Printed in the Republic of Korea
ANALYTICAL SCIENCE & TECHNOLOGY
Vol. 23, No. 1, 36-44, 2010

하천수와 하수처리장 방류수의 유기물 분포 및 분해 특성

서희정 · 강영주 · 민경우 · 이경석 · 서광엽 · 김승호 · 백계진 · 김성준[1,★]
광주광역시보건환경연구원 환경연구부, [1]전남대학교 환경공학과
(2009. 11. 17. 접수, 2010. 2. 4. 승인)

Characteristics of distribution and decomposition of organic matters in stream water and sewage effluent

Heejeong Seo, Yeoungju Kang, Kyoungwoo Min, Kyoungseog Lee, Gwangyeob Seo, Seungho Kim, Kyejin Paik and Seongjun Kim[1,★]

Department of Environmental Research, Public Health and Environmental Institute of Gwangju, Gwangju 502-243, Korea
[1]Department of Environmental Engineering, Chonnam National University, Gwangju 500-757, Korea
(Recevied November 17, 2009: Accepted February 4, 2010)

요 약: 광주지역 하천수와 하수처리장 방류수를 대상으로 유기물 분포 특성과 분해 특성을 파악하고자 하였다. 영산강 수계에서 TOC에서 DOC가 차지하는 비율은 평균 73.9% 정도를 보였다. DOC중 RDOC의 평균 농도는 3.7 mg/L였으며, 비율은 80.9%로 나타나 생분해성유기물에 비해 난분해성유기물의 비율이 높은 것으로 나타났다. 유기물 오염도 지표간 산화율을 비교한 결과 하천수에서는 BOD-C/TOC는 45.0%, COD_{Mn}-C/TOC는 63.0%, CODcr-C/TOC는 106.5%로 나타났다. 하수처리장 방류수의 경우는 각각 33.6%, 65.7%, 136.1%로 나타나 하천수에 비해 BOD의 산화율이 낮았다. 하천수 중의 DOC의 평균 분해속도(K_d)는 영산강 본류에서 0.042 day^{-1}, 지류하천에서 0.043 day^{-1}로 조사되었으며 본류구간과 지류하천 간에 유의적인 차이는 없었다($p>0.05$). 하수처리장 방류수에서는 K_d가 0.028 day^{-1}로 하천수에 비해 낮은 분해속도를 나타냈다.

Abstract: This study was performed to investigate the distribution and decomposition characteristics of organic matter in stream water and sewage effluent located in Gwangju. Average of dissolved organic carbon (DOC) to total organic carbon (TOC) ratio was approximately 73.9% in the Youngsan river system. The concentration of refractory dossolved carbon (RDOC) was 3.7 mg/L corresponding to 80.9% of the DOC. The ratio of recalcitrant organic carbon was relatively higher than that of biodegradable organic carbon in stream. Oxidation efficiencies in the stream were 45.0% for BOD, 63.0% for COD_{Mn} and 106.5% for CODcr. In case of sewage effluent was 33.6%, 65.7% and 136.1% respectively. Mean decomposition rate (K_d) of Youngsan river mainstream, its tributary sites and sewage effluent were about 0.042 day^{-1}, 0.043 day^{-1} and 0.028 day^{-1}, respectively and the difference was not significant between the mainstream and its tributary sites (t-test, $p>0.05$). K_d of the sewage effluent was lower than that of stream water.

Key words: organic matters, RDOC, TOC, DOC, decomposition rate

★ Corresponding author
Phone : +82-(0)62-530-1864 Fax : +82-(0)62-530-0864
E-mail : seongjun@jnu.ac.kr

www.kci.go.kr

1. 서 론

수중 유기물은 존재 형태에 따라 입자성유기물(particulate organic matter; POM)과 용존유기물(dissolved organic matter; DOM)로 구분된다. 모든 유기물질은 탄소를 포함하고 있으며 일반적으로 광합성산물의 단위를 탄소단위로 하여 비교적 정확하게 측정할 수 있기 때문에 유기물의 양은 유기탄소의 총량으로 측정하고 있다.[1] 일반적으로 하천이나 호수에서의 유기물은 용존유기탄소(dissolved organic carbon; DOC)가 TOC의 약 90%를 차지하고, 10%정도는 입자성유기탄소(particulate organic carbon; POC)로 구성되어 있다.[2,3] DOC는 분해특성에 따라 생분해성(labile DOC; LDOC)과 난분해성(refractory DOC; RDOC)으로 구분된다. DOC는 염소소독부산물(disinfection byproducts; DBPs)의 주요한 전구물질이며, 특히 RDOC는 LDOC에 비하여 더 많은 DBPs를 생성하는 것으로 알려져 있다.[4] 분해가 어려운 RDOC는 주로 부식물질(humic substance)로 구성되어 있으며, 토양과 수체 내에 약 70~80%를 차지한다.[5]

수중의 유기물 분포와 분해특성은 수체의 생 · 지 · 화학적특성, 유역특성, 일차생산력, 계절적 영향 등을 잘 반영하여, 이에 따라 구성비율이 다르게 나타난다. 부영양한 수역에서는 수체 내부에서 일차생산을 통하여 자체적으로 유기물이 생성되며, 이렇게 생성되는 유기물은 생분해성의 비율이 높아 유기물의 분해가 빠르게 일어난다.[6,7] 반면 강우시 유역으로부터 대량의 유기물이 유입되는 경우 난분해성 유기물의 비율이 높아 유기물의 분해가 느리게 일어난다.[7,8]

