

What is Desired for Biodegradable Plastics?

생분해성 플라스틱에 대한 요구사항

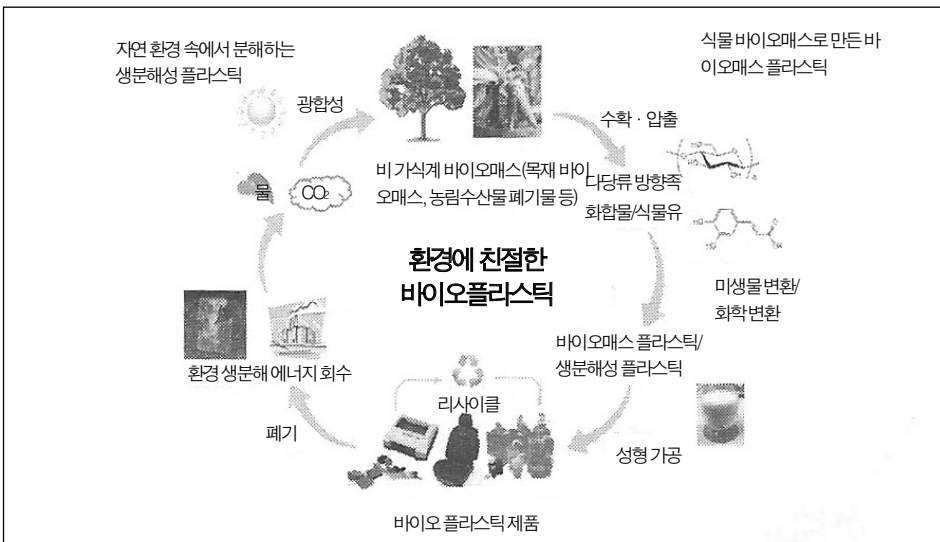
岩田忠久 / 도쿄대학 대학원농학생명과학연구과 생물재료과학전공 고분자재료학연구실

1. 생분해성 플라스틱과 바이오매스 플라스틱

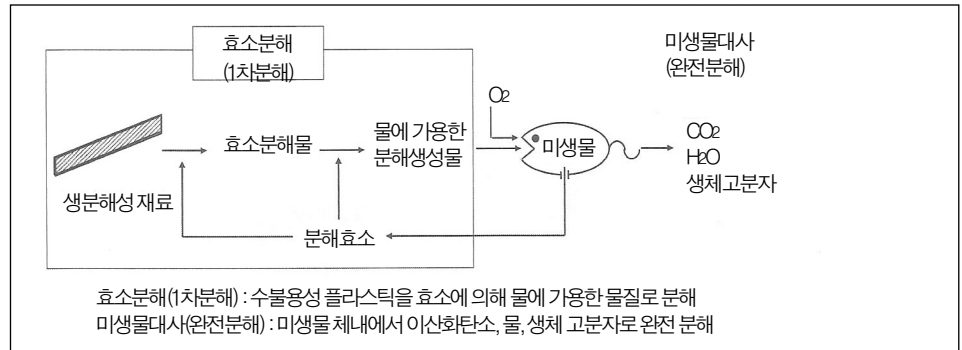
현재 해양 마이크로 플라스틱 문제와 같은 비 생분해성 석유합성 플라스틱의 폐기물에 의한 환경오염은 지구 규모의 해결해야만 하는 중요한 과제가 되고 있다. 그 해결책의 하나로써 환경 속 미생물에 의해 물과 이산화탄소로 완전히 분해되는 ‘생분해성 플라스틱’의 개발이 요구되고 있다. 더욱이 에너지 사용량의 증대에 따른 석화 자원의 고갈, 플라스틱 소각에 의한 지구온난화, 이산화탄소 배출 삭감 등의 사회적 요청으로 재생가능한 바이오매스를 출발 원료로 생산된 ‘바이오매스 플라스틱’의 중요성도 높아지고 있다. 현재 ‘생분해성 플라스틱’과 ‘바이오매스 플라스틱’을 총칭해 ‘바이오 플라스틱’이라고 말하고 있다

