미세플라스틱(Microplastics)[1)]

이 웅 빈[2)]
용인대학교 교수
본 협회 상임이사, 서울 · 경기 · 인천 지부장
국립생물자원관 운영심의회 위원
한국식물분류학회 회장 역임

Ⅰ. 서 론

미세플라스틱이란 생물물리학 용어로 지구 상에 존재하며 환경을 오염시키는 5mm 미만의 작은 플라스틱을 의미하며, 처음부터 미세플라스틱으로 제조되거나(1차 미세플라스틱), 플라스틱 제품이 분해되는 과정에서 생기는 미세한 플라스틱 조각을 말한다(2차 미세플라스틱). 1차 플라스틱으로 화장품 스크럽이나 치약의 연마제, 의약품 및 연구 또는 공업용품 등에 사용되는 미세플라스틱 알갱이인 미세(microbead) 등이 해양 환경에 영향을 주고 있으며, 특히 커다란 플라스틱이 분해되면서 발생하는 2차 미세플라스틱은 바닷속과 해수면을 떠다니며, 큰 문제를 일으키고 있다.

이러한 미세플라스틱은 오염된 바다에서 생산되는 천일염이나 생선이 먹이사슬을 통해 해양생물의 몸 속에 축적되어, 결과적으로 인간의 몸으로 흡수된다. 또한 수돗물, 정제된 생수와 다른 음식에서도 미세플라스틱은 검출되며, 일회용품 플라스틱 용기를 사용할 때도 용기에서 용출된 미량의 미세플라스틱이 체내에 유입된다. 대부분의 미세플라스틱은 인체에서 배출이 잘 되는 것으로 알려져 있으나, 이들의 흡수와 관련된 장기적인 영향에 대한 연구는 아직 미흡한 실정이어서 심각한 문제로 떠오르고 있어, 현재 이들 미세플라스틱이 야생생물과 인간의 건강에 미치는 영향에 대한 과학적 연구들이 수행되고 있다.

세계자연기금(WWF, World Wide Fund of nature)은 2019년 '플라스틱의 인체 섭취 평가 연구'

1) Microplastics
2) LEE, Woong Bin, Dept. of Biological Science, Yongin University, E-mail: wbleey2k@hanmail.net

에서 “한 사람당 매주 평균 2,000여 개의 미세플라스틱을 섭취한다.”라고 보고하였다. 이를 무게로 환산하면 5g으로 신용카드 한 장의 수준이며, 1년이면 250g 이상으로 신용카드 50장 이상을 섭취하게 되는 것이며, 나아가 플라스틱 쓰레기 발생량이 증가하는 추세여서 이에 대한 대비책이 절실하게 요구되는 때이다.

II. 본 론

미세플라스틱을 만들어내는 플라스틱의 종류와 특징은 다음과 같다.

1. 플라스틱의 종류와 장점

1) 폴리에틸렌(Polyethylene, PE)

열가소성 플라스틱의 하나로 가볍고 유연하며, 왁스와 같은 느낌이 난다. 각종 용기, 포장용 필름, 섬유, 파이프, 패킹, 도료 등에 사용된다. 양동이, 컵 등은 압출성형으로 만들어지고, 공업 약품용 용기, 액체 세제 용기 등은 중공성형으로 만들어진다. 섬유는 데니어(denier, 450m당 0.05g의 실의 굵기)당 9g의 높은 인장력을 가지며, 주로 공업용 밧줄 등이 만들어진다. 최근에는 포장용 필름이 많이 생산된다. 석유화학공업의 대표적인 범용 플라스틱이다.

2) 폴리프로필렌(Polypropylene, PP)

폴리에틸렌 분자 사슬의 탄소에 하나씩 걸러 메틸기(CH_3)가 붙은 것이며, 규칙적으로 짧은 가지가 달린 형태를 하고 있다. 폴리프로필렌 필름은 폴리에틸렌 필름보다 투명도가 높고 약간 경질이다. 또 성형용으로도 많이 사용되며 병, 용기 등이 만들어진다. 현재 사용되는 플라스틱 중에 가장 가벼우며, 용해 온도도 135~160°C로 높고, 그 응용범위도 넓다. 그러나 착색하기 어렵고, 열이나 빛에 다소 약한 결점을 갖고 있다.

