

국내외 IP 분석보고서

플라스틱의 해양 배출 방지 및 수거 기술

본 보고서는 환경 산업 및 기술 관련 이해를 높이기 위한 국내외 전문가의 보고서이며, KEITI의 공식 의견이 아님을 알려드립니다.

플라스틱의 해양 배출 방지 및 수거 기술

- 서론
- 조사방법
- 조사결과
- 토의
- 결론
- 참고문헌



플라스틱의 해양 배출 방지 및 수거 기술

국내 IP 문철환

서론

플라스틱 사용이 급증하고 폐기물 관리 정책의 실패로 플라스틱에 의한 환경오염이 만연하고 있다. 전문가의 추정에 따르면, 전 세계에서 사용하는 플라스틱의 최대 10% 정도가 바다로 흘러들어가고, 이러한 추세라면 2050년에는 바다에 어류보다 플라스틱이 더 많아질 것이라고 예상했다. 환경으로 배출된 플라스틱은 동식물들의 서식지를 파괴하고 해양 동식물들의 신체에 손상을 유발하며, 플라스틱에 흡착된 오염물질이 플라스틱과 함께 장거리를 이동하여 새로운 지역을 오염 시킬 뿐만 아니라 바닥층에 쌓여 저서층을 서식지로 하는 동식물들에게 장기적으로 위해를 미치기도 한다. 또한 플라스틱 제조시 첨가되는 중금속이나 발암성의 화학물질이 바닷물에 의해 용출되기도 한다. 수중 동식물이 플라스틱이나 플라스틱 표면에 흡착된 오염물질, 그리고 플라스틱에서 용출된 화학물질을 섭취하면 먹이사슬에 의해 결국 인간에게까지 영향을 미치게 된다. 문헌에 따르면 인간은 음식과 음료를 통해 연간 39,000 ~ 52,000개의 미세플라스틱(microplastics; MPs)을 흡입하는 것으로 알려져 있다. 플라스틱의 이러한 위해도 불구하고 많은 국가들이 플라스틱을 단순히 고형폐기물로만 분류하고 있다.

일부 국가와 유럽연합, UN에서는 플라스틱에 의한 환경오염을 방지하는 법안을 제정하였으며, 각 국의 지방정부들도 일회용 비닐봉투와 같은 플라스틱 사용을 저감하기 위해 세금부과 등의 정책과 함께 재이용/재활용을 장려하고 있다. 또한 미국과 일부 유럽 국가들은 화장품에 microbeads의 사용을 제한하고 있다. 이러한 노력에도 불구하고 플라스틱이 가진 장점으로 인해 플라스틱의 사용은 점차 증가하고 있고 폐기물 관리정책의 실패로 인해 플라스틱 오염 또한 계속 증가하고 있다. 따라서 플라스틱에 의한 환경오염을 방지하기 위해서는 정부의 정책과 함께 산업부문과 개인들의 사용 저감 노력이 함께 이루어져야하며, 여기에 플라스틱의 배출을 방지하고 이미 배출된 플라스틱을 제거할 수 있는 기술들이 뒷받침 되어야 한다. 본 보고서에서는 플라스틱의 수계 배출을 방지하는데 사용되는 기술들과 이미 배출된 플라스틱을 수거하는

기술들을 조사/검토했고, 이들을 제거 방식 및 대상을 기준으로 분류하였다. 그동안 플라스틱 오염의 증가에도 불구하고 처리기술은 큰 발전을 보이지 못했다. 게다가 이미 개발된 기술들에 대한 조사와 검토도 이루어지지 않아 참고할 수 있는 자료가 거의 없었다. 본 보고서에서는 플라스틱 처리기술들을 정리한 문헌(참고문헌 1)을 참조하여 이들 기술들의 사용 방법에 대해 논의하고자 한다.

