

미세플라스틱으로 인한 해양오염 방지 정책*

Proposing Policy for the Prevention of Marine Pollution from Microplastics

안대한** · 김정인***

Daehan An · Jeongin Kim

요약: 미세플라스틱은 해양생태계를 위협하고, 인간의 건강피해를 유발한다. 국내 해안의 미세플라스틱 오염도는 외국보다 매우 높은 수준이다. 해외에서는 미세플라스틱과 관련된 제품들을 규제하는 법안이 도입되었고, 미세플라스틱을 독성물질 항목으로 추가했다. 그러나 한국은 2017년부터 생활용품의 일부분에 한해서만 규제를 시작한다. 또한 미세플라스틱으로 인한 해양오염 연구가 부족하다. 본 논문에서는 국내외 미세플라스틱 관련 정책의 현황과 문제점을 분석하여 미세플라스틱의 규제, 영향, 배출원에 대한 연구 확대, 체계적인 모니터링 구축과 교육여건 개선, 예치금 제도의 방향 제시와 재활용 의무율 확대의 방안을 제시한다.

핵심주제어: 미세플라스틱, 마이크로비즈, 해양오염, 해양생태계, 해양환경정책

Abstract: Microplastics threaten marine ecosystems and can cause damage to human health. The pollution level of microplastic on the coast of Korea is much higher than that of other countries. Overseas, legislation has been introduced to classify microplastics as toxic substances and regulate their use in consumer products. However, Korea only began to regulate certain household products in 2017, and also lacks sufficient research on the extent of marine pollution due to microplastics. In this study, we analyzed the positive and negative aspects of both domestic and foreign policies related to microplastics. We used these results to propose plans aimed at expanding research on regulations, impacts, and the emission sources of microplastics, establishing systematic monitoring, improving educational conditions, increasing the recycling obligation rate, and suggesting a future direction for the deposit system.

Key Words: Microplastics, Microbeads, Marine Pollution, Marine Ecosystem, Marine Environmental Policy

* 이 논문은 2016년도 중앙대학교 연구장학기금 지원에 의한 것임.

** 주저자, 한국수자원공사 물순환연구소 위촉연구원

*** 교신저자, 중앙대학교 경제학부 교수

I. 서론

해양쓰레기로 인해 해양생태계가 위협받고 있으며, 심각한 오염원으로 대두되고 있다(UNEP, 2011). 해양쓰레기 중에서 플라스틱은 지난 수십 년간 사용량이 급증함에 따라 바다로 유입되는 쓰레기의 60~80%를 차지하고 있다(Derraik, 2002). 이처럼 플라스틱 쓰레기는 기후변화, 무분별한 어류의 남획과 함께 해양생태계를 위협하는 주원인이다.

Jambeck et al.(2015)은 2010년에 바다로 유입된 플라스틱 쓰레기를 최소 480만 톤에서 최대 1,270만 톤으로 추정했으며, 만약 해양쓰레기 처리 방안을 마련하지 못한다면 2025년에는 현재의 네 배 정도가 해양으로 유입될 것으로 분석했다. 또한, 해양 평방 마일마다 플라스틱 46,000조각이 차지하고 있으며, 매년 적어도 만 마리 이상의 바닷새와 십만 마리의 상어, 거북이, 돌고래 등이 플라스틱을 먹고 죽어간다(한국환경공단, 2014). Vegter et al.(2014)는 최대 170종의 척추동물 및 무척추동물이 플라스틱 쓰레기를 섭취하고 있다고 주장한다.

플라스틱 쓰레기 중에서도 미세플라스틱(마이크로비즈)은 더 큰 문제이다. 미세플라스틱은 길이나 지름이 5mm 이하인 플라스틱을 의미한다(GESAMP, 2015). Boucher and Friot(2017)에 따르면 매년 바다로 유입되는 950만 톤의 플라스틱 쓰레기 중에서 미세플라스틱은 약 15~31%를 차지한다. 매우 미세하여 수거가 어렵고 해양생물들이 먹이로 오인하고 섭취할 수 있기 때문에 해양생태계의 건강성과 생산성을 낮출 수 있으며, 어류섭취를 통해 인체 피해를 유발한다(Kathryn et al., 2016). 한국해양과학기술원(2015)의 조사에 따르면 국내 바다¹⁾의 1m² 당 미세플라스틱 오염도는 해외 평균보다 8배 높은 상황이다.

미국은 2015년 ‘마이크로비즈 청정 해역 법안(The Microbead-Free Waters Act)’의 도입을 통해 마이크로비즈를 함유한 세정제품의 판매와 유통을 금지한다. 또한 대만, 캐나다, 호주, 영국, 네덜란드, 스웨덴 등에

1) 경남 거제와 진해의 32곳.

서도 마이크로비즈 규제 법안 도입을 논의하고 있다. 한국도 2016년부터 미세플라스틱이 사용된 화장품과 의약외품에 대해서 규제를 시작했지만 규제 대상 제품은 극히 일부에 해당된다. 또한 해양수산부의 '제2차 해양쓰레기 기본계획(2014~2018)'과 '제3차 어장관리 기본계획(2017~2021)'은 해양쓰레기 수거·관리와 어장 생산기반 구축에 예산이 집중되어 있다. 이처럼 아직까지 국내에서는 미세플라스틱으로 인한 해양오염 방지정책이 열약하고, 상세한 논의가 부족한 실정이다. 해양오염을 조기에 방지하기 위해서는 규제를 강화하고 범위를 확대해야 한다. 본 연구에서는 국내외 해양오염 상황과 미세플라스틱 관련 정책의 현황과 문제점을 분석하고, 해양오염 방지 정책방안을 제시하고자 한다.

II. 이론적 배경 및 선행연구

1. 미세플라스틱

플라스틱은 환경요인에 의해 작게 조각날 수 있고, 수많은 미세플라스틱으로 바뀔 수 있다(Moore, 2008). 미세플라스틱의 모양과 형태는 다양하지만 일반적으로 길이나 지름이 5mm 이하인 플라스틱 조각을 통칭하며, 1차 미세플라스틱(마이크로비즈)과 2차 미세플라스틱으로 구분된다(GESAMP, 2015).

1) 1차 미세플라스틱

생활용품(치약, 세제, 세안제 등)²⁾의 원료로 사용되거나 타이어 마모, 합성섬유 세탁 등에서 배출되는 플라스틱 미립자.

2) 제품 하나당 5,000~95,000개의 미세플라스틱이 들어갈 수 있다(Napper et al., 2015).

2) 2차 미세플라스틱

큰 플라스틱(패트병, 비닐봉지, 어망 등)이 해양환경에 노출되어 작게 조각난 것.

〈표 1〉 플라스틱의 분류

구분	크기(지름)	예시
메가플라스틱 (MegaPlastic)	1m 초과	어구, 통발, 그물, 밧줄, 선체 등
매크로플라스틱 (Macroplastic)	25mm 초과, 1m 이하	비닐봉지, 포장지, 낚시찌, 부표, 풍선 등
메조플라스틱 (Mesoplastic)	5mm 초과, 25mm 이하	병마개, 조각 등
미세플라스틱 (Microplastic)	5mm 이하	1차 미세플라스틱 : 생활용품 원료, 타이어 마모, 합성섬유 세탁 등 2차 미세플라스틱 : 해양환경에 의해 조각난 플라스틱
나노플라스틱 (Nanoplastic)	1 μ m 미만	미세플라스틱의 한 종류

자료 : GESAMP(2015); Koelmans et al.(2015) 재구성

한국해양과학기술원(2015)에서 2013년 거제 칠천도 해역에서 바위털갯지렁이 10마리를 조사한 결과, 모든 개체에서 미세플라스틱이 확인됐다. 한 개체에서 최대 451개의 미세플라스틱이 검출되었으며, 10개체 평균 132 \pm 122개가 검출되었다. 또한 2016년 경남 거제와 마산 일대의 양식장과 근해의 굴, 담치, 게, 갯지렁이를 분석하여 대부분인(97%) 135개체에서 미세플라스틱을 발견했다(한국해양과학기술진흥원·한국해양과학기술원, 2017).