3) 폴리스타이렌[Polystyrene, PS 또는 폴리스티롤(Polystyrol)]

열가소성 플라스틱의 하나로 가볍고, 맛과 냄새가 없다. 생활용품, 장난감, 전기절연체, 라디오, 텔레비전 케이스, 포장재 등에 사용된다. 메짐성(brittleness)이 있어 단독으로 사용되는 경우는 거의

없고 다른 중합체와 혼합해서 사용하는 경우가 많다. 부타디엔 고무(butadiene rubber)를 섞어서 사용한다.

· SBR[styrene butadiene rubber; 천연고무에 비하여 내마모성, 내열성이 우수하고 가공성이 용이하여 타이어, 신발, 고무호스, 벨트 등 대부분의 고무 제품에 널리 사용된다.]

4) 폴리에틸렌 테레프탈레이트(Polyethylene Terephthalate, PET)

투명도가 높고 단열성이 좋다. 열가소성 플라스틱이다. 가벼우며 맛과 냄새가 없다. 페트(PET)라는 약어를 더 많이 사용한다. 전선 피복 생활용품, 장난감, 전기절연체, 라디오와 텔레비전 케이스, 포장재 등에 사용한다. 시중에 유통되는 플라스틱 음료수병의 대부분을 차지하고 있어, 흔히 말하는 페트병은 이 원료로 만든 병을 말한다.

5) 폴리아미드(Polyamides, PA; 나일론)

아미드 결합인 -CONH-로 연결된 중합체의 총칭이다. 디아민과 2가 산의 축합 중합으로 얻을 수 있다. 지방족 폴리아미드, 방향족 폴리아미드, 지방족 고리 폴리아미드로 분류된다. 기모의 원단(운동복, 레깅스, 타이츠 등)을 만들 때 쓰이며, 스타킹의 대표적인 원료인 나일론도 폴리아미드 종류이다.

6) 폴리에스터(Polyester, PES)

내구성이 강하지만, 흡습성이 없는 중합체의 일종이다. 열에 약하고, 주름이 잘 생기지 않으며 모양도 잘 변하지 않는다. 방수의 기능은 없고, 물을 빨리 흡수하고 배출할 수 있다.

7) 폴리염화비닐(Polyvinyl Chloride, PVC)

열가소성 플라스틱으로 강하고, 색을 내기 쉽고, 단단하거나 유연하고, 잘 마모되지 않는다. 열에는 약하다. 인조 가죽, 레코드, 포장재, 파이프, 전기절연체, 바닥재에 사용한다. 가장 오래전부터 가장 널리 쓰여왔던 플라스틱으로 우리나라에서는 비닐이라고 한다. 시트, 핸드백, 인형 등의 부드러운 것부터 배관 자재, 병뚜껑 등의 단단한 것까지 다양한 용도로 사용되고 있다.

8) 폴리우레탄(Polyurethanes, PU)

열경화성 수지는 아니지만, 이들과 유사한 3차원 구조를 가진 플라스틱이다. 질기고 화학약품에

잘 견디는 특성을 가진다. 전기절연체, 기포단열재, 탄성섬유 등에 사용되며, 신축성이 좋아서 고무의 대체물질로도 사용된다.

9) 폴리카보네이트(Polycarbonate, PC)

탄산염을 중합하여 만든 수지로, 비스페놀 A(BPA)와 포스젠(염화카보닐, $COCl_2$)의 연쇄 구조로 이루어진 무색 투명한 무정형의 열가소성 플라스틱 중합체이자 엔지니어링 플라스틱의 한 종류다. 모노머 단위끼리의 결합이 카보네이트 즉, 탄산 에스테르(-O- (C = O) -O-)로 구성되며 쉽게 가공할 수 있고, 사출성형과 열성형이 된다. 엔지니어링에 사용되는 폴리카보네이트는 강하고 거친 소재이며 일부 등급은 광학적으로 투명하다. 내열성, 내충격성 및 투명성이 좋기 때문에 상품 플라스틱과 엔지니어링 플라스틱(engineering plastic) 내열성이나 강도, 내마모성이 뛰어나 기계나 자동차, 항공기, 전자기기의 부품 등에 쓰이는 공업용 플라스틱), 유리 대용 강화 플라스틱으로 많이 사용된다. 휴대폰과 노트북, 모니터 등 IT 제품의 외장재를 비롯해 CD, DVD 등 미디어 광저장 매체 소재의 원료에 폭넓게 사용되는 고기능성 플라스틱이다.