●● 조사방법

플라스틱 처리기술의 조사를 위해 학술문헌, 인터넷, 특허 등과 같은 다양한 자료를 검색하였다. 그러나 대부분의 정보가 인터넷에 산재되어 있었기 때문에 뉴스매체, 보도자료, 전문가의 평가가 이루어지지 않은 문헌 등의 인터넷 조사에 집중했다. 인터넷 검색으로도 확인되지 않은 기술들은 관련 분야 전문가 컨설팅을 통해 추가했다.

인터넷 자료는 공식보도자료, 이벤트 및 이와 관련된 정보를 다루는 매체 등을 위주로 조사했다. 이를 조사하기 위해 연산자검색조건을 개발했고, 구글 검색을 통해 총 3,910개의 기사를 찾았다. 이 중 주제와 맞지 않거나 중복된 내용을 제외한 100개 정도의 기사를 검토했다. 유사한 기술의 경우, 기술의 목적, 기작, 설치 방법, 브랜드와 판매처 등을 조사하여 별도의 기술로 분류할지 여부를 판단하였다.

조사/검토된 기술은 인벤토리(참고문헌 2)에 저장되었다. 인벤토리에 저장할 때 기술별로 별도의 코드를 부여했고 이것이 플라스틱의 수계 배출을 방지하는 기술인지(이하 "방지기술") 또는 배출된 플라스틱을 수거하는 기술인지(이하 "제거기술" 또는 "수거기술")를 구분했으며, 양쪽에 모두 적용이 가능한 기술들은 배출 방지기술로 분류했다. 또한 처리대상 플라스틱이 macroplastic인지 아니면 microplastic인지를 구분하였으며, 처리대상 플라스틱의 크기를 수치로 제시한 경우에는 5mm 이하를 microplastic으로 분류했다. 인벤토리에는 해당 기술의 개발연도, 개발지역, 실제 적용여부 등이 함께 기재되었다. 개발연도가 불분명하면 인터넷에 게시된 날짜가 가장 빠른 것을 개발연도로 정했다.

인벤토리를 구축한 후 구글을 이용하여 추가적인 인터넷 정보를 수집하고, Google Scholar와 Duke 대학교 도서관 검색서비스를 이용하여 peer-review된 학술문헌을 조사했다. 또한 미국 특허와 상표권도 추가적으로 검색했다. 마지막으로 이러한 노력에도 불구하고 검색되지 않은

기술들은 전문가(UN Reboot the Ocean Challenge "End Waste Entering the Ocean"의 멘토 중 한 명인 Zoie Diana와 Ubuntu의 공동 창업자) 컨설팅을 통해 추가했다.

●● 조사결과

연산자검색조건으로 3,910건의 구글 뉴스 기사를 선별했으며, 여기서 39개의 방지 및 제거 기술을 확인할 수 있었다. 학술문헌 검색을 통해서도 추가적인 기술을 확인하지 못했지만 인터넷 검색을 통해 확인된 기술들에 대한 추가적인 정보를 취합할 수 있었다. 특허와 상표권 검색으로 1개의 기술을 추가했고, 전문가 컨설팅에서 12개의 기술이 추가되어 총 52개의 기술을 인벤토리에 구축했다(참고문헌 [1]의 Table 2 참조). 52개의 기술 중 14개가 방지기술, 38개는 제거기술로 분류되었고, 39개는 macroplastic을 처리대상으로 하고, 9개는 MP, 4개는 두 종류 모두를 처리대상으로 하고 있었다.

제거기술이 방지기술보다 많았고, 방지기술 중에는 macro와 micro를 대상으로 하는 비율이 거의 동등했으나 제거기술은 macro를 대상으로 하는 기술이 월등히 많았다. 또한 모든 기술이 상용화된 것은 아니며, 일부 기술은 현재 시험중인 것으로 확인되었다.

