



# 포장재용 바이오플라스틱 동향

The trend of Bioplastics for Packaging

박 상 현 / 롯데케미칼 연구소 수석연구원  
홍 성 민 / 롯데케미칼 연구소 선임연구원

## 1. 서론

바이오플라스틱은 크게 천연물을 원료로 화학적 또는 생물학적 공정을 거쳐 제조되는 바이오 매스 기반의 플라스틱과 일정 기간 내에 생물학적 분해가 가능한 플라스틱으로 나눌 수 있다.

전통적 의미의 바이오플라스틱은 생분해성 플라스틱을 의미하였으나, 최근 탄소중립(carbon-neutral), 신재생자원 활용 측면에서 바이오매스 기반의 플라스틱이 부각되고 있는

추세이다.

이러한 바이오플라스틱은 [표 1]과 같이 크게 분류할 수 있다.

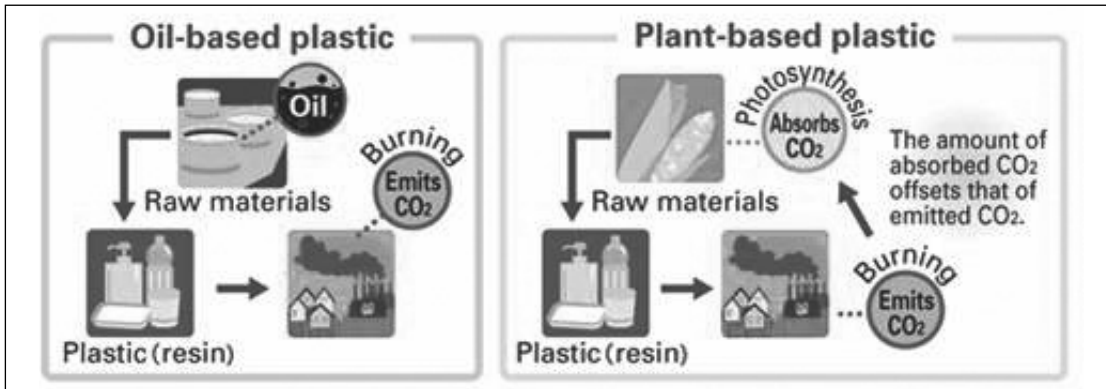
최근 상용화되어 많은 관심을 끌고 있는 대표적인 바이오플라스틱에는 Poly(Lactic Acid)(PLA), Polyhydroxyalkanoates(PHAs)계, Poly(Butylene Succinate)(PBS)계, 바이오 PET, 바이오 PTT를 포함한 Polyester계, 바이오 나일론, 바이오 PE 등이 있다.

본 내용에서는 친환경 포장재로 주목 받고 있는 바이오 PET를 중심으로 PLA, PHAs, PBS에 관한 기술과 시장 동향을 다루고자 한다.

[표 1] 바이오플라스틱 종류

구분	종류
천연고분자	전분, 셀룰로오스, Polysaccharide, 천연섬유 등
바이오매스 유래 중합형 고분자	PLA(poly(lactic acid)) Poly(ethylene Terephthalate)(PET) Poly(trimethylene Terephthalate)(PTT) 생분해성 Poly(butylene succinate)(PBS)계 Nylon, PE, PP, PC, PU 등
미생물 이용 제조 고분자(PHA 계)	Poly(3-hydroxybutyrate), PHB Poly(3-hydroxy valerate), PHV 등

[그림 1] 석유유래 화학제품과 식물유래 화학제품의 이산화탄소 순환 경로(출처 : fujixerox.com)



