의 중권역 대표지점의 2011년~2022년 6월까지의 월평균 측정값이다.

비교 결과, 전 기간 기준으로 변동계수가 지류가 본류에 비해 크게 나타나고 있는 것으로 분석되었다. 이는 지류의 수질이 본류보다 평균과 최대·최소 수질 간의 차이가 커 더 불안정한 상태인 것으로 판단된다. 특히, BOD와 T-N의 변동계수 차이가 T-P, TOC 보다 크게 나타나고 있어 하천 규모가 작은 하천에서 BOD와 T-N의 변화가 심함을 알 수 있

다. 반면 T-P와 TOC는 본류와 비슷하거나 작은 시기도 있어 T-P와 TOC는 하천 규모 보다는 외부적 환경 요인 등의 인자가 더 큰 원인임을 유추할 수 있다. 계절별 평가결과, BOD는 지류와 본류 모두 가을에 변동계수가 가장 크고 T-N은 지류가 봄에 가장 컸으나 본류는 봄과 여름이 가장 크게 나타나고 있었다. T-P는 지류가 가을과 겨울에 가장 컸으나 본류는 겨울에 가장 컸으며 TOC는 지류와 본류 모두 가을에 가장 크게 나타났다. 따라서, 수질별 계절적 변동계수 변화는 지류와 본류가 비슷한 경향을 보이는 것으로 판단된다.

3.2 수질 경향성 분석

지점별 측정 자료를 통해 장기간 수질 경향성을 분석하였다. 분석은 Mann-Kendall과 Sen's Slope를 이용하여 평가하였으며 유의수준 5% 이내의 경우 경향성이 있음을 평가하였다. 계절별 분석을 수행하였고 지점별 분석을 통해 낙동강수계의 공간적 추세 현황을 중권역별로 평가하였다.

