

연구논문

경기 남부 폐수처리시설의 노닐페놀, 옥틸페놀 배출특성

서수정[†] · 최필권 · 남우경 · 황선민 · 이진영 · 정선희 · 박서경

경기도보건환경연구원 물환경연구부

Characteristics of Nonylphenol and Octylphenol Discharge from Wastewater Treatment Facilities in Southern Gyeonggi-do

Soo-Jung Seo[†], Phil-Kwon Choi, Woo-Kyung Nam, Seon-Min Hwang, Jin-Young Lee, Seon-Hee Jung, and Seo-Gyeong Park

Department of Water Environment Research, Gyeonggi-do Institute of Health and Environment, Suwon, 16381, Korea

Received April 17, 2023 / Revised May 18, 2023 / Accepted June 15, 2023

This study aimed to evaluate the discharge characteristics of nonylphenol (NP) and octylphenol (OP) in the effluent of wastewater treatment facilities in the southern Gyeonggi-do. The detection rates of NP and OP were found to be 39.3% and 43.1%, respectively, with median values ranging from 1 to 3 µg/L across all industries. The industries that showed a detection rate of 50% or more were car wash, chemical experiment, fabric leather, paper wood, and plating facilities, with rates ranging from 50% to 75%, while other industries had detection rates of 21.7% to 36.8%. In terms of facility size, small-size establishments such as Type 4 and Type 5 showed higher detection rates in the "Na" region where somewhat relaxed standards are applied on a regional basis. This is because the proportion of Type 4 and Type 5 industries, including various concentration distributions of chemical experiments, research facilities, car washes, petrochemical, and plating industries, is higher than 77.7% overall and concentrated at a rate of 55.6% or higher in the "Na" region. Furthermore, the correlation coefficient (R) between NP and OP exhibited moderate association with values of 0.45 and 0.60 for car washes and plating industries, respectively. Chemical experiments, paper and wood, electrical and electronic, and medicine and hospital facilities showed strong association with correlation coefficients of 0.83, 0.82, 0.82, and 0.79, respectively. The findings in this study can be expected to serve as fundamental data for NP and OP in the establishment of water quality pollutants designation and discharge standards (draft) currently being pursued.

Key words: Industrial wastewater, Discharge characteristics, Nonylphenol(NP), Octylphenol(OP), Correlation coefficient(R)

1. 서 론

국내에서는 세계생태보전기금(World Wild life Fund, WWF)에서 선정한 67종의 화학물질을 내분비계장애물질(Endocrine Disrupting Chemicals, EDCs) 추정물질로 선정하고, 그 중에서도 많은 양이 사용되며 환경 잔류성이 높고 유해성이 있다고 보고된 물질을 관찰물질로 지정하여 규제하고 있는데 이 중 노닐페놀(Nonylphenol,

NP), 옥틸페놀(Octylphenol, OP)이 포함된 알킬페놀류(Alkylphenols)가 이에 포함되어 있다.^{1,2)}

NP와 OP등을 포함하는 알킬페놀류는 비이온성 계면활성제로 사용되는 알킬페놀 에톡실레이트(Alkylphenol-Ethoxylate, APEOs)의 분해산물로서 페놀의 벤젠고리에 알킬그룹이 결합되어 있는 화합물이다.^{3,4)}

APEOs는 다양한 용도로 사용되는데 그 중 세정·세척 용도가 가장 많으며 그 외 페인트 유화제, 농약, 가소제,

[†]To whom correspondence should be addressed.

염색약, 피임약, 모발보호제 등의 가정용품에도 사용된다.³⁻⁶⁾ APEOs는 NPEOs(NonylphenolEthoxylates, NPEOs)가 80%를 차지하고 OPEOs(OctylphenolEthoxylates, OPEOs)가 15%, 나머지는 다른 페놀에톡실레이트 등으로 구성된다.⁵⁻¹⁰⁾ 이러한 APEOs가 자연계로 방출될 때 에톡시기가 1차적인 생물분해 과정을 거치면서 NP, OP 등의 저분자 분해산물로 변환되어 다양한 경로를 통해 수질환경으로 유입되어 수질 및 수생태계에 유해한 영향을 끼치며 먹이사슬을 통해 최종적으로 인간에게 직·간접적으로 영향이 미칠 가능성이 크다.⁸⁻¹²⁾ APEOs 및 그 분해산물은 물질 자체의 독성보다는 미량에 노출되었을때의 에스트로겐 잠재성이 더 위험한 물질로 내분비계를 교란시키고 잔류성, 미세독성, 생체 축적등의 특성을 가진다. 이러한 영향은 인간에 있어 고환 암과 난소암의 발병 증가와 정자 수 감소, 여성화, 면역 기능 감소와 조류, 어류와 포유류에서는 부화율과 출생률 감소를 들 수 있다.^{12,13)}

환경부에서는 수질오염물질 지정 등에 관한 지침¹⁴⁾에 의해 미규제 대상이나 위해성이 있고 수계에서 검출가능성이 있어 실태조사가 필요하다고 인정된 물질을 ‘우선순위물질’로 지정하고 해당물질의 인체 및 수생태계에 대한 유해성, 배출 및 검출가능성, 잔류성, 생물농축도 등의 요소를 평가하여 1순위, 2A순위, 2B순위, 3A순위, 3B순위의 5개 순위로 구분하며 목록은 5년마다 재평가한다.