## 1. 바이오플라스틱 도입 배경

### 1-1. 기후 변화 대응, 지속가능 자원 활용

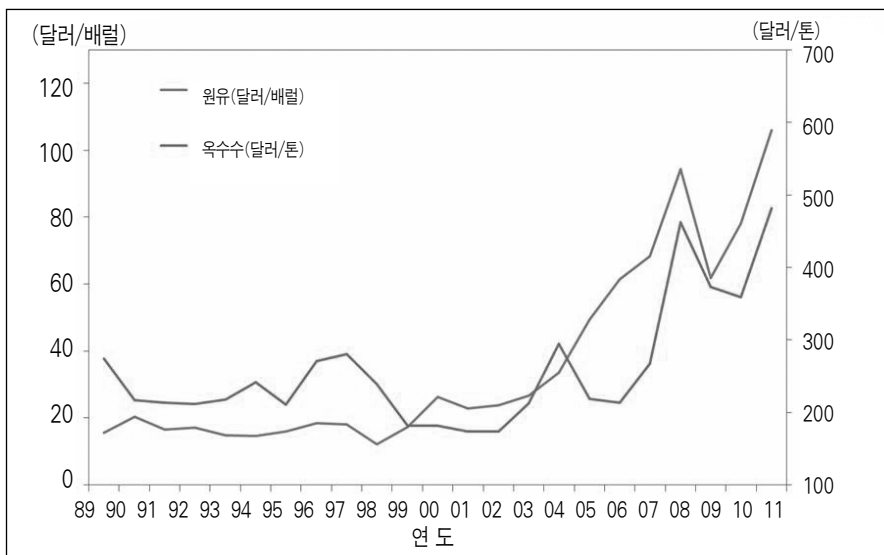
지구 온난화의 주원인으로 이산화탄소가 지목되고 탄소 중립(carbon-neutral) 개념이 도입되면서, 이산화탄소 저감을 위해 식물자원 기반 바

이오플라스틱의 필요성이 부각되었다.

[그림 1]은 석유 유래 화학제품과 식물 유래 화학제품의 이산화탄소 순환 경로로 탄소 중립(carbon-neutral)을 표현하고 있다. 석유와 바이오 유래 소재 모두 제품화하여 사용 후 폐기까지 이산화탄소가 발생하지만 바이오 유래 플라스틱

을 사용할 경우 자연계에서 순환되는 탄소원을 사용하므로 석유 유래 플라스틱과 다르게 자연계의 이산화탄소의 양은 추가로 증가하지 않는다는 개념이다. 또한, 석유 유래 플라스틱은 그 원료인 석유자원이 한정되어 있는데

[그림 2] 석유와 옥수수 가격 변동 추이 비교(출처 : USDA ERS, 한국 석유 공사)





반해, 바이오 유래 플라스틱은 원료인 바이오 물질의 재생이 가능하여 지속적으로 순환이 가능하다는 의미이다.

### 1-2. 원자재 가격 상승 대안, 친환경 마케팅

플라스틱 관련 기업들은 원자재 구매에 있어서 가격 변동폭이 크고 가격 예측이 힘든 석유 원료에 대한 의존성을 줄이고 바이오 원료와 이원화하여 시황에 따라 저렴한 원료를 유연성 있게 확보하기를 원한다. 또한 바이오플라스틱 제품을 마케팅 톨로 활용하여 브랜드 가치 개선, 친환경 이미지로 이어져 이로 인해 해당 기업이 지속적으로 성장하기를 기대한다. 따라서 바이오플라스틱은 환경문제 해결과 신재생 자원 활용 차원에서 필요성이 크게 대두 되었고 기업은 대체 자원 확보와 친환경 이미지 메이킹에 추가적인 가치를 두고 있다.

## 2. 바이오 PET 개발 및 시장 현황

### 2-1. 바이오 PET 제조 기술 현황

바이오 PET는 크게 세 가지로 나눌 수 있다. 첫째, 바이오 PET 내 70%를 차지하고 있는 Purified Terephthalic Acid(PTA)만을 바이오 원료로 사용한 제품, 둘째, 나머지 약 30%인 Mono ethylene Glycol(MEG) 부분만을 바이오 원료로 사용한 제품, 셋째, 두 가지 모두를 바이오 원료로 사용한 제품이 있다. 현재 상업적으로 활발히 전개 되고 있는 것은 PET내 30%를 차지하고 있는 MEG를 바이오 물질로 사용한 바이오 PET수지이다.

바이오 MEG를 생산하기 위해서는 먼저 사탕

수수를 발효시킨 후 정제하여 바이오 Ethanol을 만든다. 이를 바이오 Ethylene으로 변환시킨 후 산화반응 공정을 거침으로서 바이오 MEG를 제조 할 수 있다. 이렇게 제조된 바이오 MEG를 석유계 PTA와 반응시킴으로써 바이오 PET수지를 제조할 수 있다. 현재 이와 같은 공정을 통해 바이오 MEG 기반 바이오 PET수지를 제조하는 업체는 롯데케미칼, Indorama, EASTWEST, Teijin, Toyobo 등이 있고, 코카콜라(Coke사)는 바이오 PET수지를 공급받아 용기를 성형한 후 PlantBottle®과 같은 바이오 용기를 사용한 제품을 생산하고 있다.

