

미세플라스틱 해양오염 관련 국제동향

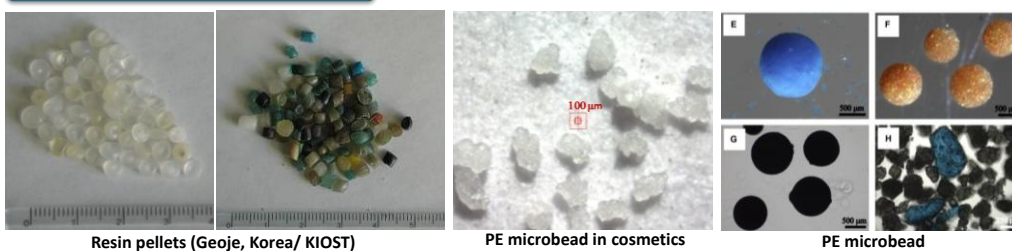
홍상희 박사, 남해연구소 책임연구원

이메일: shhong@kiost.ac.kr

1. 서론 (배경)

미세플라스틱(microplastics)이란 의도적으로 제조되었거나 기존 제품이 조각 나 5mm 이하로 미세화된 합성 고분자화합물로 정의할 수 있다(그림 1). 2004 년에 영국의 Thompson 박사가 현미경 수준에서 식별되는 미세플라스틱의 양이 해양환경에서 증가하고 있다는 연구 결과를 Science 지에 발표하면서 'Microplastics'라는 용어가 처음으로 사용되기 시작하였다(Thompson et al., 2004). 미세플라스틱은 생성 기원에 따라 크게 두 가지로 구분된다. 의도적으로 제조된 미세플라스틱은 1 차 미세플라스틱(primary microplastics)이라 부르는데, 플라스틱 제품의 원료 로 사용되는 레진펠렛(pre-production resin pellet), 세안제나 치약에 들어 있는 플라스틱 알갱이, 농업용 연마제 등이 포함된다. 최근, 1 차 미세플라스틱의 사용처와 제품이 늘어나는 추세이며, 앞으로도 그 사용처는 확대될 것으로 예상하고 있다. 2 차 미세플라스틱은 플라스틱 제품이 사용되는 과정이나 버려진 후, 인위적으로 또는 풍화에 의해 조각 나 미세화된 것을 가리킨다. 두 종류를 비교 평가한 조사 자료는 없으나, 2 차 미세플라스틱의 양이 1 차 미세플라스틱에 비해 환경 내에 월등히 많을 것으로 예상하고 있다.

