

Project Presentation

---

# 정수처리공정에서 미세플라스틱의 거동과 제거방안

---

2022890022 박신민

2022890026 박진영

---



Content

# 목차

Part 1  
팀소개

1-1  
팀소개

Part 2  
논문 리뷰

2-1  
서론

2-2  
문헌연구

2-3  
재료 및 방법

2-4  
결과 및 고찰

Part 3  
적용방안 제안

3-1  
PE 제거 방안

3-2  
용존공기부상공정 도입

## 팀 소개

---



### 팀명

## 브리타 Brita

최근 먹는 물에서 검출된 미세플라스틱이 이슈되며 대중들의 우려가 높아지고 있습니다. 브리타는 간이 필터 정수기로, 대중들의 신뢰도가 높습니다. 미세플라스틱에 관한 연구를 통해 우리나라의 정수처리공정을 개선해, 브리타 간이정수기와 같은 신뢰를 얻어보자는 취지에서 팀명을 브리타로 정하게 되었습니다.

### 팀원

## 박신민, 박진영

서울시립대학교 환경공학부 22학번에 재학 중이며, 스마트물환경관리, 용수처리공학, 지역물문제해결 등의 수업을 통해 물에 대한 지식을 넓혀가고 있습니다.

## 선정 논문 | “정수처리공정에서 미세플라스틱의 거동”

### 연구 배경

- ▶ 플라스틱의 광범위한 사용으로 취수원인 하천, 해양 등에 미세플라스틱 유입량 증가
- ▶ 국내 ‘먹는 샘물’ 1L 당 평균 1.32개의 미세플라스틱이 검출된 사례
- ▶ 현행 먹는 물 수질 기준에 미세플라스틱 관련 조항 부재
- ▶ 먹는 물 PET병, 노후 PVC 상수관 등을 통해 먹는 물에 미세플라스틱이 유입될 가능성이 높은 바, 물산업 전반에서 미세플라스틱을 유심히 다루어야 하나 가장 기본이 되는 정수처리공정에서부터 미세플라스틱을 엄중히 규정해야 함

### 연구 목적

- ▶ 정수처리공정에서 미세플라스틱의 유입, 제거, 유출 거동 분석
- ▶ 미세플라스틱 분석 방법으로 라만분광법의 적용 가능성 분석
- ▶ 정수 내 미세플라스틱 제거에 적용 가능한 정수처리공정 분석

## 미세플라스틱

### 정의

제품의 성능과 품질 개선 등을 위해  
의도적으로 사용되어 최종제품 중  
0.1 $\mu$ m ~ 5mm로 존재하는 고체상의 플라스틱  
(국립환경과학원)

### 위해성

- ▶ 미세플라스틱의 진피 침투와 피부염 유발 가능성
- ▶ 국내 화장품, 생활화학제품에의 미세플라스틱 사용 금지
- ▶ 저서 무척추동물에 미세플라스틱 노출했을 때 성장에 영향을 주었다는 연구 결과
- ▶ 미세플라스틱의 인체 위해성에 관한 다양한 연구가 국내·외에서 활발하게 진행 중

## 국내외 미세플라스틱 관련 연구

### 국내

- ▶ 화장품 내 미세플라스틱 분석 가이드,  
생활화학제품 내 미세플라스틱 표준시험절차  
존재하나, 정수처리장에 적용 어려움  
→ 정수처리장에 적용 어려움,  
미세플라스틱의 검출에 관해 공인된 표준화방법 부재
- ▶ 전국 24개 정수장 대상 미세플라스틱 분석 결과,  
3개 정수장에서 0.2 ~ 0.6개/L의 미세플라스틱 검출

### 해외

- ▶ WHO는 미세플라스틱 검출 절차를 샘플링, 샘플 추출 및 정제와  
미세플라스틱 식별, 특성분석 및 정량 3단계로 구분
- ▶ 분광분석법 중 마이크로 FT-IR, 라만분석법,  
Pyrolysis-GC/MS분석 등 이용

# 재료 및 방법

## 실험시설

- ▶ 대상 시설 : 국가물산업클러스터의 정수 클러스터
- ▶ 취수 : 낙동강 표류수 취수
- ▶ 정수 실증프랜트의 구성 : 2개 계열
  - 1계열 : 전오존, 응집, 침전, 모래여과, 후오존, 활성탄여과로 구성
  - 2계열 : 예비침전, 용존공기부상, 막여과, 활성탄여과

## 채수

- ▶ 채수 대상 시설 : 1계열, 2계열 중 8개 지점에서 9개 시료 채수
- ▶ 미세플라스틱의 측정 : 탁도, 총유기탄소(TOC)에 포함되어 측정될 수 있음
- ▶ 실험 전 측정 : 수온, 탁도, pH 측정해 당일 정수장의 운영 적정성 판단

\*물의 탁한 정도를 뜻하는 탁도는 물 속 부유물질과 관계있어, 미세플라스틱이 탁도에 포함되어 측정될 수 있음. 또한 미세플라스틱은 유기물이므로 TOC에 포함되어 측정될 수도 있음.

