

Digesting the Problem

: 효소가 플라스틱 오염을 줄이게 한다

상상해 보세요: 석탄이나 석유와 같은 화석 연료를 태울 때 방출되는 모든 불쾌한 가스를 포집한 후에, 이 것을 다시 연료로 전환시키는 세상을.

연소, 포획, 사용, 그리고 반복 - 화석 연료 재사용의 끝없는 순환. 그것이 판도를 바꿀 거예요. 그렇다면, 지금처럼 지구 온난화와 기후 변화라는 즉각적인 위협에 직면하지 않게 될 것입니다.

하지만 현실을 직시하자면, 화석 연료를 태우는 것은 일방통행이라는 걸 우리 모두 알고 있습니다. 화석 연료가 고갈되면 다시는 사용할 수 없게 되니까요..

우리가 매일 플라스틱을 사용하는 것과 비슷한 문제를 겪고 있습니다.



플라스틱을 먹는 박테리아

바다, 강, 호수, 숲, 매립지, 심지어 동물과 인간 내부까지 지구상 어디에나 존재합니다.
그런데 플라스틱도 석유로 만들어집니다.



우리는 플라스틱에 빠져 역사할 운명일까요? 절대로 아닙니다.

플라스틱 재활용은 이상적인 순환이 아닙니다.

이 질문에 대한 당신의 대답은 무엇입니까? 플라스틱을 사용하는 것이 석유나 석탄과 같은 일방통행인가요?

대답이 '아니오'라면 석유나 석탄과 달리 플라스틱을 재활용할 수 있다고 생각하기 때문일 것입니다. 결국 플라스틱 재활용은 1970년대부터 논의되어 왔으며 크게 발전해 왔습니다.

재활용 기술의 발전에도 불구하고 플라스틱의 순환성은 여전히 도전 과제로 남아 있습니다.

플라스틱 제품이 재활용되면 플라스틱의 품질이 떨어지기 때문입니다. 또한 재활용 플라스틱으로 새로운 제품을 만들려면 재활용 플라스틱에 새 플라스틱을 추가해야 합니다.

더 중요한 것은 플라스틱을 끝없이 재활용할 수 없다는 점입니다. 보통 몇 번만 재활용하면 플라스틱이 재활용이 불가능해진다는 지적이 있습니다. 그러면 유일한 해결책은 쓰레기 매립지에 버리거나 소각하는 것입니다.

오늘날 우리가 생산하는 플라스틱의 10% 미만이 실제로 재활용되고 있으며, 이는 재활용이 환경 문제에 대한 단순한 립 서비스처럼 보이게 만듭니다.



플라스틱은 모든 것에 사용됩니다. 예를 들어, 이 소녀의 재킷, 운동화, 트레이닝복, 휴대폰, 껌, 가방, 그리고 음식 포장 등 일상적인 물건들에 사용됩니다.

하지만 플라스틱은 인간에게 필수적입니다. 의류, 스마트폰부터 식품 포장, 의료 장비에 이르기까지 모든 분야에서 사용됩니다. 1950년대 전 세계 연간 플라스틱 생산량은 200만 톤 미만에서 4억 톤을 넘어섰습니다. 플라스틱 생산을 단순히 중단할 수는 없습니다.

우리가 이전에 꿈꿨던 유토피아를 기억하시나요? 우리는 석유를 태우고, 가스를 포집하고, 다시 연료를 만들어 재사용할 수 있는 끝없는 화석 연료 재사용의 순환이 있는 세상입니다?

믿거나 말거나 이 개념은 단순한 환상이 아닙니다. 플라스틱에 관한 한 현실입니다! 우리는 거의 무한정 플라스틱을 생산, 사용, 재사용할 수 있습니다.

플라스틱의 원형성

새로운 플라스틱으로 알려진 처녀(virgin) 플라스틱이 생산되어 제품으로 변하는 시스템입니다. 이러한 제품을 폐기할 때가 되면 다시 처녀 플라스틱으로 변환하여 새로운 제품을 만드는 데 사용할 수 있습니다. 이러한 처녀 플라스틱-제품-처녀 플라스틱의 지속적인 순환을 순환성이라고 합니다.