롯데케미칼은 2012년 10월에 국내 최초로 포장용 바이오 PET수지 양산에 성공했다. 롯데케미칼 바이오 PET수지인 PAPET BIO는 31.2%의 사탕수수로부터 유래한 바이오 원료를 함유한다. 기존 석유계 일반 PET의 이산화탄소 배출량이 2.4kg CO<sub>2</sub>/kg-PET이라면 PAPET BIO의 CO<sub>2</sub> 배출량은 1.9kg CO<sub>2</sub>/kg-PET로 20%의 이산화탄소 발생량을 감소시킬 수 있다. PAPET BIO는 뛰어난 가공성, 고투명성, 기계적 강도, 내열성을 가지고 있고, 재활용이 가능하다. 또한, FDA인증, 위해 물질 성적서를 포함한 각종 미국 및 유럽 인증을 획득한 상태이고 2011년 3월에 국내의 대표적인 바이오플라스틱 인증인 (사)한국바이오소재패키징협회로부터 BioPlastic인증을 획득하였다. 현재는 일본의 바이오 인증인 Japan BioPlastics의 "Positive List A"에 등록을 진행 중이다. 동 건의 성사로 PAPET BIO는 일본 시장 전개가 더욱 용이해질 것으로 보인다.

100% 바이오 원료를 이용한 바이오 PET수지를 제조하기 위해 바이오 MEG를 제외한 나머지

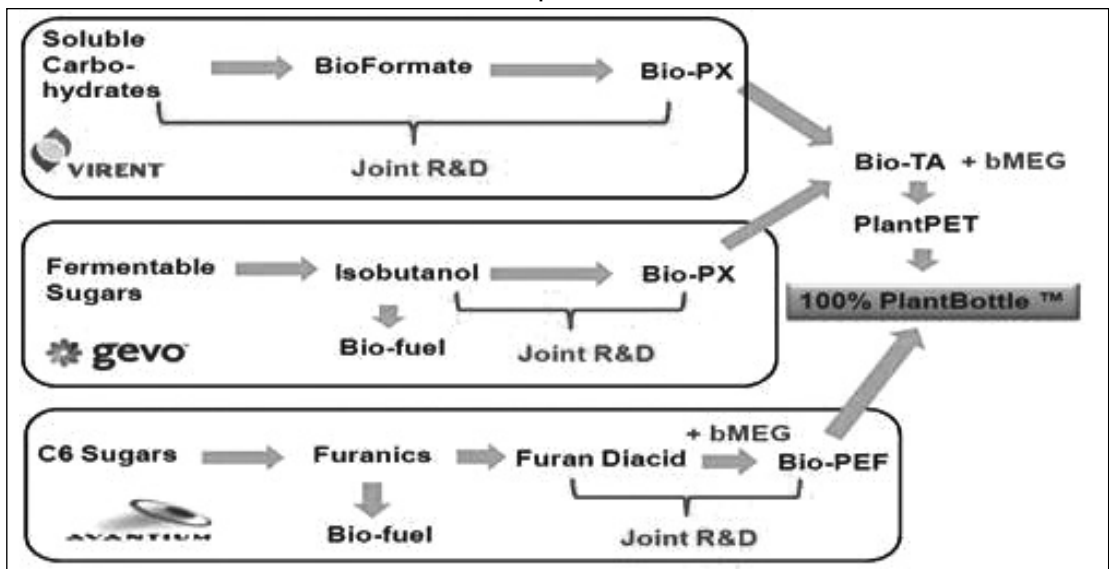
70%인 PTA 부분을 바이오화 할 수 있는 기술도 활발히 개발 중이다. PTA 바이오화 기술은 다양한 종류의 바이오매스로부터 Para-Xylene(PX)을 추출하여 바이오 PTA를 제조하는 기술과 바이오매스로부터 PTA를 대체 할 수 있는 Furan계 단량체를 합성하는 기술이 있다. 바이오 PX는 기존 석유화학 PTA공정에 바로 적용(Drop-in)하여 바이오 PTA를 제조한 후 기존 공정에서 바이오 MEG와 반응시켜 100% 바이오 PET수지를 제조할 수 있는 장점이 있다. 용기 제조 과정 또한 기존 PET의 경우와 동일하여 가공업체와 완제품 업체 모두 기존 설비와 기술을 사용할 수 있는 장점이 있다.

바이오 PTA 주요 개발 업체로는 Virent사와 Gevo사가 있으며 두 업체 모두 Coke사와 계약을 맺고 2015년 100% 바이오 PET 상업화를 목표로 연구 개발 중에 있다. 업체 별 기술을 살펴보

면, Virent사는 바이오매스로부터 추출된 C5, C6당을 원료로 축매기술을 통해 방향족 물질을 합성하는 기술을 보유하고 있으며, 미국 Texas에 Pilot 규모의 바이오 PX 제조 설비를 가동 중에 있다. 동사는 2015년까지 바이오 PET 20만톤/년 제조가 가능한 PX를 생산하겠다고 발표했다. Gevo사는 사탕수수, 목질계 Cellulose로부터 발효, 정제공정을 통해 Isobutanol을 추출하고 이로부터 바이오 PX를 제조하는 기술을 보유하고 있다.