아래 Fig. 7.은 Mann-Kendall 분석과 분석 결과를 이용한

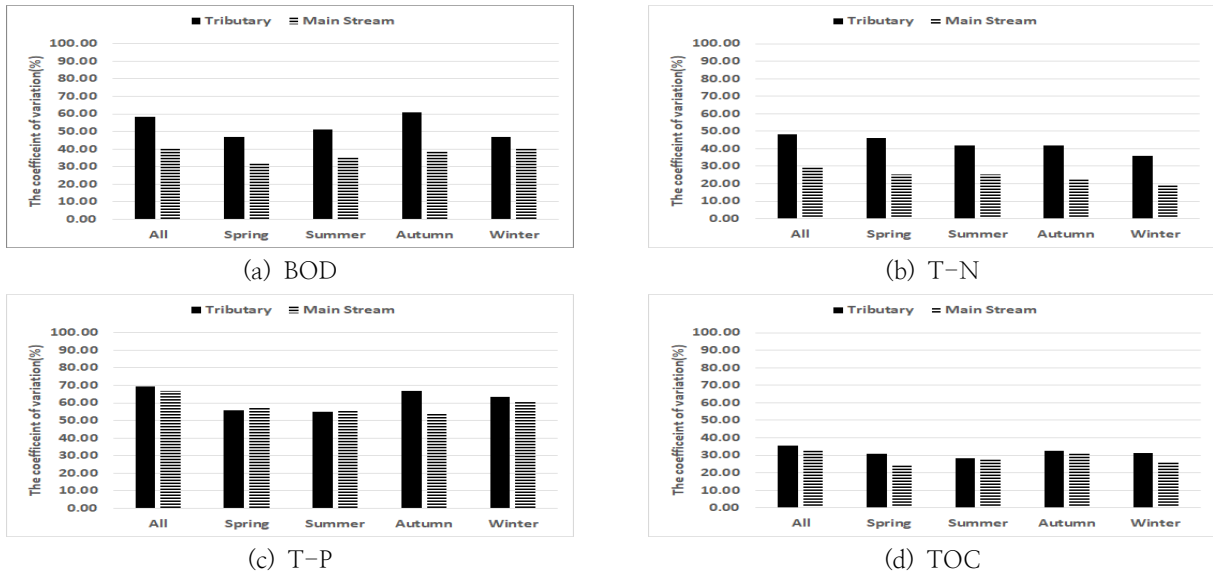


Fig. 6. Comparison of coefficient of variation between main stream and tributary

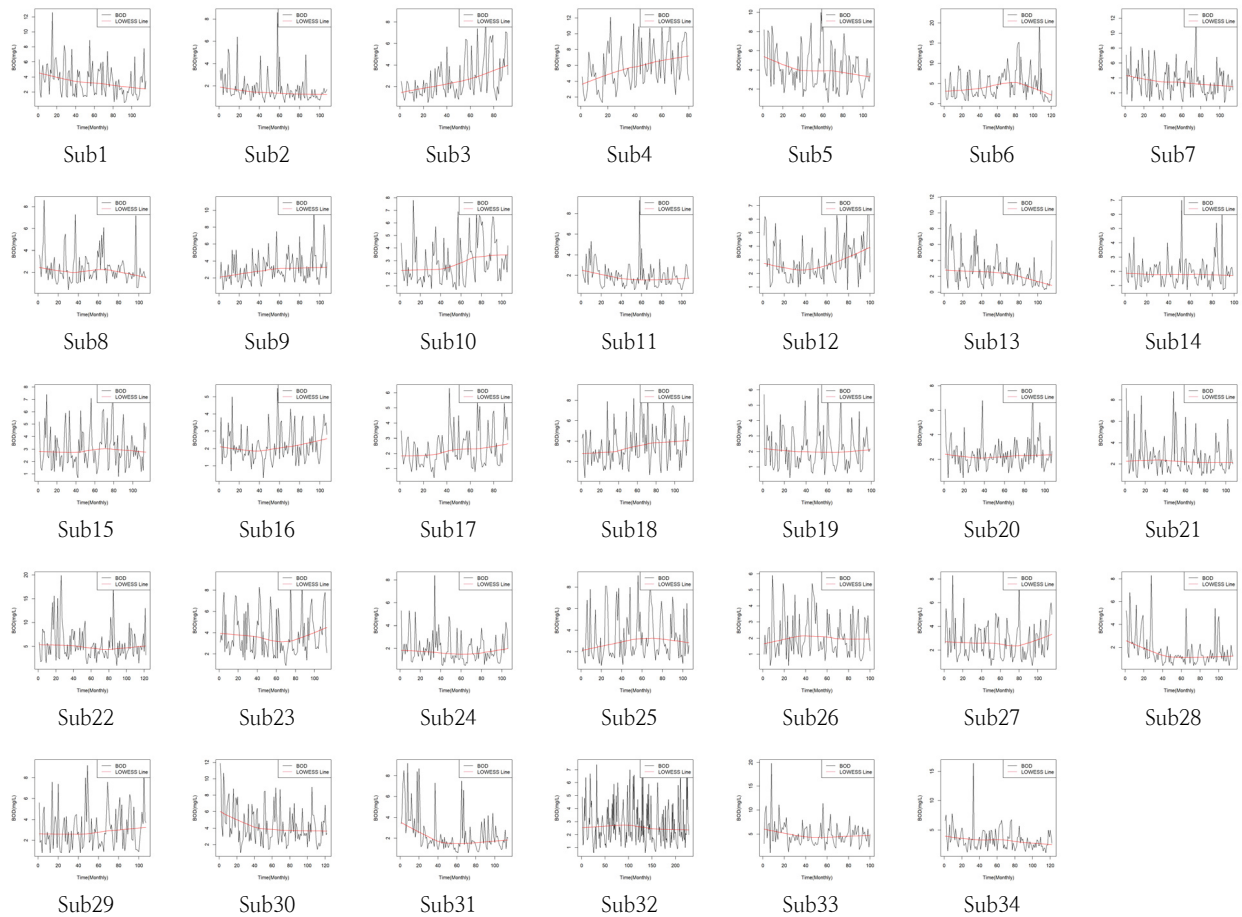


Fig. 7. Example of Lowess analysis over all periods BOD

Lowess곡선을 전 기간 BOD 자료에 대해 예시로 나타낸 그림이며 같은 방법으로 T-N, T-P, TOC에 대해 계절별 분석을 수행하였다. Table 4는 수질별 추세 분석한 소유역 1번 자료를 예시로 나타낸 것이다.

Mann-Kendall test와 Sen's Slope를 통해 유의수준에 따

른 기울기를 산정하여 증가(Upward) 및 감소(Downward), 추세없음(No Trend)으로 구분하여 34개 지점에 대해 분석하였다. 분석 결과는 Table 5. ~Table 6.에 나타내었다 (Fig. 8.).