하천에서 유기물은 수중오염물질 중에서 가장 중요한 요인이며 수질악화의 원인으로 수질관리를 위한 핵심적인 지표로 이용되고 있다. 현재 수중에 존재하는 유기물질의 농도를 분석하는 방법으로 생물화학적 산소요구량(biochemical oxygen demand; BOD), 화학적 산소요구량(chemical oxygen demand; COD_{Mn}, COD_{cr}) 및 총유기탄소(total organic carbon; TOC) 측정법 등이 있다. 우리나라에서는 수질관리정책에 유기물 오염지표로 BOD와 COD를 활용하고 있으며, 최근에 세계적으로 BOD, COD의 대안방법으로 TOC가 크게 대두되면서 2006년 TOC 분석법이 수질오염공정시험기준에 신설되었다.[9]

국내의 BOD, COD 위주의 유기물 관리는 수계 내에 존재하는 유기물 성상에 따라 산화율의 차이가 있어 유기물의 총량을 제대로 반영하지 못해 유기물 정책 및 관리에 한계가 있다.[10] 독일은 2000년부터 수질기준에서 BOD를 제외하고 TOC를 유기물 지표로 사용하고 있으며, 스위스는 지표수 수질기준에 DOC를 적용하고 있다.[11] BOD와 COD는 유기물의 산화율이 낮고 수중에 존재하는 난분해성 유기물을 포함한 총 유기물질의 농도를 정확하게 측정하기가 불가능하나 TOC는 측정이 간편할 뿐 아니라 수중 오염물질의 생물독성, 난분해성 등에 관계없이 유기물질의 측정이 가능하며 측정 자료를 통해 다양한 정보를 얻을 수 있는 장점이 있다.[10] 그러나 우리나라는 수질기준에 TOC가 설정되어 있지 않으며, TOC와 DOC에 대한 연구 자료가 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 하천수와 하수처리장 방류수를 대상으로 유기물 분포 특성을 파악하고, 유기물오염도 지표 항목간의 산화율 비교 및 상관성을 조사하여 향후 TOC 기준 설정에 필요한 기초자료를 제공하고자 한다. 또한 수중의 용존유기물질에 대한 생분해도를 조사하여 유기물 분해속도계수를 산정함으로써 향후 수질모델링에 중요한 입력자료로 활용할 수 있도록 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 조사대상

영산강 유역은 유역면적 3,371 km^2이고, 본류의 유로연장은 136 km이다. 영산강은 광주천 · 황룡강 · 지석천 · 고막원천 · 함평천등의 지류와 합류하여 흐른다. 하상계수가 682로서 한강 393, 낙동강 375, 금강 300에 비하여 2배 정도의 크기로 하천유량이 대단히 불안정함을 알 수 있다. 광주천은 광주광역시의 주요 도심하천으로 남동쪽에 위치하고 영산강 수계 본류 좌안측에 유입되는 제1지류로 지방 1 · 2급 하천으로서 유역면적 106.47 km^2, 유로연장 22.8 km이다.

본 조사는 광주광역시에 위치해 있는 영산강 본류 4개 지점(G6~G9)과 지류 12개 지점(G1~G5, G10~G16) 그리고 영산강 본류로 유입되는 광주 1,2 하수처리장 방류수 3개 지점(G17~G19)을 대상으로 하였다(*Fig.* 1).

2.2. 조사시기 및 분석방법

시료채취는 2009년 2월부터 8월까지 총 6회 실시하였으며, 채수한 시료는 4 °C이하 냉암소에 보관하여 실험실로 운반 후 유기물 오염도 지표 항목인 BOD, COD_{Mn}, CODcr, DOC, TOC 등을 분석하였다. BOD와 COD는 수질오염공정시험기준[9]을 이용하여 분석하였