이 접근 방식은 플라스틱 폐기물을 처리할 뿐만 아니라 새로운 처녀 플라스틱을 생산할 필요성을 크게 줄여줍니다. 이러한 획기적인 발전은 자연에서 발견되고 미생물, 동물, 식물을 포함한 모든 생명체에서 생산되는 천연 물질인 효소에 의해 가능해졌습니다. 지금까지 그 범위는 PET 플라스틱입니다.

효소가 특정 플라스틱 유형의 플라스틱 폐기물 문제를 해결하기 위한 해결책을 개발하는데 어떻게 도움이 되었는지, 관련 메커니즘을 이해하고 미래가 어떻게 될지 깊이 탐구하기 전에 먼저 플라스틱의 기초를 파악하는 시간을 가져보겠습니다.

플라스틱은 어떻게 만들어지나요?

석유가 현대 사회의 중추와 같은 존재라는 것을 알고 계시죠? 자동차에 연료를 공급하거나 난방을 유지하는 것뿐만 아니라 플라스틱을 만드는 데 중요한 요소이기도 합니다!

하지만 석유는 어떻게 우리가 매일 사용하는 플라스틱으로 변할까요? 자세히 살펴보겠습니다. 플라스틱은 원유, 천연가스, 석탄 등으로부터, 여러 단계의 정제 및 복합화 과정을 거쳐서 만들어집니다

예를 들어 원유가 땅에서 나올 때는 한 가지가 아니라 다양한 물질이 혼합된 것입니다. 그래서 정유소라는 곳으로 갑니다. 그곳에서는 휘발유, 디젤, 등유 등 플라스틱을 만드는 데 필요한 특별한 부품인 에탄과 프로판 등으로 분해하기 위해 매우 뜨겁게 가열됩니다. 에탄과 프로판은 원유에서 분리된 후 에틸렌과 프로필렌이라는 두 가지 중요한 화학 물질로 전환됩니다. 이것이 단량체라고도 하는 특정 플라스틱을 만드는 기본 구성 요소입니다.

에틸렌과 프로필렌이 결합하면 폴리머라고 하는 긴 사슬을 형성합니다. 단량체를 '결합'하여 큰 폴리머 사슬을 형성하는 이 과정을 중합이라고 합니다. 금속 링크를 연결하여 긴 사슬을 형성하는 것처럼 생각하세요.

마지막 결과로, 긴 사슬의 단량체들이 모여 폴리머를 형성하는 것을 우리는 플라스틱이라고 부릅니다.

흥미로운 부분은 다음과 같습니다: 이러한 단량체를 어떻게 연결하고 배열하느냐에 따라, 다른 석유화학적 구성 요소를 추가하면 다양한 종류의 플라스틱을 만들 수 있습니다! 폴리에틸렌이나 폴리프로필렌과 같은 제품은 튼튼하고 내구성이 뛰어나 식품 용기와 같은 제품에 적합합니다. 폴리스티렌과 같은 제품은 더 유연하고 가벼워 폼 포장이나 건축 단열재와 같은 품목에 이상적입니다.

폴리머라는 단어는 그리스어로 "많은"을 의미하는 "폴리"와 "부분" 또는 "단위"를 의미하는 "메로스"에서 유래했습니다. 이 용어는 여러 단량체가 서로 연결되어 하나의 큰 사슬(플라스틱)을 형성하는 폴리머의 개념을 적절히 포착합니다.

왜 플라스틱은 바나나 껍질처럼 환경에서 분해되지 않나요?

글쎄요, 요점은 이겁니다. 플라스틱은 지구 역사상 사실상 가장 새로운 물질이기 때문이죠!

생각해 보세요—기름으로 만든 플라스틱은 불과 한 세기밖에 되지 않았습니다. 가장 일반적으로 사용되는 플라스틱 중 하나인 폴리에틸렌 테레프탈레이트(PET)는 1940년대에 현장에 등장했으며, 그 이후로 계속 큰 반향을 일으키고 있습니다. 음료 병, 식품 용기 및 기타 포장재 생산에 일반적으로 사용되는 플라스틱의 일종입니다. 투명성, 강도, 재활용 가능성으로 유명합니다. PET는 전 세계적으로 가장 널리 사용되는 플라스틱 유형 중 하나입니다.

이제 여러분은 "왜 이게 문제일까요?"라고 생각할 수도 있습니다

결론은 이렇습니다: 바나나 껍질이나 종이 조각처럼 자연에서 물질이 분해되는 것은 보통 미생물이라는 작은 힘 때문입니다.

