

오염물질 배출원과 하천에서의 유기탄소 분포 특성

김호섭[†] · 김상용 · 박지형* · 한미덕*

KE컨설팅
*국립환경과학원

The Fractionation Characteristics of Organic Matter in Pollution Sources and River

Ho-Sub Kim[†] · Sang-Yong Kim · Jihyung Park* · Mideok Han*

Korea Environmental Consulting

*National Institute of Environmental Research

(Received 20 June 2017, Revised 22 August 2017, Accepted 28 August 2017)

Abstract

The fractionation characteristics of organic matter were investigated in inflow and effluent of each other pollution sources and river. While the DOC/TOC ratio in the influent of public sewage treatment plant and livestock disposal facilities was above 0.58, the POC/TOC ratio of human livestock Night soil treatment plant and stormwater runoff was more than 0.7. The TOC removal efficiency of public sewage treatment plant and human livestock Night soil treatment plant were 88.5 % and 99.6 %, respectively. Although the concentration distribution of organic matter pollution most of total organic carbon (TOC) in effluent of pollution sources accounted for dissolved organic carbon (DOC) type (DOC/TOC ratio >0.89) and Refractory-DOC (RDOC)/TOC ratio was higher (>0.65). The fractionation characteristics of organic matter in river were similar with that of sewage treatment plant and TOC concentration showed the positive correlation with DOC ($r^2 = 0.93$) and RDOC ($r^2 = 0.89$) concentration. The decay rate of Labile DOC (LDOC) (avg. 0.128 day^{-1}) was higher than labile particulate organic carbon (LPOC) (0.082 day^{-1}), while that of DOC (0.008 day^{-1}) was lower than POC (0.039 day^{-1}) (paired t-test, $p < 0.001$, $n = 5$). These study results suggested that it should consider important both TOC and DOC as the target indicator to control refractory organic matter in pollution sources.

Key words : Fractionation, Pollution sources, Refractory organic matter, Target indicator, Total organic carbon

1. Introduction

BOD 중심의 오염물질 유입규제 및 관리, 환경기초시설에 대한 집중 투자 등으로 공공수역에서 BOD의 오염도는 개선되고 있으나 COD 오염도는 증가하고 있는 곳이 많은 것으로 보고되고 있다(Park et al., 2013). 환경부는 BOD 감소에도 불구하고 COD의 지속적인 증가요인으로 지목되고 있는 난분해성물질을 관리하기 위한 정책수단으로서 하천 및 호소 생활환경기준으로 TOC를 도입하였고, 오염 배출시설 수질기준 및 수질오염총량관리제 시행을 위한 원단위 등 기반마련을 위한 연구가 진행 중이다(Lee et al., 2014; NIER, 2016).

4대강에서 시행되고 있는 수질오염총량관리는 공공수역의 수질관리를 위한 중요한 정책적인 수단이며 현재는

BOD와 TP를 대상물질로 관리하고 있으나 향후 유기물 지표항목으로 TOC가 추가 혹은 대체될 가능성이 있다. 수질오염총량관리에서 유역 내 배출되는 대상물질의 관리는 총량적인 관리 측면 외에도 배출원별 대상물질의 수체로의 유출특성을 고려하여 점과 비점으로 구분하여 관리하고 있다. TOC는 입자성 유기탄소(POC)와 용존성유기탄소(DOC)로 구분하고 있으며 미생물에 의한 분해속도에 따라 생분해성유기탄소(labile organic carbon, LOC)와 난분해성유기탄소(refractory organic carbon, ROC)로 구분되기 때문에 배출원에서의 TOC 농도가 동일하더라도 존재형태에 따라 하천수질에 대한 기여도는 달라질 수 있다. 그러나 오염원에서 배출되는 유기물을 기존의 관리대상물질과 같이 점과 점오염원으로 구분하고 유달울을 통해 수체에 미치는 영향을 정량화하는 경우 배출원 중 난분해성물질의 구성비가 높으나 비점오염원으로 구분되는 오염원은 유달울에 따라 수체 내 난분해성물질에 대한 기여율이 적게 평가될 수 있다. 따라서 유기물질 발생원이 다른 각각의 배출원에서 배출되는 유기물질의 구성비에 대한 연구가 선행되어야 하며 이를 토대로 오염원별로 수체에 미치는 영향을 정량화하는 방법과 더불어 생분해성물질과 난분해성물질을 모두 포함

[†] To whom correspondence should be addressed.
kimhosub1022@naver.com

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

하는 포괄적 지표인 TOC가 배출원을 중심으로 난분해성물질의 관리를 위한 지표항목으로 적절한지에 대한 검토도 필요하다.