총 지점별 분석 결과, 전 기간 분석 시 증가 추세는 BOD

Table 4. Trend analysis over the entire period 1 subwatershed example

Division	BOD			T-N			T-P			TOC		
	p	Slope	Trend	p	Slope	Trend	p	Slope	Trend	p	Slope	Trend
All Period	0.003	-0.017	Down	0.000	-0.018	Down	0.000	-0.001	Down	0.068	-0.007	No Trend
Spring	0.013	-0.079	Down	0.000	-0.099	Down	0.105	-0.002	No Trend	0.436	-0.020	No Trend
Summer	0.221	-0.057	No Trend	0.163	-0.030	No Trend	0.016	-0.004	Down	0.634	-0.020	No Trend
Autumn	0.170	-0.027	No Trend	0.053	-0.049	No Trend	0.154	-0.002	No Trend	0.049	-0.051	Down
Winter	0.007	-0.115	Down	0.000	-0.154	Down	0.004	-0.009	Down	0.691	-0.013	No Trend

7지점(20.59%), T-N 4지점(11.76%), T-P 2지점(5.88%), TOC 11지점(32.35%)이고 감소 추세는 BOD 10지점(29.41%), T-N 9지점(26.47%), T-P 16지점(47.06%), TOC 3지점(8.82%)으로 나타났다. 전 기간 분석 결과, TOC를 제외하고 BOD와 T-N, T-P는 증가보다는 감소하는 지점 수가 많아 낙동강수계는 대체로 수질이 개선되는 추세를 나타내고 있는 것으로 판단된다. 그러나, TOC가 증가하고 있어 TOC에 영향을 주는 난분해성 물질 등에대한 관심이 필요하다.

계절별 분석 결과, 어느 한 경향이 50% 이상을 넘는 경향을 나타낸 계절은 없었으나 증가와 감소 추세를 비교하여 상대적으로 우위에 있는 경향을 비교하였다. BOD는 봄 증가 14.71%, 감소 20.59%, 여름 증가 2.94%, 감소 20.59%, 가을 증가 8.82%, 감소 2.94%, 겨울 증가와 감소 모두 11.76%로 나타났다. 겨울 증가와 감소 모두 같으나 봄과 여름, 가을은 감소 지점이 상대적으로 많은 것으로 분석되었다. T-N은 봄 증가 5.88%, 감소 38.24%, 여름 증가 2.94%, 감소 11.76%, 가을 증가 8.82%, 감소 14.71%, 겨울 증가 5.88%, 감소 35.29%로 나타났다. 전반적으로 감소 추세가 많고 봄과 겨울의 감소 지점이 가장 많은 것으로 평가되었다. T-P는 봄 증가 11.76%, 감소 23.53%, 여름 증가 8.82%, 감소 32.35%, 가을 증가 0.00%, 감소 32.35%, 겨울 증가 0.00%, 감소 20.59%로 나타났다. 전반적으로 감소가 많고 여름과 가을의 감소 지점이 가장 많은 것으로 평가되었다. TOC는 봄 증가 29.41%, 감소 2.94%, 여름 증가 20.59%, 감소 5.88%, 가을 증가 8.82%, 감소 8.82%, 겨울 증가 14.71%, 감소 5.88%로 나타났다. 증가 추세가 많고 봄과 여름의 증가 추세가 타 계절보다 많은 것으로 나타났다. 오염원별 계절 분석 결과, BOD는 봄과 여름, T-N은 봄과 겨울, T-P는 여름과 가을에서의 감소 경향이 크게 나타나고 있으며 반면 TOC는 봄과 여름철 증가 추세가 더 높게 나타나고 있다.