52개의 기술들을 개략적으로 살펴보면 다음과 같다. 플라스틱이 수계로 배출되는 것으로 방지하는 기술들은 합류식하수관월류수(combined sewer overflows; CSOs) 처리기술과 유사한 형태이거나(대표적으로 In-Line Separator), 방류구나 수로에 그물망을 설치하여 흐르는 물과 함께 이동하는 플라스틱을 수집하는 형태(Netting Trashtrap System 등), 그리고 스트레이너와 같이 여과 기능을 하는 형태(PumpGuard 등)의 기술들이 존재한다. 세탁시 발생하는 미세한 합성섬유를 세탁기 내에서 제거할 수 있는 세탁볼 형태의 기술(Cora Ball)도 존재하고, 해파리가 생식중이거나 스트레스를 받으면 움츠러드는 특징을 이용하여 하수 처리수 등에 존재하는 MP를 제거하는 기술(GoJelly Project)도 존재한다. 이외에도 센서를 이용하여 배에 선적된 그물의 무게를 측정하여 회항할 때 동일한 무게의 그물을 선적하고 있는지 여부를 자동으로 판별하는 기술(CLEVER-Volume)도 존재하고, 테니스공을 보관하는 플라스틱통을 낚시줄 보관함으로 사용하고자 하는 운동(Stow it, Don't Throw it)도 방지기술로 분류되어 있다.

제거기술로는 대규모의 확산방지망(booms)을 설치하여 해수면에 표류하는 플라스틱을 수거하는 방법(Ocean Cleanup System), 그물을 이용하여 수면에 표류하는 플라스틱을 수거하는

방법(Holy Turtle), 펌프를 이용하여 해수면의 물을 흡입한 후 그물로 플라스틱만 선별하여 수거하는 방법(seabin 등), 이동하는 배에 컨베이어 벨트를 설치하여 해수면의 플라스틱을 수거하는 방법(The Interceptor) 등이 있고, 해변에 존재하는 플라스틱을 스키머와 컨베이어 벨트로 수거한 후 체거름 등으로 선별하여 플라스틱을 제거하는 기술(Barber Surf Rake)로 분류할 수 있다.

●● 토의

확인된 52개의 기술중에서 Mr. Trash Wheel은 미국의 볼티모어, 매릴랜드에서 사용되고 있으며, 지난 3년간 1백만 파운드의 폐기물을 처리하여 성능을 검증받았다. 이와 유사한 기술인 Watergoat Trash Trap, In-line Litter Separator, Holy Turtle 등이 미국, 호주, 온두라스 등에서 사용되고 있다. 하지만 이러한 기술의 적용만으로는 플라스틱 오염 문제를 해결할 수 없다. 플라스틱의 방지 및 제거 기술들을 어떻게 적용하는 것이 효과적인지, 이 기술의 적용시 발생하는 비용, 어디에 적용할 것인지에 대한 고민이 필요하다. 본 장에서는 이러한 각각의 이슈에 대해 논의해보고자 한다.

1. 전 지구적 적용을 위한 노력 필요

플라스틱은 해양뿐만 아니라 지표면, 지하 등 우리의 생활환경 주변에 만연하게 퍼져 있으므로 현재의 플라스틱 오염을 방지하기 위해서는 전 지구적 노력이 필요하다. 플라스틱과 관련된 제대로 된 폐기물 관리정책 없이 해양에 존재하는 플라스틱만을 제거한다면, 2020년 ~ 2030년 사이에 발생하는 해양플라스틱 135MMT(million metric tonnes)의 단지 15% 밖에 제거하지 못한다. 플라스틱의 해양 배출량을 2010년 수준(79.42MMT)으로 낮추려면 25%의 추가 제거가 필요하다. 이를 위해 Ocean Cleanup Project와 같은 기술(바다위에 C자형의 펜스를 올려 놓고 조류나 바람의 방향에 따라 해수면에 표류하는 플라스틱을 수거하는 기술) 1,924개를 동시에 적용해야 한다. 환경으로 배출된 플라스틱은 해양이나 바람에 의해 먼 거리를 이동하므로 국지적이 아니라 전 지구적인 환경오염이다. 따라서 전 지구적으로 플라스틱 오염을 방지하고 제거할 수 있는 기술들을 동시에 적용해야 효과를 볼 수 있다.