Karami et al.(2017)은 8개 국가³⁾의 17개 소금 브랜드를 조사한 결과, 하나의 브랜드를 제외한 모든 소금 1kg당 1~10개, 평균 515 \pm 171 μ m 크기의 미세플라스틱을 발견했다. 또한 식용 소금으로 인한 인간의 미세플라스틱 섭취량은 연간 37개로 분석했으며, 이는 인체에 치명적인 영향을 끼치지 않는 않지만 해양생태계로부터 나오는 제품의 미세플라스틱 축적은 점진적으로 증가할 수 있고, 인간의 건강을 위협할 수 있다고 결론을 내렸다.

3) 호주, 프랑스, 이란, 일본, 말레이시아, 뉴질랜드, 포르투갈, 남아프리카공화국.

미세플라스틱은 독성 화학물질을 해수로 방출하고 바닷속 화학물질을 표면으로 흡착하여 해양 생물에 독성을 유발할 수 있다(Kathryn et al., 2016). UNEP(2016)는 미세플라스틱이 인체에 유해한 각종 물질을 전이·확산시킬 수 있는 가능성을 언급했고, Galloway and Lewis(2016)도 미세플라스틱의 표면으로 흡착 및 침출될 수 있는 화학물질 노출 가능성을 시사하고 있다. 특히 POPs(Persistent Organic Pollutants), PBTs(Persistent Organic Pollutant) 같은 화학물질은 잔류성과 생물축적성이 높은 물질로써 체내에 축적되면 동물의 면역력 감소와 생식기능 약화를 초래하며, 인간에게도 각종 암을 비롯하여 생식기 발달의 저하, 성장 지연 등을 유발한다(박정규·간순영, 2014). 실제로 태평양 굴을 미세플라스틱에 노출하는 실험 결과, 난모세포 수 38% 감소, 지름 5% 감소, 정자 속도 23% 감소, 자손들의 성장 18~41% 감소를 보였다(Sussarellu et al., 2016).

인간은 해산물과 소금 등을 섭취하는 생태계 먹이사슬의 최상위 포식자로서 미세플라스틱에 노출되는 것이 불가피하다. 미세플라스틱이 인체에 미치는 영향에 대한 연구는 아직 초기 단계임으로 어떤 결론을 내릴 수는 없지만, 다양한 화학물질과 오염물질이 동물뿐만 아니라 인간의 건강에도 심각한 위험이 된다는 것은 널리 알려져 있다(Engler, 2012; Talsness et al., 2009; EPA, 2013; Yang et al., 2011).

2. 선행연구

김도경(2017)은 큰물벼룩을 미세플라스틱과 중금속 오염물질인 니켈에 노출하여, 해양생태계에 존재하는 오염물질이 미세플라스틱과의 흡착을 통해 해양생물체에 기존 독성과 다른 독성영향을 나타낼 수 있음을 밝혔다. 이혜성·김용진(2017)은 외국의 선행연구를 바탕으로 우리나라의 미세플라스틱 발생 잠재량을 선박수송, 타이어분진, 가정세탁 순으로 추정하였으며, 이는 해외보다 현저히 높은 수치였다. 그리고 인구, 경제, 도로상황을 원인으로 분석하였다. 김인성(2015)은 경기·인천연안 13개 해변의 잔류 미세플라스틱에 대한 공간분포 특성을 조사하였다. 미세플라스틱의

오염수준은 해외 해변들과 비교하여 매우 높은 수준으로 나타났고 대부분이 스티로폼 부표에서 기인했다고 분석하였다. 이종명(2013)은 낙동강 하구와 거제도 동부 해변에서 플라스틱 해양쓰레기 풍도의 공간적 분포를 파악하고 가설 검정을 통해 크기별 플라스틱 해양쓰레기 그룹 간의 상관관계를 밝힘으로써 효율적인 미세플라스틱 조사 방법을 제시하였다.

박정규·간순영(2014)은 잔류성·생물축적성 물질이 미세플라스틱에 잘 흡착되고, 미세플라스틱 자체에서 내분비계 교란물질이 배출되는 것을 해양생물이 섭취하여 먹이사슬을 통해 해양생태계에 큰 피해를 입힐 수 있다고 지적하였다. 이러한 피해를 저감하기 위해 미세플라스틱의 엄격한 관리, 생분해성 플라스틱 이용 확대, 재활용 및 재사용 촉구, clean-up 프로그램 확대의 방안을 제시하였다.

기존 선행연구는 모두 우리나라의 미세플라스틱 오염 상황이 심각하다고 강조하였다. 또한 미세플라스틱이 해양생태계에 부정적인 영향을 끼칠 가능성을 제시하였다. 그러나 대부분 미세플라스틱의 정량적인 측면을 분석하는데 초점을 둔 반면, 본 연구는 최근의 국내 해양오염 상황과 관련 정책을 고려하여 미세플라스틱으로 인한 해양오염 방지 정책을 제시한다는 점에서 선행연구들과 차별성을 지니고 있다.

Ⅲ. 국내외 해양오염의 상황

1. 세계의 해양오염 현황

Derraik(2002)에 따르면 해양쓰레기의 60~80%를 플라스틱이 차지하고 있다. 플라스틱은 다양한 장점을 지닌 덕분에 여러 분야에서 중요하게 쓰인다(Anrady and Neal, 2009). 1964년 이후, 급격한 경제성장과 더불어 플라스틱 생산량은 20배 이상 증가하여 2014년에는 311 MT⁴⁾에 이르렀

4) Metric Ton. 1,000kg을 1톤으로 하는 중량단위.

다(Plastics Europe, 2015). 이에 따라 폐기되고 버려지는 플라스틱의 양도 많아졌다. Neufeld et al.(2016)에 따르면 플라스틱 포장재가 수거되지 않은 채 누출되는 것은 32%에 달하며, 14%만이 재활용되고 소각 혹은 에너지화 14%, 폐기 40%를 차지한다. Jambeck et al.(2015)은 2010년을 기준으로 192개의 연안 국가들이 480만 톤에서 1,270만 톤의 플라스틱 쓰레기를 배출한다고 분석하였고, 이러한 추세가 지속될 경우 10년 내에 플라스틱 유입량은 두 배가 될 것으로 전망하였다. Ocean Conservancy(2015)는 이미 150 MT 이상의 플라스틱이 바다에 유입된 것으로 추정했으며, Neufeld et al.(2016)은 별다른 대책이 없을 경우 2050년의 바다에는 물고기보다 플라스틱이 더 많이 존재할 것으로 분석하였다.

Eriksen et al.(2014)은 2007년~2013년에 걸쳐 1,600여 곳에서 표본조사를 하여 해수면 인근에 약 26만 9,000톤의 플라스틱 쓰레기가 존재하는 것을 밝혔다. 또한, 바다에 약 5조 개의 플라스틱 조각이 떠 있음을 추정하였고, 이중에서 대략 92%를 0.33~4.75mm 크기의 미세플라스틱으로 분석하였다. 추정치는 예상치보다 적은 수치인데 미세플라스틱은 작고 넓게 흩어져 있어서 탐지가 어려워, 해저로 가라앉은 것과 해안가는 제외되었기 때문이다.

