Journal of Environmental Science International
27(4); 261~266; April 2018

pISSN: 1225-4517 eISSN: 2287-3503
https://doi.org/10.5322/JESI.2018.27.4.261

ORIGINAL ARTICLE

하수처리장 방류수에서 TOC와 COD 유기물관리

황석호 · 박제철*

금오공과대학교 환경공학과

Management of TOC and COD Organic Matter of Effluents in Sewage Treatment Plants

Seuk-Ho Hwang, Je-Chul Park*

Department of Environment Engineering, Kumoh national Institute of Technology, Gyeongbuk 39177, Korea

Abstract

In this study, the organic matter of effluents from sewage treatment plants, located in the Nakdong watershed was investigated. Regression equations were computed using treated sewage data to convert the chemical oxygen demand(COD) concentrations, which are mostly available from an open database, into total organic carbon(TOC) concentrations. The average concentration of organic matter in the sewage treatment plant effluents were 2.2～16.8 mg/L for COD and 3.4～14.3 mg/L for TOC. The concentrations of COD were positively correlated with the TOC concentrations. The correlation between COD and TOC was relatively high, at 0.865($p<0.01$). Based on these results, regression analysis was conducted. The regression equation for TOC was $1.651\times COD_{Mn}-0.084$ ($R^2=0.84$). Furthermore, organic matter-related databases for more sewage treatment plants need to be built in order to establish TOC standards and manage the water quality.

Key words : Sewage treatment plants, COD, TOC, Regression analysis

1. 서 론

산업발전과 도시화에 의한 생활수준의 향상은 오염물질을 증가시키는 원인이 되었고, 이로 인하여 하천・호소의 자정능력은 점진적으로 상실되고 있다. 이에 따라 국민건강보호 및 쾌적한 수 생태환경 조성을 위해 다양하게 발생하는 오염물질의 오염도를 판단하고, 수질정책 등을 결정하기 위해 여러 가지 수질오염 지표를 활용하여 관리하고 있다. 우리나라 수질환경기준의 유기물오염도 평가방법은 초창기에는 BOD(Biochemical Oxygen Demand), COD(Chemical Oxygen Demand)로 결정되었고, 하・폐수처리를 통한 수질관리의 대부분도 유기물관리 중심으로 발전되어 왔다(Han and Choi, 2011). 결국 우리나라의 수질관리는 유기물오염도로 평가하는 것이 일반화되었고, 1차 수질오염총량제 기간에도 BOD 항목이 목표수질의 척도가 되었다. 이와 같이 공공수역의 수질관리를 인간이 배출한 비교적 분해가 쉬운 BOD 유기물을

Received 12 February, 2018; **Revised** 1 March, 2018;
Accepted 12 March, 2018
***Corresponding author**: Je-Chul Park, Department of Environment Engineering, Kumoh national Institute of Technology, Gyeongbuk 39177, korea
Phone : +82-54-478-7633
E-mail : pjc1963@kumoh.ac.kr

ⓒ The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.
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.

관리하여 비교적 성공적이라 평가받아 왔다. 그러나 지표수(하천 및 호소)의 대부분은 상수원으로 이용되고 있고 특히 자연 및 인위적으로 생성된 난분해성의 유기물관리가 상수원에서는 특별관리 대상이지만 BOD 측정방법으로는 거의 알 수 없기 때문에 유기물 관리 측면에서 볼 때 큰 사각지대라 할 수 있다.

하천과 호소로 유입하는 유기물의 기원은 크게 환경기초시설 방류수로 대표되는 점오염원, 수계 내 토지 이용도와 관련이 깊은 외부 비점오염원(토양 및 식물쇄설물기원 등), 그리고 호소 및 하천 내 조류 증식에 의한 내부생성유기물로 구분할 수 있다(Seong and Park, 2012). 일본의 가수미가우라호 내 난분해성 물질 증가요인으로 하수처리장 방류수를 지적한 바 있으며(Imai et al., 2002), 국내에서는 팔당호 유입 지류 중 하나인 경안천 내 유기물 오염 부하의 원인으로 점오염원을 강조한 바 있다(Shin et al., 2000). 현재 수계 내 하수처리장 부하량에 대한 평가는 주로 COD에 의해 결정되고 있다. 그러나 COD 산화율은 수계 및 하폐수 내 유기물 성상에 따라 크게 달라질 수 있으며, 그 성상 또한 매우 복잡한 것으로 알려져 있다(MOE, 2008). 하수처리장 방류수에 포함된 난분해성 물질은 생분해성 물질에 비해 자정능력에 의한 정화나 제어가 어렵기 때문에 향후 수계의 유기물 오염도를 증가시키는 전구물질로 작용할 수 있다(Seong and Park, 2012).