미생물은 수십억 년 동안 자신의 기술을 연마해 왔으며, 동물의 살이든 식물성 제품이든 생존을 위한 에너지를 얻기 위해 손에 넣을 수 있는 모든 것을 활용해 왔습니다. 그리고 미생물은 자신이 생산하는 효소의 도움으로 이 일을 해냅니다.

석유로 만든 플라스틱은 여전히 이 미생물들에게 낯선 존재입니다. 그들은 여전히 머리를 긁적이며 반짝이는 합성 침입자를 어떻게 만들어야 할지 고민하고 있습니다. 그들이 그것들을 씹을 수 있을까요? 도대체 무엇으로 만들어졌을까요?

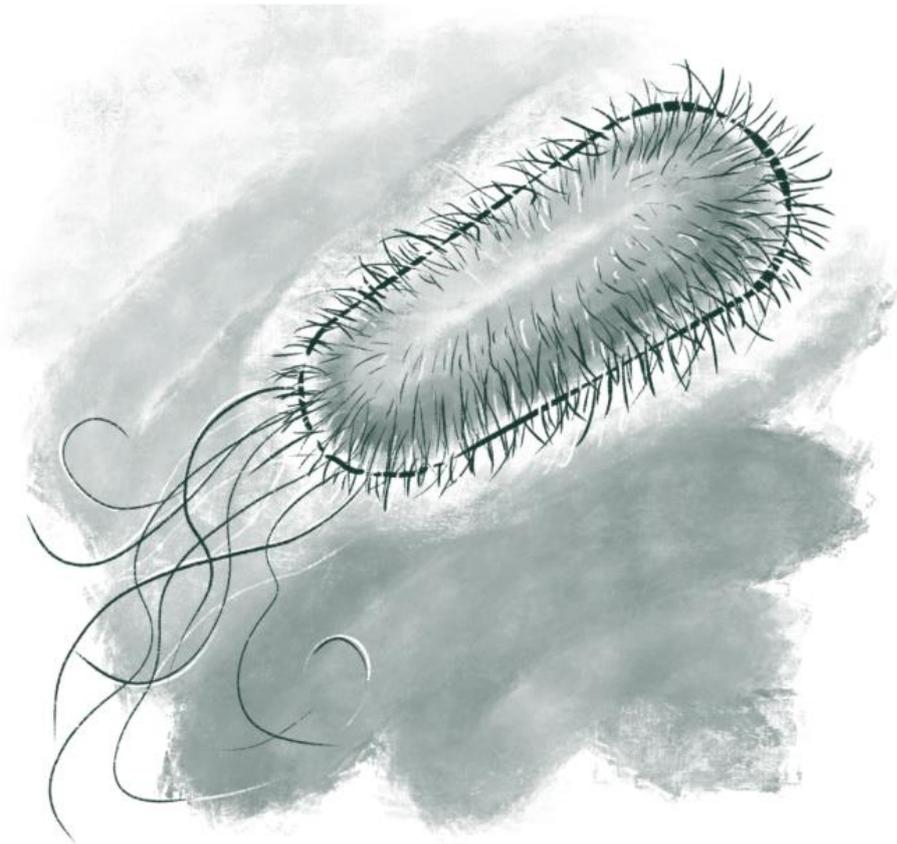
하지만 잠깐만요, 이야기는 여기서 크게 달라집니다: 미생물 세계의 반항아인 박테리아 *Ideonella sakaiensis* 가 등장합니다.

다른 모든 사람들이 여전히 플라스틱을 알아내기 위해 노력하고 있지만, 이 박테리아는 "도전이 받아들여졌다!"라고 말합니다. 이 박테리아는 마치 챔피언처럼 플라스틱을 먹으며 진화하여 다른 어떤 생명체보다도 "적자생존" 게임의 경계를 허물었습니다.

플라스틱에 달라붙는 박테리아

2016년, 교토 공과대학교와 게이오대학교의 일본 연구팀이 혁신적인 발견을 했습니다. 일본 사카이시의 한 플라스틱 재활용 공장에서 채취한 샘플에서 *Ideonella sakaiensis* 라는 놀라운 사실을 발견했습니다.

