

연구논문

경기도 내 하천의 미세플라스틱 오염 특성 연구

정승규 · 김 현 · 김희영 · 김현자 · 이경희 · 조현진 · 정주용[†]

경기도보건환경연구원 물환경연구부

An Assessment of Microplastic Pollution in Several Streams of Gyeonggi-do

Seung-Gyu Jung, Hyeon Kim, Hee-Young Kim, Hyeon-Ja Kim, Kyong-Hee Lee, Hyun-Jin Jo,
and Ju-Yong Jeong[†]

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

Received February 27, 2023 / Revised March 16, 2023 / Accepted April 10, 2023

In recent years, there has been a growing interest in the environmental effects of microplastics, leading to active research efforts worldwide. However, most of these studies have focused on microplastic pollution in marine environments, resulting in a lack of information on the levels of microplastics in freshwater environments. To address this gap, this study investigated types and concentrations of microplastics in four rivers and two effluents from wastewater treatment plants in Gyeonggi-do, Korea, to determine the extent of microplastic contamination in relation to the surrounding environment and seasons. Microplastic concentrations were higher in the Gyeongan Stream (1.8~9.9 ea/L), Bokha Stream (0.47~2.6 ea/L), Osan Stream (0.5~6.6 ea/L), and Tan Stream (0.2~11.4 ea/L) than in the Tan Stream or Nakdong River, which were investigated in the past. However, due to spatial limitations, it is unclear whether the wastewater effluent had any downstream effects. The most commonly detected microplastic types were polypropylene, polyethylene, and polyester, comprising 58~90% of total microplastics, likely due to the influence of the surrounding environment (industries and human habitation). Moreover, types and concentrations of microplastics were found to reflect seasonal characteristics, particularly rainfall, suggesting that continuous monitoring is necessary to accurately assess the situation. The findings of this study can aid in the development of management strategies for reducing microplastic pollution in freshwater sources in the future.

Key words: Effluents, Freshwater environments, Microplastics, Seasonal characteristics, Waste water management plant

1. 서 론

미세플라스틱(microplastics)은 플라스틱이 물리·화학적 혹은 생물학적 작용을 거치며 5 mm 이하의 크기로 잘게 부서지면서 발생한다. 미세플라스틱도 다른 오염물질과 마찬가지로 하수처리장의 방류수와 같은 점오염원(point source)과 도로, 농경지 등에서 유출(runoff)되는 비점오염원(nonpoint source)의 형태로 하천으로 유입된다. 대표적인 점오염원으로 우리나라 가정의 세탁과정에서 발생하는 미세섬유(microfiber)와 같은 미세플라스틱은 연간

1,010~11,480 ton에 이른다.¹⁾ 이는 생활하수의 형태로 하수처리장으로 유입되어 처리과정을 거치면서 약 48~94%가 제거되고 방류수를 통해 하천으로 들어간다.²⁾ 도로의 타이어 분진, 농경지 페비닐 등에서 발생한 미세플라스틱은 비가 오면 유출되어 일부는 하수처리장으로 나머지는 하천으로 직접 유입할 수 있다. 유입된 미세플라스틱은 비중, 형태, 생물막(biofilm) 유무 등에 따라 침강하는 속도가 결정되어 바다에 퇴적하거나,³⁾ 저서성 대형 무척추동물,⁴⁾ 물고기⁵⁾ 등의 생물체에 축적되기도 한다.

담수 환경의 미세플라스틱은 중금속 및 잔류성 유기오

[†]To whom correspondence should be addressed.

염물질(persistent organic pollutants)과 같은 유해한 화학물질을 먹이 사슬로 옮기는 역할을 할 수도 있으며 어류 및 무척추동물과 같은 수생생물이 섭취하면 물리적으로 해를 끼칠 수도 있다.⁶⁾ 또한 미세플라스틱에는 생물막이 형성되어 병원성 미생물이나 항생제 내성 유전자의 매개체(vector)의 역할도 할 수 있다.⁷⁾ 이러한 미세플라스틱의 인체와 생태계에 미치는 영향에 대한 사회적 관심이 폭증하는 상황에서 국내외적으로 조사연구가 활발히 진행되고 있다. 하지만 하천이 해양 미세플라스틱의 오염원이자 통로임에도 불구하고 대부분의 연구는 해양환경에 집중되어 있어 담수 환경을 대상으로 한 연구는 많지 않다.³⁾ 우리나라에서 하천을 대상으로 한 연구는 낙동강⁸⁾과 탄천⁹⁾이 대표적이며 낙동강은 하천수 및 퇴적물, 탄천은 하천수, 방류수, 퇴적물과 함께 물고기까지 대상으로 하였다.