● 1차 미세플라스틱



● 2차 미세플라스틱

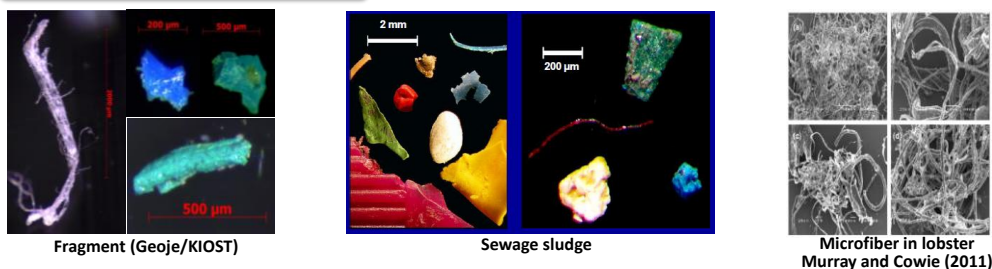


그림 1. 해양 미세플라스틱의 종류

해양에서 미세플라스틱이 최초로 발견된 것은 1970 년대로 미국 동부 해안과 영국 남서부 해안의 수표면, 해변 및 해산 어류의 위장에서 수mm 크기의 플라스틱 조각이 발견되었다(Carpenter et al., 1972; Carpenter and Smith, 1972; Morris and Hamilton 1974). 그러나 그 후 30 년간 크게 주목 받지 못하다가 2004 년 Thompson 박사의 논문(Thompson et al., 2004)을 기점으로 미세플라스틱 이슈가 재조명되기 시작했다. 'Web of Science'를 통해 미세플라스틱을 주제로 다룬 연구논문을 검색하면, 2005-2011 년에 10 편이었던 것이 2012-2014 년에는 129 편으로 그 편수가 급격하게 증가하고 있음을 알 수 있다. 이는 미세플라스틱이 국제적인 환경 이슈로 급부상하면서 각 국가에서 미세플라스틱 관련 연구 사업이 증가하고 있으며, 연구자들의 관심 역시 이 시기에 증대했음을 명확하게 보여주는 것이다.

해안, 외딴 섬, 대양, 극지방에 걸친 지구 전체에 플라스틱 조각이 널리 분포한다는 사실이 점차 밝혀지면서 미세플라스틱 오염은 전지구적 환경 이슈로 부상(Barnes et al., 2009). 2012 년, 국제해사기구(IMO), 국제연합식량농업기구(FAO), 유네스코 정부간해양위원회(UNESCO-IOC), 국제환경계획(UNEP) 등 국제기구들이 공동으로 지원하는 국제해양환경전문가그룹(GESAMP WG40)이 결성되어 운영되고 있으며, 2015 년 초에는 미세플라스틱의 연구동향과 주요 이슈를 리뷰한 1 차 보고서를 발표하였다(GESAMP, 2015). 유네스코의 정부간해양위원회(UNESCO-IOC)는 2010 년에 4 대 중기전략 목표 중 하나인 '해양 생태계의 건강보호' 분야에서 미세플라스틱을 4 대 주요 이슈 중의 하나로 선정하였으며, 유엔환경계획(UNEP)은 2014 년에 갱신한 국제환경 현안문제에 미세플라스틱을 포함하는 '플라스틱 해양쓰레기'를 포함시켰다.

2014 년에 개최된 국제연합환경총회(UNEA)에서 미세플라스틱에 관한 결의안이 채택되었으며, 해양 플라스틱 쓰레기와 미세플라스틱에 관한 현안과 연구동향을 종합적으로 검토하여 2016 년에 개최되는 2 차 총회에서 보고할 것을 상임이사에게 공식적으로 요청하였다. 이러한 국제사회의 움직임은 미세플라스틱을 포함한 해양 플라스틱 오염 이슈가 향후 국제협약으로 발전될 가능성을 강하게 시사한다.

국제기구에서 과학자 그룹에게 던지는 질문은 '현재 해양환경 중 미세플라스틱 오염은 얼마나 심각한 수준인가?'이다. 하지만 미세플라스틱은 최근에 대두된 이슈로서 미세플라스틱의 오염 수준과 해양생물에 대한 위해성을 진단하기에는 아직 과학적인 자료가 턱 없이 부족한 실정이다. 위해성을 규명하기 위해 확보되어야 할 과학적인 정보, 현장과 실험에서 입증되어야 할 가설들, 자료의 획득과 가설의 입증을 위해서 선행되어야 할 기술의 개발 등 다양한 분야의 연구개발이 추진되어야 할 것이다.

2. KIOST 관련 연구사업 소개

2.1 필요성

KIOST 는 국내에서 처음으로 미세플라스틱 연구를 시작한 기관으로, 2011 년 ‘미세플라스틱의 해양오염과 생물영향 연구 기획’ 사업을 시작으로 2012 년과 2014 년에는 미세플라스틱에 관한 기획연구사업 1 건과 미세플라스틱을 포함한 해양 플라스틱쓰레기 전반에 대한 기획연구사업 2 건(발주처: 해양환경기술진흥원, 해양환경관리공단)을 수행하였다. 2011 년의 기획 연구를 기초로 2012-2014 년 동안 기관사업으로 우심해역(남해 거제도 해안과 근해)을 대상으로 ‘미세플라스틱의 연안 오염에 대한 연구’를 수행하였으며, 해당 연구를 통해 미세플라스틱 오염에 대응하기 위한 국가연구개발사업 개발의 필요성과 시급성에 대한 과학적 근거를 확보할 수 있었다.

