

## 부산지역 하천의 총유기탄소(TOC)와 유기물 오염지표와의 상관관계에 관한 연구

최성화<sup>†</sup> · 김경선 · 이유정 · 손정원 · 조은정 · 유평중  
물환경생태과

### Correlation Analysis between TOC and the Organic Matter Index of Busan Streams

Choi Seong-hwa<sup>†</sup>, Kim Kyeong-seun, Lee You-jung, Son Jeong-won,  
Cho Eun-jeong and Yoo Pyung-jong  
*Aquatic Environment & Ecology Division*

#### Abstracts

The correlation between TOC(total organic carbon) and organic matter index of 33 streams in Busan area was calculated to  $r=0.900$  in COD,  $r=0.588$  in BOD and  $r=0.325$  in SS. The correlation of BOD and COD to TOC was  $r=0.722$  and  $r=0.810$ , respectively, under the 0.5 psu of salinity. However, COD was similarly correlated to TOC and the correlation of BOD to TOC was declined over 0.5 psu of salinity. In this study, the highest correlation of BOD and COD to TOC was investigated under 10 mg/L of SS(suspended solids).

Dong stream was investigated to the highest correlation between TOC and organic matter index but the lowest correlation showed in the Seonakdong river. In the analysis of the oxidation efficiency of all streams, BOD-C/TOC and COD-C/TOC were similar with 34.5 %, 73.1 % and 37.2 %, 67.7 %, respectively, in the Seonakdong river and the Sooyoung river. The oxidation efficiency of BOD-C/TOC and COD-C/TOC were averagely 57.0 % and 73.8 % in Dongcheon stream and this result appeared to be relatively higher the oxidation efficiency of BOD to TOC than in the other streams.

**Key words** : TOC, BOD, COD, SS, salinity

## 서론

하천과 호소의 유기물함량을 나타내는 지표로는 생물화학적산소요구량(Biochemical Oxygen Demand, BOD), 화학적산소요구량(Chemical Oxygen Demand, COD), 총유기탄소량(Total Organic Carbon, TOC)

등이 사용되고 있다. BOD는 측정과정에서 독성물질, 난분해성 물질, 조류(algae), 질산화 등의 오차 요인과 분석과정의 어려움 및 최소 분석 소요기간 5일 등의 한계가 있다. COD는 질산화 및 조류 등에 의한 오차를 보완할 수 있기 때문에 BOD에 비해서 상대적으로 정확한 유기물 지표가 될 수 있으

<sup>†</sup> Corresponding author. E-mail : csw95@korea.kr  
Tel : +82-51-309-2919, Fax : 82-51-309-2969

나, 오염물질의 성상에 따른 분석오차가 크기 때문에 BOD와 마찬가지로 여러 가지 한계를 지적받아 왔다<sup>1-4)</sup>. 또한 도시화와 산업화에 따른 외부 오염원이 다양해지고 난분해성을 포함한 비점오염원의 유입이 증가하고 있어 기존의 BOD와 COD중심의 수질관리방식은 오염원의 총량이나 유기물의 특성을 제대로 반영하지 못하고 있다<sup>2)</sup>. 따라서, 이와 같은 BOD와 COD의 한계성을 보완하기 위한 지표로서 유기오염물질 지표전환에 관한 연구들이<sup>5-9)</sup> 활발히 이루어진 결과 TOC항목이 국내 하천 및 호소의 생활환경기준 항목에 2013년 1월 1일부터 새로이 추가되어 난분해성 유기물오염도 지표로 새로이 적용되기 시작하였고, COD항목은 2015년까지만 적용되며 2016년부터는 TOC 항목이 COD를 대체하는 수질기준이 된다. TOC 측정법은 앞의 두 가지 유기물질 분석법 보다 간편하고 분석시간이 짧은 기기분석법이다. 수중에 함유된 절대 유기 탄소 양을 측정하여 오염정도를 분석함으로써 기존의 BOD 및 COD 측정에서 발생할 수 있는 측정오차를 크게 줄일 수 있는 장점이 있으며, 분석결과를 신속히 알 수 있어 오염원에 대한 통제와 관리를 체계적으로 할 수 있는 방식이다<sup>10)</sup>.

부산지역은 국토해양부 한국하천일람(2011. 12. 31. 기준)에 따르면 4개의 국가하천과 46개의 지방하천이 있으며 그 중 부산시는 33개 하천 57개 지점에 대해 수질측정망을 운영하고 있으며 그 중 대표적인 호소형 하천인 서낙동강 수계와 대표적 도심하천인 수영강 수계와 동천이 있다. 서낙동강은 맥도강, 평강천의 지류를 가지며 상류부에 대저수문과 하류부에는 녹산수문이 축조되어 호수 상태를 이루며 하상경사가 매우 완만하고 고도가 없는 평야지대로 강변에 수생식물이 풍부하고 흐름이 정체되어 부영영화가 심한 하천이다. 수영강은 온천천, 동래천, 석대천의 지류를 가지고 있으며 주변은 주

거밀집지역, 상업지역, 공업지역이 혼재되어 있고, 도시화로 오염이 가중된 대표적 하천이었으나<sup>11)</sup>, 다양한 수영강살리기 개선사업 등으로 물환경 및 생태하천복원 사업이 성과를 크게 이룬 하천이라고 할 수 있다. 또한, 동천은 부산의 대표적 도심하천이면서 80 % 이상이 복개되어 있는 하천으로 오염이 심화되고 하천관리가 매우 어려운 하천이었으나, 부산시가 2004년 이후로 동천환경개선 및 2010년 5월부터는 동천 하류 북항의 맑은 해수를 도수하여 수질이 현저히 개선되었고 수질도 안정화된 하천이다<sup>12,13)</sup>.