미세플라스틱은 종류와 형태가 매우 다양해서 분석하기 매우 어렵고, 현재 국내의 정성 및 정량 방법은 표준화되지 않아 연구자마다 다양한 방법을 채택하여 결과에 대한 비교가 어렵다.¹⁰⁾ 주로 이용되는 분석기기로는 적외선 분광기와 현미경을 결합한 FT-IR/현미경, Raman 분광기가 있으며, 이들 기기의 분석 크기 한계는 각각 20 μm 와 1 μm 이상이다. 최근에는 종이컵, 포장재 등에서 발생하는 1 μm 이하 크기의 나노플라스틱을 연구하기 위해 레이저 입자계수기(laser particle counter)와 주사전자현미경

(scanning electron microscope)이 사용되기도 한다.^{11,12)} 미세플라스틱 분석에 영향을 미치는 요소는 시료 채취에 사용하는 체(sieve)의 크기, 샘플링 방식, 시료량, 유기물을 제거하는 과정에 사용되는 시약의 종류나 농도, cutoff size에 따라 차이가 발생할 수 있다. 뿐만 아니라 정량 분석 결과를 제시하는 단위가 서로 달라서 비교하고 이해하기 어려운 경우가 많다.¹⁾

본 연구에서는 경기도 내 하천수질측정망 중에서 선정된 4개 하천과 2곳의 하수처리장 방류수를 대상으로 FT-IR/현미경을 이용해 계절별로 미세플라스틱의 종류와 농도를 조사하여 1) 하천과 방류수 중의 미세플라스틱 오염 실태를 파악하고, 2) 하천 주변 환경과 하수처리장 방류수가 하천 미세플라스틱에 미치는 영향을 평가하여, 3) 경기도 내 담수 환경의 미세플라스틱 관리 방안 마련을 위한 기초자료를 확보하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 대상 지점

조사 대상으로 경기도 내 하천수질측정망 중 환경적 특성을 반영하여 하천 4개소(경안천, 복하천, 오산천, 탄천)를 선정하고 각 하천의 3개(상류, 중류, 하류) 지점에서 시료를 채수하였다(Fig. 1). 경안천과 복하천은 중류 지점으

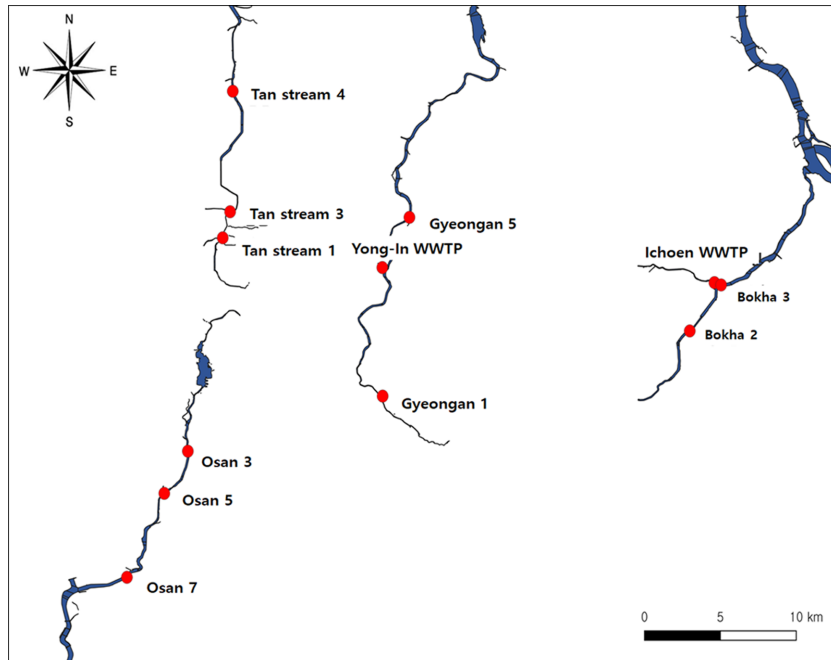


Fig. 1. Location of sampling sites in Gyeonggi-do, Korea.

로 용인과 이천 하수처리장 방류수를 활용하였다. 환경조건으로는 경안천은 주거 및 상업지역, 복하천은 농촌지역, 오산천은 공업지역을 포함한 복합적인 환경, 탄천은 하천 변 산책로가 발달한 도시지역으로 상정하였다.

2.2. 실험방법

미세플라스틱에 관한 연구가 수년간 수행되었음에도 시료 채취, 전처리, 정성 및 정량에 관한 공정시험기준이 제정되어 있지 않아서,⁶⁾ 이번 연구에서는 국내외에서 수행된 여러 연구를 참고하여 샘플링, 전처리 방법 등을 선정하였다. 시료는 계절에 따른 변화를 파악하기 위해 분기 1회(1, 5, 7, 10월), 표층(0~25 cm)에서 약 10 L를 채취하였다. 수심이 얇은 지점, 징검다리, 하수처리시설 방류수의 경우 스테인리스 비커를 이용하였으며, 징검다리가 있거나 다리가 있는 지점은 하천의 폭을 3개 부분으로 나누어 시료를 채취하여 균등하게 혼합하였다.

2.2.1. 물리적 전처리

현장에서 시료를 채취한 이후에 20~100 μm 범위의 미세플라스틱을 분석대상으로 하기 위해 3가지 체의 크기(sieve size 20 μm , 45 μm , 100 μm)의 금속 체(metal sieve)를 사용하였다. 체를 단단으로 결속하여 여과 장치에 연결한 후 진공여과 펌프를 사용해 여과하였다. 여과가 완료된 체는 증류수가 담긴 비커에 옮겨 담아 초음파를 이용해 미세플라스틱을 분리하였다.