www.kci.go.kr

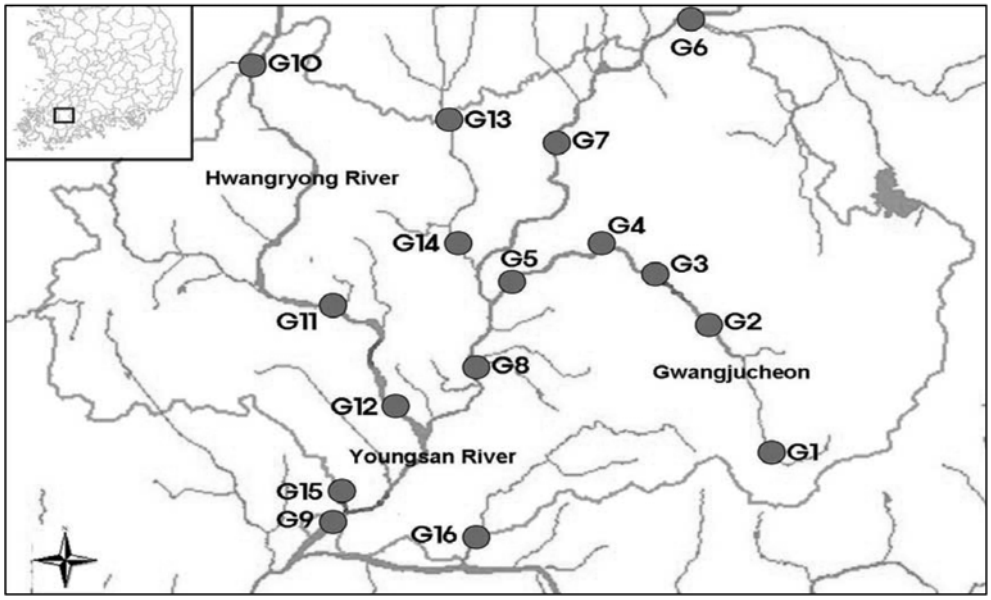

Fig. 1. Sampling sites in the Youngsan river system, Gwangju.

으며, COD는 과망간산칼륨법($KMnO_4$)과 중크롬산칼륨법($K_2Cr_2O_7$)을 동시에 분석하였다. TOC는 시료에 포함된 SS (suspended solids) 성분에 의한 분석 오차를 줄이고 시료 분석 결과의 정확도와 재현성을 위해 초음파 시스템을 이용하여 시료를 2시간동안 균질화시킨 후 분석하였다. DOC는 증류수로 수회 세척 후 450 °C에서 열처리하여 여지에 남아있는 유기물을 제거한 공극 0.7 μm size인 GF/F 필터에 시료를 여과 후 분석하였다. 비정화성 유기탄소(nonpurgeable organic carbon, NPOC) 검출방법을 이용하여 산성화된 시료를 약 3분 정화(purge)하여 무기성 탄소를 제거한 후 680 °C에서 연소하여 발생된 CO_2를 비분산적외선검출기(non-dispersive infrared detector, NDIR)로 분석하였다 (Shimadzu, TOC-Vcph, Japan). POC는 TOC에서 DOC를 뺀 값으로 계산하였다. SUVA (specific ultraviolet absorbance)는 UV_{254}/DOC×100 (m^{-1} · L/mgC)로 정의되며, UV_{254} 측정을 위해 UV spectrometer (Shimadzu, UV-2550, Japan)를 사용하였다.

2.3. 유기물 분해속도 산정

유기물 분해속도 산정을 위해 DOC 생분해실험을 하였으며, 생분해성과 난분해성으로 구분하였다. Fukushima등은 생분해 실험에서 분해 후 남은 용존유기물을 난분해성 용존유기탄소(refractory DOC; RDOC)라고 하였고, 분해된 유기물을 생분해성 용존유기탄소(labile DOC; LDOC)라고 정의하였다.[12] DOC 분해실험은 450 °C에서 열처리한 GF/F로 여과한 시료를 20 °C 항온암실에서 30일간 실시하여 30일 사이에 분해된 유기물을 LDOC 농도로, 30일 후 남아있는 유기물을 RDOC 농도로 정량하였다. 난분해성 유기물의 분해 속도계수(K_2)는 단기간 내에 측정이 불가능하며 큰 의미가 없으므로 임의로 0.001 day^{-1}인 것으로 간주하여 고정 값을 사용하였고,[12,13] 측정된 DOC_t는 Sigmaplot V10.0(SPSS Science, Inc) 프로그램으로 비선형 회귀분석하여 아래와 같이 분해계수를 구하였다.

$$DOC_t = LDOC \times e^{-K_1 t} + RDOC \times e^{-K_2 t}$$

여기서, DOC_t= t day에서의 DOC
K_1= LDOC 분해 속도 계수
K_2= RDOC 분해 속도 계수(0.001 day^{-1}로 고정)

3. 결과 및 고찰

3.1. 유기물 분포 특성

광주지역 하천수의 유기물 오염도를 비교한 결과 각 지점별로 차이를 나타냈으며, 특히 영산강 본류로 유입되는 도심하천인 광주천의 상류와 하류 수질이 크게 차이가 나타났다(*Table* 1). 광주지역 하천수 전지점의 평균 TOC 농도는 5.0 mgC/L로 나타났으며, 영산강 본류의 평균 TOC 농도는 5.8 mgC/L, COD_{Mn}과

www.kci.go.kr

Table 1. Average concentrations of organic matters of Youngsan river system and its tributaries (Mean ± standard deviation)

