

공공하수처리시설 유입수 및 방류수에서 TOC와 유기물질 관리지표간의 상관성 분석

손동진¹, 정동환², 박규홍^{3*}

¹국립환경과학원 상하수도연구과 박사후연구원, ²국립환경과학원 상하수도연구과 환경연구관, ³중앙대학교 건설환경플랜트공학과 교수

Correlation analysis between TOC and organic matter indices in influent and effluent of public sewage treatment facilities

Dong-Jin Son¹, Dong-Hwan Jeong², Kyoo-Hong Park^{3*}

¹Postdoctoral researcher, Water Supply and Sewerage Research Division,
National Institute of Environmental Research

²Research manager, Water Supply and Sewerage Research Division, National Institute of Environmental Research

³Professor, Department of civil Environmental and Plant Engineering, Chung-Ang University

요약 2021년부터 총유기탄소(TOC)가 국내 공공하수처리시설의 새로운 유기물질 기준 지표로 선정됨에 따라, 기존 유기물질 관리지표(DOC, BOD₅, COD_{Mn}, COD_{Cr})와의 상관성 분석을 통해 TOC의 적용 타당성 평가가 필요하다. 본 연구에서는 500개소 공공하수처리시설을 공정 및 시설용량에 따라 구분하여 유입 및 방류수에 대한 유기물질 관리지표간의 상관성 분석을 실시하였다. 다른 유기물질 관리 지표 대비 유입수와 방류수 내 화학적 산소요구량(COD_{Mn})과 TOC간 농도비와 결정계수(R²)는 상대적으로 높았다. 유기물질 관리지표간의 상관성 결과는 새로운 기준으로 도입된 TOC와 관련된 다양한 연구 수행에 기초자료로 활용될 것으로 기대된다.

주제어 : 총유기탄소, 상관분석, 유기물질 관리지표, 공공하수처리시설, 수질기준

Abstract As the total organic carbon (TOC) becomes a new water quality standard as an organic matter (OM) index for public sewage treatment facilities (PSTFs) in Korea from 2021, a comparison study needs to be conducted by examining the correlation between TOC and the existing OM indices (DOC, BOD₅, COD_{Mn}, COD_{Cr}). 500 PSTFs were categorized by process configuration and capacity, and correlation between OM indices in influent and effluent was analyzed. The COD_{Mn}/TOC showed higher correlation than other OM indices. This results can be used to basic data for various research associated with TOC.

Key Words : Total organic carbon (TOC), Correlation analysis, Organic matter indices (DOC, BOD₅, COD_{Mn}, COD_{Cr}), Pubic sewage treatment facilities, Water quality standard

1. 서론

최근 하천 및 호소 등 공공수역의 난분해성 유기물질의 농도가 증가하는 추세와 더불어 산업폐수와 생활하

수를 처리하는 시설들의 공공수역 방류에 따른 영향, 관리수단의 고도화, 분석의 신속·편리성, 국제적 통용성 측면에서 생물화학적 산소요구량 (Biochemical oxygen demand, BOD) 중심의 유기물질 관리 정책의 지속성

*This research was funded by National Institute of Environmental Research, Republic of Korea (No. NIER-2017-04-02-014, NIER-2018-04-02-036).

*Corresponding Author : Kyoo-Hong Park(kpark@cau.ac.kr)

여부와 난분해성물질의 관리를 위한 화학적산소요구량-과망간산칼륨법 (COD_{Mn}) 등 기존 유기물질 관리지표의 적정성에 대한 부정적인 의견과 함께 새로운 지표에 대한 요구가 제기되어 왔다[1,2]. 이중 대표적인 대안 항목으로 총유기탄소 (Total organic carbon, TOC)가 새롭게 부각되면서 이에 대한 적용가능성 및 타당성을 확인하기 위한 활발한 연구가 진행되었다[2-6].