2. 한국의 해양오염 현황

1) 해양쓰레기 현황

해양환경관리공단(2013)은 '제2차 해양쓰레기 관리 기본계획 수립 연구'를 통해 국내 해양쓰레기의 연간 유입량과 현존량을 추정하였다. 그 결과, 2013년을 기준으로 국내에서 매년 91,195톤(육상기인 쓰레기 32,825톤, 해양기인 쓰레기 58,370톤)의 쓰레기가 해양으로 유입되는 것으로 분석하였다. 홍수기에 하천으로 유입되는 초목류 재해쓰레기 85,612톤을 더하면 육상기인 쓰레기가 118,437톤(67%), 해상기인 쓰레기는 58,370톤(33%)을 차지하며, 총 176,807톤의 쓰레기가 매년 국내 바다로 유입된다.

이미 해양에 유입된 쓰레기의 양은 2012년 말 기준 152,241톤으로 추정되었으며 침적(137,761톤), 해변(12,029톤), 부유(2,451톤)로 구성되어 있다. 반면, 최근 5년(2012~2016)간의 연평균 해양쓰레기⁵⁾ 수거량은 해안(41,484톤), 침적(18,987톤), 재해(12,909톤), 부유(4,290톤) 순으로 총 77,670톤이다.⁶⁾ 전체 해양쓰레기 발생량의 약 44%를 수거하고 있으며, 약 56%는 분해 또는 유출되고 있는 것이다.

해양수산부는 지자체, 해양환경관리공단과 함께 전국 40개 지점⁷⁾에서 격월 주기로 국가 해안쓰레기 모니터링을 실시하고 있다. 2016년, 총 6회에 걸친 모니터링을 통해 조사한 양은 총 68,421개, 11,836kg, 65,404L이다. 개수로는 플라스틱과 스티로폼이 각각 56.5%, 14.4%를 차지했으며, 무게 38.6%, 20.3%. 부피 34.4%, 36.9%로 모든 항목에서 많은 비중을 차지하였다(해양수산부·해양환경관리공단, 2016).

우리나라의 지리적 특성과 해수의 흐름을 고려한다면 중국, 동남아시아, 북한 등에서 기인한 해양쓰레기에 의해서도 영향을 받을 가능성이 있다. 이들 해양쓰레기는 해류에 의해 마모되고 깨지면서 점점 더 작은 입자, 미세플라스틱이 된다.

2) 미세플라스틱 오염 상황

한국해양과학기술원(2015)이 2012년~2014년에 실시한 미세플라스틱에 의한 연안환경 오염 연구에 따르면 해수표면은 경남 거제 일원에서 세계 평균보다 12배, 진해만에서는 3배 높게 조사되었다. 전국의 해변 18곳을 조사한 결과, 평균치 보다 높은 곳은 남해안에 집중되어 있었으며 낮은 곳은 서해와 동해 일원에 분포되어 있는 것으로 나타났다. Kim et al.(2015)은 국내 남해안의 미세플라스틱 오염도가 일본, 브라질, 포르투

5) 해양쓰레기는 수거 대상의 공간적 분포에 따라 해안, 부유, 침적, 재해쓰레기로 구분된다(해양수산부·해양환경관리공단, 2017).

6) 해양쓰레기통합정보시스템(<https://www.malic.or.kr>) 참고.

7) 서해 18곳, 남해 12곳, 동해 10곳.

갈, 미국의 해변에 비해 매우 높은 것으로 분석하였다. 또한 한국의 인천·경기 해안과 낙동강 하구의 미세플라스틱 농도는 세계에서 2번째, 3번째로 높은 것으로 분석되었다(Hurley et al., 2018).

국내 해안에 미세플라스틱이 많은 이유는 스티로폼 부표에 의한 비중이 매우 높다(김인성, 2015; 이종명, 2013). 실제로 해변 18곳에서 발견된 미세플라스틱의 대부분인 98%는 스티로폼 부표에서 나온 것으로 조사됐다(한국해양과학기술원, 2015). 양식장에서 주로 쓰이는 스티로폼 부표(60리터)는 연간 200만개 생산되고 있으며, 한 개당 수백만 개의 미세플라스틱, 수억 개의 나노 크기 입자로 쪼개진다(Shim, 2013). 경남 굴 양식장에서만 연간 약 66만 8천개의 스티로폼 부자 쓰레기가 발생한다(이종명 등 2016). 전체 양식장을 적용 한다면 수많은 양의 페스티로폼이 배출되고 있을 것으로 추정된다. 홍수연 등(2014)은 통영의 13개 해변을 대상으로 해변쓰레기를 조사하여, 부표와 부표외 제품으로 분류했다. 부표쓰레기는 개수의 92.6%를 차지하여, 스티로폼 쓰레기의 대부분이 부표에서 발생하는 것으로 확인되었다.

IV. 미세플라스틱 방지 정책 현황과 문제점

1. 해외의 미세플라스틱 방지정책

1) 국제기구⁸⁾

2008년 해양환경전문가그룹(GESAMP) 내에서 미세플라스틱 및 관련 화학물질의 부하가 미생물에 끼치는 영향이 이슈로 떠올랐다. 이를 계기로 유네스코 정부간해양위원회(UNESCO IOC)의 주도하에 국제기구들과 유럽플라스틱협회, 미국화학협회의 공동 지원으로 GESAMP Working Group 40(WG40)을 2012년에 결성했다. 지원 기구들에게 미세플라스틱

8) 홍상희(2015) 참고 작성.

에 대한 연구와 평가를 제공하며, 미세플라스틱의 연구동향과 주요 이슈를 분석한 보고서⁹⁾를 발표하고 있다. 유네스코 정부간해양위원회(UNESCO IOC)에서는 2010년 4대 중기전략 목표 중에서 미세플라스틱을 4대 주요 이슈에 포함시켰다. 또한, 유엔환경계획(UNEP)은 2014년에 국제환경 현안문제에 ‘플라스틱 해양쓰레기’를 포함시켰으며, 2015년에는 각국 정부에게 미세플라스틱 규제 방안을 권고했다. 유엔환경총회(UNEA)는 2012년 지속가능발전 회의(Rio+20)에서 ‘해양쓰레기 감축’을 공약했다. 2014년에는 미세플라스틱에 관한 결의안이 채택되었으며, 해양 플라스틱 쓰레기와 미세플라스틱에 관한 현안과 연구동향을 종합적으로 검토하여 보고 하기도 했다. 이러한 국제사회의 움직임은 미세플라스틱을 포함한 해양 플라스틱 오염 이슈가 향후 국제협약으로 발전될 가능성이 높음을 보여주고 있다.

2) 다국적 기업과 NGO

유니레버, 로레알, 존슨앤존슨 등 다국적 위생제품생산 기업들은 생산 중단을 선언하며, 과일 씨앗 등 천연 대체품을 찾고 있다. 자사 제품의 경쟁력을 유지하고, 기업의 사회적 책임을 묻는 소비자의 요구에 대응하기 위해서다. 미세플라스틱의 악영향이 알려지면서 이것을 사용하는 브랜드의 이미지가 훼손될 가능성이 높아졌기 때문이다.

그린피스 동아시아 서울사무소(2016)에 따르면, 각국 비정부 기구(NGO)와 관련 단체들도 마이크로비즈 사용 중단을 촉구하는 운동을 벌이고 있다. Plastic Pollution Coalition, 5 gyres, Fauna&Flora International, Marine Conservation Society, Environmental Investigation Agency, Story of Stuff, the Plastic Soup Foundation, Plastic Free Seas 등이 대표적인 단체다. 35개국 83개 NGO가 연합하고, 우리나라의 여성환경연대와 동아시아바다공동체 오션(OSEON)도 포함된 ‘비트 더 마이크로비즈 재단(Beat

9) Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: A global assessment.

the Microbeads Foundation)’은 마이크로비즈가 포함된 생활용품을 타겟으로 삼고 이에 대한 정보를 스마트폰 어플을 통해 알고 있다.