하천이나 호소를 대상으로 TOC 존재형태별 구성비에 대한 많은 연구가 진행되었고(Gil et al., 2011; Kim and Gil, 2011; Lee et al., 2011; Lee et al., 2012), BOD감소에도 불구하고 COD의 지속적인 증가원인으로 점과 비점오염원에서의 난분해성물질 유입이 주요 원인으로 지목되고 있다. 그러나 배출원에 대한 조사는 공공하수처리시설(Lee et al., 2009; Lee et al., 2010)과 강우 시 하천조사를 통해 비점오염원에 대한 유출특성을 간접적으로 조사한 사례가 대부분이다(Gil et al., 2011; Kim and Gil, 2011; Lee et al., 2011). 이에 본 연구에서는 환경기초시설 외 다양한 오염 배출원에서 발생 및 처리과정을 통한 유기탄소의 구성비에 대한 조사와 더불어 배출원에 대한 난분해성물질 관리 지표항목으로 TOC의 적정성을 검토하였다.

2. Material and Methods

2.1 조사 대상 유역 및 지점

발생원이 다른 배출원에서의 TOC 존재형태별 구성비 조사는 한강수계에 위치하고 있는 환경기초시설 3개소(분뇨

처리장 1개소, 공공하수처리시설 2개소), 양식장(1개소), 매립장(1개소), 축산시설(1개소)을 대상으로 하였으며, 비점오염원에서 유출되는 유출수내 구성비 조사는 분류식 하수처리구역에 위치한 우수토구에서 유출되는 초기우수를 대상으로 조사하였다. 하천에서의 구성비 조사는 복하천을 대상으로 하였으며, 공공하수처리시설의 위치를 고려하여 분류 내 3지점과 2개의 유입지류(신둔천과 죽당천)를 조사대상지점으로 선정하였고(Fig. 1) 2015년 9월부터 2016년 1월까지 5회 실시하였다.

배출원에서의 시료채수는 처리시설 전과 후를 대상으로 하였으나 양식장과 매립장은 처리 전 시료 채수가 불가능하므로 처리시설 후 시료만을 채수하였고, 축산시설은 조사대상시설이 별도의 처리시설을 가지고 있지 않기 때문에 발생폐수를 채수하였다. 배출원별 처리유무에 따라 처리 전 채수한 시료는 발생성상으로 처리 후 시료는 배출성상으로 구분하였다. 강우 시 우수토구에서 채수한 시료는 비점오염원의 유출성상으로 구분하는 것이 합리적이거나 별도의 처리시설을 거치지 않기 때문에 발생 성상으로 구분하였다.

2.2 생분해성 유기탄소농도 측정 및 분해속도 실험 방법

오염물질 배출원(7시설)과 하천수(5지점)를 대상으로 한

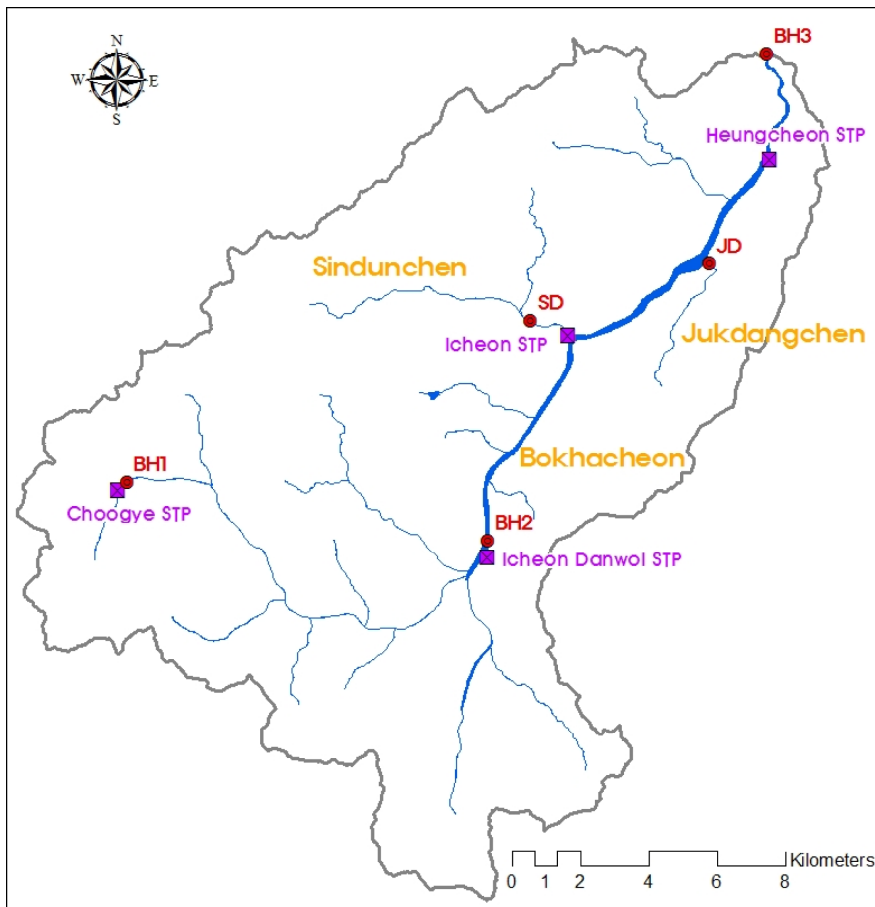


Fig. 1. Map showing the sampling sites in Bokhacheon, including tributaries. BH, SD and JD denotes Bokhacheon, Sinduncheon and Jukdangcheon, respectively (● Sampling site).