Sites		TOC (mgC/L)	DOC (mgC/L)	BOD (mgO_2/L)	COD_{Mn} (mgO_2/L)	CODcr (mgO_2/L)
Gwangju-cheon	G1	1.4±0.5	1.2±0.4	1.1±0.3	1.7±0.7	2.7±0.5
	G2	4.6±1.0	3.9±0.8	8.4±2.2	8.9±1.0	18.9±4.3
	G3	4.4±0.8	3.7±0.5	3.9±1.3	7.5±1.4	13.4±5.4
	G4	6.3±2.0	4.9±1.1	8.9±6.7	11.5±4.8	21.2±9.3
	G5	10.4±6.2	4.4±1.5	13.2±4.0	12.8±3.4	35.3±8.6
R. Youngsan, main stream	G6	5.6±2.4	4.4±1.7	4.0±1.5	7.5±2.8	18.6±7.3
	G7	4.7±1.6	3.9±1.3	5.2±2.3	8.0±2.2	21.6±7.9
	G8	6.5±2.4	4.3±0.8	8.9±2.4	9.9±2.0	23.6±7.9
	G9	6.6±2.3	4.2±0.9	8.2±3.3	9.8±2.1	21.0±8.6
R. Hwangryong	G10	3.1±0.8	2.6±0.7	2.5±0.9	4.8±1.0	10.7±4.4
	G11	3.6±0.8	3.0±0.9	2.7±0.9	5.4±0.9	9.3±1.5
	G12	3.6±0.8	3.1±0.8	2.9±0.9	5.4±0.8	10.1±3.7
Tributaries	G13	4.2±1.9	3.7±1.7	3.7±1.6	6.4±2.5	12.8±3.6
	G14	4.4±1.3	3.2±1.2	4.7±1.0	6.8±1.1	13.4±2.0
	G15	4.7±1.8	4.1±1.5	4.3±2.2	6.7±2.0	15.8±6.9
	G16	6.3±3.1	4.6±2.2	7.2±3.5	8.9±3.0	24.8±8.2
Sewage effluents	G17	5.1±0.4	4.5±0.3	6.0±1.5	9.1±1.0	21.0±2.0
	G18	5.1±0.2	4.5±0.3	5.2±2.3	9.1±1.0	19.8±4.1
	G19	5.5±0.9	4.8±0.6	2.7±1.3	8.4±1.2	18.8±5.3

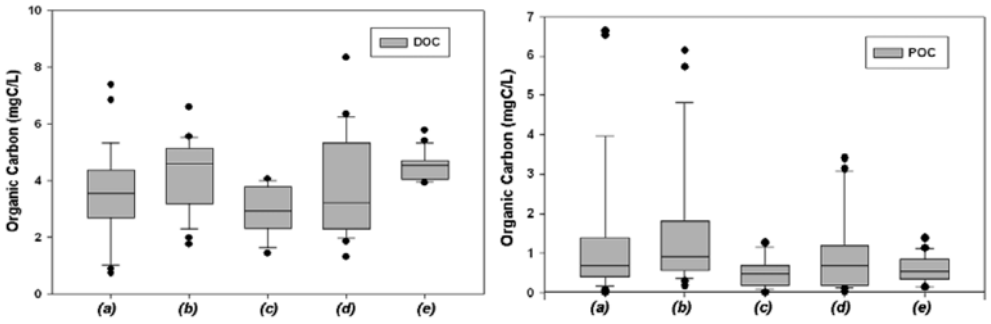

Fig. 2. The comparison of DOC and POC at Youngsan river system: (a) Gwangju-cheon sites, (b) Youngsan river main stream sites, (c) Hwangryoung river sites, (d) tributary sites, (e) sewage effluents.

CODcr의 농도는 8.8 mgO_2/L, 21.2 mgO_2/L로 나타났다. 영산강 본류로 유입되는 광주천과 황룡강 등 지류하천의 TOC와 DOC는 각각 4.8 mgC/L, 3.5 mgC/L이었으며, BOD 농도는 5.3 mgO_2/L, COD_{Mn}과 CODcr의 농도는 7.2 mgO_2/L, 15.7 mgO_2/L로 본류구간에 비해 지류하천이 약간 낮았다. 광주광역시 도심하천인 광주천 하류 지점(G5)에서 평균 TOC 농도가 10.4 mgC/L로 가장 높게 나타났으며, 광주천 상류 지점(G1)에서는 1.4 mgC/L로 가장 낮은 수치를 보였다. 정남인[14]의 광주천 유하거리별 수질변화 특성 및 예측에 관한 연구에서는 광주천은 유하거리에 따라 하수의 유입이 있는 것으로 조사되고 하류로 갈수록 하천유량이 감소하나 오염부하량은 증가하는 것으로 조사된바 있어 본 연구결과와 유사하게 나타났다. 또한 광주천 하류에 형성된 수중보에 의해 물의 흐름이 정체되므로 수질 악화 현상을 초래하여 영산강 본류로 유입되는 지점의 수질을 더욱 악화시키고 있다. 영산강 본류로 유입되는 하수처리장 방류수의 평균 TOC와 DOC농도는 각각 5.2 mgC/L, 4.6 mgC/L이며, BOD 농도는 4.6 mgO_2/L, COD_{Mn}과 CODcr의 농도는 각각 8.8 mgO_2/L, 19.8 mgO_2/L로 영산강 본류나 지천의 수질보다 낮게 나타났다.