EU의 도시 하·폐수처리지침 (91/271/EEC)에서는 TOC를 유기물질 관리지표로 사용가능함을 명시하였으나 제시된 기준 값은 없으며 도시 하·폐수의 BOD에 대해 상관관계가 성립되는 경우에 한하여 TOC를 사용하도록 예외규정을 두고 있다[7]. 독일의 폐수법 (Wastewater ordinance, AbwV)에 의하면, 폐수배출허가에 지정된 COD_{Cr} 값은 mg/L 단위로 표시된 TOC 값의 4배를 초과되지 않았을 때 기준을 달성한 것으로 간주된다고 규정하고 있다[8]. 즉, 하수의 경우 EU 하수도지침에 의해 COD_{Cr} 농도가 125 mg/L로 지정되어 있기 때문에 어떤 처리시설 방류수 TOC 농도가 31.25 mg/L 이하인 경우에는 기준을 초과하지 않은 것으로 본다고 해석할 수 있다. 미국의 국가오염물질 배출규제제도(National Pollutant Discharge Elimination System, NPDES)에서는 공공하수처리시설 2차침전지 유출수의 기본항목 (5-days BOD, BOD₅ 또는 Carbonaceous BOD₅, CBOD₅; Total suspended solids, TSS)에 대한 기준을 30일 평균, 7일 평균으로 구분하여 제시하고 있다. 비록 BOD 농도가 기준값으로 제시되어 있으나, 장기간의 BOD:TOC의 상관관계가 나타나면 BOD 대신 TOC를 대체하여 사용할 수 있도록 규정하고 있다[9]. 한편, 미국 Instrumentation Testing Association (ITA)는 5개의 공공하수처리시설에 대한 조사연구를 통해 TOC와 BOD₅의 상관성을 분석하여 특정한 하수처리시설에 한하여 적용하는 방안의 지침(Implementation protocol)을 제시하였다[10].

국내에서는 2013년에 환경정책기본법의 하천과 호수의 생활환경기준에 TOC가 도입되어 COD_{Mn}와 병행하여 사용되다가 2016년부터는 TOC가 COD_{Mn}을 대체하게 되었다. 이와 연계하여 폐수처리시설과 하수처리시설에서 공공수역으로 방류되는 방류수의 TOC에 대한 규제가 필연적이라는 이슈가 제기되었다[5]. 한편, 물환경보전법 하위법령 개정안의 입법예고 (2018년

10월 개정 공포 및 2019년 5월 개정 입법예고)를 통해 산업폐수 관리를 위해 폐수배출허용기준 및 공공폐수처리시설의 방류수 수질기준을 COD_{Mn}대신 TOC로 전환하여 관리하기로 결정하였으며, 2019년 7월에는 공공하수처리시설 및 분뇨처리시설의 방류수 COD_{Mn}을 TOC로 대체하여 변경·관리하기 위해 입법예고하여 2021년부터 방류수 TOC 기준을 도입하고자 하였다. 이러한 제도 도입을 위해서 국립환경과학원에서는 2013-2014년 TOC 기준설정을 위한 연구를 수행하였으며[5], 2017년 5월부터 2019년 5월까지 50 m³/일 미만, 50 m³/일 이상 500 m³/일 미만, 500 m³/일 이상의 총 500개소 공공하수처리시설에 대해 조사·분석하였다[11,12].

본 연구에서는 앞서 언급한 2017년부터 2019까지 실시한 2년에 걸친 공공하수처리시설 유입수 및 방류수 내 유기물질 관리지표에 대한 데이터를 바탕으로 2021년부터 공공하수처리시설 방류수질기준으로 도입된 TOC와 유기물질 관리지표간의 상관성 분석 결과를 제시하였다. TOC와 비교할 대상의 기존 유기물질 관리지표로는 용존유기탄소 (Dissolved organic carbon, DOC), BOD₅, COD_{Mn}, 화학적 산소요구량-다이크롬산칼륨법 (COD_{Cr})을 선정하였다. 또한, 시설 용량, 공법 등 공공하수처리시설의 특성을 고려한 유기물질 관리지표간의 상관성을 파악하고자 하였다.

2. 연구방법

본 연구의 TOC 모니터링을 위한 공공하수처리시설 선정을 위해 공공하수처리시설 운영조사 결과[1]와 하수도통계[13] 자료를 이용하여, 소규모, 중규모 대규모 시설을 각각 50 m³/일 미만, 50 m³/일 이상 500 m³/일 미만, 500 m³/일 이상으로 구분하였다. 1차년도에는 공공하수처리시설 50 m³/일 미만, 50 m³/일 이상 500 m³/일 미만, 500 m³/일 이상 시설 150, 90, 60 개소를 각각 선정하여 유입수와 방류수의 유기물질 관리지표 항목을 계절별로 연 4회 측정하였다. 2차년도에는 1차년도에 선정되었던 시설을 제외한 별도의 50 m³/일 미만, 50 m³/일 이상 500 m³/일 미만, 500 m³/일 이상 공공하수처리시설에 대해 각각 100, 50, 50개소를 연 4회 조사, 분석하였다. Fig. 1에서는 본 연구에서 조사한 공공하수처리시설의 위치를 나타내었다.