2. 수계 배출 방지에 집중

플라스틱이 환경으로 배출되면 강이나 하천을 통해 최종 종착지인 바다로 유입된다. 바다로 유입된 플라스틱은 조류를 따라 먼 거리를 이동하기도 하고, 해변으로 밀려들어와 모래사장에 머무르면서 바람에 날리는 모래속으로 퇴적되기도 한다. 따라서 플라스틱에 의한 환경오염을 방지하기 위해서는 플라스틱이 환경으로 배출되지 못하게 하는 것이 무엇보다도 중요하다. 따라서 제거기술보다는 방지기술이 더 중요함에도 불구하고 인벤토리 구축을 위해 조사된 기술들에는 제거기술이 더 많았다.

플라스틱이 수계로 유입되는 주된 경로는 하수 처리수의 방류와 강우시 지표면의 플라스틱 유입이다. 따라서 인벤토리에 구축된 방지기술은 하수 처리수와 강우 유출수에 존재하는 플라스틱을 제거하는 형태가 대부분이다. PumpGuard는 mesh망을 이용하여 하수 처리수 또는 강우 유출수에 존재하는 플라스틱을 최대 97%까지 제거할 수 있다. 그러나 이들 배출원의 통제만으로는 플라스틱의 수계 유입을 방지할 수 없으며, 다른 주요 배출원인 산업부문(플라스틱 pellet의 제조, 운송, 이용 과정)과 농업 및 어업 부문에서 발생하는 플라스틱이 수계로 배출되지 않게 방지하는 기술 개발도 필요하다.

산업부문에서 누출되는 플라스틱을 방지할 수 있는 기술로 CLEVER-Volume이 유일하게 인벤토리에 올라있다. 이 기술은 배위에 적재되어 있는 폐기물의 양을 측정할 수 있는 모니터링 도구이며, 배가 출항하고 입항할 때의 폐기물 양을 모니터링하여 부적절한 처리를 확인할 수 있다. 낚시 도구가 수계로 유입되는 것을 방지하는 기술로는 Stow It Don't Throw it이 있다. 낚시줄이나 그물들을 테니스공 보관통에 넣고 다니는 행동변화 유발을 목적으로 한다. 이렇게 주요 배출원에 대한 플라스틱의 수계 배출 방지 노력이 동시에 이뤄져야 효과적으로 플라스틱 오염을 제어할 수 있다.

3. MP 방지기술

환경으로 배출된 macroplastics은 풍화과정을 거치면서 MP가 된다. 인벤토리에 등록된 기술 중 6개가 MP의 배출을 방지할 수 있다. 이들은 가정과 같은 소규모의 배출원에서 발생하는 MP를 방지하는 세탁볼 및 여과 기술들이다. Cora Ball과 Fibre Free는 세탁기에 넣어 세탁시 발생하는 미세 섬유(synthetic microfiber, 이의 유해성과 관련된 내용은 참고문헌 3 참조)를

세탁물에 얽히게 하여 제거하는 기술이다. Lint LUV-R은 세탁과 헹굼에 사용된 후 배수된 물을 여과하여 미세 섬유를 제거하는 기술이다. 이외에도 해파리를 이용하여 MP를 제거하는 기술과 Showerloop와 같이 샤워에 이용된 물을 여과하여 중수로 재이용하는 기술도 MP 배출 방지기술로 사용될 수 있다. Cora Ball의 MP 제거율은 26%이며, Lint LUV-R은 87%에 이른다. 그러나 소비자들이 과연 환경오염 방지를 위해 개인적인 비용을 지불해가면서 이 기술들을 사용할 것인지에 대해서는 생각해봐야 한다. 이런 비용적인 문제들은 플라스틱 배출 방지기술의 확산을 저해하는 원인 중 하나이다.