환경에 친절한 플라스틱의 개념을 바탕으로 처음 연구개발이 추진된 것은 토양, 하천수, 해

[그림 1] 환경에 친절한 바이오매스 플라스틱의 순환도



[그림 2] 생분해성 플라스틱의 분해기구(효소분해와 미생물대사)



수 등의 환경 속에서 분해하는 생분해성 플라스틱이다. 이상적인 생분해성 플라스틱은 ‘사용 중에는 일반 플라스틱과 마찬가지로 사용할 수 있고, 사용 후에는 자연계에서 미생물이 관여해 저분자 화합물, 최종적으로 물과 이산화탄소로 완전히 분해되는 플라스틱’으로 정의되고 있다([그림 2]). 따라서 생분해성 플라스틱은 환경 보전에 공헌한다는 관점에서 환경에 친절한 플라스틱이고, 생분해한다는 기능에 큰 의미가 있기 때문에 원료가 석유인지, 재생산 가능한 바이오매스인지는 문제가 안 된다.

II. 현재 개발되고 있는 생분해성 플라스틱

[표 1]에 현재 개발되고 있는 생분해성 플라스틱을 제조기업명, 상품명 및 제조량과 함께 나타냈다. 이들 데이터는 날마다 변화하기 때문에 정확한 것은 각자 조사해보길 바란다.

[표 1] 생분해성 플라스틱의 기업 개발 상황

폴리머명	제조기업	상품명	제조량
폴리유산	Nature Works(미국)	Ingeo™	14만t(2002년)
유산	Corbion N.V.(네덜란드)		10만t(2009년)
폴리유산	Total Corbion PLA(프랑스+네덜란드)	Luminy®	7.5만t(2018년)
폴리유산	절강해정생물재료사(중국)	RECODE®	1.5만t
P(3HB)	Biomer(독일)	Biomer®	
P(3HB-co-3HH)	가네카(일본)	PHBH™	5,000t
P(3HB-co-3HA)	Danimer Scientific(미국)	Nodax™	3만t(2019년)
P(3HB-co-3HV)	Bio-on(이탈리아)	MINERV-PHA™	1만t(2018년)
P(4HB)	Tepha(미국)	Tepha FLEX® 또는 Tepha ELAST®	
PBS/PBSA	PTT MCC Biochem(일본+태국)	Bio PBS™	2만t(2018년)
PBTA/PBTA+PLA	BASF(독일)	Ecoflex®, Ecovio®	7.4만t(2011년)
수식 전분+PVA	Novamont(이탈리아)	Mater-Bi®	15만t(2018년)

[표 2] 생분해성 플라스틱의 기대 용도

분야		용도
자연 환경에서 이용되는 분야	농림수산물 자재	다목적 필름, 농약·비료용 서방성 피복제, 이식용 모종 포트, 낚시류, 어망, 김망 등
	토목·건설용 자재	황무지, 사막의 녹화용 보수소재, 공사용 보수시트, 흙부대, 식생 네트 등
	야외 레저 제품	골프, 낚시, 해양스포츠 등의 1회용 제품
	수처리용 자재	침전제, 분산제, 세제
	식품용기포장용	식품포장필름, 가식용 팩의 내부 코팅
유기 폐기물의 콤포스 트화에 유용한 분야	위생용품	신선식품의 트레이, 패스트푸드의 용기, 도시락상자 등
	일용품, 잡화	종이 기저귀, 생리용품 등
		쓰레기봉투, 컵 등

현재 개발되고 있는 생분해성 플라스틱은 폴리유산(Nature Works, Ingeo™, 약 14만t), 미생물 생산 폴리에스테르(가네카, PHBH™, 약 5,000t), 폴리부틸렌 아디페이트 텔레프탈레이트(BASF, Ecoflex®, 약 5만t), 폴리부틸렌 석시네이트/아디페이트(미츠비시케미컬, Bio PBST™, 약 1만t) 등 생분해성 폴리에스테르 카테고리에서만 조금씩 생산되고 있을 뿐이었다. 그래서 다종다양한 생분해성 플라스틱을 개발할 수 있는가가 가장 중요한 과제였다.

