

산업폐수 배출업종별 총유기탄소(TOC) 검출 특성

김자현 · 이해근 · 김정운 · 조은미 · 이상민 · 한혜경 · 정지수 · 박명섭 · 최현경

산업폐수과

- 폐수 배출 업종별 TOC 검출 특성 분석을 통한 과학적 수처리 지원
- 유기성 오염물질 배출 관리를 통한 공공수역 수자원 안전성 확보

1. 조사개요

- 조사기간 : 2024년 1월 ~ 12월
- 조사대상 : 사업장 폐수배출시설의 방류수
- 조사항목 : pH 등 9개 항목
 - 수소이온농도(pH), 용존산소(DO), 전기전도도(EC), 생물화학적산소요구량(BOD), 부유물질(SS), 총질소(T-N), 총인(T-P), 총유기탄소(TOC), 용존유기탄소(DOC)

표 1. 배출업종별 조사대상 개소

배출업종분류	개소
육류 및 수산물 가공 처리업	8
곡물 및 과일 채소 가공 처리업	7
음료 및 식품 제조업	9
섬유제품 제조업	11
금속가공제품, 기계 및 장비 제조업	13
세탁업	9
운수장비 수선 및 세차 또는 세척시설	20
기타	6
총	83

II. 조사사업

2. 조사방법

- (대상 업종) 시·군에서 의뢰된 사업장 폐수 배출시설 방류수 83개소를 대상으로 하여 폐수 배출시설 분류 및 한국표준산업 기준을 참고하여 표 1 배출업종별로 총 8개로 구분
- 음료 및 식품제조업은 알코올 및 비알코올 음료 제조업을 포함
- 제품, 기계 및 장비제조업은 자동차부품, 반도체 및 전자부품, 축전지 제조업 등이 포함
- 운수장비 수선 및 세차 또는 세척시설은 자동차 세차업과 및 자동차 수리업, 주유소를 포함
- 기타 업종은 1~2개소 업종을 묶어서 분류, 비금속광물 광업시설, 폐기물 원료 재생업, 화학물질 제조업, 건설업 등을 포함
- 분석방법(표 2)은 수질오염공정시험기준(국립환경과학원고시 제2023-72호, 2023.12.14.)의 항목별 시험방법에 따름
- TOC(총유기탄소)와 DOC(용존유기탄소)는 비정화성 유기탄소 정량방법(NPOC)과 가감정량 방법(TC-IC)으로 정량함
- 비정화성 유기탄소 정량방법(NPOC)은 시료를 분취, 산을 주입하여 pH 2 이하로 조절 후 정화(purging)하여 무기성 탄소(IC)를 제거하여 총 유기성탄소(TOC)의 양을 구함
- 가감정량방법(TC-IC)은 총탄소(TC)의 양을 구한 후 무기성 탄소(IC)를 감하여 총 유기성탄소의 양(TOC)을 구함

표 2. 분석방법

항목	분석방법	장비
pH	유리전극법	YSI
DO	DO전극법	YSI
EC	전기전도도 측정계	WTW
BOD	5일 배양하여 DO 소모량 측정	YSI
SS	유리섬유여과지(GF/C)를 이용하여 여과	
T-N	연속흐름법(자동분석법)	BLTEC
T-P	자외선/가시선 분광법	PerkinElmer
TOC	초음파로 균질화하여 고온연소산화법(680℃)	Shimadzu
DOC	0.45 μ m 여과지를 통과하여 고온연소산화법(680℃)	Shimadzu

3. 조사결과

○ 폐수 배출업종별 항목별 농도 결과(표 3)

육류 및 수산물 가공 처리업은 pH 4.5~7.6, 곡물 및 과일 채소 가공 처리업은 pH 5.0~7.9, 운수장비 수선 및 세차 또는 세척시설은 pH 4.8~8.5 범위를 나타내며, 세탁업은 pH 7.9~9.2로 다른 업종에 비해 높은 편이다. 곡물 및 과일 채소 가공 처리업의 EC 평균 농도는 11386.6 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 으로 전체 평균값보다 4배 이상 높다. 육류 및 수산물 가공 처리업은 T-N 평균 농도 66.0 mg/L, T-P 평균 농도 15.5 mg/L로 전체 평균값보다 3배, 6배 이상 높다.

