

총유기탄소와 화학적산소요구량을 이용한 낙동강 물관리 방안

김보은¹ · 강미아^{2*} · 정교철³

¹경북보건환경연구원 연구사, ²안동대학교 환경공학과 교수, ³안동대학교 지구환경과학과 교수

Water Management Plan for the Nakdong River Using TOC and COD

Bo Eun Kim¹ · Meea Kang^{2*} · Gyo-Cheol Jeong³

¹Researcher, Public Institute of Health & Environment

²Professor, Department of Environmental Engineering, Andong National University

³Professor, Department of Earth and Environmental Sciences, Andong National University

Abstract

The Nakdong river is both a natural resource crucial to underwater ecosystems and a water source for its basin's residents. Industrial wastewater and domestic sewage must meet the relevant standards for discharged water before they can flow into the river. The correlation between old and new measures of organic matter was examined using water quality data from 50 monitoring locations in the main stream of the Nakdong river. The coefficient of determination (R^2) for total organic carbon (TOC), the new measure of organic matter, and chemical oxygen demand (COD), the old measure of organic matter, in the main stream of the Nakdong river was 0.6134, indicating high correlation. Water quality at each location assessed using TOC and COD showed disparities that cannot be ignored: quality appeared higher when evaluating the main stream of the Nakdong river using TOC instead of COD. Therefore, there remains a need to review water quality ratings based on TOC; continuous monitoring of COD is also required. In addition, the cause of the difference should be clearly identified to help assess artificial sources of pollution and natural factors affecting organic matter. Water management of the Nakdong river will then be possible using the water quality rating.

Keywords: Nakdong river, water quality, TOC, COD, monitoring, correlation

OPEN ACCESS

*Corresponding author: Meea Kang
E-mail: wdream@anu.ac.kr

Received: 15 February, 2023

Revised: 14 March, 2023

Accepted: 22 March, 2023

© 2023 The Korean Society of Engineering Geology



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.

초 록

낙동강은 수중 생태계의 안전을 위한 자연자원으로서의 기능뿐만 아니라 유역주민들이 상수원수로 사용하고 있다. 사람들의 생활에 이용될 여러 산업에서 발생시키는 폐수와 사람들이 뱉어내는 오·하수 등은 방류수 기준을 만족시켜 낙동강으로 유입시키고 있다. 낙동강본류에서 모니터링되어 공개되고 있는 50개 지점의 수질 자료를 활용하여 신·구 유기물질 항목 간의 상관성을 살펴보았다. 낙동강본류에서 나타나는 신유기물질 항목인 TOC와 구유기물질 항목인 COD는 결정계수(R^2)가 0.6134로 나타나 상관성은 높다고 할 수 있다. TOC·COD를 이용하여 평가한 각 지점의 수질 등급에서는 그 차이가 무시할 수준을 넘어섬을 알 수 있다. 즉 COD를 대체하여 TOC를 활용하여 낙동강본류의 평가할 때 상대적으로 더 양호한 등급으로 나타났다. 따라서 TOC의 수질 등급을 재검토할 필요성이 여전히 남아있고 COD의 지속적인 모니터링이 요구된다고 할 수 있다. 이에 더해 신·구 유기물질에 영향을 미치는 인위적인 오염

원과 자연적인 요소들에 대해 발생 원인이 명확하게 규명되어야 낙동강의 수질등급을 활용한 물관리가 가능할 것이다.

주요어: 낙동강, 수질, TOC(총유기탄소), COD(화학적산소요구량), 모니터링, 상관성

서론

나라말샘(The National Institute of the Korean Language, 2023)에 따르면 기준은 기본이 되는 표준으로, 오염은 오물이나 폐수로 인하여, 하천, 호소, 항만, 연안, 해역 등이 사람의 생활을 해롭게 할 정도로 더러워지는 일로, 수질 기준은 수질 오염으로 물 사용자의 복지가 손실되는 것을 막기 위한 기준을 의미한다. 즉 수질 기준은 사람을 복지의 중심으로 하는 수자원의 구별법에 해당하는 내용을 다루는 것으로 이해된다. 오늘날 물 사용자에게 수중의 생물들을 포함하여 수생태계의 건강성을 다루고 있으나 이 또한 궁극적으로는 인간이 사용하는 물의 가치를 증진 시키는 일이다.