10) 폴리염화비닐리덴(Polyvinylidene Chloride, PVDC, 사란)

염화비닐과 염화비닐리덴의 혼성중합체인 열가소성 플라스틱으로, 수정처럼 투명하고 질겨서 육류 등의 식품 포장에 사용한다.

플라스틱은 다음과 같은 장점으로 광범하게 사용되고 있다.

- 금속이나 도자기에 비해서 비중이 작아서 가볍고 강한 제품을 만들 수가 있다.
- 여러 가지 약품에 손상되지 않으며, 식초 등을 넣어도 녹슬거나 부패하지 않는다.
- 투명하고 착색하기 쉬워 밝고 다양한 색상의 제품을 만들 수가 있다.
- 가공성이 좋아 복잡한 형상의 것도 능률적으로 대량생산할 수가 있다.
- 전기절연성이 우수하여 냉장고, TV, 라디오 등의 부품에 사용할 수 있다.
- 플라스틱 발포제는 단열성이 우수하다.
- 보호 기능이 우수하여 식품을 미생물의 오염에서 지켜준다.

이상의 플라스틱 이외에도 다음과 같은 특수 플라스틱이 광범하게 사용되고 있다.

〈표 1〉 플라스틱의 크기별 분류

종 류	크 기	
거대플라스틱(Megaplastics)	1m 이상	그물, 배관, 밧줄 등
대형플라스틱(Macroplastics)	2.5cm 이상, 1m 미만	봉지, 용기, 포장재, 병 등
중형플라스틱(Mesoplastics)	5mm 이상, 2,5cm 미만	병 뚜껑
미세플라스틱(Microplastics)	5mm 미만, 1mm 이상	미세플라스틱구슬(microbeads)
초미세플라스틱(Nanoplastics)	1mm 미만	미세플라스틱구슬(microbeads)

11) 폴리테트라플루오로에틸렌(Polytetrafluoroethylene, PTFE, 테플론)

테플론은 듀퐁사의 폴리테트라플루오로에틸렌(4불화에틸렌 중합체)의 상품명이다. 2차 세계대전 때는 안정성이 우수하여 대부분이 원자폭탄 제조에 필요한 우라늄의 보관 용기로 사용되었으며, 그 후에는 일반 생활에도 사용할 수 있게 돼 내열성이 우수한 테플론을 후라이팬 코팅제로 사용하여 들러붙지 않는 팬(pan) 제조의 시조인 테팔(Tefal: Tteflon과 aluminium의 합성어)의 후라이팬이 등장하여 현재까지 널리 사용되고 있으며, 내한성도 좋아서 방수 테이프, 전기절연재로 사용되고 있다.

12) 폴리에테르에테르케톤(Polyetheretherketone, PEEK, 폴리케톤)

고성능의 열가소성 중합체로 폴리에테르이미드(Polyetherimide, PEI, 울템)이며, 내구성과 탄성이 뛰어나 안경의 신소재로 많이 사용되고 있다.

이상과 같이 플라스틱은 많은 장점 때문에 군사 산업 및 일반 생활과 관련된 산업을 통하여 엄청난 소비를 촉진시켜 왔다. 그 결과 분해가 되지 않는 플라스틱의 폐기물 문제뿐만 아니라, 이로부터 발생하는 미세플라스틱의 생물학적 증폭이 우리의 자연 환경에 재앙을 일으키고 있다.