NP와 OP는 2021년 수질오염물질 감시항목으로 추가 지정되었고, 우선순위물질 평가에서 2016년 3A순위에서 2022년 1순위로 갱신되었다. 이와 관련하여 이미 다른 나라에서는 Table 1과 같이 NP에 대해 오염물질로 규제하

고 있었으며, OP는 EU에서만 수질환경기준으로 관리되고 있다.¹⁵⁻²¹⁾ 하지만 우리나라는 유해화학물질로 분류되어 관리되는 정도이며 아직 기준 마련이 되어 있지 않은 실정이다. 국내 알킬페놀류에 대한 조사연구로는 수돗물, 하수 슬러지 또는 수중 생물 시료 중 알킬페놀의 정량 및 분석방법의 비교와 산업단지외와 접해 있는 수영강, 낙동강 수계에서의 노닐페놀의 분포특성 및 노닐페놀의 인체노출평가 등이 있다.^{8,22-26)} 대부분의 연구는 분석방법의 정립과 하천 수계에 집중되어 있으며, 폐수처리시설의 배출 방류수에 대한 조사는 많지 않다. 환경부는 대표적인 공단천, 공공폐수처리시설과 폐수배출시설의 유입원수와 방류수를 대상으로 NP와 OP의 실태조사를 하였다.²¹⁾ 하지만 화학물질 배출량 조사에 의한 지역별 NP와 OP의 배출량은 조사되었으나 수계배출량이 모두 보고되지 않은 상황이며²⁷⁾ 경기도 내 폐수배출시설 방류수에서 어느정도 검출되는지에 대한 연구는 미미한 실정이다.

수질오염물질은 하천, 호소에 적용하는 국가의 정책목표인 환경기준이 있고, 이 환경기준을 달성하기 위한 개별 오염원별 관리기준으로 사업장에서 배출되는 폐수에 적용되는 배출허용기준, 하수처리시설에 적용되는 방류수기준 등이 있다. 폐수배출사업장은 ‘물환경보전법’에서 정한 배출허용기준 이내로 처리하여 공공수역으로 배출하여야 하며, 폐수배출규모(1~5종)와 사업장 지역구분(청정, 가, 나, 특례)에 따라 다르게 적용된다. 폐수배출규모가 크면 수계에 미치는 영향도 크기 때문에 폐수배출량이 2000 톤/일 이상인 1종 시설은 배출규모가 작은 2~5종시설의 기준보다 강한 기준이 적용되며, 공공수역의 수

Table 1. Water quality standards of nonylphenol(NP) & octylphenol(OP) in various countries

Pollutant	Countries	Water quality standards ($\mu\text{g/L}$)	Remarks
Nonylphenol (NP)	United States	CMC : 28 CCC : 6.6	·Aquatic life protection - CMC(Criterion Maximum Concentration) - CCC(Criterion Continuous Concentration)
	EU	AA-EQS : 0.3 MAC-EQS : 2.0	·Inland surface waters - AA-EQS(Annual Average–Environmental Quality Standards) - MAC-EQS(Maximum Acceptance Criterion–Environmental Quality Standards)
	Canada	1.0	·Freshwater - Expressed on a TEQ basic using NP TEFs
	Japan	Organisms A : 1.0 Special A : 0.6 Organisms B : 2.0 Special B : 2.0	- Adaptability of aquatic life habitat(Annual Average)
Octylphenol (OP)	EU	AA-EQS : 0.1	- AA-EQS(Annual Average–Environmental Quality Standards)

질보전목표에 따라 ‘매우 좋음’, ‘좋음’에서 ‘약간 좋음’, ‘보통’에서 ‘나쁨’으로 구분하여, 청정지역, 가지역, 나지역으로 구분하며 수질보전목표가 높은 지역일수록 엄격한 기준이 적용된다.^{21,28)}

특히, 수질유해물질은 배출원, 지표수계, 수생태계, 인간 간의 건강과 연관되어 있고, 하천수 및 호소수 등 지표수를 상수원으로 이용하는 우리나라의 경우 지표수의 수질 관리가 매우 중요하다.^{20,21)} 이러한 지표수의 수질유해물질의 효율적인 관리를 위해서는 배출원에서 배출규제가 중요하며, 배출기준 마련을 위해 폐수배출시설 방류수에 대한 조사가 전제되어야 한다.

따라서 본 연구를 통해 경기 남부지역 폐수배출사업장 방류수의 NP와 OP 배출특성을 업종별, 시설규모별, 지역별로 조사하여 배출허용기준(안) 마련의 기초자료로 활용하고, 검출된 NP와 OP 농도 간의 상관관계 분석을 통해 관련성이 나타나는 업종을 확인하고 NP와 OP 생성 전구물질인 APEOs를 사업장에서의 사용을 확인하는 지표로의 활용 가능성을 제시하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 시료분류 및 시료채취

본 연구에서는 2022년 6월부터 10월까지 경기 남부지역 20시 1군의 행정기관에서 폐수배출사업장을 지도·점검하면서 배출허용기준 준수여부를 파악하기 위해 보건환경연구원으로 시험 의뢰한 시료 중 211개 사업장의 폐

Table 2. Number of samples by industry

No	Type	Number of Samples
1	Car wash facility	34
2	Waste disposal	5
3	Paper-wood	14
4	Printed-circuit board	12
5	Medicine-hospital	19
6	Chemical experiment facility	9
7	Food and beverage	24
8	Research facility	15
9	Fabric leather	10
10	Petrochemistry	9
11	Plating	13
12	Electrical and electronic	18
13	Construction industry	20
14	Others	9