인간이 사용하는 물의 가치 증진은 인간의 삶에서 지배할 수 있는 수질 회복을 동력으로 하므로 인간이 배출하는 오염물질 저감과 관리에 의해서 달성할 수 있는 범위를 넘어설 수 없음을 이해하여야 한다. 따라서 인간이 오염물질을 배출하는 생명체로 살아가는 한, 인간이 배출하는 오염물질의 저감과 관리의 물 환경의 질서를 회복하여 수중 생태계의 교란을 막아 인간이 최종적으로 사용하는 자연자원을 경제적으로 얻을 수 있는 주요 수단이다.

이를 위해 물환경 오염을 방지하기 위한 제도를 도입하고 제도에 적합한 기준을 설정하여 수자원의 가치를 높인다. 2018년 개정된 수량·수질에 대한 통합물관리 관련법으로 환경부를 중심으로 수질·수량관리가 일원화되기에 이르러 통합물관리를 통해 기준에 이원화되었던 수질과 수량의 관리를 효율적으로 할 수 있는 기회가 된 것은 분명하다. 유역 중심의 통합물관리 추진은 국가물관리위원회와 유역물관리위원회의 출범으로 인하여 국토의 물관리를 위한 효율성이 제고되었다고 볼 수 있으며, 하수처리장과 같은 환경기초시설 확충으로 수질오염을 규제하여 공공수역의 수질을 회복하는 데 도움을 주었다. 최근에는 기후위기의 중요성에도 대처가능하도록 기반이 마련되어 국민의 안전과 재산을 보호하는 데 기여하고 있다고 볼 수 있다. 그럼에도 수질기준이 항상 변화될 수 있는 성질인 것을 고려할 때 통합물관리로 인해 증진될 것으로 기대되는 국토물관리 효율성의 제고수준을 어떻게 평가할 것인지에 대해서는 명확하지 않은 점은 여전히 남아있게 된다.

우리나라 생활환경기준에서 하천·호소 등의 수질기준은 물의 이용자적 측면을 고려하여 등급화하여 구분하고 있다. 수질을 나타내는 항목 중 일반항목으로 분류되는 유기물질로 생물학적산소요구량(biochemical oxygen demanded, BOD), 화학적산소요구량(chemical oxygen demanded, COD), 총유기탄소(total organic carbon, TOC) 등이 있다. 하천·호소 등의 생활환경에서 BOD 농도의 회복이 달성되었으나 COD의 농도증가로 인해 난분해성 유기물질에 대한 관심이 고조되고 COD 항목이 갖는 한계를 극복하기 위한 방안에 대해 연구되었다. 이러한 연구들은 유기물질 지표로 TOC의 도입 필요성을 제시하는데 기여한 것으로 보인다. 이로써 1990년 환경정책기본법이 제정되어 1991년부터 pH(수소이온농도), DO(용존산소, dissolved oxygen), BOD, SS(부유물질, suspended solids), 대장균 등 5개 항목으로 시작되어 2009년 COD 항목이 추가되어 사용되다가 2016년부터 COD 항목을 대체하여 TOC 항목을 사용하게 되었다.

물환경의 유기물질에 대한 새로운 항목의 신설은 기존의 자료에 대한 활용과 새로운 기준을 이용한 수질평가의 적정성에 대한 연구의 필요성을 제시하였다(Kim, 2019). TOC 항목은 수중환경의 파악을 면밀히 하기 위해 2017년 11월에 용존성 유기탄소(dissolved organic carbon, DOC)에 대한 분석법이 추가되어 사용되기 시작했다(MOE, 2022). 이는 물환경의 질적평가를 위한 지표와 분석법은 과학의 발전과 도입의 필요성에 따라 변화하는 특성이 자명함을 의미한다. 또한 변화되는 가능성을 가진 지표들로 인해 사용 중인 국가환경자료의 축적이 중요함을 시사하기도 한다.