설사 비용 문제가 해결된다고 하더라도 가정에서의 플라스틱 배출 방지 노력만으로는 플라스틱에 의한 환경오염 문제를 해결할 수 없다. 앞 절에서도 서술하였듯이, 산업부문에서 배출되는 MP의 저감 노력이 동시에 이루어져야 하며, 산업계 스스로 플라스틱 배출 방지 기술을 개발하고, 정부는 이를 독려해야 한다. 산업부문의 방지기술 개발과 적용을 장려하기 위해 오스트리아에서는 플라스틱 사용을 저감할 수 있는 기술이나 방법을 적용한 회사에 보조금을 지급하거나 세금을 감면해주는 정책을 시행하고 있다. 일반적으로 이러한 금융적인 정책은 새로운 기술의 도입과 장려에 동기부여가 된다. 또한 배출된 조대 플라스틱에서 MP가 발생하는 것을 감안하면 macro 뿐만 아니라 micro 플라스틱 제거기술의 개발도 매우 중요하다고 할 수 있다.

4. 비용문제

인벤토리에 등록된 방지기술의 36%, 제거기술의 29%가 개발이 완료되었음에도 불구하고 실제 현장에는 적용되지 않았다. 경제적인 문제가 이들 기술의 광범위한 적용에 어려움이 되고 있기 때문이다. 본 보고서에서는 인벤토리에 등록된 해당 기술들의 경제적 타당성에 대해서는 검토하지 않았다. 그러나 현재의 전 지구적인 플라스틱 오염문제는 지속적인 자금 지원없이 해결하기 어렵다. 예를 들어, 해변의 청소활동은 청소에 따른 편익보다는 비용이 많이 소요되기 때문에 항상 비판의 대상이 되어왔다. 그러나 해변에 플라스틱이 존재하는 위치를 알려주는 Malolo I 기술을 적용하거나, 낚시줄에 GPS를 설치하여 낚시줄의 수집 경로를 최적화해주는 Ocean Voyages Institute, 해변의 모래 상부를 긁어낸 후 체거름하여 플라스틱을 선별하는 Barber Surf Rake와 같은 기술들을 적용하면 소요되는 비용을 절감하고 플라스틱을 보다 효과적으로 제거할 수 있을 것이다.

전 세계적으로 해양의 플라스틱 오염을 25% 저감(2010년 정도의 수준)하는데 소요되는 비

용은 전 세계 GDP의 0.7~1%가 될 것으로 추정된다. 이러한 막대한 자금을 감당할 수 있는 방법 중 하나는 플라스틱 제품에 세금이나 벌금을 부과하는 것이다. 또는 주요 플라스틱 배출원인 산업부문에서 기술 개발에 투자하는 방법이 있을 수 있다. 인벤토리에는 각각의 기술을 적용하는데 소요되는 비용도 함께 제시가 되어 있어 정부 관계자나 투자자들이 이들 기술의 적용 시 소요되는 비용을 추정하는데 유용하다.

잘못된 폐기물 관리정책으로 플라스틱 폐기물이 가장 많이 발생하는 상위 20개 국가 중 12개는 개발도상국이며, 이들은 플라스틱 오염 방지 및 제거 기술을 대규모로 적용하기에는 자금의 한계가 있다. 7개 국가는 소득이 비교적 높은 국가지만 여전히 경제적인 부담은 클 수 밖에 없다. 나머지 1개 국가는 소득 수준이 매우 높은 미국이며, 다른 국가들보다 자원과 자금면에서는 상대적으로 여유가 있음에도 불구하고 플라스틱 오염 방지 및 제거 기술의 광범위한 적용은 경제적으로 타당하지 않다고 판단하고 있다. 그래서 부유한 국가들에서는 자국에서 발생한 플라스틱 폐기물을 저개발 국가로 수출하고 있다. 플라스틱을 수입한 저개발국가에서는 플라스틱의 관리 부실로 인해 플라스틱이 바다로 배출되는 현상이 발생하고 있으나 자원과 자금의 한계로 배출 방지 노력을 하지 못하고 있는 실정이다.