본 연구는 부산지역의 특징적인 물환경 수계를 중심으로 변화된 물환경 여건을 고려한 유기물 관리 지표인 TOC 항목을 위주로 분포 특성을 탐구하고 TOC와 BOD 등 기타 유기물 오염지표와의 상관관계를 분석하여 COD의 한계성을 보완하는 수단으로서 TOC를 검증해보고 부산지역 하천특성에 따른 수질 지표 적용성에 대해서도 고찰해 보고자 한다.

## 재료 및 방법

### 연구대상

부산시 국가하천인 서낙동강 수계 및 낙동강의 지류하천 그리고 주요 지방하천인 수영강, 온천천을 포함하는 수영강 수계, 동천 그리고 춘천, 우동천 등 동부산 권역 하천 등 33개 하천, 57개 수질 측정망 지점을 대상으로 하였다. 연구대상 지점은 Fig. 1에 나타내었다.

### 분석방법

시료의 채취는 2013년 1월부터 11월까지 총 11회 실시하였으며, 현장측정기(YSI 556MPS, USA)를 이용하여 수온, pH, DO, 전기전도도, 염분 등을 측정하였고 채수한 시료는 4 °C이하로 보관하



Fig. 1. Study area and monitoring points.

여 실험실로 운반하여 환경부 수질오염공정시험방법에 따라 BOD,  $COD_{Mn}$ , SS, TOC, 클로로필-a 등을 분석하였다. TOC 농도는 비정화성 유기탄소(nonpurgeable organic carbon, NPOC) 검출방법을 이용하여 산성화된 시료를 약 3분간 정화(purging)하여 무기성 탄소를 제거한 후 산화성측매로 충전된 고온( $680^{\circ}C$ )의 연소기에서 연소를 통해 수중의 유기탄소를  $CO_2$ 로 산화시켜 비분산적외선검출기(non-dispersive infrared detector, NDIR)로 분석하였다(Teledyne TEKMAR Apollo9000, USA).

#### 분석 자료의 처리

수집된 자료의 도표 처리는 SigmaPlot(ver. 12.0 for Windows)을 이용하였으며, 통계처리를 위해서는 SPSS(ver. 17.0 for Windows)를 사용하였다.

### 결과 및 고찰

#### 부산지역 하천의 TOC와 유기물지표 간 상관관계

부산지역 하천에 대한 TOC와 BOD, COD, SS 분포 및 선형회귀분석을 통한 상관관계를 분석하고

상관관계식 및 상관계수(correlation coefficient :  $r$ )를 도출하여 나타내었다(Fig. 2).

부산지역 하천의 TOC 농도 분포는 0.8 - 24.6 mg/L 범위이고 457개의 측정자료 중 385(90.0 %)개가 TOC 10 mg/L 이하로 분포하였고, BOD는 0.2 - 85.5 mg/L, COD는 0.8 - 56.0 mg/L 그리고 SS는 0.6 - 188.3 mg/L 범위로 나타났다. TOC와 기타 유기물지표와의 상관관계는  $COD(r=0.900) > BOD(r=0.588) > SS(r=0.325)$  순이었으며 SS는 BOD, COD에 비해서는 비교적 낮은 상관도를 보였다. 2008년 금강 수계에 대한 분석결과, TOC와 BOD의 상관계수는  $r=0.839$ , COD는  $r=0.921$ 이었으며<sup>14)</sup>, 영산강 수계에서도 TOC와 BOD의 상관계수  $r=0.70$ , COD와의 상관계수는  $r=0.78$ 을 나타내었고<sup>10)</sup> 2007 - 2010년 오염총량측정자료(15,321개)를 통한 통계분석결과에서도 TOC와 BOD의 상관계수가 0.83, COD와의 상관계수가 0.92를 나타내는 등<sup>9)</sup> 선행연구를 통해 TOC가 BOD, COD와 매우 높은 양(+)의 상관성이 있음을 증명하였고 그것을 토대로 부산지역 하천의 2013년도 측정 자료를 분석하여 본 결과 TOC와 COD는 매우 높은 상관도( $r=0.900$ )를 보였으나, TOC와 BOD의 상관

