

유기물 수질지표로서 TOC 환경기준 설정에 관한 연구*

최지용** · 한대호***

Development of Water Quality Standard for TOC as Organic Matter Index*

Ji-Yong Choi** · Dae-Ho Han***

요약 : 공공수역에서의 생분해성 유기물질은 감소하고 있는 반면 난분해성 유기물질은 증가하고 있다. 처리 및 분석 기술의 발전과 복잡다양해지는 유기물질의 특성을 정확하게 반영하고 물리·화학적인 지표에 한정된 의미를 가지지 않고 사람이나 생태계에 미치는 영향을 충분히 고려할 수 있는 새로운 유기물질 지표가 설정되어야 한다. 새로운 유기물질 지표는 수중 오염물질의 생물독성, 난분해성 등에 관계없이 유기물질의 측정이 가능한 직접적인 유기물질 지표로서 역할을 할 수 있고 신속하고 정확하게 오염원에 대한 통제와 방지시설 운영관리를 할 수 있는 지표여야 한다. 이런 측면에서 TOC는 새로운 유기물 지표로 기존의 BOD를 대체할 수 있는 지표이다. TOC 기준은 TOC가 측정되고 있는 수질오염총량자료(2007~2010)를 기본으로 하여 기준설정 세부과정을 마련하고 상관성을 고려하여 현행 BOD, COD 동일 등급 기준값을 기준으로 하여 퍼센타일(백분위 수)을 근거로 하천의 TOC 기준안을 제시하였다. 설정된 기준안의 경우 외국의 TOC 기준, 달성률 평가 등을 통해 기준안의 적정성을 검토하여 제시하였다.

주제어 : 유기물질, 총유기탄소, 수질환경기준, 수질지표

ABSTRACT : It is necessary to set new directions for organic matters management with a water quality index that can accurately reflect the development of treatment and analysis techniques. Also, the characteristics of organic matters that are becoming more complex and diverse, that are not limited to physical and chemical indicators, and that can sufficiently consider the effects on people and ecosystem. Thus, the new organic matter index must play the role of direct indicator of organic matters that can measure organic matters regardless of the biological toxicity and non-biodegradability, and that enable accurate control indicator of organic matter management. This paper presents the water quality standard of TOC as a new organic matter index considering the problems of BOD-based policies. The detailed standard setting process has been prepared on the basis of the total maximum daily load data(2007~2010) that include TOC measurements. Furthermore, the TOC standards(draft) for river have been prepared on the basis of percentile data based on the standard values for the same classes of current BOD and COD. The final draft of the standards has been presented after considering the appropriateness of the draft through the TOC standards in other countries and the evaluation of achievement rates.

Key Words : organic matters, total organic carbon, water quality standard, water quality index

* 본 연구는 한국환경정책평가연구원 연구과제(과제번호 2010-066)로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

** 한국환경정책평가연구원 전략연구본부 선임연구위원(Chief Researcher, Korea Environment Institute), 교신저자(E-mail: jychoi@kei.re.kr, Tel: 02-380-7617)