www.kci.go.kr

영산강 본류와 지류하천에서 모두 DOC 농도가 POC 농도 보다 높게 나타났으며 TOC중 DOC의 비율은 지점별 차이를 보이지만 평균 73.9% 정도를 보였다(*Fig*. 2). 국내 연구결과[14]와 비교해보면 유사한 결과이나 호소의 평균 DOC/TOC와 비교해보면 낮은 범위이다. 미국 오대호중 하나인 미시간호에서 DOC는 TOC의 90% 이상 차지하는 것으로 보고 되었으며,[15] 수심이 깊고 체류시간이 긴 소양호에서 DOC는 평균 80%정도 차지하는 것으로 알려져 있다.[16] 영산강 본류에서 평균 DOC/TOC는 72.3%로 본류로 유입되는 지류 평균 74.5% 보다 낮은 비율을 보였다. 또한, 광주천 하류지점(G5)에서는 DOC/TOC가 42.2%로 가장 낮아 상대적으로 수중에 POC가 차지하는 비율이 50% 이상으로 나타났다. 하수처리장 방류수는 평균 DOC/TOC가 88.7%로 나타났고, DOC 중 RDOC의 비율도 88.5%로 하천수에 비해 높게 나타났으며 수중의 유기물이 대부분 난분해성으로 존재한 것으로 판단된다.

자연유기물질의 물리화학적 특성을 나타내는 SUVA를 비교해 보면 하천수에서는 SUVA값의 범위가 1.573~3.429 m^{-1} · L/mgC를 나타냈으며, 하수처리장 방류수에서는 2.036~2.982 m^{-1} · L/mgC로 나타나 전 지점에서 SUVA값이 4이하로서, 소수성의 방향족 고분자 유기물 보다 친수성 저분자 유기물[17]의 비율이 높은 것으로 판단된다.

3.2. 유기물 지표간 산화율 비교

유기물 오염도 지표인 BOD, COD_{Mn}, CODcr을 탄소농도로 환산하여 TOC 농도에 차지하는 비율을 평가하였다. 하천 전지점에서 BOD-C/TOC는 45.0%, COD_{Mn}-C/TOC는 63.0%, CODcr-C/TOC는 106.5%로 나타났다. 하수처리장 방류수의 경우는 각각 33.6%, 65.7%, 136.1%로 나타나 하천수에 비해 BOD의 산화율이 낮았으나 CODcr의 산화율은 높게 나타났다. 본 연구에서 나타난 하천의 유기물 산화율은 다른 수계에서 조사된 연구결과와 비교하여 상대적으로 높게 나타났다. 낙동강 전체수계의 연구조사에 따르면 TOC에 대한 BOD와 COD_{Mn}의 산화율이 13%, 18%였으며, CODcr의 경우도 66%로서 매우 낮았다.[18] 또 한 강본류에서 BOD 산화율은 약 12%, COD_{Mn} 산화율은 27%로 조사된바 있다.[14] BOD의 산화율이 낮은 것은 외부로부터 난분해성유기물의 직접적인 유입이 많고

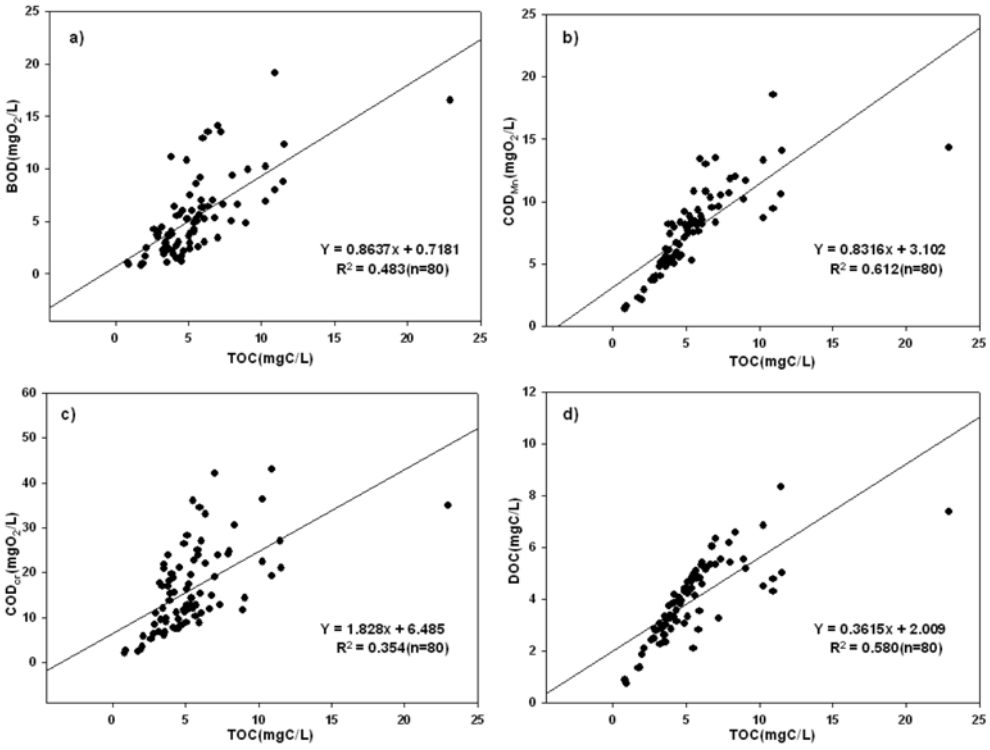

Fig. 3 Scatter plots of BOD(a), COD_{Mn}(b), CODcr(c) and DOC(d) versus TOC in streams.