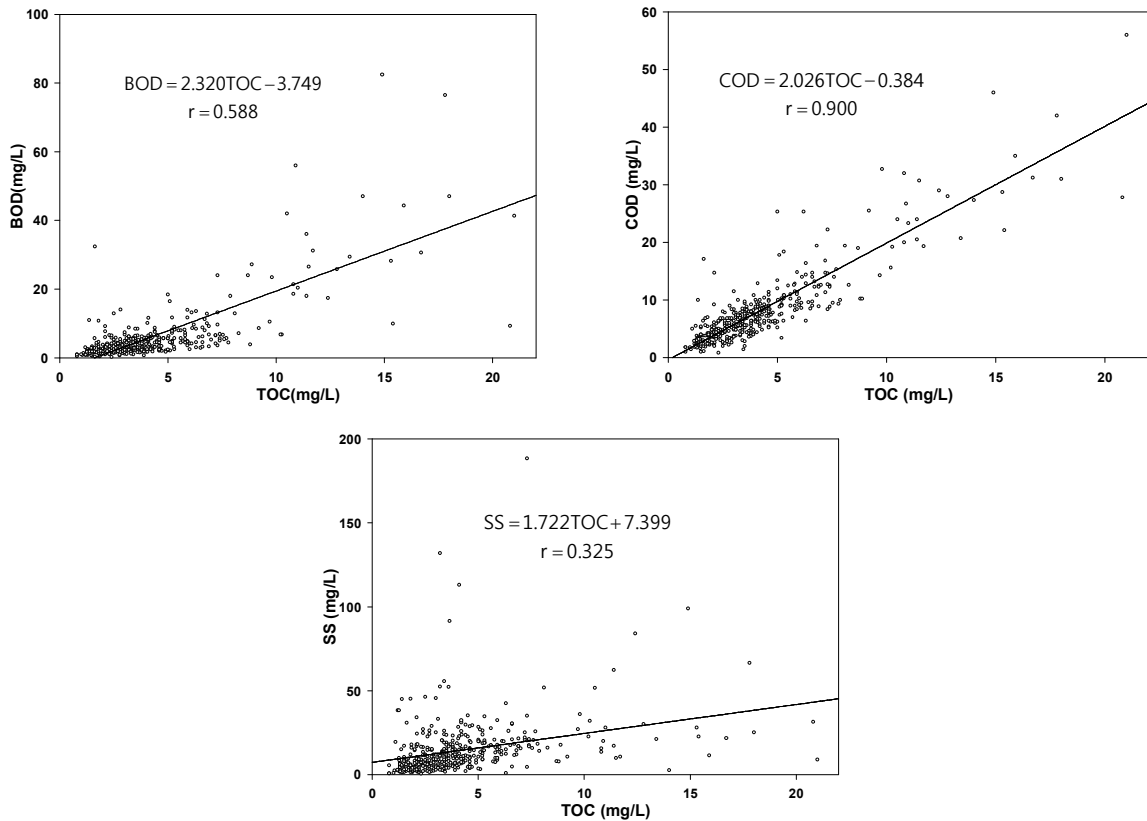


Fig. 2. Scatter plot between TOC and BOD, COD, SS concentration.

도( $r=0.588$ )는 타 지역에 비해 상대적으로 낮은 상관성을 나타내었는데 그 원인은 하천의 염분에 의한 영향으로 추정하였다.

**염분에 따른 TOC와 BOD, COD 상관관계**

부산은 동쪽과 남쪽이 바다와 접하고 있는 지리적 특성 상 해수 조석의 영향을 받는 하천의 비율이 높으며, 연구기간 동안 수질측정결과를 토대로 보면 조사 대상 33개 하천 중 20여개 하천이 해수 조석의 영향으로 염분이 달라지는 감조하천(tidal liver)의 특성을 나타내므로, 염분에 따른 TOC와 유기물 간 상관관계 변화에 대한 확인이 필요하다고 판단하였다.

부산지역 33개 하천의 염분 측정치 457개를 자료 분석한 결과 최저 0 psu에서 최고 32.6 psu까지 나타났으며 그중 67.1 %가 담수(fresh water)의 기

준인 염분 0.5 psu 미만<sup>18)</sup>을 나타내었고 나머지 32.9 %가 기수(brackish water)에 속하는 염분 0.5 - 32.6 psu를 나타내었다.

염분구간에 따른 TOC에 대한 상관관계 분석 결과 염분 0.5 psu 미만 범위에서는 TOC에 대한 BOD 및 COD 상관성은  $r=0.722, 0.810$ 으로 높게 나타났으나, 염분 0.5 psu 이상 범위에서는 TOC에 대한 COD상관성( $r=0.834$ )은 큰 변화가 없었다. 인천 연안지역, 포항 영일만, 부산 연안 등에서 연안수에서 염분 변화에 따른 TOC와 COD와의 상관계수를 0.62 - 0.66 범위로 확인한 결과<sup>19)</sup>와 종합적으로 판단할 때 염분에 따른 TOC와 COD의 상관성은 큰 변화가 없는 것으로 판단하였다. 그러나, 염분 0.5 psu이상에서는 TOC에 대한 BOD 상관성( $r=0.586$ )은 매우 감소함을 확인할 수 있었다.