III. 생분해성 플라스틱의 종류와 앞으로 요구될 것

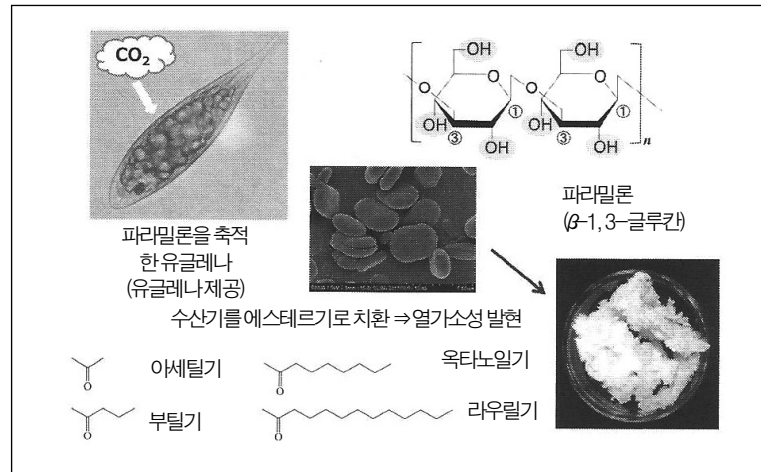
생분해성 플라스틱은 ‘생분해’ 하는 것에 의의가 있다. 생분해성 플라스틱의 이용용도로써는 환경 중에 이용되는 분해와 분별회수가 어려운 분야의 2가지가 있다([표 2]). 그러나 그 생분해성에도 콤포스트(compost)분해, 활성오니(活性汚泥)분해, 토중분해, 하천·호수분해, 해수분해, 심해분해 등이 있다. 단순히 필드 분해시험뿐만 아니라 유용분해 미생물의 단리(單離)나 그곳에서부터 얻어진 정제된 효소에 의한 고분자 레벨에서의 분해기구의 해명도 추진해야만 하는 중요한 기초 연구이다. 이처럼 ‘생분해성’의 관점에서부터 몇 가지 반드시 해야만 하는 기초연구를 살펴보도록 한다.

① 생분해성 플라스틱의 종류를 늘리다

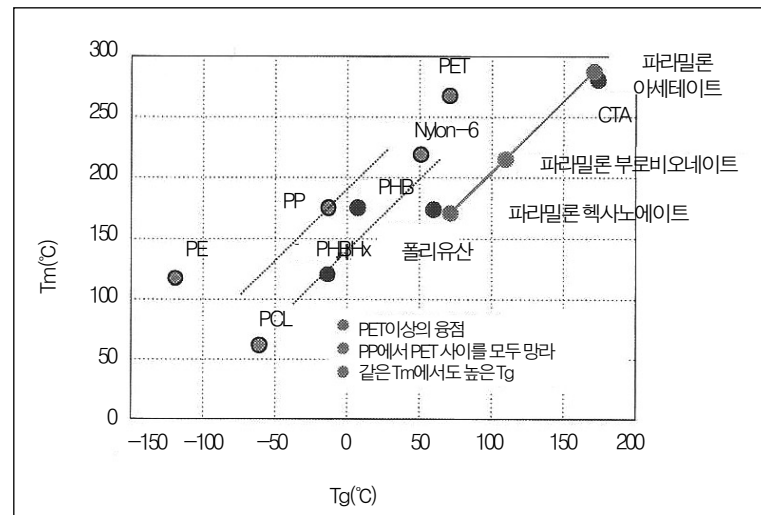
인류는 폴리에틸렌, 폴리프로필렌, 폴리염화비닐, 폴리스티렌, 폴리에틸렌 테레프탈레이트의 5대 플라스틱과 함께 발전해왔다. 이들은 다양한 강도, 열적성질, 투명성 등을 가지고, 적재적소에서 이용되고 있다. 그런데 생분해성 플라스틱은 앞에서 서술한 것과 같이 아직 몇 가지만 생산되고 있는 것에 불과하다.