최근 기존 유기물 지표인 COD의 대안으로 TOC (Total Organic Carbon) 농도가 논의되고 있으며 2006년에는 수질오염공정시험기준에 TOC 항목이 신설된 바 있다(MOE, 2008). 더욱이 TOC 농도는 저농도 범위에서도 정확도가 유지되며 유기물 성상에 따른 농도 변화 차이가 적고 연속측정 시 유리한 장점을 가지고 있어(Thurman, 1985), 향후 수질오염총량제 및 수환경 변화에 대비하여 유기물 항목으로 유리한 점을 지니고 있다. 이러한 측면에서 볼 때 하수처리장 방류수의 TOC 농도 자료를 축적하여 수계 내 유기물 관리를 위한 정책적 변화에 대처할 필요가 있을 것으로 보인다(Lee et al., 2010).

하수처리장의 유기물과 관련된 기존연구로는 하수처리장 방류수의 수질의 변동, 방류수의 영향 평가, 분포특성에 관한 연구(Hong and Sohn, 2004; Kwak et al., 2004; Byun et al., 2010; Seo et al., 2010), 처리효율 비교 및 유입수의 유기물 특성이 처리장 효율에 미치는 영향에 대한 연구(Lee et al., 2009), 유기물 지표로서의 적합성을 평가 및 특성분석, 농도간의 상관관계식을 구한(Lee et al., 2010) 연구가 있었다. 하지만 다양한 오염원에 따른 하수처리장 방류수의 유기물 특성을 조사한 국내 연구는 아직 부족한 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 낙동강수계 10개소 하수처리장 방류수의 COD와 TOC 유기물을 분석하였고, 하수처리장별 COD와 TOC 유기물의 상관관계 및 회귀분석을 실시하여 수질관리 정책의 기초자료로 활용하고자 한다.

2. 재료 및 방법

2.1. 조사대상지의 개요

본 연구는 낙동강 수계에 설치된 하수처리장 10개소를 대상으로 COD, TOC 유기물의 특성을 조사하였다. 연구대상 하수처리장은 지역별로 대구 6개소(A～F), 구미 3개소(G～I), 밀양 1개소로 선정하였으며(J), 각 하수처리장은 공통적으로 활성슬러지 처리방법을 채택하고 있었다. 이중 생활하수가 주 유입원인 하수처리장은 대구지역 4개소, 구미지역 1개소, 밀양지역 1개소 등 총 6개소였고, 생활하수+공단폐수는 대구지역 2개소, 구미지역 2개소 등 총 4개소였다. 이와 같이 본 연구에서는 하수처리장 방류수의 COD, TOC 유기물특성을 알아보기 위하여 각기 다른 유입수의 특성을 보이는 지역을 조사대상지로 선정하였다.

2.2. 조사방법

조사기간은 2014년 9월부터 2015년 3월까지 총 6회에 걸쳐 조사하였으며, 채수한 시료는 4℃ 이하로 냉장 보관하여 실험실로 운반하였다. COD 농도는 수질오염공정시험기준의 100℃ 과망간산칼륨법을 이용하여 측정하였고, TOC와 DOC(Dissolved Organic Carbon) 농도는 유기탄소분석기(Shimadzu TOC-VCHP)의 NPOC 방법을 이용하여 측정하였다(MOE, 2011). COD/TOC(%) 산화율은 COD로 산화되는 유기물의 양을 탄소량으로 환산하기 위하여 측정농도에 탄소와 산소의 무게 비인 12/32를 곱하고, 여기에 몰비인 1.1로 나누어 환산하였다.