3) 미국

미국에서는 2014년 7월 일리노이 주에서 마이크로비즈(Microbead)의 사용을 최초로 금지했다. 이후 뉴저지, 뉴욕, 캘리포니아 등의 정부가 2015년부터 마이크로비즈 사용금지를 선언하였다. 주 별로 생분해성 및 제품 범위에 대한 차이점이 있지만 여러 주들이 마이크로비즈 관련 규제를 하고 있거나 입안 중에 있다. 특이한 점은 생분해성 플라스틱에 대한 규제도 한다는 것이다.

〈표 4〉 미국 주별 마이크로비즈 규제 현황

주	법 현황	생분해성 플라스틱 규제	세적형 제품에 국한된 규제
일리노이	제정	No	Yes
콜로라도	제정	No	Yes
뉴저지	제정	No	Yes
메인	제정	No	Yes
인디애나	제정	No	Yes
위스콘신	제정	No	Yes
코네티컷	제정	Yes	Yes
매릴랜드	제정	Yes	Yes
캘리포니아	제정	Yes	No
매사추세츠	계류중	Yes	No
미시건	계류중	Yes	No
미네소타	상원 통과, 하원 계류중	Yes	No
오레곤	하원 통과, 상원 계류중	Yes	Yes
뉴욕	도입	Yes	No

자료 : 국제환경규제기업지원센터(2016)

또한 미국 연방정부는 ‘마이크로비즈 청정 해역법안(The Microbead-Free Water Act)’을 2015년 12월에 통과시켰다. 세안제품에 마이크로비즈 사용을 전면 금지하는 법이다. 각질 제거와 세척용으로 쓰이는 모든 5mm 이하의 고체 플라스틱 입자에 대해서 적용된다.

〈표 5〉 미국의 마이크로비즈 청정 해역 법안

시기	내용
2017년 7월 1일 이후	마이크로비즈가 포함된 세정용 화장품의 생산 금지
2018년 7월 1일 이후	마이크로비즈가 포함된 세정용 화장품의 상업거래 금지 처방전 없이 구매할 수 있는 약품으로 분류되는 세정용 제품의 생산 금지
2019년 7월 1일 이후	마이크로비즈가 포함되고, 처방전 없이 살 수 있는 세정제품의 주간 상업거래가 단계적으로 금지

자료 : Microbead-Free Waters Act., 2015, H.R.1321. No. 114-114

4) 캐나다

2016년 2월, 각질제거 및 세안용 제품의 마이크로비즈 규제(Proposed Regulations for Microbeads in Personal Care Products Used to Exfoliate or Cleanse)를 발표했다. 규제 대상은 마이크로비즈가 함유된 생활용품, 화장품, 일부 의약품, 건강식품으로 2019년까지 이들 제품의 생산, 수입, 유통 과정을 순차적으로 퇴출한다. 또한 캐나다 환경보호법은 마이크로비즈가 환경독성물질을 포함시키는 것으로 결론을 내렸고, 2016년 6월에는 마이크로비즈를 133번째 독성물질 항목으로 추가하였다.

〈표 6〉 캐나다의 각질제거 및 세안용 제품의 마이크로비즈 규제

시기	내용
2017년 12월 31일까지	박피, 세안에 사용되는 화장품을 포함하여 마이크로비즈를 함유한 개인위생용품의 제조 및 수입 금지 일반의약품, 천연건강기능식품은 제외
2018년 12월 31일까지	박피, 세안에 사용되는 화장품을 포함하여 마이크로비즈를 함유한 개인위생용품의 판매 및 유통 금지 일반의약품, 천연건강기능식품은 제외
2018년 12월 31일까지	마이크로비즈가 함유된 일반의약품과 박피, 세안에 사용되는 천연건강기능식품의 제조 및 수입 금지
2019년 12월 31일까지	마이크로비즈가 함유된 일반의약품과 박피, 세안에 사용되는 천연건강기능식품의 판매 및 유통 금지

자료 : 캐나다 환경부 홈페이지¹⁰⁾

10) "Proposed regulations for microbeads in personal care products used to exfoliate or cleanse," <https://www.canada.ca/en.html>, [2017.10.10].

5) 프랑스¹¹⁾

2016년 8월 세계 최초로 자연 및 경관 회복, 생물다양성을 위한 법을 공포했다. 이로 인해 판매금지 대상 제품을 지정했다. 2018년부터는 미세플라스틱이 함유된 화장품을 판매하지 못한다. 2020년부터 네오니코티오이드(Neonicotinoid)¹²⁾를 함유한 살충제, 일회용 플라스틱 식탁용품, 플라스틱 면봉의 판매가 금지된다.

일부 국가들과 미국의 몇 개 주에서 1회용 플라스틱을 제한하고 있지만, 플라스틱 컵과 접시 등의 사용을 전면적으로 금지한 나라는 프랑스가 최초이다. 동 법안에 의하면 매점이나 자동판매기에서 사용되는 것도 해당된다. 일회용 식기류 재료의 50%는 퇴비로 쓸 수 있는 생물학적 원료로 만들어야 하며, 2025년부터 60%로 늘어난다.

2. 국내의 미세플라스틱 방지정책

1) 식품의약품안전처¹³⁾

식품의약품안전처는 2016년 9월 29일, 「화장품 안전기준 등에 관한 규정」에 대한 개정안을 마련했다. 동법은 ‘미세플라스틱’에 대한 정의를 새로 개설했고, 이를 사용금지 대상 소재로 추가하는 것이다. 2017년 7월부터 제조 또는 수입하는 화장품부터 적용되며, 2018년 7월부터는 미세플라스틱이 함유된 화장품의 판매도 중지된다. 또한 2017년 1월 26일, 「의약외품 품목허가·신고·심사 규정」을 일부 개정하여 미세플라스틱을 함유한 의약외품의 제조나 수입이 금지되며, 2018년 7월부터는 해당 의약외품의 판매가 금지된다.

미세플라스틱을 원료로 사용하는 제품은 전체 화장품의 24.5%를 차지

11) KOTRA, “프랑스, 생물다양성 회복 법으로 4개 플라스틱 제품 판매금지,” <http://news.kotra.or.kr/kotranews/index.do>, [2017.9.2].

12) 니코틴계의 신경 자극성 살충제.

13) 식품의약품안전처(2016), 식품의약품안전처(2017) 참고 작성.

하고 있으며, 이는 기초화장품뿐만 아니라 색조화장품 등도 포함된다. 그러나 식품의약품안전처가 이번 규정 개정고시를 통해 미세플라스틱 규제 대상 제품을 세정 및 각질제거 등의 제품으로 제한함으로써 규제 대상이 전체 화장품의 0.56%로 크게 감소됐다. 이는 미세플라스틱을 원료로 사용하는 제품 중에서 약 2.2%만이 규제 대상에 해당하는 것이다.¹⁴⁾

2) 해양수산부

해양수산부는 해양과학기술원, 한국해양과학기술진흥원과 함께 2011년부터 미세플라스틱의 위험성에 대한 연구과제를 실시하고 있으며, 환경부, 해양경찰청 등 부처 합동계획으로 ‘제2차 해양쓰레기 기본계획(2014~2018)’을 수립했다. 본 계획의 목표는 해안쓰레기 발생 최소화 및 국민 공감형 수거사업 강화와 과학·능동적인 해양쓰레기 정책 인프라 구축이다. 이를 위한 전략은 1.해양쓰레기 발생원 집중 관리(685억 원), 2.생활밀착형 수거사업 강화(2385.26억 원), 3.해양쓰레기 관리기반 고도화(199.7억 원), 4.대상자 맞춤형 교육·홍보(49.3억 원)이며, 각 전략은 4~6개의 (중점)추진 과제로 이루어져있다.

