

KEI

연구보고서
2019-18

하천 및 호소의 물환경에 미치는 미세플라스틱 영향 연구

A Study of the Impacts of Microplastics to Water Environment in Rivers and Reservoirs

김익재 · 유은진 · 황보은 · 곽효은

■ 연구진

연구책임자	김익재(한국환경정책·평가연구원 연구위원)
참여연구원	유은진(한국환경정책·평가연구원 연구원)
	황보은(한국환경정책·평가연구원 연구원)
	곽효은(한국환경정책·평가연구원 연구원)

■ 연구자문위원(가나다순)

김영기(환경부 물환경정책과 사무관)
김태운(한국환경정책·평가연구원 연구위원)
류재나(한국환경정책·평가연구원 연구위원)
박정규(한국환경정책·평가연구원 선임연구위원)
박태진(국립환경과학원 물환경공학연구과 연구관)
서동일(충남대학교 환경공학과 교수)

© 2019 한국환경정책·평가연구원

발행인	윤 제 응
발행처	한국환경정책·평가연구원 (30147) 세종특별자치시 시청대로 370 세종국책연구단지 과학·인프라동 전화 044-415-7777 팩스 044-415-7799 http://www.kei.re.kr
인 쇄	2019년 12월 26일
발 행	2019년 12월 31일
등 록	제 2015-000009호(1998년 1월 30일)
ISBN	979-11-5980-385-7 93530
인쇄처	디자인크레파스 02-22267-0663

이 보고서를 인용 및 활용 시 아래와 같이 출처를 표시해주시시오.
김익재 외(2019), 「하천 및 호소의 물환경에 미치는 미세플라스틱 영향 연구」,
한국환경정책·평가연구원.

값 7,000원

서 언

모든 생활과 산업에 만연한 플라스틱 사용이 새삼스레 사회적으로 주목받고 있는 이유는 미세플라스틱이 환경에 큰 영향을 미치기 때문입니다. 그동안 일상생활에서 편하게 이용해온 플라스틱이 이제는 우리의 건강을 위협할 수도 있다는 사실이 새로운 환경적 이슈가 되었습니다. 특히 미세플라스틱이 화장품, 치약과 같은 개인용품뿐만 아니라 의류 세탁물, 그리고 소금과 같은 의식주(衣食住) 생필품에서도 빈번하게 검출되며, 대기, 토양, 물, 퇴적물 등의 자연환경, 심지어 곤충 및 어류와 같은 크고 작은 동식물에서도 발견된다는 연구 보고가 있습니다. 이는 미세플라스틱이 환경에 미치는 영향에 관한 종합적 진단이 시급함을 의미합니다.

미세플라스틱에 대한 기존 연구의 대부분이 해양 환경을 중심으로 조사되어 담수 환경에 미치는 미세플라스틱의 위해성은 불확실하지만, 물환경과 물 이용에 큰 영향을 줄 수 있는 미세플라스틱 연구는 선택이 아니라 더 이상 미룰 수 없는 정책적 필연이 되었습니다. 미세플라스틱에 관한 막연한 불안감을 해소할 수 있는 첫걸음은 해양으로 유출되는 미세플라스틱의 주요 이동 경로인 담수 환경에 미치는 영향과 저감 정책 및 해외 동향을 면밀히 살펴보는 것입니다. 본 연구는 담수 환경을 중심으로 대기 및 토양, 생활시설 등과 같은 미세플라스틱 발생원에서 물환경으로의 유출 경로, 물환경에 미치는 영향, 관리 기법 등에 대한 최근 연구 및 정책 동향을 조사·정리하였습니다. 따라서 본 연구의 결과는 향후 미세플라스틱 관리를 위한 연구 주제와 기본 방향을 제시하는 데 활용될 수 있을 것으로 기대됩니다.

본 연구를 수행한 우리 원의 김익재 연구위원, 유은진 연구원, 황보은 연구원, 곽효은 연구원께 감사를 표합니다. 바쁘신 와중에도 명철한 자문을 통해 연구에 도움을 주신 환경부 김영기 사무관, 국립환경과학원 박태진 연구관, 충남대학교 서동일 교수께 감사드립니다. 또한 우리 원의 김태운 연구위원, 류재나 연구위원, 그리고 박정규 선임연구위원의 통찰력 넘치는 자문에도 감사를 표합니다.

2019년 12월

한국환경정책·평가연구원

원장 윤제용

요약

I. 연구의 배경 및 목적

- 배경 및 목적: 1960년대 이후 플라스틱 사용이 급증함에 따라 1970년대부터 물환경에서도 이로 인한 환경 문제가 발생하고 있으며 이는 해양환경에 국한되지 않고 담수 환경에서도 나타나고 있음.
 - 담수 환경은 미세플라스틱이 해양으로 유출되기 전의 이동 경로이자 임시 저장소 역할을 하는 데 반해 대부분의 연구가 해양에 치중되어 있어 담수 환경에서의 미세플라스틱에 대한 국내외 연구 현황을 파악하는 것이 필요해짐.
- 추진 체계: 국내외 선행연구 및 문헌을 토대로 미세플라스틱을 학문적으로 정의하고 발생 및 배출 현황을 조사했으며, 샘플링 및 분석 방법을 비교·분석했다. 또한 미세플라스틱이 환경 부문별로 미치는 영향을 분석하였고 주요국의 관리 기법 및 정책 동향을 토대로 미세플라스틱 관리 방향을 제시하였음.

II. 물환경에서의 미세플라스틱 분석 방법

1. 미세플라스틱의 정의 및 분류

- 미세플라스틱(microplastic)의 정의: 미세플라스틱은 일반적으로 입자 크기(size) 기준으로 5mm 이하의 플라스틱을 의미함. 그러나 일부 연구는 최대 길이(longest length) 혹은 입경 크기(diameter)를 정의의 기준으로 제한하며, 특히 미세(micro)의 범위에 대한 세분화된 기준 정립을 강조하고 있음. 이는 미세플라스틱을 규정하며 특정 기준을 적용하는 데는 한계가 있기 때문인 것으로 사료됨.
- 배출 방식에 따른 분류: 미세플라스틱은 생산 공정 전후에 따라 1차(Primary) 혹은

2차(Secondary) 미세플라스틱으로 분류할 수 있음. 1차 미세플라스틱은 생산 단계에서 특정 목적을 위해 원재료 수준으로 가공된 뒤 배출된 미세플라스틱을 의미하며, 2차 미세플라스틱이란 타이어, 염색 도료 등과 같은 기존 플라스틱 혹은 플라스틱을 함유한 제품이 물리·화학적으로 파쇄되거나 마모·분해되면서 배출된 플라스틱의 작은 입자를 의미함.

- 형태에 따른 분류: 미세플라스틱은 형태 혹은 모양으로 구분할 수 있는데, 일부 해외 연구에서는 조각(Fragment), 필름(Film), 섬유(Fiber), 펠릿(Pellet) 등 총 14개 형태별 미세플라스틱을 분류하였으며, 국내에서는 4개 내외의 미세플라스틱 형태를 분류한 연구가 있었음.

2. 미세플라스틱의 시료 채취, 전처리 및 검출 방법

- 미세플라스틱의 채집 방법: 미세플라스틱 분석을 위한 액체 시료 채집 시 주로 사용되는 방법은 Manta trawl, Plankton net, 채수통과 펌프 등이 있으며 여과 여부 및 Mesh size 등에 따라 달라질 수 있는 것으로 파악됨.
- 미세플라스틱의 전처리 방법: 밀도분리와 여과, 산화 등의 방법이 있는데, 미세플라스틱의 종류에 따라 보관 또는 전처리 과정에서 소실되는 양이 생길 수 있음.
- 미세플라스틱의 검출 방법: 전처리 이후 정량·정성적인 분석을 위해 목측/현미경 관찰, GC/MS와 분광기법을 사용하고 있으며 가장 보편적인 방법은 현미경 관찰과 적외선분광법(FTIR 등)을 함께 사용하는 것임.

3. 미세플라스틱 분석 방법의 표준화

- 분석 방법의 표준화 배경: 연구자마다 고려 사항이 달라 서로 다른 분석 과정을 사용하는데 미세플라스틱 특성상 분석 방법에 따라 결과가 달라질 수 있기 때문에 연구 간 비교가 어려운 실정이므로 의미 있는 자료 생성을 위해 분석 방법의 국제 표준화(international standard method) 구축이 시급함.
- 최신 동향: 국제표준협회(ISO: International Organization for Standardization)

는 미세플라스틱의 채집 및 분석을 위한 프로젝트를 2018년 4월에 착수한 것으로 파악됨. 국내에서는 국립환경과학원에서 주관하는 ‘물 중 미세플라스틱 한국산업표준(KS) 분석법 마련 연구’가 2019년 현재 수행 중인 것으로 조사되었음.

III. 물환경에 미치는 미세플라스틱의 영향

1. 미세플라스틱이 음용수에 미치는 영향

- 음용수 내의 미세플라스틱 검출: 음용수 중 미세플라스틱의 표면에 미생물의 생물막이 부착 및 성장할 수 있으며 해양 퇴적물에 있는 미세플라스틱에도 미생물이 성장하는 현상이 관찰된다고 보고함(Harrison et al., 2018).
 - 기존의 연구 자료 분석을 통해 담수 중 미세플라스틱 평가를 위해서는 채집에서 전처리 및 검출까지 분석의 표준화가 중요하며 더 작은 미세플라스틱 규명을 위한 데이터의 품질 관리가 필요함을 강조함(Koelmans et al., 2019)
 - 음용수 중 미세플라스틱 측정 연구를 분석한 결과 미세플라스틱 농도 범위는 0개/L~10,000개/L이며, 평균값은 지하수를 수원으로 하는 음용수에서 약 0.001개/L, 최대 1,000개/L로 나타나 전체적으로 지하수가 미세플라스틱의 오염으로부터 보전되는 것을 알 수 있음(WHO, 2019).
- 음용수의 미세플라스틱이 건강에 미치는 영향: WHO(2019) 보고서에 따르면 보고서가 발간되는 시점까지 인체에 섭취된 미세플라스틱에 대한 역학적 조사 및 연구는 없으며, 일부 미세플라스틱을 이용한 독성 연구가 있으나 그 숫자나 정보가 제한적이고, 실험 결과에 대한 신뢰도 또는 재현성에 대한 질문과 검증이 남아 있음을 강조함.

2. 미세플라스틱이 수생태에 미치는 영향

- 미세플라스틱은 잔류성 유기오염물질(POPs, PBTs)에 흡착되고 어류 섭취 등 먹이사슬 경로로 인체에 심각한 질병을 초래할 수 있는 것으로 보고됨(Mato et al., 2001; 박정규, 간순영, 2014). 저서성 대형무척추동물 대상으로 분석한 결과, 생식에 미치

는 미세플라스틱의 영향은 없는 것으로 평가되었으며 성장에도 영향이 없는 것으로 나타남(Redondo-Hasselerharm et al., 2018).

- 물벼룩 체내의 니켈 농도가 미세플라스틱(평균 크기: 0.201 μ m, 종류: PS와 PS-COOH)이 있을 때 더 증가한다고 보고함(김도경, 2017).

IV. 물환경에서의 미세플라스틱 관리를 위한 국내외 정책 동향

1. 국제기구: 유엔(UN), OECD, WHO

- 유엔(UN): 2016년 유엔환경총회(UNEA)에서 해양 플라스틱과 미세플라스틱을 주요 이슈로 간주하고 2017년 전문가 그룹을 구성하여 2025년까지 육상에서 발생하는 플라스틱 및 미세플라스틱으로 인한 해양오염 방지 방안과 장애 요인을 검토하도록 함.
- OECD: 환경정책위원회(EPOC)는 미세플라스틱 발생이 2차 발생원에 집중되어 있는 바, OECD 회원국과 중국과 인도를 대상으로 2차 미세플라스틱 발생을 줄이기 위한 방안의 적절성을 평가할 예정임.
- WHO: 현재까지 음용수 중 미세플라스틱에 대한 정기적 모니터링은 필요하지 않으며, 입자상 물질을 제거(Particle removal)하고 미생물로부터의 안전성을 확실하고 효과적으로 우선 관리해야 한다고 밝히고 있음.

2. G7 및 G20 정상회의

- 2018년 G7은 해양 폐기물에 관한 연구 촉진을 위해 UNEP와 협력하여 효율적이고 지속 가능한 플라스틱 관리를 위한 해양 플라스틱 현황을 발표하였고, G20는 2019년 미세플라스틱 배출량 감소와 해양 배출 방지를 위해 신속하게 국가 차원의 적절한 조치를 취할 것을 결의함.

3. 유럽연합(EU) 및 주요 국가

- 물 관련 지침 및 정책: 「물관리 기본지침(Water Framework Directive)」에 따르면 플라스틱 관련 물질은 우선유해물질에 포함되어 있어 회원국이 의무적으로 해당 물질을 관리하도록 하고 있음.
 - 「도시 하수 관리 지침(Urban Wastewater Directive)」에 폐수의 플라스틱 함량 및 미세플라스틱 감시 규정은 없으나 2018년 EU 집행위원회는 미세플라스틱 포획 및 제거 관점에서의 해당 지침의 효과성에 대한 평가를 시행하여 진행하고 있음.
 - EU 집행위원회는 2018년 「음용수 지침(Drinking Water Directive)」 개정 제안서에 미세플라스틱을 새로운 우려 사항으로 규정하고 병입수 수요를 줄이기 위한 일환으로 수돗물 사용을 촉진함.
- 산업 관련 지침 및 정책: 2010년 「산업 배출 지침(Industrial Emissions Directive)」은 플라스틱 관련 산업에서 플라스틱 펠릿에 대한 적절한 예방 조치를 취하고 BAT(Best Available Techniques)를 적용하도록 함.
 - 2019년 유럽화학물질청(Echa)은 화장품과, 페인트 및 도료, 건축자재 등의 산업에서 미세플라스틱을 첨가하는 것을 금지하는 방안을 제안함.
 - EU는 2018년 「플라스틱 전략」을 도입하고 화학물질관리제도(REACH)를 통해 제품에 미세플라스틱을 첨가하는 것을 제한할 것을 제안함.

4. 한국

- 2017년 수돗물의 미세플라스틱 함유 실태 조사: 조사 결과 1L당 평균 0.05개의 미세플라스틱이 검출되어 우려하지 않아도 될 수준이지만 예방 및 관리 차원에서 미세플라스틱이 사람에게 노출되는 경로와 위해성에 대한 연구를 추진할 예정임.
- 식품의약품안전처: 2017년 「화장품 안전기준 등에 관한 규정」에서 미세플라스틱을 세정, 각질 제거 등의 제품에 남아 있는 5mm 크기 이하의 고체 플라스틱으로 정의하고 ‘사용할 수 없는 원료’에 미세플라스틱을 추가함.

V. 결론 및 제언

- 국제적으로 미세플라스틱에 대한 정의가 확정되어 있지 않으므로 관련 동향 분석 및 연구조사 발표 등을 추진할 필요가 있으며 국내 담수 환경에서의 미세플라스틱 저감 및 관리 제도에 관한 검토가 필요함.
- 미세플라스틱의 분석에 대한 국제적인 표준화 방법이 부재한 상황이나, 현재 전처리와 검출 방법을 중심으로 표준화가 만들어지고 있으므로 추가 동향 파악이 중요함.
- 담수는 미세플라스틱의 해수로 이동하는 경로이므로 발생원, 비점오염 유출 형태의 유출 경로, 수체 내의 이동과 거동 등의 전과정을 파악하는 것이 필요함.
- WHO, World Bank 등에서 미세플라스틱을 신규 관심물질(CECs)로 규정하고 연구·조사의 시급성과 중요성을 크게 강조함에 따라 저감 방안 및 정책을 수립하는 과정에서 수질오염 감시 항목으로 지정할지에 대한 검토가 필요할 것으로 판단됨.

주제어: 담수 환경, 미세플라스틱, 분석법, 표준화, 저감 방안, 규제 정책

| 차례 |

요약	i
제1장 서론	1
1. 연구의 배경 및 목적	1
2. 연구 추진 체계	5
제2장 물환경에서의 미세플라스틱 분석 방법	7
1. 미세플라스틱의 정의 및 분류	7
2. 미세플라스틱의 시료 채취, 전처리 및 검출 방법	18
3. 미세플라스틱 분석 방법의 표준화	22
4. 시사점 및 소결	26
제3장 물환경에 미치는 미세플라스틱의 영향	28
1. 미세플라스틱이 음용수에 미치는 영향	28
2. 미세플라스틱이 수생태에 미치는 영향	33
제4장 물환경에서의 미세플라스틱 관리를 위한 국내외 정책 동향	35
1. 국제기구: 유엔(UN), OECD, WHO, FAO	35
2. G7 및 G20 정상회의	42
3. 유럽연합(EU) 및 주요 국가	44
4. 미국 및 캐나다	52
5. 호주 및 뉴질랜드	53
6. 한국	54
7. 시사점 및 소결	57

제5장 결론 및 제언	62
참고문헌	65
Executive Summary	77

| 표 차례 |

〈표 2-1〉 샌프란시스코만 지표수의 미세플라스틱 분석 결과	16
〈표 2-2〉 하천수의 미세플라스틱 분석 결과	17
〈표 2-3〉 미세플라스틱 채집 및 분석 방법 개선에 대한 제언	23
〈표 3-1〉 산업폐수시설의 배출 허용 기준	34
〈표 4-1〉 Orb media와 한국 조사 결과 비교	55
〈표 4-2〉 과학기술 기반 미세플라스틱 문제 대응 추진 전략 주요 내용	56
〈표 4-3〉 마이크로 비즈 규제 정책 시행 국가 현황	60
〈표 4-4〉 마이크로 비즈 규제 정책 검토 국가 현황	61

| 그림 차례 |

〈그림 1-1〉 연구 수행 체계도	6
〈그림 2-1〉 바다에서 발견되는 플라스틱 쓰레기 크기	9
〈그림 2-2〉 미국 내 미세플라스틱 발생 및 이동	10
〈그림 2-3〉 물환경에서의 미세플라스틱 유출 및 이동 경로	11
〈그림 2-4〉 다양한 모양의 미세플라스틱(Fragment, Fiber, Pellet)	12
〈그림 2-5〉 다양한 모양의 미세플라스틱(Film, Sphere, 그 외)	13
〈그림 2-6〉 물환경에서 검출된 미세플라스틱 형상의 빈도(주요 연구 55개)	14
〈그림 2-7〉 미세플라스틱의 모양별 분포	15
〈그림 2-8〉 시료 채취에 사용되는 Manta trawl	19
〈그림 2-9〉 전처리에 사용되는 방법	20
〈그림 2-10〉 정성 분석에 사용되는 방법	22
〈그림 2-11〉 담수 시료의 미세플라스틱 분석 스펙트럼 비교	22
〈그림 2-12〉 ISO의 관련 프로젝트	25
〈그림 2-13〉 미세플라스틱 표준화 측정 방법 ISO 검토 자료	26
〈그림 2-14〉 분석 기법 선정 알고리즘(예)	27
〈그림 3-1〉 수돗물 시료 중 미세플라스틱 검출률	29
〈그림 3-2〉 물환경에서 검출된 미세플라스틱 종류의 빈도(주요 연구 55개 중 32개)	32
〈그림 4-1〉 Cross Industry Agreement	48
〈그림 4-2〉 다뉴브강 유역 플라스틱 생산 및 가공업체 현황	51
〈그림 4-3〉 마이크로 비즈 규제 정책 시행 국가	58

제1장

서론

1. 연구의 배경 및 목적

산업과 도구의 발달은 우리 삶의 편리성을 증진시키지만, 예상하지 못한 그 부산물들은 우리 생활의 보편적 안전성을 때때로 위협한다. 제약 및 의료 산업 발달은 개인 건강을 증진시켜 인류의 평균 수명을 계속 늘려주지만, 최근 항생제와 같은 의약품질이 물환경에 잔류되고 인체로 재흡수되어 심각한 위해를 가할 수 있다는 연구 조사 결과가 지속적으로 보고되고 있다.¹⁾ 이에 따라 일부 선진국들은 물환경에 잔류하여 위해성을 나타내는 ‘신규 관심 오염물질(CECs: Contaminants of Emerging Concern)’ 혹은 ‘우선감시 오염물질(Priority pollutants)’에 관한 물환경 모니터링을 강화하고 있다.

본 연구의 주제인 미세플라스틱은 통상적으로 유기합성고분자화합물(Organic synthetic polymer)로 지칭되는 작은 플라스틱 입자를 지칭하며 그 원형은 1800년 중후반부터 발명되어 20세기를 지나 현재까지 우리 사회의 모든 분야에 1차 가공 혹은 2차 제형 등의 플라스틱 제품으로 공급되어 경제활동을 지탱하고 있다. 그러나 플라스틱을 급격하게 사용한 결과 근래에 다양한 환경오염 문제가 일어났는데 대표적인 사례 중 하나는 음식 및 비닐 용기, 영수증 코팅²⁾, 장난감, 페인트 등과 같은 플라스틱 제품에서 환경호르몬물질이 용출되어 인체의 신경계와 생물의 서식에 위해성을 준다는 것이다.

전 세계적 플라스틱 사용량은 1960년대 이후 급증한 것으로 파악되며, 우리나라도 고도 경제성장 출발 시기인 이 무렵부터 1980년대 후에는 플라스틱 생산량이 급증하여 2014년

1) WHO(2012); Gaffney et al.(2015); Zhu et al.(2019).

2) Eriksen et al.(2018).

기준 생산량은 약 15백만 톤으로 지속적 증가 추세를 보이고 있다. 플라스틱은 매립, 소각, 그리고 재활용을 통해 처리되고 있지만, 미처리된 플라스틱과 미세플라스틱 등은 사회 및 자연 환경에 누적될 것으로 예상되고 있다.³⁾

플라스틱이 물환경 분야에서 문제로 나타난 것은 1970년으로 거슬러 올라간다. 그 무렵 국제사회는 해양환경 오염물질로서의 플라스틱에 관해 논의하기 시작했다. 플라스틱이 해양환경에 미치는 영향은 다양한데, 해양 동물플랑크톤이 플라스틱을 섭취함에 따라 먹이사슬을 통해 생물에 축적될 수 있음을 시사하는 연구 결과가 있다.⁴⁾ 이는 플라스틱의 영향이 해양생태계의 1차 포식자에서 상위 포식자까지 나타날 우려가 있음을 방증하는 것이다. 최근 해양환경 연구자들은 플라스틱뿐만 아니라 이보다 작은 형태의 미세플라스틱(Microplastics) 오염의 심각성을 보고해왔으며, 이에 따라 2017년 G20 정상회의에서 채택된 'G20 해양쓰레기 실행계획' 선언문에는 해양환경의 플라스틱 쓰레기 문제 해결과 관련하여 미세플라스틱의 저감도 비중 있게 포함되었다.

해양환경의 플라스틱 혹은 미세플라스틱을 연구한 국내 주요 연구를 간략히 살펴보면 다음과 같다. 심원준 외(2015) 국내 18개 해안에서 미세플라스틱을 채집 및 분석하였는데 해수뿐 아니라 생물체와 퇴적물에서도 미세플라스틱이 검출되었으며 요각류(갑각류 동물플랑크톤)에 심각한 피해를 미치는 현상도 관찰되었다. Lee et al.(2015)은 국내 전국 모래 해변 12개소의 플라스틱 오염도를 조사하였는데, 일부 지역 및 나라(브라질, 하와이, 포르투갈, 홍콩, 터키 등)보다 13배 높은 것으로 나타났다. 또한 이해성, 김용진(2017a)은 국내 미세플라스틱 1차 발생원에서의 발생 잠재량은 연간 6만 3천~21만 6천 톤에 이르는 것으로 분석하였으며, 이는 노르웨이와 스웨덴보다 각각 25배, 10배 많은 양이다. 이와 같은 미세플라스틱으로 인한 피해는 해양환경에 국한되지 않고 담수 환경에서도 발생하고 있다. Peng et al.(2018)에 따르면 중국 상하이 하천 퇴적물 시료 분석 결과, 연안보다 미세플라스틱 농도가 1~2배 높은 것으로 나타났다. 또한 검출된 총 7개 종류의 미세플라스틱 중에서 폴리프로필렌계(PP: Polypropylene)가 우점된 것으로 평가되었다.

미세플라스틱이 담수 환경에 미칠 수 있는 영향에 전 세계적인 관심을 기울이게 된 전환

3) Geyer et al.(2017); 이해성, 한용원, 김용진(2018); SAPEA(2019).

4) Cole et al.(2013).

점은 2017년에 영국 언론사 The Guardian이 보도한 기사와 조사 결과이다. The Guardian이 소개한 조사 결과의 주요 내용은 미국과 EU 등 14개국의 수도물 159개 시료를 조사한 결과 132개(83%)의 시료에서 미세플라스틱이 검출되었다는 것이다.⁵⁾ 이 조사를 주관한 기관인 Orb Media는 뉴욕 주립대학교에 9개국 11개 회사의 생수 259개를 의뢰·분석하였는데 93%에서 미세플라스틱이 검출되었다고 발표하였다.⁶⁾⁷⁾ 해당 분석 결과, 최대 10,390개/L의 미세플라스틱이 조사되었으며 평균(95%) 크기는 6.5~100 μ m였고, PP가 가장 많은 폴리머 형태였다. The Guardian의 보도는 미세플라스틱이 음용수라는 생활 필수 매체에 큰 영향을 줄 수 있다는 점 때문에 전 세계적으로 파장을 미쳤다.

환경부도 우리나라 24개 정수장의 상수원수 및 수도물을 대상으로 조사한 결과, 상수원소 1개소에서 1개/L, 수도물 3개소에서 0.2~0.6개/L 검출되었다고 발표하였다.⁸⁾ 물론 이 결과는 The Guardian과 Orb Media이 조사·보도한 수치보다는 상대적으로 매우 낮지만, 미세플라스틱이 검출되었다는 사실 자체만으로도 주목할 만하다고 평가할 수 있다. 또한 농도 분석을 위한 채집과 분석 과정이 표준화되지 않은 현실을 감안한다면 조사 결과 간 특정 수준의 불확실성도 있다고 볼 수 있다.

이처럼 담수 생태계에 미치는 미세플라스틱의 영향이 불확실한 가운데 그동안 국내외적으로 미세플라스틱에 관한 연구는 해양환경에 편중되어 있었다. 국제적으로 2004~2017년 동안의 미세플라스틱에 관한 선행연구·문헌의 동향을 분석한 결과, 해양환경이 85%로 대다수를 차지하였으며 담수 환경 연구는 15%에 불과했다. 또한 Lambert and Wagner(2018)에 따르면 ‘미세플라스틱(Microplastic)’을 포함한 문헌 1,228개 중에서 ‘담수(Freshwater)’가 포함된 문헌은 45개(3.5%)뿐인 것으로 조사되었다. 그러나 물환경 혹은 물 이용에 미세플라스틱이 미치는 영향에 대한 우리 사회와 언론의 관심이 최근 계속 커지고 있는 실정이다.

따라서 국내외 학술기관들이 집중적 토론과 진단을 시작했고, 정책기관(정부, 국제기구

5) The Guardian(2017.9.6), “Plastic Fibres Found in Tap Water around the World, Study Reveals,” 검색일: 2019.2.27.

6) Mason et al.(2018).

7) 이 미세플라스틱 검출 방법은 Nile Red 염색법을 적용한 것으로 미세플라스틱뿐만 아니라 유기물까지 검출될 수 있으므로 미세플라스틱이 과대평가되었다는 전문가의 의견도 있음.

8) 환경부 보도자료(2017.11.24).

등)도 미세플라스틱 관리를 위한 신중한 정책적 리뷰를 진행하고 있다. 유럽정책과학자문위원회(SAPEA: Science Advice for Policy by European Academies)는 최근 발간한 보고서⁹⁾에서 미세플라스틱의 정의, 위해성 등을 진단하였다. 그 주요 내용으로는 미세플라스틱에 대한 사회적 정책적 관심과 연구는 폭발적으로 증가하고 있지만, 미세플라스틱에 대한 더 많은 과학적 지식이 필요함을 피력하였다. 또한 위원회의 전문가들은 미세플라스틱이 생물과 인간에게 미치는 영향, 노출, 경로 등을 평가할 수 있는 방법의 표준화(International harmonisation)와 정도(程度) 개선의 필요성이 있음을 강조하였다. 또한 일부 해양 지역과 퇴적물을 제외하면 현재까지 미세플라스틱의 생태적 위해성은 매우 드물며, 대기, 토양 중의 미세플라스틱 농도도 아직 부족하게 알려져 있다고 판단하였다. 하지만 만약 환경으로 배출되는 플라스틱이 지금처럼 유지되거나 증가하면 생태적 위해성은 100년 내로 확산될 수도 있다고 보고하였다. 특히 미세플라스틱이 인체 건강에 미치는 위해성은 크게 불확실하다고 판단하면서도, 동시에 현 시점에서 확산성 위해성(Widespread risks)에 관한 명백한 증거가 없다고는 말할 수 없다고 설명하였다. 이 결론은 2019년 4월에 발표된 유럽위원회(EC: European Commission)의 보고서¹⁰⁾에서 재조명되었다. 보고서는 미세플라스틱이 환경과 인체에 실제 위해성이 있다는 성급한 결론에 도달하기 전에 미세플라스틱의 크기, 형상, 조성, 그리고 농도와 같은 각각의 영향에 대한 과학적 이해를 강화하도록 촉구하였다.

김규원 외(2018)¹¹⁾는 플라스틱과 미세플라스틱의 오염 현황과 해결책을 진단했다. 김규원 외(2018)는 국내의 미세플라스틱 오염 현황과 관리 정책의 동향을 살피면서 생물축적(Bioaccumulation)에 대한 우려가 있으며, 미세플라스틱에 흡착 가능한 잔류성 유기오염 물질의 거동과 위해성 등을 연구할 필요성이 있다고 강조하였다. 국립환경과학원은 2016년부터 2018년까지 한강 본류, 하수처리장, 폐수처리시설, 한강 상류의 주요 호소, 그리고 주요 지점의 어류 등을 대상으로 채집 및 분석 방법을 검토하면서 미세플라스틱을 분석하였다. 이 기간 동안 국립환경과학원은 선행연구에서 분석·제시된 미세플라스틱 연구 결과의 상호 비교의 한계를 지적하고 분석하기 위한 국내 표준화의 필요성을 검토하였으며, 모니터

9) SAPEA(2019).

10) EC(2019).

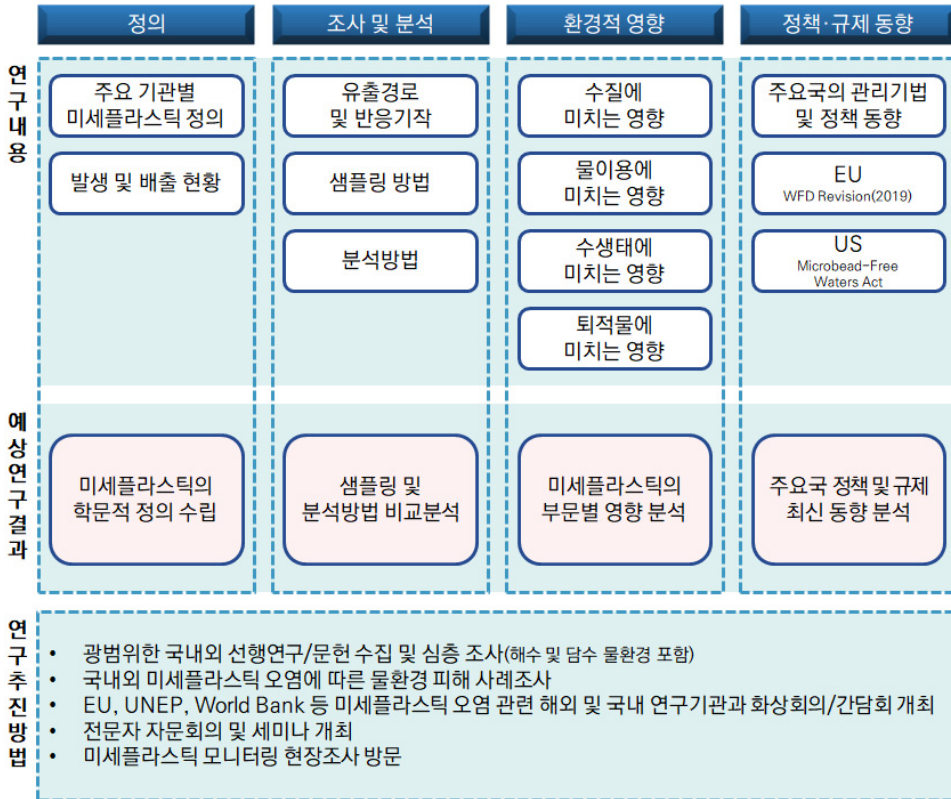
11) 김규원 외(2018).