네덜란드의 Avantium사가 NatureWorks와 공동 연구하여 개발한 Furan계 바이오플라스틱인 Poly(ethylene furanate)(PEF)는 PET원료 중 하나인 PTA 대신에 바이오매스에서 추출한 Furan dicarboxylic acid (FDCA)를 도입한 새로운 PET 대체 소재이다. PEF수지의 물성이 일반 PET수지와 유사할 뿐만 아니라 일반 PET수

[그림 3] 100% Bio PET 주요 기술 현황(출처 : Bioplastek 2012, Coke사 발표자료)





지보다 기체 차단성에서 산소는 6배 이상, 이산화탄소는 2배 이상 우수하여 차세대 포장 소재로 주목을 받고 있다. Avantium사는 2011년에 Coke사와 계약을 맺고, 2015년까지 연산 3만~5만톤 규모의 바이오기반 PEF수지를 상업화할 계획이다. 또한 NatureWorks와 공동으로 PEF를 포장용, 자동차용, 섬유, 코팅용, 엔지니어링 플라스틱용 등에도 적용할 계획이 있어, 향후 PEF가 바이오플라스틱 시장에 폭 넓게 적용될 것으로 예측되고 있다.

### 2-2. 바이오-PET 시장 현황

전세계 PET 수요는 연평균 8% 성장률을 보이고 있고 최근 친환경 제품에 대한 고객 요구 증가와 맞물려 바이오 PET의 수요는 전체 PET수지 시장의 5%이상 성장하여 2015년 300만톤에 달할 전망이다(그림 4). 세계 음료 수요의 약 40% 이상을 점유하고 있는 Coca-Cola, Nestle, Pepsioco, Danone이 바이오 PET수지를 적극적

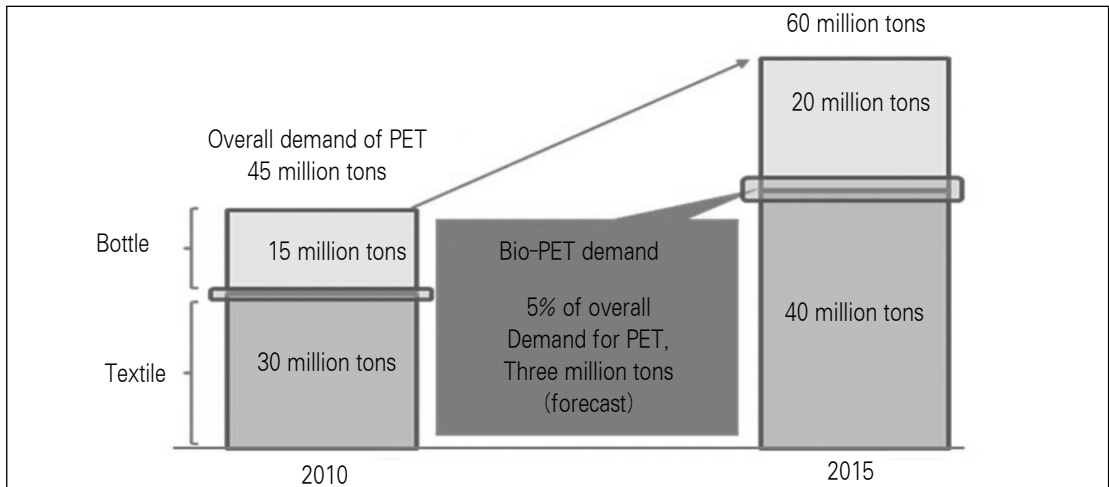
으로 채용하고 있기 때문에 바이오 PET수지 시장 성장성은 매우 크다고 할 수 있다(그림 5).

음료 부분에서 선두 업체인 Coke사는 2010년 벤쿠버 동계 올림픽 및 덴마크에서 사탕수수 원료 소재로 바이오 MEG를 사용한 음료수병인 'PlantBottle®' 을 출시하였다. 이후, 2011년 말에 연간사용량이 70억 개 이상으로 급격하게 늘어났으며, 100억 개가 넘는 양이 전 세계적으로 20 개국에 유통되고 있다. 주요 식품업체 중 하나인 Heinz도 케첩병 용도로 Coke사의 기술을 도입하였다.