이 작은 경이로움은 플라스틱을 먹고 플라스틱 위에서 살아남습니다. 하지만 더욱 놀라운 것은 플라스틱 물병으로 흔히 사용되는 PET 라는 세계에서 가장 많이 생산되는 플라스틱 중 하나를 집어삼키는 방식입니다. 실로 만든 PET 는 일반적으로 옷을 만드는데 사용되는 '폴리에스터'로 알려져 있습니다. 튼튼하고 내구성이 뛰어나며 열화에 강한 것으로 악명이 높습니다. 하지만 여기에 *Ideonella sakaiensis* 가 있습니다.



이 플라스틱을 먹는 박테리아의 발견은 과학계에 충격을 주었습니다. 갑자기 극복할 수 없어 보이는 플라스틱 오염 문제가 더 이상 그렇게 어려워 보이지 않습니다

Ideonella sakaiensis 의 발견으로 과학계는 흥분과 기대감으로 가득 찼습니다. 이는 대중의 관심과 언론의 관심을 불러일으켰습니다.

전 세계 연구자들이 *Ideonella sakaiensis* 의 미스터리를 풀기 위해 분주히 움직이면서 한 가지 분명한 사실은 자연이 끊임없이 우리를 놀라게 한다는 것입니다. 플라스틱 쓰레기와의 싸움에서 결국 대자연은 몇 가지 요령을 가지고 있는 것 같습니다.

박테리아는 플라스틱을 어떻게 분해하나요?

PETase 와 MHETase 로 알려진 이 효소들은 플라스틱 폐기물과의 싸움에서 강력한 무기로 입증되었습니다.

하지만 이 효소들은 정확히 무엇을 하나요? 플라스틱을 어떻게 분해할까요?

빵, 고기, 치즈가 층층이 쌓인 큰 샌드위치를 상상해 보세요. 이 샌드위치를 배고픈 개미 군집 근처에 놓으면 어떤 일이 일어날 것 같나요? 몇 시간 안에 샌드위치 전체가 사라집니다!

이 시나리오에서 개미는 플라스틱을 먹는 박테리아를 상징합니다. 처음에는 일반 박테리아가 파괴할 수 없는 것처럼 보이는 것처럼 개미가 다루기에는 샌드위치가 너무 상당해 보일 수 있습니다.

그러나 개미는 샌드위치 층을 빠르게 자를 수 있는 강력한 강한 이빨을 가지고 있습니다. 점차 개미는 샌드위치를 갉아먹기 시작하여 샌드위치를 더 작은 조각으로 분해합니다. 개미는 한 입 베어 물 때마다 샌드위치를 부스러기로 줄여 다시 군집으로 옮깁니다. 결국 바닥에는 부스러기 더미만 남게 됩니다.

우리가 배운 바와 같이 플라스틱은 단량체를 서로 연결하여 폴리머라고 하는 긴 사슬을 형성함으로써 석유에서 만들어집니다. 플라스틱을 먹는 박테리아는 개미의 강력한 턱과 유사한 기능을 하는 PETase 및 MHETase 와 같은 효소를 생산합니다. 이러한 효소는 PET 플라스틱의 폴리머를 개별적이고 작은 단량체로 분해하기 위해 끊임없이 작동합니다. 개미가 샌드위치의 잘게 썬 작은 조각들을 먹어치우며 생존하는 것처럼, 플라스틱을 먹는 박테리아도 플라스틱 속의 폴리머를 분해하고 작은 단량체를 먹어 생존 에너지를 얻습니다.

효소의 힘을 한 단계 끌어올리기

인류가 플라스틱 폐기물 위기에 대처하기 위해 고군분투하는 와중에도 대자연은 이미 자신만의 해결책을 내놓았습니다. 흥미롭죠?

그래서 자연의 독창성에 영감을 받아, 몇몇 매우 똑똑한 연구자들은 이러한 자연적인 해결책을 더 많이 찾아내고 플라스틱 폐기물을 퇴치하기 위해 대규모로 작업하게 만드는 임무를 수행하기로 결정했습니다.

2020년 4월, 툴루즈 대학교와 프랑스 생명공학 회사 카르비오의 연구팀이 전 세계적으로 헤드라인을 장식했습니다.

왜냐고요? PET로 만든 플라스틱 병의 무려 90%를 단 10시간 만에 분해할 수 있는 효소라는 획기적인 사실을 보고했기 때문이죠! 좋아하는 프로그램을 몰아보는 데 걸리는 시간보다 더 짧은 시간 안에 병을 작은 입자로 바꾸는 것을 상상해 보세요. 그렇지 않으면 PET 병 하나가 환경에서 분해되는 데 수백 년이 걸립니다.