www.kci.go.kr

미생물에 의한 생물학적 분해가 낮다는 것을 의미한다. 또한 현재 하천에서 BOD에 대한 유기물의 평가는 전체 탄소유기물의 약 45% 정도만 반영되고 있어 실제 상당부분이 과소평가되고 있는 실정이다. 하수처리장 방류수는 생물학적 처리과정을 거쳐 방류되기 때문에 생분해성 유기물의 양이 적어 상대적으로 BOD로 산화시킬수 있는 유기물의 양이 적으므로 BOD 산화율이 하천수에 비해 낮게 나타났다. 반면 CODcr 산화율은 136%로 실제 수중에 존재하는 탄소유기물양 보다 1.3배 이상 산화되며 산화력이 강해 유기물뿐만 아니라 무기물까지 산화시킨 것으로 판단된다. 영산강 본류의 경우 TOC에 대한 유기물 지표의 비율이 상류에서 가장 낮았으며 하류로 이동할수록 증가하는 경향을 보여 하류로 갈수록 적은 산화력에서 분해가 가능한 유기물의 유입이 다소 증가하는 것으로 나타났다.

3.3. 유기물 지표간 상관관계

하천수와 하수처리장 방류수에서 측정된 유기물 지표간에 단순선형회귀분석을 통해 피어슨상관계수를 측정하여 상관성을 분석하였다(*Table* 3). 하천수의 경우 BOD와 COD_{Mn}, CODcr과의 상관계수는 각각 0.850, 0.770으로 강한 상관관계($p<0.001$)를 보여주었으며, COD_{Mn}과 CODcr, DOC, TOC의 경우에도 유의한 상관관계를 보여주었다($p<0.001$). 또한 TOC에 대한 BOD, COD, DOC의 결정계수(r^2)를 비교한 결과 COD가 0.612로 가장 높은 값을 보였다(*Fig.* 3). 하수처리장 방류수에서 유기물 지표간 상관성은 하천과 다른 경향을 보였다(*Table* 4). CODcr, DOC는 BOD와 낮은 상관관계를 보였으며, CODcr 과 DOC, TOC간에는 매우 낮은 상관관계를 보였다($p>0.05$). 반면에 DOC와 TOC간의 상관계수는 0.797로 강한 상관관계를 보였으며 유의적인 것으로 나타났다($p<0.001$).

Table 3. Correlation coefficients among five water quality indices measured in all river samples; cells show the Pearson correlation coefficient and the corresponding *p* value(in parentheses)

Parameters	BOD	COD_{Mn}	CODcr	DOC
COD_{Mn}	0.850(<0.001)			
CODcr	0.770(<0.001)	0.771(<0.001)		
DOC	0.515(<0.001)	0.785(<0.001)	0.553(<0.001)	
TOC	0.695(<0.001)	0.782(<0.001)	0.595(<0.001)	0.762(<0.001)

Table 4. Correlation coefficients among five water quality indices measured in sewage effluents; cells show the Pearson correlation coefficient and the corresponding *p* value(in parentheses)

Parameters	BOD	COD_{Mn}	CODcr	DOC
COD_{Mn}	0.482(0.069)			
CODcr	0.304(0.271)	0.651(0.008)		
DOC	0.310(0.261)	0.370(0.174)	0.248(0.373)	
TOC	0.498(0.058)	0.213(0.446)	0.145(0.605)	0.797(<0.001)

Table 5. DOC decomposition rate in each sampling sites

Sites		$K_d(d^{-1})$	Sites		$K_d(d^{-1})$
Gwangju-cheon	G1	0.022±0.018	R. Hwangryong	G10	0.039±0.008
	G2	0.027±0.001		G11	0.038±0.009
	G3	0.033±0.011		G12	0.055±0.017
	G4	0.040±0.005	Tributaries	G13	0.047±0.006
	G5	0.059±0.013		G14	0.064±0.018
R. Youngsan, main stream	G6	0.041±0.013		G15	0.045±0.011
	G7	0.047±0.010		G16	0.041±0.014
	G8	0.036±0.008	Sewage Effluents	G17	0.035±0.005
	G9	0.050±0.003		G18	0.031±0.004
				G19	0.019±0.010

www.kci.go.kr

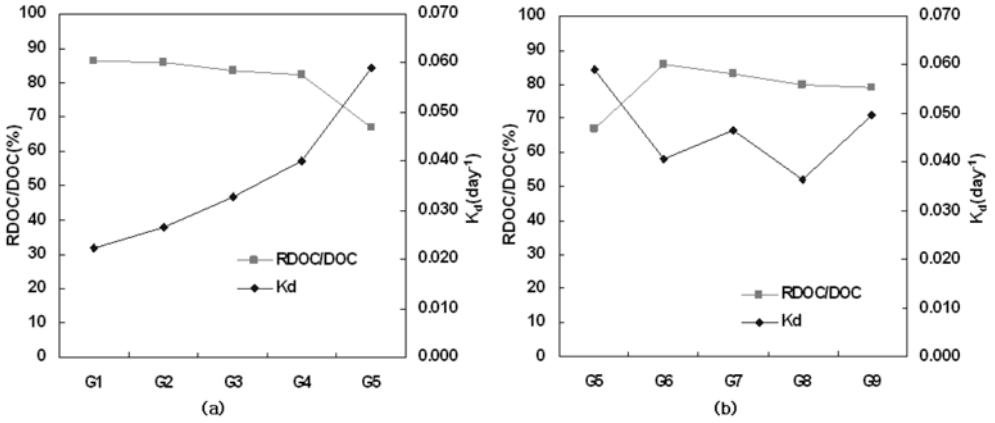

Fig. 4. The distribution of RDOC/DOC and decomposition rate of DOC in the Gwangjucheon(a) and Youngsan river main stream(b).