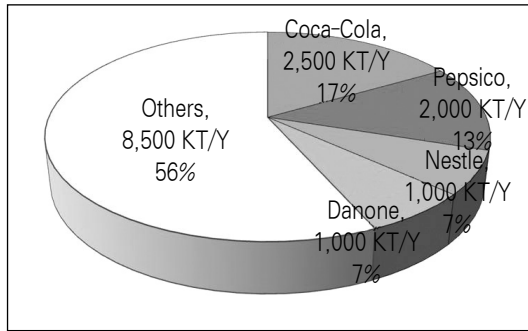
Coke사의 경쟁사인 Pepsico는 여기에 대응하고자 100% 식물 기반 제품을 Pilot 단계에서 개발하고 있다. 펩시의 "그린" 병은 수수속(switch grass), 소나무 껍질(pine bark), 옥수수 껍질(corn husk)을 원료로 하고 있고 향후 오렌지 및 토마토 껍질 등을 이용할 계획으로, 다양한 농업 부산물을 원료로 제조한다는 특징이 있다.

프랑스의 Danone사도 2010년 9월 바이오

[그림 4] 바이오 PET 수요 전망(출처 : Chemicals-technology.com, Greencol Taiwan Corporation 발표)



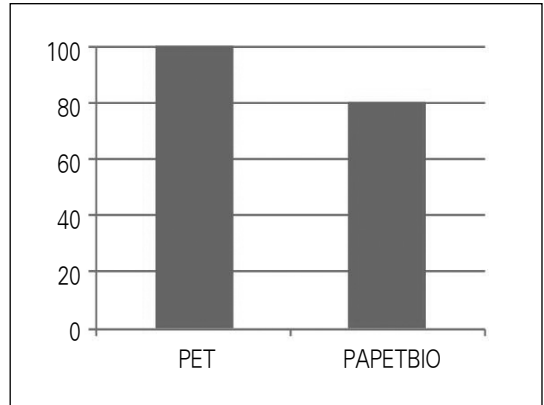
[그림 5] 식음료사의 PET 수지 시장 점유율



PET수지를 도입하여 Volvic 생수용 “Greener Bottle”을 출시하였고 2008년부터 2012년까지 탄소감축(carbon footprint) 목표를 40%로 정했다.

일본의 KIRIN은 “Nama-Cha”라는 2L 녹차 Bottle에 바이오 PET수지를 적용하였고, Suntory도 바이오 PET Bottle을 2013년도 출시할 예정이다. 그 외에도 Toyobo는 상품명 “바이오-VOLANS®”로 자동차자재, 토목자재, 생활자재, 열수축 필름 등으로 전개할 예정이고 Teijin은 상품명 ECO CIRCLE Plant Fiber로 2012년 4월부터 바이오 PET 섬유를 생산하여 의류, 차량 시트 및 인테리어에서 개인위생용품

[그림 6] PAPET BIO의 이산화탄소 저감 효과, Carbon Foot Print



\* 출처: Korea LCI Database Information Network

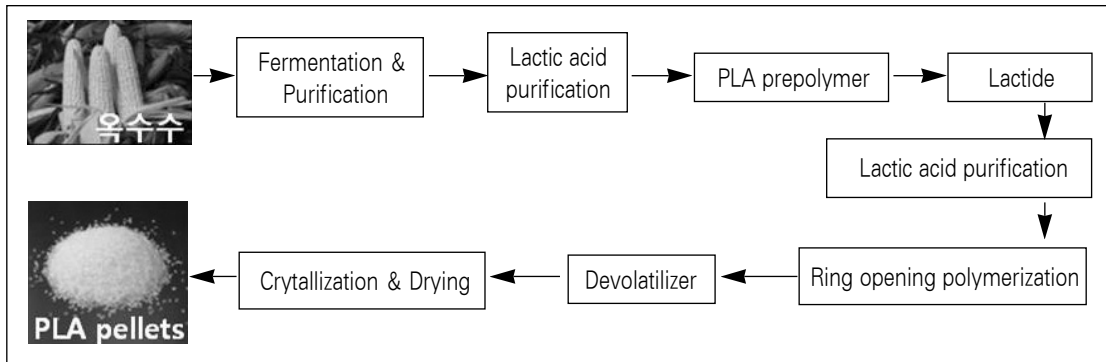
에 이르기까지 다양한 분야의 제품을 판매하고 있다.