그래서 우리는 단량체를 떼서 종합하여 원하는 방식으로 긴 사슬로 연결하고 반짝이는 새로운 플라스틱 제품으로 바꿀 수 있습니다. 얼마나 멋진 일일까요?
하지만 잠깐만요, 더 있어요!

생각해 보세요: 매 분마다 전 세계적으로 백만 개의 플라스틱 물병이 팔리고 있습니다. 이는 1년에 5천억 개가 넘는 수치입니다! 하지만 이 효소를 사용하면 새로운 플라스틱 생산을 대폭 줄이고 대자연에 충분한 휴식을 취할 수 있습니다.

이 혁신으로 인해 발생하는 또 다른 주요 이점은 폴리에스터 의류를 재사용할 수 있다는 점입니다. 전 세계적으로 5천만 톤 이상의 폴리에스터 의류(PET로 만든)가 쓰레기통에 버려지고 있습니다. 이러한 의류는 주요 환경 문제가 되고 있습니다. 실제로 폴리에스터 의류는 플라스틱 병과 같은 방식으로 단량체로 분해할 수 있어 폴리에스터 의류의 효소 재활용과 순환성을 높일 수 있습니다.

효소는 PET 플라스틱뿐만 아니라 다른 플라스틱도 분해할 수 있습니다.

PET만이 자연의 강력한 효소에 굴복하는 플라스틱은 아닙니다. 독일 연구진은 놀라운 발견을 통해 다른 플라스틱 경계에서 생존할 수 있을 뿐만 아니라 번성할 수 있는 놀라운 박테리아인 폴리우레탄을 공개했습니다. 네, 맞습니다. 자연의 미생물 전사들이 또 다른 합성 섬유에 눈을 돌린 것입니다.

그리고 그것만으로는 충분히 인상적이지 않았다면, 단순한 낚시 미끼로 간과되는 검손한 밀랍 나방이 플라스틱과의 전쟁에서 예상치 못한 영웅으로 등장했습니다. 스페인과 영국의 과학자들은 이 검손한 벌레가 환경 파괴의 악명 높은 상징인 폴리에틸렌 봉지를 분해할 수 있는 효소를 가지고 있다는 사실에 놀라움을 금치 못했습니다.

마치 자연이 생태계를 질식시키는 플라스틱의 맹공격에 지친 채 플라스틱 전염병에 맞서 조용히 혁명을 일으킨 것과 같습니다.

이러한 발견은 생물학의 기발한 해결책에는 한계가 없다는 더 넓은 진실을 밝혀줍니다. 페트병부터 폴리에틸렌 백에 이르기까지 합성 플라스틱은 생물학의 끊임없는 효소에

의한 전례 없는 공격에 직면하여 플라스틱 오염과의 싸움에서 놀라운 변화를 예고합니다. PET 재활용은 잘 정의된 효소로 산업 규모에 도달하기 위한 +10 년의 여정이었지만, 우리의 왁스 웜 친구들은 여전히 미래의 음악을 대표합니다. 그들은 장기적인 잠재력을 가질 수 있지만, 현재 즉시 실행 가능한 해결책과는 거리가 멉니다.

효소의 혁신적인 능력을 수용하다

자연을 보호하기 위한 플라스틱 쓰레기 위기와의 싸움에서 우리의 강력한 동맹은 가장 예상치 못한 곳, 즉 자연 자체에서 비롯됩니다. 낙엽이 미생물에 의해 영양분이 풍부한 토양으로 분해되거나 청소부가 동물 사체를 잡아먹는 등 자연은 항상 쓰레기를 처리하는 나름의 방식을 가지고 있었습니다.

그러나 플라스틱은 자연에 독특한 도전 과제를 안겨주었습니다. 유기 물질과 달리 플라스틱은 내구성과 분해 저항성을 갖추도록 설계된 합성 고분자입니다. 플라스틱 문제에 대한 해답은 지구 곳곳에 숨어 부지런한 연구자들에게 밝혀지기만을 기다리고 있습니다. 그리고 이제 우리는 이 새로운 지식으로 무장하고 혁명적인 돌파구를 눈앞에 두고 있습니다.