수 방류수를 대상으로 NP와 OP를 분석하여 업종별, 시설규모별, 지역별 특성을 살펴보고자 하였다. 업종 분류는 환경부에서 제시한 고농도 배출업종을 참고하여 ‘물환경보전법’에서 분류하고 있는 폐수배출시설 82종에서 ‘광업’, ‘비금속’ 업종을 제외한 80종을 기본으로 하여 업종별 유사성을 고려하여 그룹화하고 14개 업종으로 재분류²⁸⁾하여 분석하였고, 분류한 업종과 시료의 개수는 Table 2와 같다. 연구대상 시료는 수질오염공정시험기준(ES 04613.1 노닐페놀, ES 04614.1 옥틸페놀-용매추출/기체크로마토그래피-질량분석법)²⁹⁾에 따라 9M H₂SO₄ 5 mL를 가해 pH 2이하로 조정 후 4°C 이내 보관하여 7일 이내에 분석을 진행하였다.

2.2. 실험방법

2.2.1. 시약 및 기구

본 연구에 사용된 용매(메탄올, 디클로로메탄)는 Wako (Japan)사의 잔류농약시험용을 사용하였고, NP와 OP의 표준물질과 내부표준물질로 사용한 phenanthrene-d₁₀은 Accu-standard사로부터 구입하였다. 수분제거를 위한 무수황산나트륨은 Wako사의 잔류농약시험용시약을 사용하였고, 시료 정제를 위해 사용한 플로리실 카트리지는 Waters사의 sep-pak[®](500 mg/3 mL)을 이용하여 디클로로메탄으로 활성화시킨 후 사용하였다.

2.2.2. 전처리

수질오염공정시험기준(용매추출/기체크로마토그래피-질량분석법)²⁹⁾에 따라 2.1에 따라 분류 및 보존된 시료 500 mL를 1 L 분액깔대기에 취하여 내부표준물질 phenanthrene-d₁₀(10 mg/L) 100 µL를 첨가하고, NaCl 30 g을 넣어 녹인 후, 디클로로메탄 50 mL로 10분간 1회 추출 후 10분간 방치한 후 디클로로메탄층을 IPS 여지를 이용하여 무수황산나트륨으로 수분을 제거하고 질소 농축기로 0.7 mL까지 농축하였다.

디클로로메탄 1 mL로 2회 활성화시킨 플로리실 카트리지를 통과시켜 정제된 시료는 다시 농축관에 옮겨 0.5 ~ 0.7 mL까지 농축한 후 디클로로메탄을 첨가하여 최종 부피 1 mL로 하였다. 시료의 전처리 과정을 Fig. 1에 요약하여 나타내었고, 액/액 추출과정이 동일한 NP와 OP를 한번에 진행하였다.

2.3. 표준검정곡선 작성

검정 범위는 NP와 OP 표준물질을 혼합한 5개의 검정용 표준 혼합물(2, 4, 10, 20, 40 µg/L)을 만들어 정제과

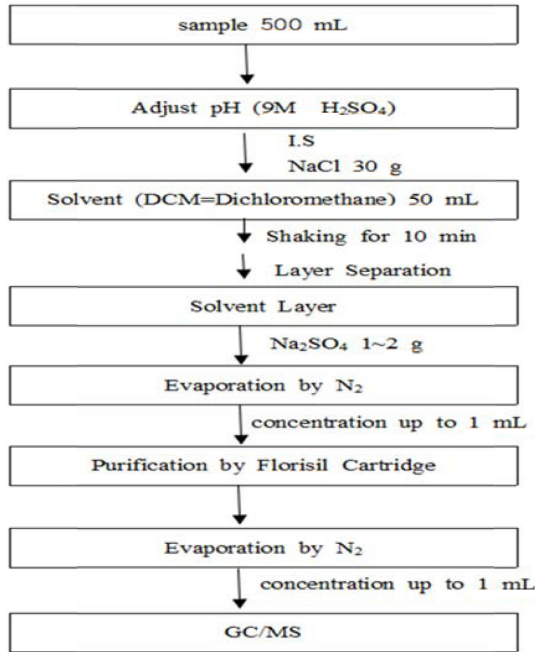


Fig. 1. Sample pre-treatment procedures.

정을 제외한 동일한 전처리 과정을 거쳐 GC/MS으로 분석하여 검정곡선을 얻었다.

구성비율이 다른 13개의 이성질체가 존재하는 NP는 5개의 각 농도별 정량 면적의 합을 계산해 하나의 검량선을 다시 작성하여 시료 정량에 적용하였다.

NP 13개 이성질체 모두 R²값이 0.999이상, OP는 0.99 이상으로 수질오염공정시험기준에 따른 정도관리 목표를

Table 3. QA/QC of nonylphenol isomers and octylphenol.