따라서, 염분 0.5 psu 이상 염분 구간별 선형회

귀분석을 추가로 실시하였다. TOC와 BOD와의 상관성( $r=0.622 - 0.633$ ) 및 TOC와 COD와의 상관성( $r=0.809 - 0.852$ )이 높게 나타나는 염분 0.5 - 5, 5 - 20, 20 psu 이상 구간으로 나누어 각 회귀선을 분석하였다(Table 1, Fig. 3). 그 결과 염분 5 psu 이하와 그 이상의 그룹에서 TOC 농도에 따른 BOD 농도의 기울기의 큰 차이를 볼 수 있었는데, 이것은 BOD 분석에 영향을 미치는 종속영양세균 수와 군집구조는 염분 농도에 따라 큰 변화가 있음<sup>20)</sup>을 감안하면 염분 5 psu 이상의 하천에서는 TOC 농도에 비해 상대적으로 낮은 BOD를 나타내었다. 결론적으로, 염분 0.5 psu 이상 구간에서 TOC에 대한 BOD의 낮은 상관성은 염분 5 psu

이상 시료에서의 BOD농도의 저평가에서 기인한다고 판단하였다.

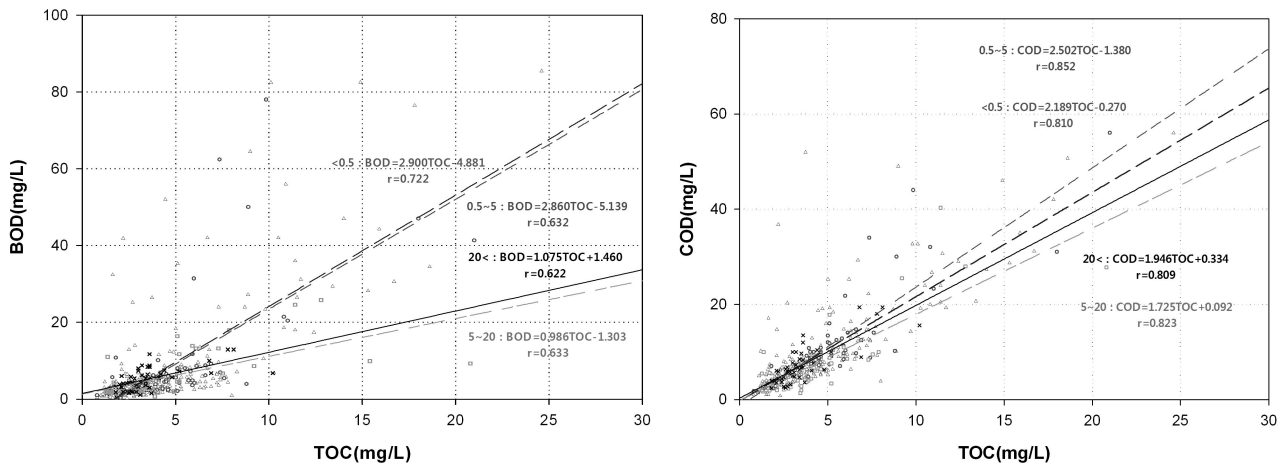
**부유물질 농도에 따른 TOC와 BOD, COD 상관관계**  
하천의 부유물질에 따른 TOC와 BOD, COD 상관성에 미치는 영향을 확인하고자 SS 농도 분포 및 선형회귀분석을 통해 SS 농도 구간에 따른 TOC와 BOD, COD 상관성을 비교하여 보았다 (Table 2, Fig. 4).

부산지역 33개 하천의 SS 수질자료 457개 중 SS 농도 10 mg/L 미만이 46.2 %( $n=211$ ), 10 - 20 mg/L이 29.8 %( $n=136$ ), 20 mg/L 초과가 24.1 % ( $n=110$ )를 나타내었으며, 수질 자료의 75.9 %( $n=$

**Table 1.** Results of regression BOD and COD to TOC by salinity

	Salinity(psu)	$y = ax + b$			
		r	a	b	n
BOD:TOC	<0.5	0.722	2.900	-4.881	307
	0.5 - 5	0.632	2.860	-5.139	53
	5 - 20	0.633	0.986	1.303	50
	20≤	0.622	1.075	1.460	47
COD:TOC	<0.5	0.810	2.189	-0.270	307
	0.5 - 5	0.852	2.502	-1.380	53
	5 - 20	0.823	1.725	0.092	50
	20≤	0.809	1.946	0.334	47