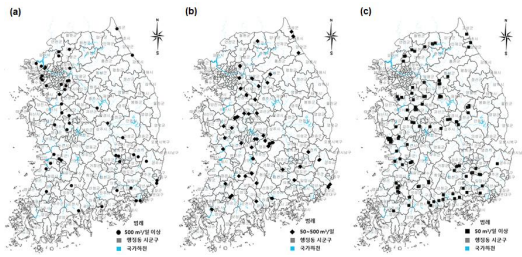


Fig. 1. Location of target PSTFs (a) Capacity over 500 m³/d, (b) Capacity between 50 m³/d and 500 m³/d, and (c) Capacity below 50 m³/d

500 m³/일 이상의 공공하수처리시설은 하수처리시설 운영조사 결과[1]를 기반으로 국립환경과학원[5]에서 제시한 분류기준을 같은 방법으로 적용하여 분류하였다. 연계처리 여부에 따라 각각 단독처리와 연계처리로 구분 후, 다시 합류식과 분류식 및 연계처리대상 폐수의 성상을 고려하여 세분화하였고, 세분화된 공공하수처리시설을 적용된 처리공법별 특이성을 고려하여 Anaerobic/Anoxic/Oxic (A²O), Media, Sequencing batch reactor (SBR), Membrane bioreactor (MBR) 등 주요 공법으로 분류하여 조사대상을 선정하였다.

500 m³/일 미만 공공하수처리시설에서 사용되는 수처리공법은 SBR, MBR, ASSFR, KM-SBR, HANS-SBR, BSTS-II, Biostyr, SMMIAR 등 수많은 공법이 사용되고 있어, 상기 공법을 A²O, Media, SBR, MBR, 산화구, 특수미생물, 활성미생물로 계열화 분류를 수행하였다. 분류기준은 하수도정비기본계획·공공하수처리시설 기술검토 사례집[14]을 참고하여 수행하였다. 하수도통계에서는 공법 미분류 시설과 공법 구분이 어려운 시설은 기타로 분류하였다.

본 연구에서는 전국적으로 분포되어 있는 공공하수처리시설로부터 동일한 계절의 시료를 단기간에 채수하기 위해 조사대상 공공하수처리시설을 4개 권역(서울·경기·강원, 충청남·북도, 전라남·북도, 경상남·북도)으로 구분해 5개 채수 전담팀 (배송팀 포함)을 연 4회 (봄, 여름, 가을, 겨울) 운영하였다. 시료채취는 수질오염공정시험기준[15]에 따라 분석대상 시료로 3회 이상 세척한 후 공기에 의한 영향을 배제할 수 있도록 채수병에 시료를 완전히 채워 운반 시 폭기가 되지 않도록 하였고 4℃ 이하의 냉장상태로 운반하였다. 시료분석 또한 수질오염공정시험기준[15]을 따랐으며, TOC, DOC, BOD₅, COD_{Mn}, COD_{Cr}의 5가지 유기물질 항목

을 측정하였다. 정도관리는 정밀도와 정확도 분석을 통해 실시하였으며, 정밀도의 경우 현장에서 연달아 두 번 채취한 시료의 항목별 측정값의 상대표준편차가 15-25% 이하가 되도록 하였으며, 정확도의 경우 정제수에 표준물질을 검정곡선의 중간농도로 첨가한 2개 시료를 실제 시료와 같은 방법에 따라 분석한 후 측정된 농도를 첨가된 농도의 백분율로 회수율을 측정하였다. 또한, 실험실간 비교시험을 통해 데이터의 교차검증을 실시하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 공공하수처리시설의 유기물질 처리특성

조사대상 공공하수처리시설의 유입수와 방류수의 평균 수온은 각각 17.3 (±6.4)℃ 및 17.8 (±6.74)℃로 조사되었고, 유입수와 방류수의 평균 pH는 7.1 (±0.4) 및 7.1 (±0.5)로 조사되었다. 공공하수처리시설의 유기물질 처리특성은 Table 1과 같이 공법에 따라 차이가 존재하였으나, 방류수 내 TOC, DOC, BOD₅, COD_{Mn}, COD_{Cr}의 평균농도는 각각 4.9-7.8 mg/L, 4.3-6.1 mg/L, 2.1-6.4 mg/L, 6.6-9.9 mg/L, 15.0-25.2 mg/L로 나타났으며 처리공법에 관계없이 정상상태의 운영을 확인할 수 있었고, MBR 공법을 적용한 시설에서 상대적으로 더 안정적인 유기물질 제거가 이루어짐을 알 수 있었다.