주요 연구결과와 그 시사점을 정리하면 다음과 같다.

1) 우심해역 모래해안과 해수 표층에서 채취한 ‘해양 미세플라스틱’의 양은 전세계 최상위 수준으로, 우리나라 연안해역 전반에 걸친 미세플라스틱 오염 수준의 평가가 필요하다.

2) 스티로폼 해양쓰레기에 서식하는 해양생물(지렁이류, 담치류)의 체내에서 스티로폼 조각이 일부 확인되어, 국내 연안에 서식하는 생물의 미세플라스틱 섭식 범위와 섭식 정도, 생물학적 영향에 대한 과학적 규명이 필요하다. 유용수산물의 미세플라스틱 섭취는 수산물의 질적 저하로 이어져 국민 건강의 안전성과 수산업에 영향을 미칠 수 있어, 향후 사회적으로 민감한 사안이 될 수 있다.

3) 스티로폼 해양쓰레기에 난연제 물질이 함유되어 있는 사실이 처음으로 확인되었다. 스티로폼 부자와 그 알갱이는 우리나라 연안에서 가장 풍도가 높은 해양쓰레기이기 때문에 조각화와 미세화를 통해 독성물질이 연안으로 확산될 것이 우려된다. 따라서, 독성물질의 오염원이자 매개체로서의 미세플라스틱의 역할과 영향에 대한 연구가 필요하다.

앞서 언급했듯이 국제기구에서 전 세계 미세플라스틱 과학자 그룹에게 던지는 질문은 “현재 해양환경 중 미세플라스틱 오염은 얼마나 심각한 수준인가?”이다. 이는 국제적인 행동이 필요한지를 결정하기 위한 것이다. 이와 비슷하게, 우리 정부가 미세플라스틱 오염에 대한 대책과 이행계획을 수립하고 정책결정을 하기 위해서는 “현재 우리나라 연안의 미세플라스틱 오염은 환경에 위해한 수준인가?”라는 질문에 답할 수 있는 연구와 조사가 필요하다.

KIOST 의 시범연구를 통해 확인된 연구 필요성을 근거로, 2015 년 5 월에 해양수산부의 ‘해양수산환경기술개발사업’의 일환으로 ‘해양 미세플라스틱에 의한 환경위해성 연구’ 사업이

착수되었다. KIOST 가 주관하며 안전성평가연구소가 협동기관으로 참여하는 본 사업은 2015 년부터 2020 년까지 6 년 동안 수행될 예정이다.

2.2 주요내용

본 사업이 설정한 최종 목표는 ‘미세플라스틱의 오염과 영향을 평가하기 위한 요소기술을 개발하고 우리나라 해양환경에서 미세플라스틱에 의한 환경위해성을 규명하는 것’이다. 환경위해성평가의 기본 틀에 따라, 노출평가(exposure assessment)와 영향평가(effect assessment)를 위한 요소기술을 우선적으로 확립하고 확립된 기술을 바탕으로 국내 연안해역의 미세플라스틱 오염평가를 시행하여 최종적으로 우리나라 해양환경의 미세플라스틱에 의한 위해성 수준을 제시할 예정이다. 중점 연구개발 분야로서 오염평가, 유입·이동·확산, 풍화(미세화), 생물영향을 설정하고 있다. 연안해역과 외해역, 해변과 부유를 아우르는 국내 해양환경 전반에 걸친 미세플라스틱 오염수준과 생물축적 현황을 규명함으로써, 환경 중 미세플라스틱의 노출수준과 실태를 종합적으로 평가할 것이다. 또한, 2012 년 국제해양환경전문가그룹이 선정한 우선연구대상 분야인 전지구적 분포 양상, 플라스틱 풍화와 미세화, 유해물질 이동, 해양생물 피해에 집중하여 연구를 추진할 계획이다. 미세플라스틱 오염평가 종합지침서, 전국 해변·주요만·외해역 미세플라스틱 오염지도, 확산 및 미세화 모형, 미세플라스틱 기원 관리대상 오염물질 목록, 주요 해양생물에 대한 미세플라스틱 독성 기준값, 미세플라스틱에 의한 국내 연안의 환경위해성 수준 등이 본 연구사업의 주요 성과물로 제시될 수 있으며, 이는 향후 해양쓰레기 국가 저감정책 수립과 국제협약 대응의 과학적 근거로 활용될 수 있다.