본 연구에서는 자연으로서의 역할뿐만 아니라 상수원수로 이용하는 낙동강본류 50개 지점을 대상으로 하였다. 낙동강은 낙동강유역의 주민들이 식수원으로 사용하므로 많은 주민들이 낙동강유역에서 나타내는 수질에 대한 관심은 매우 높다. 최근 방송에서(TBC, 2022)에서는 유기물질 항목별 수질등급에 대한 적절성을 요구하는 TOC의 중요성을 방송하기도 했다. 따라서 TOC와 COD의 분포현황, 상관성 등을 분석하였으며 낙동강 수질의 흐름을 유하거리와 질적 수준으로 상·중·하류로 구분하고자 하였다. 이를 통해 구축적된 자료를 활용할 수 있는 통합물관리 방안을 제안하고자 한다.

연구방법

본 연구에서는 낙동강수계 본류의 오염수준을 활용하였다. 국가물환경정보시스템(water information system, WIS, 2018)의 수질측정망을 이용한 낙동강수계 관련 논문과 보고서 등을 대상으로 하였다. TOC의 경우는 낙동강본류 지점에 따라 시작된 시기가 달라 측정망 자료의 수에 차이를 나지만 결과를 도출하는데에는 큰 문제가 없는 것으로 판단되었다. 각 지점에서 수집 가능한 2007년 1월부터 2017년 12월까지이며 수집된 모든 측정값을 사용하였다. 문헌에서 수집한 자료에서 발췌한 수질기준, 등급, 자료정리를 한 그림 등은 그대로 사용하거나 편집 후 사용한 경우에 각각 인용 또는 수정 인용 등으로 표시하였다.

결과 및 고찰

지표 간의 상관성 비교

하천·호소 등의 생활환경 중의 유기물질 오염수준을 평가하는 지표로 새롭게 도입되어 사용하고 있는 TOC와 기존의 지표인 COD 간의 상관성은 기존의 축적된 환경자료를 활용하는 데 매우 중요하다.

우리나라 생활환경기준 중 TOC·COD의 수질환경기준은 아래 Table 1과 같다. 총 7단계로 Ia(매우 좋음), Ib(좋음), II(약간 좋음), III(보통), IV(약간 나쁨), V(나쁨), VI(매우 나쁨) 등으로 구분된다(Table 1). III 등급의 경우 보통의 정수처리방식으로 수돗물을 생산할 수 있는 수준이다. TOC·COD에 대한 등급 구분에 적용하는 기준으로 이 두 지표 간의 상관성을 구하면 R^2 (결정계수, coefficient of determination)은 0.9875로 매우 높게 나타난다(Fig. 1). 이 두 지표 간의 높은 상관성은 기존에 사용해 온 COD 지표의 활용가능성이 높음을 의미한다. 이 결과는 영산강 유역의 연구결과(Oh et al., 2015)와 Yobe강에 나타난 TOC-COD의 높은 상관성(Weinrich et al., 2010)을 나타낸 연구들과 맥을 같이 하는 것이다.

Table 1. Standards for the living environment based on TOC/COD

Grade	TOC (mg/L)	COD (mg/L)
Ia	Less than 2	Less than 2
Ib	Less than 3	Less than 4
II	Less than 4	Less than 5
III	Less than 5	Less than 7
IV	Less than 6	Less than 9
V	Less than 8	Less than 11
VI	More than 8	More than 11

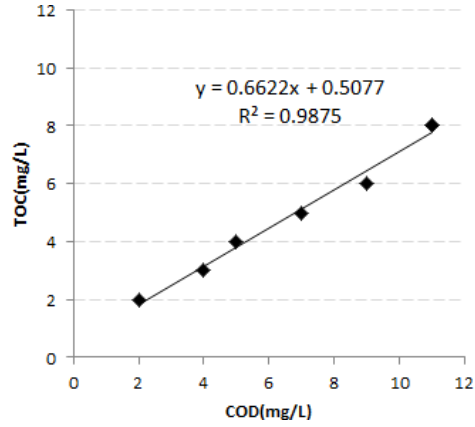


Fig. 1. Correlation between TOC and COD using the standard for the living environment.