2. 미세플라스틱의 발생 원인

미세 플라스틱의 발생원으로 생각되고 있는 것은 다양하다. 미세플라스틱은 일상생활에서 쉽게 접할 수 있는 치약, 세정제, 스크럽 등에 포함돼 있으며, 그 크기가 너무 작아 하수처리시설에서 걸러내지 못하고, 바다와 강으로 그대로 유입된다.

그뿐만 아니라 공업용 연마재, 세안료, 화장품 또는 모래 분사기 등에 직접 사용하기 위해서 생산되는 미세플라스틱 또는 여러 소비자 제품을 생산하기 위한 전단계의 원료로 사용하기 위해서 생산

되는 미세 플라스틱(1차 미세플라스틱)과 특히 해양 쓰레기 등의 큰 플라스틱 재료가 깨져 작은 단편이 되어 형성된 미세 플라스틱(2차 미세플라스틱) 등도 육지 또는 해양생태계에 커다란 악영향을 미치고 있다. 이것을 초래하는 원인은 물결 등이 기계적인 과정과 태양광, 특히 자외선(UV)이 일으키는 광화학적 분해과정이다.

최근 수십 년간 세계의 플라스틱 소비량의 증가에 따라 미세플라스틱은 전 세계의 해양에 널리 분포되게 되고, 그 양은 확실하게 증대하고 있다. 특히 가정에서 의류의 세탁과정에서 천에서 합성섬유가 분리되어 하수도에 흘러드는 미세플라스틱 입자는 일반 환경 중의 미세플라스틱의 조성과 비교하였을 때, 1mm 미만 입경의 초미세플라스틱(nanoplastics)의 비율이 높을 것을 암시하고 있어 이에 대한 우려를 낳고 있다.

현재 미세플라스틱은 해양환경에 빠른 속도로 축적되고 있으며, 해양생물이 미세플라스틱을 섭취하고 있다는 것이 증명되고 있다. 이 입자의 체류 시간이 길어지고 있어 앞으로 생물체 내에 집적될 가능성이 점점 높아지고 있다.

해양 오염의 경우, 바다에 미세플라스틱을 배출하는 주요 원인은 폐그물이다(다큐멘터리 영화 Seaspiracy, 2021). 해양 미세플라스틱의 46% 이상이 그물이 분해되어 생기는 것으로 알려져 있으며, 플라스틱 빨대 등 생활용품이 미치는 영향은 0.03%에 불과한 것으로 추정되고 있다.

미세플라스틱은 5mm보다 작아서 폭넓은 생물 종이 먹고 있는 것으로 생각되지만, 실제로 섭식이 증명되고 있는 종으로는 침적물 섭식성의 갯지렁이(*Arenicola marina*)와 여과 섭식성의 홍합(*Mytilus edulis*) 정도가 알려져 있을 뿐, 먹이 사슬의 하위에 있는 대부분의 생물 종의 섭식 영향을 모른다는 것이 우리들의 불안을 초래하고 있다.

이러한 미세플라스틱은 환경을 오염시키고 먹이사슬을 통해 해양생물의 몸속에 축적되어, 결과적으로는 바다에서 나는 천일염이나 생선을 통해 인간의 몸으로 흡수된다. 이 밖에 수돗물은 물론 정제된 생수와 다른 음식에서도 미세플라스틱은 검출되며, 일회용품 플라스틱 용기를 사용할 때도 용기에서 용출된 미량의 미세플라스틱이 체내에 유입된다. 미세플라스틱은 대부분이 인체에서 배출되는 것으로 알려져 있으나, 흡수에 따른 장기적인 영향이 연구되어 있지 않아 심각한 문제로 떠오르고 있다.

3. 미세플라스틱과 잔류성 유기오염물질

아직 불분명하지만 미세플라스틱 입자는 환경과 주위의 바닷물 중에 보통으로 존재하는 합성 유기화합물을 흡수하고 축적하여 운반할 가능성이 있다고 보고 있으며, 플라스틱 제조 과정의 첨가제가 침

출하여 인간의 내분비교란과 생물체의 생식 등 생물에 심각한 해를 초래할 가능성도 우려하고 있다.