링 확대를 통하여 실태조사를 이어가고 있다. 박정규 외(2018)도 미세플라스틱이 환경과 인체 건강에 미치는 위해성을 평가하기에는 연구가 아직 기초적 수준에 머물고 있다고 지적하고, 미세플라스틱을 「화학물질등록평가법」에 따른 제한물질로 지정하도록 검토하자고 제안하였다.

이처럼 하천 및 호수와 같은 담수의 물환경은 미세플라스틱이 해양환경으로 유출되기 전의 주요한 이동 경로이자 임시 저장소 역할을 하므로 국내외 연구 현황을 파악하는 것은 매우 시급하다고 판단된다. 또한 미세플라스틱의 발생원(대기, 토양, 생활시설 등)에서 물환경으로 유출되는 경로, 물환경에 미치는 영향, 그리고 수생태와 인간에 미치는 위해성 등에 대한 과학적 증거와 지식이 부족한 현실에서 최근 연구 동향을 분석하고 그 시사점을 정리하는 연구는 국내적으로 거의 전무한 수준이다. 본 연구의 목적은 미세플라스틱의 정의, 물환경 영향, 국내외 정책 동향 등을 연구한 국내외 문헌의 수집·분석하여 미세플라스틱 연구의 기본 방향을 제시하는 것이다.

2. 연구 추진 체계

본 연구의 주요 내용 및 수행 체계는 다음과 같다(그림 1-1 참조). 본 연구에서는 국내외 선행연구 및 문헌을 토대로 미세플라스틱을 학문적으로 정의하고 발생 및 배출 현황을 조사하였다. 또한 유출 경로 및 반응 기작과 샘플링 및 분석 방법을 비교·분석하였으며 미세플라스틱이 수질과 물 이용, 수생태, 퇴적물에 미치는 영향을 조사하여 환경 부문별로 미치는 영향을 분석하였다. 마지막으로 앞의 연구 결과와 주요국의 관리 기법 및 정책 동향을 조사하여 이를 토대로 미세플라스틱 관리 방향을 제시하였다.



자료: 저자 작성.

〈그림 1-1〉 연구 수행 체계도

제2장

물환경에서의 미세플라스틱 분석 방법

1. 미세플라스틱의 정의 및 분류

가. 미세플라스틱의 정의

‘미세플라스틱(Microplastics)’이라는 용어는 2004년 영국의 Thompson 교수의 연구에서 처음 사용된 것으로 파악된다.¹²⁾ 해양생물학자인 Thompson 교수는 대부분의 플라스틱이 생분해되기 어려우며, 물리적인 과정에 의해 부서진 미세플라스틱이 해양 환경으로 유입되었다고 Science지에 발표하였다. 그러나 해양 표면을 부유하거나 조류에서 발견되는 ‘플라스틱 파편(Plastic fragments)’ 또는 ‘부스러기(Debris)’에 대한 내용은 1970년대부터 연구 논문에 언급되어왔다.¹³⁾

미세플라스틱의 크기에 관한 정의가 국제적으로 처음 논의된 것은 미국 NOAA(National Oceanic and Atmospheric Administration)가 2008년에 개최한 해양 미세플라스틱의 발생과 영향 및 거동에 관한 연구 워크숍이었다.¹⁴⁾ 참가자들은 실용적(Pragmatic) 관점에서 미세플라스틱의 상한 크기 기준을 임의로 5mm로 정하는 데 동의하였다.¹⁵⁾ 현재 일반적으로 이해하고 있는 미세플라스틱의 기준 또한 이와 같다. 그러나 일부 연구¹⁶⁾에서는 1mm 미만을 미세플라스틱(Microplastics)으로 분류하고 1mm 이상 5mm 미만 크기는 메소플라스틱

12) Thompson et al.(2004).

13) GESAMP(2015).

14) GESAMP(2015).

15) GESAMP(2016); UNEP(2017); 김규원 외(2018).

16) Andrady(2011); Browne et al.(2011); Lambert et al.(2014).

(Mesoplastics)으로 재정립해야 한다고 주장한다. 미세플라스틱의 크기 기준에 대한 논의는 계속되고 있으며, 현재 학술적 기준을 정립하기에는 한계가 있다고 판단된다. 또한 미세플라스틱의 크기에 관한 하한 범위는 정해진 바가 없고, 미세플라스틱과 나노플라스틱의 범위 구분도 모호하다.¹⁷⁾ 일부 연구¹⁸⁾에서는 $0.1\mu\text{m}$ (100nm)를, GESAMP(2015)¹⁹⁾에서는 1nm를, SAPEA(2019)에서는 $0.1\mu\text{m}$ 혹은 $1\mu\text{m}$ (1,000 nm)를 하한 기준으로 제안하고 있다. 미세플라스틱과 관련된 OECD WPBWE(Working Party on Biodiversity, Water and Ecosystems)의 의제 문서에서는 $0.1\mu\text{m}$ 미만의 나노플라스틱(Nanoplastics) 또한 미세플라스틱에 포함된다고 하였다.²⁰⁾ 반면, <그림 2-1>은 바다에서 발견되는 플라스틱 쓰레기(Debris 또는 Litter)를 입자 크기로 분류한 것으로, 나노플라스틱의 기준을 $1\mu\text{m}$ 미만으로 미세플라스틱과 구분하고 있다. 이렇기 때문에 연구마다 미세플라스틱의 크기 범위를 어떻게 설정하고, 분석 과정 중 어떤 크기의 체 혹은 여과지를 사용하느냐에 따라 결과가 크게 달라질 수 있다. 때문에 연구 간 정량 측정 자료를 직접적으로 비교하는 것이 불가능한 경우가 많다.

나. 형성 과정에 따른 분류

크기에 따른 분류 외에도 형성 과정에 따라 미세플라스틱을 분류할 수 있다. 1차(Primary) 미세플라스틱은 생산 단계에서 특정 목적을 위해 가공된다. 세안제, 샴푸, 치약, 화장품 등에 사용되는 마이크로 비즈가 대표적인 예시이다. 2차(Secondary) 미세플라스틱은 기존 플라스틱 제품이 환경 중에서 물리·화학적으로 파쇄되거나 분해되어 나온 입자를 말한다. 그 예로 자동차 타이어, 염색 도료 등이 마모되어 발생하는 미세플라스틱이 있다. 1차 미세플라스틱은 그 모양과 크기가 일정하고 경로가 비교적 명확하기 때문에 관리 혹은 배출 예방이 쉬운 반면, 2차 미세플라스틱은 환경 중에서 풍화작용 등에 의해 분해되어 모양과 크기가 일정하지 않고 비점오염에 가까우므로 경로 파악 및 관리가 매우 까다롭다.²¹⁾

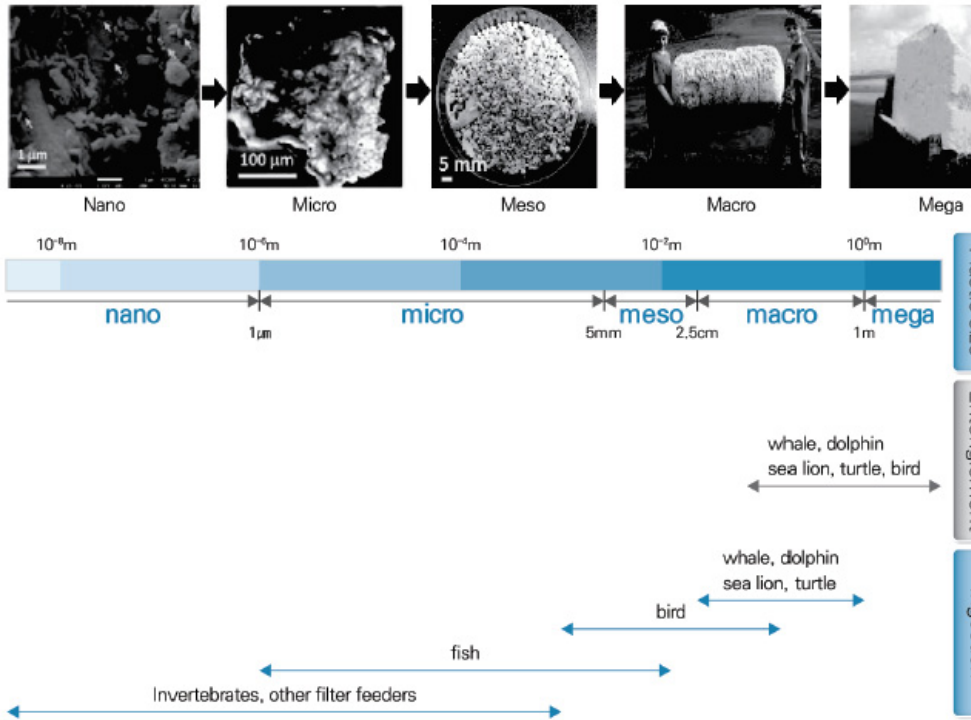
17) German Environment Agency(2017), p.10.

18) Klaine et al.(2012); Koelmasn et al.(2015).

19) GESAMP(2015), p.14.

20) OECD WPBWE(2019).

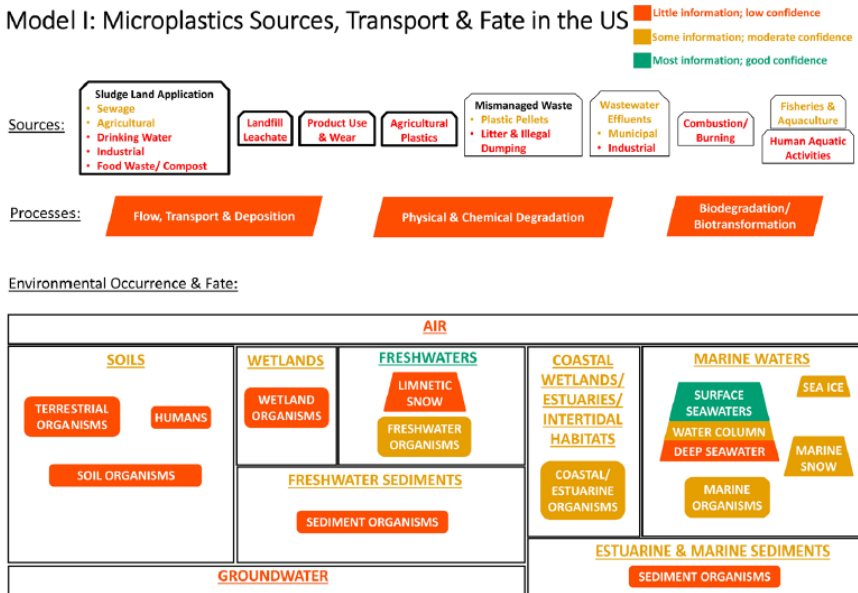
21) 박태진 외(2018), p.20.



자료: GESAMP(2015); 김규원 외(2018), p.12에서 재인용.

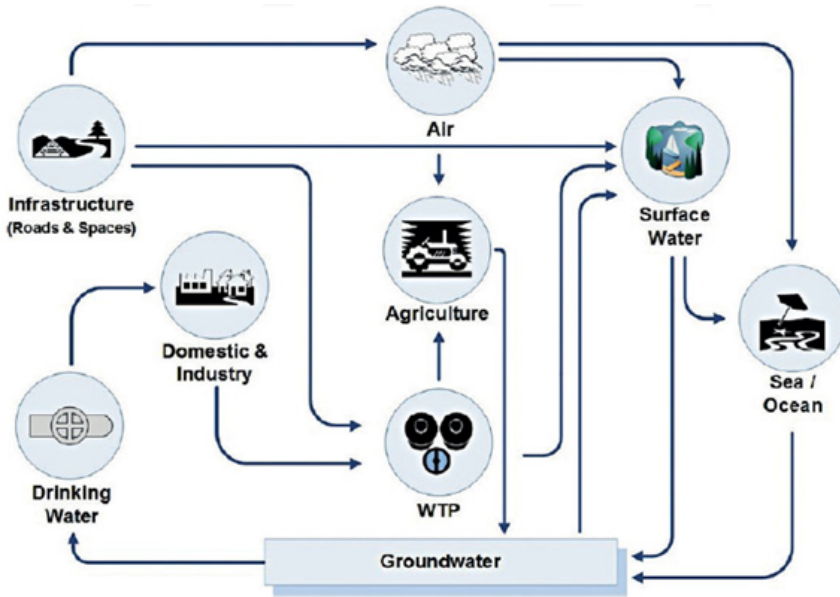
〈그림 2-1〉 바다에서 발견되는 플라스틱 쓰레기 크기

2017년 6월 미국 EPA에서 미세플라스틱 전문가 워크숍을 개최했다. <그림 2-2>는 해당 워크숍에서 미세플라스틱이 대기, 토양 및 물환경에서 발생하고 이동하는 양상을 나타낸 그림이다. <그림 2-3>은 물환경에서의 발생 및 이동을 나타낸 그림으로, 다양한 경로를 통해 유입되는 것을 확인할 수 있다.



자료: USEPA(2017), p.11.

<그림 2-2> 미국 내 미세플라스틱 발생 및 이동

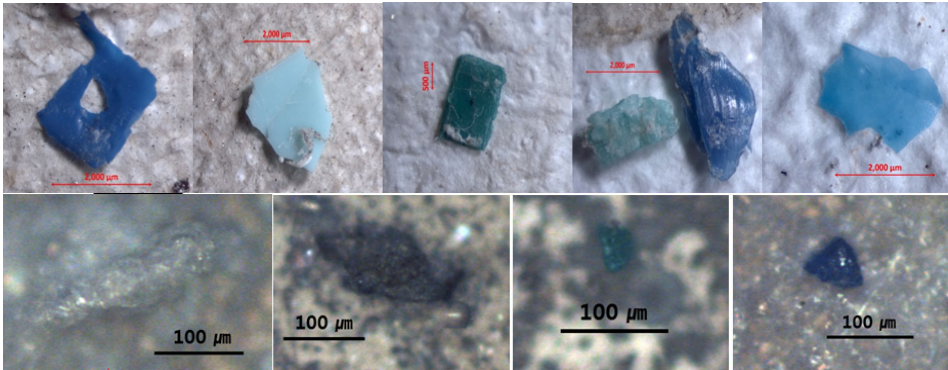


자료: Venghaus and Barjenbruch(2017); 정동환 외(2018)에서 재인용.

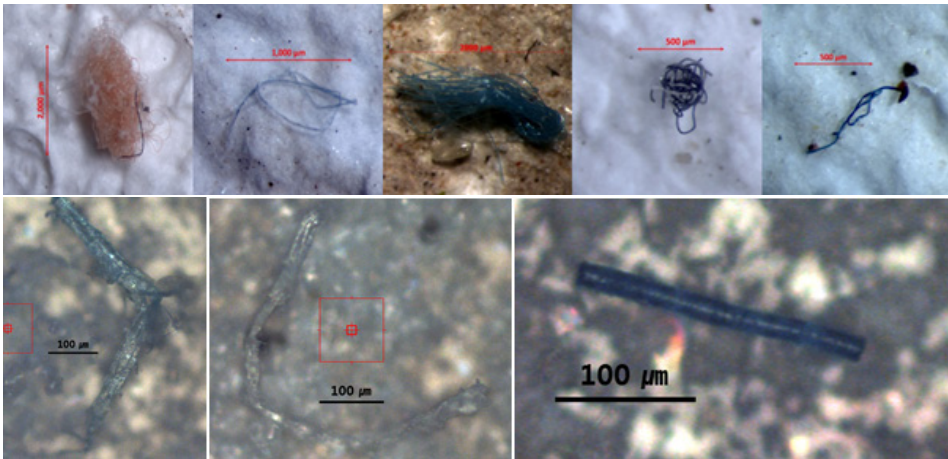
〈그림 2-3〉 물환경에서의 미세플라스틱 유출 및 이동 경로

다. 형태에 따른 분류

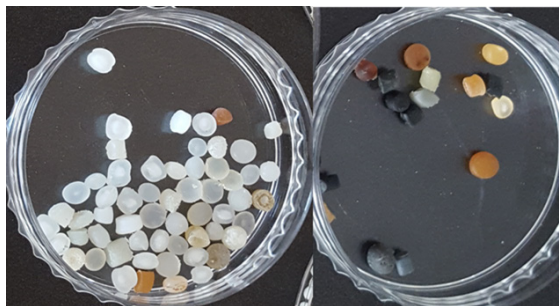
미세플라스틱을 분류하는 또 다른 기준은 형태에 따른 것이다. 특정 용도를 위해 만들어져 모양이 일관적인 1차 미세플라스틱과 달리 2차 미세플라스틱은 그 모양이 매우 다양하게 나타난다. 크게 Fragment, Fiber/line, Pellet, Film 등으로 분류할 수 있으나, 이 또한 국제적으로 공인된 형태가 없기에 연구자마다 형태 분류가 다양하다. Fragment는 단단하고 들쭉날쭉한 모양이며, Fiber/line은 얇고 섬유 같은 직선이다. Pellet은 단단하고 원형 혹은 타원형이며, 플라스틱 제품을 가공하기 위한 제작 전(Preproduction) 형태이다. Film은 필름 재질의 얇은 판 모양의 플라스틱을 일컫는다. 〈그림 2-4〉는 해양과학기술원이 수행한 연구에서 관찰된 미세플라스틱의 다양한 모습을 촬영한 사진이다.



a. Fragment(조각, 파편)



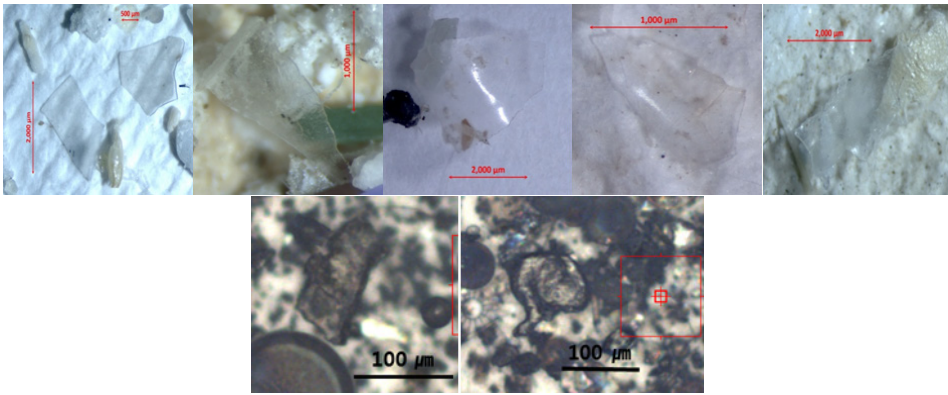
b. Fiber(섬유)



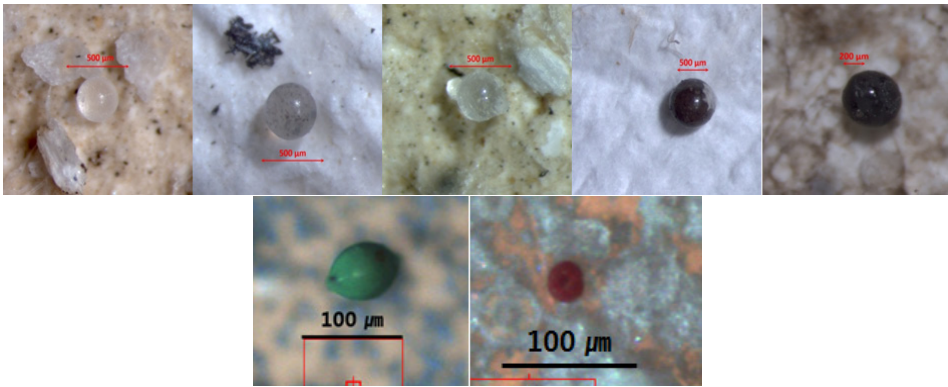
c. Pellet(펠릿)

자료: 송영경 외(2017), pp.21-22.

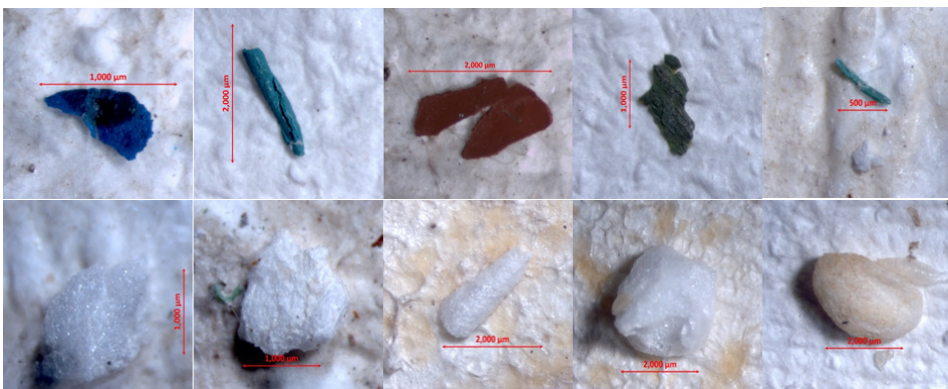
〈그림 2-4〉 다양한 모양의 미세플라스틱(Fragment, Fiber, Pellet)



d. Film(필름)



e. Sphere(구)

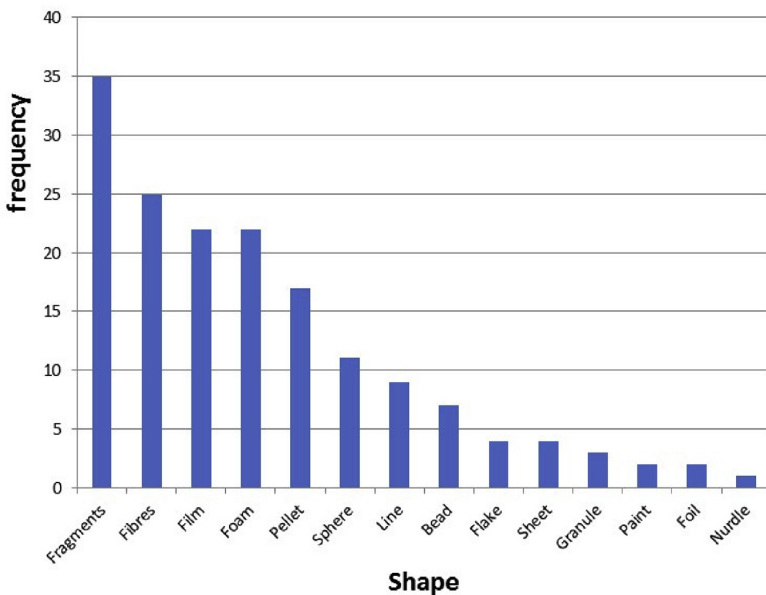


f. 그 외(페인트 조각, 발포스티렌)

자료: 송영경 외(2017), pp.21-22.

〈그림 2-5〉 다양한 모양의 미세플라스틱(Film, Sphere, 그 외)

Koelmans et al.(2019)은 다양한 나라에서 담수와 음용수에 포함된 미세플라스틱을 분석한 55개의 연구²²⁾를 자료의 수준(Data quality) 관점에서 분석하고 평가하였다. <그림 2-6>은 각 연구에서 발견된 미세플라스틱의 형태를 빈도로 표현한 것이다. 14개의 형상 분류 항목 가운데 순서대로 Fragment, Fiber, Film, Foam, Pellet이 가장 많은 연구에서 발견되었다.



자료: Koelmans et al.(2019), p.418.

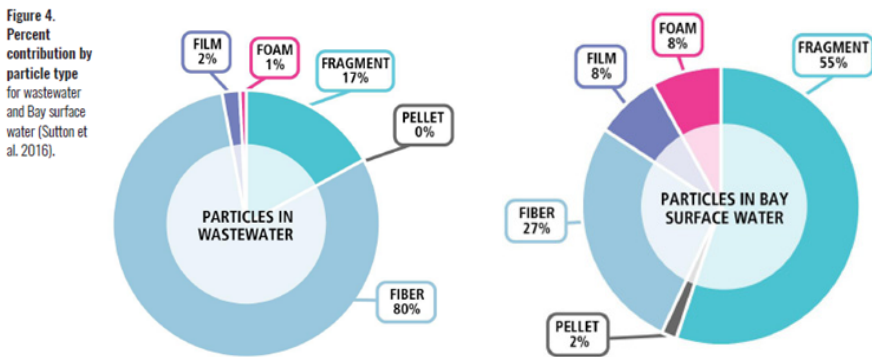
<그림 2-6> 물환경에서 검출된 미세플라스틱 형상의 빈도(주요 연구 55개)

1) 형태에 따른 분포 현황: 미국 샌프란시스코만 사례

Sutton et al.(2016)은 미국 캘리포니아의 샌프란시스코만(San Francisco Bay)으로 배출되는 하·폐수처리장 8개소의 처리수와 샌프란시스코만 2개 지점에서 채집한 지표수의 미세플라스틱을 분석하였고, 그 결과를 SFEI(2017)에서 <그림 2-7>과 같이 정리하였다.

22) 검색어: microplastics AND (bottle OR surface OR tap OR wastewater OR groundwater), 2018년 8월까지 검색 수행하였으며, 해당 연구에서 직접 실험 수행하여 자료 제시한 연구만을 대상으로 함.

하수처리장 처리수에서는 Fiber 형태가 80%를 차지하며 가장 많이 관찰되었다. 그다음으로는 Fragment(17%), Film(2%), Foam(1%)와 Pellet(0%)이 관찰되었다. 처리수 분석의 경우 미세플라스틱 하한 범위는 0.125mm였다. 지표수 분석에서는 0.355mm 체를 사용하였고, 그 결과 Fragment가 절반에 가까운 55%로 관찰되었으며, Fiber(27%), Film(8%)과 Foam(8%), Pellet(2%)의 순으로 나타났다.



주: 처리수는 0.125mm, 지표수는 0.355mm의 체를 사용하였으며, 처리수는 하폐수처리장 8개소를 대상으로, 지표수는 샌프란시스코만의 2개 지점을 대상으로 분석한 결과를 함께 나타냄.

자료: SFEI(2017), p.10.

〈그림 2-7〉 미세플라스틱의 모양별 분포

다만, 〈그림 2-5〉는 시료 채취 장소에 따른 분류 없이 나타난 분포 비율로, 위치에 따라 미세플라스틱 모양의 비율은 다르게 나타났다. Central San Francisco Bay의 경우 Fiber(48%), Fragment(34%), Foam(5%), Film(1%)와 Pellet(1%)의 순으로, Southern San Francisco Bay의 경우 Fragment(60%), Fiber(22%), Foam(9%), Film(7%)와 Pellet(2%)의 순으로 관찰되었다(표 2-1 참조). 대체적으로 Fiber와 Fragment의 분포 비율이 가장 높으며, 시료의 특성에 따라 조금씩 달라지는 것으로 판단된다.

〈표 2-1〉 샌프란시스코만 지표수의 미세플라스틱 분석 결과

채취 장소	모양	크기			% of Total
		0.355~0.999mm	1.000~4.749mm	≥ 4.75mm	
Central San Francisco Bay	Fragment	68,000	35,000	2,100	34%
	Pellet	3,100	970	0	1%
	Fiber	80,000	67,000	1,200	48%
	Film	8,200	22,000	3,500	1%
	Foam	2,300	12,000	460	5%
	Total Count/km ²	160,000	140,000	7,200	
	% of Total	53%	45%	2%	
Southern San Francisco Bay	Fragment	450,000	150,000	5,400	60%
	Pellet	17,000	2,500	0	2%
	Fiber	140,000	86,000	2,800	22%
	Film	25,000	37,000	6,700	7%
	Foam	35,000	52,000	2,300	9%
	Total Count/km ²	670,000	330,000	17,000	
	% of Total	66%	32%	2%	

자료: Sutton et al.(2016), p.233.

2) 형태에 따른 분포 현황: 한국 한강 사례

국내에서는 국립환경과학원의 이재호 외(2017)가 하·폐수처리장 9개소와 하천 3개 지점에서 미세플라스틱 분석을 수행한 바 있다. 해당 연구에서는 미세플라스틱의 모양을 Fiber, Bead, Fragment와 Sheet의 4가지로 분류하였다. 처리장의 시료에서는 Fragment가 52%로 가장 많은 분포를 나타내었고, Fiber(39%), Sheet(7%), Bead(2%)의 순으로 관찰되었다. Fiber가 80%로 월등히 높은 분포를 나타낸 샌프란시스코의 경우와 다르게 Fragment와 Fiber가 비교적 비슷하게 많이 관찰되었다. 더 많은 연구 결과를 비교할 필요가 있으나, 각 처리장의 특성에 따라 분포 비율이 다르게 나타나는 것을 알 수 있다. 하천 3개 지점에서 수행한 분석에선 Fragment의 분포 비율이 대체적으로 가장 높았으며, 크기가 커지면서 Fiber의 분포가 더 높아지기도 하는 경향을 보였다(표 2-2 참조).

〈표 2-2〉 하천수의 미세플라스틱 분석 결과

채집 장소	모양	크기 및 채집 시기								
		100~300 μ m			300 μ m~1mm			1~5mm		
		3월	6월	9월	3월	6월	9월	3월	6월	9월
A	Fragment	62.5%	100%	96.8%	73.0%	63.8%	52.4%	12.0%	45.0%	77.4%
	Fiber	37.5%	0%	3.2%	26.0%	27.5%	33.8%	84.0%	55.0%	13.6%
	Bead	0%	0%	0%	0%	2.9%	4.6%	0%	0%	4.5%
	Sheet	0%	0%	0%	1.0%	5.8%	9.2%	4.0%	0%	4.5%
B	Fragment	80.0%	36.4%	50.0%	60.7%	61.9%	16.9%	37.9%	75.0%	14.3%
	Fiber	20.0%	0%	0%	34.8%	30.2%	69.3%	58.7%	25.0%	75.0%
	Bead	0%	0%	0%	0%	1.6%	1.5%	3.4%	0%	3.6%
	Sheet	0%	63.6%	50.0%	4.5%	6.3%	12.3%	0%	0%	7.1%
C	Fragment	100%	100%	94.8%	54.5%	52.3%	81.0%	70.0%	72.8%	87.8%
	Fiber	0%	0%	5.2%	33.3%	41.5%	15.5%	30.0%	22.7%	9.8%
	Bead	0%	0%	0%	0%	0%	1.0%	0%	0%	0%
	Sheet	0%	0%	0%	12.1%	6.2%	2.5%	0%	4.5%	2.4%

자료: 이재호 외(2017), p.27.

3) 형태에 따른 분포 현황: 한국 낙동강 사례

Eo et al.(2019)은 낙동강 상류(상주), 중류(대구), 그리고 하류(부산)의 물환경과 퇴적물에 분포하고 있는 미세플라스틱을 2017년 동안 총 4회(2월, 5월, 8월, 10월) 조사하였다. 총 4회 조사 결과, 물환경 중 가장 낮은 농도의 미세플라스틱은 2월(293개/m³, 표준편차 \pm 83)에 상류에서 나타났으며 최고 농도는 하류의 4,760개/m³(표준편차 \pm 5,242)로 나타났다. 이는 낙동강 물환경 중의 미세플라스틱 분포가 하천 상·하류의 공간적 위치에 따라 매우 상이하다는 사실을 의미한다. 그리고 2월 조사에서 최고 농도는 하류에서, 5월에는 중류에서, 8월에는 하류에서, 그리고 10월에는 중류에서 나타나 상류보다는 중·하류에서 미세플라스틱 농도가 높았다. 또한 8월의 미세플라스틱 농도는 상류(2,167개/m³, 표준편차 \pm 1,795), 중류(2,233개/m³, 표준편차 \pm 1,060), 하류(4,760개/m³, 표준편차 \pm 5,242)로 분석되어 총

4회의 조사 중에서 농도가 가장 높았다. 이 연구에서 FTIR 분광법을 이용하여 총 7,466개의 미세플라스틱의 형태를 분석하였는데, 30개의 폴리머 종류가 조사되었으며 이 중 폴리프로필렌(Polypropylene)이 가장 많은 비율(41.8%)을 차지하였다. 그다음은 폴리에스테르(Polyester, 23.1%), 폴리에틸렌(Polyethylene, 9.4%), 폴리아미드(Polyamide, 5.8%), 폴리스티렌(Polystyrene, 2.1%) 등으로 나타났다. 그러나 퇴적물에 존재하는 미세플라스틱 형태의 비율은 폴리프로필렌(Polypropylene, 24.8%), 폴리에틸렌(Polyethylene, 7.0%), 폴리에스테르(Polyester, 5.5%), 폴리비닐클로라이드(Poly-vinyl chloride, 5.4%) 등의 순서로 조사되어 물환경과 비교하면 가장 많은 농도의 폴리프로필렌을 제외하고 다른 미세플라스틱 형태의 비율이 존재하는 것으로 나타났다. 또한 비중이 높은 폴리아미드 형태의 미세플라스틱은 물환경보다는 퇴적물에서 보다 높게 검출되었다.