이 두 지표의 등급기준값을 활용하여 낙동강 본류에서 모니터링된 자료를 분석하면 기준에서 얻은 상관성과 달리 상대적으로 낮은 상관성($R^2 = 0.6134$)을 나타낸다(Fig. 2). 이 결과는 낙동강본류 42개 지점(2011년 7월 1일~2016년 6월 3일)에서 총 8,664개의 자료를 분석하여 얻은 TOC-COD 상관성($R^2 = 0.6472$)(Yi, 2017)과 유사한 결과를 나타낸 것으로 낙동강본류의 유기물질 지표로서 TOC는 물론 기존의 COD는 사용성이 높을 것으로 판단된다(Fig. 3).

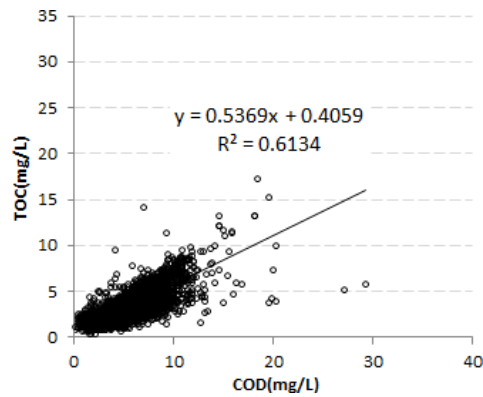


Fig. 2. Correlation between TOC and COD in the Nakdong river (S1-S50; n = 17,376).

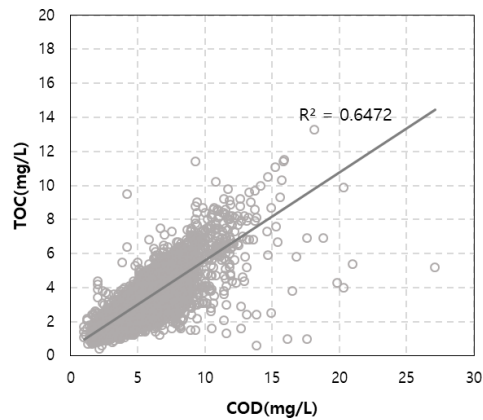


Fig. 3. Correlation between TOC and COD in the Nakdong river (Yi, 2017, modified).

낙동강본류 TOC·COD 자료 분석

낙동강본류 총 하천길이 501 km를 기준으로 유하거리를 3등분하여 상·중·하류로 구분하여 모니터링 지점의 TOC·COD 결과를 분석하였다. 상류(S1~S22), 중류(S23~S35), 하류(S36~S50)으로 표시하였다. 즉 Fig. 4와 Fig. 5에 나타난 거리의 차이는 유하거리를 산술적으로 나눈 것이다. 모니터링 지점(S, Site)과 사용한 자료들은 Kim(2019)에서 정리한 바와 같으며 이 자료들은 환경부 물환경정보시스템에서 다운로드하여 사용하였다.

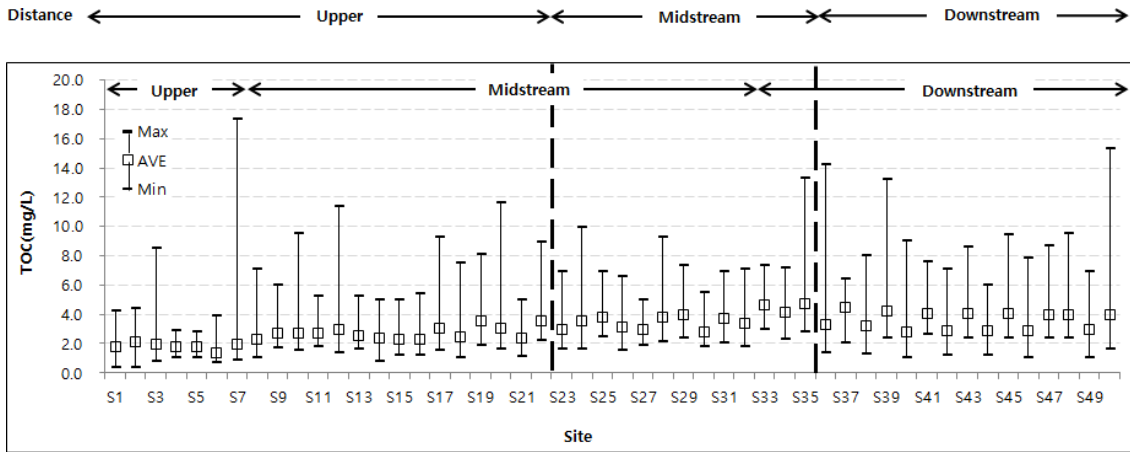


Fig. 4. TOC concentrations in the Nakdong river (Jan. 2007–Dec. 2017, S1–S50, n = 17,376; Kim, 2019).