Table 1. Analytical quality assurance of COD and TOC

numbers	Standard solution COD_{Mn} (mg/L)	COD_{Mn} (mg/L)	Oxidation coefficient (%)	Relative accuracy (%)	Standard solution TOC (mg/L)	TOC (mg/L)	Combustion coefficient (%)	Relative accuracy (%)
1	6.39	6.27	92.12	1.88	5.0	4.95	99.0	1.0
2		6.49	101.56	1.56		4.90	98.0	2.0
3		6.45	100.94	0.94		4.91	98.2	1.8
4		6.30	98.59	1.41		4.94	98.8	1.2
5		6.30	98.59	1.41		4.92	98.4	1.6
6		6.30	98.59	1.41		4.83	96.6	3.4
7		6.50	101.72	1.72		4.95	99.0	1.0
8		6.50	101.72	1.72		4.77	95.4	4.6
9		6.50	101.72	1.72		4.79	95.8	4.2
10		6.50	101.72	1.72		4.86	97.2	2.8
Average		6.42	99.73	1.55		4.88	97.6	2.4

3. 결과 및 고찰

3.1. COD_{Mn}와 TOC의 정도관리

COD와 TOC 측정방법의 정확성과 신뢰성을 검토하기 위해 표준물질을 이용하여 산화율과 상대정확도를 측정하였다(Table 1). COD 농도는 Mn 산화력, 온도, 유기물의 종류 등에 영향을 받는 것으로 알려져 있으며, 자연계의 유기물을 그대로 재현할 수 없기 때문에 Glucose를 이용하여 산화력을 측정하고 있다. 수질오염공정시험기준의 COD(이론적 60% 회수율) 산화율은 99.7%로 Mn으로 대부분 산화가 되는 것으로 확인 되었으며, 표준물질에 대한 상대정확도가 1.5% 정도로 측정값의 정확도와 신뢰성도 높게 나타났다. 또한, 본 연구에서는 TOC 측정방법의 정확성과 신뢰성을 검토하기 위해 표준물질로 프탈산 수소칼륨을 이용하였다. TOC 분석기에 의한 표준물질의 연소율은 97.6%로 대부분 연소산화 되는 것으로 나타났고, 표준물질에 대한 상대정확도가 2% 정도로 COD 측정방법과 같이 높은 정확성과 data의 신뢰성을 확인할 수 있었다.

3.2. 하수처리장별 분석결과

지역별 하수처리장 방류수의 COD와 TOC 평균 농도는 각각 2.2∼16.8 mg/L, 3.4∼14.3 mg/L로서 유입수의 성상별 특성에 따라 농도편차가 크게 나타났다(Table 2). 하수처리장중 생활하수가 많이 유입되는 대구지역 4개소(A, C, D, E), 구미, 밀양지역 각 1개소(G, J)의 COD와 TOC 평균 농도는 각각 2.2∼5.3 mg/L, 3.4∼4.5 mg/L로 비교적 낮은 농도를 나타냈고, 나머지 생활하수와 함께 공단폐수가 유입되는 4개소의 COD와 TOC 평균 농도는 각각 4.8∼16.8 mg/L, 7.1∼14.3 mg/L로 비교적 높은 농도를 보였다. 한강수계 하수처리장 방류수에서 측정된 이전 결과(COD 5.2∼11.2 mg/L, TOC 4.0∼9.3 mg/L)와 유사한 농도범위를 보이고는 있었으나 처리장별 유입수 특성과 처리공법에 따라 약간은 다른 경향을 보이고 있었다(Lee et al., 2010).

TOC 중 비교적 분해가 쉬운 COD 유기물이 차지하는 비율은 대구지역 6개소(A∼F)와 밀양지역(J) 하수처리장에서 20∼36%로 낮은 비율이었고, 구미지역 3개소 하수처리장에서 평균 66% 정도로 높게 나타났다. 낙동강수계 하수처리장별 방류수의 COD/TOC 비율은 평균 38%로 한강수계에서 측정된 약 42%보다는 약간 낮은 비율이었지만 거의 비슷한 결과를 나타내고 있었다(Lee et al., 2010). 하수처리장 방류수는 표준활성슬러지 방식으로 유기물을 처리하여 방류시키기 때문에 생분해성의 유기물은 대부분 처리되고 있지만 조사시기와 유입수의 특성에 따라 COD/TOC

Table 2. Concentration of COD and TOC for the effluents of sewage treatments plants(Mean±standard deviation)