TOC 존재형태별 농도는 생분해실험을 통해 조사하였다 (Servais et al., 1999). 생분해실험은 TOC 전용용기(40 ml, clear Borosilicate glass)를 사용하였으며, 실험 전 산세적 후 500 °C에서 2시간 가열하여 전처리 하였다. 실험조건은 20±1 °C의 항온압실에서 28일 동안 배양하였다. TOC와 DOC는 총유기탄소 분석기(Shimadzu, TOC-LCPH)를 사용하여 측정하였고, POC는 TOC와 DOC농도 차이로 계산하였다. 28일 후 잔존하는 POC와 DOC농도를 난분해성 POC (Refractory-POC, RPOC)와 난분해성 DOC(Refractory-DOC, RDOC)로 구분하였다.

복하천 내 본류구간 3지점을 대상으로 존재형태별 분해 속도는 생분해 실험과 동일한 방법으로 수행하였으며, 0, 4, 8, 12, 15, 20, 28일 간격으로 TOC농도와 DOC농도를 측정하여 시간에 따른 TOC, DOC 및 POC농도변화량(DOC와 POC 농도 변화량을 해당시간의 LDOC와 LPOC 농도로 함)을 토대로 식 (1)~(3)에 따라 유기탄소 형태별 분해속도계수를 계산하였다. 난분해성유기물의 분해속도계수는 단기간 내에 측정이 불가능하고 분해가 없다고 가정하고 본 연구에서는 임의로 0.001 day⁻¹인 것으로 간주하였다(Ogura, 1972; Servais et al., 1999).

$$TOC \text{ 분해속도 } \frac{d(TOC)}{dt} = -k_{TOC}(TOC) \quad (1)$$

$$POC, DOC \text{ 분해속도 } \frac{d(POC_t)}{dt} = -k_{POC}(POC) \quad (2)$$

$$\frac{d(DOC_t)}{dt} = -k_{DOC}(DOC)$$

$$LPOC, LDOC \text{ 분해속도 } \frac{d(LPOC_t)}{dt} = -k_{LPOC}(LPOC) \quad (3)$$

$$\frac{d(LDOC_t)}{dt} = -k_{LDOC}(LDOC)$$

2.3 통계분석

복하천 조사지점에서 유기탄소의 존재형태별 분포의 지점 간 비교와 존재형태별 유기물의 분해속도 비교는 one-way ANOVA와 paired t-test(SPSS 14.0)를 이용해 분석하였고 유의수준은 p≤0.05를 기준으로 하였다.

3. Results and Discussion

3.1 오염배출원별 유기탄소 존재형태별 농도 및 배출특성

발생 하폐수와 강우 시 유출 수내 유기탄소 존재형태는 차이가 있었다(Table 1). 분뇨처리장과 강우시 유출수는 POC가 TOC에서 차지하는 비율이 70 % 이상이었던 반면 공공하수처리시설과 가축시설은 DOC의 비율이 58 % 이상으로 차이가 있었다(Fig. 2(a)). 총 유기탄소 중 POC의 비율이 높았던 분뇨처리장과 강우 유출수 내 POC의 존재형태별 구성비는 분뇨처리장은 RPOC의 비율이 66 %였던 반면, 토지계에서는 LPOC의 비율이 74.6 %로 POC의 존재형태별 구성비의 차이가 있었다. DOC가 TOC에서 차지하는 비율이 높았던 공공하수처리시설과 가축사육시설은 두 시설 모두 LDOC의 비율이 각각 47.6 %, 63.9 %로 높았다.

분뇨처리장과 공공하수처리시설에서 유기탄소 존재형태별 제거율은 각각 99.6 %, 88.5 %였으며, 분뇨처리장은 모든 유기탄소 존재형태에서 98 % 이상의 높은 효율을 나타낸 반면 공공하수처리시설에서는 RDOC의 제거효율이 38.4 ±24 %로 낮게 조사되었다(Fig. 3). 처리율은 처리시설의 성능 뿐만 아니라 유입농도의 절대적 농도 등에 의존하기 때문에(Jeong et al., 2014), 분뇨처리장에서 높은 RDOC제거율은 처리시설의 성능보다는 공공하수처리시설(74.5 mgC/L)에 비해 상대적으로 높은 유입수의 농도(6,084.7 mgC/L)와 관련 있는 것으로 판단된다(Table 1). 시설 간에 나타난 처리효율의 차이에도 불구하고 환경기초시설, 매립장 및 양식 시설에서 배출되는 방류수내 유기탄소는 용존형태의 비율이 높았고(TOC의 75 % 이상) LDOC와 RDOC가 TOC 중에 각각 39.3 %, 35.7 %로 유사하였던 양식시설을 제외하고는 대부분이 RDOC(TOC의 63 % 이상)형태로 배출되는 것으로 조사되었다(Fig. 2(b)). 배출원에서 RDOC형태의 유기탄소 구성비의 증가는 침전, 여과등의 물리적 공정과 생물학적 공정 기반의 처리과정을 통해 POC 및 LOC형태의 유기탄소는 상대적으로 용이하게 제거되고 있는 것으로 판단할 수 있다(Lee et al., 2009; Lee et al., 2010).