r: Correlation coefficient, n: Number of samples

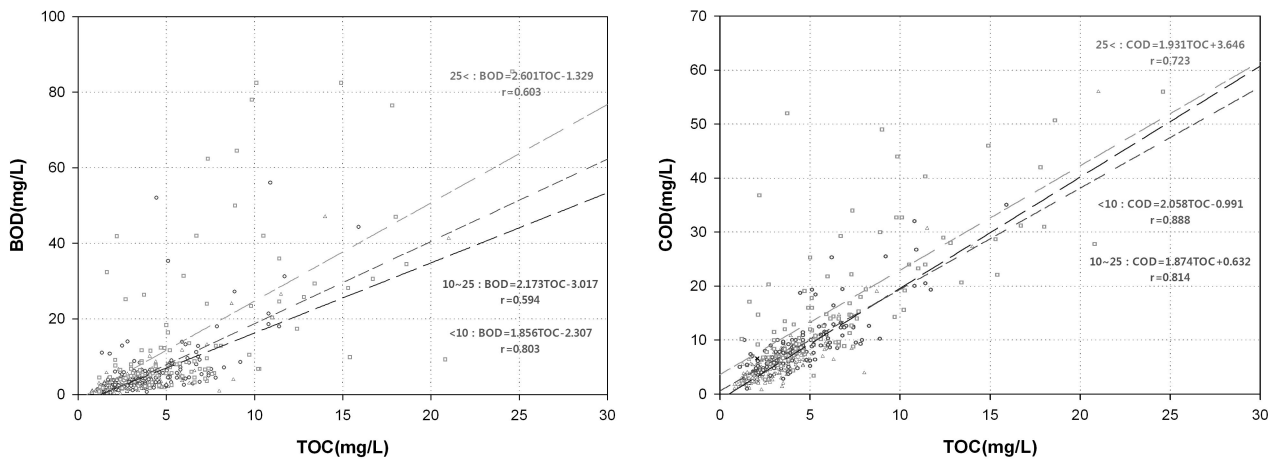


**Fig. 3.** Results of regression BOD and COD to TOC by salinity.

**Table 2.** Results of regression BOD and COD to TOC by SS

	SS(mg/L)	y = ax + b			
		r	a	b	n
BOD:TOC	<10	0.803	1.865	-2.307	211
	10 - 20	0.594	2.173	-3.017	136
	20≤	0.603	2.601	-1.329	110
COD:TOC	<10	0.888	2.058	-0.991	211
	10 - 20	0.814	1.874	0.632	136
	20≤	0.723	1.931	3.646	110

r: Correlation coefficient, n: Number of samples



**Fig. 4.** Results of regression BOD and COD to TOC by SS.

347)가 SS 20 mg/L 이하로 분포하였다.

SS 농도가 10 mg/L 이하인 시료에서 TOC에 대한 BOD 및 COD 상관성은 각각  $r=0.803$ ,  $0.888$ 로 가장 높은 상관성을 나타내었고, SS 10 - 20 mg/L 구간에서는 TOC에 대한 BOD, COD 상관성이  $r=0.594$ ,  $0.814$ 이며 SS 20 mg/L 이상에는  $r=0.603$ ,  $0.723$ 을 나타내는 등 SS 농도가 10 mg/L 이상에서는 TOC에 대한 BOD, COD 상관성이 낮아지는 경향을 나타내었다. 특히, TOC에 대한 BOD 상관성이 더욱 현저히 낮아졌다. 부유물질은 수중에 현탁되어 있는 불용해성 물질로서 콜로이드입자에서 현탁물까지 여러 가지 형태로 존재하고<sup>21)</sup>, US EPA Method 415.3에서는 무기퇴적물, 부유하는 초목, 휘발성 유기물질 등은 TOC 측정에 포함되지 않

으나 부유하는 콜로이드나 입자상, 용존유기물은 TOC 측정에 포함되는 물질이라 정의한다. 이 점을 참고하면 시료 중 입자 및 불균질한 부유물들이 TOC 측정 오차를 유발하는 것으로 판단하였다. 따라서, TOC 농도의 정확한 평가를 위해서는 하천 중 부유물질이 많거나 유기 혼탁조류가 많이 번성하는 시기에는 초음파 분쇄 등의 전처리를 통해 파쇄 균질화하여 분석하는 것이 중요하다고 판단하였다.

#### 주요 수계별 TOC와 유기물지표 간 상관관계

부산지역 주요 하천인 서낙동강 수계, 수영강 수계 그리고 동천을 중심으로 선형회귀분석을 통해 측정된 유기물 지표들 간 상관성을 분석하고 상

관계수(r)를 나타내었다(Table 3).

주요 수계의 TOC와 BOD와의 상관계수는 0.392 - 0.570이며, TOC와 COD와의 상관계수 0.682 - 0.910에 비해서는 전반적으로 낮게 분포함을 확인할 수 있었다. TOC와 SS와의 상관계수는 0.242 - 0.409 수준이었다.

수계별로는 동천이 가장 높은 상관성을 나타내었는데 TOC와 COD의 상관계수가 0.910( $p < 0.01$ )으로 가장 높은 상관관계를 나타내었고, TOC와 BOD 및 SS와의 상관관계 역시 0.570( $p < 0.01$ ), 0.409 ( $p < 0.05$ )로 나타나 TOC와 유기물과의 상관관계가 가장 높은 것으로 확인되었으며 서낙동강 수계는 상대적으로 가장 낮은 상관성을 보였다. 동천이 주요 수계중 TOC와 다른 유기물지표간의 상관성이 높은 것은 지속적인 해수 도수로 인해 수질이 비교적 안정화된 결과로 추측해 볼 수 있고, 서낙동강은 정체수역이 많은 호소형 하천으로 연중 조류에 의한 수질 변동이 잦으므로 특히 TOC와 COD와의 상관성 보다는 TOC와 BOD 및 SS와의 낮은 상관성에 영향을 미치는 것으로 판단하였다. 향후, 하천의 조류 번성이 TOC에 미치는 영향에 대해서는 구체적인 연구가 더 필요할 것으로 사료된다.