또한 2017년에는 ‘제3차 어장관리 기본계획(2017~2021)’을 수립하여 2021년 양식어장 친환경 부표 사용 의무화, 지속가능한 어장생산력 현장 적용, 어장개선물질 및 장비의 인증기준 도입을 목표로 삼았다. 1.과학적인 어장관리 기반 강화(211억), 2.지속가능한 생산 기반 구축(1,486억), 3.참여형 어장관리 기반 확보(27억)의 3대 추진전략과 9개의 중점과제, 25개의 세부과제가 있으며, 총 예산은 1,724억 원이다.

14) 대한화장품협회(2015); 그린피스 동아시아 서울사무소, “[성명서] 식약처, 미세 플라스틱 규제 제품군 2% 남짓으로 제한 - 환경보다 기업편 들어준 결정에 유감,” <http://www.greenpeace.org/korea>, [2017.10.10].

3) 환경부

환경부는 1992년부터 운영해오던 폐기물 예치금제도를 보완·개선하여 2003년부터 ‘생산자책임재활용제도’를 실시하고 있다. 이는 제품 생산자에게 재활용의무를 부여하고 불이행시 부과금을 부과하는 제도이다(한국 포장재재활용사업공제조합, 2016). 환경부(2014)의 기준에 따르면 2015년 수산물 양식용 부자의 재활용 의무율은 28.1%이다. 이는 국내 해변에 잔류해 있는 미세플라스틱의 대부분을 차지함에도 불구하고(김인성, 2015; 이종명, 2013) 다른 품목들의 평균 재활용 의무율인 61.8%에 비해서 매우 낮은 수치이다. 또한 수산물 양식용 부자의 2015년 재활용 이행률은 23%로써 재활용 의무율을 달성하지 못했다.¹⁵⁾

재활용 의무를 지닌 생산기업들의 수산물 양식용 부자 생산량은 2,026톤인 반면, 재활용실적은 465톤으로 나머지 1,561톤의 상당수는 바다로 유출된 것으로 추정된다. 이를 장용창 등(2014)의 계산에 적용할 경우, 약 130만 개¹⁶⁾의 스티로폼 부자에 해당된다.

V. 해양오염 방지 정책 방안

1. 미세플라스틱 규제 및 연구 확대

1) 규제 강화

현재 미세플라스틱을 원료로 사용하는 제품 중에서 식품의약품안전처의 규제를 받는 것은 일부분에 불과하다. 미세플라스틱을 대체할 수 있는 친환경 물질은 흑설탕, 곡물가루, 씨앗 등이 있다. 하지만 기업들은 플라

15) 한국순환자원유통지원센터, “재활용의무이행실적,” <http://www.kora.or.kr/epr/record.jsp>, [2017.09.10].

16) 어장관리법 시행규칙(2013) 제5조에 의거하여 구격부자의 밀도를 $0.02\text{g}/\text{cm}^3$, 부자 한 개의 무게를 약 $1.2\text{kg}(0.02\text{g} \times 60\text{리터})$ 로 계산.

스틱이 천연재료보다 더 싸기 때문에 이를 사용한다. 식품의약품안전처의 규제영향분석서(2016)에 따르면 미세플라스틱을 천연물질(호두껍질, 살구 씨 등)로 대체 시 연간 1,310만원의 추가 비용이 발생한다. 한국리서치와 그린피스가 2016년 6월 전국 성인 남녀 1,000명을 대상으로 설문조사¹⁷⁾를 실시한 결과, 응답자의 86%가 기업 주도의 자율적 규제가 부족하다고 하였다. 99%는 마이크로비즈에 대한 정부의 대처가 부족하고 이에 대해 강제성 있는 규정이 필요하다고 응답했으며, 마이크로비즈가 포함된 제품을 구매하지 않겠다고 답한 응답자도 71%다.

이는 기업의 자율적 규제로는 부족한 상황이니 정부의 강제성 있는 규제가 필요하다는 것을 시사한다. 기업들은 사회적인 흐름과 수요자들의 요구에 맞춰 정보를 제공하고, 대체물질에 대한 연구를 강화해야 할 것이다. 해양수산부, 환경부, 국토교통부 등에서도 공동으로 미세플라스틱에 대한 규제를 마련해야 한다. 예컨대 미세플라스틱이 들어간 제품과 성분을 환경정보공개제도¹⁸⁾ 혹은 환경마크¹⁹⁾에 포함시킴으로써 시민들의 알 권리를 존중하고, 소비자의 선택권을 넓힐 수 있다. 또한 기업들은 소비자의 제품 선호에 부응하기 위해 지속가능하고 친환경적인 생산을 할 것이다.

2) 영향 분석

미세플라스틱은 해양생물뿐만 아니라 식용소금에도 영향을 끼치고 있다. 국내 제품은 아직 조사된 바 없지만 해외 해안보다 심각한 미세플라스틱 오염도를 보이고 있으므로 미세플라스틱이 검출될 가능성은 매우 높다.

17) 그린피스 동아시아 서울사무소. “화장품 회사가 알려주지 않는 비밀.” <http://www.greenpeace.org/korea/>, [2017.1.2].

18) 국민의 알권리 충족과 자발적인 친환경 경영 확산을 목적으로 공개대상 기관이 등록한 환경경영 현황 등의 환경정보를 일반에 공개하는 제도(한국환경산업기술원, 2013).

19) 소비자에게 환경 정보를 제공하고 이에 부응하기 위해 기업이 친환경제품을 개발생산 하도록 유도하는 제도(환경부, 2015).

실제로 거제와 마산지역의 굴, 갯지렁이, 게, 담치에서 미세플라스틱이 검출되었으며 대부분 스티로폼 부표에서 기인한 것으로 밝혀졌다(한국해양과학기술원, 2015; 한국해양과학기술진흥원·한국해양과학기술원, 2017). 이웃나라 일본의 도쿄만에서도 멸치 64마리 중 49마리에서 평균 2.3개, 최대 15개의 미세플라스틱이 발견된 바 있다(Tanaka and Takada, 2016). 미세플라스틱이 국내 수산물과 해양 관련 제품에 어느 정도 영향을 끼치고 있는지에 대한 정확한 분석을 위해서는 연구 지역과 대상의 확대가 필요하다. 아직 미세플라스틱이 인체에 어떤 영향을 끼치는지에 대한 국내 연구는 없는 상황이고, 관련 연구는 해안 생물에 제한되어 있다. 해양수산부뿐만 아니라 보건복지부, 환경부에서도 미세플라스틱에 영향 받는 분야를 다방면으로 연구조사 하도록 예산을 대폭 상승 시켜야 하며 기술이나 정책적인 대처 방안을 수립할 필요가 있다.

3) 1차 미세플라스틱의 배출원 파악

Boucher and Friot(2017)은 1차 미세플라스틱의 생성요인을 7가지로 분석하였다. 세탁에 의한 합성섬유(35%), 타이어 마모(28%), 도시 먼지(24%), 도로 표시(7%), 선박 페인트(3.7%), 생활용품(2%), 플라스틱 알갱이(0.3%) 순으로 세탁에 의한 합성섬유와 주행으로 인한 타이어 마모, 도시의 먼지가 대부분을 차지하였다. 1차 배출원을 바탕으로 국내 미세플라스틱의 잠재량을 처음으로 추정한 이혜성·김용진(2017)은 외국의 자료를 바탕으로 배출계수를 적용하여 선박수송, 타이어분진, 가정세탁 순으로 분석한 바 있다. 한국해양과학기술원(2015)에서 거제 동부 해역에서 부유 미세플라스틱을 조사한 결과, 미세섬유는 2012년 5월과 7월에 각각 35.2%, 34.5%를 차지하며 두 번째와 첫 번째로 많은 비중을 보였다. 현재 미세플라스틱 규제 정책과 연구조사가 이루어지고 있는 것은 해양과 생활용품에 한하고 있다. 하지만 기존연구로 미루어 보아, 1차 미세플라스틱은 세탁, 타이어 등에 의한 배출비중이 높을 가능성이 있으므로 배출원을 정확히 파악하여 그에 맞는 규제를 적용해야 할 필요가 있다. 국내 사정에

맞는 배출계수를 개발·적용하여 배출원별 정확한 발생량을 추정한다면 미세플라스틱 저감 및 관리 방안의 정책 수립과 실효성에 있어서 큰 효과를 볼 수 있을 것이다.