추세 분석한 자료를 공간적으로 평가하였다. 전기간 분석 시 낙동왜관, 금호강, 낙동고령 중권역에 속한 지류들은

BOD, T-N, T-P에서 감소 추세 지점이 많고 낙동창녕, 낙동밀양, 남강 중권역에 속한 지류들은 BOD, T-N, T-P, TOC 모두 증가 추세 지점이 많은 것으로 분석되었다. 따라서, 낙동강 본류의 중·상류에 있는 낙동왜관, 금호강, 낙동고령 중권역 내의 지류들의 수질은 감소하는 지점이 많으나 하류의 남강, 낙동창녕, 낙동밀양 중권역에서는 증가하는 지류가 많아 관리가 필요한 것으로 판단된다. 중권역별로 평가하면, 감소 지점이 금호강 3개, 낙동왜관 중권역이 2개 지점이고 증가가 0지점으로서 감소가 많고 낙동강 본류와 남강이 만나는 부근의 지류들은 남강이 3개, 낙동밀양 중권역이 2개 지점이 증가하고 있다. T-N도 BOD와 금호강과 낙동고령 중권역에서 감소가 2지점씩으로 많으나 낙동창녕 중권역에서 2개 지점이 증가 되는 것으로 나타났다. T-P는 낙동강수계에서 전반적으로 감소 되는 지점이 많이 나타나고 있으나 TOC는 낙동창녕과 낙동밀양 중권역에서의 증가 추세 지점이 많아 본류 유입 하천들의 TOC 관리도 중요한 것으로 판단된다.

계절별 분석 결과, BOD는 봄과 가을, 겨울 남강과 낙동밀양 중권역에서의 증가하는 지점이 많이 나타나고 있고 상류의 낙동왜관과 금호강 중권역에서는 전 계절 감소 되는 지점이 많이 나타나고 있다. 봄에 증가 되는 지점이 남강 3지점, 낙동밀양 1지점, 가을에 낙동창녕 1지점, 낙동밀양 2지점, 겨울에 남강 1지점, 낙동밀양 2지점으로 나타남으로써 남강과 낙동강 본류가 합류하는 인근의 지류에서의 수질 증가 추세가 많이 나타나고 있었다.

T-N은 전반적으로 수계 내에서 감소 되는 추세가 많이 나타나고 있다. 특히 봄에 금호강 3지점, 낙동고령 2지점, 남강 3지점, 낙동밀양 4지점이 감소 되는 지점으로 나타났으며 겨울에 금호강 4지점, 낙동고령 3지점, 남강 2지점, 낙동밀양 3지점이 감소하고 있다. 가을철 낙동창녕 1지점, 남강 1지점, 낙동밀양 1지점이 증가하고 있는데 BOD와 같이 본류와 합류되는 인근 지류들이다.

T-P도 T-N과 같이 감소 되는 경향이 많이 나타나고 있으며 특히, 가을과 겨울 감소 되는 경향이 많이 나타나고 있다.

Table 5. Trend analysis by Mid-Watershed(Unit:: number)

Mid -Watershed	Trend	BOD					T-N				
		Annual	Spring	Summer	Autumn	Winter	Annual	Spring	Summer	Autumn	Winter
Nakdong Waegwan site n=3	Up	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
	Down	3	2	1	0	1	0	0	0	0	0
Kumhogang site n=5	Up	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Down	2	1	1	1	0	2	3	1	2	4
Nakdong Gorung site n=5	Up	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0
	Down	1	1	1	0	2	2	2	0	1	3
Nakdong Changrung site n=3	Up	1	0	0	2	0	2	2	0	2	1
	Down	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Namgang site n=7	Up	3	3	0	0	1	0	0	0	1	1
	Down	1	2	0	0	1	2	3	1	1	2
Nakdong Miryang site n=9	Up	2	1	0	1	2	1	0	0	0	0
	Down	3	1	4	0	0	3	5	2	1	3
Nakdonggang hagueon site n=2	Up	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0
	Down	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total n=34	Up	7	5	1	3	4	4	2	1	3	2
	%	20.59	14.71	2.94	8.82	11.76	11.76	5.88	2.94	8.82	5.88
	Down	10	7	7	1	4	9	13	4	5	12
	%	29.41	20.59	20.59	2.94	11.76	26.47	38.24	11.76	14.71	35.29

Table 6. Trend analysis by Mid-Watershed(Unit:: number)

Mid -Watershed	Trend	T-P					TOC				
		Annual	Spring	Summer	Autumn	Winter	Annual	Spring	Summer	Autumn	Winter
Nakdong Waegwan site n=3	Up	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
	Down	3	2	2	2	1	1	1	0	1	1
Kumhogang site n=5	Up	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0
	Down	4	3	3	4	1	1	0	0	1	0
Nakdong Gorung site n=5	Up	0	0	1	0	0	2	0	2	0	1
	Down	2	1	0	1	1	1	0	0	0	1
Nakdong Changrung site n=3	Up	0	1	2	0	0	3	3	2	1	1
	Down	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Namgang site n=7	Up	1	1	0	0	0	1	2	0	0	1
	Down	3	0	2	1	1	0	0	0	1	0
Nakdong Miryang site n=9	Up	1	2	0	0	0	3	4	1	1	2
	Down	3	2	4	3	2	0	0	2	0	0
Nakdonggang hagueon site n=2	Up	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0
	Down	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total n=34	Up	2	4	3	0	0	11	10	7	3	5
	%	5.88	11.76	8.82	0.00	0.00	32.35	29.41	20.59	8.82	14.71
	Down	16	8	11	11	7	3	1	2	3	2
	%	47.06	23.53	32.35	32.35	20.59	8.82	2.94	5.88	8.82	5.88