3. 국제동향

3.1 주요 쟁점별 논의 동향

해양 미세플라스틱은 크게 두 가지 측면에서 해양 플라스틱쓰레기 오염의 패러다임을 변화시키고 있다: 1)생물 영향의 확대 2) 독성물질의 이동 매개체. 밧줄, 그물, 비닐봉지 등의 대형 플라스틱 쓰레기의 경우, 상대적으로 해양생물의 ‘얽힘(entanglement)’영향이 ‘삼킴(ingestion)’에 비하여 큰 데 반해, 미세플라스틱의 경우 삼킴을 통해 영향을 미친다. 플라스틱 입자의 크기가 작아지면 이들을 섭취하고 영향을 받는 생물이 범위가 해양포유류, 조류에서부터 해양 무척추동물까지 크게 확대될 수 있다(그림 2). 북대평양 환류대에서 채집한 어류, 북유럽 폴마슴새, 바다쇠오리류, 브라질 마젤란 펭귄의 위장에서 미세플라스틱 조각이 확인되었으며, 유럽 연안의 바다가재, 홍합류 등의 무척추동물의 체내에서도 미세플라스틱이

확인되었다. 실제, 플라스틱 해양 쓰레기의 크기가 점차 작아지면서 이들을 먹는 해양 생물 종의 숫자가 지속적으로 증가하는 추세이며(CBD, 2012), 나노미터 크기로 작아질 경우 생물에 미치는 독성학적 기작과 영향의 패러다임이 다시 한번 크게 바뀔 수 있다. KIOST 에서 수행한 1 가속풍화실험을 통해 스티로폼으로부터 나노미터 크기의 초미세 미세플라스틱 입자가 생성될 수 있음이 최초로 확인되었으나, 자연적인 풍화 조건에서 초미세 플라스틱이 생성될 수 있는지, 실제 해양환경에 존재하는지에 대한 규명이 필요하다.