본 연구에서의 조사 대상 배출원을 수질오염총량관리에서의 오염원 구분방법(NIER, 2014)에 따라 구분하는 경우

Table 1. Organic matter concentration in the influent and effluent of each other pollution sources. NTP and STP denotes human & livestock Night soil treatment plant and public sewage treatment plant, respectively (unit : mgC/L)

Source		TOC	POC	DOC	LPOC	RPOC	LDOC	RDOC
NTP	Inflow	6,084.7	4,349.9	1,734.8	336.3	4,013.6	851.6	883.2
	Outflow	27.3	2.0	25.3	1.1	0.9	4.7	20.6
STP	Inflow	74.5±43.4	31.3±9.2	43.2±34.2	26.5±5.2	4.8±4.0	35.5±32.7	7.8±1.5
	Outflow	7.8±2.4	0.7±0.4	7.2±2.1	0.3±0.4	0.4±0.0	2.2±0.7	5.0±2.8
Livestock	Inflow	537.6	133.5	404.1	116.7	16.8	343.5	60.6
Land	Inflow	72.7	54.6	18.1	54.2	0.4	14.3	3.8
Landfill	Outflow	5.8	0.3	5.5	0.1	0.2	0.6	4.9
Fishfarm	Outflow	14.0	3.5	10.5	3.0	0.5	5.5	5.0

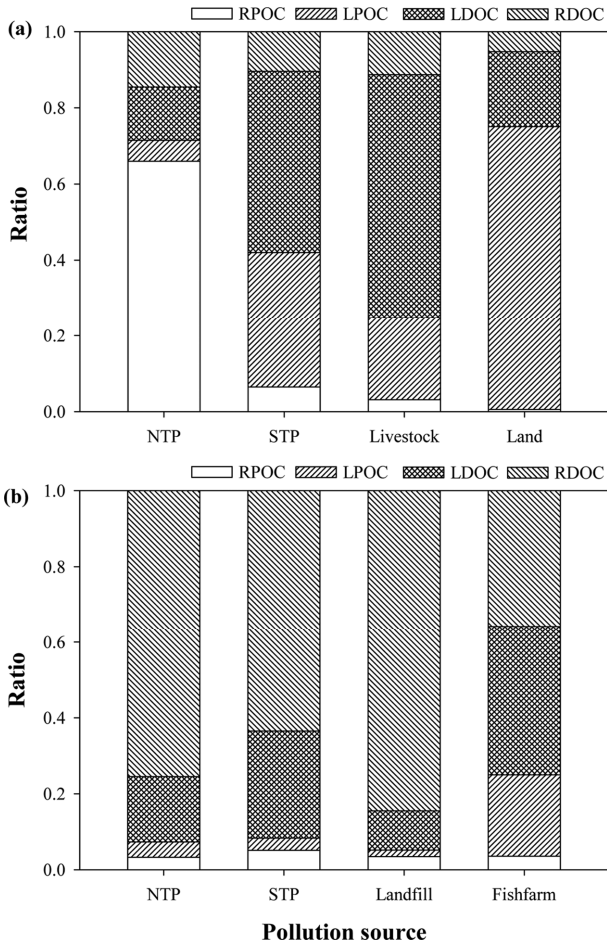


Fig. 2. Proportion of organic matter concentration in the (a) influent and (b) effluent of each other pollution sources. NTP and STP denotes human & livestock Night soil treatment plant and public sewage plant, respectively.

강우 시 유출수는 비점오염원, 그 외 배출원은 점으로 구분된다. 발생성상에 있어 점 오염원은 배출원에 따라 유기탄소 구성비의 차이가 있었으나 처리 후 배출되는 방류수 내 유기탄소 구성비는 RDOC가 높았던 반면 비점오염원은 LOC형태의 구성비(75.1%)가 높았다. 이러한 결과는 점 오염원 처리과정에서 POC와 LDOC에 대한 처리가 이뤄지기 때문이며 발생성상에 있어 차이는 있더라도 수체로 유입되는 과정에서는 배출성상에 큰 차이가 없음을 의미한다. 본 연구에서 비점오염원의 유기탄소존재형태는 LOC형태의 구성비가 높고 POC의 형태가 많아 생물학적 분해와 물리적인 과정을 통해 쉽게 제거될 수 있는 형태로 존재하는 것으로 조사되었나, 본 연구결과는 조사빈도가 적고 다양한 토지이용형태를 대상으로 조사되지 않았기 때문에 난분해성물질 유입원으로서 비점오염원의 중요성이 적은 것으로 판단하는 것은 무리가 있다. 강우 시 수계로 유입되는 외부유기물은 토지이용도와 수리수문학적인 특성에 따라 농도와 특성이 달라질 수 있으며(Gil et al., 2011; Lee et al., 2011, Nguyen et al., 2010), 본 연구에서 비점오염원 유출수에서 LPOC구성비가 높게 나타난 것과 다르게 강우 시