저자는 셀룰로오스(β -1, 4-글루칸)나 유글레나가 합성한 파라밀론(β -1, 3-글루칸)

[그림 3] 파라밀론 에스테르 유도체의 합성



[그림 4] 석유합성 플라스틱, 미생물 생산 폴리에스테르(PHB, PHBx), 폴리유산, 고분자 다당류 에스테르 유도체의 용점(Tm)과 유리전이점(Tg)



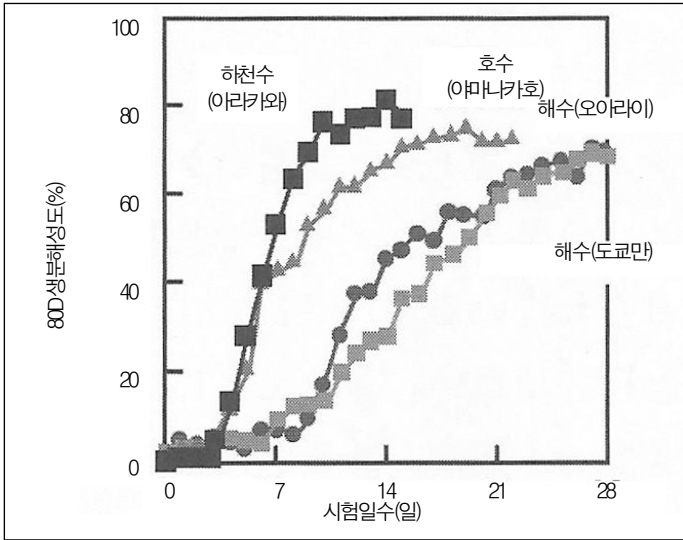
가 모두 에스테르화된 상태)는 용점=320°C, 유리전이점=180°C로 PET보다도 높은 용점과 뛰어난 내열성을 가진다([그림 4]). 또한 셀룰로오스 아세테이트는 치환도를 컨트롤(치환도 2.1 이하)하는 것에 의해 활성오니 중에 생분해성을 발현한다는 것도 보고되고 있다. 이처럼 폴리에스테르뿐만 아니라 다양한 구조와 뛰어난 성능을 가진 생분해성 플라스틱을 개발해 다양한 사용용도에 따른 요구 성능을 만족해야만 한다.

② 환경분해성의 정확한 확인

생분해성 플라스틱을 말할 때에는 어떠한 환경에서 분해하는가를 명확히 하고, 그것을

등 다양한 결합양식을 가진 고분자 다당류를 에스테르 유도체화하는 것에 의해 지금까지의 석유합성 플라스틱에는 없는 뛰어난 열적성질이나 물성을 가진 바이오매스 플라스틱의 개발에 성공하고 있다([그림 3]). 예컨대 파라밀론 트리아세테이트(치환도=3, 글루코스 단위당 3개 수산기

[그림 5] 미생물 생성 폴리에스테르(P(3HB))의 환경수를 이용한 BOD 생성분해시험(아라카와강 하천수, 아마나카호수, 도쿄만 해수, 오아라이 바다 해수)



일반 소비자가 알 수 있도록 해야만 한다. 이를 위해서는 개발한 생분해성 플라스틱이 실제로 어떤 환경 하(컴포스트, 활성오니, 토양, 하천수·호수·해수, 심해)에서 분해하는가를 정확히 파악하고, 그것을 표기하는 제도를 확립해야만 한다.