2. 미세플라스틱의 시료 채취, 전처리 및 검출 방법

가. 미세플라스틱의 시료 채취 방법

미세플라스틱 분석을 위해 강이나 바다 등에서 시료를 채취할 때에 주로 사용되는 방법은 Manta trawl, Plankton net, 펌프 등 다양하다. 강, 호수, 바다의 지표수를 채취할 때는 많은 경우 Manta trawl을 사용하며,²³⁾ Mesh size는 100 μ m,²⁴⁾ 330 μ m,²⁵⁾ 333 μ m²⁶⁾ 등을 사용한다. 미국 국립해양대기청(NOAA: National Oceanic and Atmospheric Administration)의 해양환경에서의 미세플라스틱 분석 매뉴얼²⁷⁾에서 333 μ m를 제안한 바 있으며, 대부분의 미세플라스틱 연구에서 이와 같거나 이보다 작은 크기를 사용한다. 처리장의 방류수를 채취할 때는 방류 지점에서 펌프²⁸⁾ 혹은 채²⁹⁾를 사용한다.

23) 이해성, 김용진(2017b).

24) Cable et al.(2017); Vermaire et al.(2017).

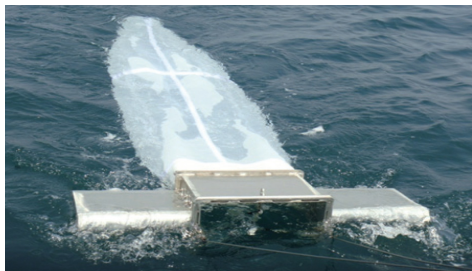
25) Mani et al.(2015); Baldwin et al.(2016); Anderson et al.(2017); Su et al.(2018).

26) Erikson et al.(2013); Mason et al.(2016); Hendrickson et al.(2018).

27) NOAA(2015), p.1.

28) Mason et al.(2016); Mintenig et al.(2017); Ziajahromi et al.(2017).

29) Browne et al.(2011); Carr et al.(2016); Dyachenko et al.(2017); Lares et al.(2018).



주: 우측은 국립환경과학원 방문 시 촬영한 사진임.
자료: (좌) 이재호 외(2016), p.6; (우) 저자 촬영.

〈그림 2-8〉 시료 채취에 사용되는 Manta trawl

미세플라스틱 분석을 위한 시료 채취에서 가장 중요하게 고려할 점은 시료의 대표성을 확보하는 것이다. 시료 장비 및 방법, 시료의 양에 따라 미세플라스틱 분석 결과가 현저하게 다르게 나타나기 때문에 시료의 특성에 따라 알맞은 방법 및 채취량을 신중하게 결정하여야 한다.

2017년 USEPA의 미세플라스틱 전문가 워크숍³⁰⁾에서 채집 시 주의할 점으로 아래와 같이 보고하였다.

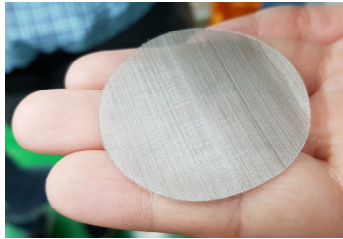
- 시료의 통계적 대표성을 확보할 수 있는 방법
- 채집 시 필터 혹은 스크린을 이용한 여과 여부
- 배경오염 고려를 위한 적절한 대조 시료(현장 및 실험실) 이용
- 실험 과정 중 시료의 오염을 최소화하기 위한 적절한 방법 선택

나. 미세플라스틱의 전처리 방법

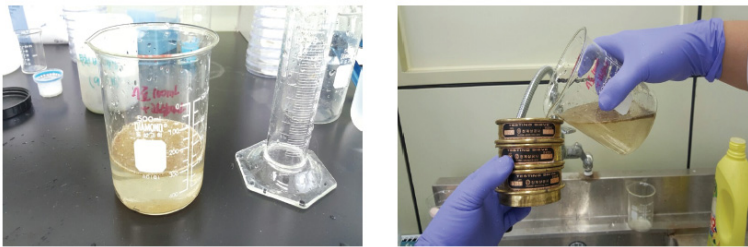
다른 환경 시료를 분석할 때와 마찬가지로 미세플라스틱을 분석하기 전에 시료의 전처리 과정이 필요하다. 전처리 과정은 특히 중요한데, 전처리가 잘 이루어져야 본 분석에서 시간을 단축할 수 있고 정확한 자료를 얻을 수 있다. 전처리 과정에는 밀도분리, 산화 과정이 있다. 밀도분리는 시료 중 비중이 큰 물질(모래 등)로부터 비중이 작은 미세플라스틱을 분리

30) USEPA(2017), p.8.

하는 과정이다. 산화는 강산, 강염기 등을 사용하여 시료 중 유기물을 제거하는 과정이다. 특히 이 과정이 중요한데, 유기물이 제대로 제거되지 않을 경우, FTIR 분석 시 어려움을 겪을 수 있다. 일반적으로 산화에 주로 사용되는 시약은 30% 과산화수소이다(그림 2-9 (b) 참조).



(a) 금속 여과지



(b) 산화(H_2O_2) 및 필터

주: (a)의 금속 여과지는 미세플라스틱 전처리를 위해 주문제작된 것으로, NIER 방문 시 촬영한 사진임.
자료: (상) 저자 촬영 & (하) 이재호 외(2016).

<그림 2-9> 전처리에 사용되는 방법

2017년 USEPA의 미세플라스틱 워크숍³¹⁾에서 전처리 시 주의할 점을 아래와 같이 보고 하였다.

- 다양한 환경에서의 미세플라스틱 표준 물질
- 미세플라스틱 분석 시 기준
- 적절한 대조 이용(matrix and spikes)

31) USEPA(2017), p.8.

- QA/QC(Quality Assurance/Quality Control)를 위해 새 것의 깨끗한 입자보다 대상 시료와 비슷한 시간 동안 환경에 노출된 입자 사용
- Individual 혹은 homogenized/pooled 시료 사용

다. 미세플라스틱의 검출 방법

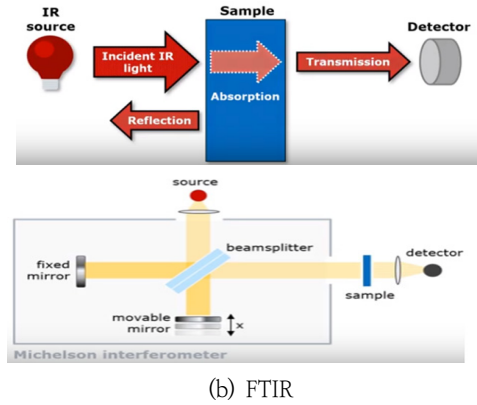
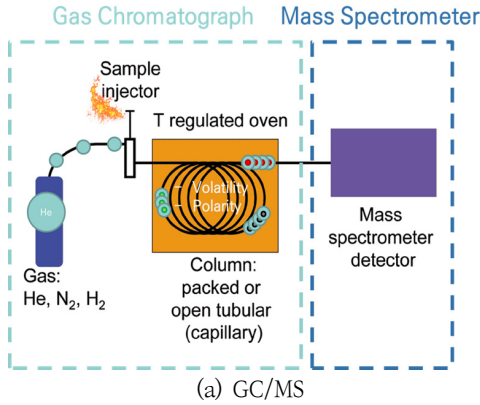
전처리 이후 정량·정성적인 분석을 위해 주로 분광법과 TED GC/MS(Thermo Extraction & Desorption Gas Chromatograph/Mass Spectrometer)법을 이용하고 있다. 최근 미세플라스틱의 분석 대부분은 분광법인 FTIR이나 Raman법을 사용하고 있다. FTIR 분석법은 크게 투과와 반사로 나뉜다. 반사법은 다시 ATR(Attenuated Total Reflectance)법, 정반사 및 난반사 분석법으로 나뉘는데, 대부분 ATR법에 의해 분석된다. 이 방법은 정확도가 높은 것이 장점이지만 하수와 같이 시료 매트릭스가 복잡하고 미세플라스틱 농도가 높은 시료를 분석할 때는 시간이 많이 소요되는 것이 단점이다. 최근 기술의 발달로 ATR법의 단점을 보완할 수 있는 분석법이 개발되었는데, 투과법이 그 대안이다. 이 분석 방법은 시료 여지를 투과하여 이미지로 만들어 분석하는 방법으로 모래 등이 많은 시료도 빠르게 분석할 수 있는 등 검사 시간이 짧고 효과적인 방법이라 할 수 있다. 일반적으로 FTIR법은 크기가 20 μ m 이상인 시료 분석이 가능하며 그 이하의 시료는 Raman 분석 기기를 사용하여 분석한다. 한편 TED GC/MS법은 미세플라스틱을 고온의 열로 기화시킨 후 GC/MS로 분석하는 방법으로, 입자 크기와 상관없이 분석할 수 있다는 장점이 있으나, 개수나 크기, 모양 등을 알 수 없는 것이 단점이다.³²⁾

2017년 USEPA의 미세플라스틱 워크숍³³⁾에서 분석 시 주의할 점을 아래와 같이 보고하였다.

- 미세플라스틱의 정확한 라이브러리(Library) 구축(부식 정도 고려)
- 분석 시 교란 요인 식별 및 처리
- 미세플라스틱의 형태 분류 기준

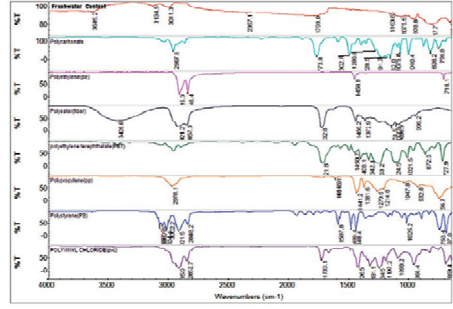
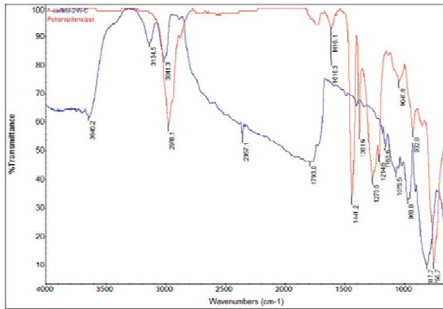
32) Dümichen et al.(2015).

33) USEPA(2017), p.8.



자료: (a) Wikipedia, “Gas Chromatography–Mass Spectrometry”, 검색일: 2019.5.23. 그림을 활용하여
 저자 작성; (b) Youtube(2019.5.15), “FTIR Basics - Principles of Infrared Spectroscopy”, 검색일:
 2019.5.23.

〈그림 2-10〉 정성 분석에 사용되는 방법



자료: 김남신 외(2019), p.37.

〈그림 2-11〉 담수 시료의 미세플라스틱 분석 스펙트럼 비교

3. 미세플라스틱 분석 방법의 표준화

가. 분석 방법의 표준화 배경

미세플라스틱은 그 크기가 매우 작고 시료 내에 소량 존재하는 경우가 많기 때문에 분석 방법에 따라 그 결과가 크게 달라질 수 있다. 또한 배출원, 경로, 크기, 모양 등의 시료

특성에 따라 분석 과정 설계가 매우 다양하고, 분석 기법마다 장단점이 존재하기 때문에 신중하게 결정해야 한다. 연구자마다 고려 사항이 다르기 때문에 서로 다른 분석 과정을 사용하고, 이 때문에 연구 간 비교가 어려운 실정이다. 자료 축적 측면에서 이와 같은 연구가 계속되는 것은 바람직하나, 단순 축적을 넘어 보다 의미 있는 자료 생성을 위해서 분석 방법의 표준화 구축이 시급할 것으로 판단된다.

<표 2-3> 미세플라스틱 채집 및 분석 방법 개선에 대한 제언

미세플라스틱 채집 및 분석 방법은 개선이 필요하다. 다음은 개선 시 특히 중요하게 고려되어야 할 사항이다:

1. 재현성을 위해 샘플링 방법을 자세히 기재해야 한다.
2. 샘플 특성 및 입자 크기(필터, mesh 크기에 따라 결정되는)에 따라 채집 용량을 결정해야 한다. 미세플라스틱의 농도는 낮게 나타나므로 충분한 용량을 확보해야 한다.
3. 채집 및 분석 과정에서 플라스틱 제품 사용을 지양해야 한다. 불가피하게 사용하는 경우 제품에 대한 정보를 기재해야 한다.
4. 분석 과정 중 오염을 방지하기 위해 사용 기기들은 증류수로 세척해야 한다.
5. 채집 및 전처리 과정은 숙련된 전문가가 시행하거나, 전문가가 아닌 경우 전문가의 결과와 정량적 비교를 통해 검증 과정을 거친 후 시행해야 한다.
6. 보존액을 사용한 경우, 연구 내 혹은 참고문헌을 통해 폴리머 중량이나 입자 모양에 미치는 영향에 대해 조사해야 한다.
7. 실험실 내부 표면을 증류수로 세척하여 오염을 방지해야 한다.
8. 모든 시료는 laminar-flow 후드 혹은 clean air 실험실에서 다루어져야 한다.
9. 일별 혹은 분석 횟수별로 최소 3번 대조시료 실험을 수행하여 분석 과정 중 오염을 검증 및 보정하고 결과값을 보정해야 한다.
10. 소화(digestion), 밀도분리 및 여과 과정 중 입자의 회수를 검증하기 위해 양성대조군을 사용하여야 한다.
11. 필요한 경우 소화 과정을 수행해야 한다. 음용수의 경우 대체로 불필요하다. 하지만 유기물 농도가 높아 채집 및 육안 관찰 시 방해가 될 수 있는 경우, 지표수 혹은 하·폐수 시료는 필요하다.
12. 전체 시료의 대표성을 확보하기 위해 폴리머 확인 과정을 거쳐야 한다.
13. 분석 한계 범위와 함께 분석 결과는 개수/L 혹은 무게/L의 단위로 나타내야 한다. 크기의 최솟값과 최댓값과 함께 가능한 경우 형태 또한 분류해야 한다. 이와 같은 자료는 위해성 평가 시 활용할 수 있다.
14. 표준화된 채집 및 분석 방법이 개발되어야 하나, 시료 특성에 따라 방법이 다를 수 있다. 예를 들어, 토양 시료, 해수 시료 및 음용수 시료는 모두 방법이 다를 수 있다. 최대한 같은 기준으로 분석될 필요가 있다.

자료: WHO(2019), p.15를 저자 번역.

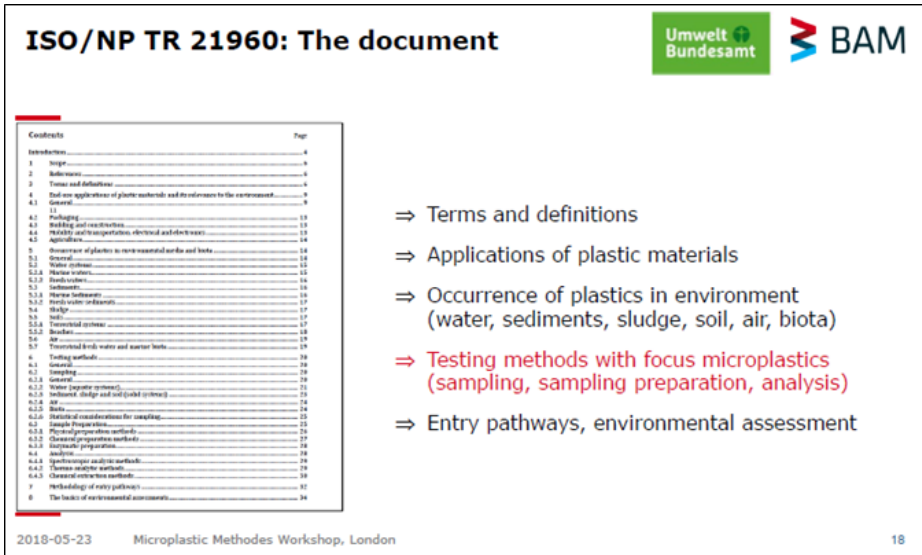
Koelmans et al.(2019)은 담수, 음용수 및 폐수 속 미세플라스틱을 분석한 50여 개의 선행연구를 9개 항목에 대하여 평가하였다. 해당 평가 항목은 Hermsen et al.(2018)이 Biota 시료의 미세플라스틱을 위해 개발한 검증 항목을 참고하였다. 그중 9개 항목 모두를 만족하는 선행연구는 4개에 불과하였으며, 나머지 46개 연구는 적어도 1개 이상의 항목을 만족시키지 못하였다. 해당 연구는 연구의 재현성과 비교를 위해 채집 및 분석 방법을 개선할 필요성이 있음을 강조하였다. WHO(2019)는 시료 처리, 폴리머 식별, 실험실 준비, 깨끗한 공기질 및 양성대조군(Positive control) 등을 개선이 필요한 대상으로 꼽았다.

나. 최신 동향(ISO)

ISO(International Organization for Standardization)에서 관련 프로젝트가 2018년 4월 18일에 착수되었으며, 이후 여러 과정을 거쳐 2019년 9월 6일에 최종 문서를 접수하고 10월 8일부터 8주간 검증 및 투표를 통해 발표 여부를 판단하고 있다.

해당 문서에는 용어의 정의, 플라스틱의 활용, 발생, 이동 경로와 환경적 영향과 함께 플라스틱, 특히 미세플라스틱의 채집 및 분석 방법에 대한 내용이 포함되어 있다(그림 2-11 참조).

한국에서도 미세플라스틱 분석법을 위한 연구가 진행되고 있다. 국립환경과학원에서 주관하는 ‘물 중 미세플라스틱 한국산업표준(KS) 분석법 마련 연구’가 2019년 현재 수행 중이다.



자료: Ulrike(2018), p.18.

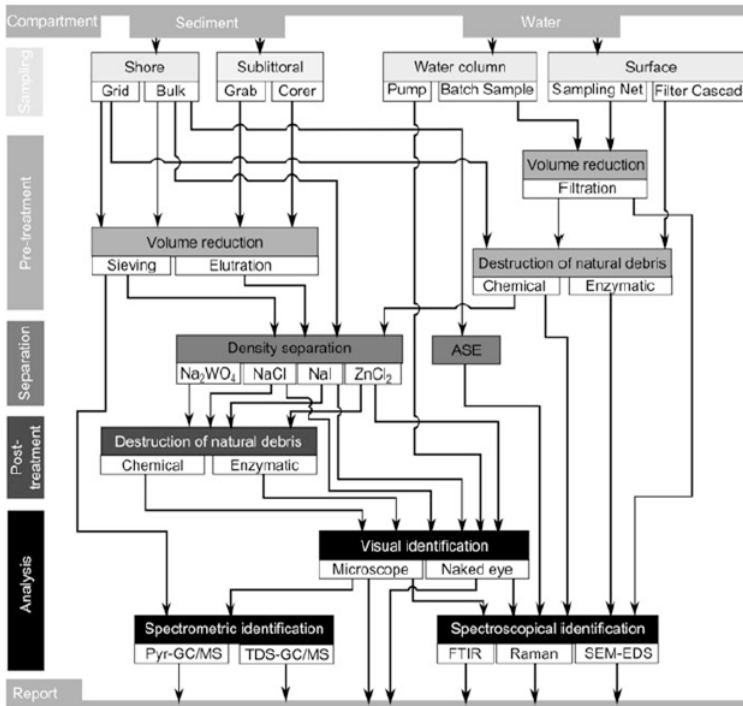
〈그림 2-13〉 미세플라스틱 표준화 측정 방법 ISO 검토 자료

4. 시사점 및 소결

미세플라스틱은 배출원과 경로, 크기와 모양이 매우 다양하므로 일괄적인 관리·제거 기법 적용이 어렵다. 독일 환경부는 미량오염물질(Micropollutant) 저감에 대한 보고서를 작성하며 미세플라스틱의 광범위한 특성과 습성(Behaviour)으로 인해 일반적인 미세오염 물질에 포함하지 않는다고 명시한 바 있다.³⁴⁾

미세플라스틱의 채집, 전처리와 분석 방법은 다양하며, 아직 표준화된 분석법은 존재하지 않는다. 때문에 분석 방법에 대한 자세한 정보가 누락되거나, 방법의 차이로 인해 문헌 간의 자료 비교가 어려운 경우가 많다. 정확한 미세플라스틱 분석을 위해선 분석하고자 하는 시료의 오염 정도 등의 시료 특성을 고려하여 적절한 분석 과정을 설계할 필요가 있다. 따라서 효율적이고 의미 있는 실험 자료 축적을 위해서는 다양한 시료의 특성을 반영할 수 있는 분석 과정 선정 알고리즘 혹은 매뉴얼 개발이 필요하다.

34) German Environment Agency(2018), p.9.



자료: Klein et al.(2018), p.53.

〈그림 2-14〉 분석 기법 선정 알고리즘(예)

제3장

물환경에 미치는 미세플라스틱의 영향

본 장에서는 미세플라스틱이 물환경에 미치는 영향을 선행연구 조사를 통하여 정리하였다. 미세플라스틱의 영향은 관련 문헌, 전문가 자문 등 과학적 근거와 검토를 통해 진단하였다. 또한 영향의 '범위'에는 위해성 혹은 독성뿐만 아니라, 연구조사를 통하여 하천 및 호소에서 미세플라스틱을 검출한 결과도 포함시켜서 국내 연구에 참고가 되도록 구성하였다.

1. 미세플라스틱이 음용수에 미치는 영향

영국 일간지 The Guardian³⁵⁾은 주요 국가의 수도물 159개 시료를 조사한 결과, 132개 (약 83%)에서 미세플라스틱이 검출되었다고 보도하였다(그림 3-1 참조). 수도물에서 미세플라스틱과 같은 이물질이 검출되면 경제적·사회적 활동에 막대한 영향을 주므로 우리나라 환경부도 The Guardian이 보도한 지 2개월 후 수도물 중 미세플라스틱 현황을 조사하기 위해 주요 상수원과 정수장을 대상으로 실태조사를 시작하고³⁶⁾ 그 결과를 다음과 같이 발표하였다.³⁷⁾

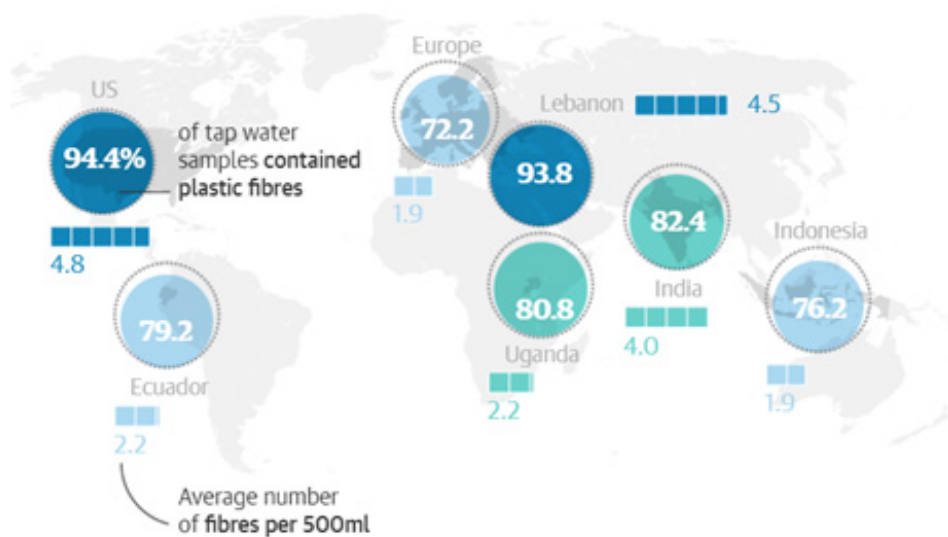
환경부 실태조사에 따르면 우리나라 24개 정수장의 상수원수 및 수도물 조사 결과, 상수원 1개소에서 1개/L, 수도물 3개소에서 0.2~0.6개/L가 검출되었다. 또한 수도권의 10개 가정을 무작위로 선정하고 조사한 결과, 미세플라스틱은 검출되지 않았다고 발표하였다.

35) The Guardian(2017.9.6), "Plastic Fibres Found in Tap Water around the World, Study Reveals", 검색일: 2019.2.27.

36) 환경부 보도자료(2017.9.7).

37) 환경부 보도자료(2017.11.24).

그러나 본 실태조사가 의미하는 시사점은 다음과 같다. 먼저 비록 낮은 농도이지만 정수장의 수돗물에서 미세플라스틱이 검출되었다는 결과 그 자체가 가지는 상징성은 매우 크다. 다시 말해서 매일 음용·섭취되는 수돗물을 통하여 미세플라스틱의 인체 내 누적 영향을 완전히 배제하기 어렵다는 것이다. 물론 이 당시 국내는 물론 국제적으로 미세플라스틱의 채집이나 검출 방법이 상이했으므로, 그 분석결과가 상당히 불확실한 부분이 있다. 그러나 미세플라스틱의 위해성이 없는 것(Non-existing risk)이 아니라 명확하지 않은 점(Unknown risk)을 반드시 구분해야 하고, 통계적 유의미성 등을 파악하기 위한 추가 실태 조사와 종합적 연구가 필요하다.



자료: The Guardian(2017.9.6), 검색일: 2019.2.27.

〈그림 3-1〉 수돗물 시료 중 미세플라스틱 검출률

Harrison et al.(2018)은 일부 선행연구³⁸⁾의 결과를 근거로 음용수 중 미세플라스틱의 표면에 미생물(*Pseudomonas*, *Arcobacter*, *Aeromonas*, *Zymophilus*, *Aquabacterium*

38) Kalmbach et al.(2000); McCormick et al.(2014).

등)의 생물막이 부착 및 성장할 수 있으며 해양 퇴적물에 있는 미세플라스틱에도 미생물이 성장하는 현상이 관찰된다고 보고하였다.

WHO(2019)는 음용수 중 미세플라스틱을 측정된 9개 연구를 분석하였다.³⁹⁾ 그 연구들에서 미세플라스틱 농도 범위는 0개/L에서 10,000개/L였으며, 평균값은 지하수를 수원으로 하는 음용수에서 약 0.001개/L이었으며, 최대 1,000개/L였다. 전체적으로 지하수가 미세플라스틱의 오염으로부터 보전되는 것을 알 수 있었다. 이 보고서는 음용수 중 미세플라스틱의 농도 및 영향을 평가하는 연구는 매우 유용하다는 점을 강조하며, 플라스틱 폴리머의 종류와 그 특성(예를 들어 비중)이 연구조사에서 매우 중요한 인자(Determining factor)라고 소개한다. 또한 병입수의 경우, 정수 과정보다는 뚜껑을 닫거나 포장하는 과정에서 미세플라스틱이 발생 혹은 유입된다는 일부 증거가 있다고 밝히고 있다. WHO(2019)는 아직 충분한 과학적 규명이 필요하지만, 음용수의 미세플라스틱이 인체에 미칠 수 있는 건강적 영향은 크게 3가지, 즉 입자(Particles), 화학물질(Chemicals), 생물막(Biofilms)⁴⁰⁾으로부터 기인할 수 있다고 밝혔다. 국내외적으로 음용수 중에 존재할 수 있는 미세플라스틱의 위해성에 관한 연구는 부족한 반면에, 그 시급성과 위급성은 매우 중대하므로 이 보고서에서 설명하는 3가지 기인별 영향과 과학적 근거를 간략히 정리하면 다음과 같다.

일반적으로 독성은 입자(Particle)가 가지는 물리적 화학적 조성에 의존적인데 미세플라스틱 입자의 크기, 표면적, 형상은 전자에 해당되고, 화학물질 구조, 첨가제를 포함한 화학물질 간 흡·탈착과 같은 반응적 특성은 후자에 포함된다. 그러므로 음용수 섭취와 관련하여 미세플라스틱이 건강에 미치는 영향을 파악하기 위해서는 미세플라스틱의 물리적, 화학적 조성 및 특성을 연구하는 것이 매우 중요하다. 이 보고서는 적어도 지금까지 혹은 보고서가 발간되는 시점까지 인체에 섭취된 미세플라스틱에 대한 역학적 조사 및 연구는 없다고 단언하고 있다. 또한 일부 미세플라스틱 종류(PS, PE, PET 등)를 이용한 독성 연구가 있으나, 그 숫자나 정보가 제한적이고, 실험 결과에 대한 신뢰도 또는 재현성에 대한 질문과 검증이 남아 있음을 수차례 강조하고 있다. 이 점에 대한 근거는 150 μ m 크기 이상의 미세플라스틱은 인체 장기로 흡수 혹은 섭취될 가능성이 낮다는 일부 보고서⁴¹⁾의 내용이다. 따라서 마이

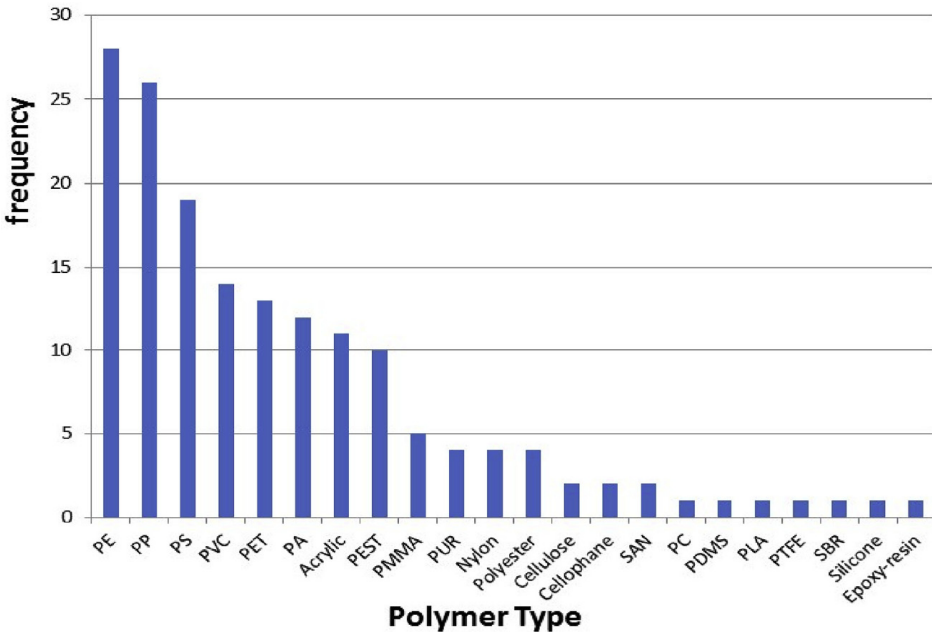
39) WHO의 이 보고서는 Koelmans et al.(2019)의 주요 내용을 다수 인용하고 있음.

40) 화학물질은 모노머(Monomer), 첨가제, 그리고 흡착물질을 포함한다.

크로 크기의 플라스틱보다는 이보다 작은 나노 크기 수준의 플라스틱이 인체에 영향을 미칠 가능성, 그리고 흡수와 섭취에 따른 인체 내 거동과 영향이 중요하다고 볼 수 있다.