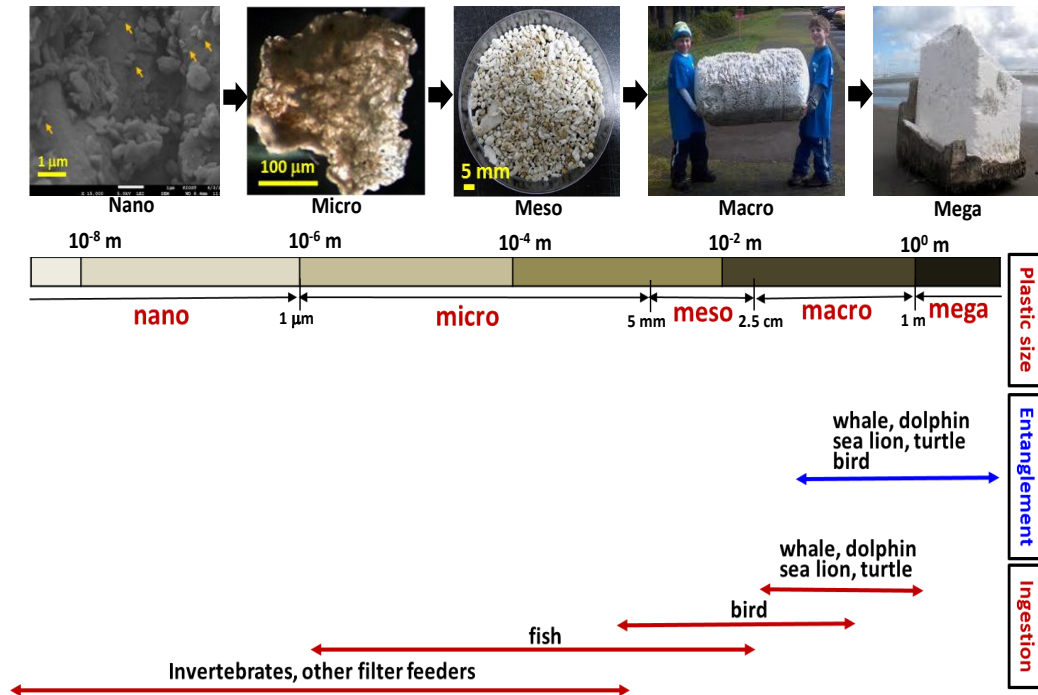


그림 2. 플라스틱 해양쓰레기의 크기에 따른 생물영향. 출처: GESAMP (2015)

※ 크기가 큰 쓰레기는 얽힘의 위험이 높고 작은 쓰레기일수록 섭취 피해가 큼

미세플라스틱에 함유된 오염물질은 기원에 따라 흡착성 오염물질과 플라스틱 첨가제, 두 종류로 구분할 수 있다. 흡착성 물질은 플라스틱 자체에 포함되지 않았으나, 플라스틱(입자 또는 제품)이 해양으로 유입된 뒤 흡착된 물질을 통칭한다. 플라스틱은 석유기원의 탄화수소를 기반으로 만들어진 고분자 화합물로 높은 소수성(hydrophobicity)을 갖고 있어 소수성이 강한 잔류성유기오염물질(persistent organic pollutants)에 대해 높은 흡착특성을 보인다. 크기가 작아진 미세플라스틱은 큰 플라스틱에 비해 비표면적이 커져 주변 해수 중에 존재하는 잔류성유기오염물질을 중량대비 더 많이 흡착하게 된다.

플라스틱 입자는 주변 해수에 비해 잔류성유기오염물질을 10^5 - 10^6 배의 높은 농도로 축적할 수 있다(Mato et al., 2001). 플라스틱에는 제조과정에서 성형의 용이성과 플라스틱의 기능성을 향상하기 위해 다양한 화학물질이 첨가되어 있다. 즉, 폴리머의 기본 골격 사이에

가소제, 난연제, 열·자외선 안정제, 산화방지제 등의 다양한 화학물질이 혼합되어 있으며, 플라스틱 제품이 사용되는 과정이나 분해되는 과정에서 환경으로 용출될 수 있다(Rochman et al., 2013). 이와 같이 흡착성 또는 첨가성 오염물질이 함유된 미세플라스틱을 해양생물이 섭식하였을 경우, 생물은 미세플라스틱에 의한 물리적인 영향과 더불어 미세플라스틱으로부터 오염물질을 흡수하여 2 차적인 영향을 받을 수 있다. ‘미세플라스틱이 해양생물에 독성물질을 전달하는 매개체이며 해양생물의 건강성에 영향을 미칠 수 있다’는 가설을 규명하기 위한 연구가 최근 활발히 추진되고 있다.

미세플라스틱이 독성물질의 전달자가 될 수 있고 생물의 생리적 기능에도 영향을 미칠 수 있다는 수 편의 연구논문이 발표되었으나(Browne et al, 2013; Besseling et al, 2013), 아직까지 실제 환경에서는 증명된 바 없다. 한편, 이에 대해 회의적인 학자들도 있다. 이들은 해양생물에 미세플라스틱이 미치는 영향은 미약하며 오히려 독성물질을 제거하는 역할을 할 수 있다고 주장한다(Koelmans et al., 2013). 미세플라스틱이 해양생태계에 미치는 영향을 규명하기 위한 연구가 2010 년 이후 급물살을 타고 있으나, 대부분이 실험실에서 확인하는 수준이며, 현재까지 구축된 정보 역시 매우 미약한 수준이다. 무엇보다도 실제 환경에서의 영향이 규명되어야 하며, 이를 근거로 미세플라스틱의 위해성이 평가되어야 할 것이다.