표 3. 배출업종별 항목별 농도 결과

(단위: mg/L, EC는 $\mu\text{S}/\text{cm}$, pH 제외)

배출업종	조사결과	pH	EC	DO	BOD	T-N	T-P	SS
육류 및 수산물 가공 처리업	평균	6.9	2059.9	6.6	10.1	66.0	15.5	25.7
	최대	7.6	5260.0	8.9	31.6	336.0	60.8	58.2
	최소	4.5	791.0	3.5	1.2	1.1	0.0	1.1
곡물 및 과일 채소 가공 처리업	평균	7.1	11386.6	5.4	5.7	14.9	2.5	19.0
	최대	7.9	21900.0	6.7	21.0	29.8	10.8	48.5
	최소	5.0	1266.0	4.5	0.4	0.6	0.0	3.8
음료 및 식품 제조업	평균	7.9	1675.7	7.1	9.2	7.0	1.8	18.8
	최대	9.3	4240.0	10.5	19.6	38.1	10.1	45.0
	최소	7.5	143.4	4.7	2.3	0.6	0.0	2.0
섬유제품 제조업	평균	7.3	588.3	5.8	33.9	2.0	0.1	15.7
	최대	8.0	928.0	7.1	85.5	5.0	0.2	37.6
	최소	6.6	251.0	3.3	1.2	0.0	0.0	1.6
금속가공제품, 기계 및 장비 제조업	평균	7.3	2332.7	4.5	32.7	16.7	1.8	19.3
	최대	8.0	7390.0	8.9	193.8	135.4	11.9	94.2
	최소	6.2	116.7	0.9	1.1	1.3	0.0	1.6
세탁업	평균	8.5	1033.6	5.4	4.2	4.6	0.5	16.5
	최대	9.2	1593.0	8.6	20.0	7.8	1.6	31.0
	최소	7.9	669.0	1.9	0.9	1.6	0.1	0.1
운수장비 수선 및 세차 또는 세척시설	평균	6.9	847.3	5.5	27.0	36.5	0.2	26.8
	최대	8.5	6420.0	11.1	97.2	328.8	0.9	140.9
	최소	4.8	200.0	1.1	2.6	1.6	0.0	1.6
기타	평균	7.9	4693.7	7.4	7.7	4.2	0.1	11.6
	최대	8.4	15850.0	11.2	20.9	10.9	0.2	37.8
	최소	7.2	319.0	5.2	0.7	1.5	0.0	2.1
전체	평균	7.4	2439.4	5.8	19.6	20.8	2.3	20.3
	최대	9.3	21900.0	11.2	193.8	336.0	60.8	140.9
	최소	4.5	116.7	0.9	0.4	0.0	0.0	0.1

II. 조사사업

○ 폐수 배출업종별 TOC 및 DOC 농도 결과(표 4)

곡물 및 과일 채소 가공 처리업과 음료 및 식품제조업, 세탁업의 경우 IC 평균 농도가 전체 평균 값보다 높으며, 세 업종 모두 TC 평균 농도 50% 이상의 값을 나타내고 있다. DOC(TC) 평균 농도는 TOC(TC) 평균 농도보다 전체적으로 거의 낮은 값을 보이며, DOC(IC) 평균 농도는 TOC(IC) 평균 농도와 비슷한 값을 나타내고 있다. TOC(NPOC)와 TOC(TC-IC) 평균 및 최대 농도는 금속가공제품, 기계 및 장비 제조업 > 섬유제품 제조업 > 운수장비 수선 및 세차 또는 세척 시설 순으로 높다.