### 3. 기타 제조 기술 및 시장 현황

#### 3-1. Poly(Lactic Acid)(PLA)

바이오 원료 중 옥수수, 전분 또는 사탕수수의 당을 원료로 발효, 정제 후 생성된 Lactic acid를 증류하여 Lactide 이량체를 형성하고 이를 개환

[그림 7] PLA 생산공정





[표 2] PLA 주요 업체 현황

회사	국가	제품명	현황
NatureWorks	미국	Ingeo	현재 70,000톤/년으로 가장 규모가 큼 2014년까지 140,000톤/년 규모로 증설 예정
Purac Biomaterials	네덜란드	Purasorb	2011년 태국에 75,000톤/년 규모 Lactide 생산 설비 완비
Hisun	중국	Hisun	5,000톤/년 규모로 생산 중
Futero	벨기에	Futero	1,500톤/년 규모 Pilot Plant 가동 중
Pyramid Bioplastics	독일		2012년 60,000톤/년 Plant 착공
Synbra	네덜란드	BioFoam	2010년 5,000톤/년 Plant 가동(Purac 기술)
Teijin	일본	BioFront	예전 1,000톤/년 규모의 Toyota plant에서 Mazda와 협력하여 PLA Hybrid 생산

중합시켜 PLA수지를 제조한다. 재생자원을 원료로 한 최초의 상업 생산 플라스틱으로 가격 경쟁력을 갖추기 위해서는 원료인 바이오매스 공급이 쉬운 현지에서 연속 제조공정을 통해 대량으로 제조할 수 있는 기술을 확보해야만 한다. 국내 PLA개발 업체는 대부분 PLA 원료를 컴파운딩하는 가공 업체이며 제조공정 연구는 초기 단계

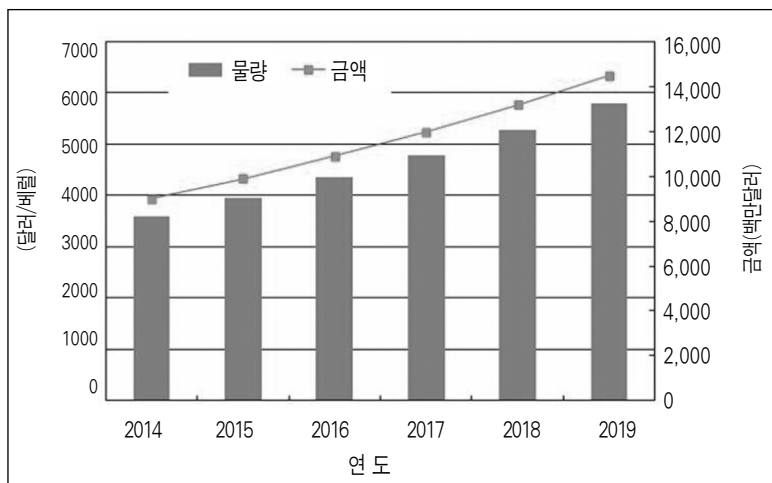
이다.

PLA는 지방족 Polyester로 가수분해 과정을 통해 생분해되며 반결정성 열가소성 플라스틱이기 때문에 기계적 강도가 우수하다. 그러나 내열성, 내가수분해성, 내충격성이 낮고 성형성도 좋지 않아 일회용품이나 포장재로 일부 적용되고 있으며 현재까지 다양한 용도로 확대 적용하는데 한계가 있다.

주요 생산업체는 NatureWorks사가 연간 70,000톤 규모로 생산에 성공하여 Ingeo 제품으로 판매 중이고 2014년까지 연간 140,000톤 규모로 확대할 예정이다. [표 2]에서 PLA개발 관련 주요 업체 현황을 보여주고 있다.

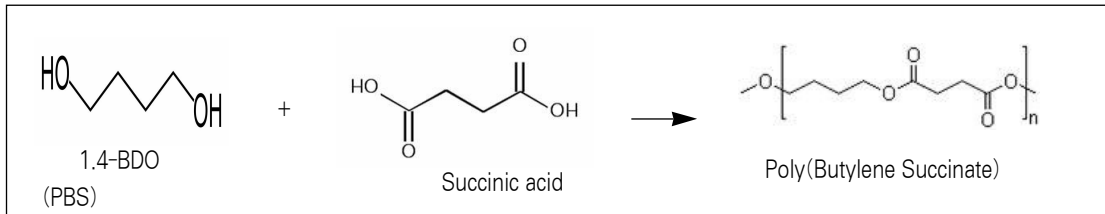
여러 예측자료를 참고할 때 PLA 세계시장의 연평균 성장률은 10% 정도이고 2015년에 360만톤,

[그림 8] PLA 세계시장 규모



출처: Biodegradable polymers - Global strategic business report (2009), Bioplastics Market Trends and US & EU outlook

[그림 9] PBS 원료, 중합체 화학구조



2019년에는 약 580만톤 규모로 확대될 것으로 전망된다.