3.4. 유기물 분해속도

영산강 수계의 용존유기물의 평균 분해속도(K_d)는 조사기간 동안 전체 평균 0.043 day^{-1}으로 영산강 본류에서 평균 0.042 day^{-1}, 지류하천에서 0.043 day^{-1}로 조사되었으며 본류구간과 지류하천 간에 유의적인 차이는 없었다($p>0.05$). 조사지점 중 평균 분해속도가 가장 높은 지점은 G14 지점으로 0.064 day^{-1} 였으며, 가장 낮은 지점은 G1지점으로 0.022 day^{-1}로 나타났다(*Table* 5). 분해속도는 지점별, 시기별로 약간의 차이를 보였으며, G1 지점은 광주천 상류지점으로 조사기간 동안 분해속도가 0.003~0.046 day^{-1}로 나타났고 용존유기물에 대한 RDOC의 비율이 76%~97%로 전체 유기물중 생분해성 유기물질에 비해 난분해성 유기물질의 비율이 가장 높은 것으로 나타났다.

전체 하천수에서 DOC 중 RDOC의 평균 농도는 3.7 mgC/L로 조사되었으며, 비율은 평균 80.9%로 나타났다. 광주천 G1~G5 지점을 살펴보면 DOC에서 RDOC가 차지하는 비율과 분해속도 값과는 반비례 관계를 보였으나, 영산강 본류 지점에서는 뚜렷한 관계를 보이지 않았다(*Fig*. 4). 윤영삼 등[18]의 연구결과에 따르면 낙동강 수계에서 평균 분해속도는 0.127 day^{-1}로 나타났으며, 류동경 등[19]은 0.093 day^{-1}로 보고하고 있어 영산강 수계의 분해속도가 다소 낮은 특성을 나타냈다. 장창원 등[7]의 연구 조사에서는 금강수계에서 RDOC가 평균 77%로 LDOC는 23%정도인 것으로 보고하고 있고, 류동경 등[19]은 낙동강수계에서 RDOC가 평균 61.0%로 조사 보고한 바 있다. 본 연구 조사와 비교해 볼 때 영산강 수계는 금강수계와 유사한 수준이며, 낙동강수계보다 높은 RDOC 비율을 보인 것으로 나타났다. 일반적으로 강이나 하천의 경우 외부 육상으로부터 기원된 유기물의 유입이 많기 때문에 난분해성 유기물의 비율이 우세하게 나타난다.[20,21] 이러한 RDOC는 대부분 Hydrophobic acid (HPOA) 계열의 부식물질로서, 일반적으로 발생지역에 따라 큰 차이를 보이는 것으로 보고되고 있다. 프랑스의 Apremont 저수지의 경우 RDOC는 66%에 이르지만,[22] 반면 South Platte 강의 경우 30%,[23] Passaic 강은 단지 DOC의 12%만이 HPOA로 이루어져 있다고 보고한 바 있다.[24] 하수처리장 방류수에서 평균 분해속도는 0.028 day^{-1}로 하천수에 비해 낮은 분해속도를 나타냈다. 하수처리장에서 방류된 방류수는 생물학적 처리를 거쳐 방류되기 때문에 생분해성 유기탄소가 대부분 분해되어 난분해성의 비율이 높아져 상대적으로 분해속도가 느리게 나타난 것으로 판단된다.

기존 수질정책은 BOD 중심의 생분해성 유기물 관리에 중점을 두었으나 난분해성을 포함한 비점오염원 관리 등을 위해 난분해성 유기물의 지속적인 모니터링과 수질관리가 필요할 것으로 사료된다.

4. 결 론

본 연구에서는 하천수와 하수처리장 방류수를 대상으로 유기물 오염도와 분포 특성을 평가하고 수중 용존유기물에 대한 분해속도를 산정함으로써 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 광주지역 하천수의 유기물 오염도를 조사한 결과 평균 TOC농도는 5.0 mgC/L로 하수처리장 방류수의 TOC 평균 5.2 mgC/L보다 낮게 나타났다. 전지점에서

www.kci.go.kr

DOC 농도가 POC농도 보다 높게 나타났으며, TOC중 DOC가 차지하는 비율은 하천수에서는 평균 73.9%, 하수처리장 방류수는 88.7%를 보였다.

2. 하천수와 하수처리장 방류수의 TOC에 대한 BOD의 탄소산화율은 하천수에서는 45.0%, 하수처리장 방류수는 33.6%로 나타나 수중의 유기물량이 상당량 과소평가 되고 있어 유기물 총량관리를 위해 TOC로의 지표전환에 대한 연구가 더 필요할 것으로 판단되다.