STP	COD (mgO_2/L)	TOC (mgC/L)	COD/TOC (%)	STP	COD (mgO_2/L)	TOC (mgC/L)	COD/TOC (%)
A	4.8±0.1	7.1±0.1	28	F	6.1±0.2	9.9±0.3	25
B	6.8±0.2	14.3±0.4	20	G	5.3±1.2	3.6±0.5	60
C	2.2±0.1	4.5±0.2	20	H	16.8±7.2	13.3±3.3	52
D	2.5±0.1	3.7±0.1	28	I	15.0±1.8	7.2±1.6	85
E	3.0±0.1	3.4±0.1	36	J	7.7±0.2	10.7±0.3	30

* STP : Sewage Treatment Plant

비율은 처리장별로 약간의 차이가 있는 것으로 조사되었다. 이와 같은 결과로 볼 때, 겨울철에는 수온의 감소로 유기물의 분해속도가 늦어져 방류수의 COD 농도가 높아져 전반적으로 COD/TOC 비율이 높아지고, 또한 공장폐수 등 난분해성의 유기물이 다량 유입되는 처리장에서 유기물의 분해속도가 늦어져 COD/TOC 비율이 전반적으로 높아지는 것으로 나타났다.

3.3. 하수처리장 방류수의 유기물 항목별 상관관계

구미지역 하수처리장 방류수에서 측정된 유기물 항목 간의 상관성을 조사하였다(Table 3). 유기물 지표간의 상관성은 전반적으로 유의한 상관성을 보였고, 대부분 생분해성이고 일부 난분해성 유기물을 포함하는 COD 유기물은 DOC>BOD>TOC 순으로 높은 상관성을 보였고, 이와 반대로 난분해성을 많이 포함하고 일부 생분해성으로 구성되어 있는 TOC 유기물은 DOC>BOD>COD 순으로 높은 상관성을 나타냈다. 한강수계 하수처리장 방류수에서 COD와 TOC 유기물의 상관성을 조사한 결과 상관계수가 0.93 ($p<0.001$)으로 본 연구결과와 같이 높은 유의한 상관성을 나타냈다(Lee et al., 2010). 자연수계인 낙동강 지류하천 670개 지점에서 조사한 결과에서도 COD와 TOC 유기물의 상관계수는 0.796으로 상호 상관성이 높은 것으로 조사되었다(Kim et al., 2013). 이와 같이 COD, TOC 농도는 서로 높은 상관성을 보이고 있었으며, 이를 근거로 회귀분석한 결과를 Table 4에 나타내었다. 낙동강수계 하수처리장 방류수에서 산정된 회귀식 기울기는 1.651로 이전 한강수계의 하수처리장의 0.656 보다는 크고, 자연계 하천에서의 2.445 보다는 작은 기울기를 나타냈다. 이렇게 TOC 농도를 산정하는 회귀식의 기울기가 다른 이유는 시료에 포함된 유기물의 종류에 따라 달라지는데 분해가 쉬운 생분해성 유기물이 많아 COD 농도가 높은 경우에는 기울기가 크고, 이와 반대로 난분해성의 유기물이 많이 포함되어 COD 농도가 낮게 측정되는 경우에는 기울기가 낮게 나타난다고 할 수 있다. 그러나 본 연구와 이전 연구의 COD와 TOC 유기물의 상관관계를 분석한 결과자료가 제한적이고, 또한 지역별로 하수도 유형, 하수처리 방식, 하수처리장 규모, 유입수의 발생오염원 특성 등 다양한 조건에 따라 달라 질수 있으므로 앞으로 지속적인 모니터링을 통해 자료를 장기간 축적한다면 COD 유기물관리 뿐 만 아니라 TOC 기준 설정과 수질관리 정책에 크게 기여할 것으로 판단된다.

Table 3. Correlation coefficients among various organic matter parameters in sewage treatments plants in Gumi city

Parameters	COD	TOC	DOC	BOD
COD	-	0.865	0.980	0.925
TOC	0.865	-	0.998	0.991
DOC	0.980	0.998	-	0.991
BOD	0.925	0.991	0.991	-

($p<0.01$, p: significance level)

Table 4. Comparison of the Regression equations between COD and TOC

Watershed		Regression equations	Reference
River	Nakdong	TOC = 2.445 COD + 0.079	Kim et al., 2013
Sewage plants	Han	TOC = 0.656 COD + 2.234	Lee et al., 2010
	Nakdong	TOC = 1.651 COD - 0.084	This study

4. 결 론

낙동강수계 하수처리장 방류수의 COD, TOC 농도는 처리장으로 유입되는 하수특성에 따라 약간의 차이를 보였으며, 생활하수를 주로 처리하는 지역의 방류수에서 유기물 농도가 낮게 나타났고, 공단폐수가 포함된 하수를 처리하는 지역의 방류수에서는 유기물 농도가 전반적으로 높은 경향을 보였다. TOC(총유기물)에 대한 COD 유기물의 비율은 약 38%로 타 수계(42%)보다는 약간 낮은 비율이었지만 거의 비슷한 결과를 나타내고 있었다.