Table 1. Organic removal characteristics of target public sewage treatment facilities (PSTFs) [Notation: minimum-maximum (average±standard deviation), unit: mg/L]

Process		TOC	DOC	BOD ₅	COD _{Mn}	COD _{Cr}
SBR	Influent	7.1-257.2 (74.7±49.1)	3.4-118.6 (30.7±19.7)	4.0-444.0 (103.1±79.0)	5.6-233.3 (64.5±43.0)	22.6-739.2 (253.5±165.2)
	Effluent	0.4-52.8 (7.4±7.8)	0.4-26.0 (5.2±3.2)	0.1-71.0 (6.2±1.6)	1.7-49.0 (9.2±6.7)	3.0-168.5 (22.9±23.4)
A ² O	Influent	1.7-293.7 (70.0±48.3)	1.0-122.0 (33.2±21.9)	0.8-465.0 (91.2±73.4)	2.7-246.9 (61.4±41.9)	5.4-938.2 (233.7±161.1)
	Effluent	1.0-96.1 (7.9±1.2)	0.9-84.9 (6.1±7.3)	0.2-174.3 (6.4±7.0)	2.0-81.7 (9.9±9.9)	3.5-324.6 (25.2±37.4)

Table 1. Continued...

Process		TOC	DOC	BOD ₅	COD _{Mn}	COD _{Cr}
Mda	Influent	4.0-276.5 (67.6±52.0)	3.4-177.1 (32.3±28.6)	2.2-445.0 (90.8±82.1)	5.1-236.7 (59.8±45.3)	12.8-974.2 (230.5±179.7)
	Effluent	0.4-46.3 (6.4±5.2)	0.4-18.8 (5.0±2.7)	0.1-74.6 (4.5±6.8)	1.2-44.5 (8.5±4.9)	2.5-150.3 (20.2±16.0)
MBR	Influent	15.9-228.9 (89.7±48.9)	8.2-96.3 (38.0±20.9)	11.6-326.3 (123.3±76.9)	17.8-194.8 (79.4±45.5)	54.6-783.7 (300.4±170.2)
	Effluent	1.2-14.7 (4.9±2.4)	1.2-10.1 (4.3±1.8)	0.1-10.0 (2.1±2.3)	2.2-13.1 (6.6±2.1)	5.6-42.1 (15.0±7.0)
others	Influent	7.4-224.6 (59.5±44.8)	5.3-202.0 (29.5±27.5)	3.8-313.0 (75.7±69.3)	7.2-226.0 (53.1±40.7)	20.8-724.6 (207.3±160.0)
	Effluent	1.8-39.8 (7.8±6.6)	1.2-21.4 (5.4±2.8)	0.1-29.7 (6.1±7.3)	2.3-28.9 (9.2±5.0)	5.8-117.6 (23.3±20.1)

하수처리시설 규모에 따른 방류수 내 유기물질 농도를 살펴보면 500 m³/일 이상 공공하수처리시설의 방류수 내 유기물질의 평균농도는 TOC 6.1 (±2.1) mg/L, DOC 5.5 (±1.8) mg/L, BOD₅ 3.0 (±1.7) mg/L, COD_{Mn} 8.0 (±2.9) mg/L, COD_{Cr} 18.7 (±7.5) mg/L로 나타났다. 방류수역 구분에 따라 세분화하여 살펴보면 (Table 2), I지역의 경우 TOC 5.0 (±1.4) mg/L, DOC 4.6 (±1.3) mg/L, BOD₅ 2.3 (±1.1) mg/L, COD_{Mn} 6.4 (±2.2) mg/L, COD_{Cr} 15.0 (±4.6) mg/L, II지역의 경우 TOC 5.2 (±1.2) mg/L, DOC 4.8 (±1.0) mg/L, BOD₅ 2.6 (±1.2) mg/L, COD_{Mn} 6.9 (±1.7) mg/L, COD_{Cr} 15.8 (±4.2) mg/L, III지역의 경우 TOC 6.0 (±2.8) mg/L, DOC 5.4 (±2.3) mg/L, BOD₅ 2.8 (±2.1) mg/L, COD_{Mn} 7.7 (±3.5) mg/L, COD_{Cr} 18.4 (±9.2) mg/L, IV지역의 경우 TOC 7.3 (±1.8) mg/L, DOC 6.7 (±1.6) mg/L, BOD₅ 3.8 (±1.7) mg/L, COD_{Mn} 10.0 (±2.4) mg/L, COD_{Cr} 23.1 (±7.1) mg/L으로 조사되었다.

50 m³/일 이상 500 m³/일 미만 시설의 방류수 내 유기물질 평균농도는 TOC 7.5 (±10.5) mg/L, DOC 5.5 (±6.4) mg/L, BOD₅ 5.9 (±15.5) mg/L, COD_{Mn} 9.4 (±8.6) mg/L, COD_{Cr} 23.8 (±34.5) mg/L이었으며, 50 m³/일 미만 시설의 방류수 내 유기물질 농도는 TOC 7.5 (±8.7) mg/L, DOC 5.3 (±4.9) mg/L, BOD₅ 6.6

(±12.6) mg/L, COD_{Mn} 9.4 (±7.8) mg/L, COD_{Cr} 23.5 (±27.6) mg/L이었다. 하수처리시설의 규모 및 유입수의 농도 변화에 영향을 받지 않고 비교적 안정적인 유기물질 제거가 이루어지고 있음을 알 수 있었다.