3. 하천수에서 용존유기물의 평균 분해속도는 0.043 day^{-1}였으며, DOC중 RDOC의 비율은 평균 80.9%로 생분해성 유기물에 비해 난분해성 유기물의 비율이 상대적으로 높은 것으로 나타났다. 또한 SUVA값이 4 이하로 소수성의 방향족 고분자 유기물보다 친수성 저분자 유기물의 비율이 높은 것으로 나타났다.

본 연구 결과는 향후 TOC 기준설정에 필요한 기초자료 및 수질모델 프로그램 개발에 있어서 보다 신뢰성 있는 수질 및 모델계수 자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

1. Riemann, B. and Sondergaard, M., Regulation of bacterial secondary production in two eutrophic lakes and in experimental enclosures, *J. Plankton Res.*, **8**, 519-536(1986).
2. Thurman, E. M., Organic geochemistry of natural water, Dordrecht, The Netherland, 1985.
3. Wetzel, R. G, Limnology: Lake and river ecosystems, Academic Press, San Diego, USA, 1984.
4. Krasner, S. W., McGuire, M. H., Jacangelo, J. G., Patania, N. L., Reagan, K. M. and Aieta, E. M., The occurrence of disinfection by-products in US drinking water, *J. of Amer. Water. Asso.*, **81,** 41-53(1989).
5. Haslam, P. L., BAL standardization and measurement of a cellular components. *Eur. Resp. Rev.*, **8**, 1066-1071 (1998).
6. Wetzel. R. G., Limnology; Lake and river ecosystems, Academic Press, San Diego, USA, 2001.
7. 장창원, 김재구, 김동환, 김범철, 박주현, 금강수계에서 수중 유기탄소의 분포와 분해속도, 한국물환경학회지, **24**(2), 174-179(2008).
8. 김재구, 김범철, 정성민, 장창원, 신명선, 이윤경, 한강수계 농경지역 하천과 산림지역 하천에서 DOM과 POM의 분포 및 안정탄소동위원소 조성비, 한국육수학회지, **40**(1), 93-102(2007).
9. 환경부, 수질오염공정시험기준(2008).
10. 국립환경과학원, 정책결정자를 위한 수질관련 기준 비교분석, 환경부(2000).
11. 김재구, 신명선, 장창원, 정성민, 김범철, 한강수계 주요하천과 호수내 TOC와 DOC분포 및 BOD와 COD의 산화율 비교, 한국물환경학회지, **23**(1), 72-80(2007).
12. Fukushima, T., Park, J. C., Imai, A., and Matsushige, K., dissolved organic carbon in a eutrophic lake, dynamics, biodegradability and origin, *Aqua. Sci.*, **58**(2), 139-157(1996).
13. Ogura, N., Rate and extent of decomposition of dissolved organic matter in surface seawater. *Mar. Biol.*, **13**, 89-93(1972).
14. 정남인, 광주천 유하거리별 수질변화 특성 및 예측, 전남대학교 석사학위논문, 2007.
15. Koenings, J. P. and Hooper, F. F., In situ experiments on the dissolved and colloidal state of iron in an Acid Bog Lake, *Limmnol. Oceanogr.*, **21**, 684-696(1976).
16. 이유희, 소양호 용존유기물의 분포 및 분해특성에 관한 연구, 이학석사학위논문, 강원대학교, 1998.
17. Chin, Y. P., Aiken, G. R., and Danielsen, K. M., Binding of pyrene to aquatic and commercial humic substances: The role of molecular weight and aromaticity, *Environ. Sci. Technol*, 31(6), 1630-1635(1997).
18. 윤영삼, 유재정, 이철구, 김문수, 신찬기, 시기별 낙동강 본류의 용존유기물 분해특성, 대한상수도학회·한국물환경학회 공동 추계학술대회 논문집, 784-790(2006).
19. 류동경, 배상득, 장재용, 박제철, 류재근, 낙동강수계 수질오염총량관리 대상물질에 관한 연구-TOC 유기물 중심으로, 한국물환경학회·대한상수도학회 공동 춘계학술발표회 논문집, 1181-1188(2006).
20. Grieve, I, C. Seasonal, hydrological, and land management factors controlling dissolved organic carbon concentrations in the Loch Fleet catchments, southwest Scotland. *Hydrol. Processes*, **4**, 231-239(1990).
21. Meyer, J. L. Dissolved organic carbon dynamics in two subtropical blackwater rivers. *Arch. Hydrobial.*, **108**, 119-134(1986).
22. Agbekodo, K. Utilisation des Resines Macroporeuses XAD-8 et XAD-4 pour I'extraction st la Caracterisation du Carbone Organique Dissous D'une eau de Bar-

www.kci.go.kr

rage. Diplome d'Etudes Approfondies Chimie st Microbiologie de l'Eau, Universite de Poitiers, France., 1991.

23. Croue, J. P., Korshin, G. V., Leenheer, J. A. and Benjamin, M. M. Isolation fractionation and characterization of natural organic matter in drinking water. AWWARF report., 1998.
24. Marhaba, T. F. and Van, D. The variation of mass and disinfection by-product formation potential of dissolved organic matter fractions along a conventional surface water treatment plant. *J. Has, Mat*., **A74**, 133-147(2000).

www.kci.go.kr