### 주요 수계별 유기물 농도 및 산화율

유기물 오염도 지표인 BOD와 COD를 나타내는 단위는  $\text{mgO}_2/\text{L}$ 이고 TOC를 나타내는 단위는  $\text{mgC}/\text{L}$ 이기 때문에 BOD/TOC ratio와 COD/

TOC ratio의 비교를 위해서는 BOD와 COD를 탄소농도로 환산하여 TOC농도에 대한 비율을 통해 유기물 산화율을 평가하였다. 연구대상 전 지점에서 BOD-C/TOC는 57.6 %, COD-C/TOC는 79.2 %로 나타나 광주지역 하천이 45.0 %와 63.0 %인 것<sup>15)</sup>에 비해서는 조금 높은 비율을 나타내었지만 낙동강 전체 수계 중 TOC에 대한 BOD와 COD의 산화율이 13 %, 18 %이고<sup>16)</sup>, 한강수계 하천과 호소에서는 15.7 %와 42.6 %로 상당부분 유기물의 총량이 과소평가되고 있고 있는 것<sup>2)</sup>에 비하면 부산지역 하천의 TOC에 대한 BOD, COD 농도는 상대적으로 높은 비율로 나타났다. TOC 지표와 BOD-C/TOC, COD-C/TOC를 함께 고려하면 수중 유기물의 양상이나 지역 하천의 특성을 판단해 볼 수 있으므로<sup>7)</sup> 서낙동강, 수영강 및 동천의 유기물 농도 및 산화율을 분석하였다(Table 4). 서낙동강 및 수영강의 BOD-C/TOC, COD-C/TOC가 각각 34.5 %, 73.1 %와 37.2 %, 67.7 %로 비슷한 수준을 나타내었으나, 동천의 BOD-C/TOC 및 COD-C/TOC 산화율 평균이 57.0 %, 73.9 %로 BOD-C/TOC의 비율이 다른 수계에 비해 높게 나타났다. 생분해성유기물의 다량 유입된 결과로 보이며 그 원인은 동천 및 복개된 각 지천의 하수 관거에서 월류되어 들어오는 생활오·하수의 유입에 의한 것으로 판단하였다. 2010년 이후 동천의 해수도수 후 수질의 안정화는 어느정도 이루어졌지만 아직도 생활오·하수가 오염의 주원인으로 확인

**Table 3.** Correlation coefficients between organic matter items to TOC of the main stream

River	Parameters	BOD	COD <sub>Mn</sub>	SS
Seonakdong river system	TOC	0.392*	0.757**	0.242*
Sooyoung river system	TOC	0.476**	0.682**	0.338**
Dong stream	TOC	0.570**	0.910**	0.409*

\*Correlation is significant at the 0.05 level

\*\*Correlation is significant at the 0.01 level

**Table 4.** Distribution of organic concentration in the main streams of Busan

River	Month	BOD (mgO <sup>2</sup> /L)	COD (mgO <sup>2</sup> /L)	TOC (mgO <sup>2</sup> /L)	BOD-C/TOC (%)	COD-C/TOC (%)
Seonakdong River	Jan.	3.7	7.2	4.9	28.8	55.7
	Feb.	4.3	8.3	3.8	43.2	82.7
	Mar.	4.6	8.3	4.0	42.6	77.5
	Apr.	5.2	7.7	4.2	46.6	68.8
	May.	5.2	8.6	3.6	54.2	89.6
	Jun.	3.2	8.0	4.6	26.0	64.7
	Jul.	4.2	11.2	6.6	24.1	63.5
	Aug.	4.4	12.7	6.6	25.1	72.2
	Sep.	3.0	9.6	4.6	24.9	79.1
	Oct.	3.5	8.3	4.2	31.0	74.2
	Nov.	2.7	6.3	3.1	33.1	75.8
	Avg.	<b>4.0</b>	<b>8.8</b>	4.6	34.5	73.1
Sooyoung River	Jan.	2.4	3.3	2.9	30.3	43.1
	Feb.	2.7	4.5	2.5	41.0	67.7
	Mar.	2.8	5.0	2.4	44.0	79.2
	Apr.	2.9	4.3	2.7	40.3	59.9
	May.	2.5	4.9	2.3	41.5	79.7
	Jun.	2.7	5.1	2.3	45.0	83.7
	Jul.	3.0	4.8	2.4	47.0	75.0
	Aug.	2.7	6.0	4.6	22.0	49.0
	Sep.	2.6	5.6	4.1	23.8	51.5
	Oct.	2.5	4.8	2.3	42.3	79.8
	Nov.	2.3	5.5	2.7	32.1	76.4
	Avg.	2.7	4.9	2.8	37.2	67.7
Dong Stream	Jan.	5.7	6.3	3.3	65.6	71.9
	Feb.	4.8	9.0	3.7	48.1	90.4
	Mar.	7.6	9.3	4.7	60.6	73.8
	Apr.	5.0	6.0	3.1	61.0	72.9
	May.	6.3	6.4	3.0	78.1	79.4
	Jun.	5.0	6.3	4.6	41.2	51.5
	Jul.	6.8	17.8	12.4	20.5	53.9
	Aug.	6.2	8.0	4.1	56.1	72.3
	Sep.	6.7	9.6	3.8	65.6	94.5
	Oct.	7.3	8.6	4.3	63.9	74.8
	Nov.	4.3	5.0	2.4	66.5	76.9
	Avg.	6.0	8.4	4.5	57.0	73.9