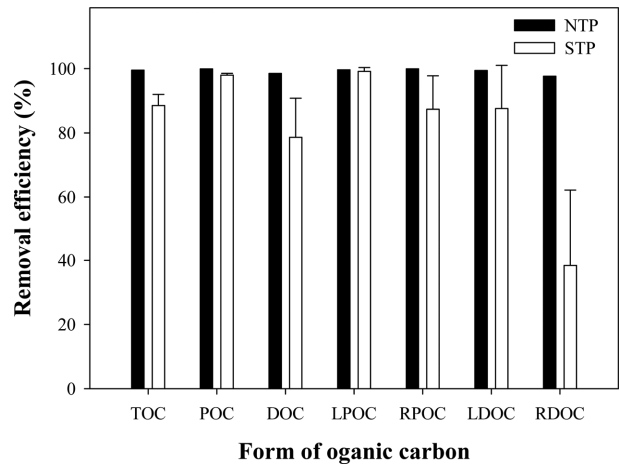


Fig. 3. Removal efficiency of organic carbon existence types in NTP and STP. NTP and STP denotes human & livestock Night soil treatment plant and public sewage treatment plant, respectively.

하천에서 조사된 연구결과는 RPOC의 구성비가 증가되는 것으로 보고된 바 있다(Gil et al., 2011; Kim and Gil, 2011). 또한 실제 비점오염원에서 ROC의 구성비가 점오염원에 비해 적다하더라도 강우 시 비점오염원으로부터 총유입량은 연간 수계로 유입되는 양이 많기 때문에(Gil et al., 2011; Kim and Gil, 2011) 수질에 대한 비점오염원의 영향은 크게 나타날 수 있다.

발생성상에 있어 차이는 있으나 처리 후 유기물의 존재형태가 유사한 점오염원과 달리 비점오염원은 강우 시 토양을 거쳐 직접 수체로 유입되기 때문에 토지이용형태에 따라 배출되는 특성의 차이가 있을 수 있다. 따라서 토지이용형태에 따라 강우 시 유출되는 유기물질의 존재형태에 대한 조사와 더불어 본 연구에서 조사된 배출원과는 유기물 성상이 다를 수 있는 산업시설과 처리능력측면에서 차이가 있는 개인하수처리시설을 대상으로도 유기물 특성에 대한 조사가 진행될 필요가 있다.

3.2 하천 내 유기탄소 존재형태별 농도와 분해속도

북하천 3지점에서 TOC 존재형태별 구성비는 TOC의 평균 83.9%가 DOC (1.1~3.6 mgC/L) 형태였고 TOC 중 72.7%가 RDOC로 1.0~3.5 mgC/L 농도분포를 보였다(Table 2). 2개 지류에서의 TOC 존재형태별 구성비도 분류와 유사하게 TOC 중 RDOC 비율이 78.2%로 높았다(Table 3). 유입지천 중 죽당천의 TOC 존재형태별 구성비는 신둔천과 달리 공공하수처리시설 방류수의 영향을 받은 하천본류지점과 유사하였다(one-way ANOVA, p>0.05). 죽당천 상류에는 대규모 산업시설이 위치하고 있으며, 죽당천 유량의 상당부분(약 85%)이 산업시설 방류량에 의존하기 때문에(HRWMC, 2016) 하천 내 TOC의 존재형태가 공공하수처리시설의 방류량에 영향을 받은 본류구간지점과 유사하게 나타난 것으로 판단된다.

북하천 본류 내 3지점에서 조사된 유기탄소 분해속도계수는

Table 2. Distribution of organic matter concentration in Bokhacheon. BH, SD and JD denotes Bokhacheon, Sinduncheon ana Jukdangcheon, respectively. (unit : mgC/L)