*** 한국환경정책평가연구원 전략연구본부 전문연구위원(Researcher, Korea Environment Institute)

I. 서론

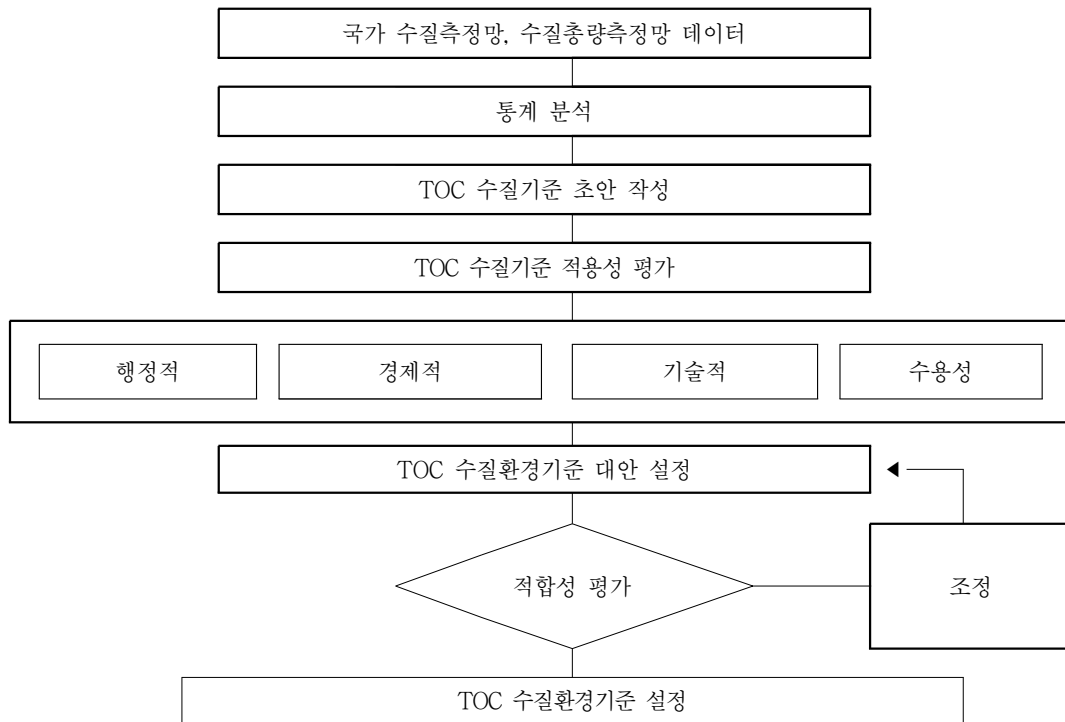
기존의 유기물질 관리는 생물학적으로 분해 가능한 유기물질에 의해서 발생하는 영향을 최소화하는 측면에 중점을 두고 이루어져왔으며 이를 행정목표로 지정하여 공공수역을 관리해왔다. 그러나 지금까지의 유기물질 실태조사(한강수계관리위원회, 2007, 2008, 2009, 2010)와 연구결과(환경부, 2008; 김재구 외, 2007; 이재관 외, 2006; Visco et al., 2005; Martin, 1994; Kullberg et al., 1993; Reckhow and Singer, 1990)를 살펴보면 처리 및 분석 기술의 발전과 복잡다양해지는 유기물질의 특성을 정확하게 반영하고 물리·화학적인 지표에 한정된 의미를 가지지 않고 사람이나 생태계에 미치는 영향까지 고려할 수 있는 새로운 유기물질 관리지표의 필요성이 제기되고 있다. 새로운 유기물질 지표는 수중 오염물질의 생물독성, 난분해성 등에 관계없이 유기물질의 측정이 가능하고 동시에 오염원에 대한 정확한 통제와 방지시설 운영관리가 가능한 지표이어야 한다. 그리고, 공공수역내 유기물질 관리는 궁극적으로 더 정확하고 신속하게 유기물질량 산정이 가능하도록 하여 물의 용도목적별 이용의 안정성을 지속적으로 확보하고 오염원의 신속한 제어 및 대응을 통해 인간의 건강보호 및 생활환경개선, 생태계의 건강성 및 서식지의 확보와 청정한 물환경을 조성할 수 있도록 하는 방향으로 관리목적을 새롭게 정립하여야 한다. 이런 지표로서의 역할을 수행하기 위해서 적절성과 타당성을 검토해본 결과 TOC 항목이 현행 제시된 유기물질 지표로서 가치를 가진다고 할 수 있다(환경부, 2008). 따라서, 본 연구에서는 공공수역 난분해성 유기물질의 관리 기반을 구축하고 변화된 물환경 여건을 고려한 유기물

관리지표로서 TOC 기준을 설정하고자 한다.

II. 연구방법

기준을 설정하는 방법으로는 크게 위해성 또는 독성을 근거로 한 준거치 설정방법과 과거 측정 자료를 토대로 현행 설정기준과의 비교를 통해 설정하는 방법이 가장 보편적으로 사용되고 있다. 유기물질 기준의 설정은 실제적으로 사람이나 수생태계에 급성 또는 만성적인 독성을 주기보다는 오염에 의한 2차적인 영향을 평가하는 수단이다. 따라서 기존 유기물질 기준에 근거하여 현행 수계 측정결과와의 통계적 분석을 통한 상호 비교를 통해 기준안을 설정하는 것이 바람직하다. 특히, 비교를 통한 방법은 측정 자료가 한정되어 있는 상황이고 TOC가 미치는 영향이 명확하게 규명되지 않은 상태에서 기준안을 만드는 가장 최선의 방법일 수밖에 없다. TOC를 유기물질 지표로 설정하기 위한 첫 번째 작업은 TOC에 대한 모니터링을 수행하고 TOC의 발생 원인과 그에 따른 영향을 살펴보는 것이다. 이런 사전 작업들은 기초자료의 부족으로 충분한 검토가 이루어질 수 없었던 한계는 있었으나 현행 측정되어 구축된 자료를 바탕으로 TOC에 대한 기준(안)을 마련코자 한다.

기준안 설정을 위한 자료는 전국 하천에서 TOC가 측정되고 있는 수질오염총량자료로 2007.1~2010.12까지 148개 지점에서 측정된 TOC 값을 이용하였으며 2008~2010년까지 측정된 하천 주요지점, 대표지점 자료는 달성률을 평가하는데 이용하였다. 기준안 설정 방법은 <그림 1>과 같은 단계로 나뉘어 진행된다. 1단계는 측정된 TOC 자료를 모두 수집하고 이를 지역, 분석방법, 시기별로 정리하여 데이터가 누락되거나 잘못 입