2.2.2. 화학적 전처리

무기 입자를 분리한 후에는 기기 분석에 방해 요소가 되는 미세플라스틱 표면의 오염물질을 제거하였다. 플라스틱 표면은 유기물에 의해 오염될 수 있으며, 이를 제거

하기 위해서 과산화수소(30%) 산화, 펜톤산화, 산 및 염기 분해, 효소 분해 등이 단독 또는 혼합되어 사용되고 있다.¹⁰⁾ 본 연구에서는 유기물을 분해하기 위해 30% 과산화수소로 세척하고 체로부터 여과된 시료를 핫플레이트(hotplate)에서 12시간 동안 가열하였다. 유기물 분해 후에는 비중 분리를 하여야 하나 이 과정을 거치면 미세플라스틱의 회수율이 낮을 것으로 판단되어,¹³⁾ 분해가 끝난 시료는 mesh filter (sieve size 20 μm , 45 μm , 지름 25 mm)로 여과한 후 건조장치에 넣은 다음 25°C, 습도 20%에서 24시간 건조하여 수분을 완전히 제거하였다(Fig. 2).

2.2.3. 정성 및 정량 분석

미세플라스틱의 종류 확인과 계수에는 다양한 방법이 있지만, 분광(spectroscopic)과 열 분석(thermoanalytical) 기반으로 크게 2가지로 구분할 수 있다. 미세플라스틱은 약 5 μm 기준으로 크기가 작을수록 개수가 기하급수적으로 증가하고, 크기가 커질수록 질량이 지배하는 경향을 보인다. 따라서 미세플라스틱 분석 대상 크기에 따라 5 μm 이상은 개수 기준(개/시료 부피), 그 이하는 질량 기준(질량/시료 부피)으로 측정하는 분석 방법 및 분석기기 선택이 필요하다.¹⁰⁾

본 연구에서는 FT-IR Microscope(iN 10, Thermo Fisher Scientific, Madison, USA)를 이용하여 시료의 mesh filter를 투과(비 접촉) 방식으로 측정하였다. FT-IR 이미지 처리를 통해 여과된 시료의 mesh filter mosaic image와 chemical image를 확인하였다. 분석이 완료된 chemical image를 확인하여 미세플라스틱의 종류에 대한 정성분석을 진행하였고, mesh filter에 걸러진 미세플라스틱 입자를 계수하였다. 이 과정에서 미세플라스틱으로 확인된 물질은 적외선 분광기를 통해 특정한 미세플라스틱의 스펙

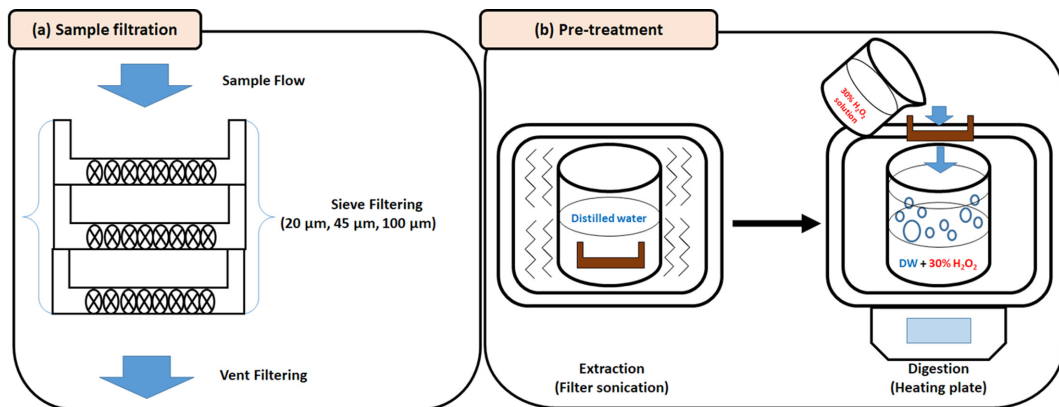


Fig. 2. Sample filtration (a) and pre-treatment process (b) of the samples before analysis.