Compound	MDL (µg/L)	R ²	Precision (%)	Accuracy (%)	
NP1	0.46	0.9995	1.90	101.2	
NP2	0.36	0.9993	1.84	100.0	
NP3	0.17	0.9993	1.84	99.2	
NP4	0.12	0.9996	1.48	99.6	
NP5	0.15	0.9995	2.40	96.9	
Nonyl-phenol (NP)	NP6	0.17	0.9996	1.70	100.0
	NP7	0.42	0.9994	1.67	100.7
	NP8	0.36	0.9997	2.02	102.0
	NP9	0.31	0.9996	2.15	101.5
	NP10	0.44	0.9992	1.48	101.5
	NP11	0.22	0.9996	2.22	100.1
	NP12	0.35	0.9995	2.31	99.6
	NP13	0.22	0.9998	1.98	101.7
Octylphenol (OP)	0.17	0.9984	0.42	98.6	

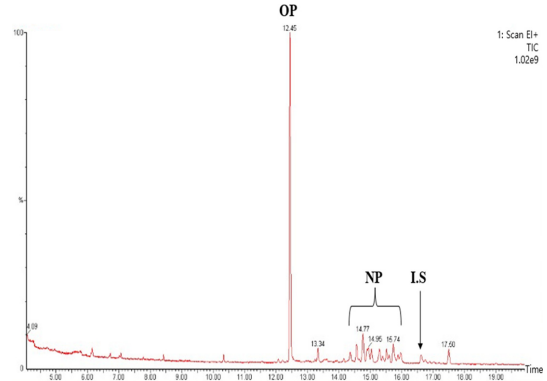


Fig. 2. GC/MS total ion chromatogram.

만족하였고(Table 3), NP의 13개의 이성질체와 OP의 크로마토그램은 Fig. 2와 같다.

2.4. 기기분석

본 연구에서는 PerkinElmer사의 Clarus 600을 이용하여 폐수 중에 존재하는 NP와 OP를 분석하였고, GC/MS 분석조건은 Table 4와 같다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 업종별 NP와 OP의 농도 특성

경기 남부지역에 소재하는 211개 사업장의 폐수 방류수를 대상으로 NP와 OP를 분석하여 업종별 특성을 조사한 결과를 Box-plot으로 나타낸 결과는 Fig. 3과 같으며,

Table 4. GC/MS operation conditions

GC Condition	
Column	DB-5MS UI (30 m × 0.25 mm × 0.25 µm)
Inlet Temperature	250°C
Injection mode	Splitless
Injection volume	2 µL
Oven Temperature	Initial : 50°C(2 min)
	Ramp 1 : 20°C/min to 160°C, Hold 0 min
	Ramp 2 : 2°C/min to 185°C, Hold 0 min
	Ramp 3 : 30°C/min to 280°C, Hold 5 min
MS Condition	
Ion source Temperature	250°C
Ionization mode	EI, 70 eV
Scan range	35~350 amu

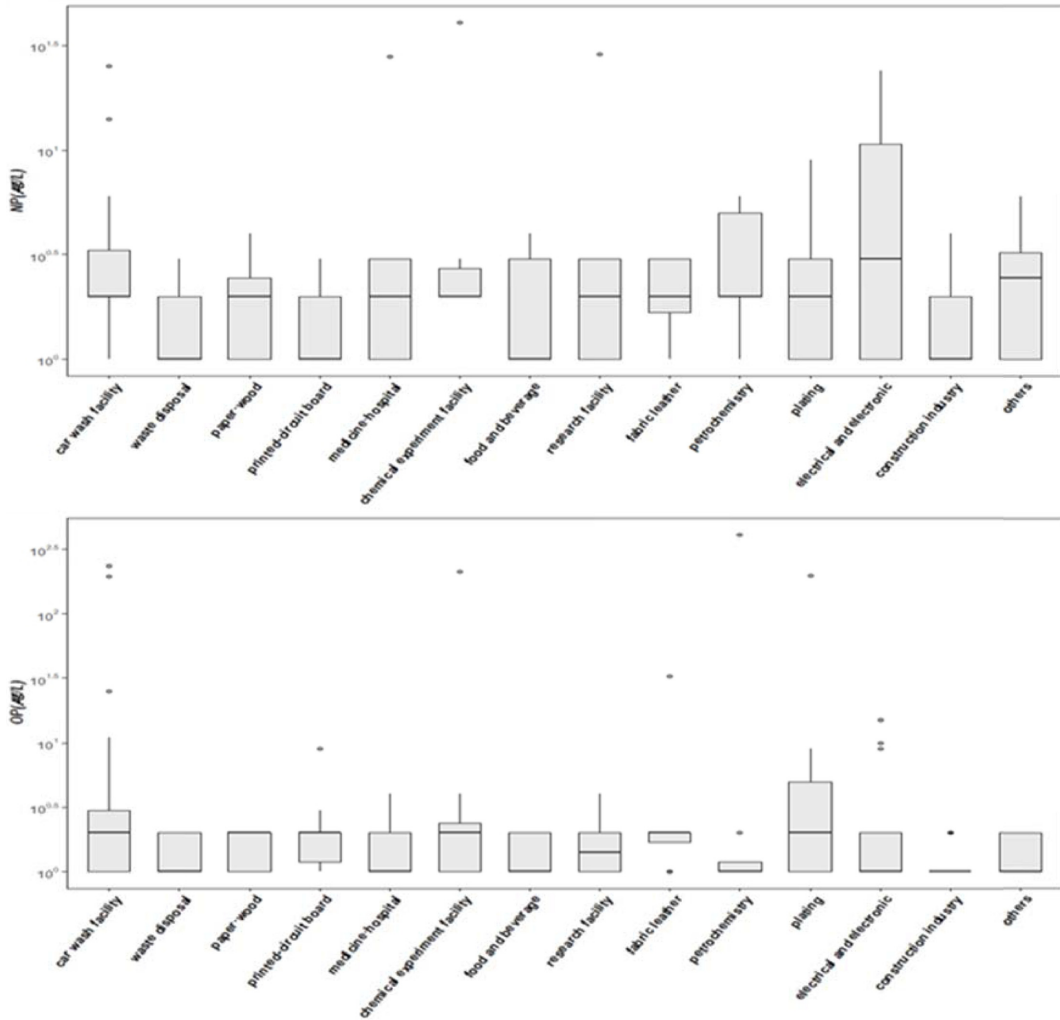


Fig. 3. Concentrations of NP and OP in wastewater based on industry classification.