2. 모니터링 확대 및 교육여건 개선

1) 체계적인 모니터링 구축

현재 해양쓰레기(해안, 부유, 침적, 재해) 중에서 해안쓰레기에 한해서만 지속적인 모니터링을 실시하고 있으며, 현재 국내에서 실시되고 있는 미세플라스틱 오염 연구도 연안 근처에서 이뤄지고 있다. 또한 기존 연구도 해안(이종명, 2013; 김인성, 2015)과 양식장(이종명 등, 2016; 홍수연 등, 2014)에 제한되어 있으며, 최근 5년간의 해양쓰레기 수거량은 해안쓰레기(53.4%), 침적쓰레기(24.4%), 재해쓰레기(16.6%), 부유쓰레기(5.5%)로 해안에 집중되어 있다. 침적, 재해, 부유쓰레기를 포함하여 해양 전반에서의 모니터링 체계를 확립한다면 발생원, 이동경로 등을 정확히 파악할 수 있고, 이에 대해 효율적으로 대응할 수 있는 정책을 적용할 수 있을 것이다.

2) 교육여건 개선

한국은 해양환경관리법, 어장관리법에 의해 스티로폼 부표 무단 투기를 금지하고 있다. 하지만 해경은 인력과 예산부족으로 단속의 어려움을 겪고 있고, 해양수산부는 계도에만 그치는 실정이다. 특히 굴 양식장은 부자 교체 작업이 해상에서 이루어지고 부자를 회수하는 것은 부가적인 비용과 노동력이 소모되기 때문에 해양투기 가능성이 높다(홍수연 등, 2014). 또한 광활한 바다에서 무단 투기를 단속하는 것은 인력과 예산 측면에서 비현실적이며 경비, 신고 포상금 제도를 확대하고, 무단 투기 단속 CCTV 시스템을 확충하는 것도 한계가 있다. '제2차 해양쓰레기 관리기본 계획'과

‘제3차 어장관리 기본계획’의 예산의 대부분은 수거관리에 집중되어 있다. 각각 총 예산의 98.5%, 98.4%를 차지한다. 이에 비해 교육·홍보 예산은 각각 1.5%, 1.6%에 불과하다. 아무리 좋은 정책을 마련한다 해도 당사자인 어업인들의 협조가 없다면 제대로 실행되기가 어렵다. 지속적인 교육 체계를 마련하여 해양오염의 심각성을 어업인들이 인식한다면 몸소 조심하거나 폐부자, 폐어구 등의 쓰레기를 적합한 방식으로 처리하기 위해 행정기관과 협력하려고 노력할 것이다. 해양환경의 보전과 수산업의 발전은 모든 국민이 편익을 본다. 하지만 해양오염으로 인해 가장 큰 타격을 받는 것은 어민들의 생업이다. 단순한 단속이 아니라 해양환경과 상생함으로써 수산업이 더욱 발전하기 위한 것임을 알려야 한다.

3. 예치금 제도의 방향 설정과 재활용 의무를 확대

1) 스티로폼 예치금 제도의 방향

국내 해안은 스티로폼 부표(2차 미세플라스틱)에 의한 오염이 심각한 상황이다. 이는 ‘제2차 해양쓰레기 관리 기본계획’의 폐스티로폼 부표 회수율 80% 달성, ICT기반 어구관리시스템 도입 등 목표와 ‘제3차 어장관리 기본계획’의 양식기자재 친환경 기준 마련, 친환경 부표 보급 지원사업 등의 사업으로 인해 점차 개선될 것으로 기대된다. 하지만 제도가 정착되는 동안 스티로폼으로 인한 오염을 최소화하기 위한 노력이 함께 시행되어야 한다. 해양수산부는 어구관리법을 통해 어구예치금 제도를 포함한 어구관리시스템을 2018년부터 도입할 예정이다. 제도의 원활한 시행을 위해서는 적절한 수준(20%)의 예치금을 통해 어민들에게 경제적 유인책을 제공할 수 있어야 하며(장용창 등, 2014), 스티로폼은 경량이지만 부피가 크으로써 수거·회수 지원과 무인회수기 보급 등의 인프라 구축이 수반되어야 한다.

2) 재활용 의무율 확대

해양수산부의 '제2차 해양쓰레기 관리 기본계획'은 페스티로폼 부표 의무 회수율(10%)을 80%까지 상향하여 설정한 바 있다. 하지만 환경부가 운영하는 '생산자책임재활용제도'에서 수산물 양식용 부자의 재활용 의무율은 28.1%에 불과하다. 페스티로폼과 스티로폼 부표의 회수 및 재활용과 함께 경제적 유인책(예치금 제도)과 규제(재활용 의무율)가 같이 이루어진다면 스티로폼으로 인한 해안 오염을 방지하는데 큰 시너지 효과를 낼 수 있을 것이다. 그러므로 수산물 양식용 부자의 재활용 의무율도 페스티로폼 부표 의무 회수율과 같이 상향시킬 필요가 있다. 예컨대 2020년 50%, 2025년 60%, 2030년 80%로 하는 것이다.

VI. 결론

미세플라스틱은 크기가 너무 작아 하수처리 시설에서 걸러지지 않고 하천과 바다로 흘러 들어가서 해양생태계를 오염시키고, 해양생물에게 피해를 입힌다. 미세플라스틱은 독성물질을 흡착함으로써 생물체에 악영향을 끼칠 가능성이 높다. 인간은 오염이 축적된 해산물을 섭취함으로써 건강을 위협 당하고 있다. 한국은 해양쓰레기 수거에만 비용을 투입하고, 해변 및 해저 침적 쓰레기의 극히 일부만을 수거하고 있다. 미세플라스틱은 다른 해양쓰레기들과 달리 해변 및 해상에서 수거하는 것이 기술적으로 아직 확립되지 않았고, 경제적 측면에서도 굉장히 비현실적이다. 미세플라스틱의 배출을 근본적으로 줄이고, 사전적인 대책을 강구해야 한다. 이를 위해서 다음과 같은 정책을 제언한다.

첫 번째, 미세플라스틱에 대한 규제와 연구를 확대해야 한다. 생활용품은 제품 당 수천 개에서 수만 개의 미세플라스틱이 들어간다. 글로벌 생활용품 기업들은 이미 천연물질로 대체를 하고 있는 추세다. 하지만 식품의약품안전처의 규제는 미세플라스틱이 함유된 생활용품 중 일부에 해당된

다. 기업들이 해외시장에 대응하고 국내 소비자의 요구에 부응하기 위해서 정부차원의 규제 범위를 더욱 확대해야 한다. 또한 미세플라스틱으로 인한 오염 연구는 국내 연안과 해안생물에 한정되어 있다. 연구의 범위를 소금, 어류, 해조류 등으로 확대하여 오염 상황을 철저히 분석해야 하며 이를 섭취함에 따라 인체에 미칠 영향에 대해서도 연구를 수행해야 한다. 현재 2차 미세플라스틱인 스티로폼 부표에 관해서는 연구가 어느 정도 진행된 상태이다. 해양수산부도 이에 맞춰 정책을 수립하고 있다. 하지만 1차 미세플라스틱에 대한 연구와 대응 방안은 열악한 실정이다. 국내 상황을 반영한 배출계수를 개발하여 배출원별 발생량을 정확히 추정한다면 1차 미세플라스틱을 관리하고 저감하는 정책 수립에 효율적으로 활용될 수 있을 것이다.