3.2 KIOST 연구사업에 미치는 영향

해양쓰레기 문제는 해양오염 이슈 중 가장 오래되고 심각한 이슈임에도 불구하고 정부는 해양쓰레기의 수거 및 사후 처리 위주의 기술개발에 투자를 집중하여 왔을 뿐, 해양쓰레기 오염 대응 기술개발을 위한 투자에는 상당히 인색하였다. 미세플라스틱 오염에 대해 과학계와 국제기구가 주목하기 시작하면서 해양플라스틱쓰레기 전반으로 그 관심이 확대 되어가는 분위기이며, 선진국에서 여러 국가로 점차 확산되는 추세이다. 대부분의 해양오염 이슈가 선진국을 중심으로 주도되었고 우리나라의 경우 십여 년 뒤쳐져 따라갔던 것임에 비하여, 미세플라스틱은 비교적 빠르게 이슈를 파악하고 연구를 시작한 경우에 해당한다. 전지구적 미세플라스틱 오염평가의 필요성이 제기되고 있고 향후 국제협약으로 확대될 가능성도 높아지고 있어, 해수부의 미세플라스틱 연구사업 착수는 상당히 시의적절하다. 앞서 언급했듯이, KIOST 연구사업의 목표와 내용이 국제전문가그룹이 제기하는 핵심 질문을 근간으로 설정되었기 때문에, 연구사업을 통해 얻는 결과들이 국제사회가 미세플라스틱의 환경 위해성 여부를 종합적으로 평가하는데 있어 근거 자료로 활용될 수 있으리라 기대한다. 또한 정부의 국제 해양쓰레기 관련 협의의 대응자료로서도 유용하게 활용될 수 있다.

4. 결론 및 정책 제언

해수부의 미세플라스틱 사업은 2012 년에 KIOST 가 수행한 '해양쓰레기 오염대응 기술개발 기획 연구(발주처: 해양환경기술진흥원)' 사업을 근거로 2015 년에 사업화되었다. 해당 기획연구에서는 다섯 개 분야(유입·분포, 이동·예측, 미세플라스틱, 생물영향, 경제적 피해)에 대한 연구개발 사업 추진안을 제안하였으나, 이 중 미세플라스틱 만이 사업화되었다. 미세플라스틱 오염은 해양플라스틱 오염의 한 축으로 해양플라스틱 쓰레기 문제가 해결되지 않는 한 미세플라스틱 오염 저감은 불가능하다. 중대형 해양플라스틱에 대한 연구개발사업을 함께 추진하여 통합적인 플라스틱 해양오염 평가와 저감방안을 모색할 필요가 있다.

해양 플라스틱 쓰레기 문제는 대량 생산과 대량 소비에 따른 불가피한 문제로서, 플라스틱 해양쓰레기의 문제를 해결하기 위해서는 공무원, 플라스틱 산업계, 소비자, 어업인, 과학자, 시민단체 등의 이해당사자 간의 소통이 매우 중요하다. 또한 정부 및 산업계의 대비, 연구 개발, 교육 홍보 등을 위한 종합적 정책 과제와 추진 방안이 제시되어야 할 것이다. 일반적으로 선진국의 산업계는 환경과 관련한 사회적 이슈에 적극 참여하여 대처하고 있는데, 대표적인 예로서 전 세계 플라스틱 생산자 협회(Global Plastics Association)는 해양쓰레기에 관한 연구, 교육, 해안 청소 등의 프로그램들을 적극 지원하고 있다(Global Plastics Association, 2014). 또한 로레알, P&G, 존슨 앤 존슨 등은 화장품에 함유된 플라스틱 비드에 대한 문제가 제기되자 자사 제품 속 마이크로비드의 사용을 자체적으로 2017 년까지 중단하기로 했다. 이에 반해 우리나라의 산업계는 자료와 정보제공을 거부하고 폐쇄적인 자세로 일관하고 있다. 우리나라의 해안 쓰레기 70% 이상이 어업기인이므로, 해양쓰레기의 저감을 위해서는 어업인의 교육과 인식을 높이는 것 역시 절실히 필요하다(Jang et al., 2014). 또한, 환경부와 해양수산부로 이원화 되어있는 환경관리체계를 통합하여 범 부처 간의 협력체계를 구축할 필요가 있다.