\*Avg.: average

됨에 따라 주변 하수관거정비가 더 보완되어야 할 사항으로 판단하였다.

월별 산화율 특징을 보면 서낙동강은 6 - 9월까지, 수영강은 8, 9월에 COD는 증가하고 BOD-C/TOC ratio가 감소한 것을 들 수 있다. 이것은 유기물오염도 증가와 더불어 하절기 강우에 의한 난분

해성유기물 비율이 증가한 것으로 추정한다. TOC에 대한 COD-C의 평균 산화율은 서낙동강이 73.1%, 수영강이 67.7%, 동천이 73.9%로 확인되어, 총유기물에 대한 COD<sub>Mn</sub>의 산화율이 65%, TOC 농도는 96% 정도임<sup>10)</sup>을 감안하면 대체적으로 예상되는 산화율을 보이는 것으로 확인되었다.



## 결 론

부산시 주요 수계인 서낙동강 및 수영강 수계, 동천 등을 포함하는 부산시 33개 하천에 대해 TOC 항목을 중심으로 분포 특성을 탐구하고 TOC와 기타 유기물 오염지표와의 상관관계를 분석하여 검증해보고 부산지역 하천특성에 따른 수질지표 적용성에 대해서 연구하였다.

1. 부산지역 하천의 TOC와 유기물지표 간 상관관계는  $COD(r=0.900) > BOD(r=0.588) > SS(r=0.325)$  순이었으며 TOC와 COD는 매우 높은 상관도를 보였으나, TOC와 BOD의 상관도는 타 지역에 비해 상대적으로 낮게 나타났으며 이는 감소하천의 염분에 의한 영향으로 추정하였다.
2. 염분 구간별 상관성 분석 결과 염분 0.5 psu를 기준으로 TOC에 대한 COD 상관성의 변화는 없었지만 TOC에 대한 BOD 상관성은 0.5 psu 이하에서는 상관성( $r=0.722$ )이 높았으나 0.5 psu 이상에서는 상관성( $r=0.586$ )이 현저히 감소함을 확인할 수 있었고, 염분구간별 회귀선 분석 결과 염분 5 psu 이상의 하천에서는 상대적으로 낮은 BOD를 나타내기 때문인 것으로 유추할 수 있다.
3. 부유물질 농도에 따른 TOC에 대한 BOD 및 COD의 상관성은 SS 농도가 10 mg/L 이하일 때 가장 높게 나타났으며, SS 10 mg/L 이상 농도에서는 상관성이 낮아짐을 확인할 수 있었다. 하천에 부유물질 및 조류 등이 증가하는 시기에는 초음파 분쇄 등의 전처리를 통해 시료를 파쇄 균질화하여 TOC 측정 오차를 줄이는 노력이 필요한 것으로 판단하였다.
4. 주요 수계 중 TOC와 유기물지표 간 상관관계 분석 결과 동천이 가장 높은 상관성을 나타내었

고, 서낙동강 수계가 가장 낮은 상관성을 보였다. 동천은 해수도수로 인해 수질이 비교적 안정화되어 있는 반면, 서낙동강은 연중 조류에 의한 수질 변동이 잦은 원인으로 판단하였다.

5. 주요 수계의 유기물 농도 및 TOC에 대한 BOD 및 COD의 평균 산화율 분석 결과 서낙동강 수계가 34.5 %와 73.1 %였으며 수영강 수계는 37.2 %와 67.7 %로 비슷한 수준을 나타내었다. 동천은 TOC에 대한 BOD 및 COD의 평균 산화율이 57.0 %와 73.8 %로 TOC에 대한 BOD의 비율이 상대적으로 높게 나타났는데, 주변 생활오·하수가 여전히 오염의 주원인인 것으로 확인되었다. 월별 산화율 분포에서 서낙동강이 6 - 9월, 수영강은 8 - 9월에 유기물오염도 증가와 난분해성유기물 비율이 증가하는 것으로 확인되었다.