Date	Site	TOC	POC	DOC	LPOC	RPOC	LDOC	RDOC
2015.09.10	BH1	2.1	0.3	1.8	0.2	0.1	0.1	1.7
	BH2	3.2	1.3	2.0	0.1	1.1	0.1	1.9
	BH3	4.3	0.7	3.6	0.1	0.6	0.3	3.3
	SD	2.1	0.04	2.1	0.0	0.0	0.2	1.9
	JD	2.9	0.6	2.3	0.2	0.4	0.2	2.2
2015.10.14	BH1	2.4	0.4	2.0	0.2	0.2	0.2	1.8
	BH2	2.4	0.4	2.0	0.2	0.2	0.1	1.9
	BH3	4.0	0.5	3.6	0.2	0.3	0.1	3.5
	SD	2.2	0.2	2.0	0.2	0.1	0.2	1.8
	JD	2.7	0.5	2.3	0.2	0.3	0.1	2.1
2015.12.10	BH1	1.8	0.2	1.6	0.1	0.1	0.2	1.4
	BH2	2.5	0.6	1.9	0.0	0.6	0.1	1.8
	BH3	3.2	0.5	2.7	0.3	0.2	0.5	2.2
	SD	1.7	0.4	1.3	0.2	0.2	0.1	1.3
	JD	2.9	0.3	2.6	0.0	0.2	0.1	2.5
2016.01.08	BH1	1.7	0.3	1.4	0.1	0.2	1.1	0.2
	BH2	1.3	0.1	1.2	0.0	0.1	1.1	0.1
	BH3	2.8	0.4	2.5	0.3	0.1	1.8	0.7
	SD	1.0	0.1	0.9	0.0	0.0	0.7	0.2
	JD	1.9	0.1	1.8	0.0	0.1	1.6	0.3
2016.01.21	BH1	1.9	0.3	1.7	0.0	0.2	1.1	0.6
	BH2	1.2	0.1	1.1	0.1	0.0	1.0	0.1
	BH3	3.4	0.6	2.8	0.2	0.4	2.2	0.6
	SD	1.1	0.0	1.0	0.0	0.0	0.8	0.3
	JD	2.4	0.5	1.9	0.4	0.1	1.7	0.2
Average (±SD)	BH1	2.0±0.3	0.3±0.1	1.7±0.2	0.1±0.1	0.2±0.1	0.5±0.5	1.2±0.7
	BH2	2.1±0.8	0.5±0.5	1.7±0.4	0.1±0.1	0.4±0.5	0.5±0.5	1.2±1.0
	BH3	3.6±0.6	0.5±0.1	3.0±0.5	0.2±0.1	0.3±0.2	1.0±1.0	2.1±1.4
	SD	1.6±0.6	0.1±0.1	1.5±0.5	0.1±0.1	0.1±0.1	0.4±0.3	1.1±0.8
	JD	2.6±0.4	0.4±0.2	2.2±0.3	0.2±0.1	0.2±0.1	0.7±0.8	1.4±1.1

Table 3. Proportion of organic matter concentration in Bokhacheon. BH, SD and JD denotes Bokhacheon, Sinduncheon and Jukdangcheon, respectively

	POC/TOC	DOC/TOC	LPOC/TOC	RPOC/TOC	LDOC/TOC	RDOC/TOC
BH1	14.6 %	85.4 %	9.0 %	5.6 %	14.5 %	70.8 %
BH2	18.8 %	81.2 %	4.2 %	14.6 %	5.8 %	75.4 %
BH3	15.0 %	85.0 %	6.2 %	8.7 %	13.2 %	71.8 %
SD	8.7 %	91.3 %	4.3 %	4.5 %	13.4 %	77.9 %
JD	14.6 %	85.4 %	4.7 %	9.8 %	6.9 %	78.5 %

TOC를 제외하고는 지점간 유사하였다(one-way ANOVA, $p > 0.05$) (Table 4). TOC 분해속도계수는 $0.003 \sim 0.019 \text{ day}^{-1}$ 범위로 평균 0.010 day^{-1} 였으며 지점 1과 3지점에서 컸다(one-way ANOVA, $p \leq 0.05$). 미생물에 의한 분해가 가능한

형태의 유기탄소별 분해속도계수는 비록 LDOC가 평균 0.128 day^{-1} 로($0.068 \sim 0.204 \text{ day}^{-1}$) LPOC(평균 0.082 day^{-1})보다 컸으나 이는 지점간에 나타난 분해속도계수의 큰 차이 때문으로 통계적 유의적인 차이는 없었으며(paired t-test, p

Table 4. Decay rate of organic matter in Bokhacheon (BH)

Date	Site	Decay rate (k, day ⁻¹)				
		TOC	POC	DOC	LPOC	LDOC
2016.1.08	BH1	0.013	0.038	0.007	0.045	0.096
	BH2	0.005	0.038	0.003	0.060	0.169
	BH3	0.011	0.022	0.009	0.097	0.104
2016.1.21	BH1	0.019	0.069	0.017	0.069	0.204
	BH2	0.003	0.035	0.002	0.072	0.068
	BH3	0.011	0.034	0.008	0.148	0.127

= 0.137, n = 5) DOC와 POC분해속도계수는 DOC의 대부분이 RDOC형태로 존재하기 때문에 LDOC의 큰 분해속도계수에도 불구하고 POC 분해속도계수가 평균 0.039 day⁻¹로 DOC(평균 0.008 day⁻¹) 보다 크게 조사되었다(paired t-test, p < 0.001, n = 5). 국내 주요하천에서 조사된 유기탄소별 분해속도는 TOC를 제외하고 대상하천에서 변화가 큰 것으로 조사된바 있으며(Jang et al., 2008; NIER 2003; 2004; 2006; 2007a; 2007b; 2008; 2009) 존재형태별 평균분해속도는 본 연구결과에서 제시된 존재형태별 평균 분해속도와 유사하였다(paired t-test, p = 0.87, n = 4)(Fig. 4).

