



환경오염 막는 착한 바이오플라스틱

진인주 한국바이오플라스틱협회 회장

아침에 눈을 뜨면서 가장 먼저 손에 쥐는 스마트폰부터 잠자리에 들기 전 사용하는 칫솔에 이르기까지 온종일 우리는 다양한 종류의 플라스틱과 함께 생활한다. 플라스틱은 1930년대 후반부터 본격적으로 대량 생산되어 제2차 세계대전을 거치며 크게 발전했고, 우리의 의식주 생활을 넘어 산업 전반으로 활용도를 넓히고 있다. 바이오와 의료 분야는 물론이고, 반도체, 육상·해상·항공을 아우르는 차세대 모빌리티 분야에 이르기까지 플라스틱의 쓰임새는 무한 확장 중이다. 예를 들어 ‘드림라이너’라고 불리는 보잉사의 B787 기종은 플라스틱 기반 복합재료를 동체에 적용함으로써 승객에게 장시간 비행에 쾌적한 환경을 제공하고 있다.

PET, PE, PP, 나일론 등 우리에게 친숙한 플라스틱은 주로 화석연료인 원유를 정제해 얻은 플랫폼 화합물을 이용해 생산된다. 짧은 산업화 역사에도 불구하고 플라스틱은 소재와 공정기술 개발이 최적화되어 비교적 저렴한 가격으로 다양한 물성을 나타낼 수 있어 제품에 폭넓게 적용된다. 플라스틱은 쉬운 가공성과 탁월한 내구성이 특징으로, 대표적인 비분해성 재료로 꼽힌다. 기본 원료인 화석연료 자원은 꾸준히 새롭게 개발되고 있으며, 세계 인구 증가와 맞물려 플라스틱 생산량도 지속적으로 증가할 것으로 예측된다.

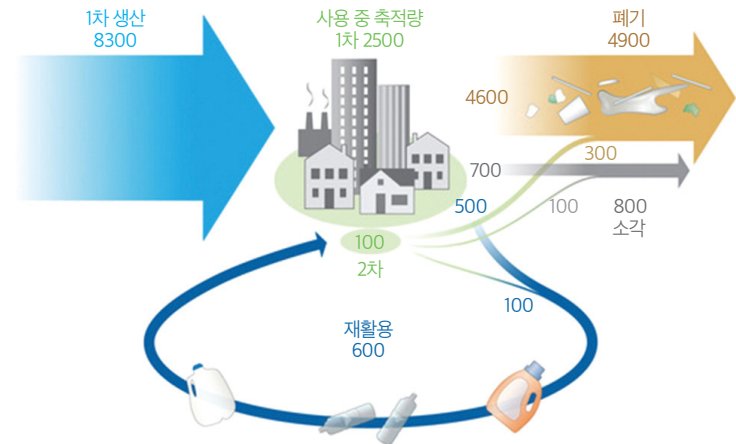
환경오염 막는 바이오플라스틱

플라스틱 사용량 증가와 함께 플라스틱 폐기물, 미세플라스틱 등에 의한 환경오염이 큰 문제로 부각되고 있다. 그 대안으로 바이오플라스틱에 대한 관심도 높아지고 있다. 바이오플라스틱은 일반인에게는 쉽게 이해하기 어려운, 다소 생소한 개념이다. 친환경 플라스틱이라고 일컬어지는 바이오플라스틱은 두 가지 전혀 다른 특성

의 플라스틱을 지칭하기 때문이다. 하나는 생분해성(biodegradable) 또는 퇴비화 가능(compostable) 바이오플라스틱이고, 두 번째는 사탕수수, 옥수수와 같은 식물자원을 원료로 하는 바이오(매스) 기반 플라스틱이다.

여러모로 편리한 재료인 플라스틱은 사용하고 난 후에는 수거를 통해 재활용하는 것이 바람직하다. 플라스틱이 귀중한 석유 자원으로부터 생성되었기 때문이다. 그러나 편의성과 저렴한 가격 덕분에 플라스틱은 오히려 쉽게 버려지는 경우가 많다. 그런데 플라스틱은 비분해 특성으로 인해서 오랜 시간이 흘러도 작은 미세플라스틱 조각으로 쪼개질 뿐 분해되어 없어지지 않는다는

전 세계 플라스틱 누적 생산량, 사용량, 재활용량 및 폐기량 (1950~2015, 단위 : MMT.)