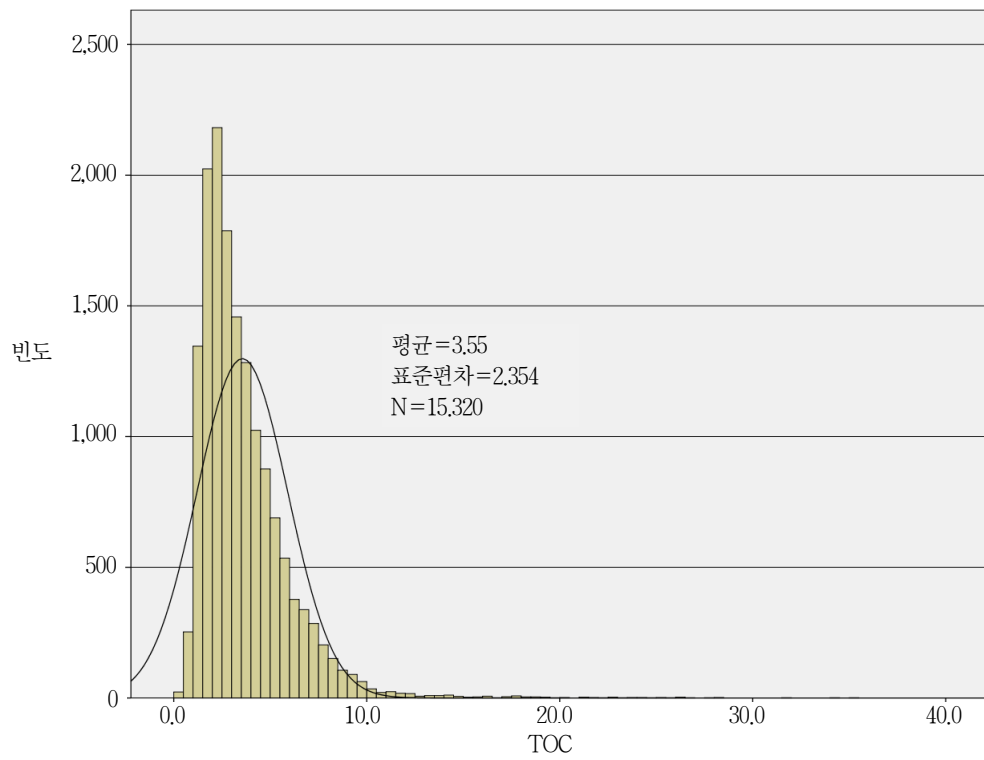


〈그림 1〉 TOC 수질환경기준 설정과정

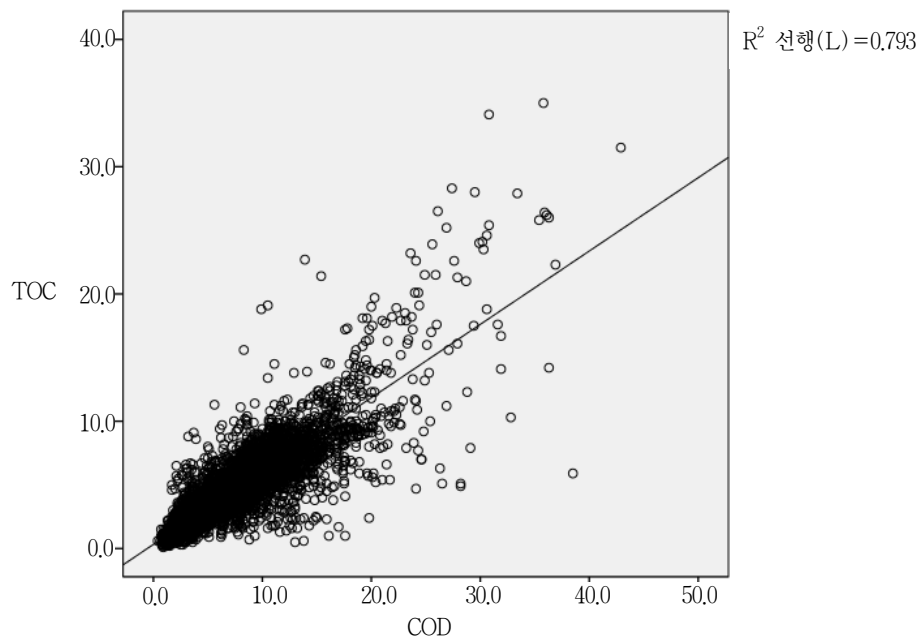
력되었는지를 살펴보고 자료의 신뢰성을 높이기 위한 작업을 수행한다. 2단계는 이렇게 수정, 보완된 자료의 특성을 통계적인 방법(Helsel et al., 2006)을 사용하여 분포특성, 자료의 경향 등을 살펴보고 기존 수질항목과의 상관성과 동일등급 값 내에 포함된 TOC 자료들의 분포를 살펴본다. 특히, 분포특성을 구분할 때 퍼센타일(백분위수)을 이용하는데 이는 최소, 최대, 평균 중심의 기존 평가방법이 아닌 전체자료에 대한 분포를 살펴보고 적정성을 판단하는 데 도움을 준다. 2단계는 각 수질등급과 일치하는 값들을 모아 비교하는 과정이며 이렇게 비교를 통해 최적의 기준범위를 잡아 설정하고 마지막으로 3단계는 구분된 범위 값들 중에서 현행 수준으로 가장 적정

한 수준의 기준값을 설정하고 이에 따른 현행 측정 자료의 목표달성도 여부, 외국의 기준 비교, 전문가 의견수렴을 거쳐서 최적의 기준값을 설정하는 방법으로 수행하였다. TOC 기준값 선정 절차는 〈그림 1〉과 같다.

하천의 경우 TOC가 측정된 2007~2010년의 총량 측정자료 15,321개를 통계분석 하였다. 통계프로그램은 SPSS를 사용하였다. TOC 측정치는 〈그림 2〉와 같이 왼쪽에 많이 치우쳐 분포하는 비정규분포를 따르고 있는 것으로 나타났다. 또한 TOC와 상관성 분석 결과와 같이 상관계수가 BOD 0.83, COD 0.92로 상관성이 매우 높은 것으로 나타났으며 특히 TOC와 COD의 상관성 그래프는 〈그림 3〉과 같다.