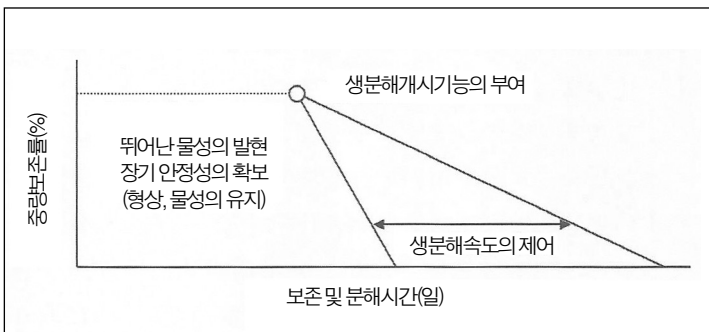
예컨대 폴리유산은

컴포스트만으로 분해하고, 주변의 땅이나 물 환경에서는 분해하지 않는다. [그림 5]는 필자가 제작한 미생물 생산 폴리에스테르 필름의 환경수를 이용한 BOD 분해시험의 결과이다. 모든 환경수에서 완전히 분해된다는 것은 알 수 있는데, 흥미로운 점은 사람이 많이 사는 곳에 가까운 아라카와강 하천수와 아마나카호수 쪽이 도쿄만이나 오아라이 바다에서 채취한 심해보다 2배가량 분해하고 있다는 것이다. 이처럼 같은 샘플이라도 환경에 따라 분해 속도가 다르기 때문에 ‘환경수’라고 해도 그 의미가 각각 다르다는 것을 이해할 필요가 있다.

저자는 NEDO 선도연구프로그램 ‘다양한 생분해성 플라스틱의 해양분해성평가(연구대표자: 岩田忠久)’에서 생분해성 플라스틱이나 석유합성 범용 플라스틱으로 만든 필

름, 섬유, 사출성형품 등 74종류를 시즈오카현의 작은 섬 하츠시마 부근 심해 850미터에 2019년 9월에 매립했다. 1년 후 또는 2년 후

[그림 6] 생분해성 플라스틱의 분해개시기능과 분해속도 억제의 개념도



에 올려서 정말로 심해에서 생분해성 플라스틱이 분해했는지, 어떠한 미생물이 부착하고 있는지 등을 보고하고자 했다.

③ 생분해성 개시기능의 부여(환경응답형 생분해성 플라스틱)

사용하고 있을 때에는 결코 분해가 일어나지 않고, 사용이 끝나 불필요할 때 또는 환경 속으로 유출했을 때 생분해가 시작하는 기능을 부여한다([그림 6]). 앞에서 소개한 다당류 에스테르 유도체는 치환도=3일 때에는 생분해성을 나타낼 수 없다. 그러나 에스테르기는 알칼리 조건 하에서는 이탈반응이 일어난다. 에스테르기가 이탈해 치환도가 2.1 이하가 되면 생분해성이 발현하기 때문에 환경응답형 생분해성 플라스틱이라고 말할 수 있다.

④ 생분해성 속도의 컨트롤

사용목적에 따라 자유롭게 생분해속도를 컨트롤할 수 있는 재료를 개발하고 있다. 저자는 지금까지 생분해성속도를 컨트롤하는 인자를 해명하고, 결정화도, 결정두께, 결정배향도, 분자쇄구조가 속도에 중요한 영향을 미친다는 것을 해명하고 있다.

⑤ 분해효소 · 분해미생물의 데이터베이스 확립

앞에서 서술한 것처럼 다양한 환경 하에서 분해시험을 실시하고, 어떤 플라스틱이 어떠한 조건 하에서 분해하는지를 명확히 정리할 필요가 있다. 그것에 더해 환경 속에서 분해미생물을 단리하고, 하나의 미생물이 어떠한 효소를 몇 종류 분비하고 있는지 또는 복수의 미생물이 협동작업으로 플라스틱을 분해하고 있는지 등 분해미생물 관점에서의 연구를 활발히 하고 있다. 효소분해 · 미생물분해 · 환경분해에 의해 얻어진 지견을 종합적으로 고찰 · 통합해 생분해성 플라스틱의 분해효소 및 분해미생물의 데이터베이스를 확립한다.