이 보고서는 플라스틱 폴리머로 제품을 만드는 공정에서 발생할 수 있는 모노머(Monomer) 미세플라스틱의 6개 형태와 5개 부산물의 독성은 평생 섭취 가능량 기준으로 심각하지 않다고 밝히고 있다. 다만, 플라스틱 제품에 추가되는 화학물질 중 첨가제(Additives)는 플라스틱이 자연환경에서 풍화, 파쇄 등을 거쳐 나노 크기의 미세플라스틱으로 분해되더라도 여전히 플라스틱 표면 혹은 내부에 존재할 수 있음을 설명하고 있다. 특히 잔류성 유기오염물질(POPs: Persistent Organic Pollutants)은 토사·퇴적물, 조류와 생물체의 유기질 표면, 그리고 자연환경의 유기탄소에 흡착이 활발하기 때문에 미세플라스틱에 흡착되는 POPs는 상대적으로 낮을 것으로 판단하고 있다. 다만, 결과적으로 미세플라스틱의 크기와 흡착된 화학물질의 양과 농도, 그리고 장기(위 등)에 머무는 미세플라스틱의 체류 시간 등에 따라 미세플라스틱에 흡착된 POPs의 위해성 가능성과 영향은 다를 수 있다고 설명하고 있다. 끝으로 음용수 중 생물막(Biofilms)은 수도 관망이나 다른 표면에서 미생물이 성장될 때 친수성 표면보다는 소수성 표면에 신속히 흡착이 되는 것으로 알려져 있다. 그러나 아직까지는 병원성 미생물 같은 생물막 또는 생물체가 음용수 중 미세플라스틱에 흡착되고 이동해서 인체까지 영향을 준다는 증거는 없다고 본 보고서는 강조한다.

41) EFSA(2016); FAO(2017).



자료: Koelmans et al.(2019), p.418.

〈그림 3-2〉 물환경에서 검출된 미세플라스틱 종류의 빈도(주요 연구 55개 중 32개)

WHO는 음용수의 안전성과 수질 기준에 관하여 세계적으로 권위 있는 국제기구이며, 많은 정부가 WHO의 지침과 정책 방향을 자국의 관리 기준에 적용하고 있으므로 이번 보고서가 가지는 의미는 적지 않다고 볼 수 있다. 다만, WHO가 음용수 중의 미세플라스틱 농도가 다양하고 특히 입자, 화학물질, 생물막 측면에서 인체에 미치는 영향은 크지 않다고 보고한 것과 관련하여 여전히 미세플라스틱의 채집, 전처리 및 검출 방법의 한계와 위해성에 관한 연구가 매우 부족하다는 관점에서 정책 방향의 신중성을 기울여야 한다고 보는 것이 적절할 것이다. 또한 설사 음용수 중 검출되는 미세플라스틱의 농도와 인체에 미치는 위해성이 낮더라도, 사람과 생물체의 생명과 직결된 물 이용의 지대한 중요성을 고려하면 장기적, 연속적, 누적적 영향을 배제하며 ‘무행동’으로 봉착해서는 안 된다.

플라스틱은 안정제로 화학물질을 첨가하는 경우가 많으며, 특히 PVC의 경우 유독성 화학물질을 첨가하기도 한다. 첨가물 외에도 유해 화학물질이 흡착되기도 하며, PE와 PP는

PAHs 및 PCBs가 잘 흡착된다고 보고된 바 있다.⁴²⁾ Li et al.(2018)⁴³⁾은 담수에서 항생물질 5종이 미세플라스틱 5종에 미치는 영향을 조사하였는데, PA 미세플라스틱의 분포계수(Distribution coefficient)가 가장 높은 것으로 나타났다. 또한 해수환경에서 미세플라스틱의 흡착 용량이 급격히 감소하는 것으로 조사되었다. Zubris and Richards(2005)에 따르면 하수처리장 슬러지의 퇴비화 과정을 거쳐 농경지에 비료로 형태로 공급된 미세플라스틱이 약 15년간 잔류하면서 강우와 함께 하천으로 유출되는 것으로 조사되었다.

2. 미세플라스틱이 수생태에 미치는 영향

국내의 선행연구⁴⁴⁾에 따르면 미세플라스틱은 잔류성 유기오염물질(POPs, PBTs)에 흡착되고 이를 어류가 섭취하면 먹이사슬 경로로 통해 인체에 심각한 질병을 초래할 수 있다고 보고되었다. 이 연구는 미세플라스틱 자체의 영향을 강조하기보다는 위해성이 있는 물질이 미세플라스틱 표면에 흡착되었을 때 나타날 수 있는 영향을 연구하는 것으로 이해함이 바람직하다. 즉 물환경의 미세플라스틱이 오염물질의 매개체 혹은 전달자가 될 수 있다는 것이다.

Redondo-Hasselerharm et al.(2018)은 6개종의 저서성 대형무척추동물(Benthic Macroinvertebrates)을 대상으로 미세플라스틱에 노출될 경우 나타나는 영향을 실험실 규모에서 분석하였다. 실험에 이용된 미세플라스틱의 형상과 종류는 파편형 폴리스타일렌(Fragment polystyrene)이었으며 크기는 20 μ m에서 500 μ m가 이용되었다. 토사와 혼합된 미세플라스틱을 28일간 노출시킨 결과, 5개종의 생존 또는 1개종(Lumbriculus variegatus)의 생식에 미치는 미세플라스틱의 영향은 없는 것으로 평가되었다. 미세플라스틱은 대형무척추동물(Benthic Macroinvertebrates)의 성장에도 영향을 미치지 않는 것으로 나타났으나, 1개종(Gammarus pulex; 민물새우)은 유의미하게 성장이 감소되었다. 또한 미세플라스틱 섭취의 양은 토사 중의 미세플라스틱 농도와 비례하는 것으로 분석되었다. 본 연구는 실험실에서 노출평가를 했다는 한계는 있지만, 하상(河床)에 서식하는 수생물에

42) Rochman et al.(2013); Ogata et al.(2009).

43) 항생물질 5종(Sulfadiazine, Amoxicillin, Tetracycline, Ciprofloxacin, Trimethoprim) & 미세플라스틱 5종(Polyethylene, Polystyrene, Polypropylene, Polyamide, Polyvinyl chloride).

44) Mato et al.(2001); 박정규, 간순영(2014).

미치는 미세플라스틱의 위해성이 서식 환경뿐만 아니라 토사와 같은 퇴적물로부터도 그 영향이 나타날 수 있음을 시사하고 있다.

김도경(2017)은 큰물벼룩(*Daphnia magna*) 체내의 니켈 농도가 미세플라스틱(평균 크기: 0.201 μ m, 종류: PS와 PS-COOH)이 있을 때 더 증가한다고 보고하였다. 실험실 실험의 주요 조건은 니켈 농도는 1, 2, 3, 4, 5mg/L, 그리고 미세플라스틱 농도는 1, 5, 10, 20, 30 mg/L, 그리고 노출 시간은 48시간이었다. 분석의 세부 결과에 따르면 니켈 농도 1mg/L의 조건에서는 큰물벼룩에 미치는 영향이 관찰되지 않았으나, 1mg/L 이상의 조건에서는 최소 약 3.3%에서 최대 85.0%까지 큰물벼룩의 유영 장애를 일으킨 것으로 보고하였다.

「물환경보전법」 제32조 1항(폐수배출시설의 배출허용기준) 및 시행규칙 별표13에 따르면 우리나라 산업폐수시설에서 니켈의 허용 기준은 청정 지역을 제외한 대부분의 지역이 1.0mg/L 이상이므로 산업폐수에 미세플라스틱이 유입되는 시설과 산업폐수가 배출되는 시설의 하류에서는 이와 유사한 영향이 나타날 수 있다고 볼 수 있을 것이다.

〈표 3-1〉 산업폐수시설의 배출 허용 기준

지역 구분 항목	청정 지역	가 지역	나 지역	특례 지역
니켈(mg/L)	0.1 이하	3.0 이하	3.0 이하	3.0 이하

자료: 국가법령정보센터, “물환경보전법 시행규칙”, 별표13.

제4장

물환경에서의 미세플라스틱 관리를 위한 국내외 정책 동향

본 장에서는 국제기구와 주요 국가 및 우리나라의 미세플라스틱 관리 정책 동향을 살펴보고 있다. 비록 본 연구의 주제는 담수 환경의 미세플라스틱 관리 정책이지만, 지속가능발전목표(SDGs: Sustainable Development Goals) 등과 같은 국제적 정책에 나타난 해양환경의 미세플라스틱 관리 정책도 동향 분석에 포함시켜 내용을 정리하였다.

1. 국제기구: 유엔(UN), OECD, WHO, FAO

가. 유엔(UN)

UN의 미세플라스틱 관련 정책은 2015년에 채택한 「2030 지속가능발전의제(2030 Agenda for Sustainable Development)」의 지속가능발전목표(SDGs: Sustainable Development Goals)와 연관 있다. 17개의 SDGs 중 목표 12번(지속가능한 소비 및 생산)에 따르면 환경과 건강에 미치는 부정적인 영향을 최소화하기 위해 2030년까지 화학물질 및 모든 폐기물의 배출을 저감하고 적절하게 관리해야 하므로 플라스틱 또는 미세플라스틱도 이에 부합하는 적절한 관리 방안이 요구된다. 또한 목표 14번(지속가능한 개발과 사용을 위한 해양 및 해양자원 보호)에 따라 해양 폐기물에 대한 관리 대책도 논의되고 있다.⁴⁵⁾

2017년 바젤 협약(Basel Conventions)⁴⁶⁾에서는 해양 플라스틱 및 미세플라스틱 문제를 워킹 그룹(Open-ended Working Group)에서 다루도록 하였다. 이에 2018년 9월,

45) SAM(2018).

46) 바젤 협약(Basel Conventions): 1989년 유엔환경계획(UNEP) 후원 하에 채택된 유해 폐기물의 국가 간 이동 및 처리에 관한 협약으로 스톡홀름 협약(Stockholm Convention)에서 규제되는 잔류성 유기오염 물질(POPs)을 포함하거나 바젤 협약의 특정 기준을 충족하지 않는 한 플라스틱을 유해물질로 분류하지 않고 있음.

워킹 그룹은 공공과 민간의 협력, 모범 사례 공유 및 기술 지원을 통해 플라스틱 폐기물 발생을 최소화하고 효과적으로 관리하기 위해 바젤 협약 하에서의 새로운 파트너십을 제안하고 플라스틱 폐기물의 국가 간 이동을 최소화하고 통제하기 위한 바젤협약 부속서 개정을 주요 내용으로 하는 권고안을 작성하였다. 해당 권고안은 2019년 바젤 협약 당사국 회의(COP)에서 다뤄질 예정이다.⁴⁷⁾

2016년 유엔환경총회(UNEA)에서는 해양 플라스틱과 미세플라스틱을 주요 이슈로 간주하고 이에 관한 결의안(UNEP/EA.2/Res.11)을 채택하였다. 해당 결의안에서 각국은 해양 플라스틱과 미세플라스틱 발생을 줄이기 위한 국제적 및 지역적 규제 방안과 거버넌스 효과를 유엔환경계획(UNEP)에서 평가해줄 것을 요청하였다. 또한 2017년에는 전문가 그룹(Ad Hoc Open Ended Expert Group)을 구성하여 2025년까지 육상에서 발생하는 플라스틱 및 미세플라스틱으로 인한 해양오염을 방지하는 방안과 장애 요인이 무엇인지 검토하도록 하였다.⁴⁸⁾ 그에 따라 2018년 5월, 전문가 그룹은 육지에서 발생하는 해양 플라스틱 및 미세플라스틱을 줄일 수 있는 방안을 검토하기 위해 첫 번째 회의를 진행하였다. 해당 회의에서 많은 참가자들은 해양 플라스틱 및 미세플라스틱 문제를 해결하기 위해서는 기존의 국가 및 지역 간의 메커니즘을 기반으로 하는 폭넓은 접근이 필요하다는 것에 동의하였다.⁴⁹⁾

2018년 12월에 진행된 두 번째 회의에서는 해양 폐기물 및 미세플라스틱 문제를 효과적으로 해결하기 위해서는 법적 구속력이 있는 새로운 협정이 필요하다는 의견이 제기되었다. 또한 국제적인 수준에서 과학 정책 인터페이스 및 증거에 기반한 방식에 대한 지원을 강화하고 플라스틱 폐기물이 해양 환경에 미치는 영향을 깊이 이해하며 해양 폐기물 제거를 위한 지역 및 국가, 국제적인 활동을 촉진할 필요가 있다는 것에 동의하였다. 그리고 이를 위해 시민을 비롯한 모든 사람이 참여하여 데이터와 정보를 수집하여 공유할 수 있는 글로벌 지식 허브를 설립하고 해양 폐기물 및 미세플라스틱 샘플링과 분석 지침을 개발하며 과학 및 기술 자문 그룹을 설립하는 등의 방안이 제시되었다.⁵⁰⁾

이처럼 하천 및 호소 같은 담수 환경의 미세플라스틱 저감과 관리를 위해 UN이 주도하고

47) SAM(2018).

48) 위의 책.

49) 위의 책.

50) UNEP(2018b).

있는 SDGs, 바젤 협약, 환경총회 등에서 진행되는 정책적 논의는 해양환경과 대비하여 볼 때 부족한 것으로 파악된다.

나. OECD

OECD는 환경정책위원회(EPOC: Environment Policy Committee)를 통해 미세플라스틱(5mm 미만)이 담수 및 연안 해양 환경에 미치는 영향을 논의하고 있다. OECD는 폐수 처리 과정과 강우로 인한 표면 유출 및 대기 침적 과정에서 발생하는 미세플라스틱이 하천(Fluvial systems)을 통해 해양으로 이동하고 있으며, 토양과 대기 및 담수(지표수 및 지하수)에 존재하는 미세플라스틱이 환경과 인체에 미치는 영향이 해양에 미세플라스틱이 미치는 영향과 유사하다고 보고 있다.⁵¹⁾

OECD는 미세플라스틱은 식별하기 어려우며 환경에 유입되면 선택적으로 제거하기 어렵기 때문에 일반 플라스틱의 경우와는 다른 정책이 요구되며, 발생원이 한정되어 있고 이동 경로도 비교적 명확하게 규명되어 있으므로 환경에 미치는 영향을 완화할 수 있는 정책이 필요하다고 판단하고 있다.⁵²⁾

이와 관련해 OECD는 미세플라스틱 저감을 위해 발생원과 유형에 초점을 두고 비용 효율적이고 효과적인 정책 지침을 개발하기 위해 2019년에 연구를 착수하여 2020년에 완료할 예정이다. 이를 위해 OECD는 위성 원격 감지 및 매핑을 통해 육지 및 해양의 미세플라스틱 데이터를 확보하고 측정 방법과 측정 기준을 검토 및 평가할 계획이다. 또한 OECD는 미세플라스틱 2차 발생원이 1차 발생원보다 더 많음에도 불구하고 상대적으로 정책적 관심이 높지 않음을 언급하며 미세플라스틱과 관련한 3개의 정책 방안을 제시하였다. 첫 번째는 미세플라스틱 발생의 주요 원인인 플라스틱 사용을 최소화함으로써 미세플라스틱 발생량을 줄이는 방안으로, 제조 단계에서 플라스틱 사용에 대한 환경적 기준을 적용하거나 플라스틱 매출세 부과 검토를 제시하고 있다. 두 번째는 제품 설계 단계에서 제품의 내구성을 높이고 발생 저감 기술을 채택하여 폐기물 발생량을 줄이는 것으로, 저감 방안으로는 제품의 내구성 기준과 폐기물 발생을 최소화하는 신기술에 대한 인센티브 지급과 소비자 캠페인 등을

51) OECD(2019a).

52) 위의 책.

들고 있다. 마지막 세 번째는 미세플라스틱이 담수 및 자연환경으로 배출되기 전 폐수 처리 과정에서 여과 및 제거 단계를 거치는 것으로, 수질 기준과 하·폐수에 대한 요금 부과(Wastewater tariffs) 방안을 제시하고 있다. OECD는 각 지역의 미세플라스틱 발생 원인과 유형에 따라 정책 방안의 효과와 비용은 다르게 나타날 것으로 보고 있다.⁵³⁾

한편 OECD는 미세플라스틱 문제와 관련하여 과학자와 정책 입안자, 산업계, NGO를 포함한 다양한 분야가 종합적으로 접근해야 한다고 강조하고, 이 문제를 해결하기 위해 과학적인 부분을 포함하고 산업의 혁신을 장려하고 정책을 따를 것을 제안하고 있다. 이를 위해 OECD는 기존 문헌과 연구 사례에 대한 심층 검토를 통해 미세플라스틱 해결 방안을 모색할 예정이며, 미세플라스틱의 발생과 이동, 그로 인한 영향, 환경으로의 유출을 줄이기 위해 사용되고 있는 모니터링 및 방안 등을 검토할 계획이다.⁵⁴⁾

특히 OECD는 미세플라스틱 발생이 1차보다 2차 발생원에 집중되어 있는바,⁵⁵⁾ 2차 미세플라스틱 발생을 줄이기 위한 방안으로 OECD 회원국과 중국과 인도를 대상으로 폐기물 예방(Waste-prevention)과 발생원 저감(Source reduction), End-of-pipe의 적절성을 평가할 예정이다. OECD는 IUCN(2017)을 토대로 OECD 회원국의 1인당 미세플라스틱 오염도가 개발도상국보다 높으며, 북아메리카가 전 세계 미세섬유 배출량의 6~31%를 차지하고 있다고 밝혔다. 또한 인도와 중국의 경우 IHS Markit(2015)을 근거로 2015년 전 세계 합성섬유의 74%를 두 나라가 생산했으며, 급격한 경제성장과 인구 증가로 인해 섬유 및 자동차 이용 역시 증가하고 있어 그에 따라 미세플라스틱 발생은 증가하는 반면 폐수처리 시설들은 아직 제대로 갖추지 못해 미세플라스틱이 환경으로 유입되기 전에 제대로 제거되고 있지 않아 평가 대상에 포함하고 있다. OECD는 2020년 2월 다양한 분야의 전문가와 의류 및 신발 산업 관계자들이 참여하는 미세플라스틱과 섬유에 관한 워크숍을 진행하여 관련 논의를 진행해갈 예정이며, 주요 2차 발생원 중의 하나인 자동차 타이어 분야에 대해서도 이와 같은 워크숍을 추진할 계획이다.⁵⁶⁾

53) OECD(2019b).

54) 위의 책.

55) OECD는 Eunomia(2016)와 IUCN(2017), Eunomia(2017)를 토대로 환경으로 배출되는 미세플라스틱의 48~63%가 합성섬유와 자동차 타이어(Automotive tyres and brakes)에서 발생하며 Ellen MacArthur Foundation(2017)에 따르면 2015년에서 2050년 동안 약 2천2백만 메가톤의 미세섬유(Microfibres)가 해양으로 유입될 것으로 예상하고 있음.

다. WHO⁵⁷⁾

WHO(2019)에 따르면 미세플라스틱은 해양 및 담수 환경(하·폐수 등)과 음식, 대기, 음용수(병입수, 수돗물)에 광범위하게 존재하고 있다. 그러나 음용수에서 검출되는 미세플라스틱 관련 데이터는 현재까지는 제한적이고, 서로 다른 채집과 분석방법을 이용함에 따라 온전히 신뢰할 수 있는(Fully reliable) 연구는 일부뿐이다.

따라서 WHO는 현재까지는 음용수에 함유된 미세플라스틱에 대한 정기적 모니터링(Routine monitoring)은 필요하지 않으며, 입자상 물질의 제거(Particle removal)와 미생물로부터의 안전성을 확실하고 효과적으로 우선 관리해야 한다고 밝히고 있다. 그리고 동시에 인간이 환경 및 다른 매체를 통해 미세플라스틱에 노출될 수 있기 때문에 미세플라스틱의 발생과 영향에 관해 더 많은 연구가 필요하다고 보고 있다.

WHO는 담수 및 음용수에서의 미세플라스틱 발생과 서로 다른 처리 방법들 간의 조합 및 그 효과와 유효성, 폐기물 처리 전과정에서 미세플라스틱이 환경으로 유입 될 가능성을 이해하기 위한 신뢰성 있고 체계적인 연구 및 조사가 필요하다고 언급하고 있다.

이와 관련해 WHO는 인간이 미세플라스틱에 노출되는 경우의 위해성을 보다 정확하고 신뢰할 만하게 평가하기 위해서는 물 공급 생산 공정 전체에 걸친 미세플라스틱의 발생 및 주기 관련 데이터, 폐기물 관리 및 재활용의 중요성, 소화기관(GI tract)에서의 흡수 및 주기 관련 데이터가 필요하다고 언급하고 있다. 또한 미세플라스틱 채집, 전처리, 검출에 대한 표준 방법 개발과 미세플라스틱 발생 및 특성에 대한 추가 연구, 담수로 유입되는 미세플라스틱 발생원에 대한 연구, 미세플라스틱 섭취에 따른 생물체 내 독성의 이해, 환경에서의 전반적인 미세플라스틱 노출에 대한 연구가 진행되어야 한다고 밝히고 있다. 한편 음용수에 포함된 미세플라스틱의 위해성과 관계없이 가능한 한 플라스틱 사용을 줄이고 플라스틱 관리 방안을 개선하여 환경으로 배출되는 플라스틱을 최소화도록 강조하고 있다.

56) OECD(2019a).

57) WHO(2019).

라. FAO⁵⁸⁾

FAO(2017)는 기존의 문헌을 토대로 담수와 하구(estuarine environments)에 존재하는 미세플라스틱이 공간에 따라 크게 다르다고 밝혔다. FAO(2017)에 따르면 일반적으로 퇴적물(sediments)이 water sample보다 미세플라스틱 농도가 높게 나타났다. 호수(lacustrine environments)의 경우에는 도시 및 산업 중심지에 가까울수록 미세플라스틱이 많아지는 경향이 있지만 일부 강(riverine systems)에서는 이러한 경향이 나타나지 않았는데, 이는 하천의 흐름과 홍수의 결과 일 수 있다. 또한 FAO(2017)는 부적절하게 관리된 폐기물과 바람에 의해 이동하는 미세플라스틱(windblown microplastics)이 고립된 환경의 담수의 오염에 영향을 줄 수 있다고 보고 있다.⁵⁹⁾

FAO(2017)는 미세플라스틱과 관련해 정책 제안을 하고 있는데, 먼저 환경과 생물군(biota), 해산물과 관련하여 비용 효율적인 미세플라스틱 모니터링을 촉진하고 모범적인 모니터링 사례 구현 및 구축을 장려하고 있다. 또한 미세플라스틱과 나노플라스틱의 검출 및 정량 분석과 관련해서는 방법론을 일치시키고 분석 결과의 신뢰성을 높이도록 제안하고 있다. 그 외에 정부와 산업 부문, 소비자들에게 미세플라스틱의 발생과 영향 등 관련 이슈에 대한 인식을 높이고 산업, 하수, 운송, 어업 등의 미세플라스틱 발생과 관련해 관계자들이 책임 의식을 갖도록 할 것을 이야기하고 있다. 또한 FAO(2017)는 미세플라스틱이 수생환경에 미치는 영향에 관한 이해 증진과 해결, 식품 안전 및 어업에 대한 영향을 국제기구와 지역기구가 함께 다룰 것을 제안하고 있다.

FAO(2017)는 1차 미세플라스틱의 진입률(entry rate)과 2차 미세플라스틱의 발생률(production rate), 수생환경에서의 미세플라스틱의 fate, 각기 다른 플라스틱의 화합물(plastic compounds)과 관련 화학물질이 미세플라스틱 오염에 미치는 영향 등에 이해가 필요하다고 보고 있다. 이에 FAO(2017)는 환경(수생태, 퇴적물, 생물군)과 식품에서의 미세플라스틱 및 나노플라스틱 검출과 정량분석 방법은 150 μ m 미만의 작은 입자에 초점을 맞추어 표준화하고 이를 토대로 미세플라스틱 입자 크기에 대한 정보를 담은 발생 데이터

58) FAO(2017).

59) FAO(2017), p.29.

(occurrence data)를 생성하여 식이 섭취 시의 노출 평가에 사용할 것을 제안하고 있다. 또한 가장 일반적인 폴리머를 고려한 미세플라스틱 및 나노플라스틱의 독성에 관한 데이터 생성이 필요하고, 150 μ m 미만의 작은 입자의 잠재적 위험성이 더 높기 때문에 이를 먼저 연구해야 한다고 언급하고 있다. 또한 수생생물과 인간에게 가장 흔한 폴리머를 포함하고 있는 미세플라스틱 및 나노플라스틱의 이동에 대한 데이터의 생성이 필요하다고 밝히고 있다.

마. GESAMP(Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection)⁶⁰⁾

GESAMP는 유엔 산하기구에서 지원한 전문가로 구성된 해양환경보호 자문기관으로 2016년 발표한 미세플라스틱 보고서에서 담수 환경을 다룬 바 있다. GESAMP는 하·폐수(wastewater)를 통해 플라스틱 및 미세플라스틱이 수생태(aquatic habitats)로 유입된다고 보고 있다. 이론적으로는 하·폐수 시스템에서 1차적으로 플라스틱 및 미세플라스틱이 제거되어야 하지만 폭우로 하·폐수 시스템에 유입되는 물의 양이 많아지는 경우에는 제거되기 어렵기 때문에 수생태로 유입된다.

강은 미세플라스틱이 해양으로 유입되는 지점으로(Entry points), 담수생태계에서의 미세플라스틱의 원천과 경로를 알아내면 관리 및 저감 방안의 기반이 될 수 있기 때문에 향후 연구의 중요 과제라고 볼 수 있다. 그에 따라 도시 용수 시스템(urban water systems)을 포함한 대륙(continent)의 수생 환경의 농도와 유속 및 폴리머 유형에 대한 신뢰할 수 있는 데이터가 필요하다.

플라스틱 폐기물(debris)은 하·폐수처리시설(WWTP)이나 폭풍우, 유출을 통해 수생 환경에 유입된다. 세안제에 사용되는 폴리에틸렌(PE)과 폴리프로필렌(PP), 폴리스티렌(PS) 입자는 폐수에 유입될 수 있으며⁶¹⁾ 세탁 과정에서 플라스틱 섬유가 대량으로 배출되고 있다.⁶²⁾ 산업 또는 농업 활동 역시 담수 환경에 미세플라스틱을 유출하고 있으며⁶³⁾ 제지 제조 공장

60) GESAMP(2016).

61) Gregory(1996).

62) Browne et al.(2015); Karlsson(2015).

근처에서도 다량의 미세플라스틱 입자와 섬유가 검출되고 있다.⁶⁴⁾ 이렇게 배출되는 1차 미세플라스틱과 합성섬유는 하수 슬러지를 오염시킨다고 알려져 있으며,⁶⁵⁾ 빗물 유출을 통해 담수로 유입될 수 있다. Eerkes-Medrano et al.(2015)에 따르면 미세플라스틱과 인간 활동 사이에 공간적 연관성이 있다고 볼 수 있다. 미세플라스틱 소재의 특성과 구성을 통해서도 이를 확인할 수 있는데, Lechner et al.(2014)에 따르면 플라스틱 생산지가 인접해 있는 유럽 다뉴브강에서는 플라스틱 재료인 펠릿과 플레이크(flakes)가 발견되었다. Eriksen et al.(2013)에 따르면 레진 펠릿(resin pellets)과 마이크로 비즈는 인구밀도가 높은 산업지역인 북아메리카 휴런호(Lake Huron)와 에리호(Lake Erie) 인근에서 가장 많았다. 한편 Eerkes-Medrano et al.(2015)은 산 근처에 있어 인구가 드문 이탈리아의 가르다(Garda) 호숫가와 몽골의 흡스골(Hovsgol) 호수에서 1차 미세플라스틱은 잘 나타나지 않지만 2차 미세플라스틱이 많이 나타나는 이유는 가정에서 사용하는 제품이 파편화되면서 유입되기 때문이라고 보았다. McCormick et al.(2014)은 폐수처리장(wastewater treatment plant) 하류에서 1차 미세플라스틱 농도가 9.2배에서 17.93배까지 증가함을 보였다.

2. G7 및 G20 정상회의

2018년 6월 캐나다에서 열린 G7 정상회의에서 해양 플라스틱 폐기물 및 쓰레기(Ocean Plastic Waste and Marine Litter)가 논의되었다. G7 국가는 해양 플라스틱 폐기물 및 쓰레기가 생태계에 미치는 위협을 인식하고 이를 해결하기 위해 육지 및 해양의 플라스틱의 수명주기(Lifecycle)에 따른 관리 방식을 취하기로 하였다. 또한 해양 폐기물을 모니터링하는 방법과 그로 인한 영향에 관한 연구를 촉진하기 위해 UNEP와 협력하기로 하였다.⁶⁶⁾

한편 G7 국가는 자원 효율적이고 지속 가능한 플라스틱 관리를 위해 해양 플라스틱 헌장(G7 Ocean Plastics Charter)⁶⁷⁾을 발표하였다. 해양 플라스틱 헌장 중에서 미세플라스틱

63) Rillig(2012).

64) Dubaish and Liebezeit(2013).

65) Zubris and Richards(2005).

66) G7(2018).

67) G7 국가 중에서 캐나다, 프랑스, 독일, 이탈리아, 영국만 서명하고 일본과 미국은 서명에 동참하지 않음.

에 관한 사항은 Annex 1(Sustainable design, production and after-use markets)과 Annex 4(Research, innovation and new technologies)에서 다루지고 있다. Annex 1은 2020년까지 린스오프 화장품과 개인 위생 및 미용 제품(Personal care)에서 사용되는 마이크로 비즈를 줄인다는 내용과 미세플라스틱 발생 저감을 위한 산업계와의 협력을 다루고 있다. Annex 4에서는 폐수(Wastewater)와 하수 슬러지(Sewage sludge)에 있는 플라스틱과 미세플라스틱을 제거할 수 있는 기술 개발 및 활용에 관한 연구를 활성화할 것을 언급하고 있다.⁶⁸⁾

2019년 5월에 열린 ‘G7 해양 폐기물 퇴치를 위한 실행계획(G7 Action Plan to Combat Marine Litter)’ 워크숍에서는 지역 차원의 해양 폐기물 관리와 지역별 해양 협약(Regional Sea Conventions) 및 지역별 어업 단체(Regional Fisheries Bodies)와의 협력이 논의되었다. 미세플라스틱과 관련해서는 지역 차원에서 미세플라스틱 발생 방지를 중점으로 하는 조치에 대한 강화가 언급되었다. 그 외에 육지에서 발생하는 폐기물을 관리하는 방안의 일환으로, 해양으로 유입되는 미세플라스틱을 비롯한 하수 및 빗물(Stormwater)에서 발생하는 폐기물을 줄이고 방지할 수 있는 지속적이고 비용 효과적인 해결 방안이 논의되었다.⁶⁹⁾

2019년 6월 개최된 G20 정상회의에서는 해양 플라스틱 폐기물과 미세플라스틱에 대한 국내외적 조치가 필요함을 강조하며 미세플라스틱 배출량을 줄이고 해양으로 배출되는 현상을 방지하기 위해 신속하게 국가 차원에서 적절한 조치를 취할 것을 결의하였다.⁷⁰⁾ 또한 G20 정상회의에 앞서 진행된 환경-에너지 합동장관회의, 환경장관회의에서는 해양 폐기물과 미세플라스틱 저감을 위해서는 개별 국가의 신속한 행동과 국제사회의 협력이 필요하다는 데 의견을 모으고 ‘G20 해양폐기물 이행체계(G20 Marine Plastic Litter Implementation Framework)’⁷¹⁾를 지지하였다.⁷²⁾

68) G7(2018).

69) G7(2019).

70) 외교부(2019).

71) 2017년에 채택된 ‘G20 해양폐기물 행동계획(G20 Action Plan on Marine Litter)’ 이행 체계.

72) 환경부 보도자료(2019.6.16).

‘G20 해양폐기물 이행체계’에서 미세플라스틱은 해양 환경 보호를 위한 관련 과학 지식 공유에 관한 사항에서 다루지고 있다. ‘G20 해양폐기물 이행체계’는 해양 플라스틱 폐기물과 미세플라스틱을 측정하고 모니터링하기 위해 모니터링 및 분석 방법을 촉진하고 시범적으로 추진하는 등 과학적 토대를 강화하기 위한 연구 활동을 장려하기로 하였다. 또한 지역별 해양 협약 및 프로그램과 UNEP 등 기타 관련 기관과 협력하여 전 세계적 규모로 해양 플라스틱 폐기물 및 미세플라스틱을 모니터링하는 방법을 개발하는 데 힘을 예정이다. 그 외에 나노 플라스틱을 포함한 미세플라스틱에 관한 연구와 플라스틱 오염에 관한 연구, 건강에 미치는 영향, 해양 생물 다양성 및 생태계에 미치는 영향에 대한 과학적 지식의 공유를 장려할 것이라고 밝혔다.⁷³⁾

3. 유럽연합(EU) 및 주요 국가

가. SAPEA(Science Advice for Policy by European Academies)⁷⁴⁾

SAPEA는 유럽 집행위원회(European Commission)의 과학 자문기구로서 EU의 정책 결정 과정에서 필요한 과학적 전문지식을 지원한다. SAPEA는 2019년 “A scientific perspective on microplastics in nature and society” 보고서를 통해 5mm 미만의 미세 플라스틱은 플라스틱 제품과, 산업 및 폐기물, 섬유, 어업 및 농업 활동을 통해 발생하며 공기와 토양 및 퇴적물, 담수, 해양, 식물 및 동물 등에 광범위하게 존재한다고 밝혔다. 또한 통제된 실험 조건하에서 미세플라스틱의 농도가 높은 경우 환경 및 생물에 염증과 스트레스를 비롯한 물리적 위해를 야기하는 것으로 나타났으나 많은 지역에서 실제로 측정된 미세플라스틱 농도는 측정 방법에 한계가 있지만 임계치(Threshold)보다는 훨씬 낮은 수준이라고 발표했다.