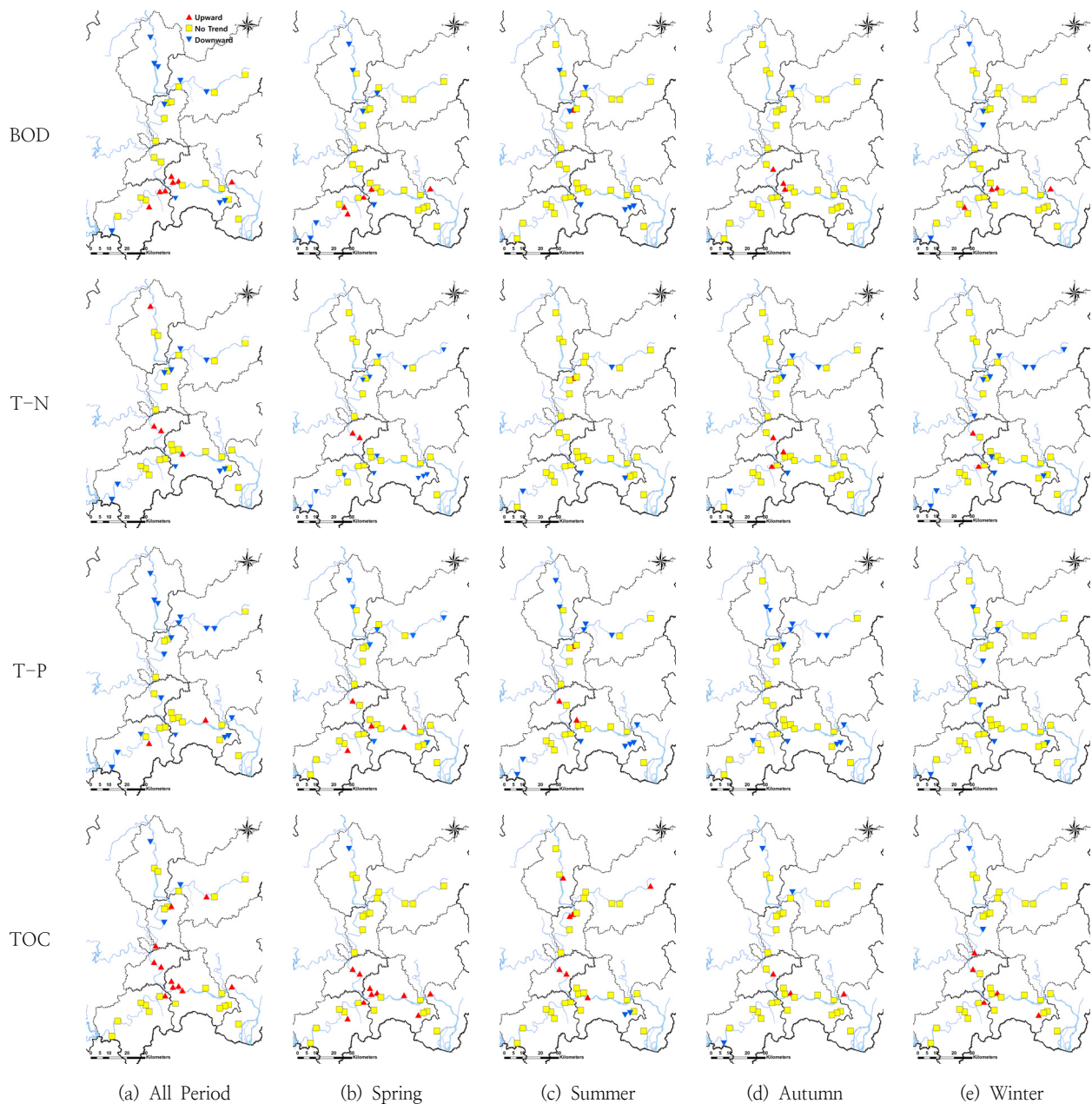


Fig. 8. Trend Analysis by Period

가을철 낙동왜관 2지점, 금호강 4지점, 낙동고령 1지점, 남강 1지점, 낙동밀양 3지점, 낙동강하구언 1지점으로 나타나 변동계수가 큰 가을철 수질 감소 추세가 크게 나타나고 있었다. 그러나, 봄과 여름에는 낙동창녕, 남강, 낙동밀양 중권역 내 지류들에서 증가하는 지점이 발생함으로써 낙동강 하류 지점들의 관리가 필요하다고 판단된다.