두 번째, 해양쓰레기 모니터링을 확대하고 교육 여건을 개선해야 한다. 현재 해안쓰레기에 한해서만 모니터링이 이루어지고 있다. 이뿐만 아니라 침적, 부유쓰레기를 전체적으로 모니터링하는 체계를 갖춰야 한다. 해양오염을 줄이기 위해서는 해안, 양식장의 스티로폼뿐만 아니라 해양쓰레기의 전반적인 상황을 파악하고 줄이는 노력이 함께 수반되어야 한다. 그리고 가장 중요한 영향을 받는 어업인들의 인식을 개선하는 홍보에 예산을 더욱 책정해야 한다. 현재 해양수산부의 예산과 정책은 해양쓰레기의 수거와 관리에 초점이 맞춰져 있다. 아무리 정부 정책을 펼치더라도 현지인들의 참여 없이는 효과를 보기 힘들다. 해양오염으로 인해 가장 큰 영향을 받는 것이 어업인들이라는 것과 단속이 아닌 상생을 통해 수산업의 발전을 이끌어낼 수 있다는 것을 널리 알려야 한다.

세 번째, 예치금 제도의 방향을 적절하게 설정하고 재활용 의무율을 확대해야 한다. 예치금 제도의 원활한 시행을 위해서는 적절한 수준의 경제적 유인책 제공과 인프라 구축이 필요하며, 양식용 부자의 재활용 의무율도 폐스티로폼 회수율과 같이 상향을 시켜야 한다.

본 논문은 미세플라스틱으로 인한 해양오염을 방지하기 위해서 국내외 해양오염 현황과 정책을 분석하여 개선방향을 제시하였다. 하지만 아직

국내에서 미세플라스틱에 관한 연구자료가 부족함에 따라 정량적인 분석법을 적용하지 못한 한계점이 있다. 이러한 한계를 극복하기 위해서는 모니터링의 지역과 범위의 확대와 배출원별 미세플라스틱의 배출계수 산정 등을 통해 미세플라스틱의 현황과 영향을 상세히 연구할 필요가 있다. 따라서 향후 연구로는 계량적인 분석을 통한 미세플라스틱 저감 방안수립과 이에 따른 사회적비용을 추정하는 연구가 진행되어야 할 것이다.

■ 참고문헌 ■

- 국제환경규제기업지원센터, 2016, 『마이크로비즈(미세플라스틱) 관련 주요 국가별 규제 동향(EU, 미국, 캐나다를 중심으로)』 서울: 국제환경규제기업지원센터.
- 그린피스 동아시아 서울사무소, 2016, 『바다의 숨통을 조이는 미세플라스틱』, 서울: 그린피스.
- 김도경, 2017, “물벼룩을 이용한 미세플라스틱과 니켈의 복합독성 연구: 미세플라스틱 작용기의 영향,” 석사학위논문, 건국대학교, 서울.
- 김인성, 2015, “인천·경기연안 해변에 잔류하는 미세플라스틱의 공간분포 특성,” 석사학위논문, 인천대학교, 인천.
- 대한화장품협회, 2015, 『마이크로 플라스틱 관련 국내 제품현황(15년 생산실적)』, 서울: 대한화장품협회.
- 박정규·간순영, 2014, “잔류성·생물축적성 물질 피해저감을 위한 미세플라스틱(Microplastic) 관리방안,” 『환경정책연구』, 13(2), pp.65-98.
- 식품의약품안전처, 2016, 공고 제2016-656호
 _____, 2016, 『화장품 안전기준 등에 관한 규정-규제영향분석서』, 세종: 식품의약품안전처.
 _____, 2017, 공고 제2017-43호
- 어장관리법 시행규칙, 2013, 해양수산부령 제1호.
- 이종명, 2013, “해변 플라스틱 쓰레기의 크기 그룹간 관계를 이용한 미세 플라스틱 오염 평가,” 박사학위논문, 부경대학교, 부산.
- 이종명·장용창·홍수연·이종수·김경신·최희정 등, 2016, “경남 굴 양식장 스티로폼 부자 쓰레기의 발생량 추정과 저감 방안,” 『해양정책연구』, 31(1), pp.55-79.
- 이혜성·김용진, 2017, “우리나라 미세플라스틱의 발생잠재량 추정-1차 배출원 중심으로,” 『바다: 한국해양학회지』, 22(3), pp.135-149.
- 장용창·이종명·홍선욱·이미정·이종수, 2014, “해양쓰레기 정책 대안의 설계와 평가,”

- 『지방정부연구』, 18(1), pp.75-97.
- 한국포장재재활용사업공제조합, 2016, 『EPR제도의 이해와 실무』, 서울: 한국포장재재활용사업공제조합.
- 한국환경산업기술원, 2013, 『환경정보공개제도 국내외 동향 및 활성화 전략』, 서울: 한국환경산업기술원.
- 한국환경공단, 2014, 『세계 플라스틱 재활용의 전망과 동향』, 인천: 한국환경공단.
- 한국해양과학기술원, 2015, 『미세플라스틱에 의한 연안환경 오염 연구』, 안산: 한국해양과학기술원.
- 한국해양과학기술진흥원·한국해양과학기술원, 2017, 『해양 미세플라스틱에 의한 환경위해성 연구』, 서울: 한국해양과학기술진흥원, 안산: 한국해양과학기술원.
- 해양환경관리공단, 2013, 『제2차 해양쓰레기 관리 기본계획 수립 연구』, 서울: 해양환경관리공단.
- 해양수산부, 2017, 『제3차 어장관리 기본계획』, 세종: 해양수산부.
- 해양수산부·해양환경관리공단, 2016, 『2016 국가 해안쓰레기 모니터링 사업 관리 용역』, (최종보고서), 세종: 해양수산부, 서울: 해양환경관리공단.
- _____, 2017, 『2017 해양쓰레기 관리 연차보고서』, 세종: 해양수산부, 서울: 해양환경관리공단.
- 해양수산부·환경부·해양경찰청, 2014, 『제2차 해양쓰레기 관리 기본계획』, 세종: 해양수산부, 세종: 환경부, 인천: 해양경찰청.
- 홍상희, 2015, “미세플라스틱 해양오염 관련 국제동향,” 안산: 한국해양과학기술원.
- 홍수연·이찬원·홍선욱·이종명·장용창, 2014, “양식장 스티로폼 부자쓰레기로 인한 통영 해변의 오염 평가,” 『한국해양환경·에너지학회지』, 17(2), pp.104-115.
- 환경부, 2014, 『2015년 제품·포장재별 재활용의무율』, 세종: 환경부.
- _____, 2015, 『환경마크제도와 환경마크제품』, 세종: 환경부.
- Andrady, A. L. and M. A. Neal, 2009, “Applications and societal benefits of plastics,” *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 364(1526), pp.1977-1984.
- Boucher, J. and D. Friot, 2017, *Primary microplastics in the oceans: A global evaluation of sources*, Gland, Switzerland: IUCN.
- Derraik, J. G., 2002, “The pollution of the marine environment by plastic debris: A review,” *Marine Pollution Bulletin*, 44(9), pp.842-852.
- Engler, R. E., 2012, “The complex interaction between marine debris and toxic chemicals in the ocean,” *Environmental Science & Technology*, 46(22), pp.12302-12315.
- EPA, U. S., 2013, *Polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) action plan*, Washington, D.C.: U. S. Environmental Protection Agency.