최근에 Science 지에 발표된 논문에서는 전세계에서 가장 많은 플라스틱 쓰레기를 해양으로 유입시키는 지역을 아시아로 지목하고 있다(Jambeck et al., 2015). 우리 정부가 아시아 지역에서 해양쓰레기 이슈를 리드할 의지를 가지고 해양쓰레기 대응 국제 네트워크 구축, 국제협력 프로그램 운영 등을 적극 지원한다면 국제사회의 해양환경보호에 주도적인 역할을 담당할 수 있을 것이다.

참고 문헌

- Besseling E, Wegner A, Foekema EM, van den Heuvel-Greve MJ, Koelmans AA (2013) Effects of Microplastic on Fitness and PCB Bioaccumulation by the Lugworm *Arenicola marina* (L.). Environ Sci Technol 47:593-600
- Browne MA, Niven SJ, Galloway TS, Rowland SJ, Thompson RC (2013) Microplastic moves pollutants and additives to worms, reducing functions linked to health and biodiversity. Curr Biol 23:2388-2392
- Carpenter EJ, Anderson SJ, Harvey GR, Miklas HP, Peck BB (1972) Polystyrene spherules in coastal waters. Science 178(4062):749-750
- Carpenter EJ, Smith KL (1972) Plastics on the Sargasso Sea surface. Science 175:1240-1241
- Convention on Biological Diversity (CBD) and Global Environmental Facility (GEF) (2012). Impacts of marine debris on biodiversity: Current status and potential solutions, montreal, Technical Series 67:61
- GESAMP (2015) "Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: a global assessment" (Kershaw, P. J., 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, 96 p.
- Global Plastics Association (2014). The Declaration of the Global Plastics Associations for Solutions on Marine Litter Progress Report – 2014. 29pp.
- Jambeck JR, Geyer R, Wilcox C, Siegler TR, Perryman M, Andrady A, Narayan R, Law KL (2015) Plastic waste inputs from land into the ocean. Science 347(6223):768-771
- Koelmans AA, Besseling E, Wegner A,; Foekema EM, (2013) Plastic as a carrier of POPs to Aquatic Organisms: A Model Analysis. Environ Sci Technol 47 (14):7812-7820
- Mato Y, Isobe T, Takada H, Kenehiro H, Ohtake C, Kaminuma T (2001) Plastic resin pellets as a transport medium for toxic chemicals in the marine environment. Environ Sci Technol 35:318-324
- Morris AW, Hamilton EI (1974) Polystyrene spherules in the Bristol Channel. Mar Pollut Bull 5(2):26-27
- Murray F, Cowie PR (2011) Plastic contamination in the decapod crustacean *Nephrops norvegicus* (Linnaeus, 1758). Mar Pollut Bull 62(6):1207-1217
- Rochman CM, Hoh E, Hentschel BT, Kaye S (2013) Long-term field measurement of sorption of organic contaminants to five types of plastic pellets: Implications for plastic marine debris. Environ Sci Technol 47(3):1646 -1654
- Thompson RC, Olsen Y, Mitchell RP, Davis A, Rowland SJ, John AWG, McGonigle D, Russell AE (2004) Lost at sea: Where is all the plastic? Science 304:838-838