현재로는 미세 플라스틱이 PCB, 다이옥신, DDT 등의 POPs와 같이 중요한 세계적 지구화학적 저류층을 만들 가능성은 낮다. 그러나 소규모로 미세플라스틱이 화학적 저류층으로 큰 역할을 행할 것인지는 아직 알 수 없다. 대도시의 항만이나, 농업배수와 공업폐수가 집중하는 배수로 등이 오염된 인구밀집지역에 있어서는 저류층 기능이 있는 것으로 보인다.

Ⅲ. 해결방안

우리에게 주는 다양한 혜택으로 엄청나게 생산돼 온 플라스틱은 결국 거대한 폐기물의 발생으로 이어진다. 더욱이 플라스틱은 그 수명이 매우 짧아 폐기물의 발생량은 그야말로 지수적 증가량을 보여왔다.

이에 따라 우리는 플라스틱의 생산량을 줄이기 위하여 소비를 줄이거나 플라스틱의 생분해능을 가진 대체플라스틱을 개발하여야 하며, 이에 대한 효과를 증폭시키기 위하여 강력한 규제 법안 제정을 요구하여야 한다.

1. 재활용 또는 재사용

플라스틱을 사용하지 않는 것이 가장 좋겠지만, 위에서 서술한 바와 같이 플라스틱의 유용성 때문에 당장 모든 플라스틱을 사용하지 않기란 불가능할 것이다. 따라서 점차적으로 줄여나가는 것이 필요하다. 우선 플라스틱의 생산을 줄일 수 있도록 일회용 컵, 용기 등을 사용하지 않기 등 쉬운 것부터 실행에 착수하는 지혜가 필요하다.

캐나다와 뉴질랜드 등지에서는 시작한 '플라스틱 없는 7월(PLASTIC FREE JULY) 운동'이 지금은 세계로 확산되고 있는 것도 좋은 본보기가 되고 있다.

시장이나 식품 매장에서 제공되는 비닐봉지 대신 가볍고 재사용 할 수 있는 가방이나 장바구니를 사용하면 많은 플라스틱을 줄일 수 있다.

또한 칫솔, 치약, 치실 등도 플라스틱이 없는 제품으로 선택할 수 있다. 치약의 경우에 플라스틱 없는 고체 치약이나 소금 등을 이용한 천연 치약을 사용하면 된다.

고체 비누, 고체 세재, 천연 수세미 등의 사용도 플라스틱을 줄이는 데 큰 역할을 해줄 것으로 기대한다.

〈그림 1〉 모 커피점에서 사용하고 있는 재생 종이 빨대, 컵 커버, 펄프제재 물 티슈

2. 바이오플라스틱(Bioplastics 또는 생분해플라스틱)으로 대체

플라스틱은 대부분이 석유에서 만들어지며 이러한 석유계 풀라스틱은 대부분이 생분해성이 없다. 그러나 최근에 석유가 아닌 바이오매스에서 생산해 내고 있는데, 이와같이 석유가 아닌 생물 소재에서 만들어내는 플라스틱을 바이오플라스틱이라고 한다. 지속 가능한 바이오매스로는 식물세포벽의 주요 성분인 셀룰로오스, 헤미셀룰로오스, 리그닌, 식물성 지방, 탄수화물, 음식물쓰레기, 박테리아 등이 이용되고 있다. .

1) 생분해 메쉬필터[PLA(Poly Lactic Acid)]: 옥수수 전분에서 추출한 전분을 발효하여 만든 젖산(Lactic acid)을 가수분해하여 만든 것으로, 100% 친환경 유기물로 만들어진 티백은 수십억 개 이상의 미세플라스틱을 가진 일반 티백을 대체할 수 있다.
2) 플라스틱은 재활용을 거듭할 때마다 품질이 나빠지는 특성을 갖고 있으며, 또한 미세 물질에 대한 흡착성이 높아 재사용 시 사용자에게 박테리아와 같은 유해 생물 또는 유해 물질에 오염될 수 있어서 음료에 사용되는 플라스틱 병은 개봉 후 다시 사용하지 말고 버리라고 권장하고 있어 플라스틱의 사용을 부추기고 있다. 현재 고분자의 종류가 일정해서 몇 번을 재활용해도 본래의

성질이 유지되는 플라스틱이 생산되고 있으며, 수거된 플라스틱은 녹여 펠렛 형태로 재활용될 수 있다고 한다.