표 4. 배출업종별 TOC 및 DOC 농도 결과

(단위: mg/L)

배출업종	조사결과	TOC				DOC			
		NPOC	TC-IC	TC	IC	NPOC	TC-IC	TC	IC
육류 및 수산물 가공 처리업	평균	10.9	18.7	29.9	11.2	12.5	13.5	24.9	11.4
	최대	19.3	37.1	52.3	20.2	19.5	20.8	32.5	20.3
	최소	4.9	8.7	15.2	2.5	7.5	8.1	16.0	2.2
곡물 및 과일 채소 가공 처리업	평균	8.5	11.6	57.6	46.0	9.7	10.8	55.6	45.7
	최대	15.6	24.6	141.3	135.3	17.0	19.0	141.8	132.7
	최소	4.5	-1.7	18.5	0.3	5.9	4.1	14.2	0.3
음료 및 식품 제조업	평균	11.8	19.3	61.4	42.0	11.5	14.3	56.0	41.7
	최대	27.4	38.3	100.5	68.9	26.9	33.7	98.1	67.9
	최소	4.2	3.1	13.1	6.0	4.5	0.9	9.7	6.1
섬유제품 제조업	평균	29.1	34.3	65.2	30.9	24.0	26.4	57.3	30.9
	최대	73.8	87.9	117.3	55.4	57.6	59.6	89.0	55.9
	최소	2.1	-7.6	24.1	13.6	4.1	2.2	22.3	13.7
금속가공제품, 기계 및 장비 제조업	평균	29.7	33.4	54.6	21.3	31.3	31.7	52.8	21.0
	최대	106.3	110.4	124.9	60.3	110.2	111.6	119.0	58.8
	최소	3.5	3.8	9.4	5.6	4.4	4.6	10.2	5.5
세탁업	평균	8.6	12.0	98.5	86.4	9.7	10.2	95.4	85.1
	최대	19.0	26.8	123.6	117.6	20.5	25.9	118.0	115.0
	최소	4.2	1.1	59.7	52.7	4.6	2.9	61.3	52.6
운수장비 수선 및 세차 또는 세척시설	평균	22.1	26.5	42.8	16.3	21.8	24.1	40.4	16.2
	최대	73.2	77.5	82.7	35.9	78.6	89.1	92.4	34.5
	최소	0.6	0.7	12.2	4.9	1.9	1.0	13.4	3.3
기타	평균	12.9	11.3	44.2	32.8	13.1	11.0	44.1	33.1
	최대	40.1	35.6	137.5	101.9	35.2	28.6	130.2	101.7
	최소	1.0	-2.0	8.7	2.3	3.3	0.1	9.1	2.4
전체	평균	18.8	23.2	55.8	32.6	18.6	19.9	52.3	32.4
	최대	106.3	110.4	141.3	135.3	110.2	111.6	141.8	132.7
	최소	0.6	-7.6	8.7	0.3	1.9	0.1	9.1	0.3

○ 폐수 배출업종별 TOC 정량 방법(표 5)

TOC 정량은 TC 중 IC 비율이 50%를 초과하는 시료는 NPOC법으로 정량하도록 정하고 있다. 본 조사대상의 정량방법은 총 83건 중 NPOC 50건, TC-IC 33건으로 나타났다. 육류 및 수산물 가공 처리업의 경우 TC-IC법이 더 우세한 정량 방법인 것으로 조사되었다. 곡물 및 과일 채소 가공 처리업, 음료 및 식품 제조업, 세탁업은 NPOC법이 더 우세한 정량 방법인 것으로 나타났으며, 배출되는 폐수는 CO_2 , HCO_3^- , CO_3^{2-} 등의 탄산염 형태로 존재하는 무기성 탄소의 비율이 높다는 것을 알 수 있다.