〈그림 2〉 하천의 TOC 자료의 분포도



〈그림 3〉 하천의 TOC와 COD의 상관성

〈표 1〉 하천 측정값 전체 백분위 수 분포

항목	100퍼센타일 (최소)	95퍼센타일	90퍼센타일	85퍼센타일	80퍼센타일	75퍼센타일	70퍼센타일	median	average
BOD	0.1	0.4	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.6	2.5
COD	0.4	2.0	2.4	2.7	2.9	3.1	3.4	4.6	5.6
TOC	0.1	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.1	3.0	3.6

분석은 퍼센타일을 이용하여 비교 분석하였다. 수질기준설정에서의 퍼센타일은 낮은 농도에서 높은 농도로 분석이 되기 때문에 일반통계분석과 반대의 결과가 나타난다. 따라서, 기존 10퍼센타일은 낮은 농도를 기준으로 했을 때 낮은 농도쪽으로 90퍼센타일을 의미하는 것으로 전환하여 표기하였다. 즉, 통계값에서 25퍼센타일을 낮은 값 기준(왼쪽)으로 했을 경우 낮은 값 쪽에서 75퍼센타일에 위치하고 있음을 의미한다. 퍼센타일은 전반적인 수질을 나타낼 수 있을 뿐 아니라 다양한 측정값을 갖는 오염지표 요소의 농도값을 조합할 수 있어 하천수질의 큰 변동에도 반응할 수 있다는 장점이 있다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 유기물질 분포 분석

1) 전체 값 백분위 수

전체 백분위 수 분석 결과 BOD 1mg/L일 경우에는 70퍼센타일 수준이며 이때 COD는 3.4mg/L, TOC는 2.1mg/L의 값을 가지는 것으로 나타났다. 적정수준의 기준값 설정 시 국가별 관리목적 및 여건에 따라 환경기준 및 체계가 상이하나, 미국 (US EPA, 1997; US EPA Office of Water,

2009)과 일본¹⁾의 경우 유기물질 달성 평가 시 75% 이상 만족하면 달성으로 평가를 하고 있어 비록 외국의 적정수준 퍼센타일과는 차이가 있으나 TOC에 대한 국내하천에서의 측정자료가 빈약하고 연구 초기인 점을 고려해 70~75퍼센타일 이하를 기준으로 잡는 것이 바람직해 보인다.

2) 등급별 백분위 수

수계별 측정값을 비교해본 결과 TOC 평균값은 한강 3.6mg/L, 낙동강 3.3mg/L, 금강 3.8mg/L, 영산·섬진강 3.6mg/L로 나타나 금강이 가장 높은 평균값을 가지고 있는 것으로 나타났으며 70퍼센타일을 고려할 때는 영산·섬진강, 금강, 낙동강, 한강 순으로 나타났다. TOC 기준은 전국하천에 적용하는 기준이 동일하기 때문에 4대강의 전체 데이터를 바탕으로 등급별 백분위 수를 산정하였다. 기준을 설정하는 데 있어서 기존의 등급수준과 비교하여 적정수준을 찾는 과정이 매우 중요하며 또한 등급 내의 자료 분포를 확인하고 퍼센타일을 선정하는 방법은 기준을 설정하는 데 가장 적절하며 실제 영국, 독일 등에서 쓰이고 있다. BOD, COD 수질등급별 TOC의 퍼센타일 분포값은 〈표 2〉와 같다.

1) 일본의 경우, 구체적인 기준설정에 대한 보고서가 없어 일본 환경청 담당과장에게 서면 질의한 결과 “年間の日間平均値の全測定データを小さいものから順に並べ、 $n \times 0.75$ 番目(n は日間平均値のデータ数)”라고 회신해와 75% 수준임을 확인할 수 있었다.

〈표 2〉 하천 등급별 TOC 측정값의 퍼센타일 값(mg/L)

구분	100 퍼센타일	95 퍼센타일	90 퍼센타일	85 퍼센타일	80 퍼센타일	75 퍼센타일	70 퍼센타일	65 퍼센타일	60 퍼센타일	중앙값	평균
BOD Ia	0.1	0.9	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.6	1.8	1.9
BOD Ib	0.5	1.6	1.8	2.0	2.1	2.2	2.4	2.5	2.6	2.8	3.0
BOD II	1.0	2.4	2.7	2.8	3.0	3.2	3.3	3.5	3.6	3.5	5.9
BOD III	0.5	3.0	3.3	3.5	3.8	4.0	4.1	4.3	4.5	4.8	5.0
BOD IV	0.6	3.7	4.2	4.6	4.9	5.2	5.4	5.7	5.9	6.3	6.5
BOD V	2.4	4.9	5.7	6.2	6.3	6.5	6.6	6.8	7.1	7.5	7.7
BOD VI	1.0	5.6	6.3	7.0	7.4	7.7	8.1	8.7	9.1	10.3	12.1
COD Ia	0.1	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.0	1.0	1.1	1.1	1.2
COD Ib	0.3	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.8	2.0	2.0
COD II	0.9	2.0	2.2	2.4	2.5	2.6	2.7	2.7	2.8	2.9	3.0
COD III	0.9	2.7	3.0	3.1	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8	3.9
COD IV	0.7	3.4	3.8	4.0	4.2	4.4	4.5	4.7	4.8	5.0	5.1
COD V	1.0	4.1	4.7	5.0	5.2	5.4	5.6	5.8	6.0	6.2	6.2
COD VI	0.5	4.5	5.5	5.9	6.2	6.6	6.8	7.1	7.3	7.8	8.6

3) 기준범위 설정 및 1차안 도출

BOD, COD 등급별 분포도를 근거로 기준관리 수준을 60~65퍼센타일을 근거로 기준을 설정하였는데 이는 TOC 측정 자료에 대한 충분한 데이터가 부족하고 기준 설정이 처음이기 때문에 안전율을 10% 정도 고려하여 통상 70~75퍼센타일보다 한 단계 아래인 60~66퍼센타일 범위를 설정하였다. 이렇게 설정된 기준(안)의 범위는 〈표 3〉과 같다.