### 3-2. Poly(Butylene Succinate) (PBS)계

지방족 Polyester인 PBS계 수지는 바이오매스에서 나오는 Succinic Acid 또는 Adipic Acid와 MEG 또는 1,4-butandiol(1,4-BDO)를 원료로 제조되며 자연계에서 가수분해에 의해 생분해 된다.

물성은 HDPE, LDPE와 비슷하고 가공성이 우수하여 주로 일회용 쓰레기봉투, 방사를 통한 어망, 위생용품 등에 활발히 적용 중이나 아직 가격이 높아 PLA 등과 같은 다른 생분해성 플라스틱과 혼합하여 사용되고 있다.

제조공정은 PET수지와 유사한 방식이며 1,4-BDO와 Succinic acid 또는 Adipic acid가 축합

중합(Esterification, Condensation)을 통해 제조된다(그림 9).

주요 생산업체인 BioAmber는 2009년, 미국의 DNP Green Technology와 프랑스의 ARD(Agro-industrie Recherches et Developpements)의 JV로써 세계 최초로 밀에서 비롯된 glucose를 원료로 바이오기반 Succinic Acid를 3,000톤/년 생산할 계획을 발표하였다. 독일의 BASF도 현재 14,000톤/년 규모에서 74,000톤/년으로 증설을 계획하고 있고 Purac과 JV를 맺고 PBS 원료인 Succinic acid를 바이오화 할 것을 발표했다. [표 3]에서 바이오 PBS 관련 주요 업체 현황을 보여주고 있다.

바이오 PBS 세계시장의 연평균 성장률은 44% 정도이며 2016년에 9만 5천톤 규모로 확대될 것으로 전망된다.

[표 3] 바이오 PBS 주요 업체 현황

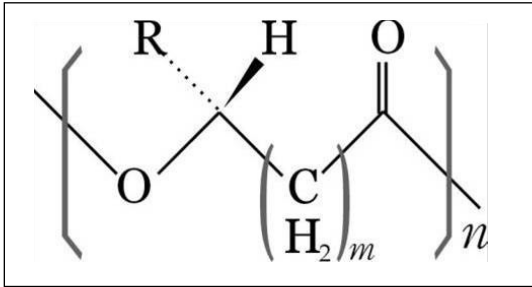
회사	국가	제품명	현황
Kingfa	중국	EcoPond	30,000톤/년 규모 Plant가동 중으로 50,000톤/년 규모로 확장 계획
Bioamber (DNP/ARD)	캐나다	Bioamber	프랑스에 3,000톤/년 규모 Plant가동 중 2013년에 캐나다에 17,000톤/년 Plant 설치 예정
Myriant	미국	-	미국 Louisiana에 13,600톤/년 Plant 건설 중
Mistubishi/PTT Chemical	일본, 태국	-	태국 생산 site 탐색 중
DSM/Roquette	프랑스	-	2012년 10,000톤/년 Plant 건설 계획
BASF	독일	-	Purac과 JV 맺고 Bio succinic acid 생산 계획



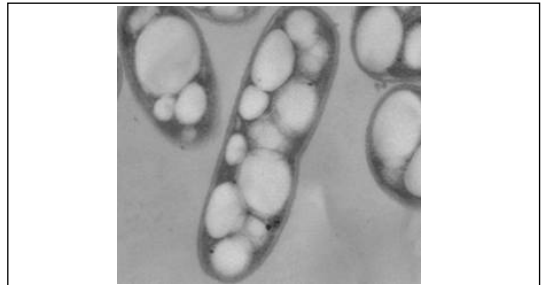


# 특 점

[그림 10] PHAs의 구조식



[그림 11] 미생물 세포내의 PHAs 과립



[표 4] PHA, PLA, PBS수지 물성 비교(출처 : Metabolix, NatureWorks, S-enpol사 data 참조)

구분	ASTM method	units	PHA mirel P1003	PLA Nature Works 3001D	PBS S-enpol G4560
Density	D-792	g/cm <sup>3</sup>	1.4075	1.24	1.27
Tg/Tc/Tm	D3418	°C	0/67/170	61.72/139/167	-35/91/115
H.D.T(4.6kg)	D 648	°C	142	-	98
인장강도	D 638	Kg · f/cm <sup>2</sup>	260	632	382
굴곡강도	D 790	Kg · f/cm <sup>2</sup>	426	1100	389
IZOD충격강도 (23°C, 6T)	D 256	Kgfc <sub>m</sub> /cm	3.2	1.6	3.7