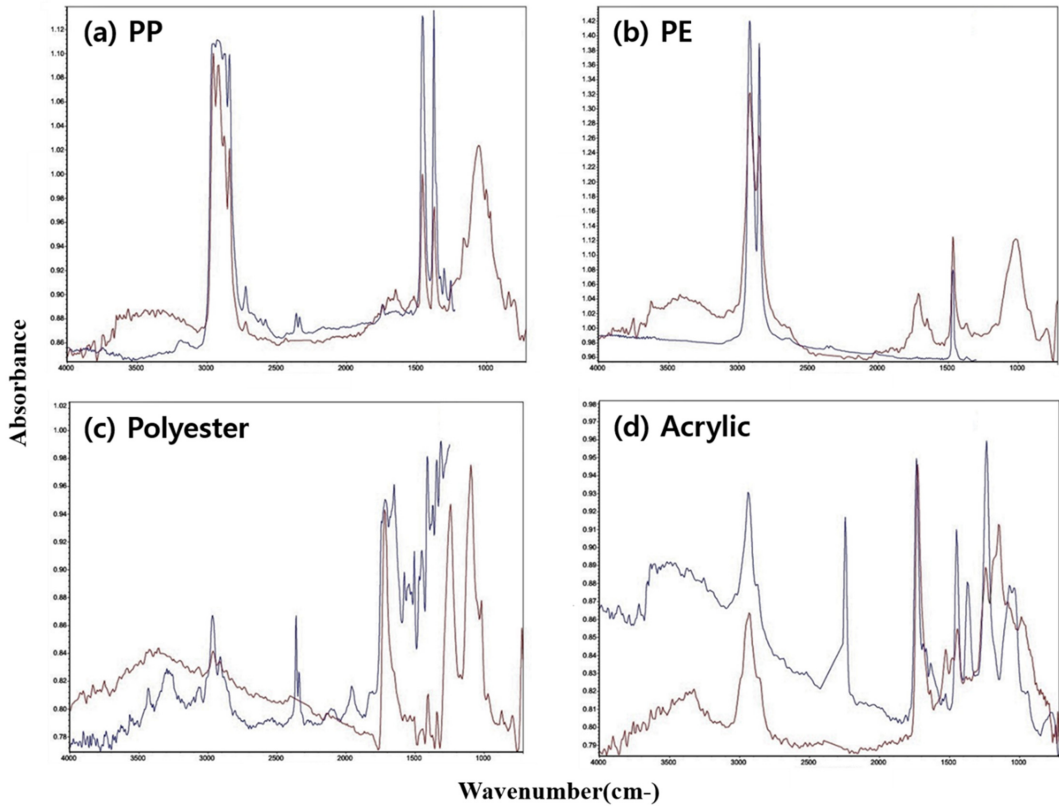


Fig. 3. FT-IR spectra of four major microplastics. Blue lines represent samples and the red lines represent references Abbreviations: Polypropylene (PP), Polyethylene (PE).

트럼이 얻어진다. 이 스펙트럼의 형태와 위치 등을 통해 미세플라스틱의 재질을 파악하여 다양한 미세플라스틱 스펙트럼이 저장된 라이브러리(IR spectra libraries)와 비교하여 플라스틱의 종류를 확인하였다(Fig. 3).¹⁴⁾

3. 결과 및 고찰

3.1. 하천 미세플라스틱 농도분포

시료는 1월부터 10월까지 분기별(1, 5, 7, 10월)로 채취하여 총 4회 분석하였다. 모든 종류와 크기(20~100 μm)를 포함한 지점별 미세플라스틱의 농도 범위는 경안천에

서 1.8~9.9 개/L이고 상류에서 가을(5.1 개/L), 하류에서 겨울(9.9 개/L)에 가장 높았다. 북하천에서의 농도 범위는 0.4~2.6 개/L이고 상류에서 겨울(2.6 개/L), 하류에서 가을(2.5 개/L)에 높게 나타났다. 오산천에서는 0.5~6.6 개/L이고 상류에서 봄(6.6 개/L), 중류에서 겨울(3.0 개/L), 하류에서 봄(5.1 개/L)에 높았다. 탄천은 0.2~11.4 개/L이고 상류에서 겨울(11.4 개/L), 중류에서 겨울(6.7 개/L), 하류에서 봄(7.3 개/L)에 높게 나타났다(Table 1).

계절에 따른 농도는 여름철 유량 증가에 따른 희석에 의해 감소하거나¹⁵⁾ 강우에 의한 비점오염원 유입과 유량 유속 증가에 따른 퇴적된 침전물이 다시 부유함에 따라

Table 1. Seasonal variation of total microplastic concentrations (ea/L) in stream waters in Gyeonggi-do, Korea

Season	Gyeongan		Bokha.		Osan.			Tan.		
	Up	Down	Up	Down	Up	Mid	Down	Up	Mid	Down
Winter(Jan.)	2.9	9.9	2.6	2.0	4.2	3.0	1.0	11.4	6.7	4.5
Spring(May)	3.8	1.8	1.5	0.4	6.6	1.4	5.1	8.5	3.6	7.3
Summer(July)	1.9	2.9	1.3	1.4	0.5	1.1	2.3	8.7	0.7	0.4
Fall(Oct.)	5.1	6.6	2.1	2.5	0.8	1.0	3.5	0.2	1.0	2.1

증가할 수 있다.¹⁶⁾ 이번 연구에서는 대상 지점의 특성과 관계없이 여름철보다 겨울철에 상대적으로 높은 농도의 미세플라스틱이 검출되었다. 따라서 이번 조사 대상에서는 유량 증가에 따른 희석 효과가 더 크게 나타났다고 추정할 수 있다. 국내에서 수행된 연구에 따르면, 2017년 낙동강 수계에서는 20 μm 크기 이상의 미세플라스틱이 상류(2월) 293 \pm 83 개/ m^3 , 하류(8월) 4,760 \pm 5,242 개/ m^3 의 범위로 겨울철 보다 강수량이 많은 여름철에 절대적으로 높았다.⁸⁾ 2019년 탄천 유역 조사에서는 100 μm ~5 mm 크기 범위의 미세플라스틱이 31.4 \pm 28.5 개/ m^3 이 검출되었다. 건기(dry season)보다는 우기(rainy season)에 다소 높았고, 공간적으로는 하류에서 높았다⁹⁾ 2021년 안산시 수계 하천의 경우, 100~300 μm 크기 범위의 미세플라스틱이 반월천 99 개/100L, 신길천 75 개/100L, 안산천 63 개/100L, 화정천 64 개/100L가 검출되었다.¹⁷⁾ 단순히 수치만을 보았을 때는 이번 연구에서의 미세플라스틱 검출 농도가 높은 것으로 보이지만 샘플링 방법의 차이, 시료량, 목적으로 하는 미세플라스틱의 크기 범위, 농도의 단위, 전처리 방법 등에 따라 차이가 나타날 수 있기 때문에 실질적인 비교는 어렵다.