## 분석방법

### 탁도

- ▶ HACH사의 1720E Low Range Turbidimeter 사용하여 측정

### 총유기탄소

- ▶ 수질오염공정시험기준 고온연속산화법\*을 적용하는 Analytik-Jena multi N/C 2100S 장비 사용
- ▶ 무기성 탄소 50% 초과 시, 비정형 비정화성 유기탄소(NPOC)를 적용하고 50% 이하는 가감법(TC-IC) 적용.

\*고온연속산화법: 고온의 연소로 수중의 유기탄소를 이산화탄소(CO<sub>2</sub>)로 산화시킨 후, 총 탄소에서 무기성 탄소를 감하여 총 유기탄소 산정



## 수질 특성 평가

### 탁도

- ▶ 1계열 최종 처리수의 탁도 = 최대 0.12NTU  
(정수처리기준 0.3NTU 이하 만족)
- ▶ 2계열 최종 처리수의 탁도 = 0.07NTU  
(먹는물, 정수처리기준 만족)

### 총유기탄소

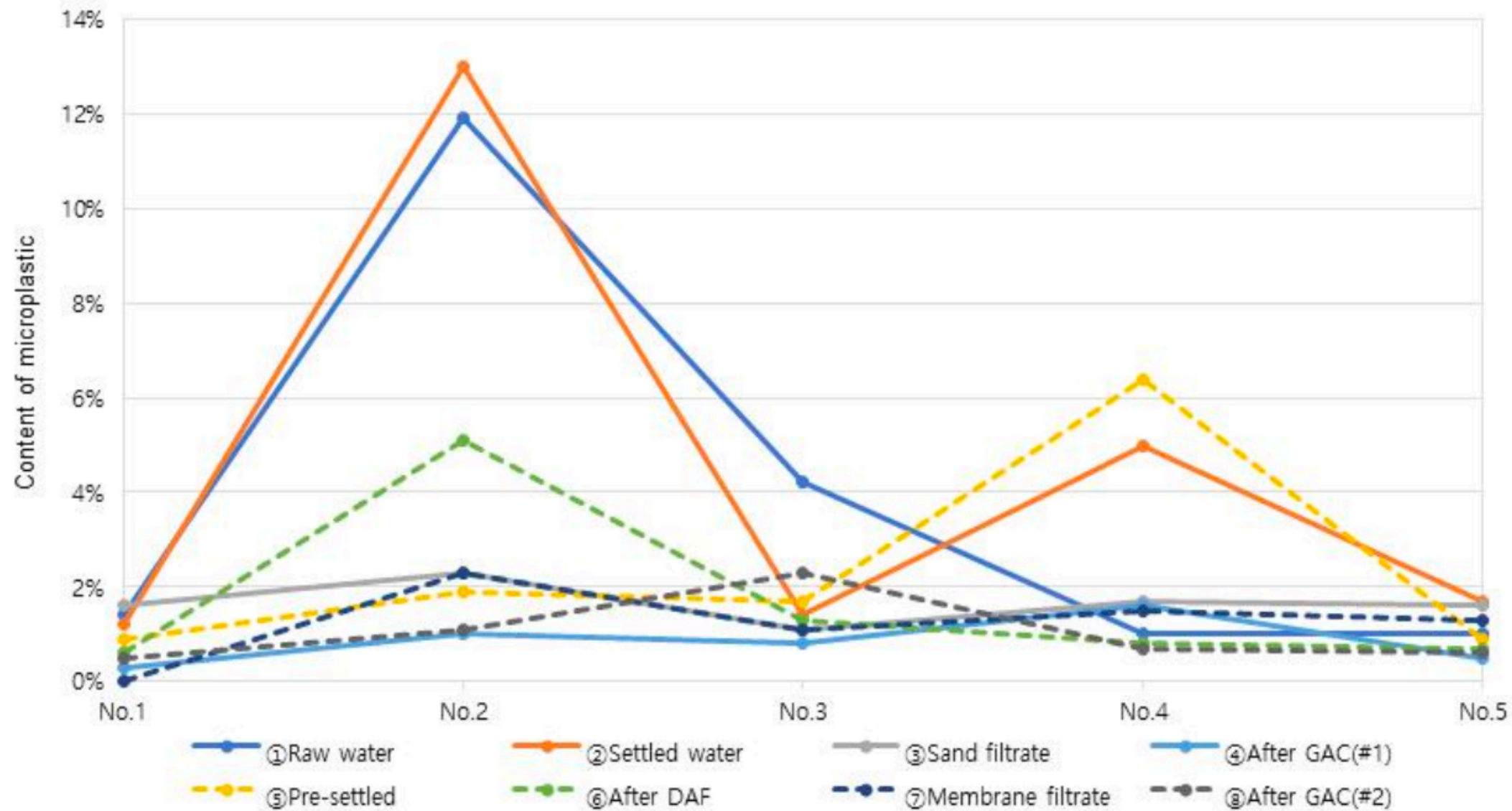
- ▶ 1계열 : 원수 대비 제거율 약 58.7 ~ 65.2%  
(실제 정수장과 유사)
  - ▶ 2계열 : 최종처리수의 TOC 제거율 평균 56.1%
- 정수처리공정은 적정 운영됨