73) 환경부 보도자료(2019.6.10).

74) SAPEA(2019).

SAPEA(2019)에 따르면 미세플라스틱 관련 규제 및 정책을 도입하기 위해서는 미세플라스틱에 대한 노출이 생물 및 인체에 미치는 영향 등이 과학적으로 규명되고, 관련 지식 및 이해가 현재보다 높은 수준으로 뒷받침되어야 한다. 이에 SAPEA는 먼저 나노 및 미세플라스틱의 주기를 이해하고 잠재적 위험을 평가할 수 있는 모델을 구축하기 위해 폴리머 구조의 특성과 분해 및 파편화로 인해 생성되는 소형 플라스틱 입자의 형성과의 관계를 평가할 수 있는 방법이 필요하다고 보았다. 또한 자연에서 발견되는 플라스틱의 발생원 및 제조 과정과 플라스틱 사이의 인과관계를 연결하는 접근법 또는 marker의 개발이 필요하며, 나노 및 미세플라스틱 관련 규제를 도입하기 위해 국제적 합의 및 표준화를 통한 측정 방법의 개선이 필요하다고 보고 있다. 또한 미세플라스틱이 인체에 미치는 위해성에 대한 우려가 제기되고 있는 바, 화학물질과 기후변화, 부영양화, 산성화와 같은 요인과 나노 및 미세플라스틱 사이의 상호작용을 포함하는 위험 평가 방법을 개발하여 규제 도입 시에 이를 반영하는 정책이 필요하다고 보고 있다. 그 외에 인체 위해성 평가를 위해 식품 및 음용수, 공기에 10 μ m 미만의 나노 및 미세플라스틱이 얼마나 존재하는지에 대한 이해가 필요하다고 보고 있다. 또한 나노 및 미세플라스틱의 크기와 모양, 유형에 따른 잠재적 독성에 대한 추가적인 이해가 필요하다고 언급하고 있다.

한편 SAPEA(2019)는 나노 및 미세플라스틱 관련 정책과 법률을 3가지 유형으로 분류하고 있는데, 첫 번째는 시장에서 유통되는 원료 및 제품에 대한 허가와 플라스틱 파쇄 및 분해 과정에서 발생하는 나노 및 미세플라스틱에 영향을 주는 정책 및 법률이다. 두 번째는 해양 환경 보호가 목적인 정책 및 법률이며, 세 번째는 폐기물을 중점으로 하는 정책이다. 그러나 SAPEA(2019)에 따르면 현재까지 3가지 유형의 정책 및 법률은 나노 및 미세플라스틱을 명시적으로 언급하고 있지 않으며, 그로 인해 발생할 수 있는 위험에 대해서도 특별히 모니터링을 요구하고 있지 않고, 구체적인 위험 기준도 확립되어 있지 않은 상황이다. 이에 대해 SAPEA(2019)는 현행 규제 정책은 예방 원칙(Precautionary principle)의 일부로 볼 수 있으며 현 시점에서는 정책을 체계적으로 검토하거나 나노 및 미세플라스틱으로 인한 위험을 효율적으로 예측하는 데 활용할 수 없다고 언급하고 있다. 한편 SAPEA(2019)는 나노 및 미세플라스틱 관리를 위해서는 사회가 보호하려는 환경 수준에 따라 배출량을 감축하고 위험이 적은 물질을 사용하도록 하는 협정 및 법률을 모두 이행하는 것이 중요해질 것으로 보고 있다.

나. 미세플라스틱 관리 정책

1) 물 관련 지침 및 정책

2000년 EU 집행위원회(European Commission)는 「물관리 기본지침(WFD: Water Framework Directive)」을 제정했다. 「물관리 기본지침(WFD)」은 수생환경 및 수질을 유지하고 개선하는 것에 중점을 두고 그에 따라 미래의 수질 보호 목표를 설정하고 오염을 최소화하도록 하고 있다. 「물관리 기본지침(WFD)」은 지표수 쓰레기 처리에 대한 별도의 의무 사항은 없으며 현재까지 미세플라스틱에 대해 다루고 있지 않다. 그렇지만 만약 지표수에서 발생하는 폐기물과 관련해 조치를 취한다면 「물관리 기본지침(WFD)」과 부합하도록 하고 있다. 또한 2008년 수립된 「물관리 기본지침(WFD)」 16조는 플라스틱 관련 물질(프탈레이트, 노닐페놀, 옥틸페놀)을 45개 우선유해물질에 포함시키고 회원국이 의무적으로 해당 물질을 관리하도록 하고 있다.⁷⁵⁾

1991년에는 특정 산업과 도시에서 발생하는 폐수 배출로부터 환경을 보호하기 위해 산업 폐수 및 강우수 등에 관한 「도시 하수 관리 지침(UWWTD: Urban Wastewater Treatment Directive)」이 제정되었다. 많은 양의 플라스틱이 도시 하수 시스템에서 최종 처리되고 있지만 「도시 하수 관리 지침(UWWTD)」에는 아직까지 폐수의 플라스틱 함량 및 미세플라스틱 감시에 관한 규정이 없는 상황이다. 또한 플라스틱 면봉 등의 위생 및 미용 관련 제품이 기존 하수처리시설에서 잘 포획되지 않고 있어 EU 집행위원회는 2018년 미세플라스틱 포획 및 제거에 대한 관점에서 이 지침의 효과에 대한 평가를 진행하고 있다.⁷⁶⁾

2018년 2월 EU 집행위원회는 「음용수 지침(Drinking Water Directive)」의 개정 제안서에서 미세플라스틱을 새로운 우려 사항으로 규정하고 병입수 수요를 줄이기 위한 일환으로 수도물 사용을 촉진하였다. EU 집행위원회는 예방 원칙에 따라 개정 과정에서 미세플라스틱에 대해서도 다룰 예정이다.⁷⁷⁾ 또한 음용수의 원천이 되는 수역에서 정기적으로 미세플라스틱을 모니터링하고 건강에 대한 잠재적인 위험이 있을 때는 조치를 취하도록 하고 있

75) SAM(2018).

76) 위의 책.

77) 위의 책.

다.78) 「음용수 지침(Drinking Water Directive)」에 대한 모니터링은 EU 회원국이나 공급 업체에서 시행하고(제11조) 있으며 회원국은 3년 주기로 음용수 모니터링 결과를 유럽 집행 위원회에 보고해야 하며, 6년 단위로 모니터링 프로그램을 검토하고 갱신하도록 하고 있다. 또한 모니터링 결과를 온라인에 공개하여 소비자들이 관련 정보를 쉽게 얻을 수 있도록 하고 있다. 그에 따라 초대형 공급업체는 1개월, 대형 업체는 6개월, 소규모 업체는 1년 이내의 결과를 공개해야 한다.79)

2) 산업 관련 지침 및 정책

EU는 「산업 배출 지침(Industrial Emissions Directive)」을 통해 토양과 지하수 보호, 폐기물 감시 및 관리, 물질(Substance) 허용치에 관한 내용을 담은 허가서를 발행하여 산업 활동으로 인한 오염을 방지하고 있다. 미세플라스틱과 관련해서는 2010년부터 미세플라스틱 발생의 주요 원인 중 하나인 플라스틱 펠릿에 대해 플라스틱 관련 산업계가 적절한 예방 조치를 취하고 BAT(Best Available Techniques)를 적용하도록 하고 있다. 「산업 배출 지침(Industrial Emissions Directive)」에 따르면 플라스틱 재료(폴리머, 합성섬유) 사업은 유기화학물질을 배출하므로 BAT 적용 대상이며, 미세플라스틱 주요 발생 원인인 플라스틱 펠릿은 플라스틱 재료에 포함된다.80)

유럽화학물질청(Echa)은 2019년 제조사의 이익이나 편의를 위해 화장품과 세정 제품, 페인트 및 도료, 건축 자재, 의약품, 농업 및 원예 관련 제품(비료 등) 등 다양한 산업에서 미세플라스틱(생분해되지 않는 5mm 미만 합성 폴리머)을 첨가하는 것을 금지하는 방안을 제안하였다. Echa의 금지 방안에 따르면 20년 동안 약 40만 톤의 미세플라스틱을 저감할 수 있을 것으로 예상된다.81) 한편 Echa는 EU 회원국 간의 환경보호 수준을 조화시키고 상품 교역을 자유롭게 하며 미세플라스틱 배출을 효과적으로 저감하려면 관련 정책을 몇몇 회원국에서만 시행하는 것보다 EU 차원에서 시행해야 한다고 언급하였다. Echa는 이에

78) European Commission, “Safer Drinking Water for all Europeans: Questions and Answers”, 검색일: 2019.6.20.

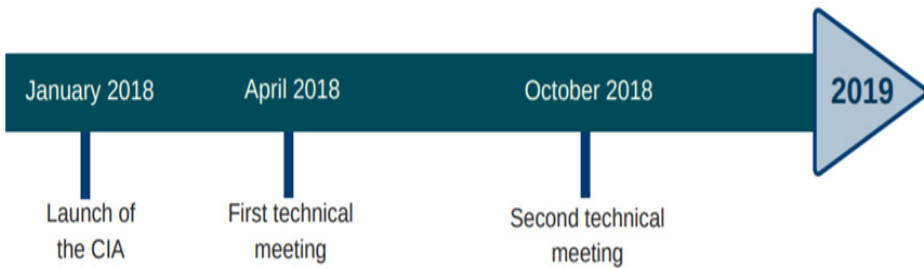
79) European Commission, “Drinking Water Directive”, 검색일: 2019.6.20.

80) SAM(2018).

81) Echa, “ECHA Proposes to Restrict Intentionally Added Microplastics”, 검색일: 2019.6.20.

대한 방안으로 미세플라스틱을 배출하는 제품의 경우에는 일정 유예 기간 이후 판매를 금지하고, 미세플라스틱 배출 가능성이 있는 제품의 경우에는 배출을 최소화하기 위해 라벨을 부착하는 것을 제안하였다.⁸²⁾

한편 EU는 2018년 순환경제패키지(Circular Economy Package, 2015)의 일환으로 「플라스틱 전략(Plastics Strategy)」을 도입하였다. 「플라스틱 전략(Plastics Strategy)」은 미세플라스틱 발생을 억제하기 위한 조치도 다루고 있는데 먼저 화학물질관리제도(REACH)를 통해 제품에 미세플라스틱을 첨가하는 것을 제한할 것을 제안하였다. 또한 타이어와 섬유 및 페인트에서 발생하는⁸³⁾ 미세플라스틱을 저감하는 정책을 검토하였다. 특히 타이어 마모는 미세플라스틱 배출의 주요 원인인데 이를 측정할 수 있는 적절한 방법은 부재한 사항이어서 2018년 5월에 개정된 타이어 라벨 관련 규정에서는 빠른 시일 내에 EU 집행위원회에서 타이어 마모를 측정할 수 있는 방법을 개발하도록 하였다. 또한 타이어의 마모 및 내구성과 같이 타이어를 설계할 때 필요한 최소한의 조건과 라벨을 활용한 관련 정보 표시, 미세플라스틱의 주요 발생 원인인 플라스틱 펠릿의 유출 방지 방안을 모색하였다.⁸⁴⁾



자료: Cross Industry Agreement(CIA), 검색일: 2019.6.17.

〈그림 4-1〉 Cross Industry Agreement

82) Echa(2019).

83) 2018년 Eunomia의 보고서에 따르면 EU의 연간 2차 미세플라스틱 지표수 배출량(배출원마다 각기 다른 기준 연도 배출량을 사용하였고 배출량은 중간값을 활용하여 2017년 기준으로 정규화하여 계산)은 176,300톤(하한 및 상한 범위: 71,800~280,600톤)으로 전체 배출량 중에서 도로에서 발생하는 타이어 마모가 94,000톤(중간값)으로 가장 많은 것으로 나타남. 또한 플라스틱 생산에 사용되는 플라스틱 펠릿(pre-production plastic pellets)이 41,000톤(중간값)으로 두 번째로 발생량이 많았으며 도로표지(road markings) 15,000톤(중간값), 의류 세탁 13,000톤(중간값)순으로 나타남.

84) SAM(2018).

미세플라스틱의 주요 발생 원인 중 하나인 섬유와 관련해서는 5개 유럽 산업 협회⁸⁵⁾가 자발적으로 2018년 「Cross Industry Agreement」를 체결하여 참여하고 있다. CIA는 합성섬유 세탁 과정에서 발생하는 미세플라스틱이 수중으로 유입되는 것을 방지하기 위해 체결되었다. CIA는 2018년 이후 4번의 기술회의를 진행하였고, 각 협회의 기술력과 영향력, 전문성을 활용하여 섬유 제조와 세탁 폐수 처리 과정에서 발생하는 미세플라스틱을 해결하는 방안을 모색하고 있다. 또한 미세플라스틱 문제를 효과적이고 경제적으로 해결하는 방안을 모색하기 위해 물과 환경에 존재하는 미세플라스틱을 식별하고 정량화할 수 있는 국제 표준 시험 방법 개발을 지원하고 있다. 뿐만 아니라 미세플라스틱 관련 연구 진행과 지식 격차, 선택 사항 및 우선순위에 대한 상호 간의 정보 공유와 현실적이고 효과적인 해결 방안을 위한 산업 연구에 참여 및 지원하고 있다.⁸⁶⁾

3) 국가별

2015년 EU 이사회에서 오스트리아와 벨기에, 스웨덴, 네덜란드, 룩셈부르크는 EU 내에서 마이크로 비즈를 더 이상 사용하지 않도록 요청하는 내용의 공동 성명서를 발표하였고 이후 각 회원국은 관련 정책을 도입하였다.⁸⁷⁾

프랑스는 순환경제 로드맵(FREC)의 일환으로 2025년까지 플라스틱을 100% 재활용하고 이를 통해 온실가스 배출량을 연간 약 800만 톤 감축한다는 목표를 설정하였다.⁸⁸⁾ 그에 따라 2016년 마이크로 비즈(5mm 미만의 불용성 고체 플라스틱)의 사용을 규제하는 법령 「Reclaiming Biodiversity, Nature and Landscapes Act」를 제정하고, 2018년 1월부터 마이크로 비즈가 포함된 린스 오프 화장품의 판매를 금지하였다. 단, 마이크로 비즈가 아닌 생분해성의 대체재를 사용하는 경우에는 판매 금지 대상에서 제외하고 있다.⁸⁹⁾

85) AISE(비누, 세제 및 관리 제품을 위한 국제협회: International Association for Soaps, Detergents and Maintenance Products), CIRFS(유럽 합성섬유산업연합회: European Man-Fibers Association), EOG(유럽 아웃도어협회: European Outdoor Group), EURATEX(유럽 섬유 의류 산업협회: European Textile and Apparel Confederation), FESI(유럽 스포츠용품 산업연맹: Federation of the European Sporting Goods Industry).

86) Cross Industry Agreement: CIA, 검색일: 2019.6.17.

87) EUROPA, "Dutch Rally Support for a Europe Wide Microplastic Ban", 검색일: 2019.6.18.

88) SAM(2018).

이탈리아 역시 2017년 마이크로 비즈가(5mm 이하 불수용성 고체 플라스틱) 포함된 린스 오프 화장품의 판매를 금지하는 내용의 법률 「General Budget Law 2018」을 제정하였다. 해당 법률은 2018년 발효되었으나 관련 제품의 판매 금지는 2020년 1월부터 시행될 예정이다.⁹⁰⁾

영국에서는 2018년 4월, 환경단체 Waste and Resources Action Programme(WRAP) 과 Ellen MacArthur Foundation이 환경식품농무부(Department for Food and Rural Affairs)의 지원을 받아 UK Plastics Pact를 추진하였다.⁹¹⁾ UK Plastics Pact는 2025년까지 일회용 플라스틱 사용을 줄이고 재활용을 확대한다는 내용의 로드맵을 발표하였다.⁹²⁾ 그에 따라 마이크로 비즈(5mm 이하 불수용성 고체 플라스틱 입자)가 포함된 세정제품 및 치약 등의 린스 오프 제품의 생산과 판매를 금지하는 내용의 「The Environmental Protection (Microbeads) Regulations」가 2017년 제정되었다.⁹³⁾ 이후 영국은 2018년 1월부터 관련 제품의 생산을 금지했으며, 잉글랜드와 웨일스에서는 같은 해 6월부터 관련 제품의 판매를 금지했다. 스코틀랜드와 북아일랜드에서는 각각 2018년 7월과 2018년 9월부터 판매를 금지하였다.⁹⁴⁾

스웨덴은 「The Chemical Products(Handling, Import, and Export Prohibitions) Ordinance(SFS 1998:944)」를 통해 2018년 7월부터 마이크로 비즈(5mm 미만 플라스틱 입자)가 함유된 린스 오프 화장품의 판매를 금지하고 있다. 단, 마이크로 비즈가 아닌 생분해성의 대체재를 사용하는 경우에는 판매 금지 대상에서 제외된다. 스웨덴은 추후 미세플라스틱이 포함된 모든 제품의 판매를 금지하는 것을 고려하고 있다.⁹⁵⁾ 한편 스웨덴 화학청(Kemi)은 2018년에 화장품 및 화학제품과 관련된 미세플라스틱을 효과적으로 규제하려면 EU 차원에서 규제를 먼저 진행해야 한다는 내용의 보고서를 발표한 바 있다.⁹⁶⁾

89) UNEP(2018a).

90) 위의 책.

91) SAM(2018).

92) 위의 책.

93) UNEP(2018a).

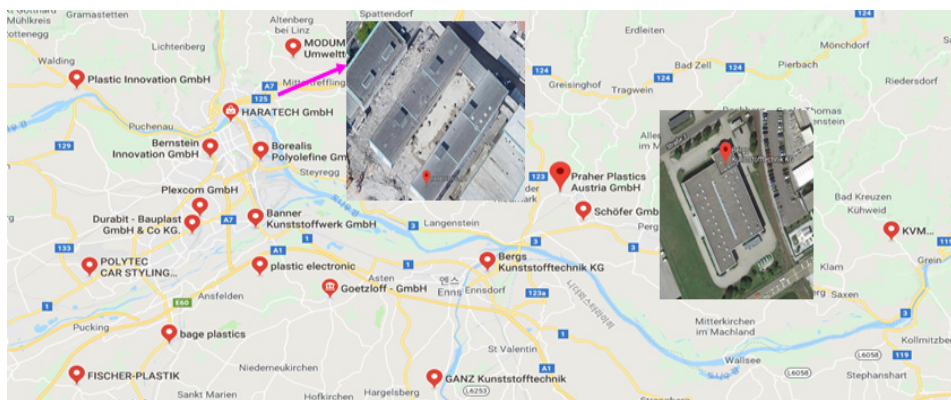
94) 위의 책.

95) 위의 책.

96) SAM(2018).

아일랜드는 2017년 마이크로 비즈가 포함된 린스 오프 화장품과 가정용 청소 제품을 금지하는 법률에 대한 공개 협의에 착수하였다.⁹⁷⁾ 이후 2018년 7월, 마이크로 비즈를 포함한 제품의 생산 및 판매, 수입을 금지하는 법안이 발의되었고 2019년 6월 이후 법안이 공표될 예정이다.⁹⁸⁾

오스트리아는 2014년 환경청(Environment Agency)과 농림환경수자원부(Ministry for Agriculture, Forestry, Environment and Water Management), 주정부의 지원을 받아 다뉴브강의 플라스틱 및 미세플라스틱의 Transport load 조사를 시행하였다. 조사 결과 연평균 플라스틱 Transport load는 하루 7~161kg으로 나타났고 5mm 미만 미세플라스틱은 6~66kg으로 나타났다. 또한 발견된 플라스틱 입자 중에서 10%는 생산이나 운송과 같은 산업에서 발생한 플라스틱 펠릿으로 조사되었는데, 이는 오스트리아 다뉴브강 유역에 플라스틱 생산업체와 가공업체가 소재하고 있기 때문으로 추정되었다.⁹⁹⁾ 이에 오스트리아 산업부는 농림환경수자원부와 함께 플라스틱에 대한 인식 전환과 기술적 조치를 통해 플라스틱 펠릿 배출량을 감소시키는 이니셔티브를 채택하였다.¹⁰⁰⁾



자료: 구글 지도, 검색일: 2019.6.25. 기반으로 저자 작성.

〈그림 4-2〉 다뉴브강 유역 플라스틱 생산 및 가공업체 현황

97) SAM(2018).

98) UNEP(2018a).

99) ICPDR, "Plastics and Microplastics in the Danube River", 검색일: 2019.6.19.

100) Umweltbundesamt GmbH, "Joint Efforts against Plastics in the Environment", 검색일: 2019.6.20.

벨기에는 2015년 미세플라스틱 배출을 방지할 수 있는 시험 방법을 개발하여 기업이 자체적으로 미세플라스틱의 사용을 재고하고 다른 물질로 대체하거나 배출을 방지할 수 있도록 하고 있다.¹⁰¹⁾ 이와 더불어 벨기에 정부는 2017년 10월 벨기에·룩셈부르크 화장품 및 세제 산업협회(DETIC)와 점진적으로 소비재(Consumer products)에 미세플라스틱을 사용하지 않는 것에 합의하였다.¹⁰²⁾ 그에 따라 벨기에·룩셈부르크 화장품 및 세제 산업협회(DETIC)는 2019년까지 린스 오프 화장품 및 치약 제품에 마이크로 비즈를 사용하지 않고 다른 물질로 대체할 계획이다.¹⁰³⁾

2017년 노르웨이 기후환경부(The Ministry of Climate and Environment)는 스포츠 시설에서 사용하는 인조 잔디에서 배출되는 미세플라스틱의 확산을 방지하기 위한 규정을 제정해달라고 정부에 요청하였다. 그에 따라 노르웨이 정부는 타이어와 인조 잔디, 페인트와 섬유 등 육상에서 발생하는 미세플라스틱을 줄이기 위해 관계자들과 협의 후 관련 규정을 제정할 예정이다.¹⁰⁴⁾

4. 미국 및 캐나다

미국에서 마이크로 비즈 관련 법안은 2014년 일리노이주에서 최초로 통과되었다. 그러나 마이크로 비즈를 “의도적으로 첨가한 비생물분해성의 고체 플라스틱 입자”로 정의함에 따라 생분해성 플라스틱은 제외되어 환경단체의 논란을 유발하였다. 이후 캘리포니아주에서 발의된 법안에서는 플라스틱으로 만들어진 마이크로 비즈는 모두 금지되었으나 이 법은 메이크업 제품과 로션, 산업 및 가정용 세제 등을 제외한 린스 오프 제품에만 적용되었다.¹⁰⁵⁾

연방정부 차원의 미세플라스틱 규제는 2015년 「Micro bead-Free Waters Act」가 의회를 통과하면서 시작되었다. 「Micro bead-Free Waters Act」에 따라 2017년 7월부터 의도적으로 플라스틱 마이크로 비즈(5mm 이하 고체 플라스틱 입자)를 첨가하여 생산한 치약과 린스 오프 화장품의 생산 및 제조가 금지되었고, 2018년 7월부터 유통이 금지되었다.¹⁰⁶⁾

101) SAM(2018).

102) UNEP(2018a).

103) 위의 책.

104) SAM(2018).

105) 위의 책.

106) 위의 책.

일반의약품에 해당되는 린스 오프 화장품은 2018년 7월부터 생산 및 제조가 금지되었고 2019년 7월부터 유통이 금지되었다. 그러나 의료 목적으로 마이크로 비즈를 사용하는 제품은 규제 대상에서 제외하고 있다.¹⁰⁷⁾

캐나다는 연방정부와 주정부가 환경보호와 폐기물 및 폐수 관리를 같이 담당함에 따라 주정부 차원의 미세플라스틱 관련 정책을 시행하고 있다. 캐나다의 온타리오 주정부는 2014년 온타리오 호수와 에리 호수 샘플에서 미세플라스틱이 발견됨에 따라(전체의 14% 차지) 2016년 지역사회와 NGO, 제조업체와 협력하여 마이크로 비즈를 포함하고 있는 개인 위생 및 미용 제품(Personal care)의 판매를 점진적으로 줄여나가기로 하였다.¹⁰⁸⁾

연방정부 차원에서는 2015년 환경부가 마이크로 비즈(5mm 이하 플라스틱)에 대한 연구를 진행하고 2016년 환경보호법(Canadian Environmental Protection Act)에서 마이크로 비즈를 독성물질로 기재했다. 이후 2017년 6월 캐나다 의회에서 마이크로 비즈(환경보호법에서 정의된)가 첨가된 제품의 제조를 금지하는 법안 「Microbeads in Toiletries Regulations」이 통과되었다. 해당 법안은 2018년 1월 발효되어 같은 해 7월부터 마이크로 비즈가 포함된 개인 위생 및 미용 제품의 생산과 판매 및 수입을 금지하고 있다. 캐나다 정부는 해수와 담수 환경에서의 플라스틱 및 미세플라스틱 발생과 분포, 영향을 파악하기 위한 연구를 진행하고 있다.¹⁰⁹⁾

5. 호주 및 뉴질랜드

뉴질랜드는 2017년 1월, 플라스틱 마이크로 비즈가 함유된 개인 위생 및 미용 제품의 생산 및 판매를 금지하는 내용의 공개 토론 보고서를 발표하였다. 이후 2017년에는 합성 비생물분해성 플라스틱 입자 마이크로 비즈(5mm 미만 불수용성 플라스틱 입자)가 포함된 워시 오프 제품의 제조와 판매를 금지하는 내용의 법률 「Waste Minimisation (Microbeads) Regulations 2017」이 제정되었다. 그에 따라 2018년 6월부터 관련 제품의 생산 및 판매가 금지되고 있으나 의료 목적의 제품은 적용 대상에서 제외된다.¹¹⁰⁾

107) UNEP(2018a).

108) SAM(2018).

109) 위의 책.

110) 위의 책.

호주는 2016년 정부와 미세플라스틱 관련 산업계가 법적 규제나 정책이 아닌 자발적 조치를 통해 점차적으로 마이크로 비즈를 사용하지 않기로 협의하였다. 그에 따라 산업계는 2018년 7월까지 린스 오프 제품과 개인 위생 및 미용 제품, 화장품, 세정제에 사용되는 마이크로 비즈를 단계적으로 사용하지 않기로 하였다.¹¹¹⁾ 이후 2018년 5월 호주 정부는 마이크로 비즈 사용을 자발적으로 저감하려는 산업계의 노력이 효과적이며 정부의 규제가 필요하지 않다고 평가하였다.¹¹²⁾

6. 한국

앞서 설명한 것처럼 2017년 The Guardian지가 수돗물에서 미세플라스틱이 검출되었다는 연구 결과를 보도한 이후 환경부에서 수돗물의 미세플라스틱 함유 실태 조사를 실시하였다. 조사 대상은 하천과 댐, 소규모 저수지로 상수원을 구분하고 정수장 처리방법은 고도 처리와 표준처리로 구분하여 선정하였다.¹¹³⁾

환경부 조사 결과 발표에 따르면 1L당 평균 0.05개의 미세플라스틱이 검출된 것으로 나타났다. 수돗물 병입수의 경우 1차 검사에서는 2개 제품 모두에서 미세플라스틱이(각각 0.2개, 0.4개) 검출되었으나 2차 검사에서는 검출되지 않은 것으로 나타났다. 먹는 샘물의 경우 시중 6개사 제품을 대상으로 조사한 결과 1차 검사에서는 1개 제품에서 0.2개(1L기준)의 미세플라스틱이 검출되었고 5개 제품에서는 검출되지 않았다. 그러나 먹는 샘물의 경우에도 2차 검사에서는 미세플라스틱이 검출되지 않은 것으로 나타났다. 이외에 추가적으로 수도권 10개 가정을 무작위로 선정하여 수도꼭지에서 나온 수돗물도 검사한 결과 미세플라스틱은 검출되지 않은 것으로 조사되었다.¹¹⁴⁾

이와 같은 결과에 대해 환경부는 2017년 The Guardian이 발표한 해외 사례(1L당 평균 4.3개)보다 낮은 수준이므로 먹는 물에서 미세플라스틱을 우려하지 않아도 될 수준이지만 예방 및 관리 차원에서 미세플라스틱이 사람에게 노출되는 경로와 위해성에 대한 연구를 추진할 예정이라고 발표하였다.¹¹⁵⁾

111) 위의 책.

112) UNEP(2018a).

113) 환경부 보도자료(2017.9.7).

114) 환경부 보도자료(2017.11.24).

한편 식품의약품안전처는 2017년 「화장품 안전기준 등에 관한 규정」에서 미세플라스틱을 세정, 각질 제거 등의 제품에 남아 있는 5mm 크기 이하의 고체 플라스틱으로 정의하고 '사용할 수 없는 원료'에 미세플라스틱¹¹⁶⁾을 추가하였다. 그에 따라 2017년 7월부터 미세플라스틱을 사용한 피부 각질 제거제 및 세안제 등의 화장품의 국내 생산 및 수입이 금지되었고 2018년 7월부터 미세플라스틱을 사용한 화장품의 판매가 전면 금지되었다. 식품의약품안전처 발표에 따르면 미세플라스틱을 사용하는 각질 제거 제품은 331개이며, 각질 제거 1회 사용 시 약 10만 개의 미세플라스틱 알갱이가 배출되는 것으로 나타났다.¹¹⁷⁾

〈표 4-1〉 Orb media와 한국 조사 결과 비교

구분	Orb media 조사 결과	한국 조사 결과
조사 기간	- 2017년 1~3월(5월 보고서, 9월 언론 공개)	- 2017년 9~10월
조사 대상 및 시료수	- 전 세계 14개국, 수도꼭지 수도물 159개	- 24개 정수장: 원수 12개, 정수 27개 (1차: 24, 2차: 3) - 수도꼭지 수도물: 10개소 - 수도물 병입수: 2개 제품, 4개 시료 (1차: 2, 2차: 2) - 먹는샘물: 6개 제품, 7개 시료 (1차: 6, 2차: 1)
분석 기관	- 미국 미네소타대학	- 국립환경과학원(서울물연구원 및 한국수자원공사 협조)
시료 양	- 500ml	- 5L
분석 방법	- 입자 유무 확인(염색한 후 현미경 관찰) → 내구성 시험 (스테인리스 막대 이용)	- 입자 유무 확인(현미경 관찰) → 입자 재질 분석(적외선분광계)
전체 조사 결과 (검출률)	- 159개 중 132개 시료(83%) 검출	- 정수장: 원수 1개 검출, 정수 4개 검출 (2차 검사 포함) - 수도꼭지 수도물: 전부 불검출 - 수도물 병입수: 2개 검출(2차 검사 포함) - 먹는 샘물: 1개 검출
수돗물 검출 결과	- 평균 4.3개/L(0~57개/L)	- 평균 0.05개/L(0~0.6개/L)

자료: 환경부 보도자료(2017.11.24), “환경부, 수도물 중 미세플라스틱 함유 실태 조사 결과 발표”, 표 2 인용.

115) 위의 책.

116) 지름 5mm 이하의 미세플라스틱.

117) 식품의약품안전처 보도자료(2016.9.29).