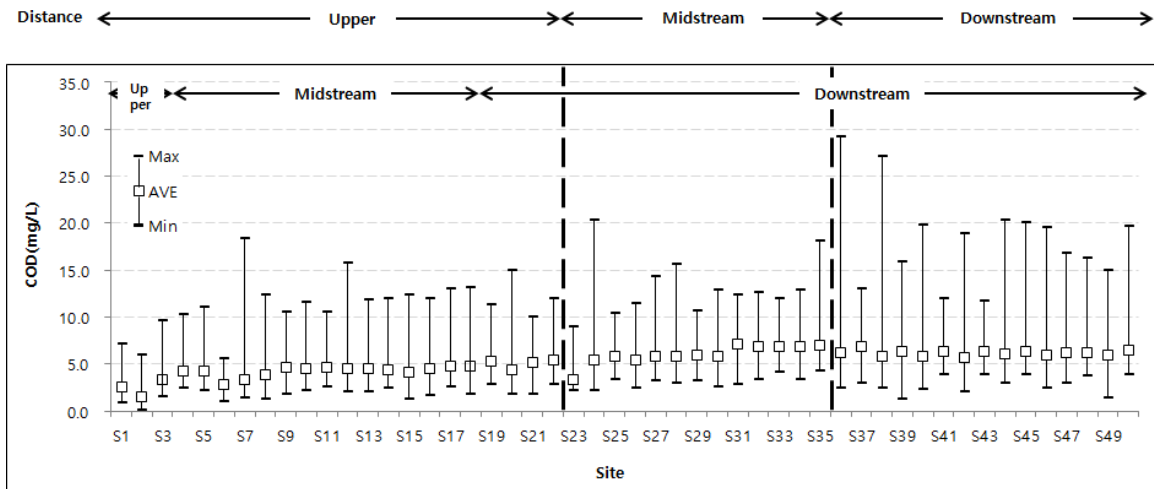


Fig. 5. COD concentrations in the Nakdong river (S1–S50, n = 17,992; Kim, 2019).

Fig. 4와 Fig. 5에서 나타난 S에 따라 구분된 상·중·하는 조사된 지표의 농도가 상대적으로 낮을 때와 중간 그리고 높은 경우를 의미한다. TOC와 COD는 상대적으로 낙동강본류의 상류에서 청정하고 하류로 갈수록 오염수준이 높아짐을 알 수 있다.

50개의 지점에서 검출된 TOC 평균농도는 지점별로 차이가 있으나 1.4 mg/L에서 4.7 mg/L까지이며 표준편차의 평균은 ± 0.8 mg/L로 나타났다. S7은 지리적으로 상류에 속하며 TOC 기준으로 Ia등급의 청정지역이나 TOC 최대값으로 17.3 mg/L를 나타냈다.

50개의 지점에서 검출된 COD 평균농도는 지점별로 차이가 있으나 1.5 mg/L에서 7.1 mg/L까지이며 표준편차의 평균은 ± 1.3 mg/L로 나타났다. S32는 지리적으로 하류에 속하며 편차가 적으면서 지속적으로 COD 농도가 높게 나타났다. 반면 S36은 COD 검출농도의 범위가 가장 커 표준기준이 높게 나타나 관리가 용이하지 않는 지점이다.

낙동강본류의 TOC·COD의 오염수준(평균농도 기준)으로 상·중·하류로 구분할 수 있다. TOC 기준으로 할 때, 상류(S1~S7, 2 mg/L 이하), 중류(S8~S32, 2~3 mg/L), 하류(S33~S50, 4 mg/L 초과)로 구분할 수 있다. COD 기준으로 할 때, 상류(S1~S3, 4 mg/L 이하), 중류(S4~S18, 4~5 mg/L), 하류(S19~S50, 5 mg/L 초과)로 구분할 수 있다.