## 미세플라스틱 제거 특성

- ▶ 8개 시료 중 5개에서 원수 ~ 최종처리수까지 모두 미세플라스틱이 검출
- ▶ 최종처리수에서 미세플라스틱 함유율 :  
1계열 0.3 ~ 1.6%, 2계열 0.5 ~ 2.3%
- ▶ 최종처리수의 미세플라스틱 제거율 :  
1계열 92.2%, 2계열 90.2%

# 결과 및 고찰

## 미세플라스틱 제거율



### 1계열

1계열 정수처리의 평균 미세플라스틱 제거율 92.2%

- ① 응집침전 : 33.6%
- ② 모래여과 : 80.7% \*응집침전수 대비
- ③ 활성탄여과 : 35.7 ~ 76.9% \*모래여과수 대비

### 2계열

2계열 정수처리 공정의 평균 미세플라스틱 제거율 90.2%

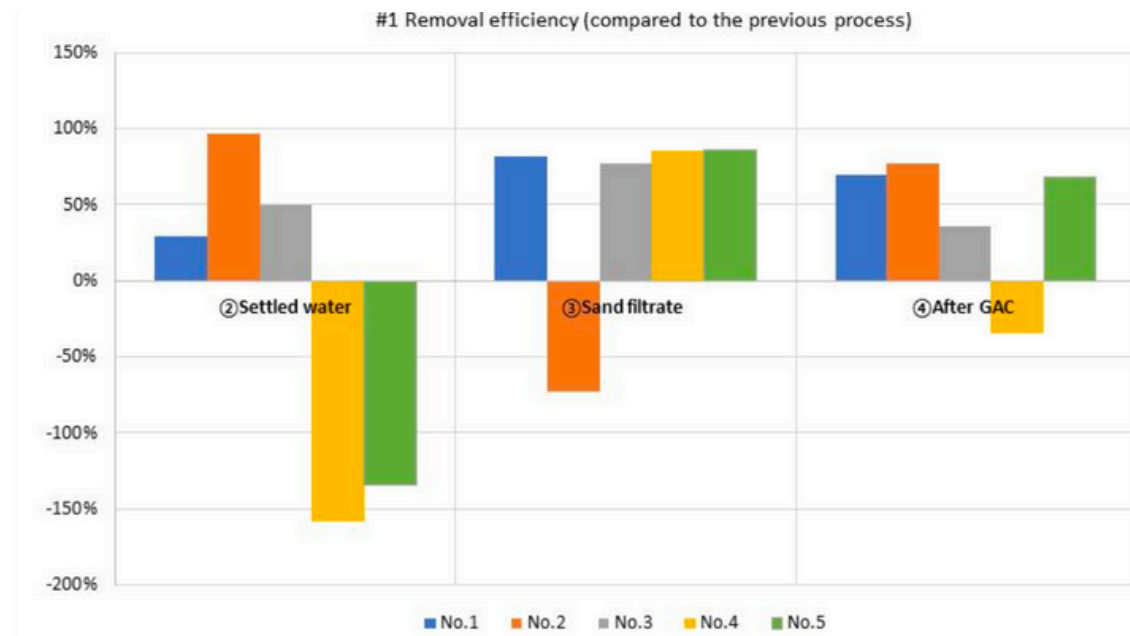
- ① 예비침전 : 12.5% ~ 48.1%
- ② 용존공기부상(DAF) : 74.6 ~ 97.2% \*예비침전수 대비
- ③ 막여과 : 12.7 ~ 89.5% \*DAF 처리수 대비
- ④ 활성탄여과 : 59.5% ~ 68.8% \*모래여과수 대비