하수처리장 방류수의 COD와 TOC 농도간 상관관계는 유의한 상관성을 보였으며(상관계수 0.865, $p<0.01$), 두 유기물 지표간에 산정된 회귀식 TOC $=1.651\times COD_{Mn}-0.084$ ($R^2=0.84$)는 이전 한강수계의 하수처리장 조사결과보다는 크고, 하천에서의 결과보다는 작게 나타났다. 이러한 결과는 하수처리 방식, 하수처리장 규모, 발생오염원 특성 등 다양한 조건에 따라 달라 질수 있으므로 앞으로 국내 하수처리장을 대상으로 지속적인 모니터링을 통하여 자료를 장기간 축적하여 분석한다면 하천 및 호소의 COD 유기물관리 뿐 만 아니라 수질오염총량관리제 TOC 기준 설정과 하수처리장의 방류수의 배출기준 등 수질관리 정책에 크게 기여할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 금오공과대학교 학술연구비에 의하여 연구된 논문임(2015-104-105).

REFERENCES

Byun, J. D., Kim, T. D., Jung, B. H., Shin, T. S., Kim, H. O., 2010, TOC as a potential index for organic contents of wastewater treatment plant effluents, J. Korean Soc. Environ. Analy., 13(2), 99-103.

Han, D. H., Choi, J. Y., 2011, Selection of the optimum organic matter index for the surface water quality management, Korea Environment Institute, 10(4), 61-80.

Hong, J. H., Sohn, J. S., 2004, Treatment efficiency and organic matter characterization of wastewater through activated sludge process and advanced wastewater treatment process, J. Korean Soc. of water and wastewater, 18(6), 807-813.

Imai, A., Fukushima, T., Matsushige, K., Kim, Y. H., Choi, K., 2002, Characterization of dissolved organic matter in effluents from wastewater treatment plants, Wat. Res., 36(4), 859-870.

Kim, H. S., Hong, J. J., Seong, J. U., Choi, K. S., Park, J. C., 2013, Comparison of organic matter distribution in major tributaries of the Nakdong river, Korean Soc. Wat. Environ., 29(5), 618-624.

Kwak, M. A., Jung, J. H., Eo, S. M., Lee, H. K., 2004, The assesment on the effects of discharge and variation of water quality from sewage treatment plants in Seoul, Korean Jour. Sani., 19(3), 1-13.

Lee, T. H., Lee, B. M., Hur, J., Jung, M. S., Kang, T. G., 2010, Conversion of COD_{Mn} into TOC and refractory organic matter concentrations for treated sewage using regression equations, J. Korean Soc. Wat. Qual., 26(6), 969-975.

Lee, T. H., Park, M. H., Lee, B. M., Hur, J., Yang, H. J., 2009, Effects of the characteristics of influent wastewater on removal efficiencies for organic matters in wastewater treatment plants, J. Korean Soc. Wat. Qual., 25(5), 674-681.

Ministry of Environment(MOE), 2008, http://www.me.go.kr

Ministry of Environment(MOE), 2011, http://www.me.go.kr

Seo, H. J., Kang, Y. J., Min, K. W., Lee, K. S., Seo, G. Y., Kim, S. H., Paik, K. J., Kim, S. J., 2010, Characteristics of distribution and decomposition of organic matters in stream water and sewage effluent, Analy. Sci. &

Tech., 23(1), 36-44.
Seong, J. U., Park, J. C., 2012, Effects of sewage effluent of organic matters of Nakdong river: Comparison of daily loading, Korean J. Limnol., 45(2), 210-217.
Shin, J. K., Cho, J. L., Hwang, S. J., Cho, K. J., 2000, Eutrophication and water pollution characteristics of the Kyongan stream to Paltang reservoir, Korean J. Limnol., 33(4), 387-394.
Thurman, E. M., 1985, Organic geochemistry of natural water, Kluwer Academic Publishers, 25-2-185.