Table 2. Concentration of organic matter indices in influent and effluent according to discharge water body classification [Notation: minimum-maximum (average±standard deviation), unit: mg/L]

(a) Influent						
Capacity (m ³ /d)	Water body classification	TOC	DOC	BOD ₅	COD _{Mn}	COD _{Cr}
≥ 500	I	14.3-161.6 (89.0±34.7)	4.9-103.7 (43.1±18.4)	17.3-201.6 (116.5±6.7)	15.1-142.8 (80.6±32.2)	48.1-540.1 (311.8±118.8)
	II	12.0-293.7 (93.0±52.7)	8.7-122.0 (45.6±22.5)	14.8-308.0 (120.4±6.2)	15.1-246.9 (84.6±44.8)	45.2-938.2 (322.6±174.8)
	III	28.5-177.3 (103.3±32.2)	8.9-122.9 (49.9±19.3)	44.0-267.0 (135.3±5.5)	30.4-150.0 (88.3±27.2)	110.3-615.3 (362.6±108.0)
	IV	32.1-276.5 (88.7±43.1)	12.9-177.1 (48.8±29.4)	32.6-337.2 (119.2±5.8)	30.2-236.7 (80.8±38.5)	121.8-974.2 (318.3±155.0)
50 - 500		7.4-257.2 (92.8±53.8)	3.4-146.0 (37.5±23.9)	3.8-465.0 (133.6±9.2)	5.6-233.3 (79.2±47.5)	20.8-783.7 (311.0±179.9)
< 50		1.7-229.3 (48.3±39.9)	1.0-202.0 (22.4±19.4)	0.8-416.0 (60.7±63.7)	2.7-226.0 (42.8±35.3)	5.4-782.6 (158.8±132.3)

(b) Effluent						
Capacity (m ³ /d)	Water body classification	TOC	DOC	BOD ₅	COD _{Mn}	COD _{Cr}
≥ 500	I	3.3-9.6 (5.0±1.4)	2.9-8.9 (4.6±1.3)	0.7-5.6 (2.3±1.1)	3.3-13.5 (6.4±2.2)	8.9-28.6 (15.0±4.6)
	II	3.1-8.2 (5.2±1.2)	2.8-7.3 (4.8±1.0)	0.8-5.6 (2.6±1.2)	3.5-10.6 (6.9±1.7)	8.1-29.5 (15.8±4.2)
	III	2.7-14.7 (6.0±2.8)	2.5-11.9 (5.4±2.3)	0.7-9.5 (2.8±2.1)	3.5-19.1 (7.7±3.5)	8.2-46.5 (18.4±9.2)
	IV	4.5-12.3 (7.3±1.8)	4.2-11.9 (6.7±1.6)	1.0-7.4 (3.8±1.7)	5.3-18.2 (10.0±2.4)	6.2-41.8 (23.1±7.1)
50 - 500		1.1-96.1 (7.5±10.5)	1.0-84.9 (5.5±6.4)	0.1-174.3 (5.9±15.5)	1.8-81.7 (9.4±8.6)	3.5-324.6 (23.8±34.5)
< 50		0.4-70.3 (7.5±8.7)	0.4-60.7 (5.3±4.9)	0.1-151.2 (6.6±12.6)	1.2-77.1 (9.4±7.8)	2.5-251.2 (23.5±27.6)

3.2 유입수 및 방류수 내 TOC와 유기물질 관리지표 간의 상관관계

공공하수처리시설의 유입수 및 방류수 내 유기물질 관리지표간의 상관관계를 파악하기 위하여 유입수와 방류수 수질결과를 활용하여 Table 3과 같이 유기물질 관리지표간의 상관계수를 SPSS를 이용하여 계산하였다. 공공하수처리시설의 유입수 내 TOC와 높은 상관관계를 나타내는 유기물질 관리지표는 COD_{Cr}, COD_{Mn}, BOD₅, DOC 순이었고, 방류수 내 TOC와 높은 상관관계를 나타내는 유기물질 관리지표는 COD_{Cr}, DOC, COD_{Mn}, BOD₅ 순으로 나타났다. DOC와 TOC의 상관관계를 살펴보면 유입수 대비 방류수에서 두 지표간의 상관성이 급격하게 증가하였는데, 이는 여과과정을 제외한 실험법이 동일한 두 지표의 농도차이가 하수처리과정을 거치면서 고형물에 기인한 입자성 유기물질의 감소에 의해 줄어든 결과라 평가하였다. 한편, TOC가 생물학적으로 분해 가능한 유기물질과 난분해성 유기물질까지 포함하는 지표이기 때문에, 생물학적으로 분해가 어려운 유기물질의 잔류에 의해 유입수 대비 방류수에서 BOD₅와 TOC 상관성이 급격하게 감소한 것으로 판단하였다.