표 5. 배출업종별 TOC 정량 방법

배출업종	NPOC	TC-IC
육류 및 수산물 가공 처리업	2	6
곡물 및 과일 채소 가공 처리업	6	1
음료 및 식품 제조업	8	1
섬유제품 제조업	7	4
금속가공제품, 기계 및 장비 제조업	5	8
세탁업	9	0
운수장비 수선 및 세차 또는 세척시설	9	11
기타	4	2
총	50	33

○ 폐수 배출업종별 TOC와 DOC의 상관관계(그림1-1, 1-2)

육류 및 수산물 가공 처리업과 곡물 및 과일 채소 가공 처리업은 상관계수가 0.7083, 0.7158로 나타났다. 음료 및 식품 제조업 0.9705, 섬유제품 제조업 0.9779, 금속가공제품, 기계 및 장비 제조업 0.9859, 세탁업 0.9409, 운수장비 수선 및 세차 또는 세척시설 0.9524, 기타 업종 0.9977로 분석되었다. 육류 및 수산물 가공 처리업과 곡물 및 과일 채소 가공 처리업을 제외한 조사대상 배출업종에서 상관관계가 0.9 이상으로 나타내었다. 또한 전체적인 TOC와 DOC의 상관계수가 0.9421로 TOC는 DOC와 밀접한 상관관계가 있음을 확인 할 수 있다.