따라서, 본 연구는 2016년부터 COD항목을 대체하는 TOC 항목의 검증, 재현성 있는 분석 및 수질 해석을 위해서 염분 및 부유물질 등에 의한 TOC 오차 요인에 대한 자료를 제공하고, 염분 구간에 따른 TOC와 유기물지표와의 상관성을 분석하여 감소하천에 대한 TOC와 유기물지표와의 관계 해석 및 하천의 유기물오염도 특성 분석에 기초자료로 활용할 수 있을 것으로 판단한다.

## 참고문헌

1. 김범철, 정성민, 장창원, 김재구, “호수와 하천에서 유기물 오염도의 지표로서 BOD, COD와 TOC의 비교 및 분해율 산정”, 대한환경공학회지, 29(6), 640 - 643(2007)
2. 김재구, 신명선, 장창원, 정성민, 김범철, “한강 수계 주요 하천과 호수내 TOC와 DOC분포 및 BOD와 COD의 산화율 비교”, 한국물환경

- 학회지, 23(1), 72 - 80(2007)
3. 유순주, 황종연, 윤영삼, 천세억, 한의정, “하천·호소의 유기물 지표 평가”, 환경영향평가, 8(1), 81 - 92(1999)
  4. Sawyer, C. N., McCarty, P. L. and Parkin, G. F., “Chemistry for Environmental Engineering and Science”, 5th ed. McGraw-Hill, New York(2003)
  5. 류동경, 배상득, 장재용, 박제철, 류재근, “낙동강수계 수질오염총량관리 대상물질에 관한 연구-TOC 유기물 중심으로-”, 한국물환경학회·대한상하수도학회 2006년 공동추계학술발표회 논문집, 1181 - 1188(2006)
  6. 류덕희, 권오상, 박상미, 임연택, 홍성민, 안우정, 김동임, 황동진, 윤영삼, 유순주, 황종연, 김용석, “유기오염물질 지표전환에 관한 연구”, 국립환경연구원보, 297 - 306(2002)
  7. 선혜진, 이두곤, “유역특성을 반영하는 수질 지표로서의 TOC”, 한국물환경학회·대한상수도학회 공동추계학술발표회 논문집, 219 - 220 (2009)
  8. 이석기, 권영진, 황석만, 김재령, 전기석, “수질 자동측정 시스템에서 온라인 TOC 모니터링에 관한 연구”, 한국환경분석학회지, 9(4), 235 - 242(2006)
  9. 최지용, 한대호, “유기물 수질지표로서 TOC 환경기준 설정에 관한 연구”. 서울도시연구 12(3), 173 - 184(2011)
  10. 박혜영, 이중기, 하훈, 이호범, 김양기, 박찬오, 박송인, “TOC를 이용한 유기물질의 상관성 연구”, 대한환경공학회 2006, 추계학술연구발표회 논문집, 834 - 842(2006)
  11. 권동민 등, “다변량분석법을 이용한 수영강수계의 수질특성평가”, 부산광역시보건환경연구원보, 18(1), 98 - 107(2008)
  12. 최종욱, 강성원, 윤나나, 박정욱, 서윤하, 권기원, “도수 후 동천의 수질환경개선효과 연구”, 부산광역시보건환경연구원보, 17(1), 122 - 130(2007)
  13. 최종욱, 유숙진, 김주인, 손정원, 권기원, 유평중, “도수 후 동천의 수질환경개선효과 연구”, 부산광역시보건환경연구원보, 20(1), 122 - 130 (2010)
  14. 지주연, 태은아, 최지영, 김상욱, 전태완, 금강수계 TOC와 BOD 및 COD의 상관관계 비교 대한상하수도학회·한국물환경학회 2010공동추계학술발표회 논문요약집, 557 - 5582.(2010)
  15. 서희정, 강영주, 민경우, 이경석, 서광엽, 김승호, 백계진, 김성준, “하천수와 하수처리장 방류수의 유기물 분포 및 분해 특성”, *Analytical science & Technology*, 23(1), 36 - 44(2010)
  16. 윤영삼, 유재정, 이철구, 김문수, 신찬기, “시기별 낙동강 본류의 용존유기물 분해특성”, 대한상수도학회·한국물환경학회 공동 추계학술대회 논문집, 784 - 790(2006)
  17. 이시진, 윤세의, 박석순, “수질모형과 관리”, 99 - 100, 동화기술, 서울(1995)
  18. 손주원, 박용철, 이효진, “한국 연안수에서 총유기탄소 및 화학적 산소요구량 분포 특성”, *J. Kor. Soc. of Oceanography*, 8(3), 317 - 326 (2003)
  19. 서미애, 홍선희, 김동주, 박경미, 안태석, 하수처리 과정에서 염분이 세균 군집에 미치는 영향. 한국미생물학회지, 37(2), 124 - 129(2001)
  20. 심인근, 전태완, 태은아, 김태승, “부유물질양에 따른 총유기탄소와 BOD, COD 관계에 대한 연구”. 대한상하수도학회·한국물환경학회 2010 공동 추계학술발표회 논문요약집, 621 - 622 (2010)