© Roland Geyer et al., 2017, Science Advances, DOI:10.1126/sciadv.1700782, 재편집

게다가 플라스틱 필름, 포장재 등은 매우 가벼워서 여기저기 쉽게 흩어진다. 마치 플라스틱 쓰레기가 산하를 어지럽히는 듯 보인다. 또한, 비바람 등의 영향으로 쉽게 하천을 따라 이동하다가 바다로 흘러들어 거대한 플라스틱 쓰레기 섬을 만들기도 한다. 플라스틱 산업계는 플라스틱 폐기물 재활용의 중요성을 인식하고, 같은 종류의 플라스틱을 일반인이 쉽게 구별할 수 있도록 1번부터 7번까지의 번호를 부여하고 있다. 각종 음료수 병으로 사용되는 PET는 1번, 고밀도 폴리에틸렌 HDPE는 2번 등이다. 그러나 실제 재활용 현장에서는 이 시스템이 거의 작동하지 않는다.

생분해성 바이오플라스틱

바이오플라스틱의 첫 번째 유형인 생분해성 플라스틱은 산소와 수분이 충분하고 적절한 온도가 유지되는 조건에서 박테리아나 곰팡이 등이 먹어

치워 분해할 수 있는 특별한 플라스틱이다. 생분해성 플라스틱의 고분자 사슬은 비분해성 플라스틱과는 다른 특별한 구조를 가지는데, 생분해 과정을 거쳐 분해되면 물과 이산화탄소, 소량의 유기성 폐기물인 퇴비(compost)가 남는다. 2000년대 초부터 생산되어 가장 널리 쓰이는 생분해성 바이오플라스틱인 폴리락트산(PLA)은 일회용 제품 등은 물론이고 포장재, 섬유, 일반 소비재, 전자제품 등에 이르기까지 광범위하게 쓰이고 있다.

생분해성 바이오플라스틱은 사용 후 분리수거해서 정해진 조건을 갖춘 시설에서 일정 기간 처리하면 퇴비로 분해된다. PLA 외에도 독특한 물성을 나타내는 PBS, PBAT, PHA 등도 생분해성 바이오플라스틱의 하나이다. 특히 CJ가 작년년부터 생산하는 PHA는 100% 식물성 원료를 사용해서 발효에 의해 미생물이 몸속에 축적하는 고분자 물질로, 다른 생분해성 플라스틱과 달리 해양환



(좌) CJ에서 개발한 PHA 활용 플라스틱 제품 © CJ제일제당 (우) 경작용 멀칭필름

경에서도 분해될 수 있기 때문에 앞으로 생분해성 플라스틱의 용도를 크게 확장할 수 있을 것으로 기대된다.

전통적인 비분해성 플라스틱과 비교했을 때, 생분해성 바이오플라스틱의 중요성은 플라스틱으로서의 기능을 다한 뒤 퇴비화되어 자연으로 되돌아갈 수 있다는 데 있다. 예를 들어 생분해성 플라스틱으로 만든 일회용 식기나 음료수 컵 등을 먹고 남은 음식물 쓰레기와 함께 생분해성 플라스틱 쓰레기봉투에 담아 폐기하고, 이를 별도로 수거해 적절히 처리하면 퇴비화가 가능하다.

또는, 농작물의 생장기간에 맞추어 토양에서 분해될 수 있도록 생분해성을 조절한 농작물 경작용 생분해성 멀칭필름을 사용하면 작물을 수확한 뒤에 폐필름을 수거할 필요가 없다. 토양에 묻혀 멀칭필름의 기능을 다한 후 퇴비화되기 때문이다. 물론 이렇게 얻어지는 퇴비는 토양을 비옥하게 할 정도로 영양분이 충분한 것은 아니지만 폐필름을 수거하지 않아도 되므로 여기서 얻는 경제적인 이득은 매우 크다.