Table 3. Correlation of TOC and other organic matter indices

(a) Influent					
Parameters	TOC	DOC	BOD ₅	COD _{Mn}	COD _{Cr}
TOC	1.000				
DOC	0.884	1.000			
BOD ₅	0.965	0.865	1.000		
COD _{Mn}	0.976	0.885	0.954	1.000	
COD _{Cr}	0.992	0.878	0.965	0.975	1.000
(b) Effluent					
Parameters	TOC	DOC	BOD ₅	COD _{Mn}	COD _{Cr}
TOC	1.000				
DOC	0.962	1.000			
BOD ₅	0.676	0.597	1.000		
COD _{Mn}	0.895	0.874	0.713	1.000	
COD _{Cr}	0.969	0.931	0.677	0.882	1.000

시설 규모별로 각 유기물질 지표간의 상관성을 살펴보면 500 m³/일 이상 공공하수처리시설에서는 유입수 내 DOC를 제외한 BOD₅, COD_{Mn}, COD_{Cr}와 TOC와의

선형관계 결정계수 (R²)는 각각 0.9269, 0.9075, 0.9429로 높은 선형관계를 이루고 있었다 (Fig. 2). 방류수 내 TOC와 가장 높은 상관관계를 나타내는 유기물질 관리지표는 DOC로 두 유기물질 관리지표간의 R² 값은 0.9340이었으며, TOC와 다른 유기물질 관리지표들과의 R² 값을 상회하였는데, 이는 앞서 언급한 바와 같이 생물학적으로 분해가 어려운 유기물질의 잔류에 의해 유입수 대비 방류수에서 상관성이 급격하게 감소함에 따른 결과로 판단된다. 하수에 비하여 BOD₅ 농도가 낮은 하천수 및 호소수를 대상으로 각 유기물질 관리지표의 상관성을 연구한 Lee 등[16]의 연구에서도 TOC와 BOD₅간의 상관성이 가장 낮음을 보고하였으며, TOC와 COD간의 상관성이 상대적으로 높은 것은 두 지표가 생물학적으로 분해 가능한 유기물질 뿐 아니라 난분해성 유기물질까지 포함하기 때문임을 알 수 있다[17].

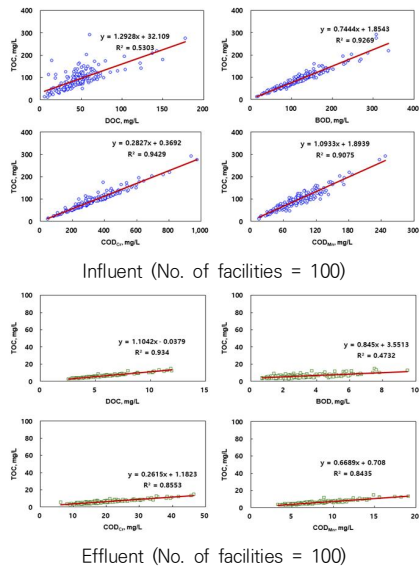


Fig. 2. Correlation of TOC and other organic matter indices in influent and effluent of target PSTFs (capacity over 500 m³/d)

한편, 50 m³/일 이상 500 m³/일 미만 시설과 50 m³/일 미만 시설의 유입수 내 TOC와 높은 상관관계를 나타내는 유기물질 관리지표는 COD_{Cr}으로 R² 값은 각각 0.9705와 0.9722로 나타났으며 방류수 내 TOC와 높은 상관관계를 나타내는 유기물질 관리지표 또한 COD_{Cr}으로 0.9946 및 0.9787 이었다. 50 m³/일 이상 500 m³/일 이하 시설에서의 TOC와 다른 유기물질

관리지표와의 상관성은 하수처리가 진행됨에 따라 모두 증가하였으며 (Fig. 3), 50 m³/일 이하의 시설의 경우, 유입수 및 방류수 내의 TOC와 다른 유기물질 관리지표와의 상관성의 변화 추세가 500 m³/일 시설의 결과와 유사하였다 (Fig. 4).