2. 기준안 검토 및 결정

1) 하천 1차 기준(안) 검토

현행 보통(III) 등급까지 생활용수로 사용할 수가 있어서 이에 따른 소독부산물 생성이 안 되는 수준의 농도(일본 및 대만 2~3mg C/L, 캐나다 4mg C/L, 남아공 0~5mg C/L, 미국 0~8mg C/L)를 고려하였다(日本 厚生省, 2003; BC Environment, 1995; Department of Water Affairs

〈표 3〉 하천 TOC 범위 및 1차 기준(안)

등급		기준값(mg/L)			
		현행 하천기준		기준안 범위	1차 기준(안)
		BOD	COD	TOC	TOC
매우 좋음	Ia	1 이하	2 이하	1.0~1.6	1.5
좋음	Ib	2 이하	4 이하	1.8~2.6	2.5
약간 좋음	II	3 이하	5 이하	2.7~3.6	3.5
보통	III	5 이하	7 이하	3.6~4.5	4.5
약간 나쁨	IV	8 이하	9 이하	4.7~5.9	5.5
나쁨	V	10 이하	11 이하	5.8~7.1	8.1 이하
매우 나쁨	VI	10 초과	11 초과	7.1~9.1	8.1 초과

〈표 4〉 각국의 유기물질 지표 및 관련 제도 현황

독일*			스위스**			
수질 등급	BOD (mg/L O ₂)	TOC1) (mg/L C)	수질 등급	BOD (mg/L O ₂)	DOC (mg/L C)	TOC (mg/L C)
I	1	≤2	매우 좋음	2	2	<2.5
I-II	1~2	≤3	좋음	2~4	2~4	2.5~5.0
II	2~6	≤5	보통	4~6	4~6	5.0~7.5
II-III	5~10	≤10	약간 나쁨	6~8	6~8	7.5~10.0
III	7~13	≤20	나쁨	8 초과	8 초과	10.0 초과
III-IV	10~20	≤40				
IV	20 초과	>40				

* Umwelt Bundes Amt, 2001

** Bundesamt für Umwelt(BAFU), 2010

and Forestry, 1996; Ministry of Ecology and Sustainable Development, 2006; Ontario, 2006; U.S. EPA, 2003; Chang et al., 2005). 단, 너무 낮은 농도일 경우 달성률이 낮아질 수가 있기에 이를 수정할 필요가 있다고 판단되었다. TOC 기준이 마련된 독일(독일의 경우 수생태계를 고려하여 TOC 기준 값이 매우 완화됨)과 스위스와 비교할 때 상대적으로 우리나라의 TOC 값이 더 강화된 것으로 나타났다.

〈표 5〉와 같이 114개 중권역에 설정된 목표등급을 기준으로 대표지점 및 주요지점의 TOC 값을 근거로 목표수질 달성률을 평가하였다. TOC의 경우, 난분해성물질의 농도를 나타내지만 현재까지는 처리기술에 대한 기반이 마련되어 있지 않아서 급속한 달성률의 증가가 이루어질 수 없다는 점과 기존의 TOC와 BOD가 매우 상관성이 높기 때문에 적어도 BOD 달성률 정도의 수준을 맞추는 것을 기본으로 설정하였다.

〈표 5〉 114개 중권역에 대한 목표등급 현황

목표 등급	한강	낙동강	금강	영산·섬진강	계
Ia	13	9	7	7	36
Ib	8	15	4	19	46
II	2	5	5	3	15
III	4	3	5	2	14
IV	1	1	1	0	3
계	28	33	22	31	114

1차 기준안에 따라 2008~2010년까지 측정된 114개 중권역(6,863개)의 기준에 대한 달성률 평가 결과 〈표 8〉과 같이 2009년 35.1%, 2010년 47.2%(TOC가 측정된 지점은 106개 지점임)로 너무 낮게 나타나 수정이 필요하였다(BOD 달성률은 2009년 64.9%, 2010년 80.7%임).

2) 하천 2, 3차 기준(안) 검토

2차 기준안에 따라 측정된 114개 중권역(6,863개)의 기준에 대한 달성률 평가 결과 〈표 8〉과 같

〈표 6〉 하천 BOD 및 COD 수질환경기준 달성을 평가

구분	BOD						COD					
	달성개수		총개수		달성률(%)		달성개수		총개수		달성률(%)	
	2009	2010	2009	2010	2009	2010	2009	2010	2009	2010	2009	2010
한강	20	25	28	28	71.4	89.3	7	11	28	28	25.0	39.3
낙동강	24	28	33	33	72.7	84.8	12	7	33	33	36.4	21.2
금강	16	18	22	22	72.7	81.8	2	3	22	22	9.1	13.6
영산강	14	21	31	31	45.2	67.7	8	9	31	31	25.8	29.0
총계	74	92	114	114	64.9	80.7	29	30	114	114	25.4	26.3

이 2009년 50.0%, 2010년 64.2%로 다소 낮아 기준으로는 적정하지 않은 것으로 나타났다.