이후 2019년 식품의약품안전처는 화장품에 포함된 미세플라스틱을 검출하는 시험법을 마련하여 발표하였다. 식품의약품안전처 발표에 따르면 해당 시험법은 각질 제거용 제품이나 세정제에 함유되어 있는 미세플라스틱의 크기와 종류를 동시에 확인할 수 있다.¹¹⁸⁾

〈표 4-2〉 과학기술 기반 미세플라스틱 문제 대응 추진 전략 주요 내용

추진 전략	중점 과제	일정	참여 부처
플라스틱 폐기물의 효과적 관리	기술개발	- 재활용 촉진 및 (미세)플라스틱 대체 기반 기술 개발	'19~ 환경부, 해수부, 산업부, 과기정통부
	사회정책	- 플라스틱 폐기물 발생 저감 및 수거·재활용 확대를 위한 제도 강화	'19~ 환경부, 해수부
		- 국민 인식 제고 및 참여 촉진을 위한 교육·홍보	'19~ 환경부, 해수부, 과기정통부
미세플라스틱 정보 생산 및 축적	기술개발	- 미세플라스틱 측정분석 기술 확립 및 실태 조사	'19~ 관계 부처
	사회정책	- 미세플라스틱 인체 및 생태 위해성 연구 추진	'20~ 관계 부처
		- 미세플라스틱 정보 공유를 위한 국제 협력 활성화	'19~ 환경부, 해수부
과학적 미세플라스틱 대응 기반 구축	기술개발	- (미세)플라스틱 대체물질·소재 개발 및 적용	'21~ 산업부, 환경부, 해수부, 과기정통부, 농식품부, 농촌진흥청
		- 미세플라스틱 노출영향 최소화를 위한 적정 처리 기술 개발	'23~ 환경부, 해수부, 농촌진흥청
		- 미세플라스틱 모니터링 확대	'22~ 관계 부처
	사회정책	- 미세플라스틱 대내외 협력 대응 체계 구축	'23~ 관계 부처
미세플라스틱 전주기 안전 관리	기술개발	- 과학적 근거 기반 미세플라스틱 안전 관리 방안 마련	'24~ 관계 부처
	사회정책	- 미세플라스틱 전주기 관리 시스템 마련	'24~ 관계 부처
과학기술과 사회가 함께하는 문제해결 기반마련	-	- (미세)플라스틱 문제에 대한 통합 대응을 위한 범정부 협의체 구축 운영	'20~ 관계 부처
		- 국민참여 및 다양한 이해관계자 의견 수렴 등을 위한 현장 접점 강화	'19~ 관계 부처
		- 과학기술과 사회정책 연계 촉진을 위한 온라인플랫폼 구축운영	'19~ 혁신 본부

주: 미세플라스틱 기술개발은 환경부 주관 다부처 공동 R&D 사업으로 기획, 2019년 하반기 예타 추진.
자료: 과학기술정보통신부 보도자료(2019.7.17.), 참고 3 인용.

118) 식품의약품안전처 보도자료(2019.6.26).

또한 2019년 7월 진행된 제6회 과학기술관계장관회의에서 「과학기술 기반 미세플라스틱 문제 대응 추진 전략」이 논의되었다. 미세플라스틱은 특성상 환경뿐만 아니라 산업 및 식품, 농업 분야와도 연관되어 있기 때문에 이 문제를 해결하기 위해서는 범부처적인 협력을 통해 미세플라스틱을 전주기적으로 통합 관리할 필요가 있으므로 해당 전략을 유기적으로 통합하여 추진할 예정이다. 이에 환경부와 과학기술정보통신부가 중심이 되어 미세플라스틱이 환경 및 인체에 미치는 위해에 선제적으로 대응하는 것을 목적으로 과학기술과 사회정책을 연계한 단기 및 중장기적 대응 방안을 수립하였다.¹¹⁹⁾

정부는 해당 전략을 통해 미세플라스틱 문제에 통합적으로 대응하기 위해 범정부 협의체제를 구축하고 국민 및 다양한 이해관계자의 의견을 수렴하고 과학기술과 사회정책 연계를 촉진하기 위해 온라인 플랫폼을 구축할 계획이다. 이를 위해 2020년부터 미세플라스틱 통합 대응을 위한 범부처 협의체를 구축하여 운영해나가고 예비타당성 조사를 거쳐 2021년부터 ‘미세플라스틱 다부처 R&D 사업’을 추진할 예정이다.¹²⁰⁾

7. 시사점 및 소결

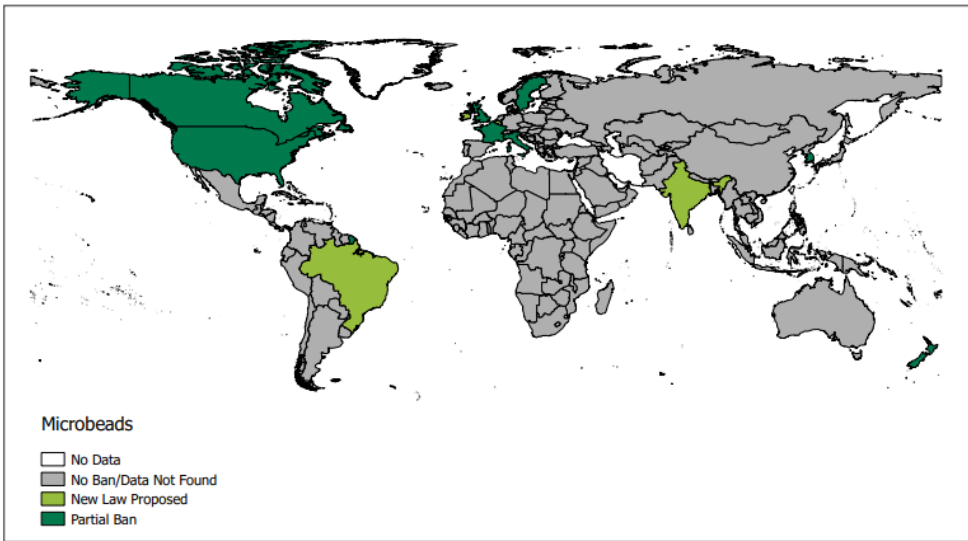
미세플라스틱과 관련된 지금까지의 연구 및 조사에 따르면 미세플라스틱은 환경과 음식 등에 광범위하게 존재하고 있지만 위해성은 아직까지 명확하게 밝혀지지 않았다. 특히 하천 및 호소의 물환경에서 시행하는 미세플라스틱 샘플링, 전처리 및 검출 방법 등이 국제적으로 합의되지 않아서 신뢰성 있는 연구나 조사 결과가 나오지 않았기 때문으로 볼 수 있다. 그러나 미세플라스틱의 위해성에 관해서는 논란의 여지가 있기 때문에 국제기구나 몇몇 국가에서는 예방 차원의 정책을 시행하고 비교적 배출원이 명확한 1차 발생원 중심으로 규제를 진행하고 있다.

UNEP(2018a) 보고서에 따르면 2018년 7월 기준으로, 192개 국가 중에서 법이나 규정을 통해 미세플라스틱 1차 발생원인 마이크로 비즈의 사용 및 판매와 제조를 금지하고 있는 국가는 캐나다, 프랑스, 이탈리아, 한국, 뉴질랜드, 스웨덴, 영국, 미국 8개 국가이다.¹²¹⁾

119) 과학기술정보통신부 보도자료(2019.7.17).

120) 위의 책.

8개 국가에서는 관련 법률이나 정책을 통해 린스 오프 제품이나 개인 위생 및 미용 제품에 사용되는 마이크로 비즈의 사용을 규제하고 있다.



자료: UNEP(2018a), Legal Limits on Single-Use Plastics and Microplastics: A Global Review of National Laws and Regulations, p.70 Map 9 인용.

〈그림 4-3〉 마이크로 비즈 규제 정책 시행 국가

2차 발생원에 대해서는 관련 연구가 논의되는 단계로, 대부분의 국제기구들은 관련 데이터를 수집하고 추가 연구 및 조사와 관련된 지식을 공유하여 샘플링 및 분석 방법을 표준화하려 하고 있다. UN의 경우 환경총회를 통해 전문가 그룹을 구성하여 해양 플라스틱 및 미세플라스틱 문제를 해결하는 방안과 관련하여 데이터 수집과 샘플링 및 분석 지침 개발, 글로벌 지식 허브 설립 등의 다양한 해결 방안을 제시하고 있다. OECD도 미세플라스틱의 주요 발생원인 타이어 및 섬유를 중점으로 전문가 및 이해관계자를 대상으로 하는 워크숍을 진행하여 관련 논의를 지속해갈 예정이다. 또한 G7 국가들이 중심이 되어 해양 폐기물을 방지하기 위해 육상에서 발생하는 미세플라스틱을 지속적으로 해결하는 방안을

121) UNEP(2018a).

논의하고 있으며, G20 정상회의에서는 해양 플라스틱 폐기물과 미세플라스틱 배출 저감을 위해 신속하게 국가 차원의 조치를 취할 것을 결의하였다.

한편 육상에서 발생하는 미세플라스틱이 최종적으로 해양에 유입되고 그 과정에서 국가 간 이동도 발생하고 있으므로, 미세플라스틱 문제를 해결하려면 지금과 같은 개별 국가 차원에서 벗어나 국가 및 지역 기반의 규제 방안이나 협력이 필요하다는 의견이 제기되고 있다. UN 전문가 회의에서는 기존의 국가 및 지역을 기반으로 하는 접근법이 필요하다는 의견이 제시되었고, G7 해양 폐기물 퇴치 실행계획 워크숍에서도 지역 차원의 미세플라스틱 발생 방지를 중점으로 하는 조치를 강화하는 방안이 논의되었다. 또한 유럽화학물질청(Echa) 역시 미세플라스틱 관련 정책을 효과적으로 시행하기 위해서는 EU 차원의 정책이 필요하다고 언급하였다.

현재 진행되고 있는 미세플라스틱 연구 및 조사의 결과를 통해 발생 및 측정 방법, 영향에 대한 사항들이 지금보다 명확하게 밝혀지면 범국가 차원의 규제가 도입될 수 있을 것으로 예상된다.

〈표 4-3〉 마이크로 비즈 규제 정책 시행 국가 현황

국가	규제 대상	규제 품목	관련 조치	비고
프랑스	- 마이크로 비즈 (5mm 미만 고체 플라스틱)	- 린스 오프 화장품	판매 금지: 2018. 1~	- 관련 법령: Reclaiming Biodiversity, Nature and Landscapes Act(2016. 8 제정) - 분해성 대체재(Biodegradable Alternatives)를 사용한 경우에는 규제 대상에서 제외
이탈리아	- 마이크로 비즈 (5mm 이하 불수용성 고체 플라스틱)	- 린스 오프 화장품	법령 발효: 2018. 1~ 판매 금지: 2020. 1~	- 관련 법령: General Budget Law 2018(2017. 12 제정)
영국	- 미세 플라스틱 (5mm 이하 불수용성 고체 플라스틱)	- 린스 오프 개인 미용 및 위생 제품	생산 금지: 2018. 1~ 판매 금지: 2018. 6~	- 관련 법령: The Environmental Protection (Microbeads) Regulations(2017 제정)
스웨덴	- 미세 플라스틱 (5mm 미만 불수용성 고체 플라스틱)	- 린스 오프 화장품	판매 금지: 2018. 7~	- 관련 법령: The Chemical Products (Handling, Import, and Export Prohibitions) Ordinance (SFS 1998:944) - 의료기기 및 의약품의 경우에는 규제 대상에서 제외 - 스웨덴 화학청(Kemi): 2018년 3월, 화장품 및 화학제품에 대한 미세플라스틱의 효과적인 규제를 위해서는 EU 차원에서 규제가 먼저 진행되어야 한다는 내용의 보고서 발표
미국	- 마이크로 비즈 (5mm 이하 고체 플라스틱)	- 린스 오프 화장품	제조 금지: 2017. 7~ 유통 금지: 2018. 7~	- 관련 법령: Microbead-Free Waters Act of 2015 - 일반의약품에 해당되는 린스 오프 화장품은 2018년 7월부터 제조 금지, 2019년 7월부터 유통 금지 - 의료 목적의 제품은 규제 대상에서 제외
캐나다	- 마이크로 비즈 (5mm 이하 불수용성 고체 플라스틱)	- 세정 제품	제조, 판매, 수입 금지: 2018. 1~	- 관련 법령: Microbeads in Toiletries Regulations(2017년 6월 제정) - 건강보조제품(natural health products) 및 일반의약품에 해당되는 세정제품은 2017년 7월부터 금지
뉴질랜드	- 미세 플라스틱 (5mm 미만 불수용성 고체 플라스틱)	- 린스 오프 제품	생산 및 판매 금지: 2018. 6~	- 관련 법령: Waste Minimisation(Microbeads) Regulations 2017 - 의료기기 및 의약품은 규제 대상에서 제외

자료: SAM(2018); Eunomia(2018); Lam et al.(2018).

〈표 4-4〉 마이크로 비즈 규제 정책 검토 국가 현황

국가	규제 대상	규제 품목	관련 조치	비고
호주	- 마이크로 비즈 (5mm 미만 불수용성 고체 플라스틱)	- 린스 오프 제품 - 세정 제품	- 사용 저감	- 2016년, 산업계의 자발적 조치를 통해 마이크로 비즈를 점차적으로 사용하지 않기로 정부와 산업계가 협의 - 산업계는 2018년 7월까지 린스 오프 제품과 개인 위생 및 미용 제품, 화장품, 세정제에 사용되는 마이크로 비즈를 단계적으로 사용하지 않기로 함. - 2018년 5월, 호주 정부는 산업계의 자발적인 마이크로 비즈 사용 저감 노력이 효과적이며 정부 규제가 필요하지 않다고 평가함.
아일랜드	- 마이크로 비즈 (5mm 이하 불수용성 고체 플라스틱)	- 린스 오프 화장품 - 가정용 청소 제품	- 생산 및 판매금지 예정	- 2017년, 아일랜드 정부는 마이크로 비즈가 포함된 린스 오프 화장품과 가정용 청소 제품을 금지하는 법률에 대한 공개 협의에 착수 - 2018년 7월, 마이크로 비즈를 포함한 제품의 생산 및 판매와 수입을 금지하는 법안 발의
벨기에	- 마이크로 비즈 (5mm 미만 고체 플라스틱)	- 린스 오프 화장품 - 치약	- 생산 및 판매금지 예정	- 2015년, 벨기에 정부는 합성 미세플라스틱 입자 배출 평가 및 예방을 위한 시험 설계 - 기업 자체적으로 미세플라스틱의 사용을 재고하고 다른 물질로 대체하거나 배출을 방지할 수 있도록 함. - 2017년, 벨기에-룩셈부르크 화장품 및 세제 산업협회(DETIC)와 벨기에 정부는 점진적으로 소비자(consumer products)에 미세플라스틱을 사용하지 않는 것에 합의 - DETIC는 2019년까지 린스 오프 제품의 마이크로 비즈를 다른 물질로 대체할 예정
노르웨이	- 미세플라스틱	- 인조잔디	-	- 2018년, 노르웨이 기후환경부는 스포츠 시설에서 사용되는 인조잔디에서 배출되는 미세플라스틱의 확산 방지를 위한 규정의 제정을 요청 - 노르웨이 정부는 인조잔디와 타이어, 페인트와 섬유 등 육상에서 발생하는 미세플라스틱을 줄이기 위해 산업계와 협의 후 제정할 예정

자료: SAM(2018); Eunomia(2018); Lam et al.(2018).

제5장

결론 및 제언

미세플라스틱은 통상적으로 직경 혹은 최대 길이를 기준으로 5mm보다 작은 플라스틱 입자로 정의된다. 최근에는 미세플라스틱보다 더 작은 나노플라스틱까지 정의를 세분화하고 있는 것으로 파악되나, 아직 국제적으로 확정되어 표준화한 정의는 없다. 이에 따라 우리나라도 관련 동향 분석 및 연구조사 발표 등을 추진할 필요가 있는 것으로 판단된다. 또한, 미세플라스틱에 대한 정의가 국제적 동의를 얻지 못한 상태지만 국내 담수 환경에서 미세플라스틱의 크기별로 위해성을 평가하는 방법을 개발하고, 수질오염물질 지정 등과 같은 미세플라스틱 저감 및 관리 제도를 수립하도록 검토할 필요가 있다.

미세플라스틱을 분석하는 방법 또한 정의와 마찬가지로 국제적인 동의를 얻은 표준화 방법이 부재한 상황이다. 때문에 채집, 전처리 및 검출 방식의 차이로 인해 문헌 간의 분석 결과 비교가 어려운 경우가 많다. 여러 리뷰 논문에서 이와 같은 점을 지적하고 개선이 필요함을 주장하였다. 이에 WHO(2019)는 연구 시 방법에 대한 자세한 기재, 통계적 대표성 확보, 연구 과정 중 오염 방지 등 미세플라스틱 분석 방법을 개선하기 위한 제언을 발표한 바 있다. 미세플라스틱은 비중, 구성 비율 등의 폴리머 성분에 따라 수체의 표면에 부유하거나 수중에서 거동하기 때문에 특히 채집 방법의 표준화가 선행되어야 한다고 판단된다. 현재 전처리와 검출 방법을 중심으로 표준화가 만들어지고 있으므로 추가 동향 파악이 매우 중요하다고 판단된다.

그간 미세플라스틱 관련 연구는 해양환경에 치중되는 경향을 보였는데 최근 하·폐수, 음용수, 수생태계 등 담수 환경에 미치는 연구적·사회적 관심 또한 크게 늘어났다. 국내 담수 환경의 미세플라스틱 실태를 조사한 연구는 국립환경과학원이 2016년부터 3년간 한강을

대상으로 수행한 연구 등이 있었으나 여전히 해양환경 연구에 비해 비교적 부족한 것으로 파악된다. 담수는 해수로 이동하는 경로에 있으며, 미세플라스틱의 발생원, 비점오염 유출 형태의 유출 경로, 수체 내의 이동과 거동 등을 파악하는 데 중요한 단계이다. 그리고 미세플라스틱의 전 과정에 대한 파악은 적합한 저감 기술과 관리 정책을 발전시키기 위해 선행되어야 하는 중요한 과제이다. 또한 미세플라스틱의 위해성에 대한 사회적 관심이 급증함에 따라, 가급적 미세플라스틱에 관한 현장 조사와 위해성 평가를 병행할 필요가 있다. 미세플라스틱의 위해성을 과학적이고 체계적으로 규명하고, 그 과정과 결과를 투명하게 공개하여 불필요한 불안감을 사전에 예방하여야 할 것으로 판단된다.

미세플라스틱에 관한 국내의 정책 동향을 살펴보면 현재까지는 1차 발생원 중심의 규제가 시행되고 있으며, 2차 발생원에 대해서는 관련 연구가 논의되고 있는 단계이다. UN은 해양 플라스틱 및 미세플라스틱 관련 데이터 수집과 채집 및 검출 지침 개발, 글로벌 지식 허브 설립을 통한 지식 공유 등의 방안을 활용한 해결책을 모색하고 있다. OECD는 주요 2차 발생원인 타이어와 섬유 관련 관계자 및 전문가를 대상으로 하는 워크숍을 통해 논의를 지속할 예정이다. 한편 G7은 해양환경뿐만 아니라 하·폐수처리장의 미세플라스틱 저감 기술 및 연구의 중요성을 결의문으로 선정하였다. EU 등 주요 국가는 관계 전문가 또는 위원회 등을 통해서 물환경에서의 미세플라스틱 발생과 거동, 관리 방안, 위해성 등에 대한 보고서를 발간하였다. 또한 WHO, World Bank 등에서는 미세플라스틱을 신규 관심물질(CECs)로 규정하고 연구·조사의 시급성과 중요성을 크게 강조하였다. 이에 따라 우리나라 또한 담수 환경의 미세플라스틱에 관한 실태 조사 연구를 현재보다 적극적이고 체계적으로 확대할 필요가 있다.

미세플라스틱 저감 방안 및 정책 수립에 중요한 부분은 미세플라스틱이 (수질) 오염물질에 해당하는지의 여부를 판단하는 것이다. 많은 연구에서 플라스틱 오염(Plastic pollution)이라는 용어를 사용하고 있으나, 미세플라스틱이 수질 오염물질인가에 대한 논의는 많지 않은 것으로 파악된다. 다만 의약물질을 미량오염물질(Micro-pollutants), 우선관리물질(Priority pollutants), 신규 관심오염물질(CECs)로 명명하듯이, 최근 일부 연구 중심의 보고서에서 미세플라스틱을 CECs로 간주하고 있다. 그러나 아직 유럽위원회와 같은 정부기관은 이에 관해 명확히 규정하지 않았다. 우리나라 또한 관련 논의가 활발하지는

않으나, 수질오염 감시 항목으로 지정할지에 대한 검토는 필요할 것으로 판단된다. 물 관리 시설의 미세플라스틱을 저감하려면 연구 과정에서도 제거 비율이 아닌 물 이용 수요자 섭취 가능량 혹은 공공수역으로 배출되는 정량적 농도를 산정하는 등의 자세한 논의가 필요하다. 미세플라스틱은 전 지구적·국가적 사안이지만 수질공정시험법, ISO 등과 같은 표준 분석 방법이 정립되지 않았으며, 환경 및 인체 위해성에 대한 과학적인 근거도 부족한 상황이다. 이와 같은 상황에서 해당 미규제 물질을 현명하게 관리하고 정책을 준비할 필요가 있다.

| 참고문헌 |

[국내문헌]

- 김규원 외(2018), 「플라스틱 오염 현황과 그 해결책에 대한 과학기술 정책」, 한국과학기술한림원, pp.11-12.
- 김남신 외(2019), “금강수계 담수와 어류체내 잔류미세플라스틱 연구”, 「생태와 환경」, 52(1), 한국하천호수학회, pp.28-39.
- 박정규 외(2018), 「미세플라스틱 관리 동향 및 정책 제언」, 한국환경정책·평가연구원.
- 박정규, 간순영.(2014), “잔류성·생물축적성 물질 피해저감을 위한 미세플라스틱 (Microplastic) 관리방안”, 「환경정책연구」, 13(2), pp.65-98.
- 박태진 외(2018), 「담수 중 미세플라스틱 조사 기법 연구(Ⅲ)」, 국립환경과학원, pp.1-31.
- 송영경 외(2017), 「부유 미세플라스틱 시료채취 및 분석 지침」, 한국해양과학기술원, pp.3-23.
- 심원준 외(2015), 「미세플라스틱에 의한 연안환경 오염 연구」, 한국해양과학기술원
- 외교부(2019), 「2019 G20 정상선언문 (국문 비공식 번역본)」.
- 이재호 외(2016), 「담수 중 미세플라스틱 조사 기법 연구」, 국립환경과학원, pp1-29.
- 이재호 외(2017), 「담수 중 미세플라스틱 조사 기법 연구(Ⅱ)」, 국립환경과학원, pp.1-31.
- 이혜성, 김용진(2017a), “우리나라 미세플라스틱의 발생잠재량 추정 - 1차 배출원 중심으로”, 「한국해양학회지」, 22(3), pp.135-149.
- 이혜성, 김용진(2017b), “다양한 매체에서 미세플라스틱의 정량·정성법에 관한 고찰”, 「한국 폐기물자원순환학회지」, 34(6), 한국폐기물자원순환학회, pp.537-545.
- 이혜성, 한용원, 김용진(2018), “M 시 인근 개펄 내 미세플라스틱의 분포”, 「한국폐기물자원순환학회지」, 35(5), pp.385-390.
- 정동환 외(2018), “국내·외 연구사례를 통해 본 하수처리시설 미세플라스틱 배출특성 및 관리 방안 고찰”, 「상하수도학회지」, 32(4), 상하수도학회, pp.337-348.

[국외문헌]

- Anderson, P. J. et al.(2017), “Microplastic Contamination in Lake Winnipeg, Canada”, *Environmental Pollution*, 225, pp.223-231.
- Andrady, A. L.(2011), “Microplastics in the Marine Environment”, *Marine Pollution Bulletin*, 62(8), pp.1596-1605.
- Baldwin, A. K. et al.(2016), “Plastic Debris in 29 Great Lakes Tributaries: Relations to Watershed Attributes and Hydrology”, *Environmental Science & Technology*, 50(19), pp.10377-10385.
- Browne, M. A. et al.(2011), “Accumulation of Microplastic on Shorelines Worldwide: Sources and Sinks”, *Environmental Science & Technology*, 45(21), pp.9175-9179.
- Browne, M. A. et al.(2015), “Spatial and Temporal Patterns of Stranded Intertidal Marine Debris: Is There a Picture of Global Change?”, *Environmental Science & Technology*, 49(12), pp.7082-7094.
- Cable, R. N. et al.(2017), “Distribution and Modeled Transport of Plastic Pollution in the Great Lakes, the World's Largest Freshwater Resource”, *Frontiers in Environmental Science*, 5, p.45.
- Carr, S. A. et al.(2016), “Transport and Fate of Microplastic Particles in Wastewater Treatment Plants”, *Water Res.*, 91, pp.174-182.
- Cole, M. et al.(2013), “Microplastic Ingestion by Zooplankton”, *Environmental Science & Technology*, 47(12), pp.6646-6655.
- Dubaish, F. and G. Liebezeit(2013), “Suspended Microplastics and Black Carbon Particles in the Jade System, Southern North Sea”, *Water, Air, & Soil Pollution*, 224(2), pp.1-8.
- Dümichen, E. et al.(2015), “Analysis of Polyethylene Microplastics in Environmental Samples, Using a Thermal Decomposition Method”, *Water Research*, 85, pp.451-457.

- Dyachenko, A. et al.(2017), “Extraction and Identification of Microplastic Particles from Secondary Wastewater Treatment Plant (WWTP) Effluent”, *Analytical Methods*, 9(9), pp.1412-1418.
- EC(2019), *Environmental and Health Risks of Microplastic Pollution*.
- Echa(2019), *Microplastics Restriction Proposal-Annex XV Restriction Report Proposal for a Restriction*.
- EFSA(2016), *Presence of Microplastics and Nanoplastics in Food, with Particular Focus on Seafood*.
- Ellen MacArthur Foundation(2017), *A New Textiles Economy: Redesigning Fashion’s Future*.
- Eo, S. et al.(2019), “Spatiotemporal Distribution and Annual Load of Microplastics in the Nakdong River, South Korea”, *Water Research*, 160, pp.228-237.
- Eriksen, M. et al.(2013), “Microplastic Pollution in the Surface Waters of the Laurentian Great Lakes”, *Marine Pollution Bulletin*, 77(1-2), pp.177-182.
- Eriksen, M. et al.(2018), “Microplastic: What Are the Solutions?”, M. Wagner and S. Lambert, Eds., *Freshwater Microplastics*, Switzerland: Springer, pp.273-298.
- Eunomia(2016), *Plastics in the Marine Environment*.
- Eunomia(2017), *Investigating Options for Reducing Releases in the Aquatic Environment of Microplastics Emitted by Products*.
- Eunomia(2018), *Investigating Options for Reducing Releases in the Aquatic Environment of Microplastics Emitted by Products*.
- FAO(2017), *Microplastics in Fisheries and Aquaculture*.
- G7(2018), *Charlevoix Blueprint for Healthy Oceans, Seas and Resilient Coastal Communities*.
- G7(2019), *Workshop on the G7 Action Plan to Combat Marine Litter in Synergy with the Regional Seas Conventions*.
- Gaffney, V. J. et al.(2015), “Occurrence of Pharmaceuticals in a Water Supply

- System and Related Human Health Risk Assessment”, *Water Research*, 72, pp.199-208.
- German Environment Agency(2017), *Conference on Plastics in Freshwater Environments*, pp.10-13.
- German Environment Agency(2018), *Recommendations for Reducing Micropollutants in Waters*, pp.1-59.
- GESAMP(2015), “Sources, Fate and Effects of Microplastics in the Marine Environment: A Global Assessment”, *GESAMP Reports and Studies*, No.90.
- GESAMP(2016), Sources, Fate and Effects of Microplastics in the Marine Environment: Part Two of a Global Assessment“, *GESAMP Reports and Studies*, No.93.
- Geyer, R., Jambeck, J. R. and Law, K. L., (2017), “Production, Use, and Fate of All Plastics Ever Made”, *Science Advances*, 3:e1700782
- Gregory, M. R. (1996), “Plastic ‘scrubbers’ in Hand Cleansers: A Further (and minor) Source for Marine Pollution Identified”, *Marine Pollution Bulletin*, 32(12), pp. 867-871.
- Harrison, J. et al.(2018), “Microplastic-Associated Biofilms: A Comparison of Freshwater and Marine Environments”, M. Wagner and S. Lambert, Eds., *Freshwater Microplastics*, Switzerland: Springer, pp.181-201.
- Hendrickson, E. et al.(2018), “Microplastic Abundance and Composition in Western Lake Superior as Determined via Microscopy, Pyr-GC/MS, and FTIR”, *Environmental Science & Technology*, 52(4), pp.1787-1796.
- Hermesen, E. et al.(2018), “Quality Criteria for the Analysis of Microplastic in Biota Samples: A Critical Review”, *Environmental Science & Technology*, 52(18), pp.10230-10240.
- IHS Markit(2015), *Chemical Economics Handbook. Natural and Man-Made Fibers*.
- International Union for Conservation of Nature: IUCN(2017), *Primary*

- Microplastics in the Oceans: A Global Evaluation of Sources.*
- Kalmbach, Sibylle, et al.(2000), "In Situ Probing Reveals Aquabacterium Commune as a Widespread and Highly Abundant Bacterial Species in Drinking Water Biofilms", *Water Research*, 34(2), pp.575-581.
- Karlsson, T. (2015), "Can Microliter in Sediment and Biota be Quantified? Method Development and Analysis of Microliter in Field Collected Biota and Sediment", Master Thesis, University of Gothenburg and VU University of Amsterdam-IVM.
- Klaine, S. J. et al.(2012), "Paradigms to Assess the Environmental Impact of Manufactured Nanomaterials", *Environmental Toxicology and Chemistry*, 31, pp.3-14.
- Klein, S. et al.(2018), "Analysis, Occurrence, and Degradation of Microplastics in the Aqueous Environment", M. Wagner et al., Eds., *Freshwater Microplastics*, Switzerland: Springer, pp.51-67.
- Koelmasn, A. A. et al.(2015), "Nanoplastics in the Aquatic Environment: Critical Review", M. Bergmann et al., Eds., *Marine Anthropogenic Litter*, Switzerland: Springer, pp.325-340.
- Koelmasn, A. A. et al.(2019), "Microplastics in Freshwaters and Drinking Water: Critical Review and Assessment of Data Quality", *Water Research*, 155, pp.410-422.
- LAM, Chung-Sum, et al.(2018), "A Comprehensive Analysis of Plastics and Microplastic Legislation Worldwide", *Water, Air, & Soil Pollution*, 229(11), 345.
- Lambert, S. and M. Wagner(2018), "Microplastics Are Contaminants of Emerging Concern in Freshwater Environment: An Overview", M. Wagner et al., Eds., *Freshwater Microplastics*, Switzerland: Springer, pp.1-23.
- Lambert, S. et al.(2014), "Occurrence, Degradation, and Effect of Polymer-Based Materials in the Environment", D. M. Whitacre, Ed., *Reviews of Environmental*

- Contamination and Toxicology*, Volume 227, Switzerland: Springer, pp.1-53.
- Lares, M. et al.(2018), "Occurrence, Identification and Removal of Microplastic Particles and Fibers in Conventional Activated Sludge Process and Advanced MBR Technology", *Water Res.*, 133, pp.236-246.
- Lee, J. M. et al.(2015), "Distribution and Size Relationships of Plastic Marine Debris on Beaches in South Korea". *Archives of Environmental Contamination Toxicology*, 69(3), pp.288-298.
- Li, J., K. Zhang, and H. Zhang(2018), "Adsorption of Antibiotics on Microplastics", *Environmental pollution*, 237, pp.460-467.
- Mani, T. et al.(2015), "Microplastics Profile along the Rhine River", *Scientific Reports*, 5, p.17988.
- Mason, S. A. et al.(2016), "Pelagic Plastic Pollution within the Surface Waters of Lake Michigan, USA", *Journal of Great Lakes Research*, 42(4), pp.753-759.
- Mason, S. A. et al.(2018). "Synthetic Polymer Contamination in Bottled Water", *Frontiers in Chemistry*, 6(407), pp.1-11.
- Mato, Yukie, et al.(2001), "Plastic Resin Pellets as a Transport Medium for Toxic Chemicals in the Marine Environment", *Environmental Science & Technology*, 35(2), pp.318-324.
- McCormick, Amanda, et al.(2014), "Microplastic Is an Abundant and Distinct Microbial Habitat in an Urban River", *Environmental Science & Technology*, 48(20), pp.11863-11871.
- Mintenig, S. M. et al.(2017), "Identification of Microplastic in Effluents of Waste Water Treatment Plants Using Focal Plane Array-Based Micro-Fourier-Transform Infrared Imaging", *Water Research*, 108, pp.365-372.
- NOAA(2015), *Laboratory Methods for the Analysis of Microplastics in the Marine Environment: Recommendations for Quantifying Synthetic Particles Inwaters and Sediments*, pp.1-31.