5. 적용 지역

플라스틱 오염의 분포는 전 세계적으로는 불균일하다. 고소득 국가에서는 플라스틱을 저소득 국가로 수출하고, 해양으로 유입된 플라스틱은 바람과 조류에 의해 다른 지역으로 이동한다. 전 세계에서 플라스틱 관리정책이 체계적이지 않은 국가는 중국, 인도네시아, 필리핀, 베트남, 스리랑카이며, 전 세계에서 해양으로 유입되는 플라스틱의 86%가 아시아의 4개국(중국, 인도, 방글라데시, 인도네시아)에서 유입되고 있다. 따라서 플라스틱에 의한 환경오염을 방지하기 위해서는 전 세계적으로 여러 기관들의 협조가 필요하다. 각 국가에서는 해안가 주변의 강과 하천에 플라스틱 배출 방지기술을 적용해야 한다. 어떤 기술이 존재하고 적합한지, 그리고 비용은 얼마나 소요되는지는 본 보고서에서 검토한 인벤토리를 이용할 수 있다. 또한 이미 배출된 플라스틱은 인벤토리에 등록된 기술 중 Marine Microplastic Removal Tool이나 Hoola One, TrashTrap 등을 이용하여 최대 97%까지 제거할 수 있다.

앞서 서술했듯이 이러한 기술들의 광범위한 적용은 비용 문제를 수반한다. 따라서 플라스틱 관리정책이 체계적이지 않고 플라스틱의 해양 배출에 높은 기여를 하는 국가나 주요 지역에

라도 우선 적용하는 것을 고려해야 한다. 또다른 고려사항으로 인벤토리에 등록된 제거기술들은 수면이나 해변의 지표면에 존재하는 플라스틱을 주로 제거하는 기술이라는 점이다. 향후에는 수면 아래나 강이나 바다의 바닥층에 존재하는 플라스틱을 제거할 수 있는 기술의 개발도 필요하다.

●● 결론

지금까지 서술한 기술들만으로는 플라스틱에 의한 해양 오염을 방지할 수 없다. 결론적으로 이러한 기술들은 플라스틱 관련 폐기물 정책과 함께 시행될 때 가장 효과적이다. 중국과 인도네시아와 같이 플라스틱을 많이 배출하는 국가의 정부는 플라스틱의 배출을 저감할 수 있는 정책을 수립하여 추진하고, 지방정부는 산업부문과 함께 중앙정부의 정책을 추진하도록 노력해야 한다. 이러한 정책에는 본 보고서에서 제시한 플라스틱의 배출 방지와 제거 기술의 적용도 포함되어야 한다. 이러한 기술의 적용 시에는 상당한 비용이 소요되므로 폐기물 관리 정책에는 비용에 관한 문제 해결 방안(세금부과, 인센티브 등)도 포함되어야 한다. 종합적인 폐기물 관리 정책의 수립과 추진을 위해서는 이러한 정책이 경제적으로 타당하고 효율적인지에 대한 연구가 선행되어야 한다.

●● 참고문헌

1. Emma Schmaltz, Emily C. Melvin, Zoie Diana, Ella F. Gunady, Daniel Rittschof, Jason A. Somarelli, John Virdin, Meagan M. Dunphy-Daly, “Plastic pollution solutions: emerging technologies to prevent and collect marine plastic pollution”, *Environment International*, 144(2020), 106067.
2. “Plastic Pollution Prevention and Collection Technology Inventory”. (April 12, 2021), <https://nicholasinstitute.duke.edu/plastics-technology-inventory>
3. Rojalin Priyadarshini Singh, Sunanda Mishra, Alok Prasad Das, “Synthetic microfibers: Pollution toxicity and remediation”, *Chemosphere*, 257(2020), 127199.



국내외 IP 분석보고서