3.2. 하수처리시설 방류수의 영향

생활하수에 포함된 미세플라스틱은 하수처리장에서 처리를 거치는 과정에서 대부분 제거되지만 상당한 양이 방류수를 통해 매일 배출되며,¹⁸⁾ 따라서 하수처리장은 하천 환경으로 유입하는 미세플라스틱의 오염원이자 중요한 경로 중의 하나이다.¹⁹⁾ 방류수는 샘플링 방법에 따라서 검출되는 미세플라스틱의 종류가 달라질 수 있어서 많은 양의 시료 혹은 24h 혼합 시료를 이용한다면 이러한 변이를 줄일 수 있다.²⁰⁾ Table 2는 경안천과 북하천에서 하수처리시설 방류수 유입 전·후 지점의 미세플라스틱 평균 농도 및 방류수 평균 농도를 보여준다. 지점별 평균 농도 \pm 표준편차는 경안천은 상류 3.4 \pm 1.2 개/L, 용인 하수처리시설 방류수(중류)는 5.3 \pm 3.2 개/L, 하류 3.7 \pm 0.8 개/L, 북하천은 상류 1.9 \pm 0.5 개/L, 이천 하수처리시설의 방류수(중류)는 1.6 \pm 0.8 개/L, 하류 3.0 \pm 2.6 개/L로 나타

났다. 하수처리시설 방류수 유입 전·후 미세플라스틱 농도 차이를 볼 때 경안천은 다소 증가하는 것으로 나타났으나, 북하천에서는 차이를 볼 수 없었다. 미국의 경우 하수처리장 방류수가 하천 미세플라스틱의 농도에 영향을 주는가에 대한 서로 다른 연구결과가²¹⁻²³⁾ 있으며, 북 잉글랜드 6개 하수처리장의 하류에서는 항상 미세플라스틱이 증가하였다는 보고도 있다.²⁴⁾ 우리나라 탄천 유역의 경우에도 방류수 유입에 따라 하류의 미세플라스틱 농도가 증가하였다.²⁵⁾ 본 연구에서는 하수처리장 방류수 유입 후 농도는 조사 시기마다 차이가 있었다. 샘플링 방법에 따라서 검출되는 미세플라스틱의 종류가 달라질 수 있어서 많은 양의 시료 혹은 24h 혼합 시료를 이용한다면 이러한 변이를 줄일 수 있지만,²⁰⁾ 이번 조사에서는 횡수 등에 한계가 있어 방류수 유입이 하천 미세플라스틱에 영향을 주는 것으로 판단하기는 어려웠다.

3.3. 검출된 미세플라스틱 종류

대상 지점별 검출된 미세플라스틱의 종류는 PP, PE, Olefin, PS, PES, Acrylic, Other이며 Fig. 4에 나타내었다. 경안천은 상류 지점에서 주로 PP > PE > PES 순으로 나타났으며, 겨울철에 이들의 점유율이 더 높게 관찰되었다. PP의 점유율은 겨울철 72.4%, 가을철 64.7%로 모든 시기에 60% 이상을 차지하였다. 또한 하류에서도 PP와 PE의 점유율이 높게 나타났으며, PP의 점유율은 가을철 65.2%, 겨울철 53.5%, 봄철 50%로 모든 시기에 50% 이상이었다. 경안천은 주거지구와 상업지구를 가로질러 흐르는 하천이기 때문에 검출된 미세플라스틱 종류는 포장재, 섬유 등의 주요 원료인 PP, PE와 같이 생활하수에서 기인한 종류로 점오염원의 영향을 받은 것으로 판단된다. 북하천은 상류에서 PE > PP > PES 순으로 나타났으며, 봄철에 PE가 40%로 다른 계절에 비해 높은 점유율을 나타냈다. 하류는 PE와 PP가 주로 검출되었으며, 봄철에는 두 종류의 미세플라스틱이 같은 점유율로 검출되었고 가을철에 PE가 점유율 56%로 가장 높았다. 북하천은 농촌지역으로 농경지를 거쳐 흐르는 하천이며 비점오염원에 의한 영향이 많을 것으로 예상된다. PE가 농업용 비닐의 주요 원료인 것을 고려할 때 주변 농경지에서 필름 형태의 포장재 등이 마모되어 하천에 유입되었을 것으로 판단된다. 오산천은 상류 지점에서 PP가 봄철 57.6%, PE는 가을철 50%로 점유율이 높았다. 중류에서도 상류와 비슷하게 PP가 봄철 50%, PE는 여름철 72.7%, 가을철 60%로 높은 점유율을 보였다. 하류에서 PP가 여름철 52.2%, PE는 가을철 82.9%로 높은 비율로 검출되