한 가지 유념할 사항은 생분해성 바이오플라스틱 제품은 용도에 따라 적합한 인증을 받는 것이 중요하며, 그 인증 조건에 맞는 상황이 전제되어야만 생분해를 통한 퇴비화가 보장된다는 점이다. 즉, 산업용 퇴비화 시설에서 생분해가 일어나도록 인증받은 제품이라고 해도 이를 매립지에 함부로 방치한다면 결코 생분해되지 않고 퇴비화할 수 없다는 점을 유의해야 한다.

바이오매스 기반 바이오플라스틱

다양한 화학제품을 만들어내는 기본 화합물(platform chemical)을 다루던 화학자들은 오래 전부터 화석연료 대신 식물자원(또는 바이오매스)으로부터 기본 화합물들을 얻는 방법을 알고

있었다. 그러나 이 방법은 경제성이 좋지 않아서 상업적으로 이용되기는 어려웠다.

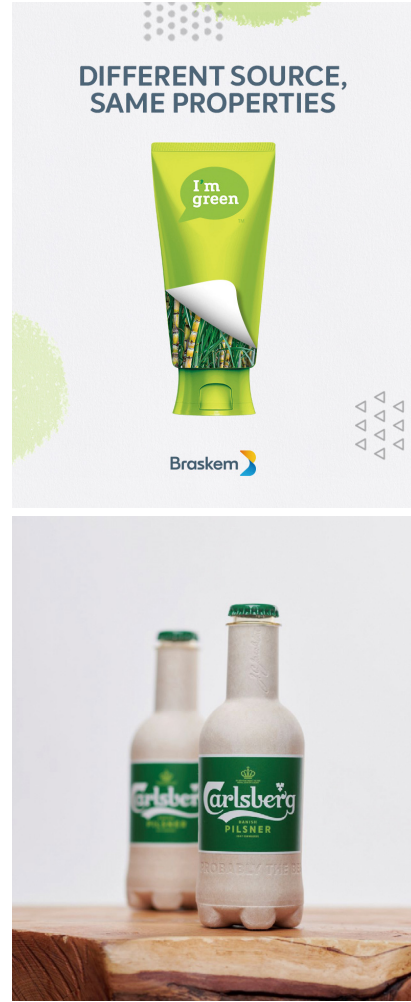
바이오매스 자원은 석유자원과 비교했을 때 몇 가지 장점이 있다. 우선 석유 한 방울이 만들어지는 데 오랜 시간이 필요한 것에 비해 식물자원은 매년 새롭게 수확할 수 있다. 상대적으로 훨씬 빠르게 재생산할 수 있다는 뜻이다. 또한, 식물은 공기 중의 이산화탄소를 흡수하면서 광합성을 통해 성장하므로 자연스럽게 지구온난화의 주범인 탄소를 줄여 탄소저감에 기여할 수 있다. 이처럼 바이오매스 원료로부터 얻어진 플라스틱을 바이오매스 기반 바이오플라스틱이라 부른다. 전주기분석(LCA, 제품의 생산, 유통, 폐기 등 전 과정에 걸친 자원투입량과 환경배출량 등을 정량화하고, 이들이 환경에 미치는 잠재적 영향을 체계적으로 평가하는 도구) 결과를 보면, 이들은 지구상에 탄소발자국을 거의 남기지 않는다.

사탕수수를 원료로 생산되는 바이오 PE를 비롯해 바이오 PET, 바이오 폴리우레탄(PUR), 바이오 PA, PTT 등이 대표적인 바이오매스 기반 바이오플라스틱이다. 사탕수수가 풍부한 브라질은 오래 전부터 이를 활용해 바이오 연료를 생산해왔는데, 브라스کم사는 2010년부터 바이오매스 기반 바이오 PE를, 2018년부터는 바이오 EVA를 생산해 'I'm Green™'이라는 상표명으로 판매하고 있다. 네덜란드 아반티움사가 개발 중인 100% 바이오 기반 플라스틱 PEF는 투명성과 배리어 특성이 뛰어난 바이오매스 플라스틱으로, 특히 석유계 플라스틱의 대표 주자인 PET의 용도를 상당 부분 대체해 탄소저감에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