TOC는 수계 전반적으로 증가하는 경향이 강하며 특히 봄철 낙동창녕 2지점, 남강 2지점, 낙동밀양 5지점, 낙동밀양 1지점으로 나타나고 있어 봄철 관리가 특히 필요하리라 판단된다.

따라서, 낙동강수계에서 향후 수질 관리시 중·상류 지역에서는 수질이 감소하는 지류가 많으나 낙동강 본류와 남강이

만나는 낙동창녕과 낙동밀양, 남강 중권역 내의 지류들에 대한 관리가 필요할 것으로 판단되며 특히, 증가 추세가 많이 나타나는 TOC에 대한 관심이 필요하다.

4. 결 론

본 연구에서는 낙동강 지류에서의 수질모니터링 자료를 평가하였으며 평가는 현재 수질의 변동성을 알 수 있는 변동계수 평가와 추세 경향 평가를 수행하였으며 계절적 특성분석을 통해 지류에서의 특성을 평가하였다.

1) 평균 수질 평가결과, 낙동강수계 지류의 평균 수질은 하천

생활환경기준으로 “보통(Ⅲ)”등급(BOD 3.0~5.0mg/L, T-P 0.1~0.2mg/L)에 해당하고 있었다. 계절적으로, 겨울철에는 BOD와 T-N의 수질이 높아지고 T-P와 TOC는 여름철에 높아진다.

- 2) 변동계수 평가결과, 전 기간 평균 BOD 58.26%, T-N 48.44%, T-P 69.36%, TOC 35.54%로 나타나 T-P의 변동계수가 가장 크게 나타났다. 계절별 평가결과, BOD와 T-P, TOC는 가을철 변동이 크고 T-N은 봄철이 큰 것으로 나타났다. 가을철 수질이 가장 불안정하다고 판단된다.
- 3) 낙동강 본류의 하천 수질과 변동계수를 비교하였으며 지류에서의 변동계수가 더 큰 지류에서의 수질 변화가 더 큰 것으로 나타났다.
- 4) 수질 추세분석은 Mann-Kendall과 Sen's slope을 이용하여 분석하였다. 분석 결과, 전 기간 분석 시 감소하는 지점 수가 많아 대체로 수질이 개선되는 추세를 나타내었다. 그러나, TOC는 증가 경향이 많았다.
- 5) 계절별 추세분석 결과, BOD는 봄과 가을, 겨울에 증가하고 여름에 감소 추세가 많이 나타나고 있으며 T-N은 사계절 모두 감소 되고 있다. T-P도 T-N과 같이 감소가 많으며 특히, 가을과 겨울 감소가 많이 되었다. 반면 TOC는 증가가 많으며 특히, 봄과 여름에 증가가 많았다.
- 6) 공간적 분석 결과, 낙동강 중·상류 중권역에서는 감소 경향이 많으나 하류에서는 증가 경향이 많이 나타났다. 특히, 낙동강 본류와 남강이 합류하는 인근 지류에서 증가 경향이 많이 나타나 해당 지류들을 중심으로 수질 관리가 필요하다. TOC는 수계 전반적인 증가가 많아 향후 관리가 필요하다.

본 연구에서는 장기간 측정된 수질 모니터링 자료를 이용하여 지류에서의 수질 상태 및 변동계수를 통해 계절별 수질 특성을 파악하였으며 계절별 추세분석을 통해 낙동강수계 지류에서의 수질 변화 양상을 분석하였다. 계절별 변동계수 분석은 유역 수질을 관리할 때 오염원별 안정화시기를 검토할 수 있고 추세분석은 향후 유역에서 관리가 필요한 수질항목을 평가할 수 있다. 또한, 공간적 분포 현황을 분석하여 집중적으로 관리가 필요한 지역 파악이 가능하다. 이러한 결과를 바탕으로 수계 내에서의 수질 모니터링의 중요성과 필요성을 확인할 수 있어 물관리를 위해 수계 내 작은 지류들에서의 장기적인 수질 모니터링은 지속적으로 추진되어야 한다고 판단된다.