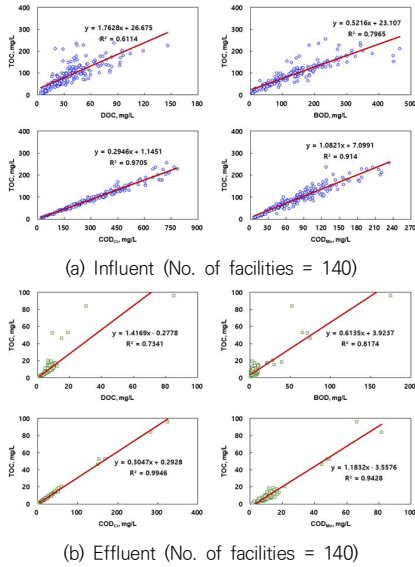


Fig. 3. Correlation of TOC and other organic indices in influent and effluent of target PSTFs (capacity between 50 m³/d and 500 m³/d)

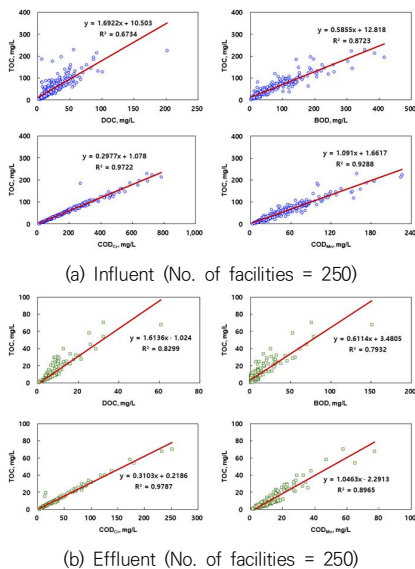


Fig. 4. Correlation of TOC and other organic indices in influent and effluent of target PSTFs (capacity below 50 m³/d)

Table 4에서는 시설용량별 유입수 및 방류수 내 유기물질 관리지표간의 농도비를 나타내었다. 농도비가 1에 가까울수록 동일한 시료에 대한 두 유기물질 관리지표의 농도 값이 일치한다고 해석할 수 있고, DOC를 제외한 유기물질 관리지표 중에서 TOC와 농도가 가장 유사하게 측정된 유기물질 관리지표는 COD_{Mn}으로 나타났다. 즉, COD_{Mn} 대신 새로이 유기물 관리지표로 방류수 수질기준에 추가된 TOC는 기존의 유기물 관리지표인 COD_{Mn} 농도와의 차이가 가장 적어, 기존의 방류수 수질기준을 준수하는 시설은 TOC 방류수 수질 기준도 충분히 준수할 수 있음을 시사한다.

Table 4. Concentration ratio among the organic matter indices

Capacity (m ³ /d) (No. of facilities)	Influent				Effluent			
	DOC/TOC	BOD ₅ /TOC	COD _{Mn} /TOC	COD _{Cr} /TOC	DOC/TOC	BOD ₅ /TOC	COD _{Mn} /TOC	COD _{Cr} /TOC
≥ 500 (110)	0.52	1.32	0.91	3.55	0.92	0.49	1.32	3.07
50 - 500 (140)	0.43	1.36	0.87	3.35	0.85	0.61	1.47	3.17
< 50 (250)	0.52	1.11	0.94	3.29	0.82	0.72	1.51	3.19

4. 결론

본 연구에서는 2017년 5월부터 2019년 5월까지 2년에 걸쳐 공공하수처리시설의 유입수 및 방류수에 대한 유기물질 분석을 실시하였고, 그 결과를 바탕으로 2021년부터 공공하수처리시설의 방류수 수질기준으로 도입되는 TOC와 다른 유기물질 관리지표와의 상관성 분석을 실시하였다. 공공하수처리시설 유입수 내 각 유기물질 관리지표의 농도를 바탕으로 TOC와 높은 상관관계를 나타내는 유기물질 관리지표는 COD_{Cr}, COD_{Mn}, BOD₅, DOC 순이었고, 방류수 내 TOC와 높은 상관관계를 나타내는 유기물질 관리지표는 COD_{Cr}, DOC, COD_{Mn}, BOD₅ 순으로 나타났다. 또한, 고형물 및 난분해성 유기물질에 의해 TOC와 유기물질 관리지표간의 상관성이 변화함을 확인할 수 있었다. 본 연구에서 제시한 TOC와 유기물질 관리지표간의 상관성 결과를 통하여 하수 시료에 대한 유기물질 관리지표간의 관계를 이해하고 새로이 기준으로 도입된 TOC와 관련된 다양한 연구를 수행하는데 있어서 기초자료로 활용될 것으로 판단된다.