\*소수성 미세플라스틱이 미세기포에 부착되어 상부로 부상하면서 높은 제거율을 기록. 최종 처리수의 미세플라스틱 제거 공정으로 활용 가능성 높음

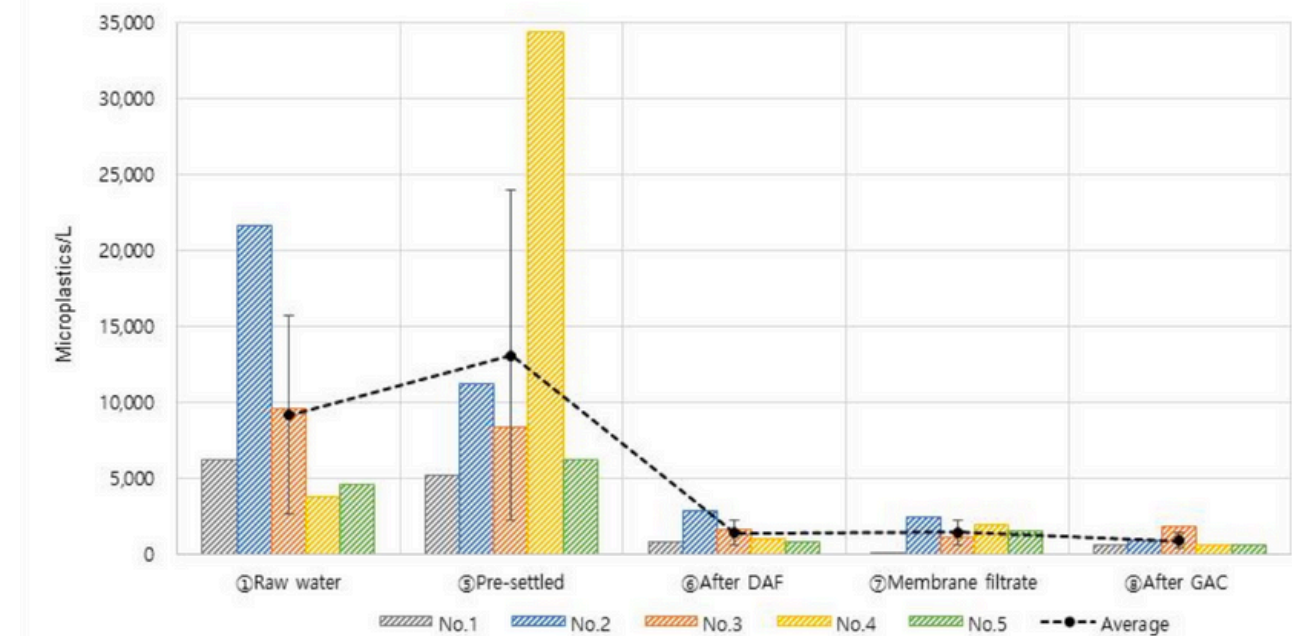
[그림2] 먹는 물 샘플에서 검출된 미세플라스틱 제거율

# 핵심기능 및 장점

8개시료 중 5개에서 원수 ~ 활성탄여과수(최종처리수)까지 모두 미세플라스틱 검출  
 최종처리수에서 미세플라스틱 함유율 : 1계열 0.3 ~ 1.6%, 2계열 0.5 ~ 2.3%



[그림3] 1계열 처리 단계에 따른 미세플라스틱 제거 효율



[그림4] 2계열 처리 단계에 따른 미세플라스틱 제거 효율

## 1계열 시사점

- ▶ 실험시설의 여과지에서 역세척수의 일부 오염물질이 재가라앉는 현상 관찰
- ▶ 선행연구에 따르면, 미세플라스틱과 같은 작은 입자가 여재 공극으로 누출되거나 역세척 후 여과 개시 시점이나 여과지속시간이 과도하여 탁질이 누출될 때 미세플라스틱도 함께 누출되는 것으로 추정함. 입자 크기와 탁질 유출 여부 분석 등 추가적인 연구 필요