- OECD(2019a), *OECD Work on Microplastics in the Freshwater and Marine Environment: Proposed Programme of Work*(ENV/EPOC/WPBWE(2019)10).
- OECD(2019b), *OECD Work on Microplastics in the Freshwater and Marine Environment: Scoping Note for PWB 2019-20*(ENV/EPOC/WPBWE(2019)4).
- OECD WPBWE(2019), “OECD Work on Microplastics in the Freshwater and Marine Environments”, 14th WPBWE Meeting, October 16-17, ENV/EPOC/WPBWE(2019)10, p.12.
- Ogata, Yuko, et al.(2009), “International Pellet Watch: Global Monitoring of Persistent Organic Pollutants (POPs) in Coastal Waters. 1. Initial Phase Data on PCBs, DDTs, and HCHs”, *Marine Pollution Bulletin*, 58(10), pp. 1437-1446.
- Peng, G. et al.(2018), “Microplastics in Freshwater River Sediments in Shanghai, China: A Case Study of Risk Assessment in Mega-Cities”, *Environmental Pollution*, 234, pp.448-456.
- Redondo-Hasselerharm, P. E. et al.(2018), “Microplastic Effect Thresholds for Freshwater Benthic Macroinvertebrates”, *Environmental science & technology*, 52(4), pp.2278-2286.
- Rillig, M. C.(2012), “Microplastic in Terrestrial Ecosystems and the Soil?”, *Environmental Science & Technology*, 46(12), pp.6453-6454.
- Rochman, Chelsea M. et al.(2013), “Ingested Plastic Transfers Hazardous Chemicals to Fish and Induces Hepatic Stress”, *Scientific Reports*, 3, p.3263.
- SAM(2018), *Microplastic Pollution The Policy Context*.
- SAPEA(2019), *A Scientific Perspective on Microplastics in Nature and Society* *Compartment*.
- SFEI(2017), *Microplastic Monitoring and Science Strategy for San Francisco Bay*, pp.1-34.
- Su, L. et al.(2016), “Microplastics in Taihu Lake, China”, *Environmental Pollution*,

- 216, pp.711-719.
- Sutton, R. et al.(2016), “Microplastic Contamination in the San Francisco Bay, California, USA”, *Marine Pollution Bulletin*, 190, pp.230-235.
- Thompson, R. C. et al.(2004), “Lost at Sea: Where Is All the Plastic?”, *Science*, 304(5672), p.838.
- Ulrike, B.(2018), “Sampling, Sample Preparation and Detection of Microplastics, Current Activities in the ISO/TC 61/SC14/WG 4”, Microplastic Methods Workshop, May 23, London, pp.1-25.
- UNEP(2017), *Exploring the Potential for Adopting Alternative Materials to Reduce Marine Plastic Litter*.
- UNEP(2018a), *Legal Limits on Single-Use Plastics and Microplastics: A Global Review of National Laws and Regulations*.
- UNEP(2018b), *Report of the Second Meeting of the Ad Hoc Open-Ended Expert Group on Marine Litter and Microplastics*, UNEP/AHEG/2018/2/5.
- USEPA(2017), *Microplastics Expert Workshop Report*, pp.1-37.
- Venghaus, D. and M. Barjenbruch(2017), “Microplastics in Urban Water Management”, *Environmental Engineering*, Technical Transactions 1/2017, pp.137-146.
- Vermaire, J. C. et al.(2017), “Microplastic Abundance and Distribution in the Open Water and Sediment of the Ottawa River, Canada, and Its Tributaries”, *Facets*, 2(1), pp.301-314.
- WHO(2012), *Pharmaceuticals in Drinking-Water*.
- WHO(2019), *Microplastics in Drinking-Water*.
- Zhu, Y. et al.(2019), “Spatially Explicit Large-Scale Environmental Risk Assessment of Pharmaceuticals in Surface Water in China”, *Environmental Science & Technology*, 53, pp.2559–2569.
- Ziajahromi, S. et al.(2017), “Wastewater Treatment Plants as a Pathway for Micro

plastics: Development of a New Approach to Sample Wastewater-Based Microplastics”, *Water Research*, 112, pp.93-99.

Zubris, K. A. V. and B. K. Richards(2005), “Synthetic Fibers as an Indicator of Land Application of Sludge”, *Environmental Pollution*, 138(2), pp.201-211.

[온라인 자료]

과학기술정보통신부 보도자료(2019.7.17), “제6회 과학기술관계장관회의 개최”, 검색일: 2019.10.1.

구글 지도, <https://www.google.com/maps/place/Bernstein+Innovation+GmbH/@48.3020099,14.4167395,13z/data=!4m8!1m2!2m1!1splastic!3m4!1s0x0:0xc0305f5a328048cf!8m2!3d48.2907602!4d14.2826343?hl=ko>, 검색일: 2019.6.25.

국가법령정보센터, “물환경보전법 시행규칙”, <http://www.law.go.kr/법령/물환경보전법시행규칙>, 검색일: 2019.8.21.

식품의약안전처 보도자료(2016.9.29), “내년 7월부터 화장품에 미세플라스틱 넣을 수 없다”, 검색일: 2019.10.1.

식품의약안전처 보도자료(2019.6.26), “식약처, 화장품 미세플라스틱 검출 시험법 마련”, 검색일: 2019.10.1.

환경부 보도자료(2017.9.7), “환경부, 수돗물 중 미세플라스틱 함유실태조사 추진”, 검색일: 2019.10.1.

환경부 보도자료(2017.11.24), “환경부, 수돗물 중 미세플라스틱 함유실태 조사결과 발표”, 검색일: 2019.10.1.

환경부 보도자료(2019.6.10), “G20 최초로 환경장관 회의 열린다”, 검색일: 2019.10.8.

환경부 보도자료(2019.6.16), “G20 환경·에너지장관회의, 환경장관회의 폐막”, 검색일: 2019.10.8.

Cross Industry Agreement: CIA, <https://www.euratex.eu/cia/>, 검색일: 2019.6.17.
Echa, “ECHA Proposes to Restrict Intentionally Added Microplastics”, <https://echa.europa.eu/-/echa-proposes-to-restrict-intentionally-added-microplastics>, 검색일: 2019.6.20.

EUROPA, “Dutch Rally Support for a Europe Wide Microplastic Ban”, <https://europa.eu/capacity4dev/unep/blog/dutch-rally-support-europe-wide-microplastic-ban>, 검색일: 2019.6.18.

European Commission, “Drinking Water Directive”, https://ec.europa.eu/environment/water/water-drink/legislation_en.html, 검색일: 2019.6.20.

European Commission, “Safer Drinking Water for All Europeans: Questions and Answers”, https://europa.eu/rapid/press-release_MEMO-18-430_en.htm, 검색일: 2019.6.20.

ICPDR, “Plastics and Microplastics in the Danube River”, <https://www.icpdr.org/main/publications/plastics-and-microplastics-danube-river>, 검색일: 2019.6.19.
ISO, “ISO/PRF TR 21960”, <https://www.iso.org/standard/72300.html>, 검색일: 2019.10.14.

The Guardian(2017.9.6), “Plastic Fibres Found in Tap Water around the World, Study Reveals”, <https://www.theguardian.com/environment/2017/sep/06/plastic-fibres-found-tap-water-around-world-study-reveals>, 검색일: 2019.2.27.

Umweltbundesamt GmbH, “Joint Efforts against Plastics in the Environment”, https://www.umweltbundesamt.at/en/news_events_reports/news_eaa/en_news_2016/news_en_160607/, 검색일: 2019.6.20.

Wikipedia, “Gas Chromatography–Mass Spectrometry”, <https://en.wikipe>

dia.org/wiki/Gas_chromatography%20%93mass_spectrometry,
검색일: 2019.5.23.

Youtube(2019.5.15), “FTIR Basics - Principles of Infrared Spectroscopy”, <https://www.youtube.com/watch?v=KR0WMB3AR3s&feature=youtu.be>, 검색일: 2019.5.23.

Executive Summary

I. Background and Aims of Research

- Background and purpose: As plastic use has increased rapidly since the 1960s, environmental problems have occurred in the water environment since the 1970s. This is not limited to the marine environment but also in the freshwater environment.
 - The freshwater environment acts as a transportation route and temporary storage before microplastics flow into the ocean. Most microplastics research is focused on ocean microplastics, so it is necessary to understand domestic and international research on microplastics in freshwater environments.
- Research structure - Based on previous studies in the literature, this study establishes an academic definition of microplastics. It also reviews research on the occurrence and release of microplastics, compares and analyzes sampling and analysis methods, and analyzes the impact of microplastics on each environmental sector. In addition, it presents directions for microplastics management based on managerial techniques and policy trends of major countries.

II. Microplastics Analysis Method for Water Environments

1. Definition and classification of microplastics

- Definition of microplastics - Currently, microplastics are generally understood to be plastic matter under five millimeters long, but some studies challenge this definition.
- Classification according to discharge method - Primary microplastics are processed for a specific purpose in the production stage, and secondary microplastics are particles from which plastic products are physically and chemically broken down or decomposed, and are caused by wear of tires as well as dyes and paints.
- Classification according to shape - Primary microplastics are made for a specific use so that they are consistent in shape, whereas secondary microplastics are very diverse in shape.

2. Collection, pre-treatment and detection method of microplastics

- Methods for collecting microplastics - When collecting liquid samples for microplastics analysis, the most commonly used methods are manta trawl, plankton net, and sump and pump, and may vary depending on filtration and mesh size.
- Pre-treatment method of microplastics - There are methods including density separation, filtration, and oxidation. Depending on the type of microplastics, an amount may be lost during storage or pre-treatment.
- Microplastics detection method - After pre-treatment, visual observation/microscope observation, GC/MS and spectroscopy are used for quantitative and qualitative analysis. The most common method is

microscopic observation and infrared spectroscopy.

3. Standardization of microplastics analysis methods

- Background of standardization of analytical methods - Considerations are different for each researcher, and different analysis processes are used. Since the results may vary depending on the analytical method due to the characteristics of microplastics, it is difficult to compare between studies.
- Recent trends - The relevant project was launched on April 18, 2018 at ISO, and is in the process of being judged through 8 weeks of verification and voting starting October 8th.
 - In Korea, the National Institute of Environmental Research (NICE) is conducting research on the establishment of the Korean Industrial Standards (KS) analysis method for microplastics in water.

III. Microplastics' Effects on Water Environments

1. Effect of microplastics on drinking water

- Detection of microplastics in drinking water - Wagner and Lambert(2018) report that microbial biofilms can adhere to and grow on the surface of microplastics in drinking water, and microscopic growth is observed in microplastics in marine sediment.
- Koelmans et al.(2019) - Analyzing existing research data, his standardization of analysis from collection to pre-treatment and detection is important for the evaluation of microplastics in fresh water, and emphasizes the need for quality control of data for the identification of smaller microplastics.

- WHO(2019) - The analysis of the measurement of microplastics in drinking water showed that the concentration of microplastics ranged from 0 / L to 10,000 / L. The average value is about 0.001 / L, up to 1,000 / L in drinking water that uses groundwater as source, indicating that the groundwater is relatively protected from the contamination of the microplastic as a whole.
- o Health effects of microplastics in drinking water - According to a WHO (2019) report, there are no epidemiological investigations or studies of microplastics ingested in the human body until the publication of this report. There are some studies of toxicity using microplastics, but the numbers and information are limited, and the question and verification of the reliability or reproducibility of experimental results remain.

2. Microplastics' effects on aquatic ecology

- o Mato et al. (2001) and Park Jung-kyu and Gwan Soon-young (2014) - Microplastics are adsorbed by persistent organic pollutants (POPs, PBTs) and have been shown to cause serious diseases in humans through food chain pathways such as fish intake.
- o Redondo-Hasselerharm et al. (2018) - The analysis of benthic large invertebrates shows that there is no effect of microplastics on reproduction and no growth.
- o Kim Do-Kyung (2017) - It is reported that the concentration of nickel in daphnia increased further in the presence of microplastics (average size: 0.201 μm , type: PS and PS-COOH).

IV. Policy Trends for Microplastics Management in Water Environments

1. International organizations: United Nations, OECD, WHO

- The United Nations (UN) - In 2016, the United Nations Environment Assembly (UNEA) considers marine plastics and fine plastics as major issues, and in 2017, a group of experts was formed to review marine pollution prevention measures and obstacles caused by plastics and microplastics occurring on land by 2025.
- OECD - The Environmental Policy Committee (EPOC) is focused on secondary sources of microplastics and will assess the adequacy of measures to reduce secondary microplastics in OECD countries, China and India.
- WHO - To date, regular monitoring of microplastics in drinking water is not necessary, and it is clear that particulate removal and safety from microorganisms must be reliably and effectively prioritized.

2. G7/G20

- In 2018, the G7 released the Marine Plastics Charter for Cooperation with UNEP to promote research on marine waste and for efficient and sustainable plastic management. The G20 resolved to take national action promptly in 2019 to reduce microplastics release and prevent marine release.

3. EU

- Water related guidelines and policies - According to the Basic Guidelines

for Water Management, plastic-related substances are included among priority substances, requiring Member States to manage them.

- The Municipal Sewage Management Directive does not contain provisions for the monitoring of plastic content and microplastics in wastewater, but in 2018 the European Commission is conducting an assessment of the effectiveness of the Directive in terms of capturing and removing microplastics.
- The European Commission has identified microplastics as a new concern in its 2018 revised Drinking Water Directive and has promoted the use of tap water as a way of reducing demand for bottled water.
- Industry directives and policies - In 2010, The Industrial Emissions Directive requires that plastics industries take appropriate precautions and apply BAT on plastic pellets.
 - In 2019, the European Chemicals Agency (Echa) proposed a ban on the addition of microplastics to products in industries such as cosmetics, paints, paints and building materials.
 - The EU introduced the Plastic Strategy in 2018, proposing to limit the addition of microplastics to products through REACH.

4. Korea

- Investigation into content of microplastics in tap water in 2017 - As a result of the investigation, an average of 0.05 microplastics were detected per liter, which should not be a concern, but the study will investigate the path and risks of microplastics exposure to humans for prevention and management.
- Ministry of Food and Drug Safety - In 2017, the Regulations on Cosmetic

Safety Standards defined microplastics as plastics of 5mm long or smaller remaining in products such as cleaning and exfoliation products, and categorized microplastics as 'unusable raw materials'.

V. Conclusion and Suggestions (Achievements)

- Since there is no broad international consensus on the definition of microplastics, it is necessary to carry out related trend analyses and research presentation and review the microplastics reduction and management system in freshwater environment.
- It is important to identify additional trends as there is no international standardization method for the analysis of microplastics, but pre-treatment and detection methods are currently being standardized.
- Since freshwater bodies are paths to microplastics ending up in seawater, it is necessary to understand the whole process from source, to outflow path in the form of nonpoint pollutant outflow, and microplastics movement and behavior in bodies of water.
- As WHO and the World Bank define microplastics as new substances of interest (CECs) and greatly emphasize the urgency and importance of research and investigation, it is necessary to consider whether to designate microplastics as items to monitor in water pollution reduction plans and policies.

Keywords: Microplastics, Health Damage, Risk Reduction, Product Management, Plastic Waste Management

■ 저자약력

김익재(연구책임)

미국 캔자스주립대학교 환경공학 박사
한국환경정책·평가연구원 연구위원(현)
ijkim@kei.re.kr

주요 연구실적

- 북한의 산림복원과 기후변화가 물관리 취약성에 미치는 영향과 정책방향 연구 (2019)
- 물관리 관련 법령 및 계획의 통합적 정비방안 마련 (2019)
- 지속가능한 하천관리 방안 연구 (2019)
- 물분야 주요 국제동향 연구(I) (2018)

유은진

한국환경정책·평가연구원 연구위원(현)
ejyu@kei.re.kr

황보은

한국환경정책·평가연구원 연구위원(현)
behwang@kei.re.kr

곽효은

한국환경정책·평가연구원 연구위원(현)
hekwak@kei.re.kr

KEI 연구보고서 목록 (2015~2019)

기후환경정책연구

발행연도 | 보고서 번호 | 보고서 제목 (연구책임)

- 2019년 2019-01-01 기후변화를 고려한 미세먼지 예측 및 중장기 관리정책 수립 연구 (이승민)
2019-01-02 미세먼지 시준제 도입방안 (최기철)
2019-02 북한의 산림복원과 기후변화가 물관리 취약성에 미치는 영향과 정책방향 연구 (김익재)
2019-03 기후정의 실현을 위한 정책 개선방안 연구(1) (한상운)
2019-04 기후변화적응정책 10년: 현주소 진단과 개선방안모색을 중심으로 (장훈)
2019-05 기후변화 파리협정 적응보고 세부이행규칙 대응방안 연구 (강상인)
2019-06 혼합정수계획법을 이용한 발전부문 온실가스 감축 잠재력 평가 (김용건)
2019-07 환경-주민수용성을 고려한 재생에너지 보급 활성화 방안 (이상범)
- 2018년 2018-01 에너지전환을 고려한 중장기(2050) 국가 온실가스 감축전략 (이상엽)
2018-02 미세먼지와 온실가스의 효과적 감축을 위한 기후, 대기, 에너지 정책 연계방안: 발전, 수송 부문을 중심으로 (채여라, 전호철)
2018-03 기후위험 관리를 위한 이해관계자 참여방안 연구 (이승준)
2018-04 기후환경 이슈 분석을 위한 텍스트 마이닝 활용방안 연구 (진대용)
2018-05 2018 기후변화 파리협정 이행협상 동향 및 대응방안 (강상인)
2018-06 지역기반 참여형 연구방법론 연구: 기후변화 리빙랩 시범사업을 중심으로 (신용승, 조공장)
2018-07 사회·환경영향을 고려한 태양광·풍력발전시설 입지 방안 연구 (김태현, 이상범)
- 2017년 2017-01 신기후체제 대응을 위한 2050 저탄소 발전전략 연구 1 (이상엽)
2017-02 기후변화의 부정적 영향에 따른 손실과 피해 대응방안 (이승준)
2017-03 이상기후 대응을 위한 지역 기후경쟁력 증진 방안 (류재나)
2017-04 신기후체제 국제기후변화 협상동향 분석 (강상인)
2017-05 기후행동 변화를 고려한 정책적 대응전략 마련: 물-에너지에 대한 행동경제학적 접근 (최희선)
2017-06 이상기후에 따른 건강영향 평가·예측을 통한 기후변화 대응 전략 마련 (배현주, 정다운)
- 2016년 2016-01 미래환경 전망 및 지속가능사회 비전설정 기반 구축 (조공장)
2016-02 환경과 문화예술 콘텐츠 융합을 통한 기후환경 리스크 커뮤니케이션 전략 수립 (신용승)
2016-03 온실가스 감축-기후변화 적응 연계전략 수립 (황인창)
2016-04 기후변화 및 사회·경제적 요인의 동태적 변화를 고려한 미래 물수급 관리정책 마련(1) (류재나)

- 2016-05 물이용 지속성의 평가와 미래 전망 (김익재)
- 2016-06 최민국 지역정부의 기후변화적응계획 수립을 위한 기술적 가이드라인 개발 연구 (장훈, 송영일)
- 2016-07 신기후체제 협상 대응 및 기후서비스 산업 발전 방안 연구 (강상인)

- 2015년 2015-01 에너지세제의 환경친화적 개편 및 지속가능한 환경재정체계 구축방안 연구 (강만옥)
- 2015-03 생태계서비스 측정체계 기반구축(II): 하천생태계를 중심으로 (안소은)
- 2015-03 폐자원 및 바이오에너지의 용도별 적정 배분방안(II):
목질계 바이오매스를 중심으로 (이희선, 조지혜)
- 2015-04 국제기후변화 협상동향과 대응전략 (II) (이승준, 이상윤)
- 2015-05 친환경차 보조금 지원 정책의 온실가스 감축 효과 연구 (한진석)
- 2015-06 배출권거래제도의 벤치마크 사례 국제비교 연구 (공성용)
- 2015-07 기후변화에 대응하기 위한 생태계 환경안보 강화방안(III): 기후변화 적응을 위한 생태계 관리방안
개선 (권영한, 이승준)
- 2015-08 넥서스 기반 통합적 기후환경 대응체계 구축 연구: 도시지역 기후적응정책 문제를 중심으로 (김동현,
송영일)
- 2015-09 지속가능한 물이용을 위한 지표 개발 및 적용 방안 연구(II) (안종호, 김익재)

연구보고서/기본연구

- 2019년 2019-01 한반도 신경제지도 녹색화 전략 연구 (이정호)
- 2019-02 속의적 접근을 통한 하천 자연성 회복 정책 도출 연구 (조을생)
- 2019-03 폐기물 자원순환의 국제 동향과 영향 분석 (신상철)
- 2019-04 도시의 지속가능성을 위한 공원녹지 정책의 재정립 방안 (최희선)
- 2019-05 환경정책의 사회적 수용성 제고 방안: 환경문화를 중심으로 (조공장)
- 2019-06 육상화물운송수단의 미세먼지 및 온실가스 저감 방안 연구 (한진석)
- 2019-07 지자체의 고농도 미세먼지 비상관리대책 수립 지원을 위한 연구 (이승민, 신동원)
- 2019-08 기후적응 요소를 고려한 토지·건물정보 제공방안 연구 (신지영)
- 2019-09 지속가능성을 고려한 가축분뇨관리 정책방안 연구 (조을생, 이소라)
- 2019-10 통합물관리를 위한 유역계획의 통합 및 조정 방안 연구 (안종호, 한대호)
- 2019-11 통합물관리체계 하에서 물자원 이용·관리를 위한 비용부담-부과체계 정비방안 연구 (문현주)
- 2019-12 저출산·고령화를 고려한 폭염 노출위험인구 전망 및 지역별 대응 전략 (심창섭, 김오석)
- 2019-13 북한 토양·지하수 오염관리를 위한 남북협력방안 (신경희)
- 2019-14 환경영향평가를 통한 소규모 소각시설 환경개선방안에 대한 연구 (이영준)
- 2019-15 지자체 지속가능발전 전략수립 및 SDGs 반영방안 (이정성)
- 2019-16 지방분권 시대 지자체 환경행정기능 강화를 위한 중앙-지방간 역할 재정립 방안 (정우현)

- 2019-17 순환경제로의 전환을 위한 플라스틱 관리전략 연구 (이소라)
- 2019-18 하천 및 호소의 물환경에 미치는 미세플라스틱 영향 연구 (김익재)
- 2019-19 환경영향평가 고도화를 위한 공간정보활용 체계 구축(II) (이명진)
- 2019-20 생태정보학적 생물다양성 평가 기술 개발 (이후승)
- 2019-21 소음노출의 위해성을 고려한 비용편익 연구(이병권)
- 2019-22 유역단위 하수도 재정전략 수립기법 연구 (류재나)
- 2019-23 Construction of Historical Map Database as a Basis for Analyzing Land-Use and Land-Cover Changes, Exemplified by the Korean Demilitarized Zone and Inner-German Green Belt (Part II) (김오석)
- 2018년 2018-01 개발기본계획의 전략환경영향평가 운영의 성과분석 및 발전방향 연구 (사공희)
- 2018-02 원자력시설 해체 부지의 재사용을 위한 환경관리 전략: 토양 및 지하수 분야를 중심으로 (신경희)
- 2018-03 폐기물처리방법별 환경효율성(Eco-efficiency) 평가 연구 (이소라)
- 2018-04 토양오염부지의 환경매체 연계관리 방안 (황상일, 양경)
- 2018-05 고령화 사회에서의 가정 발생 폐의약품 수거 및 처리체계 개선방안 (서양원, 조지혜)
- 2018-06 고형연료 에너지 시설의 대기오염물질 관리 개선방안 연구 (김유미, 조지혜)
- 2018-07 우리나라 국토환경 지리정보의 활용성 제고 방안 (명수정)
- 2018-08 복합재난(Natech) 대비 사업장 안전관리 방안 (박정규, 서양원)
- 2018-09 장기미집행 도시공원 자동실효제에 따른 환경적 영향과 대응방안 (최희선)
- 2018-10 점오염원 질소관리 정책강화 타당성 평가 (안중호)
- 2018-11 중소하천 물환경 개선을 위한 용배수로 관리 및 활용 방안 (김익재)
- 2018-12 토지피복지도와 국토환경성평가지도의 정책적 활용 기반 마련 연구 (윤정호, 김근한)
- 2018-13 고령자의 환경친화적 농지이용 전환에 대한 경제성 평가 (김현노)
- 2018-14 생활화학제품 안전관리를 위한 누적위해성평가 연구 (정다운)
- 2018-15 Construction of Historical Map Database as a Basis for Analyzing Land-Use and Land-Cover Changes, Exemplified by the Korean Demilitarized Zone and Inner-German Green Belt(Part I) (김오석)
- 2018-16 가뭄지역 농촌용수 개발계획의 전략환경영향평가 개선방안 연구: 지하수-지표수 복합이용을 대안으로 (김경호)
- 2018-17 생태공학적 기법을 활용한 지역단위 생태계 보호지역 확대방안 (구경아)
- 2018-18 환경영향평가 고도화를 위한 공간정보 활용 체계 구축 (I) (이명진)
- 2018-19 상수원 관리지역의 기후회복력 강화 방안 연구: 4대강 수계를 중심으로 (이정호)
- 2017년 2017-01 국토-환경계획 연동제에 대응한 전략환경영향평가 개선방안: 도시·군관리계획(재정 비) 및 개발제한구역 해제계획을 중심으로 (이영재)
- 2017-02 물인프라 건설단계 이후의 효율적 관리를 위한 중앙과 지방정부의 역할 (문현주, 김현노)
- 2017-03 IPCC 신시나리오 체계를 적용한 우리나라 기후변화의 피해비용 분석 (채여라)

- 2017-04 화학물질관리법 내 화학사고 정책의 개선방안 및 산업계 지원방안 연구(II) (서양원, 박정규)
- 2017-05 국내 온실가스 배출권거래제 시행 효과 분석 (이상엽)
- 2017-06 환경복지 구현을 위한 국민체감형 환경서비스 개발 방안 (신용승)
- 2017-07 환경영향평가서 위생·공중보건 항목의 위해성 평가 개선 연구 (하중식)
- 2017-08 이차전지의 폐자원흐름 분석 및 자원순환성 제고방안 (조지혜)
- 2017-09 생태계서비스 기반의 자연자본 지속가능성 지수 개발 연구(II) (김충기)
- 2017-10 매립자원의 순환이용 가능량 분석 및 미래형 매립지 관리전략 마련 연구 (이소라)
- 2017-11 공공수역 수질개선을 위한 공공하수처리시설 관리제도의 합리적 개선방안 연구 (김익재)
- 2017-12 원자력발전소 해체 폐기물의 안전·안심관리 정책 방안 (이희선)
- 2017-13 ICT 발전트렌드에 대응하는 공간정보의 환경이슈 적용 체계 구축: 빅데이터 분석 과 위성영상 활용을 중심으로 (이명진, 이정호)
- 2017-14 기저유출을 고려한 환경가뭄 평가방안 연구 (현윤정)
- 2017-15 해수담수화에서 생성되는 농축수의 환경적 영향과 평가 (김태윤)
- 2017-16 전기자동차 보급에 따른 지역간 오염물질 및 온실가스 배출 영향 분석 (전호철)
- 2017-17 지권과 생물권 간 공진화 현상에 기반한 국토 자연환경 관리방안 (이수재)
- 2017-18 사회인지이론의 적용을 통한 환경친화적 행동 촉진에 대한 연구 (이정석, 강택구)
- 2017-19 지역별 친환경차 시장 활성화 방안 연구: 인구밀집지역을 중심으로 (한진석)

- 2016년 2016-01 지역기반 환경보건정책 지원 방안 연구(II) (신용승, 배현주)
- 2016-02 도시의 기후 회복력 확보를 위한 공간단위별 평가체계 및 모형 개발(II) (김동현)
- 2016-03 중국의 '일대일로(一帶一路)' 대응 유라시아 지역 환경전략 연구 (추장민)
- 2016-04 사물인터넷(IoT)을 활용한 스마트 물환경관리 방안 및 정책기반 마련 연구 (한혜진)
- 2016-05 생태계서비스 기반의 자연자본 지속가능성 지수 개발 연구(I) (이현우)
- 2016-06 지중환경관리를 위한 제도 개선방안 연구(II) (황상일)
- 2016-07 사회적 투자수익률(SROI)을 고려한 물환경 인프라시설 투자 방향 연구 (류재나, 강형식)
- 2016-08 폐자원흐름분석을 통한 전기·전자제품의 upcycling 활성화 방안 (이희선)
- 2016-09 자원순환사회 전환 촉진을 위한 재활용산업 활성화 방안: 재활용 관리제도 전환에 따른 영향 분석 (이소라, 신상철)
- 2016-10 공간정보를 활용한 재해폐기물 성상별 최적 관리방안 (조지혜, 김태현)
- 2016-11 국가 및 지역 미래성장동력에 대한 환경성 분석 및 환경영향평가 대비방안 연구 (방상원)
- 2016-12 정부3.0 기반 지역기피시설 주민수용성 평가 방안(II) (김태현)
- 2016-13 랜덤워크를 이용한 생태네트워크 변화 모의예측방안 연구(II) (김지영)
- 2016-14 화학물질관리법 내 화학사고 정책의 개선방안 및 산업계 지원방안 연구(I) (박정규, 서양원)
- 2016-15 교통환경정책 수립을 위한 대기환경 개선효과 추정방안 연구: 도로이동오염원을 중심으로 (한진석)
- 2016-16 기후·대기 환경정책에 활용하기 위한 건강 위해성 평가 개선 연구: 농도 반응함수의 국내 표준안을 중심으로 (하중식)
- 2016-17 기후변화 적응을 고려한 지역자원 관리 방안(II) (박창석)

- 2016-18 기후변화 적응정책 지원을 위한 토지이용통합모델 개발(II) (김오석)
- 2016-19 ICT 발전트렌드에 대응하는 공간정보의 환경이슈 적용 체계 구축 (이명진, 이정호)
- 2016-20 북한 환경정보 구축 및 활용 방안 연구(II): 원격탐사를 이용한 자연환경성 우수지역 평가 (정휘철)

- 2015년 2015-01 친환경적 행동의 불편비용과 정책적 시사점 (강만옥)
- 2015-02 월경성 대기오염물질 관리를 위한 단계별 대응방안 연구 (이상윤)
- 2015-03 환경생태유량, 친수용수 등 물수요 변화에 대응하는 물환경 정책 개발 연구 (김호정)
- 2015-04 지역기반 환경보전정책 지원 방안 연구(Ⅰ): 한국형 CARE 프로그램을 중심으로 (배현주, 신용승)
- 2015-05 육상 생태 보호지역 확대 추진 방안 연구 (이수재)
- 2015-06 폐자동차의 자원순환 고도화 방안을 위한 폐자원 및 잔재물 흐름분석 (이희선)
- 2015-07 환경평가시 대안 설정 및 평가에 관한 연구 (이상범)
- 2015-08 기후변화 적응을 고려한 지역자원 관리 방안(Ⅰ) (이정호, 박창석)
- 2015-09 동북아 지역 FTA 환경영향대응 및 환경·경제 통합협력전략 연구 (추장민)
- 2015-10 북한 환경정보 구축 및 활용 방안 연구(Ⅰ): 토지피복지도 구축을 중심으로 (정휘철)
- 2015-11 지중 환경 관리를 위한 제도 개선방안 연구(Ⅰ) (황상일)
- 2015-12 지하수 의존도에 따른 수생태계 관리를 위한 기저유출지표 개발 및 활용방안 연구 (강형식, 현윤정)
- 2015-13 기후변화 적응정책 지원을 위한 토지이용통합모델 개발(Ⅰ) (김오석)
- 2015-14 도시의 기후 회복력 확보를 위한 공간단위별 평가 체계 및 모형 개발(Ⅰ) (김동현)
- 2015-15 기후변화를 고려한 환경인프라 사고대응체계 개선방안 연구 (류재나)
- 2015-16 화학사고 사후영향평가 체계 구축방안 마련 (서양원, 박정규)
- 2015-17 랜덤워크를 이용한 생태네트워크 변화 모의예측방안 연구(Ⅰ) (김지영)
- 2015-18 풍력발전시설에 대한 소음환경영향평가 및 관리방안 연구 (박영민)
- 2015-19 Bridging Livable City Development over Local Climate Smart Development under UN SDGs (장 훈)
- 2015-20 정부 3.0 기반 지역기피시설 주민수용성 평가 방안(Ⅰ) (김태현)