낙동강본류에서 TOC 농도는 COD 농도보다 낮은 값으로 검출되며 오염도 기준으로 상류와 중류의 지점 범위가 폭넓은 것으로 보인다. 즉 TOC 항목으로 낙동강본류를 평가할 때가 기존의 COD 항목으로 평가할 때보다 상대적으로 양호한 결과를 나타냄을 의미하는 것이다.

TOC·COD 기준이 하천수 수질 등급에 미치는 영향

앞 절에서 사용한 동일 자료를 사용하여 높은 상관성을 나타내는 TOC·COD 기준을 이용하여 하천수 수질 등급을 살펴해보았다. TOC 기준이 COD 기준에 비해 Ib 등급부터 1 mg/L 낮게 적용되고 III 등급에서는 2 mg/L 낮게 적용되며 IV 등급부터는 3 mg/L 낮게 적용되어 강화되었음을 알 수 있다.

낙동강본류 S1~S50에서 검출된 TOC·COD 농도를 수질 등급으로 구분하여 Table 2에 정리하였다. 지점에 따라 수집할 수 있는 자료의 수가 상이한 점을 한계로 들 수 있으나 전체의 수준을 파악하는 데에 무리는 없을 것으로 보인다. 수질 등급을 구분하는 TOC·COD 기준에서 TOC가 COD에 비해 강화된 값으로 정해져 있으나 수질 등급 구분으로는 좋은 등급으로 상향되는 것을 알 수 있다.

Table 2. Rating results for standards of the living environment in the Nakdong river (S1~S50, n = 13,340; Kim, 2019)

Site	TOC							COD							Data (n)
	I a	I b	II	III	IV	V	VI	I a	I b	II	III	IV	V	VI	
S1	53	20	4	2	0	0	0	27	43	5	3	1	0	0	79
S2	42	28	7	2	0	0	0	69	10	0	0	0	0	0	79
S3	259	119	14	3	1	0	1	22	300	60	13	1	1	0	397
S4	11	2	0	0	0	0	0	0	9	1	2	0	1	0	13
S5	10	3	0	0	0	0	0	0	9	2	1	0	1	0	13
S6	76	5	1	0	0	0	0	13	59	9	1	0	0	0	82
S7	303	85	24	6	0	5	1	29	319	46	21	6	0	3	424
S8	125	199	30	0	2	3	0	5	235	90	24	2	2	1	359
S9	12	52	14	3	1	0	0	0	28	32	20	2	0	0	82
S10	45	240	56	10	5	2	1	0	110	158	75	12	3	1	359
S11	11	53	13	4	1	0	0	0	30	30	21	1	0	0	82
S12	40	227	117	23	9	6	4	1	174	165	67	10	5	4	426
S13	13	55	9	4	1	0	0	0	36	26	18	2	0	0	82
S14	33	63	14	4	0	0	0	0	61	30	20	3	0	0	114
S15	33	39	6	3	0	0	0	2	44	23	10	2	0	0	81
S16	36	36	6	1	1	0	0	1	36	28	11	3	1	0	80
S17	20	133	108	22	3	1	1	73	195	120	87	1	0	0	288