## 2계열 시사점

- ▶ DAF 공정의 미세플라스틱 제거 효율은 기존 연구(Talvitie et al., 2017)의 결과 (95%)와 유사. 반면, 막여과 공정의 효율은 기존 연구와 차이를 보여 추가적인 원인 분석이 필요
- ▶ DAF 공정을 최종 처리수의 미세플라스틱 제거 공정으로 고려할 가능성이 있으며, 막여과 공정의 효율을 개선하기 위한 설비 및 공정 점검이 요구됨

# 결과 및 고찰

## 미세플라스틱 종류별 특성

### 1계열

- ▶ 미세플라스틱의 검출량 : PE(87.8%) > PP > PS > PET
- ▶ 공정 진행되며 PE 비율 ↓, PP 비율 ↑

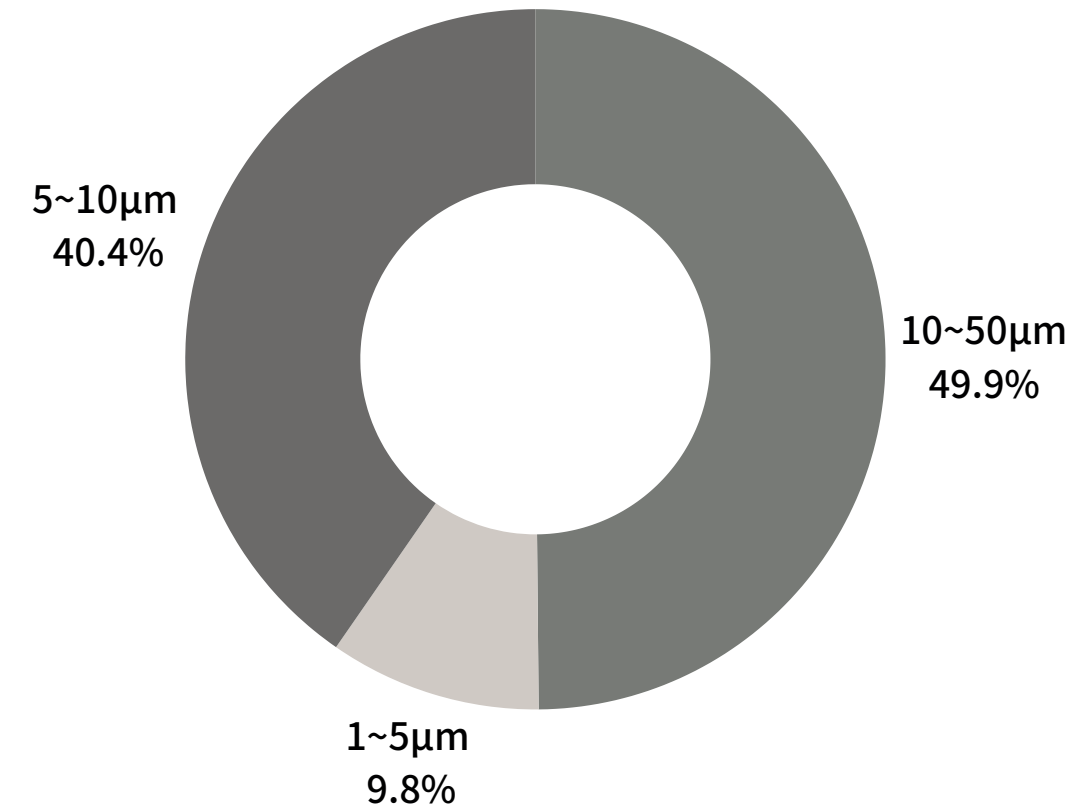
### 2계열

- ▶ 미세플라스틱의 검출량 : PE(88.2%) > PP > PS > PET

### 전체

- ▶ 1, 2계열 모두에서 가장 많이 검출된 미세플라스틱 = PE  
그 다음으로 PP, PS, PET 순으로 검출량이 많았음

## 미세플라스틱 크기별 비율



- ▶ 4개 시료 분석 결과, 50µm 이상의 미세플라스틱은 검출 X
- ▶ 1~5µm 크기 미세플라스틱: 전체의 9.8%
- ▶ 5~10µm 크기 미세플라스틱: 전체의 40.4%
- ▶ 10~50µm 크기 미세플라스틱: 전체의 49.9%를 차지
- ▶ 여과지 공극이 5µm인 실리콘 필터를 사용했음에도 1~5µm 크기의 입자 검출  
→ 필터 공극이나 여재를 통과한 잔여물이 원인일 가능성이 있음