업종별 유사한 중앙값을 나타내고자 log scale로 표기하였다.

211건 중 NP는 83건, OP는 91건 검출되어 각각 39.3%, 43.1% 검출률을 나타내었다. NP, OP 모두 전 업종에서 검출되었고, 모든 업종의 중앙값이 1 ~ 3 µg/L로 조사되었다. NP는 세차, 의약품·병원, 전기·전자, 연구시설, 이화학실험 업종에서 불검출 ~ 40.8 µg/L, OP는 세차, 도금, 이화학실험, 석유화학, 섬유·피혁 업종에서 불검출 ~ 408.0 µg/L 범위의 값을 나타내었다. 그 외 업종에서는 NP, OP 모두 10 µg/L 미만의 값으로 불검출, 정량한계(2 µg/L) 부근의 값이 대부분을 차지하였다. 세차, 이화학실험, 섬유·피혁, 종이·제지, 도금 업종은 NP와 OP 검출률이 50.0~75.0% 범위를 보였고, 그 외 업종은 21.7~

36.8% 범위 값으로 조사되었다.

환경부에서 제시한 고농도 배출업종은 NP 10개 업종, OP 17개 업종³⁰⁾으로 분류하였으며, 분류된 업종 중에서 세차, 석유화학뿐만 아니라 이화학실험, 도금 업종에서도 고농도로 검출됨을 확인하였다. 100 µg/L 이상 검출은 세차 업종에서 각각 195.0 µg/L와 235.0 µg/L, 도금 199.0 µg/L, 이화학실험 214.0 µg/L, 석유화학 408.0 µg/L로 모두 OP에서 높게 나타났다. 나머지 검출된 건은 대부분 정량한계 부근의 농도를 나타내었다.

또한 평균값이 정량한계 이상으로 조사된 업종은 세차, 이화학실험, 도금 업종으로 OP가 NP의 4.3~8.2배의 값을 나타냈다(Table 5).

고농도로 검출되거나 평균값이 정량한계 이상으로 조

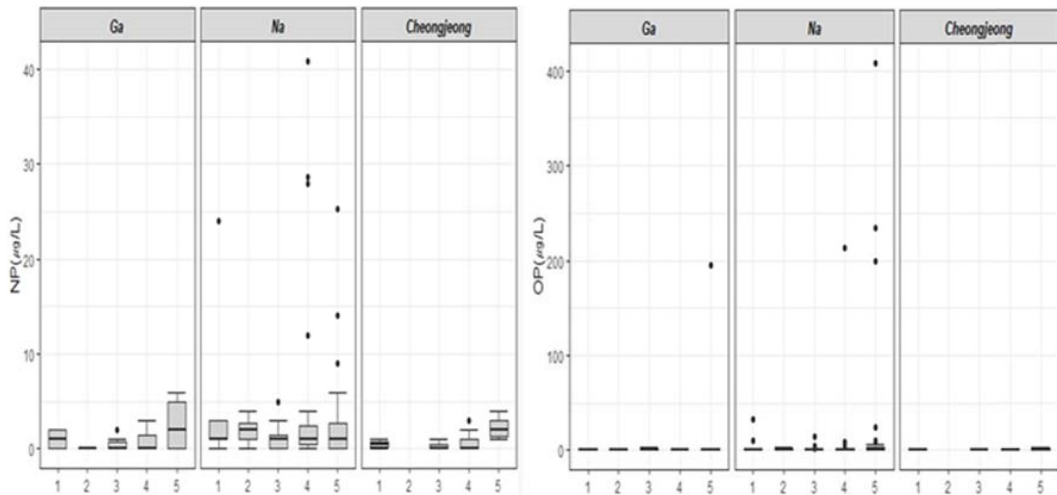
Table 5. Industries with NP and OP detected at high concentrations

No	Industry	Pollutant	Mean ($\mu\text{g/L}$)	Max. ($\mu\text{g/L}$)
1	Car wash facility	NP	2.6	25.3
		OP	15.5	235.0
2	Chemical experiment facility	NP	5.8	40.8
		OP	25.2	214.0
3	Plating	NP	2.2	9.0
		OP	18.1	199.0

사된 업종은 세차, 석유화학, 이화학실험, 도금 업종으로 OP가 NP보다 높게 검출되었는데, 이는 NP에 대한 유해성이 90년대에 전 세계적으로 알려지면서 사용금지 등의 규제 강화로 관리되고 있으며, 우리나라는 2007년 NP를 유해화학물질로 지정하고 지속적인 규제를 강화하여 관리하고 있기 때문으로 판단된다.^{31,32)} 현재 NP 생성 전구 물질인 NPEOs 대체물질로 AE(AlcoholEhtoxylate, AE)와 OPEOs(OctylphenolEthoxylates, OPEOs)가 사용되고 있으며, 이에 NP가 OP에 비해 고농도 검출이 적었다고 판단된다.^{31,32)} 이러한 대체 물질인 AE 계면활성제는 효과는 떨어지나 신속한 분해로 환경에는 비교적 안전하고 물질대사와 관련된 연구에서도 AE 분해가 가능하다는 연구 결과가 있다.³¹⁻³³⁾

3.2. 시설규모별/지역별 NP와 OP 농도 특성

물환경보전법에 따른 폐수배출사업장 규모와 지역에 따른 NP, OP 농도 특성을 Box-plot으로 나타낸 결과는 Fig. 4와 같다.