REFERENCES

- [1] Ministry of Environment (MOE). (2015). A study on the determination method of TOC effluent limitation in industrial wastewater. (Online). <https://scienceon.kisti.re.kr/commons/util/originalView.do?cn=TRKO201600011835&dbt=TRKO&rn=>
- [2] National Institute of Environmental Research (NIER). (2011). *A study on policy direction and management of organic substance indicator transfer for environmental criteria in public watershed*. Incheon : NIER.
- [3] S. J. Kang, B. J. Kang, K. Park, D. H. Jeong, W. S. Lee & H.M. Chung. (2019). Analysis of factors affecting effluent TOC in publicly owned treatment works. *Journal of Korean Society of Water and Wastewater*, 33(2), 141-150. DOI : 10.11001/jksww.2019.33.2.14
- [4] National Institute of Environmental Research (NIER). (2015). *A study on determining TOC standard for application of sewage treatment plant effluent (II)*. Incheon : NIER.
- [5] D.H. Jeong et al. (2015). A Study on the determination method of TOC effluent limitation for public sewage treatment plants, *Journal of Korean Society of Water and Wastewater*, 30(3), 241-251. DOI : 10.11001/jksww.2016.30.3.241
- [6] National Institute of Environmental Research (NIER). (2014). *A study on determining TOC standard for application of sewage treatment plant effluent (I)*. Incheon : NIER.
- [7] The council of the European communities. (1991). *Council directive 91/271/EEC*. (Online). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A31991L0271>
- [8] Federal ministry for the environment, nature conservation and nuclear safety. (2004). Wastewater ordinance. (Online). https://www.bmu.de/fileadmin/bmu-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/wastewater_ordinance.pdf
- [9] United States Environmental Protection (U.S. EPA). (2010). National pollutant discharge elimination system (NPDES) permit writers' manual. (Online). https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-09/documents/pwm_2010.pdf
- [10] S.G. Nutt et al. (2013). *Addressing BOD₅ limitations through Total Organic Carbon Correlations: A Five Facility International Investigation*. An Instrumentation Testing Water & wastewater Association for North America (ITA) research & development report. (Online). <http://www.instrument.org/ePubs/PubContents/RDR13TOC-Table Of Contents.pdf>
- [11] National Institute of Environmental Research (NIER). (2019). *A study on construction of operation and management system through TOC monitoring of public sewage treatment facility (II)*. Incheon : NIER.
- [12] National Institute of Environmental Research (NIER). (2018). *A study on construction of operation and management system through TOC monitoring of public sewage treatment facility (I)*. Incheon : NIER.
- [13] Ministry of Environment (MOE). (2017). 2016 sewerage statistics. (Online). http://www.me.go.kr/home/web/policy_data/read.do;jsessionid=Bd47KzpwmLbvbOpL+R7axctG.mehome1?pagerOffset=0&maxPageItems=10&maxIndexPages=10&searchKey=title&searchValue=%ED%95%98%EC%88%98%EB%8F%84%ED%86%B5%EA%B3%84&menuId=10264&orgCd=&condition.orderSeqId=7285&condition.rnSeq=2&condition.deleteYn=N&seq=7146
- [14] Korean Environment Corporation (KECO). (2009). *Sewage maintenance Basic Plan Public Sewage Treatment Facility Technology Review Case Collection*. (Online). <https://www.keco.or.kr/kr/business/water/communityid/114/view.do?idx=165>
- [15] Ministry of Environment (MOE). (2017). *Korean standard method for the examination of water and wastewater*. (Online). <https://www.me.go.kr/gg/web/board/read.do?menuId=2246&boardId=788130&boardMasterId=228&condition.hideCate=1>
- [16] J.W. Lee, S.H. Lee, S.J. Yu & D.H. Rhew. (2016). Relationship between water quality parameters in rivers and lakes: BOD₅, COD, NBOPs, and TOC. *Environmental Monitoring and Assessment*, 188, 252. DOI : 10.1007/s10661-016-5251-1
- [17] W. Bourgeois, J.E. Burgess & R.M. Stuetz. (2001). On-line monitoring of wastewater quality: a review. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 76(4), 337-348. DOI : 10.1002/jctb.393

손 동 진(Dong-Jin Son)

[정회원]



- 2011년 2월 : 건국대학교 환경공학과 (공학사)
- 2018년 2월 : 건국대학교 신기술융합학과 (공학박사)
- 2020년 4월 ~ 현재 : 국립환경과학원 상하수도연구과 박사후연구원

- 관심분야 : 하수처리, 공정해석, ET-MS 융합
- E-Mail : djson0828@korea.kr

정 동 환(Dong-Hwan Jeong)

[정회원]



- 1995년 4월 ~ 현재 : 국립환경과학원 상하수도연구과-물환경공학연구과 환경연구관
- 관심분야 : 공공하수도 및 방류유역 수질관리 선진화
- E-Mail : dwcheong@korea.kr

박 규 홍(Kyoo-Hong Park)

[정회원]



- 1993년 9월~현재 : 중앙대학교 교수
- 2020년 2월~현재: 중앙대학교 건설대학원 원장
- 관심분야 : 하수관로 및 하수처리 공정 설계 및 해석
- E-Mail : kpark@cau.ac.kr