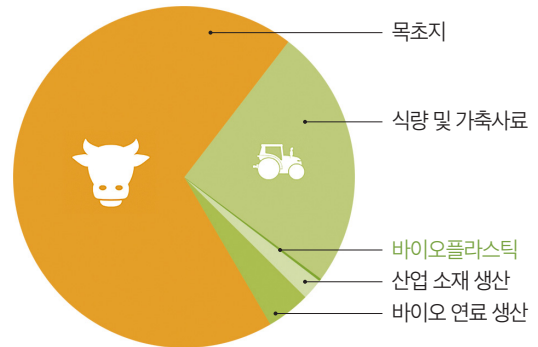
네덜란드 맥주회사인 칼스버그사는 여러 해 동안 연구·개발해온 '섬유질 맥주병(Fibre Bottle)'을 2022년 시장에 시범적으로 선보이면서 소비

자의 반응을 살피고 있다. 이 병의 내부 층(lining)은 아반티움사의 100% 바이오 기반의 PEF로 구성되어 재활용이 가능할 뿐만 아니라 조건에 따라서는 퇴비화도 시킬 수 있다. 내용물인 맥주와 바깥 층 사이의 차단성도 기존의 PET보다 월등하다. 이 병의 바깥 층 역시 바이오 기반의 지속가능 자원인 목질 섬유(wood fibre)로 구성되어 있으며, 단열 특성이 뛰어나다. 이 새로운 개념의 맥주 병은 마개를 제외하고 100% 바이오 기반 물질로 만들어져 있는데, 향후 마개까지도 바이오 기반 자원으로 대체해 탄소중립과 자원순환 특성을 극대화할 예정이다.

바이오매스 원료로 다양한 석유계 화합물을 대체하는 것은 여러모로 힘든 작업이어서 대부분의 국가에서 바이오매스 유래 탄소가 최소 20% 이상인 경우 이를 인정하고 있다. 한편, 바이오매스를 원료로 이용한 바이오플라스틱은 앞서 소개한 생분해성 플라스틱과는 전혀 무관하지만, 일부 바이오매스 기반 플라스틱은 생분해성을 나타내기도 한다. 앞서 소개한 PLA와 PHA가 그 예인데, PLA는 사탕수수 또는 옥수수 등을 원료로 활용하고 있다. 바이오매스 기반 플라스틱 제조에 주로 사용되고 있는 식물자원은 사탕수수, 옥수수, 카사바 등인데, 이들은 플라스틱과 같은 산업 소재 원료일 뿐만 아니라 식량, 가축사료 등으로도 사용되므로 민감한 이슈가 될 수 있다. 유럽피안 바이오플라스틱의 최근 자료에 따르면, 지구상 농경지의 94%는 식량 및 가축사료 경작에 사용되거나 목초지(pasture)로 구성되어 있다. 4%는 바이오연료 생산, 2%는 산업 소재 생산에 활용된다. 반면, 바이오매스 기반 플라스틱은 이 중 0.013%(2021년 기준)를 차지하며, 2026년에도 0.058% 정도를 차지할 것으로 예상되기 때문에 결코 인류의 식량 또는 가축의 사료 생산과는 경쟁 관계가 아님을 알 수 있다.



(위) 브라질 브라스켄사에서 개발한 I'm Green 제품 광고 (아래) 칼스버그사의 재활용 가능한 바이오 기반 맥주병 © Braskem, Carlsberg



바이오플라스틱 생산을 위한 경작지 비중 (2021년 및 2026년) © European Bioplastics: Position Paper on Industrial Use of Agricultural Feedstock

플라스틱 없는 세상?