**Fig. 4.** Concentrations of NP and OP in wastewater based on facility size and region.

모든 시설규모 및 지역에서 NP와 OP가 검출되었고, 특히 4, 5종 사업장과 다소 완화된 배출 허용기준이 적용되는 나지역에서 다양하게 검출되는 것으로 조사되었다. 폐수 배출량이 200 m³/일 미만인 4, 5 종의 소규모 사업장 129곳에서 NP와 OP는 각각 62.7%, 69.2%의 검출률을 나타내었고, 200 m³/일 이상인 1, 2, 3종 사업장 82곳의 NP와 OP 검출률은 각각 37.3%, 30.8%로 200 m³/일 미만보다는 낮은 검출률로 조사되었다. 지역별로는 청정지역(매우 좋은 등급 수질보전) 29곳에서 NP 34.5%, OP 31.0%, 가지역(좋은과 약간 좋은 수질 보전) 26곳에서 NP 34.6%, OP 34.6%, 나지역(보통 이하 수질 보전) 149곳에서 NP 42.3 %, OP 46.3%의 검출률로 다소 완화된 배출 허용기준이 적용되는 나지역에서 검출비율이 높았다. 그리고 특례지역은 표본이 4건으로 지역 특성에서 제외하였다. 특히, 청정지역의 NP와 OP의 검출은 대부분 정량한계 부근의 농도이나 상수원 영향권역이라는 점에서 수생태계 및 인체에 대한 직·간접 위해성이 고려되어야 할 부분이라고 판단된다.

또한 업종별 특성에서 다양한 농도 분포를 나타낸 이화학실험, 연구시설, 세차, 석유화학, 도금업종은 4, 5종 사업장 비율이 77.7% 이상, 나지역 비율은 55.6% 이상으로서 4, 5종의 소규모 사업장과 나지역에 집중되어 있는 것으로 나타났다.

3.3. NP와 OP의 상관관계 분석

알킬페놀류인 NP와 OP가 모든 업종, 시설규모, 지역에서 검출되고 특히 OP가 고농도로 검출된 업종에서 NP도 검출되는 것으로 조사되었다. 이에 검출되는 NP와 OP

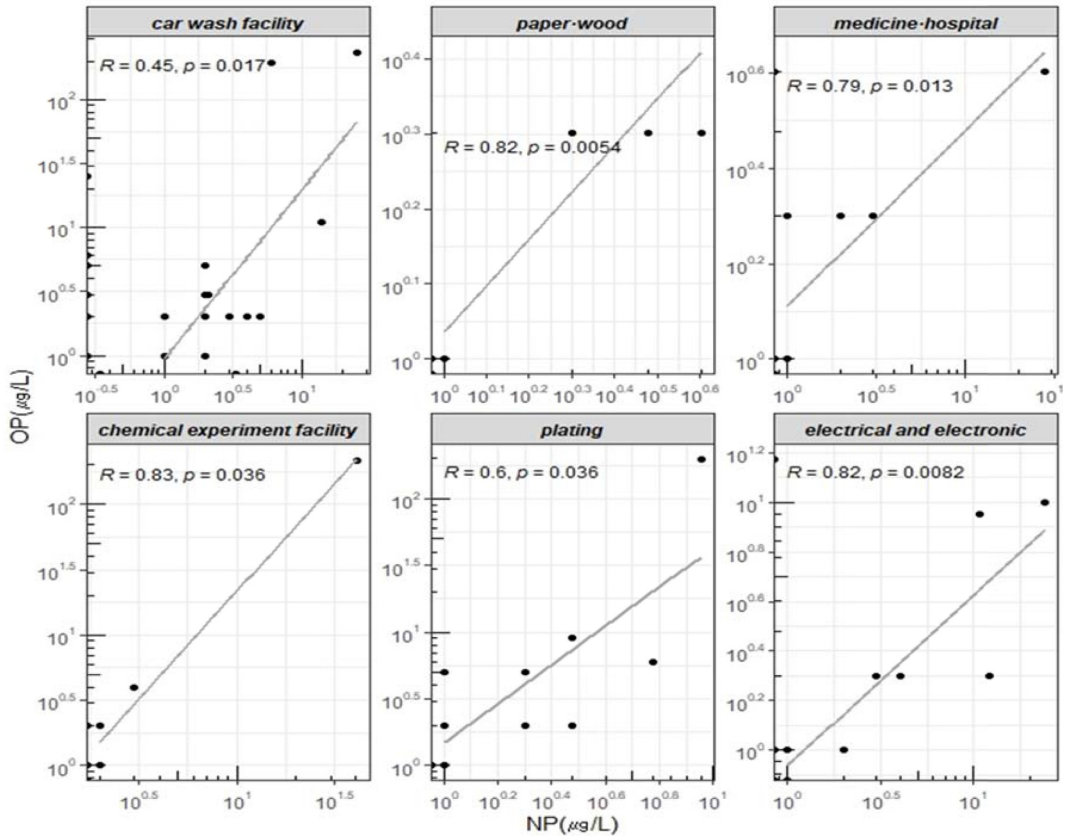


Fig. 5. Correlation coefficient between NP and OP concentrations based on industry.