II. 조사사업

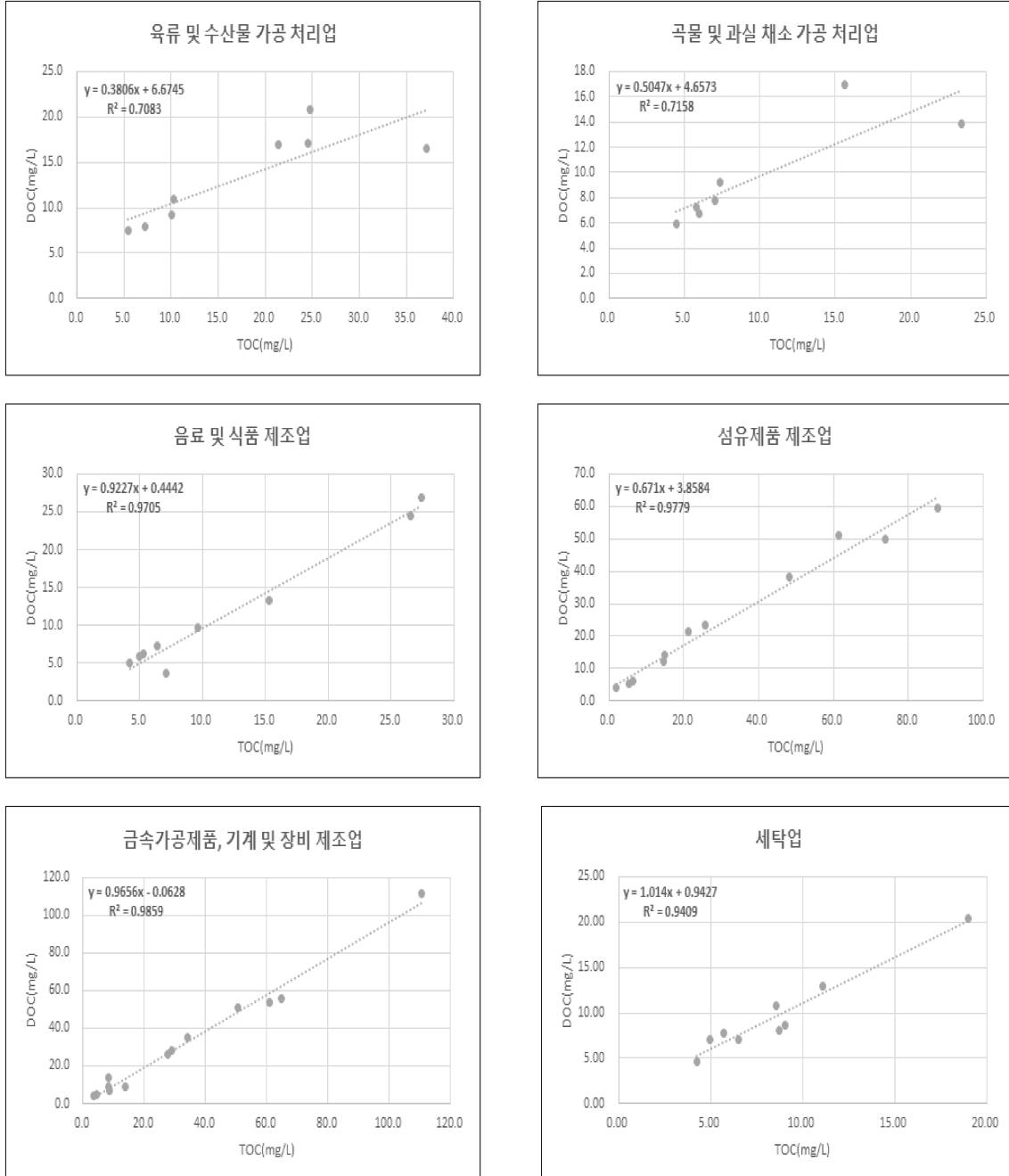


그림 1-1. 배출업종별 TOC와 DOC의 상관관계

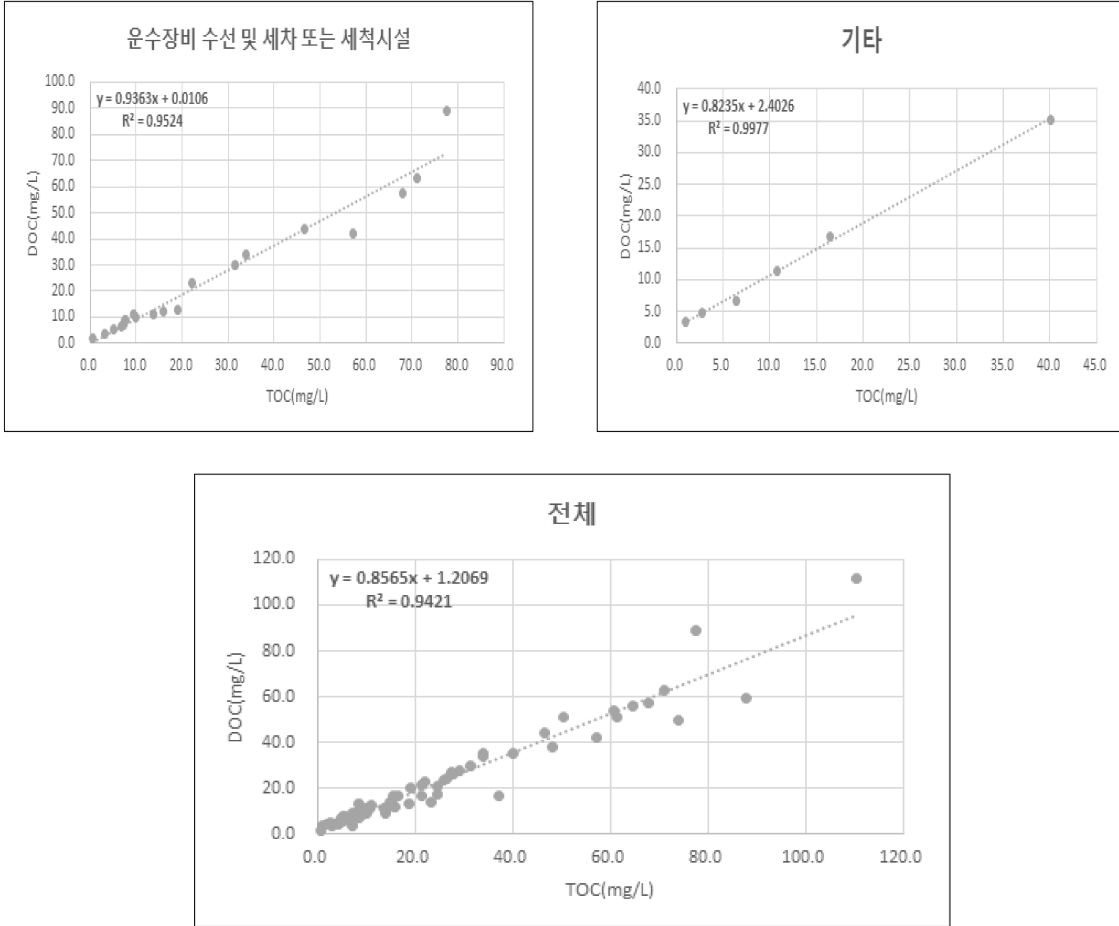


그림 1-2. 배출업종별 TOC와 DOC의 상관관계

○ 폐수 분석항목별 상관관계(표 6)

pH는 IC와의 상관관계가 0.6 이상으로 확인되었고, BOD와 TOC(NPOC), TOC(TC-IC)의 상관계수가 0.812, 0.806으로 나타났으며, BOD와 DOC(NPOC), DOC(TC-IC)의 상관계수가 0.800, 0.797로 조사되었다. T-N, T-P, SS는 분석인자들과의 상관계수가 0.4 이하로 유의미한 상관관계를 보이지 않았다. 또한 TOC(NPOC), TOC(TC-IC)와 DOC(NPOC), DOC(TC-IC)는 각각 IC와는 음의 상관관계를 나타냈다. 하지만 TC와 IC는 0.75 이상으로 높은 상관관계가 있음을 확인할 수 있다.

II. 조사사업

표 6. 분석항목별 상관관계

	pH	EC	DO	BOD	T-N	T-P	SS	TOC				DOC						
								NPOC	TC-IC	TC	IC	NPOC	TC-IC	TC	IC			
pH	1																	
EC	-0.082	1																
DO	0.082	0.077	1															
BOD	-0.295	-0.106	-0.373	1														
T-N	-0.256	0.093	0.042	0.069	1													
T-P	-0.107	0.071	0.024	0.106	0.479	1												