3차 기준안에 따라 2009년 측정된 114개 중권역(6,863개)의 기준에 대한 달성률 평가 결과 〈표 8〉과 같이 달성률이 60.5%로 나와 BOD 달성률인 64.9%와 동일하게 60%대로 나타나 적정한 수준으로 판단되었다.

한편 TOC의 경우, 2010년 69.8%로 BOD의 80.7%와 달성률에 큰 차이를 보이고 있으나 생분해성물질에 비해 난분해성물질의 제거가 크지 않기 때문에 전년 대비 9.3%의 증가는 적정한 수준으로 판단된다. COD의 달성률의 경우 2009

년 25.4%에서 2010년 26.3%로 3.5% 증가에 그치고 있다.

달성률 이외에 2010년 좋은물 달성률((Ia+Ib+II 등급 달성지점 수)/114 중권역)에 대한 평가를 3(안)에 적용하여 보면 〈표 9〉와 같이 BOD 85.1%, COD 59.6%, TOC 80.2%²⁾ 달성을 보임으로써 80% 수준 달성률을 나타내는 것을 알 수가 있다. 따라서 TOC 수질기준 설정 시 3안 수준으로 할 경우 수질기준 달성률 등의 측면에서 적정하리라 본다.

〈표 7〉 하천 2, 3차 기준(안)

등 급		2차(안)	3차(안)	현 하천수질환경기준	
		TOC	TOC	BOD	COD
매우 좋음	Ia	1.8 이하	2 이하	1 이하	2 이하
좋음	Ib	2.8 이하	3 이하	2 이하	4 이하
약간 좋음	II	3.8 이하	4 이하	3 이하	5 이하
보통	III	4.8 이하	5 이하	5 이하	7 이하
약간 나쁨	IV	6.8 이하	7 이하	8 이하	9 이하
나쁨	V	9.0 이하	9.0 이하	10 이하	11 이하
매우 나쁨	VI	9.0 초과	9.0 초과	10 초과	11 초과

2) 2010년 TOC 측정자료 중 8개 지점에 대한 측정값이 없어 전체 비교 대상지점이 114개가 아닌 106개 지점이다.

〈표 8〉 하천 TOC 수질환경기준 1, 2, 3(안)에 따른 달성률 평가

구분	TOC 1안						TOC 2안						TOC 3안					
	달성개수		총개수		달성률(%)		달성개수		총개수		달성률(%)		달성개수		총개수		달성률(%)	
	'09	'10	'09	'10	'09	'10	'09	'10	'09	'10	'09	'10	'09	'10	'09	'10	'09	'10
한강	9	15	28	28	32.1	53.6	13	24	28	28	46.4	85.7	16	25	28	28	57.1	89.3
낙동	13	14	33	33	39.4	42.4	17	19	33	33	51.5	57.6	20	20	33	33	60.6	60.6
금강	6	5	22	14	27.3	35.7	10	8	22	14	45.5	57.1	13	9	22	14	59.1	64.3
영산	12	16	31	31	38.7	51.6	17	17	31	31	54.8	54.8	20	20	31	31	64.5	64.5
총계	40	50	114	106	35.1	47.2	57	68	114	106	50.0	64.2	69	74	114	106	60.5	69.8

3. TOC 기준의 적정성 검토

TOC를 새로운 지표로 선정하기 위한 타당성 검토를 ① 기술적 처리 가능성, ② 경제적 수용 가능성, ③ 행정적, 제도적 적용 가능성, ④ 사회적 수용 가능성에 대해서 살펴보았다.

1) 기술적 처리 가능성

TOC 분석방법의 경우 국립환경연구원의 연구 결과를 토대로 2006년에 공정시험법이 마련되어 적용되고 있어 기술적용에는 무리가 없다(국립환경과학원, 2005). 또한 독일, 스위스, 미국, 일본 등

의 경우 1970년대부터 지속적으로 TOC를 측정해 왔고 국내에서도 민간 연구소와 대학교, 정부기관 등을 중심으로 오랜 기간 측정해 오고 있으며 발생하는 문제점들을 개선하고 있다. 측정법 이외에 난분해성 물질 제거를 위한 처리기법으로는 주로 〈표 10〉과 같은 기법들이 적용되고 있으나 그동안 관심 밖에 있었기에 처리기술의 적용 및 개발이 많지 않은 것으로 나타났다. 그러나 제시된 처리 기술의 경우에는 오염물질 제거를 위해서 이미 많이 사용되는 기법들이며 실제 현장에서 적용되고 있는 기술이다. 따라서 법제화를 통해 TOC 측정이 일반화되고 자료가 많이 축적된다면 처리기술

〈표 9〉 2010년 하천 좋은물 달성률 평가

구분	지점 수	BOD		COD		TOC	
		달성지점 수	달성률(%)	달성지점 수	달성률(%)	달성지점 수	달성률(%)
한 강	28	24	85.7	21	75.0	25	89.3
낙동강	33	33	100.0	20	60.6	27	81.8
금 강	22	15	68.2	9	40.9	8	57.1
영산강	31	25	80.6	18	58.1	25	80.6
총 계	114	97	85.1	68	59.6	85	80.2

주: 2010년 TOC 자료의 경우 8개 지점이 측정이 안 되었기 때문에 총지점 수가 106개임(TOC 좋은물 달성률(85/106): 80.2%).