또한 우리나라 화학연구원에서 게 껍데기로 만든 비닐은 땅 속에서 6개월 내 100% 분해되었으며, 90%의 대장균 항균능력을 갖고 있어 이들의 상용화에 대한 기대치가 높아지고 있다.

3) 아직은 바이오플라스틱이 일반 플라스틱에 비하여 품질이 낮다는 평가이다. 그러나 환경에 미치는 영향에 있어서는 단연코 우위에 있어 가능한 것부터 개발과 상용화가 시급하다.

3. 규제 법안

세계적으로 미세플라스틱을 줄이기 위한 법안이 만들어지고 있다. 미국의 경우 2015년에 '마이크로비즈 청정해역 법안'이 통과되어 물로 씻어내는 제품에 미세플라스틱의 사용을 금지하고 있으며, 스웨덴은 화장품에 미세플라스틱의 사용을 금지하고 있다. 프랑스에서는 일부 식품의 포장에 플라스틱의 사용을 금지하고 있고 우리나라에서도 2017년부터 화장품에 미세플라스틱의 사용을 금지하고 있으나, 플라스틱 소비의 약 40%가 포장재인 점을 고려하면(코로나 팬데믹 이후 음식 배달 문화가 전 세계적으로 확산된 지금에는 더욱 증가하고 있을 것으로 추정된다.), 포장재의 규제를 제외한 플라스틱 줄이기 운동은 공허한 메아리에 그칠 수밖에 없으며, 이를 극복하려면 포장재 쓰레기의 주요 발생원인 음식물 유통 및 배달, 전자제품 등의 호화 및 과대 포장 등에 대한 엄격한 법인 제정 및 규제가 반드시 이루어져야 하겠다. 아울러 해양 미세플라스틱의 오염은 약 40%가 밧줄 등 어업에서 발생하므로, 이에 대한 저감 방안 연구가 절실히 요구된다.

참 고 문 헌

닉 영(Nick Young). 2022. 플라스틱 해방을 위한 7가지 방법. 그린피스.

세계자연기금(WWF, World Wide Fund of nature). 2019. 플라스틱의 인체 섭취 평가 연구.

Browne, M. A. 2008. Ingested microscopic plastic translocates to the circulatory system of the mussel, *Mytilus edulis* (L.). Environmental Science & Technology 42(13): 5026–5031.

Kim, J. S., Lee, H. J., Kim, S. K., Kim, H. J. 2018. Global pattern of microplastics (MPs) in commercial food-grade salts: Sea salt as an indicator of seawater MP pollution. Environmental Science & Technology 52(21):12819-12828.

Moore, C. J. 2001. A comparison of plastic and plankton in the North Pacific central gyre. Marine Pollution Bulletin 42(12): 1297–1300.

Moore, C. J. 2008. Synthetic polymers in the marine environment: A rapidly increasing, long-term threat. Environmental Research 108(2): 131–139.

Barnes, D. K. 2002. Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments. Philos. Trans. R. Soc. B. 364: 1985–1998.

Mato, Y. 2001. Plastic resin pellets as a transport medium for toxic chemicals in the marine environment. Environmental Science & Technology 35(2): 318–324.

Derraik, J. G. 2002. The pollution of the marine environment by plastic debris: A review. Marine Pollution Bulletin 44(9): 842–852.

Teuten, E. L. 2009. Transport and release of chemicals from plastics to the environment and to wildlife. Philosophical Transactions of the Royal Society B – Biological Sciences 364(1526): 2027–2045.

Thompson, R. C. 2004. Lost at sea: Where is all the plastic. Science 304: 838.

영상

NOAA Marine Debris Program

The Great Pacific Garbage Patch

International Pellet Watch

Plastic Planet Archived

Addicted To Plastic

Addicted to Plastic at Bullfrog Films and at Cryptic Moth

Seaspiracy