SS	-0.306	0.173	-0.202	0.382	0.257	0.037	1											
TOC	NPOC	-0.307	-0.058	-0.153	0.812	0.072	0.026	0.415	1									
	TC-IC	-0.310	-0.073	-0.196	0.806	0.074	0.087	0.473	0.970	1								
	TC	0.335	-0.075	-0.224	0.345	-0.093	-0.053	0.270	0.493	0.501	1							
	IC	0.613	-0.031	-0.107	-0.217	-0.162	-0.126	-0.050	-0.171	-0.185	0.758	1						
DOC	NPOC	-0.322	-0.039	-0.173	0.800	0.073	0.051	0.402	0.981	0.941	0.469	-0.177	1					
	TC-IC	-0.334	-0.055	-0.172	0.797	0.055	0.053	0.395	0.971	0.962	0.464	-0.199	0.978	1				
	TC	0.355	-0.066	-0.203	0.299	-0.114	-0.082	0.201	0.449	0.431	0.984	0.792	0.447	0.440	1			
	IC	0.617	-0.027	-0.102	-0.223	-0.163	-0.127	-0.054	-0.180	-0.193	0.752	1.000	-0.186	-0.208	0.786	1		

4. 활용방안

- 폐수 배출업종별 TOC 검출 특성 분석을 통한 과학적 수처리 방법 도출
- 유기성 오염물질 배출 파악을 통한 공공수역 수자원 오염 사전 예방
- TOC 정량방법과 배출업종별 특성의 연관성을 도출해 분석 기초자료 확보