Table 2. Continued

Site	TOC							COD							Data (n)
	I a	I b	II	III	IV	V	VI	I a	I b	II	III	IV	V	VI	
S18	44	44	15	7	0	1	0	1	34	37	36	2	1	0	111
S19	3	101	122	38	15	5	1	31	204	91	142	4	1	0	285
S20	70	208	157	36	15	4	2	159	287	178	134	4	2	0	492
S21	36	59	11	6	0	0	0	29	59	33	43	2	0	0	112
S22	0	82	132	60	12	4	1	0	25	83	157	21	4	1	291
S23	14	33	14	9	2	1	0	0	57	12	3	1	0	0	73
S24	15	117	157	83	24	7	3	0	54	109	192	43	5	3	406
S25	0	36	178	69	20	1	0	0	12	62	201	27	2	0	304
S26	28	169	101	44	15	3	0	0	21	77	220	37	3	2	360
S27	1	48	30	3	0	0	0	0	4	14	50	13	1	0	82
S28	0	71	195	95	27	12	2	0	30	87	223	53	6	3	402
S29	0	29	169	85	29	3	0	0	6	47	219	42	1	0	315
S30	15	63	29	5	2	0	0	0	6	24	58	21	4	1	114
S31	1	27	31	15	5	7	0	0	1	6	46	30	3	0	86
S32	1	130	166	59	3	1	0	0	3	22	182	120	29	4	360
S33	0	1	74	218	104	21	0	0	0	7	241	162	6	2	418
S34	34	132	207	108	35	9	0	0	0	23	291	178	24	9	525
S35	0	7	105	170	86	29	9	0	0	17	228	132	21	8	406
S36	19	90	146	27	4	1	0	0	20	57	121	76	9	4	287
S37	1	3	93	146	65	9	0	0	2	11	174	124	5	1	317
S38	18	87	81	17	10	2	0	0	23	57	100	30	3	2	215
S39	0	35	185	119	44	17	6	0	1	59	239	89	13	5	406
S40	44	174	97	15	3	1	1	0	26	80	162	57	7	3	335
S41	0	23	155	102	40	3	0	0	1	27	215	75	4	1	323
S42	20	121	49	10	8	2	0	0	22	67	91	27	2	1	210
S43	0	42	185	116	47	15	1	0	2	54	239	96	13	2	406
S44	18	152	97	17	3	0	0	0	24	68	122	65	5	3	287
S45	0	33	209	101	46	13	3	0	3	46	258	80	15	3	405
S46	30	174	99	18	4	2	0	0	34	69	148	70	4	2	327
S47	0	65	249	120	36	19	3	0	1	80	306	76	24	5	492
S48	0	35	211	109	31	12	3	0	1	61	254	67	12	6	401
S49	30	173	118	19	2	4	0	3	27	72	172	61	6	5	346
S50	2	49	222	87	25	14	2	0	2	55	251	67	17	9	401

TOC · COD의 자료를 이용하여 등급으로 구분하여 누적 비율을 Fig. 6에 나타냈다. TOC 기준으로 등급을 평가할 때 Ia~III 등급이 91.2%를 차지하지만 COD 기준으로 등급을 평가할 때에는 Ia~III등급이 82.0%에 그쳐 9.8%의 등급 상향이 이루어졌음을 알 수 있다. 이에 더해 좋음의 등급에 해당하는 Ia~II 구간에서는 TOC에서 발현되나 COD에서는 발현되지 않음 현상이 나타나고 IV등급보다 낮은 등급에서는 TOC의 발현이 COD의 발현보다 더 낮아져 수질이 양호해지는

결과로 인식될 우려가 있다. 이러한 결과는 Choi and Kang(2018)이 호소를 대상으로 한 연구에서 TOC를 활용한 환경기준의 등급이 COD를 활용한 환경기준의 등급보다 더 양호한 것으로 나타나 TOC를 유기물질 인자로 이용한 수질 등급 수준이 완화된 것과 동일한 효과를 지닌다고 밝힌 바와 맥을 같이 하였다.

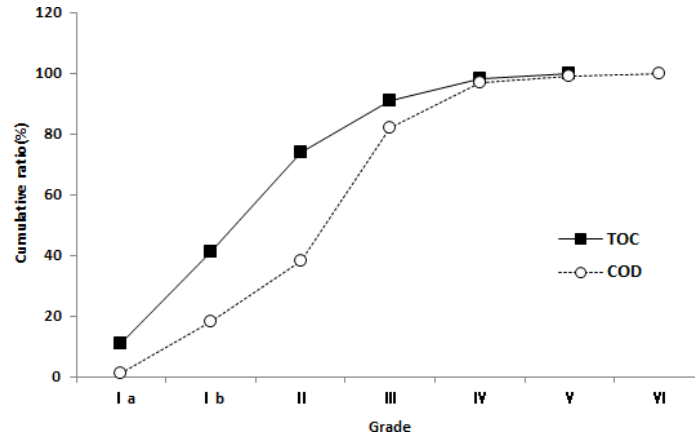


Fig. 6. Cumulative ratio of TOC and COD grade for the Nakdong river using the standard of the living environment (S1-S50, n = 13,340; Kim, 2019).