- Eriksen, M., L. C. Lebreton, H. S. Carson, M. Thiel, C. J. Moore, and J. C. Borerro et al., 2014, "Plastic pollution in the world's oceans: More than 5 trillion plastic pieces weighing over 250,000 tons afloat at sea," *PLoS One*, 9(12), e111913, DOI: 10.1371/journal.pone.0111913.
- Galloway, T. S. and C. N. Lewis, 2016, "Marine microplastics spell big problems for future generations," *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113(9), pp.2331-2333.
- GESAMP, 2015, "Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: A global assessment," In P. J. Kershaw (ed.), (IMO/FAO/UNESCO-IOC/UNIDO/WMO/IAEA/UN/UNEP/UNDP Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection), Rep. Stud. GESAMP No.90, p.96.
- Hurley, R., J. Woodward, and J. J. Rothwell, 2018, "Microplastic contamination of river beds significantly reduced by catchment-wide flooding," *Nature Geoscience*, 11, pp.251-257, DOI: 10.1038/s41561-018-0080-1.
- Jambeck, J. R., R. Geyer, C. Wilcox, T. R. Siegler, M. Perryman, and A. Andrady et al., 2015, "Plastic waste inputs from land into the ocean," *Science*, 347(6223), pp.768-771.
- Kathryn, M., D. Santillo, and P. Johnston, 2016, *Plastics in seafood - full technical review of the occurrence, fate and effects of microplastics in fish and shellfish*, Greenpeace Research Laboratories Technical Report (Review) 07-2016.
- Karami, A., A. Golieskardi, C. K. Choo, V. Larat, T. S. Galloway, and B. Salamatinia, 2017, "The presence of microplastics in commercial salts from different countries," *Scientific Reports*, 7, DOI: 10.1038/srep46173.
- Kim, I. S., D. H. Chae, S. K. Kim, S. B. Choi, and S. B. Woo, 2015, "Factors influencing the spatial variation of microplastics of high-tidal coastal beaches in Korea," *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 69(3), pp.299-309, DOI: 10.1007/s00244-015-0155-6.
- Koelmans, A. A., E. Besseling, and W. J. Shim, 2015, Nanoplastics in the aquatic environment: Critical review, In M. Bergmann, L. Gutow, and M. Klages (eds), *Marine anthropogenic litter*, (pp.325-340), New York: Springer International Publishing.
- Microbead-Free Waters Act., 2015, H.R.1321. No. 114-114.
- Moore, C. J., 2008, "Synthetic polymers in the marine environment: A rapidly increasing, long-term threat," *Environmental Research*, 108(2), pp.131-

139.

- Napper, I. E., A. Bakir, S. J. Rowland, and R. C. Thompson, 2015, "Characterisation, quantity and sorptive properties of microplastics extracted from cosmetics," *Marine Pollution Bulletin*, 99(1-2), pp.178-185.
- Neufeld, L., F. Stassen, R. Sheppard, and T. Gilman, 2016, *The new plastics economy: Rethinking the future of plastics*, Geneva: World Economic Forum.
- Ocean Conservancy, 2015, *Stemming the tide: Land-based strategies for a plastic-free ocean*, Ocean Conservancy and McKinsey Center for Business and Environment.
- Plastics Europe, 2015, *Plastics-the facts 2015: An analysis of European plastics production, demand and waste data for 2014*, Brussels, Belgium.
- Shim, W. J., 2013, Effect of expanded polystyrene buoys in marine environment, In S. Hong, J. M. Lee, Y. C. Jang, and J. S. Lee, *Proceeding for the 2013 workshop to increase collection and recycling of styrofoam buoy debris*, Changwon, South Korea, Our Sea of East Asia Network Inc.
- Sussarellu, R., M. Suquet, Y. Thomas, C. Lambert, C. Fabioux, and M. E. J. Pernet et al., 2016, "Oyster reproduction is affected by exposure to polystyrene microplastics," *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113(9), pp.2430-2435.
- Talsness, C. E., A. J. Andrade, S. N. Kuriyama, J. A. Taylor, and F. S. Vom Saal, 2009, "Components of plastic: Experimental studies in animals and relevance for human health," *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 364(1526), pp.2079-2096.
- Tanaka, K. and H. Takada, 2016, "Microplastic fragments and microbeads in digestive tracts of planktivorous fish from urban coastal waters," *Scientific Reports*, 6, 34351, DOI: 10.1038/srep34351.
- UNEP(United Nations Environment Programme), 2011, *UNEP year book 2011: Emerging issues in our global environment*, Nairobi, Kenya: UNEP.
- _____, 2016, *Frontiers 2016 report: Emerging issues of Environmental concern*, Nairobi, Kenya: UNEP.
- Vegter, A. C., M. Barletta, C. Beck, J. Borrero, H. Burton, and M. L. Campbell et al., 2014, "Global research priorities to mitigate plastic pollution impacts on marine wildlife," *Endangered Species Research*, 25 (3), pp.225-247.
- Yang, C. Z., S. I. Yaniger, V. C. Jordan, D. J. Klein, and G. D. Bittner, 2011, "Most plastic products release estrogenic chemicals: A potential health problem

that can be solved,” *Environmental Health Perspectives*, 119(7), p.989.

그린피스 동아시아 서울사무소, 2016, “화장품 회사가 알려주지 않는 비밀,” http://www.greenpeace.org/korea/news/feature-story/2/2016/my_little_plastic_blog4/, [2017.1.2]

_____, 2017, “[성명서] 식약처, 미세 플라스틱 규제 제품군 2% 남짓으로 제한 - 환경보다 기업편 들어준 결정에 유감,” <http://www.greenpeace.org/korea/news/press-release/oceans/2017/statement-on-revised-micro-plastics-regulation-from-MDFS-20170112>, [2017.10.10]

캐나다 환경부 홈페이지, 2016, “Proposed regulations for microbeads in personal care products used to exfoliate or cleanse,” <http://ec.gc.ca/lcpe-cepa/default.asp?lang=En&n=3A8EA7D7-1&offset=1>, [2017.10.10]

한국순환자원유통지원센터, 2016, “재활용의무이행실적,” <http://www.kora.or.kr/epr/record.jsp>, [2017.9.10]

해양쓰레기통합정보시스템, 2017, <https://www.malic.or.kr>.

KOTRA, 2016, “프랑스, 생물다양성 회복 법으로 4개 플라스틱 제품 판매금지,” <http://news.kotra.or.kr/user/globalBbs/kotranews/5/globalBbsDataView.do?setIdx=244&dataIdx=151541>, [2017.9.2]

안대환: 중앙대 기후경제학과에서 석사학위를 취득하고 한국수자원공사 융합연구원 물순환연구소에 재직 중이다. 주요 관심분야는 기후변화·신재생에너지·환경 정책, WEF Nexus 등이다(zzank1900@naver.com).

김정인: 미국 미네소타 대학에서 환경경제학 박사학위를 취득하고 포항제철 경영연구소 수석 연구원을 역임한 후 2000년부터 중앙대학교 경제학부 교수로 재직 중이다. 주요 저서로는 『녹색성장 1.0』, 『물과 인권』, 『지속가능한 사회』, 『기후변화와 인간복지』, 『그린잡』(Green Job), 『전환기의 북한경제』 등 다수가 있다. 이외에 배출권 거래제, 기후변화 관련 다수의 학술지가 있다(jeongin@cau.ac.kr).

투 고 일: 2018년 04월 12일

심 사 일: 2018년 04월 18일

게재확정일: 2018년 07월 15일