[표 5] PHAs 주요 업체 현황

회사	국가	제품명	현황
Metabolix	미국	Mirel	2010년 Archer Daniels Midland와 미국 Iowa에 50,000톤/년 Plant를 설치했으나 2012년 투자금 회수문제로 공장 가동을 중지함
Tianjin Green Bioscience/DSM	중국	Greenbio	10,000톤/년 규모로 가동 중
Bio-on	이탈리아	Minerv-PHA	10,000톤/년 생산 설비 보유
Tianan Biologic Material	중국	EcoGen	현재 2,000톤/년 규모 설비 보유 10,000톤/년 증설 계획
Biomatera	캐나다	Biomatera	생산설비 개발 중
Biomer	독일	Biomer	1,000톤/년 설비 가동
Kaneka	일본	N/A	Nodax technology 라이선싱
Meridian/Danimer	미국	N/A	2012~2013년에 91,000톤/년 Plant 건설 중
Mitsubishi Gas Chemical	일본		Not commercial

3-3. Poly(HydroxyAlkanoates)(PHAs)계  
PHAs의 화학적 구조는 [그림 10]과 같으며

일부 미생물 세포 내에서 에너지원의 저장 매체로써 합성된다.

또한, [그림 11]에서 볼 수 있듯이 세포 내에

과립(Granule)의 형태로 축적이 이루어져 이를 분리 정제과정을 통해 얻을 수 있다.

미생물에 의해 자연환경에서 생분해 가능하고 물성은 열가소성 고분자인 PE수지, PP수지와 유사한 기계적 물성을 가진다. PLA수지와 비교하여 인장강도, 굴곡강도는 다소 떨어지나 내열성이 월등히 우수하여 고내열 소재로 주목받고 있다. 하지만 현재 생산공정 자체에 많은 비용이 들고 기계적 강도가 다소 떨어져 이를 개선하기 위한 노력이 진행 중이다.

PHA수지 제조방법은 *Alcaligenes eutrophus* 등과 같은 PHA 생산 미생물의 대량 배양을 위하여 최적의 영양조건을 찾고 배양액 조성 변화를 통해 세포 내 PHA 축적을 유도시킨다. 이때 배양액 조성에 인, 질소, 산소의 결핍시에 PHA가 많이 축적되고 미생물의 탄소원을 조절하여 단량체의 종류를 변화시킬 수도 있어 물질 조절이 가능하다. 이렇게 세포 내 축적된 PHA는 추출 및 분리정제 등의 일련의 공정을 통하여 생산하게 된다.

PHA계 고분자 물성은 [표 4]에서 볼 수 있듯이 PLA수지나 PBS수지에 비해 높은 열 안정성을 보이므로 내열성이 요구되는 분야 적용에 기대 할 수 있다.

PHA수지 선도 업체인 Metabolix는 본격적인 상업 생산 시설 운영을 2010년부터 시작하였다. 그러나 올해 초, 낮은 시장 성장성과 사업화 지연에 따라 50,000 톤/년 규모 생산 시설만 유지 중에 있고 생산은 중단했다. 그 사이 여러 경쟁 업체들이 등장하여 상업화 개발 중에 있으나 대부분 1만톤 이하의 파일럿 스케일에 머문 상태이다.

국내 참여 업체는 기술력, 시장성 측면에서 모

두 약세여서 두드러진 움직임은 찾을 수 없다.

PHA수지 세계시장 규모는 2016년까지 연간 18만5천톤 규모로 성장할 것으로 예상하고 있다.

## II. 결론

탄소세 도입에 대한 대응뿐만 아니라 재생자원, 대체자원 확보 차원에서 바이오플라스틱의 필요성 및 중요성이 지속적으로 제기되고 있다.

바이오 PET를 포함한 PLA, PBS 등 주목받는 바이오 기반 플라스틱 제조 및 응용 기술 개발이 전 세계적으로 활발히 진행되고 있어 짧은 시간 내 폭넓게 적용될 것으로 예상된다. 포장 기술 분야에서 미래 국가 경쟁력 확보를 위해 바이오플라스틱의 제조, 용기 및 포장재 성형 관련 기술력의 축적 및 국내 저변확대가 절실히 필요하다. [ko]

기술원고를 모집합니다.

포장과 관련된 신기술을  
발표할 업체와 개인은  
‘월간 포장계’ 편집실로  
연락주시기 바랍니다.

편집실 : (02)2026-8655~9  
E-mail : kopac@chollian.net