감사의 글

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

References

- Cho, Y.C., Park, M.J., Shin, K.Y., Choi, H.M., Kim, S.H., Yu, S.J. 2019a, A Study on Grade Classification for Improvement of Water Quality and Water Quality Characteristics in the Han River Watershed Tributaries. *Journal of Environment Impact Assess*, 28(3): 215–230.
- Cho, H.S., Son, J.Y., Kim, G.D., Shin, M.C., Cho, Y.C., Shin, K.S., Yu, S.J. 2019b, Non-parametric Trend Analysis Using Long-term Monitoring Data of Water Quality in Paldang Lake. *Journal of Environment Impact Assess*, 28(2): 83–100.
- Choi, D.H., Kim, M.K., Hur, S.O., Hong, S.C., Choi, S.K. 2018, Comparative Analysis of Nitrogen Concentration of Rainfall in South Korea for Nonpoint Source Pollution Model Application, *Korean Journal of Environmental Agriculture*, 37(3): 189–196.
- Dixon W, Chiswell B. 1996, Review of aquatic monitoring program design, *Water Research*. 30: 1935–1948.
- Hirsch, R.M., Slack J.R. 1984. A nonparametric trend test for seasonal data with serial dependence, *Water Resources Research*, National Institute of Environmental Research, 20(6): 727–732.
- Hong, J. Y., K. J. Lim, Y. C. Shin, Jung, Y. H. 2015, Quantifying Contribution of Direct Runoff and Baseflow to Rivers in Han River System, South Korea. *Journal of Korea Water Resource Association*, 48(4): 309–319.
- Jung, K.Y., Kim, M.J., Song, K.D., Seo, K.O., Hong, S.J., Chom S.H., Lee, Y.J., Kim, K.H. 2018, A Nonparametric Long-Term Trend Analysis Using Water Quality Monitoring Data in Nam-River. *Journal of Environment Science International*, 27(11): 1029–1048.
- Kendall, M.G. 1975. Rank correlation methods, Charles Griffin, London
- Kim, J.H., Chae, M.H., Yoon, J.H., Seok, K.S. 2021, Water Quality Similarity Evaluation in Geum River Using Water Quality Monitoring Network Data. *Journal of Environment Impact Assess*, 30(2): 75–88.
- Kim J.H. 2001. Non-parametric trend analysis of stream quality in Nakdong River, Master's Thesis, Ewha Womans University, Seoul, Korea.
- Kim, J.M., Jeong, H.G., Kim, H.R., Kim, Y.S., Yang, D.S. 2020, A Non-parametric Trend Analysis of Water Quality Using Water Environment Network Data in Nakdong River. *Journal of Environment Impact Assess*, 29(1): 61–77.
- Kim, S.Y., 2008. Application of Mann-Kendall methods for the performance assessment of the total pollution load

- management of Geum river, Master's Thesis, Hanbat National University, Daejeon Metropolitan City. Daejeon Metropolitan City.
- Mann, H.B. 1945. Nonparametric tests against trend, *Econometrica*, 13, 245–249.
- Nelson, L. S. 1999, Some Notes on Variation. *Journal of Quality Technology*, 31(4): 459–462.
- Sargaonkar A, Deshpande V. 2003. Development of an overall index of pollution for surface water based on a general classification scheme in Indian context. *Environ. Monit. Assess*, 89(1): 43–67.
- Simeonov V, Stratis JA, Samara C, Zachariadis G, Voutsas D, Anthemidis A, Sofoniou M, Kouimtzis T. 2003, Assessment of the surface water quality in Northern Greece, *Water Research*, 37: 4119–4124.
- Son, Y.G., Im, T.H., Na, S.M. 2016, Water Quality Analysis in Nakdong River Tributaries for the Determination of Priority Management Areas. *Journal of Korean Society of Environmental Engineers*, 38(10): 558–565.
- Strauch, A. M., R. A., MacKenzie, C. P. Giardina, and G. L. Bruland. 2015, Climate driven changes to rainfall and streamflow patterns in a model tropical island hydrological system. *Journal of Hydrology*, 523: 160–169.