북하천에 존재하는 유기물도 TOC의 대부분은 DOC형태(DOC/TOC 85.7%)로 존재하였으며 대부분은 RDOC(RDOC/TOC 74.9%)형태로 조사되었고 TOC(r² = 0.89) 및 DOC(r² = 0.93) 농도와의 상관성이 높게 나타났다. 난분해성물질 유기물의 농도가 지배적인 하천에서 TOC나 DOC는 측정에 많은 시간이 소요되는 난분해성물질의 지표로 활용될 수 있으며(Lee et al., 2011), 본 연구 대상 하천 내 존재하는 유기물특성과 유사하게 DOC와 RDOC의 구성비가 높은 배출원에 대한 관리지표로서도 유용하게 사용될 수 있다. 그러나 배출원에서 난분해성물질에 대한 관리지표로서 TOC는 처리과정에서 제거가 용이한 형태뿐만 아니라 제거가 용이하지 않은 형태의 유기탄소를 모두 포함하고 있어 본 연구에서 조사된 비점오염원에서의 유기탄소의 구성비와 같이

POC의 구성비가 높거나 LOC형태의 구성비가 높은 배출원에서는 처리과정을 통해 나타나는 TOC 농도 감소가 반드시 난분해성물질 감소를 의미하지는 않을 수 있기 때문에 TOC와 더불어 DOC도 중요하게 고려될 필요가 있다.

4. Conclusion

배출원에서 처리 전 유기탄소의 형태는 차이가 있었으나, 처리 후에 유기탄소의 대부분은 DOC(평균 88.5%)형태로 존재하였으며, RDOC(평균 64.8%)의 구성비가 높았다. 하천 내에서의 유기탄소 구성비는 공공하수처리시설과 유사하였고 TOC는 DOC(r² = 0.93) 그리고 RDOC(r² = 0.89)와 높은 상관성을 보였다. 하천에서 LDOC와 LPOC의 평균 분해속도계수는 각각 0.128 day⁻¹, 0.082 day⁻¹이었으나 통계적인 차이는 없었고, DOC 중 난분해성물질의 구성비가 높은 DOC(0.008 day⁻¹)의 분해속도계수가 POC(0.039 day⁻¹) 보다 작게 조사되었다. TOC의 존재형태 중 POC와 LDOC는 물리적 생물학적 처리과정을 통해 제거되고 있으며, 하천환경에서는 강우시기를 제외하면 POC의 구성비는 상대적으로 적을 수 있다. 따라서 TOC가 BOD나 COD에 비해 유기물지표 및 배출원에 대한 관리항목으로 적용은 바람직하나 공공수역에서 난분해성물질의 증가를 억제하고 수질 개선을 위해 배출원을 좀 더 엄격하게 관리하고자 하는 경우 유기물에 대한 포괄적 지표인 TOC와 더불어 현재 배출원에서 주로 배출되는 형태인 DOC도 중요하게 고려될 필요가 있을 것으로 판단된다.

Acknowledgement

본 연구는 국립환경과학원 「TOC 배출경로 및 원단위의 총량계획 적용성 평가 연구, 2016년」의 일부로 수행되었습니다.

References

- Gil, K., Kim, T., and Jung, M. S. (2011). Runoff Characteristics of Refractory Organic Matters from South-Han River Watershed during Rainfall Event and Dry Season, *Journal of Korean Society on Water Environment*, 27(3), 306-313.

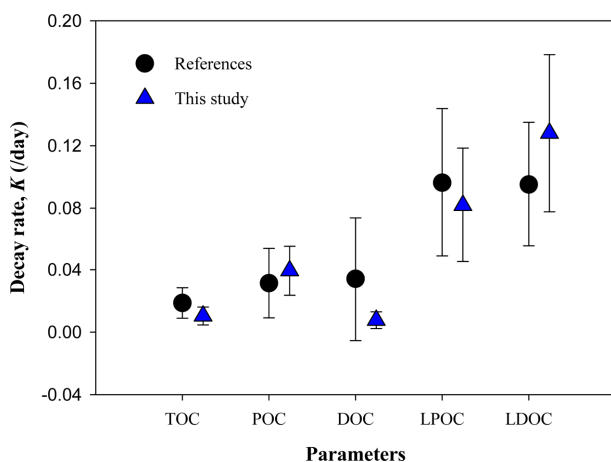


Fig. 4. Decay rate of organic matters in Bokhacheon (References : NIER 2003, 2004, 2006, 2007a, 2007b, 2008, 2009).