# 결과 및 고찰

---

## 결론

### 미세플라스틱 제거율

- ▶ 표준 및 고도정수처리 : 92.2% 제거
- ▶ 용존공기부상, 막여과, 활성탄여과 : 90.1% 제거

### 효율적인 제거 공정

- ▶ 용존공기부상공정: 안정적 제거율, 정수처리에 적합

### 미세플라스틱 종류 및 분포

- ▶ 검출된 6종 :  
PE > PP > PS > PET > PVC > PMMA
- ▶ 크기 분포 : 10-50  $\mu\text{m}$  > 5-10  $\mu\text{m}$  > 1-5  $\mu\text{m}$
- ▶ 50  $\mu\text{m}$  이상 미세플라스틱 미검출

### 막여과수 문제점

- ▶ 공칭공경 0.03  $\mu\text{m}$ 에서도 10-50  $\mu\text{m}$  미세플라스틱 검출
- ▶ 원인 규명 필요: 막여과 설비 점검, 시험 회수 증대 등

### 분석방법의 장점

- ▶ 라만분광분석: 시간 절약, 5  $\mu\text{m}$  이상의 미세플라스틱 분석 가능
- ▶ 수돗물 미세플라스틱 분석에 적합

## 문제점

국립환경과학원의 ‘먹는 샘물’ 모니터링 결과, ‘먹는 샘물’ 1L당 직경 20 $\mu$ m 이상인 크기의 미세플라스틱 평균 1.32개 검출



정수처리공정을 보완해 미세플라스틱 제거 필요

## 문제 해결 제시방안

### “용존공기부상법(Dissolved Air Flotation, DAF)”

: 물속에 주입한 미세기포의 부상력을 이용해 제거가 어려운 조류 및 부유물질 등 물 속의 오염물질을 제거하는 기술



#### 선행연구 1 \*

탁도 제거율 85 ~ 98%,  
조류 제거율 77 ~ 96%  
(유해남조류 제거율 95.7%)

#### 선행연구 2 \*\*

평균 탁도 효율 77%,  
조류 제거효율 80 ~ 89%

#### 장점

여름철 음용수의 탁도 및 조류와 같은 저밀도 고형물 제거와, 미세플라스틱 제거에 유의미함

\*김동진 외 3인. (2019). 고효율 용존공기부상(DAF) 공정에서의 최적 운전조건 선정에 따른 연속운영 결과 및 조류 제거효율 평가에 관한 연구

\*\*오현제, & Hyun Je Oh. (2022). 정수처리장 고속 용존공기부상공정의 설계 및 적용: 탁도 및 조류 제거를 위한 현장연구 上下水道學會誌, 36(6), 391-402

## 적용방안제안 - PE 제거 방안

---

### 문제점

미세플라스틱 중 PE가 88%로 가장 많음



정수처리공정 내의 PE 제거 기작을 알아보고자 함

### 문제 해결 제시방안

- ▶ 응집제, 응집보조제 주입 후 140 $\mu$ m PE를 spiking했을 때 제거효율 유사(81%, 83%)  
= PE가 응집보조제 주입 후 플록형성 과정에서 플록에 갇혀 제거됨
- ▶ 응집보조제 농도 높을수록 플록의 크기가 커지므로 더 큰 크기의 미세플라스틱 제거 가능  
→ 기존 공정 중 플록형성 과정에서 최적의 효율 조건을 찾아 운영

# 감사합니다

Thank you

---

2022890022 박신민

2022890026 박진영

- 1) 김동진 외 3인. (2019). 고효율 용존공기부상(DAF) 공정에서의 최적 운전조건 선정에 따른 연속운영 결과 및 조류 제거효율 평가에 관한 연구
- 2) 오현제, & Hyun Je Oh. (2022). 정수처리장 고속 용존공기부상공정의 설계 및 적용: 탁도 및 조류 제거를 위한 현장연구 上下水道學會誌, 36(6), 391-402
- 3) 이국양. "정수처리공정에서 미세플라스틱의 거동." 국내석사학위논문 경북대학교 대학원, 2022. 대구
- 4) 인하대, 라만 분광법 통한 특정 크기 이하 미세플라스틱 분석...형광 무영향 규명", 컨슈머타임스, 2024.11.13.
- 5) 환경부, 한국환경산업기술원. (2021). 정수처리시 응집, 침전에 의한 미세플라스틱 제거 효율 평가, 1-8