‘플라스틱 없이 살 수 있을까?’, ‘다 쓴 플라스틱을 썩어 없어지게 할 수는 없을까?’ 마구 버려지는 플라스틱을 보면서 누구나 한 번쯤은 떠올려보는 생각이다. 유명인들이 ‘플라스틱 프리 챌린지’ 등의 캠페인에 동참하는 모습은 각종 SNS나 포털에서 흔히 볼 수 있다. 그러나 ‘플라스틱 쓰레기 대란’, ‘플라스틱은 각종 환경오염의 주범’ 등의 부정적인 이미지는 편리함을 좇는 우리의 무분별한 소비행태의 결과일 뿐이다. 플라스틱 소재의 놀라운 특성은 그 어느 것으로도 대체하기 어렵다. 실제로 플라스틱으로 만든 음식 보관 용기, 포장 필름 등은 병균, 곰팡이의 오염을 차단해 음식물의 저장과 유통을 쉽게 함으로써 인간의 건강한 삶에 기여해왔다. 인류를 공포에 몰아넣었던 코로나19 팬데믹에 맞선 의료인을 보호해준 방호복, 안면보호대, 마스크 등 개인보호구(PPE)도 플라스틱 소재로 만들어져 큰 공헌을 했다.

위에서 살펴본 대로, 바이오플라스틱은 생분해성 플라스틱과 바이오매스 기반 플라스틱으로 나뉜다. 생분해성은 소재를 사용한 다음의 처리 측면(end-of-life option)에서 중요하며, 바이오매스의 사용은 소재의 원료를 활용하는 측면(beginning-of-life option)에서 큰 의미가 있다. 이 두 가지 특성은 언뜻 전혀 무관한 듯하지만, 환경친화적인 관점에서는 밀접한 관계가 있다. 특히 바이오매스 기반 플라스틱은 화석연료를 원료로 하는 일반 플라스틱과 원료만 다를 뿐 최종 물성은 동일하다. 사용 후 폐기되었을 때 함께 재활용 할 수 있다는 의미이다. 마찬가지로, 생분해성 플라스틱인 PLA도 분리수거 및 재활용이 가능하며, 국내에서도 이미 관련 사업이 시행되고 있다.

선형경제에서 순환경제로

최근 유럽을 중심으로 강조되고 있는 바이오경제 및 순환경제(Circular Economy) 이니셔티브는 기존의 석유계 원료 → 제품 제조 → 사용 → 폐기의 선형적(linear) 패턴을 따르는 플라스틱의 사용량을 줄이면서, 동시에 재생 가능 바이오매스 원료 → 제품 제조 → 사용 → 재활용 또는 퇴비화를 통한 원료 재생의 물질 순환형(circular) 패턴으로의 대전환을 큰 축으로 하고 있다. 국내 소비재 시장에도 다양한 생분해성 또는 바이오매스 기반 바이오플라스틱 제품들이 등장하고 있다. 아울러 바이오화학 기술력을 바탕으로 다양한 바이오플라스틱 원료인 수지를 생산하기 위한 기업들의 계획이 발표되고 있어 국가적으로도 순환경제 및 탄소중립 실현에 큰 역할이 기대된다.

플라스틱 폐기물을 처리하기 위한 정책 방향은 3R, 즉 ‘Reduce, Reuse, Recycle’이 대원칙이다. 플라스틱을 덜 쓰고, 가능하면 다시 사용하며, 재활용해야 한다. 그러나 3R만으로 문제를 해결하기엔 현실적인 제약이 크다. 물론 바이오플라스틱이 모든 플라스틱 폐기물 문제를 해결할 수는 없지만, 기여할 수 있는 부분이 분명 많다. 바이오플라스틱이야말로 우리에게 다양함과 편리함을 주는 플라스틱의 이점을 살리면서 순환경제를 완성하는 데 크게 이바지할 뿐만 아니라 날로 중요해지는 탄소중립 구현에도 기여할 수 있기 때문이다. ⑤

진인주 | ichin@inha.ac.kr

MIT 고분자공학 박사학위를 취득했다. 한국고분자학회 부회장, 인하대학교 교무처장 및 부총장, 인하공업전문대학 총장을 역임했다. 현재 인하대학교 명예교수이자 사단법인 한국바이오플라스틱협회 회장으로 활동 중이다.