Table 2. Influence of waste water treatment plant (WWTP) effluents on microplastic concentrations in stream waters in Gyeonggi-do, Korea

WWTP	Receiving Stream	Average Conc. (ea/L \pm SD)		
		Upstream	Effluent	Downstream
Yong-in	Gyeongang	3.4 \pm 1.2	5.3 \pm 3.2	3.7 \pm 0.8
Icheon	Bokha	1.9 \pm 0.5	1.6 \pm 0.8	3.0 \pm 2.6

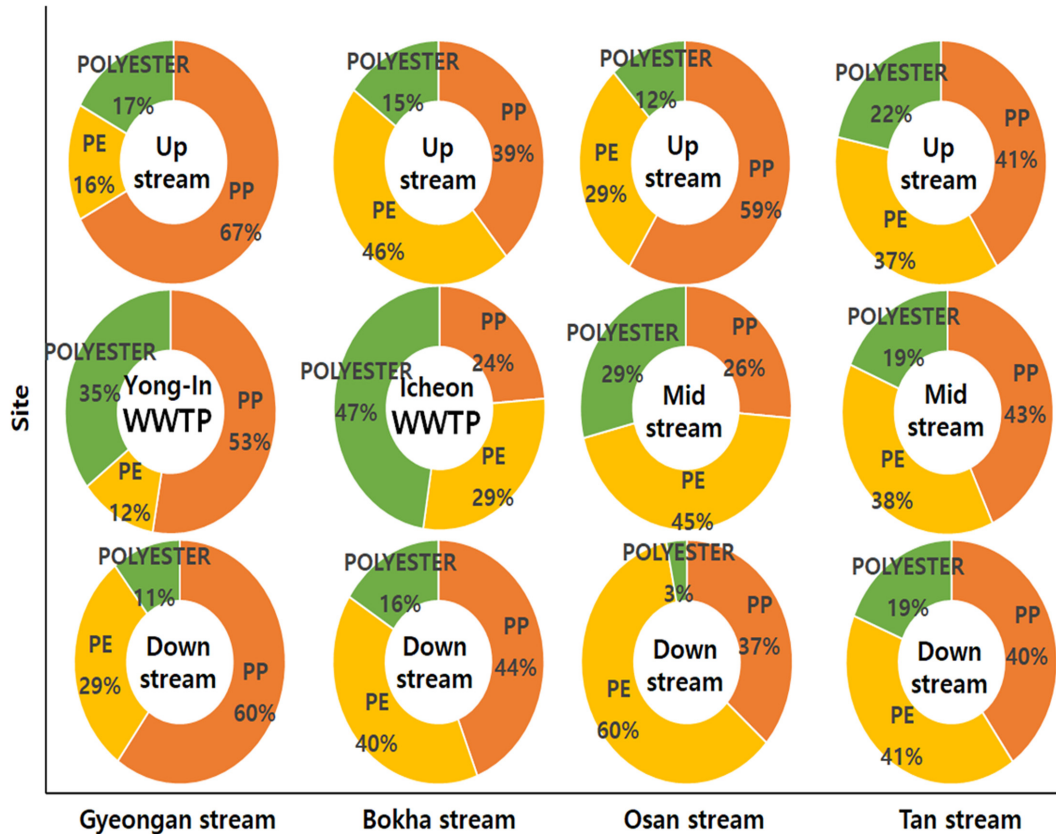


Fig. 4. The polymer types of microplastics in streams in Gyeonggi-do, Korea according to sampling sites. Abbreviations: Polypropylene (PP), Polyethylene (PE), waste water treatment plant (WWTP).

었다. 오산천은 상류에서 중류까지는 도심을 가로지르며 하류의 경우 공장 및 공단이 인접해 복합적인 오염원에 노출되어 있다. 각 지점에서 검출되는 미세플라스틱의 종류는 Other가 겨울철 50%, 66.7%, 30%로 점유율이 높았으며, 다른 3곳의 하천들보다 다양한 종류의 미세플라스틱이 검출되었다. 탄천은 상류에서 PP가 겨울철 100%이며 PE는 봄철 62.4%로 높게 나타났다. 중류에서 PE는 봄철 52.8%, PES는 겨울철 50%로 높았으며 하류에서 PP는 여름철 50%로 높게 나타났다. 탄천은 도심과 매우 인접하여 수변구역(watershed area) 정비가 잘되어 산책로가 발달되어 있다. 주로 검출되는 PP, PE, PES는 생활 하수와 더불어 산책로나 도로변에서 발생하여 하천으로 유입되었을 가능성이 높은 것으로 판단된다. 전체적으로 이번 조사에서는 PP, PE, PES가 전체 함량의 58~90%를 점유하였다. 낙동강⁸⁾에서는 PP(41.8%), PES(23.1%), PE(9.4%) 3종이, 탄천⁹⁾에서는 PE(41%), PP(20%) 2종의 미세플라스틱이 주로 검출되어 비슷한 경향이나 안산시 수계 하천¹⁷⁾에서는 PP, PE와 함께 PET(polyethylene

terephthalate)가 80% 이상을 차지하였다.