결론

낙동강본류 50개 지점에서 국가모니터링 자료를 수집하여 TOC·COD의 상관성을 고찰하여 낙동강본류의 수질 등급을 평가하였다. 수집한 자료에서 TOC·COD의 상관성은 결정계수 0.6134로 긍정적 상관성을 나타내는 것으로 확인할 수 있었다. 이러한 TOC·COD의 상관성은 기존 COD의 수질등급의 기준과 새롭게 도입된 TOC의 수질등급의 기준이 나타내는 상관성($R^2 = 0.9875$)보다는 매우 낮은 값을 보였다. 유하거리에 따라 구분한 상·중·하류의 수질은 TOC·COD의 두 항목에서 모두 상류가 중·하류보다 양호한 수질을 나타내었으며 검출된 TOC의 평균 농도는 COD의 평균 농도보다 낮게 나타났다. 이는 탄소로 측정되는 TOC 농도만으로 수질 등급을 평가할 때에는 기존 하천에 수질의 변화가 없으면서도 COD 농도로 수질 등급을 평가할 때보다 하천의 수질을 상대적으로 좋은 등급으로 나타내는 결과를 초래하였다.

낙동강은 유역주민들이 상수도 원수로 사용되는 수자원으로 수중의 유기물질은 정수처리 과정에서 매우 중요한 제거 대상이다. III등급까지 보통의 정수처리로 안전한 수돗물을 공급할 수 있는데 대체로 사용한 지표로 인해 발생하는 수질 등급 상향은 생태계로서의 물환경 뿐만 아니라 수처리 공정에서도 문제를 야기할 수 있다.

따라서 기존에 사용하여 축적해온 COD 항목의 모니터링을 계속하면서 화학적으로 산화되는 원인물질을 파악하여야 한다. 2026년부터 낙동강에 유입되는 산업·오·폐수 등의 방류수 등의 관리에 TOC 총량이 도입되어 통합물관리를 하게 된다. 따라서 TOC 항목에 대해서도 오염 발생 원인을 규명하여야 하며 등급별 수질 기준에 대한 적정성 연구가 필요하다. 이번 연구는 앞선 연구(Kang, 2014)를 통해 TOC의 효율적 이용을 강조한 바와 같이 물관리에서 가장 중요한 것은 오염에 대한 정확한 원인을 알고 적절한 대책을 마련하여 대비하는 것임을 다시 한 번 증명하였다.

References

- Choi, B.W., Kang, M., 2018, Availability evaluation of TOC as the environmental standard - Survey of lakes in Nakdong river basin -, *Journal of Wetlands Research*, 20(2), 173-180 (in Korean with English abstract).
- Kang, M., 2014, Characteristics and effective usage of organic indexes in water environments -Lakes in Nakdong river basin-, *Journal of Wetlands Research*, 16(1), 153-160 (in Korean with English abstract).
- Kim, B.E., 2019, A study of the appropriateness of TOC for water quality evaluation in water environment, Doctoral Thesis, Andong National University, 144p (in Korean with English abstract).
- MOE (Ministry of Environment), 2022, Official test method for water pollution (in Korean).
- Oh, E.H., Lee, H.H., Park, J.S., Yang, S.I., Lim, H.S., Ahn, G.W., 2015, The characteristics of TOC, COD/BOD on Youngsan river basin, *Journal of the Korean Society for Environmental Analysis*, 18(1), 38-48 (in Korean with English abstract).
- TBC, 2022, Water pollution of Nakdong river, Retrieved from <https://www.youtube.com/watch?v=OMxmREmLibw>.
- The National Institute of the Korean Language, 2023, https://dic.daum.net/word/view.do?wordid=kkw000641610&q=%EC%88%98%EC%A7%88+%EA%B8%B0%EC%A4%80&suptype=OPENDIC_KK.
- Weinrich, L.A., Jjemba, P.K., Giraldo, E., LeChevallier, M.W., 2010, Implications of organic carbon in the deterioration of water quality in reclaimed water distribution systems, *Water Research*, 44, 5367-5375.
- WIS (Water Information System), 2018, <http://water.nier.go.kr/>
- Yi, S.B., 2017, Quality evaluation of Nakdong river using different organic indexes, Master Thesis, Andong National University, 76p (in Korean with English abstract).