농도 간의 상관계수를 통해 어느 업종에서 관련성이 나타나는지 확인하고자 상관관계를 분석하였다.

NP와 OP의 농도분포는 정규분포를 만족하지 못하여 비모수적 방법 중 하나인 Kendal tau(Kendal tau correlation coefficient) 상관계수를 이용하였다. 본 연구와 같이 표본수가 작고 동일한 값이 많은 경우 Kendal tau 상관계수가 더 유용하다.

NP와 OP 농도 간의 Kendal tau 상관계수를 업종별로 나누어 신뢰수준 95%(p-value: 0.05)로 통계 분석하였고, 그 결과를 scatter plot으로 Fig. 5에 나타내었다. 표본수가 적은 폐기물 처리 업종은 제외하고 신뢰수준 95%(p-value)를 만족시키지 못하는 업종은 유의성이 없다고 판단하였다.

업종에 따른 NP와 OP의 상관관계를 조사한 결과, 세차, 도금은 Kendal tau 상관계수(R) 값이 0.45, 0.60으로 보통의 관련성이 있고, 종이·제지, 의약품·병원, 이화학실험, 전기·전자의 경우 Kendal tau 상관계수(R) 값이 각각 0.82, 0.79, 0.83, 0.82로서 강한 관련성이 있는 것으로

나타났다.

본 연구에서 분류한 14개 업종 중 세차, 도금, 종이·제지, 의약품·병원, 이화학실험, 전기·전자 등 6개 업종이 NP와 OP간 상관계수 값이 보통의 관련성, 강한 관련성이 있는 것으로 나타났다. 향후 시료의 업종별 표본을 충분히 확보하여 NP와 OP 생성 전구물질인 APEOs를 사업장에서의 사용을 확인하는 지표로서의 활용 가능성이 있다고 판단된다.

4. 결 론

2022년 6월부터 10월까지 경기도 남부에 소재하는 211개 사업장의 폐수 방류수 내에 존재하는 NP와 OP에 대한 배출특성을 조사한 결과는 다음과 같다.

1. NP, OP 모두 모든 업종에서 검출되었고, 1~3 µg/L의 유사한 중앙값을 나타내었다. NP와 OP는 각각 39.3%, 43.1% 검출률을 나타내었고, 업종 중 세차, 이화학실험, 섬유·피혁, 종이·제지, 도금시설 업종은 NP와

OP 검출률이 50.0~75.0% 범위를 나타내었고, 그 외 업종은 21.7~36.8% 사이인 것으로 조사되었다.

2. 평균값이 정량한계 이상으로 조사된 업종은 세차, 이화학실험, 도금 업종으로 OP가 NP의 4.3~8.2배의 값으로 조사되었다. 이는 NP가 전 세계적으로 유해성이 알려지면서 점차 사용금지 등의 규제가 강화되었고, NP 생성 전구물질인 NPEOs 대체물질로 AE의 사용에 의한 것으로 판단된다.
3. 모든 시설규모(1~5종) 및 지역(청정, 가, 나)에서 검출되었고, 특히 폐수배출량이 200 m³/일 미만인 4, 5종의 소규모 사업장, 다소 완화된 배출허용기준이 적용되는 나지역에 집중되었다.
4. 업종별로 NP와 OP의 상관관계를 분석한 결과, 세차, 도금은 Kendal tau 상관계수(R) 값이 0.45, 0.60으로 보통의 관련성이 있고, 종이·제지, 의약품·병원, 이화학실험, 전기·전자의 경우 Kendal tau 상관계수(R) 값이 각각 0.82, 0.79, 0.83, 0.82로서 관련성이 높게 나타났다.

본 연구 결과로 경기남부지역의 다양한 업종 및 규모의 폐수배출사업장 방류수에서 NP와 OP가 검출됨을 확인하였다. 그러나 내분비계장애물질인 NP와 OP는 수생태계에 대한 위해성과 인체에 대한 간접 위해 우려가 높음에도 불구하고 국내외 달리 아직 기준 마련조차 되어 있지 않아 우리나라는 수질 및 수생태계 보호를 위한 기준 마련이 시급한 실정이다. 현재 환경부에서 추진중에 있는 수질오염물질 지정 및 배출허용기준(안) 설정 기반 마련을 위한 수질오염물질 감시항목인 NP와 OP의 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

감사의 글

본 연구는 국립환경과학원의 시도 보건환경연구원 국고보조사업의 지원을 받아 수행되었습니다.

참고문헌

1. 환경부, “내분비계장애물질이란?”, http://www.me.go.kr/home/web/policy_data/read.do?menuId=10276&seq=254, 2022년 11월.
2. 환경부, “[노닐페놀·NPEs] 더러운 빨래(Dirty Laundry)”, 2012.
3. J. Dachs, D. A. Van Ry, and S. J. Eisenreich, “Occurrence of estrogenic nonylphenols in the urban and coastal atmosphere of the lower hudson river estuary”,

Environmental Science & Technology, 1999, 33(15), 2676-2679.