〈표 10〉 TOC 제거 관련 기술

대상물질		제어방안
난분해성 유기물질	화학적 방법	응집침전, 전자빔, 광촉매, 초음파, UV, 오존, H ₂ O ₂ 등을 이용하는 고급산화공정(AOP) 등이 있고, 응집침전법은 유기물과 함께 인의 동시 제거 가능
	기타	혐·호기성 생물학적처리, 활성탄 흡착, 역삼투, 펜톤산화 등이 소규모 산업폐수처리에 활용 SS(탁도)를 제거하기 위한 침전, 흡착, 여과 방법에 의해 제거됨.
비점오염원		저류형, 장치형, 하수처리형, 침투 식생 등 제거효율(The National Academies, 2009)은 공법에 따라 TOC 23~82% 제거 가능

은 빠른 기간 내 발전할 것으로 판단된다.

2) 경제적 수용 가능성

TOC 측정 장비가 고가이기 때문에 초기비용이 많고 전문 인력 양성에 따른 인건비의 지속적인 지출이 예상되고 있으나 대부분의 공공수역 관리 는 공공기관에서 이미 예산에 반영되어 수행하고 있고 대부분 TOC 측정 장비가 구입된 상태이며 분석에 필요한 인력과 비용이 운영 및 지출되고 있어 도입하는 데에 커다란 문제가 발생하지 않을 것으로 판단된다.

또한 향후 배출원에 대한 TOC 항목 적용의 경우 현재 TMS 시행이 상당부분 완료되었고 대상 시설도 확대 추세이기 때문에 이미 설치된 시설과 결과 값을 연계한 관리방안 마련 시 도입은 가능 할 것으로 사료된다. 단, TOC 외 BOD, COD 자동 측정망을 이미 사용하고 있는 곳은 TOC와의 상관성 및 전환 농도로 사용할 수 있는지에 대한 연

구 수행을 통한 검토가 필요하며 오염총량관리와 관련하여 할당된 부하량을 만족하는지를 판단하는 이행과정에서 제반여건에 문제가 발생할 수 있다는 지적이 있어 이에 대한 보완이 필요하다(한강수계 오염총량관리 조사연구반, 2005; 국립환경과학원, 2010). 이 보고서에 따르면 기존의 하수처리장에서의 추가 처리시설 도입 시 활성탄 흡착 및 응집침전, 역삼투막 공정 등으로 약 2,655억 원 이상 소요되며 하수처리장 및 이행평가 모니터링 지점에서의 측정장치 설치에 약 261억 원의 추가 비용이 필요한 것으로 제시하고 있다(단위유역 목표수질 관리지점: 48개, 시도경계 및 지자체 지점: 300개 등 348개 지점). 따라서 오염총량관리와 연계하기 위해서는 수질총량관리팀과 긴밀한 협조와 정보교환이 필요하며 이와 관련한 장기 연구가 필요하다.

〈표 11〉 공공수역 수질측정기관의 TOC 장비 및 가동현황

구분	4대강 물환경 연구소	유역청	시도 보건환경 연구원	수자원공사	농어촌공사	합계
개소	4	7	15	6	2	34
장비보유	7	7	11	7	2	34
가동 수	7	7	9	7	2	32

3) 행정적, 제도적 적용 가능성

현행 시행되고 있는 BOD 항목의 경우 TOC가 적용될 경우에도 생분해성 물질에 대한 정보제공 및 관리, 그리고 장기적인 수질관리 측면에서 지속적으로 유지하는 것이 바람직하며 COD의 경우 TOC 지표전환이 완료되기 전까지 유지한 후 사용하지 않는 것이 바람직해 보인다(장기적인 특성 분석을 위해서 일부지점은 지속).

TOC가 BOD, COD와 상관성이 높기 때문에 전환 시 정책적 연계성에 커다란 문제가 없어 보인다. 또한 TOC 전환 시 현행 수질 및 수생태계 환경기준, 수질 및 수생태계 목표기준 평가 규정, 중권역별 수질 및 수생태계 목표기준과 달성기간에 대한 고시를 개정하여야 하며 수질오염총량제도 및 배출수허용기준, 방류수기준 변경 시에도 이에 필요한 개정작업과 기준 설정과정이 필요하다. 기존에 TOC가 법적규제 분석항목이 아니었기 때문에 많은 부분에서 자체조사로 조사되는 부분이 있었는데 제도화만 되면 보다 활성화되리라 본다.

4) 사회적 수용 가능성

다양한 연구에서 공공수역 유기물질 지표전환에 대한 사회공감대는 형성되어 있다고 판단된다. 그러나 지표전환에 따른 대국민 홍보가 필요하며 지표 추가 및 전환에 대한 정당성과 실시간 모니터링, 정확도와 신뢰도, 기후변화 및 수생태계 변화 반영 등 이점을 잘 알려줄 필요가 있다.