정책보고서/수시연구

- 2019년 2019-01 통합법 시행에 따른 대기배출시설 허가조건 평가 및 개선방안 (공성용)
- 2019-02 산업단지, 관광단지 등 폐기물 발생량 산정을 위한 가이드라인 마련 연구 (이영준B)
- 2019-03 물환경 분야 규제 완화에 의한 영향 분석 및 제도개선 방안 (이병국, 김익재)
- 2019-04 도시지역 자연환경 훼손 진단과 복원 방향 (명수정)
- 2019-05 중국의 미세먼지 농도추이 및 한중 간의 오염도 상관관계 분석 (주현수)
- 2019-06 국가 지속가능성 이행과제 간 연관관계 분석방안 연구 (홍한움)
- 2019-07 수송용 에너지 전환을 위한 세계개편의 사회적 수용성 제고방안 연구 (신동원)
- 2019-08 DMZ 토지이용의 지속가능성을 위한 연구 방향 (김오석)

- 2019-09 생활밀착형 환경이슈에 대한 수요반영 개선 연구: 민원 빅데이터 분석을 중심으로 (진대웅)
- 2019-10 남북한 도로망 연결사업의 환경영향평가 방안 (전동준)
- 2019-11 P4G 파트너십 의제 개발 및 국내 대응방안 연구 (김호석)
- 2019-12 지역단위 음식물류 폐기물의 효율적 관리방안 마련 연구: 세종시 사례를 중심으로 (신상철)
- 2019-13 환경성·형평성을 고려한 수송용 에너지 적정가격 설정 및 세수 활용 방향 (강만옥)
- 2019-14 택배 등 유통포장재의 재사용 활성화를 위한 정책 지원방안 마련 연구 (이소라)
- 2019-15 시공간을 고려한 환경생태적 우수지역과 환경성질환의 상관성 분석 연구: 환경·국토계획 통합 계획에서의 활용방안을 중심으로 (김근한)
- 2019-16 인체위해 저감방안 마련을 위한 미세먼지 구성성분별 건강영향 연구 (배현주)
- 2019-17 가뭄 대비 기존 지하수 관정 활용을 위한 정책 로드맵 연구 (현윤정)
- 2019-18 시민 참여를 통한 사회·경제적 환경여건별 폭염 체감 영향 분석 (채여라, 최영웅)
- 2019-19 재생에너지 입지계획의 전략환경영향평가 실시방안 연구 (김경호)
- 2019-20 교통소음 관리 기준의 합리화(일원화) 방안 (박영민)
- 2019-21 중국의 대기관리 정책 분석 및 한중 협력 강화 방안 (최기철)
- 2019-22 한반도 지속가능발전을 위한 북한환경 연구로드맵 수립 - 북한 환경실태 기초조사를 통한 미래 친환경 통일 한반도 기반 구축 (추장민)

- 2018년 2018-01 태양광 폐패널의 관리 실태조사 및 개선방안 연구 (조지혜)
- 2018-02 에너지전환정책에 따른 2030 온실가스 감축 로드맵 수정 방향 (이상평)
- 2018-03 LCA에 기반한 전기차의 발전원별 환경효과 분석 (이소라)
- 2018-04 환경부문 개헌의 법적 효과에 관한 연구 (한상운)
- 2018-05 지방자치·분권 강화에 따른 유역 중심의 하수도 관리체계 연구 (김호정)
- 2018-06 환경부문 헌법 개정을 위한 여론조사 (조공장)
- 2018-07 신규 농업시설물의 수질오염 관리방안 마련 연구 (류재나)
- 2018-08 지자체 교통부문 미세먼지 관리 방안 연구: 서울시 자동차 친환경등급제를 중심으로 (한진석)
- 2018-09 물환경관리계획의 이행평가체계 개선 방안 (김익재)
- 2018-10 소규모 공동주거시설의 층간소음 정책 개선방안 (박영민)
- 2018-11 국민참여형 환경영향평가 체계 구축 및 제도 개선방안 (전동준)
- 2018-12 공동주택 재활용 폐기물 수거·처리 체계 개선 방안 마련 연구 (신상철)
- 2018-13 미세플라스틱 관리 동향 및 정책 제언 (박정규)
- 2018-14 차량-야생동물 충돌사고(WVC) 제어와 방지를 위한 적정 야생동물의 이동통로 확보 방안 연구: 세종특별자치시 생활권 오송역~세종시 고속화도로를 중심으로 (방상원)

- 2017년 2017-01 지진의 환경영향 및 대응방향 (현윤정)
- 2017-02 수송용 중심의 환경정책 활용을 위한 대기오염의 노출위험인구 산정 연구 (배현주)
- 2017-03 지속가능한 사회 구현을 위한 환경평가 미래 발전 전략 (이영준)

- 2017-04 미래 기후 및 사회경제 여건 변화 대응을 위한 환경정책 이슈 발굴 (채여라)
- 2017-05 녹색경제와 지속가능발전을 위한 환경정책 뉴 패러다임 개발 (추장민)
- 2017-06 환경영향평가 시 도로이동오염원 대기오염물질 배출량 산정 개선방안 (김유미)
- 2017-07 환경정의 실현을 위한 지역단위 환경불평등 분석 (김태현)
- 2017-08 산업단지 토양 분야 환경영향평가 개선방안 (양경)
- 2017-09 북한의 환경인프라 조성을 위한 환경협력 연구 (명수정)
- 2017-10 아시아 지역 거점 바이오브리치 헬프데스크 구축방안 연구 (오일찬)
- 2017-11 통합 물관리의 기본 원칙과 정책 로드맵 연구 (김익재)
- 2017-12 군부대 주둔 및 이전 부지의 환경관리 정책: 토양·지하수 환경을 중심으로 (박용하, 이정호)
- 2017-13 국가 정책·계획 지속가능성 평가체계 개발 (김호석)
- 2017-14 자연적 원인에 의한 중금속 오염 농경지의 합리적 관리방안 마련 (황상일)
- 2017-15 환경정의 측면의 녹지접근성 분석 연구 (명수정)
- 2017-16 야간조명으로 인한 생태계 영향 환경영향평가 조사방안 연구 (이상범)
- 2017-17 환경평가의 공정성 제고를 위한 공탁제 도입방안에 관한 연구 (유현석)

- 2016년 2016-01 가뭄 단계에 따른 적응형 가뭄관리정책 연구: 지역 차원의 비구조적 가뭄대책을 중심으로 (김호정)
- 2016-02 나노폐기물의 안전처리를 위한 관리전략 수립 연구 (조지혜)
- 2016-03 TPP 환경관련 협정문 분석 및 대응방안 연구 (추장민)
- 2016-04 화학사고의 경제적 손실 추정을 위한 방법론 진단 및 선정 방안 연구: 인적·생태적 피해액 추정을 중심으로 (서양원, 곽소윤)
- 2016-05 제주 탄소제로섬 추진전략 연구 (이병국)
- 2016-06 환경분야 공적개발원조(ODA) 사업평가 지침 마련을 위한 연구 (조공장)
- 2016-07 토양정화 곤란 부지의 최적 관리방안 연구 (박용하)
- 2016-08 실도로에서 경유차의 대기오염물질 초과 배출에 따른 사회적 비용 연구 (강광구)
- 2016-09 신기후체제의 기후변화 적응 및 손실과 피해에 관한 대응방안 (이승준)
- 2016-10 대기환경비용을 고려한 친환경차 구매보조금 실효성 제고 연구: 차종별 적정 보조금 수준 분석을 중심으로 (한진석)
- 2016-11 유네스코 세계지질공원 운영 강화에 따른 국가지질공원제도의 개선방안 연구 (이수재)
- 2016-12 신기후체제 시대 기후변화 대응정책 추진체계 연구 (김이진, 이상엽)
- 2016-13 EU REACH 시험자료 분석을 통한 화평법 지원방안 연구 (박정규)
- 2016-14 환경영향평가와 지하안전영향평가의 연계방안 연구 (현윤정)
- 2016-15 비도시지역 주거-공장 혼재형 난개발 평가기준 개발 및 활용방안 마련 (이영재)
- 2016-16 미래환경이슈 대응을 위한 환경정책과제 개발과 환경거버넌스 발전 연구 (추장민)

- 2015년 2015-01 Water and Sustainable Development in Korea: A Country Case Study (안중호)
- 2015-02 산업단지 등의 폐기물 처리시설 설치 의무화 기준 설정 연구 (주현수)
- 2015-03 생물다양성을 고려한 영향평가 방안에 관한 연구 (오일찬)

- 2015-04 토양의 이동에 대한 합리적 관리제도 마련 연구 (황상일)
- 2015-05 국내 산지 능선의 지질-식생 상관관계 분석 (이수재, 이명진)
- 2015-06 환경분야 한중 FTA 활용 및 대책을 위한 정책과제 개발 (추장민)
- 2015-07 계획관리지역 토지이용 실태분석 및 환경관리 방안 (이영재)
- 2015-08 대기오염물질 배출사업장의 대기질 영향 분석 연구 (이승민)
- 2015-09 지자체의 보건의료시설 기후 회복력 강화·관리 방안 연구 (하종식)
- 2015-10 기후변화와 생태계 변화에 기반한 침입외래종의 관리 전략 (박용하)
- 2015-11 재활용동네마당 사업을 통한 생활폐기물 관리 선진화 연구 (신상철)
- 2015-12 AIB 출범과 GCF 운영을 고려한 한국 환경외교의 방향 및 정책 과제 (이정석)

Working Paper

- 2019년 2019-01 환경불평등 해소를 위한 수용체 중심 위해관리 기반 연구 (정다운)
- 2019-02 환경규제 동향분석 및 중장기 정책과제 도출: 포럼 자료집 (김현노)
- 2019-03 전문가시스템(Expert System)의 사후환경영향평가 적용을 위한 기초연구 (이진희)
- 2019-04 저주파 소음의 환경영향평가를 위한 기초 연구 (선효성)
- 2019-05 지속가능한 해양활용을 위한 해양환경통합자료 적용 연구 (김태윤)
- 2019-06 선형 교통사업의 지형변화 적정성 평가방안 마련 (권선용)
- 2019-07 생태계 교란식물 분포도 구축을 위한 드론 영상과 이미지 검색 기술의 적용 가능성 검토 연구 (김근한)
- 2019-08 수자원의 합리적 배분 방안 마련 기초 연구: 합리적 물 수급 분석 방안 연구 (서승범)
- 2019-09 환경영향평가 과정에서 드론과 BIM의 적용 가능성 검토 기초 연구 (유재진)
- 2019-10 삶의 만족도 지표(Life Satisfaction Index)를 활용한 미세먼지의 사회적 비용 추정 연구 (전호철)
- 2019-11 순환경제사회를 위한 물질흐름분석의 정책적 활용 동향 연구 (주문술)
- 2019-12 매립장 유래 미세플라스틱 관리방안: 침출수 발생원을 중심으로 (지민규)
- 2019-13 환경정책연구에서 데이터 활용성 강화를 위한 기초 연구 (진대용)
- 2019-14 실내공기질 관리 및 개선을 위한 기초연구 (최현진)

- 2018년 2018-01 에너지 수요전망모형 개발 기초연구 (전호철)
- 2018-02 원자력발전소 해체에 따른 환경영향평가 도입 필요성 연구 (이영준)
- 2018-03 환경영향평가 환경정의 항목 개발을 위한 기초연구 (이상윤)
- 2018-04 조류총독에 대한 환경영향평가 개선을 위한 기초연구 (이후승)
- 2018-05 드론을 이용한 대기환경 조사기법 분석과 적용을 위한 기초연구 (윤정호)
- 2018-06 서울 미세먼지(PM10) 농도의 시공간 통계분석 활용방안 연구 (홍한음)
- 2018-07 소규모 환경영향평가 제도 개선을 위한 기초연구: 도시개발과 재생에너지개발을 중심으로 (이상범)
- 2018-08 온실가스 배출량의 소득탄력성 추정 연구: 함수계수 패널 분석방법을 중심으로 (전호철)
- 2018-09 환경영향평가 시 지진 안정성 평가 가이드라인 마련을 위한 기초연구 (권선용)

- 2018-10 대기 이미지를 활용한 미세먼지 오염도 추정 (진대용)
- 2018-11 한국의 녹색경제 진단(I): 녹색활동 및 경제운영시스템 (김종호)
- 2017년
- 2017-01 불확실성과 학습효과를 반영한 기후경제 모형 방법론 연구 (황인창)
 - 2017-02 환경경제 분석에서 행위자 기반 모형의 활용방안 연구 (채여라, 정예민)
 - 2017-03 인도 물관리 정책의 비교분석과 환경협력 확대 방향 (김익재)
 - 2017-04 산림경영사업지의 개발용지 전환 사례조사 및 개선사항의 도출 (방상원)
 - 2017-05 환경분야 빅데이터 수집방법 연구: 대기질 데이터를 중심으로 (한국진)
 - 2017-06 에머지 방법론을 활용한 지역의 지속가능성 평가: 금강유역을 중심으로 (이승준)
 - 2017-07 도시재생 활성화지역 노후건물의 재정비 시나리오별 환경적 지속가능성 평가를 위한 기초연구 (송지윤)
 - 2017-08 Smart waste 및 환경정보 제공을 위한 주민참여형 애플리케이션 활용 연구 (이소라, 임혜숙)
 - 2017-09 2차 생성 미세먼지 저감을 위한 암모니아 관리정책 마련 기초연구 (신동원)
 - 2017-10 주요국가 환경정책 트렌드 분석연구 (명수정, 문현주, 신용승, 전호철)
 - 2017-11 한국의 녹색경제지수 산정 (김종호)
 - 2017-12 합성생물 관리방안 마련을 위한 국내외 연구동향 (오일찬)
- 2016년
- 2016-01 시스템과 네트워크 이론을 활용한 미래 환경정책 방향 연구 (이승준)
 - 2016-02 공공자료 분석을 통한 친환경적 풍력에너지 개발 기초 연구 (김태운)
 - 2016-03 환경영향평가에서 활용 가능한 주민참여 방법 기초 연구 (이상운)
 - 2016-04 자율주행 자동차의 친환경성 제고를 위한 기초 연구 (이승민)
 - 2016-05 미래 고온환경 변화와 직종 간 임금격차 추정 (김동현)
 - 2016-06 드론을 이용한 환경재난 사후대응 기술 및 연구동향 분석 연구 (손승우)
 - 2016-07 건물부문의 환경부하 평가모형 개발을 위한 기초연구 (송지윤)
 - 2016-08 근지표환경 임계영역(Critical Zones)의 환경적 중요성과 환경 관리의 미래 이슈 (현윤정)
 - 2016-09 시민과학의 자연환경조사 적용방안 연구 (김윤정)
 - 2016-10 환경평가 자료의 공공서비스 지원을 위한 기초연구 (김태형)
 - 2016-11 토지환경 분야의 지속가능발전목표(SDGs) 이행을 위한 정책방향 (명수정)
 - 2016-12 건강영향평가 분야에서의 위해소통을 위한 리스크 테이블 제작 연구 (하중식)
 - 2016-13 해의 환경정책 인벤토리 구축 연구: 환경전략/대기환경/물환경/국토자연/자원순환 부문 (조일현, 공성용, 한대호, 홍현정, 한상운)
 - 2016-14 해의 환경정책 인벤토리 구축 연구: 환경평가 부문 (박하늘)
 - 2016-15 해의 환경정책 인벤토리 구축 연구: 온실가스 감축 부문 (김이진, 간순영)
 - 2016-16 지하수 개발사업의 환경영향평가 개선을 위한 기초연구 (김경호)
 - 2016-17 토양자원 관리를 위한 전략환경영향평가 개선을 위한 기초연구: 도시개발사업을 중심으로 (양경)
 - 2016-18 미세조류 바이오매스의 자원화 활용에 대한 연구: 바이오 (기능성)소재를 중심으로 (지민규)
 - 2016-19 2016 국민환경의식조사 연구 (곽소윤)

- 2015년 2015-01 싱크홀 방지를 위한 환경영향평가 개선방안 연구 (김윤승)
- 2015-02 이슈스캐닝(Horizon Scanning)기법 활용을 통한 물환경관리 부문 이머징 이슈 발굴 (한혜진)
- 2015-03 기후경제통합-지역평가모형 비교분석 및 국내 모형개발을 위한 기초연구 (황인창)
- 2015-04 기후변화로 인한 고온환경 근로자의 작업역량 저하 추정과 공간적 군집 파악 (김동현)
- 2015-05 환경영향평가 설명회·공청회 운영 현황 분석 (조공장)
- 2015-06 도로 및 철도 사업의 토양분야 환경영향평가 사례연구 (신경희)
- 2015-07 빅데이터를 활용한 환경보건서비스에 관한 기초연구 (간순영, 윤성지)
- 2015-08 자원순환분야 지속가능발전목표(SDGs) 이행 기반 마련을 위한 기초연구 (임혜숙)
- 2015-09 내륙습지에 대한 환경영향평가 개선방안 연구 I: 환경부 전국내륙습지조사지침(2011)의 적용을 중심으로 (방상원)
- 2015-10 자원순환성 평가제도 대상 확대를 위한 기초연구 (이소라)
- 2015-11 환경소음 빅데이터의 정책 활용성 제고 방안 (박영민)
- 2015-12 인과지도(Causal Loop)를 활용, 미래 물수급관리 정책 지원을 위한 기초연구 (류재나)
- 2015-13 생물안전 법제 기초 연구 (홍현정)
- 2015-14 지방자치단체 환경영향평가 조례 운영현황 및 효율화 방안 (선효성)
- 2015-15 개발사업의 비점오염 영향평가방법 개발을 위한 기초연구 (이진희)
- 2015-16 환경영향평가 제도에서의 생태계보전협력금 활용 개선방안 (이상범)
- 2015-17 환경가치 증장기 연구 수요 조사 (곽소윤)
- 2015-18 세종특별자치시의 대기질 관리 기획 연구 (심창섭)
- 2015-19 2015 국민환경의식조사 연구 (곽소윤)

사업보고서

- 2019년 2019-01 동아시아 녹색전환을 위한 국제환경네트워크 구축 (이현우)
- 2019-02-01 [국가 리스크 관리를 위한 기후변화 적응역량 구축·평가] 데이터 기반 폭염 및 한파의 직간접 영향 분석 (채여라)
- 2019-02-02 [국가 리스크 관리를 위한 기후변화 적응역량 구축·평가] 별책부록: 수요자의 인식을 고려한 리스크 커뮤니케이션 정책방안(II) (채여라)
- 2019-03-01 동아시아 환경공동체 발전전략 개발 및 협력사업 (김호석)
- 2019-03-02 KEI 북한환경동향 2019년 (김호석)
- 2019-04 물환경 서비스와 물 인프라의 지속가능성 평가(VI) (류재나, 김익재)
- 2019-05 생물다양성협약 이행 지원 프로그램 기획·운영(V) (김충기)
- 2019-06-01 [환경평가 지원을 위한 지역 환경현황 분석 시스템 구축 및 운영] 선박 및 발전시설의 미세먼지 기여도 분석 (문난경)
- 2019-06-02 [환경평가 지원을 위한 지역 환경현황 분석 시스템 구축 및 운영] 개발사업 입지 적정성 평가를 위한 발암성 대기오염물질의 현황 및 배출원 특성 분석 (김유미)

- 2019-06-03 [환경평가 지원을 위한 지역 환경현황 분석 시스템 구축 및 운영] 개발사업에 따른 생물서식지 질적 변화 (전동준)
- 2019-06-04 [환경평가 지원을 위한 지역 환경현황 분석 시스템 구축 및 운영] 한강권역 유역건전성 평가 체계 마련 (박종윤)
- 2019-06-05 [환경평가 지원을 위한 지역 환경현황 분석 시스템 구축 및 운영] 소음지도를 활용한 지역(도시)별 환경용량평가 (이병권)
- 2019-06-06 [환경평가 지원을 위한 지역 환경현황 분석 시스템 구축 및 운영] 주요 재생에너지원별 현황 및 환경적 가용 입지 분석 (이영준)
- 2019-07-01 환경·경제 통합분석을 위한 환경가치 종합연구 (김현노)
- 2019-07-02 환경·경제 통합분석을 위한 환경가치 종합연구 별책부록: 2019 국민환경의식조사 (김현노)
- 2019-08 환경 빅데이터 분석 및 서비스 개발 III (강성원)
- 2019-09 미세먼지 통합관리 전략 수립 연구 (심창섭)
- 2019-10 미세플라스틱의 건강 피해 저감 연구 (박정규)
- 2019-11-01 녹색경제협동연구 성과확산 (현윤정)
- 2019-11-02 녹색경제 활성화를 위한 환경규제 개선방안 (김현노)
- 2019-11-03 어린이 녹색생활환경 구축 연구(Ⅰ): 위해저감 및 녹색 소비 방안을 중심으로 (정다운)
- 2019-11-04 글로벌 녹색전환 네트워크 구축 (김호석)
-
- 2018년 2018-01 국가 리스크 관리를 위한 기후변화 적응역량 구축·평가: 체감형 적응을 위한 데이터 기반 기후변화 리스크 대응체계 구축(Ⅱ) (채여라)
- 2018-02-01 [동아시아 환경공동체 발전전략 개발 및 협력사업] 총괄보고서 (이현우)
- 2018-02-02 [동아시아 환경공동체 발전전략 개발 및 협력사업] 환경거버넌스 강화를 위한 공공참여제도 한중 비교연구 (김태현)
- 2018-02-03 KEI 북한환경동향 2018년 (이현우)
- 2018-02-04 KEI 일대일로포럼 자료집 (이현우)
- 2018-03 물환경 서비스와 물 인프라의 지속가능성 평가(V) (류재나, 황상일)
- 2018-04 생물다양성협약 이행·지원 프로그램 기획·운영(Ⅳ) (황상일)
- 2018-05-01 [환경평가 지원을 위한 지역 환경현황 분석 시스템 구축 및 운영] 지자체별 오염원별·물질별 미세먼지 기여도 및 전환율 산정 (문난경)
- 2018-05-02 [환경평가 지원을 위한 지역 환경현황 분석 시스템 구축 및 운영] 유해대기오염물질 평가를 위한 모델링 기반 구축 (문난경)
- 2018-05-03 [환경평가 지원을 위한 지역 환경현황 분석 시스템 구축 및 운영] 토석채취사업의 현황 및 개발 적정성 분석 (이영준)
- 2018-05-04 [환경평가 지원을 위한 지역 환경현황 분석 시스템 구축 및 운영] 도시화에 따른 유역건전성 평가 체계 개발(금강수계를 중심으로) (박종윤)
- 2018-05-05 [환경평가 지원을 위한 지역 환경현황 분석 시스템 구축 및 운영] 육상태양광발전사업 현황과 환경적 고찰 (박종윤)

- 2018-06-01 [환경·경제 통합분석을 위한 환경가치 종합연구] 환경·경제 통합분석 시스템 구축 (안소은)
- 2018-06-02 [환경·경제 통합분석을 위한 환경가치 종합연구] 부문별 영향평가 및 가치추정 (안소은)
- 2018-06-03 [환경·경제 통합분석을 위한 환경가치 종합연구] 별책부록: 2018 국민환경의식조사 (안소은)
- 2018-07 원전사고 대응 재생계획 수립방안 연구(3): 중장기 대응방안을 중심으로 (조공장)
- 2018-08 환경 빅데이터 분석 및 서비스 개발 II (강성원)
- 2018-09 미세먼지 통합관리 전략 수립 연구 (주현수)
- 2018-10-01 2018 녹색경제협동연구 사업보고서 (안종호)
- 2018-10-02 한국 제조업의 환경경제효율성 분석 (김중호)
- 2018-10-03 녹색경제 전환을 위한 지속가능한 환경재정 구축 방안: 지속가능발전 정합성 제고를 위한 환경재정 개편 방향 (김호석)
- 2018-10-04 환경기반시설 사업·투자의 타당성·효과성 평가사업(II) (문현주)
- 2018-10-05 국가 친환경 에너지전환 추진을 위한 총괄연구 (이상엽)
- 2018-10-06 녹색사회의 전환을 위한 정책평가 기반마련 연구: 개발사업의 사회영향 모니터링을 중심으로 (신용승, 조공장)
- 2018-11 농촌지역 환경복지 증진을 위한 가축매몰지 피해 관리 방안 연구(III) (황상일, 현윤정)
- 2017년 2017-01 물환경 서비스와 물 인프라의 지속가능성 평가(IV) (류재나, 강형식)
- 2017-02 빅데이터를 이용한 대기오염의 건강영향 평가 및 피해비용 추정(III) (안소은)
- 2017-03 생물다양성협약 이행·지원 프로그램 기획·운영(III) (황상일)
- 2017-04 환경평가 지원을 위한 지역 환경현황 분석 시스템 구축 및 운영 (문난경, 이영준, 박종윤)
- 2017-05 환경·경제 통합분석을 위한 환경가치 종합연구 (안소은)
- 2017-06 원전사고 대응 재생계획 수립방안 연구(2): 비상대응계획을 중심으로 (조공장)
- 2017-07 환경 빅데이터 분석 및 서비스 개발 (강성원)
- 2017-08-01 녹색경제 성과확산 (공성용)
- 2017-08-02 환경기반시설 사업·투자의 타당성·효과성 평가사업 (I) (문현주)
- 2017-08-03 환경유해보조금 추계 및 개편방향 연구: 화석연료보조금을 중심으로 (김중호)
- 2017-08-04 사회적 경제를 활용한 친환경 소비 확산방안 (김동현)
- 2017-08-05 자연해택 평가를 통한 지역경제 활성화 방안(II) (김종기)
- 2017-08-06 메콩유역의 기후변화 대응 식량안보와 지속가능한 물관리 정책 연구 (강상인)
- 2017-09 농촌지역 환경복지 증진을 위한 가축매몰지 피해 관리방안 연구(II) (황상일, 현윤정)
- 2017-10 석탄화력발전 연료대체 시나리오별 환경·건강영향 분석 (주현수)
- 2017-11 어린이 환경건강 관리 개선방안 연구 (정다운)
- 2017-12 저탄소·친환경 전원 기반 마련에 따른 전기요금 개편의 국민수용성 제고를 위한 효과적 소통 방안 (이승준)
- 2017-13 국가 리스크 관리를 위한 기후변화 적응역량 구축·평가 (채여라)
- 2017-14-01 (총괄) 동아시아 환경공동체 성과 확산 (추장민)
- 2017-14-02 지속가능한 동시베리아 지역공동체 발전전략 연구 (강상인)

2017-14-03 환경거버넌스 강화를 위한 공공참여제도 한·중 비교연구 (정우현, 이정석)

2017-14-04 동북아 국제정세 변화에 대응한 지역 환경협력 추진전략 (추장민)

2017-14-05 KEI 북한환경동향 2017년 (추장민)

- 2016년
- 2016-01-01 기후환경 대응역량 평가체계 구축 (채여라)
 - 2016-01-02 기후변화에 따른 국가 리스크 정량화 연구(Ⅲ): 연안시스템을 중심으로 (조광우)
 - 2016-02 개발사업의 소음모니터링 분석과 개선방안 (선효성)
 - 2016-03 온실가스 감축정책 평가를 위한 환경경제모형 개발·운용(Ⅲ) (강성원, 박창석)
 - 2016-04-01 한중일 3국의 환경투자자 산업에 미치는 영향 비교분석 및 환경산업 활성화 방안 연구 (이정석)
 - 2016-04-02 통일 대비 북한지역 자연재해 대응을 위한 자료 구축과 남북협력 방안 연구(Ⅰ) (강택구)
 - 2016-05 물환경 서비스와 물 인프라의 지속가능성 평가(Ⅲ) (강형식)
 - 2016-06 빅데이터를 이용한 대기오염의 건강영향 평가 및 피해비용 추정(Ⅱ) (안소은)
 - 2016-07 섯강 관리 및 이용 활성화 방안 연구(Ⅱ) (강형식)
 - 2016-08 생물다양성협약 이행 지원 프로그램 기획·운영 (이현우)
 - 2016-09 환경평가 지원을 위한 지역 환경현황 분석 시스템 구축 및 운영 (문난경)
 - 2016-10 환경·경제 통합분석을 위한 환경가치 종합연구 (이창훈)
 - 2016-11 원전사고 대응 재생계획 수립방안 연구(1): 후쿠시마 원전사고의 중장기 모니터링에 기반하여 (조공장)
 - 2016-12-01 2016 녹색경제협동연구 사업보고서 (이창훈)
 - 2016-12-02 녹색경제 평가를 위한 지표체계 개발 (김종호)
 - 2016-12-03 친환경적 태도-행동 분석 모형 구축을 통한 친환경소비 활성화 방안 연구 (곽소윤)
 - 2016-12-04 자연해택평가를 통한 지역경제 활성화(Ⅰ) (김충기)
 - 2016-12-05 아태지역 녹색경제 이행과 메콩유역 농업부문 융합혁신 전략 연구 (강상인)
 - 2016-13 농촌지역 환경복지 증진을 위한 가축매몰지 피해 관리방안 연구 (황상일)
 - 2016-14 대도시지역의 극한 홍수로 인한 복합영향 매커니즘 분석 (채여라)
- 2015년
- 2015-02-01 환경성을 고려한 재생에너지 자원관리의 발전전략 (권영한)
 - 2015-02-02 화력발전소 회차리에 따른 환경영향 최소화방안 연구(Ⅱ) (맹준호)
 - 2015-02-03 해양에너지 개발을 위한 전략환경평가방안 연구 Ⅱ: 해상풍력 발전사업의 입지선정 방안을 중심으로 (김태윤)
 - 2015-03-01 기후환경 리스크 전망과 국가전략(Ⅱ) (박창석)
 - 2015-03-02 기후변화에 따른 국가 리스크 정량화 연구 (Ⅱ): 연안시스템을 중심으로 (조광우)
 - 2015-04 환경평가 모니터링 사업 (이영준)
 - 2015-05 온실가스 감축정책 평가를 위한 환경경제모형 개발·운용(Ⅱ) (김용건)
 - 2015-06-01 지속가능발전 관점에서 본 새마을운동 재조명 (강택구)
 - 2015-06-02 북한지역 하천실태조사 및 지속가능한 이용방안 연구(2): 압록강유역 하천보전 및 지속가능개발 국제협력방안 (추장민)

- 2015-06-03 동아시아 대도시 대기질 개선을 위한 국제 공동 연구 (심창섭)
- 2015-07 물환경 서비스와 물 인프라의 지속가능성 평가(II) (강형식)
- 2015-08 빅데이터를 이용한 대기오염의 건강영향 평가 및 피해비용 추정 (안소은)
- 2015-09 생물다양성협약 이행 지원 프로그램 기획·운영 (이현우)
- 2015-10 환경평가 지원을 위한 지역 환경현황 분석 시스템 구축 및 운영 (문난경)
- 2015-11 셋강 관리 및 이용활성화 방안 연구(I) (강형식)
- 2015-12-01 환경정책이 일자리 창출에 미치는 효과 연구 (강만옥)
- 2015-12-02 Post-2015 SDGs 대응 녹색경제 이행 전략 연구 (강상인)
- 2015-12-03 자원순환경제로의 이행을 위한 정책평가 방법론 개선: 폐기물산업연관표 구축 및 활용을 중심으로 (신상철)
- 2015-12-04 녹색경제 확산을 위한 국제협력방안(II): 메콩지역의 월경성 전략환경평가체계 구축을 중심으로 (유현석)
- 2015-12-05 환경분야 일자리 수요 현황 및 전망 (김종호)
- 2015-13-01 캄보디아-한국 환경연구센터 설립의 계획 수립에 관한 연구 (유현석)
- 2015-13-02 A Study on Policy Directions for the Water-Food-Energy Nexus (I) (김호석)
- 2015-14 자연자본의 지속가능성 제고를 위한 의사결정 지원체계 개발 (이현우)

※ 한국환경정책·평가연구원 설립 이후 현재까지의 보고서 원문은 KEI 홈페이지(www.kei.re.kr)에서 보실 수 있습니다.