⑥ 화학구조 및 분자구조에서의 생분해성 플라스틱의 시뮬레이션

컴퓨터를 이용해 환경에서 분해하기 쉬운 생분해성 플라스틱의 화학구조를 시뮬레이션한다. 더욱이 분자쇄구조, 결정구조, 고차구조의 관점에서도 분해속도를 예측한다. 고분자구조학과의 연대가 필요하다.

⑦ 진정한 의미의 마이크로 플라스틱 및 나노플라스틱 문제의 해결

현재 문제가 되고 있는 마이크로 플라스틱은 수 밀리 단위의 플라스틱이다. 앞으로 더욱 문제가 될 것은 의류 세탁에 의해 배출되는 미크론 단위의 섬유 찌꺼기, 화장품이나 치약 등에 들어있는 나노 입자 등 눈에 보이지 않는 진정한 의미의 마이크로 플라스틱


이나 나노 플라스틱이다. 어떠한 플라스틱이 어떠한 형상으로 사용되고 있는지를 정확히 판단하고, 플라스틱 표면에 흡착한 다양한 화학물질, 첨가제나 분해 도중 중간생성물의 생체에 대한 영향 등도 포함해 그곳에서부터 만들어진 과제를 미연에 예측하고 대책을 도모하는 것이 필요하다.

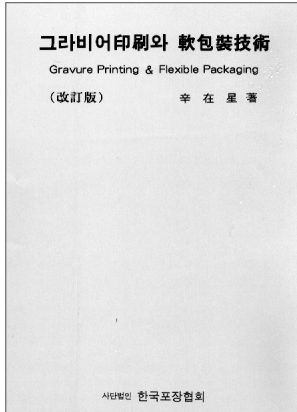
⑧ 비 생분해성 플라스틱을 분해하는 인공효소의 개발

다양한 생분해성 플라스틱을 분해하는 효소의 3차원 결정구조를 해석하고, 그 입체구조를 단백질 공학적 수법 및 진화공학적 수법을 이용해 개변, 폴리에틸렌이나 폴리프로필렌을 비롯한 비 생분해성 플라스틱을 분해할 수 있는 인공분해효소를 개발해야 한다. 대형 방사광, 중성자 산란시설 등의 시설을 효과적으로 이용하고, 단백질의 일차구조에서부터 고차구조까지의 메타 데이터의 집적이 필요하다. 다만 인공효소를 환경에 맞추는 것에 의한 새로운 환경문제에 관해서는 추후 의논해야만 할 것이다.

IV. 결론


해양 마이크로 플라스틱 문제가 부각되면서 플라스틱이 사회 악처럼 취급되고 있지만, 결코 플라스틱은 나쁜 것이 아니다.

폐기물 처리를 할 수 없는 인류 또는 회사 시스템이 나쁘다는 것을 인식할 필요가 있다. ‘어렵지만 실현을 하면 큰 영향을 미칠 수 있는 장대한 목표·도전’을 ‘문 샷(moon shot)’이라고 한다. 2020년 생분해성 개시 스위치 기능을 가진 생분해성 플라스틱의 개발을 목적으로 한 문 샷 프로젝트가 시작한다. 지금까지 없던 뛰어난 아이디어로 고성능 생분해성 플라스틱이 개발될 것을 기대한다. 



서적 안내

그라비어 인쇄와 연포장기술



· 가격 : 15,000원

· 구입 문의

TEL : (02)2026-8655

E-mail : kopac@chollian.net

(사)한국포장협회