IV. 결론

TOC가 측정되고 있는 수질오염총량자료(2007~2010)를 기본으로 하여 기준 설정 세부과정을 마련하고 TOC와의 상관성(BOD 0.83, COD 0.92)

을 고려하여 현행 BOD, COD 동일 등급을 기준으로 하여 퍼센타일을 근거로 하천 및 호소 TOC 기준(안)을 각각 설정하였다. 설정된 기준안의 경우 외국의 TOC 기준, 달성률 평가 등을 통해 기준안의 적정성을 확인하였다. 그리고 TOC를 새로운 수질환경기준으로 적용 시 기존에 수질환경기준으로 사용하고 있는 BOD, COD도 일정기간 같이 적용하는 것이 적절하다고 판단된다. 이는 TOC에 대한 기초자료 구축이 완료되고 환경기준과 연계된 규제기준 등 관련기준이 정립될 때까지 기존의 기준과 연계하여 활용함이 적절하기 때문이다. TOC 기준의 적용에 있어서 제반 사항들이 충분히 마련되지 않을 경우에는 적용대상 및 지역에 대한 시범사업의 시행을 통한 타당성을 검토하고 실제 규제 적용 시에는 급격한 변화에 의한 영향을 최소화하기 위해서 유예기간 부여 등 적용조건을 명기하여 시행하는 것을 고려해야 한다. 공공수역에 대한 수질개선과 목표 달성 그리고 TOC 관리의 조기 정착을 위해서는 현행 방류수 및 배출허용기준 등의 적용을 받고 있는 배출원과 먹는물 기준을 적용받는 상수원 수, 수질오염총량관리제 총량대상물질에 대한 TOC 항목 추가 및 조사가 신속하게 추진되어야 한다.

참고문헌

- 국립환경과학원, 2005, 「담수중의 총유기탄소 분석법 연구」, _____, 2010, 「금강수계 제3단계 오염총량관리 대상물질(안) 설정」.
- 김재구 · 신명선 · 장창원 · 정성민 · 김범철, 2007, “한강수계 주요하천과 호수 내 TOC와 DOC분포 및 BOD와 COD의 산화율 비교”, 『한국물환경학회지』, 23(1): 72~80.

- 이재관·조순·정일록·황순진, 2006, “우리나라 물환경 기준의 개선방향”, 『한국물환경학회지』, 22(5): 737~747.
- 한강수계관리위원회, 2007, 『한강수계 수질오염총량관리 기준유량(2차), 안전율 설정연구』.
- _____, 2008, 2009, 2010, 『한강수계 난분해성 물질 증감요인 규명 및 관리방안 연구(1차년도, 2차년도, 3차년도)』.
- 한강수계 오염총량 관리조사연구반, 2005, 『한강수계 제2차 수질오염총량관리 대상물질안 선정』.
- 환경부, 2008, 『공공수역 유기물질 평가 및 관리 정책방향 연구』.
- 日本 厚生省, 2003, 『第7回厚生科學審議會生活環境水道部會水質管理專門委員會報告』.
- BC Environment, 1995, *Derivation of water quality criteria to protect aquatic life in British Columbia*, Water Quality Branch, Environmental Protection Department, Victoria, British Columbia.
- Bundesamt für Umwelt, 2010, *Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fließgewässer*.
- Chang, E. E., Chiang, P. C., Lin, Y. L., and Tsai, H. P., 2005, “Evaluation of Source Water Quality Standards for Toatal Coliforms, TOC, and COD in Taiwan”, *Journal of Environment Engineering*, 9(3): 193~203, ASCE.
- Department of Water Affairs and Forestry, 1996, *South African Water Quality Guidelines*, Volume 1, Domestic Use.
- Helsel, D. R., Mueller, D. K., and Slack, J. R., 2006, *Computer Program for the Kendall Family of Trend Tests*, U.S. Geological Survey, Scientific Investigations Report, 2005~5275.
- Kullberg, A., Bishop, K. H., Hargeby, A., Jansson, M., and Peterson, R. C., 1993, “The ecological significance of dissolved organic carbon in acidified waters”, *Ambio*, 22(5): 331~336.
- Martin, J., 1994, “TOC and TOX testing: A key component for drinking water D/DBP regulations”, *American Environmental Laboratory*, 10: 5~6.
- Ministry of Ecology and Sustainable Development, 2006, *Monitoring and Assessment in France*.
- Ontario, 2006, *Technical Support Document for Ontario Drinking Water Standards, Objectives and Guidelines*.
- Reckhow, D. A. and Singer P. C., 1990, “Chlorination by-products in drinking waters: From formation potentials to finished water concentrations”, *Journal of the American Water Works Association*, 82: 173~180.
- The National Academies, 2009, *Urban Stormwater Management in the United States*, The National Academies Press, Washington, D.C.
- Umwelt Bundes Amt, 2001, *Environmental policy, water resources management in germany*.
- US EPA, 1997, *Guidelines for Preparation of the Comprehensive State Water Quality Assessments (305(b) Reports)*, US EPA 68-C3-0303.
- _____, 2003, *Elements of a State Water Monitoring and Assessment Program*, US EPA 841-B-03-003.
- US EPA Office of Water, 2009, *National Water Quality Inventory: Report to Congress*, US EPA 841-R-08-001.
- Visco, G., Campanella, L., and Nobili, V., 2005, *Organic Carbons and TOC in Waters: An Overview of the International Norm for its Measurements*.

원 고 접 수 일 : 2011년 5월 27일
1차심사완료일 : 2011년 7월 4일
최종원고채택일 : 2011년 8월 1일