하수처리시설 방류수 내 미세플라스틱 성분은 용인 하수처리장에서 PP가 겨울철 55.9%, PES가 봄철 51.3%로 가장 높게 나타났다. 이천 하수처리장에서 PP가 봄철 40.0%, 가을철 42.9%로 높았다. 방류수에서 PP와 같이 기본 플라스틱 제품의 원료가 주로 검출된 것으로 보았을 때 해당 성분의 미세플라스틱이 하수처리장을 통해 하천으로 방류될 것으로 예상된다. 본 연구에서 대상 지점별 미세플라스틱 종류의 분포를 종합적으로 비교해 보았을 때, 상대적으로 가벼운 플라스틱 종류인 PP, PE, PES가 하천의 표층에 주로 존재할 것으로 예상되며²⁶⁾, 실제로도 주요하게 검출되었다.

4. 결 론

경기도 내 하천수질측정망 중 하천 4개소와 하수처리장 방류수 2개소를 대상으로 미세플라스틱 현황 조사를 수행하였다. 하천의 표층 및 하수처리시설의 방류수를 채

취하였으며 FT-IR/현미경을 통해 분석한 결과 지점별 평균 농도(±표준편차)는 탄천 상류 6.9±4.9 개/L, 중류 3.0±2.4 개/L, 하류 3.6±2.6 개/L로 상류가 가장 농도가 높았다. 경안천 상류 3.4±1.2 개/L, 하류 5.3±3.2 개/L, 복하천 상류 1.9±0.5 개/L, 하류 1.6±0.8 개/L, 오산천 상류 3.0±2.5 개/L, 중류 1.6±0.8 개/L, 하류 3.0±1.5 개/L의 미세플라스틱이 각각 검출되었다.

미세플라스틱 분포에 있어서 하천의 지점에서 겨울철에 상대적으로 높은 농도가 관찰되었으며 검출된 미세플라스틱의 종류는 모든 하천 및 하수처리시설 방류수에서 PP>PE>PES>Olefin>Acrylic>Other 순이었다. 이 중에서도 주로 PP, PE 및 PES가 검출되었으며(48~94%) 이들은 다른 미세플라스틱에 비해 가벼워서 하천의 표층에 위치하며 기본 플라스틱 제품의 원료여서 생활하수에 많이 포함되어 있기 때문에 추정된다. 또한 경안천은 주거 및 상업지역으로 생활하수 유래의 PP-PE(포장재, 병뚜껑)이 주로 검출되었고, 복하천은 농촌지역으로 PE(농업용 비닐 원료)가, 오산천은 공장을 포함한 복합적인 오염원이 있어 주요 성분 이외에 특정되지 않은 다른 성분 검출 비율이 높고, 탄천은 도시지역으로 PP(포장재, 섬유) 100%(10월) 등 지역적 특성을 보였다. 이에 도심지역을 거쳐 흐르는 하천의 경우 산책로나 도로변에서 발생한 쓰레기 등에서 유입될 가능성이 크고 일부 농업 지역이나 공단지역을 가로지르는 하천은 필름 형태의 포장재 등이 주요한 오염원일 것으로 생각한다.

검출 농도의 측면에서는 다른 연구에서 보다 높았는데 미세플라스틱의 농도는 샘플링 방법, 시료량, 전처리 방법, cutoff size 등 여러 요인들에 차이가 발생할 수 있기 때문에 직접적인 비교는 어려울 것이다. 이번 연구 결과는 경기도 내 하천의 미세플라스틱 실태에 대한 기초자료를 확보하고 이를 토대로 관리 대책을 마련하는 데 유용하게 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

감사의 글

본 논문은 환경부의 재원으로 국립환경과학원의 지원을 받아 수행하였습니다(NIER-2022-01-03-014).