4. M. Hawrelak, E. Bennett, and C. Metcalfe, “The Environment fate of the primary degradation products of alkylphenol ethoxylate surfactants in recycled paper sludge”, *Chemosphere*, 1999, 39(5), 745-752.
5. T. Leatherland, and A. Warhurst, “An environment assessment of alkylphenol ethoxylates and alkylphenols”, *The Journal of Applied Ecology*, 1995, 890-890.
6. OSPAR Commission, “Nonylphenol/nonylphenolethoxylate”, 2001.
7. 임정훈, 임병진, 업석원, 김민영, 김현욱, “LC-MS-MS를 이용한 전통 활성슬러지 공정과 생물학적 영양염류 제거 공정의 슬러지 중 NP2EO 및 OP2EO의 분석”, *한국환경분석학회지*, 2009, 12(3), 159-165.
8. 김협, 장철현, “GC/MS-SIM을 이용한 우리나라 수중 생물시료 중 알킬페놀, 클로로 페놀, 비스페놀 A의 분석을 위한 냉동필터법의 응용”, *대한환경공학학회지*, 2007, 29(6), 689-698.
9. 김협, 김진호, “기체 크로마토그래피/질량분석기를 이용한 종이류 중 알킬페놀류, 클로로페놀 및 비스페놀 A 정량”, *환경독성보건학회지*, 2003, 18(1), 45-55.
10. D.T. Bennie, “Review of the environmental occurrence of alkylphenols and alkylphenol ethoxylates”, *Water Quality Research Journal*, 1999, 34(1), 79-122.
11. 김명길, 김재현, “알킬페놀 화합물의 HeLa cell(HL-60)의 세포독성에 대한 QSAR 연구”, *환경독성보건학회지*, 2003, 18(4), 271-276.
12. 식품의약품안전청, “식품 중 알킬페놀류란?”, 2007.
13. F. S. V. Saal, P. S. Cooke, D. L. Buchanan, P. Palanza, K. A. Thayer, S. C. Nagel, S. Parmigiani, and W. V. Welshons, “A physiologically based approach to the study of bisphenol A and other estrogenic chemicals on the size of reproductive organs, daily sperm production, and behavior”, *Toxicology and Industrial Health*, 1998, 14(1-2), 239-260.
14. 환경부, “수질오염물질 지정 등에 관한 지침”, 2022, 환경부훈령 제1558호.
15. US environmental protection agency, <http://www.epa.gov/wqc/national-recommended-water-quality-criteria-aquatic-life-criteria-table>, November 2022.
16. European environment agency, “Directive 2008/105 EC of the european parliament and of the council of 16 december 2008 on environmental quality standards in the field of water policy; environmental quality standards for priority substances and certain other pollutants - Part A: environmental quality standards (EQS)”, 2008, 92-94.
17. 일본 환경성 (日本 環境省), <http://www.env.go.jp/>

- kijun/wt2-1-1.html, November **2022**.
18. Canadian Council of Ministers of the Environment, “Canadian environmental quality guidelines; canadian water quality guidelines for the protection of aquatic life-nonylphenol and its ethoxylates”, **2002**.
 19. 국립환경과학원, “신규 수질유해물질 적정 처리기술 및 관리방안 연구(II)”, **2013**.
 20. 환경부, “수질 및 수생태계 환경기준 개선연구”, **2017**.
 21. 환경부, “수질오염물질 지정 및 적정 관리방안 연구”, **2020**.
 22. 김협, “GC/MS-SIM 방법에 의한 수돗물 중 알킬페놀, 클로로페놀과 비스페놀 A의 ppt 정량”, *환경독성보건학회지*, **2003**, 18(3), 248-255.
 23. 김종훈, “GC/MS-SIM에 의한 하수슬러지 중에 포함된 Octylphenol, Nonylphenol, Di-octylphthalate의 정량”, *분석과학*, **1999**, 12(3), 248-255.
 24. 김선영, “수영장 하류의 노닐페놀 분포 및 물질수지에 관한 연구”, *부경대학교*, **2012**.
 25. 이정화, “낙동강 중류수계에서의 비스페놀 A와 노닐페놀의 분포와 제거특성에 관한 연구”, *영남대학교*, **2012**.
 26. 이빛나, 김창성, 박미정, 한유석, 이소정, “서울 거주 산모의 초유 중 노닐페놀 분석을 통한 인체노출평가”, *환경독성학회지*, **2008**, 23(2), 113-117.
 27. 환경부, “2017년 화학물질 배출량 조사결과”, **2019**.
 28. 김요용, 남우경, 오민영, 경지영, 오천환, 김수현, 박기범, 서수정, 장진호, 이세영, “산업폐수 수질오염물질의 환경기준 적용 해설서”, **2020**, 경기도보건환경연구원. 경기도보건환경연구원/자료실/환경자료/산업폐수 수질오염물질의 환경기준 적용 해설서.
 29. 환경부, “수질오염공정시험기준”, **2022**.
 30. 환경부, “수질오염물질 감시항목 검사계획, 붙임1(감시항목 고농도 배출업종)”, **2021**.
 31. 환경부, “노닐페놀 취급제한물질로 지정 추진”, **2006**.
 32. 환경부, “유독물질 및 제한물질·금지물질의 지정 고시-규제영향분석서”, **2016**.
 33. 환경부, “중점관리물질의 지정”, **2018**, 환경부 고시 제2018-233호.