자연계에서 추출한 효소는 플라스틱 원형성의 잠재력을 최대한 발휘할 수 있는 열쇠를 쥐고 있으며, 이는 지속 가능성 **playbook**의 획기적인 변화입니다.

플라스틱 품질을 매년 저하시키고 결국 쓰레기통에 버리는 기존 재활용 방법과 달리, 순환성은 전체적인 해결책을 제시합니다.

플라스틱을 기본 구성 요소인 단량체로 분해함으로써 효소는 폐쇄 루프 시스템을 구축할 수 있습니다. 이러한 지속적인 생산, 활용, 재생의 춤은 처녀 플라스틱 생산에 대한 수요를 최소화하여 생태 발자국을 극적으로 억제합니다.

많은 연구가 진행되고 있는 가운데 실험실 밖 솔루션에 대한 긴급한 필요성이 대두되고 있습니다. 이러한 혁명의 최전선에는 효소의 힘을 활용하여 플라스틱에 원형성을 도입하고 있는 Carbios 라는 회사가 있습니다. 그들은 획기적인 효소의 도움으로 프랑스에 공장을 건설하여 연간 5만 톤의 PET 폐기물을 재사용 가능한 단량체로 전환하고 있습니다. 이는 20억 개에 달하는 PET 병에 해당하는 양입니다. 효소와 순환성의 혁신적인 능력을 받아들이면서, 우리는 플라스틱 오염이 먼 기억에 불과한 세상을 향한 집단적인 여정을 시작합니다.

네, 플라스틱을 수거하기 위한 인프라 구축을 포함한 많은 작업이 남아 있지만 효소는 플라스틱과의 관계를 바꾸기를 갈망하고 있습니다.

우리는 매일 미세 플라스틱을 먹고 있습니다:

미세 플라스틱은 사람의 눈에는 보이지 않는 매우 작은 플라스틱 조각으로 환경을 오염시킵니다. 호주 뉴캐슬 대학교의 연구원들이 2019년에 발표한 흥미로운 연구에 따르면 인간은 미세 플라스틱이 함유된 음식을 먹거나 음료를 마시으로써 매일 5그램에 달하는 플라스틱을 섭취하고 있을 수 있다고 합니다. 이는 하루에 신용카드 한 장을 먹는 것과 같습니다!

생분해성 플라스틱:

전 세계의 연구자들은 음식이나 식물 폐기물과 같은 유기 제품처럼 퇴비화할 수 있는 새로운 종류의 플라스틱을 개발하고 있습니다. 이 새로운 종류의 플라스틱은 폴리락트산이라고 하며 옥수수 전분과 사탕수수과 같은 식물 재료로 만들어집니다.

금속을 먹고金を 배출하는 박테리아

황금빛 촉감을 지닌 박테리아, *Cupriavidus metallidurans* 를 만나보세요! 이 미생물은 독성 금속으로 오염된 토양에서 서식합니다. 이 놀라운 미생물은 토양에 구리나 금이 과도하게 존재하는 상황, 즉 독성을 가진 상황을 처리하기 위해 독특한 과정을 진화시켜 왔습니다. 구리 과잉에 직면하면 CupA 라는 효소를 활성화하여 잉여 구리를 펌핑하고 건강을 유지합니다. 하지만 금이 존재하면 영리하게도 CopA 라는 효소를 생산하여 독성 구리-금 화합물을 나노미터 크기의 무해한 금 덩어리로 변환합니다. 자연에는 정말 놀라운 묘기가 숨어 있습니다!

그럼에도 불구하고 전 세계의 모든 복잡한 문제와 마찬가지로 플라스틱 문제를 한 가지 방법으로만 해결할 수는 없습니다. 이 경우 효소의 변형 능력과 순환성을 포괄하는 바이오 솔루션입니다. 생물학을 진정으로 이해하고 산업 규모의 솔루션을 개발하기 위해서는 더 많은 연구가 필요하지만, 어쩌면 더 중요한 것은 폐기물 관리 관행과 플라스틱을 수거할 수 있는 인프라가 필요하다는 점입니다. 무엇보다도 가능하고 관련성이 있는 경우 사용을 줄이고 대안을 사용해야 합니다.

그래야만 플라스틱 오염이 먼 기억에 불과한 미래 세계를 향한 공동의 여정을 진정으로 시작할 수 있습니다.