참고문헌

- H.-S. Lee and Y.-J. Kim, "Estimation of microplastics emission potential in South Korea - for primary source", *The Sea: Journal of the Korea Society of oceanography*, **2017**, 22(3), 135-149.
- B. Choi, J. Kim, and S. Choi, "A mini-review on microplastics in drinking water treatment processes" *Journal of Korean Society of Water and Wastewater*, **2020**, 34(5), 357-371.
- T. J. Hoellein, A. J. Shogren, J. L. Tank, P. Risteca, and J. J. Kelly, "Microplastic deposition velocity in streams follow patterns for naturally occurring allochthonous particles", *Scientific Reports*, **2019**, 9(1), 3740.
- F. M. Windsor, R. M. Tilley, C. R. Tyler, and S. J. Ormerod, "Microplastic ingestion by riverine macro-invertebrates", *Science of The Total Environment*, **2019**, 646, 68-74.
- B. Parker, D. Andreou, I. D. Green, and J. R. Britton, "Microplastics in freshwater fishes: occurrence, impacts and future perspectives", *Fish and Fisheries*, **2021**, 22(3), 467-488.
- J. Li, H. Liu, and J. Paul Chen, "Microplastics in freshwater systems: A review on occurrence, environmental effects, and methods for microplastics detection", *Water Research*, **2018**, 137, 362-374.
- S. Martínez-Campos, M. González-Pleiter, F. Fernández-Piñas, R. Rosal, and F. Leganés, "Early and differential bacterial colonization on microplastics deployed into the effluents of wastewater treatment plants", *Science of The Total Environment*, **2021**, 757, 143832.
- S. Eo, S. H. Hong, Y. K. Song, G. M. Han, and W. J. Shim, "Spatiotemporal distribution and annual load of microplastics in the Nakdong River, South Korea", *Water Research*, **2019**, 160, 228-237.
- T.-J. Park, S.-H. Lee, M.-S. Lee, J.-K. Lee, J.-H. Park, and K.-D. Zoh, "Distributions of microplastics in surface water, fish, and sediment in the vicinity of a sewage treatment plant", *Water*, **2020**, 12(12), 3333.
- H.-W. Yu, Y. S. Kim, S. Lee, J. Yoo, and J. Choi, "A review on analytical methods and occurrences for microplastics in freshwater", *Journal of Environmental Analysis, Health and Toxicology*, **2020**, 23(4), 180-193.
- V. P. Ranjan, A. Joseph, and S. Goel, "Microplastics and other harmful substances released from disposable paper cups into hot water", *Journal of Hazardous Materials*, **2021**, 404, 124118.
- C. D. Zangmeister, J. G. Radney, K. D. Benkstein, and B. Kalanyan, "Common single-use consumer plastic products release trillions of sub-100 Nm nanoparticles per liter into water during normal use", *Environmental Science & Technology*, **2022**, 56(9), 5448-5455.
- I. Dimante-Deimantovica, N. Suhareva, M. Barone, I. Putna-Nimane, and J. Aigars, "Hide-and-seek: Threshold values and contribution towards better understanding

- of recovery rate in microplastic research”, *MethodsX*, **2022**, 9, 101603.
14. S. Veerasingam, M. Ranjani, R. Venkatachalapathy, A. Bagaev, V. Mukhanov, D. Litvinyuk, M. Mugilarasan, K. Gurumoorthi, L. Guganathan, V. M. Aboobacker, and P. Vethamony, “Contributions of fourier transform infrared spectroscopy in microplastic pollution research: a review”, *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, **2021**, 51(22), 2681-2743.
 15. G. Wang, J. Lu, W. Li, J. Ning, L. Zhou, Y. Tong, Z. Liu, H. Zhou, and N. Xiayihazi, “Seasonal variation and risk assessment of microplastics in surface water of the Manas River Basin, China”, *Ecotoxicology and environmental safety*, **2021**, 208, 111477.
 16. R. Hurley, J. Woodward, and J. Rothwell, “Microplastic contamination of river beds significantly reduced by catchment-wide flooding”, *Nature Geoscience*, **2018**, 11(4), 251-257.
 17. 안산녹색환경지원센터, “안산시 수계에서의 미세플라스틱 영향 조사 연구”, 2021, 66-67.
 18. F. Murphy, C. Ewins, F. Carbonnier, and B. Quinn, “Wastewater treatment works (WwTW) as a source of microplastics in the aquatic environment”, *Environmental Science & Technology*, **2016**, 50(11), 5800-5808.
 19. P. U. Iyare, S. K. Ouki, and T. Bond, “Microplastics removal in wastewater treatment plants: a critical review”, *Environmental Science: Water Research & Technology*, **2020**, 6(10), 2664-2675.
 20. E. A. Ben-David, M. Habibi, E. Haddad, M. Hasanin, D. L. Angel, A. M. Booth, and I. Sabbah, “Microplastic distributions in a domestic wastewater treatment plant: removal efficiency, seasonal variation and influence of sampling technique”, *Science of the Total Environment*, **2021**, 752, 141880.
 21. A. McCormick, T. J. Hoellein, S. A. Mason, J. Schlupe, and J. J. Kelly, “Microplastic is an abundant and distinct microbial habitat in an urban river”, *Environmental Science & Technology*, **2014**, 48(20), 11863-11871.
 22. S. Estahbanati and N. L. Fahrenfeld, “Influence of wastewater treatment plant discharges on microplastic concentrations in surface water”, *Chemosphere*, **2016**, 162, 277-284.
 23. A. McCormick, T. J. Hoellein, M. G. London, J. Hittie, J. W. Scott, and J. J. Kelly, “Microplastic in surface waters of urban rivers: concentration, sources, and associated bacterial assemblages”, *Ecosphere*, **2016**, 7(11)
 24. P. Kay, R. Hiscoe, I. Moberley, L. Bajic, and N. McKenna, “Wastewater treatment plants as a source of microplastics in river catchments”, *Environmental Science and Pollution Research*, **2018**, 25, 20264-20267.
 25. D.-H. Jeong, B. Ju, W. Lee, H. Chung, J. Park, and C. Kim, “A mini-review on discharge characteristics and management of microplastics in sewage treatment plants”, *Journal of the Korean Society of Water Wastewater*, **2018**, 32(4), 337-348.
 26. P. L. Lenaker, A. K. Baldwin, S. R. Corsi, S. A. Mason, P. C. Reneau, and J. W. Scott, “Vertical distribution of microplastics in the water column and surficial sediment from the Milwaukee River Basin to Lake Michigan”, *Environmental Science & Technology*, **2019**, 53(21), 12227-12237.