- [Korean Literature]
- Han River Watershed Management Committee (HRWMC). (2016). *Water Quality Monitoring in Kyongancheon, Guseockmalcheon and Jukdangcheon*, Han River Watershed Management Committee, 125-146. [Korean Literature]
- Jang, C. W., Kim, J. K., Kim, D. H., Kim, B., and park, J. H. (2008). The distribution of Organic Carbon and its Decomposition Rate in the Kum River, Korea, *Journal of Korean Society on Water Environment*, 24(2), 174-179. [Korean Literature]
- Jeong, D. H., Choi, I. C., Cho, Y., Ahn, K., Chung, H. M., Kwon, O., Park, H., Shin, H., and Hur, J. (2014). Characteristics of TOC in Effluent Discharge from Public Sewage Treatment Works in Korea, *Journal of Korean Society of Water and Wastewater*, 28(6), 657-668. [Korean Literature]
- Kim, T. and Gil, K. (2011). Runoff Characteristics of Refractory Organic Matters from Kyongan River Watershed during Rainfall Event and Dry Season, *Journal of Korean Society on Water Environment*, 27(4), 397-404. [Korean Literature]
- Lee, B., Lee, T. H., and Hur, J. (2011). Development of Estimation Indices for Refractory Organic Matter in the Han-River Basin using Organic Matter Parameters and Spectroscopic Characteristics, *Journal of Korean Society on Water Environment*, 27(5), 625-633. [Korean Literature]
- Lee, B., park, M. H., Lee, T. H., Hur, J., and Yang, H. (2009). Prediction of the Concentrations and Distributions of Refractory Organic Matters in Wastewater using Spectroscopic Characteristics, *Journal of Korean Society on Water Environment*, 25(4), 560-567. [Korean Literature]
- Lee, J., Kim, J., Lee, J. K., Kang, L., and Kim, S. (2012). Current Status of Refractory Dissolved Organic Carbon in the Nakdong River Basin, *Journal of Korean Society on Water Environment*, 28(4), 538-550. [Korean Literature]
- Lee, T. H., Lee, B., Hur, J., Jung, M. S., and Kang, T. G. (2010). Conversion of COD_{Mn} into TOC and Refractory Organic Matter Concentrations for Treated Sewage using Regression Equations, *Journal of Korean Society on Water Environment*, 26(6), 969-975. [Korean Literature]
- Lee, Y., Kim, Y., Park, J., and Oa, S. W. (2014). Estimation or Production Unit Loads of Livestock Manure Based on TOC, *Journal of Wetlands Research*, 16(3), 403-409. [Korean Literature]
- National Institute of Environmental Research (NIER). (2003). *Survey on Water Quality Model Parameters for Aquatic Ecosystem in Nakdong River(I)*, National Institute of Environmental Research, 50-53. [Korean Literature]
- National Institute of Environmental Research (NIER). (2004). *Survey on Water Quality Model Parameters for Aquatic Ecosystem in Nakdong River(II)*, National Institute of Environmental Research, 46-49. [Korean Literature]
- National Institute of Environmental Research (NIER). (2006). *Survey on Water Quality Model Parameters for Aquatic Ecosystem in Keum River*, National Institute of Environmental Research, 39-79. [Korean Literature]
- National Institute of Environmental Research (NIER). (2007a). *Survey on Water Quality Model Parameters for Aquatic Ecosystem in Yeoungsan River*, National Institute of Environmental Research, 56-68. [Korean Literature]
- National Institute of Environmental Research (NIER). (2007b). *Survey on Water Quality Model Parameters for Aquatic Ecosystem in Han River(Main stream of Han River and North Han River)*, National Institute of Environmental Research, 56-68. [Korean Literature]
- National Institute of Environmental Research (NIER). (2008). *Survey on Water Quality Model Parameters for Aquatic Ecosystem in Han River(Main Stream of Han River and South Han River)*, National Institute of Environmental Research, 62-83. [Korean Literature]
- National Institute of Environmental Research (NIER). (2009). *Survey on Water Quality Model Parameters for Aquatic Ecosystem in Lm-Jin River and Asan reservoir*, National Institute of Environmental Research, 76-110. [Korean Literature]
- National Institute of Environmental Research (NIER). (2014). *The Technical Guideline for Total Water Pollutant Load Management System*, 11-1480523-001918-01, National Institute of Environmental Research. [Korean Literature]
- National Institute of Environmental Research (NIER). (2016). *Applicability study of TOC discharge path as well as total amount plan of unit mass*, 11-1480523-002717-01, National Institute of Environmental Research, 1-338. [Korean Literature]
- Nguyen, H. V. M., Hur, J., and Shinm H. S. (2010). Changes in Spectroscopic and Molecular weight Characteristic of Dissolved Organic Matter in a River during a Storm Event, *Water, Air & Soil Pollution*, 212, 395-406.
- Ogura, N. (1972). Rate and Extent of Decomposition of Dissolved Organic Matter in Surface Seawater, *Marine Biology*, 13, 89-93.
- Park, J. H., Park, B. K., Lee, J. K., and Rhew, D. H. (2013). Necessity of Refractory Organic Matters Management in Total Maximum Daily Loads(TMDLs), *Journal of Korean Society on Water Environment*, 29(3), 393-399. [Korean Literature]
- Servais, P., Garnier, J., Demarteau, N., Brion, N., and Billen, G. (1999). Supply of Organic Matter and Bacteria to Aquatic Ecosystems through Waste Water Effluent, *Water Research*, 33(16), 3521-3531.