

# 국내 생분해성필름 기술개발 및 업계동향

임 승 순 / 한양대학교 섬유고분자공학과 교수

## 1. 머리말

분해성 고분자 특히 생분해성 고분자는 최근 10여 년간 전세계적으로 과학·기술적 측면 뿐 아니라 사회적 측면에서 큰 주목을 끌게 되었다. 의료 용도로 사용되는 생분해성 고분자는 매우 비싸지만 인간생활의 질의 향상이란 점에서 폭

넓게 사용되어 왔다. 한편으로는 1980년경부터 지구 환경의 보존이라는 관점에서 내구성이 있어 오랫동안 인간생활에서 중요한 위치를 점하고 있던 기존 범용 분자에 의한 환경오염 문제가 대두되기 시작한 이래 그 해결 방안의 한 해답으로서 생분해성 고분자가 새롭게 조명되기 시작하였고 현재까지 많은 연구투자의 결과로 몇몇

[표 1] 전분계 생분해성 고분자

종 류	특성 및 개발현황	개발회사(상품명)	
		국 내	국 외
전 분 발포체	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 전분 압출 및 사출발포</li> <li>- 저항도, 수용성</li> <li>- 내충격포장(loose fill)용 및 식기류</li> <li>- RKRUR 2 ~3 \$/kg</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 삼양제넥스 (BIOFIL)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 미국 National Starch &amp; Chemical</li> <li>- Clean Green Packing(EMPAC)</li> <li>- 오스트리아의 Biopac</li> <li>- 일본, 왕자제대 (ECO-FORM)</li> <li>- 주우상사 (ECO-WARE)</li> <li>- 관중플라스틱공업(SUNLOID)</li> </ul>
변 성 전분계	<ul style="list-style-type: none"> <li>- PVA 또는 지방족 폴리에스터블렌드</li> <li>- 용점 137~150℃, 결정성, MFR 2~9</li> <li>- 인장 160~220kg/cm<sup>2</sup>, 신장율 80~600%</li> <li>- 필름, 시트, blow, 사출, 발포</li> <li>- 투명성, 내습성, 성형성, 취약</li> <li>- 분해성 우수</li> <li>- 가격 7~8 \$/kg</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 새한 (ESLON GREEN)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 미국 Novon Int'l (NOVON)</li> <li>- 이태리 Novament(MATER-BI)</li> <li>- BioPlastic사 (ENVAR) PCL - 전분블렌드</li> <li>- 일본 Japan com starch</li> <li>- 미국 GRT(EVERCORN) PCL - 전분에스터 blend</li> <li>- 독일 Biotec/Melitta사 (Biopart) PCL - 전분블렌드</li> </ul>

[표 2] 지방족 폴리에스테르계 생분해성 고분자

종 류	특성 및 개발현황	개발회사(상품명)	
		국 내	국 외
미생물 폴리에스터	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 미생물 발효생산, PHB/V (V=5~12%)</li> <li>- 용점 162~144℃, MFI 8~12</li> <li>- 인장 310~230 kg/cm<sup>2</sup>, 신장율 8~42%</li> <li>- 중공성형, coating, 필름, 사출</li> <li>- 냄새, 가격 열세</li> <li>- 분해성, 생체적합성 우수</li> <li>- 가격 20\$/kg</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 고려 합섬 (PHA)</li> <li>- 삼양제넥스</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 영국 Zeneca (BIOPOL)</li> </ul>
diol/diacid계	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 합성, P(BD, EG)/(Suc, Adip)</li> <li>- 용점 114~160℃, MFI 2~28</li> <li>- 인장 360~190 kg/cm<sup>2</sup>, 신장율 200~800%</li> <li>- 필름, 사출, 섬유, 중공성형, 시트</li> <li>- 투명도 취약</li> <li>- 유연성, 가공성, 분해성 우수</li> <li>- 가격 7~8 \$/kg</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 선경(SKYGREEN)</li> <li>- 제일합섬 (ESLON GREEN)</li> <li>- 이라화학 (ENPOL)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 일본 Showa 고분자(BIONOLLE)</li> <li>- 독일 BASF</li> </ul>
폴리 카프로락톤	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 개환중합</li> <li>- 무정형, 저융점(Tm~60℃)</li> <li>- 저강도</li> <li>- 의료용, blend용</li> <li>- 가격 6~7\$/kg</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- 미국 UCC(TONE)</li> <li>- 일본 Daicel (PLACEL)</li> <li>- 벨기에 Solvay사 (CAPA)</li> </ul>
폴리락트산	<ul style="list-style-type: none"> <li>- lactide의 개환중합 및 젓산의 축중합, 공중합</li> <li>- 용점 170~180℃, MFI 21</li> <li>- 인장 680~330kg/cm<sup>2</sup>, 신장율 5~20%</li> <li>- 필름, 섬유, 사출, 중공성형, 시트</li> <li>- 가공성 및 유연성 취약</li> <li>- 투명성, 강도, 안정성 우수</li> <li>- 가격 6\$/kg</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- 미국 Ecopos사(전 Ecochem)</li> <li>- 미국 Cargill(EcoPLA)</li> <li>- 일본 Shimadzu(LACTY) 속옷 "LACYRON" (w.KANEBO)</li> <li>- 핀란드 Neste사</li> <li>- 일본 Mitsui Toatsu(LACEA)</li> <li>- 일본 Dai Nippon Inc사 P(L/CL)개환공중합</li> </ul>

[표 3] 셀룰로오스계 생분해성 고분자

종 류	특성 및 개발현황	개발회사(상품명)	
		국 내	국 외
Cellulose계	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cellulose diacetate/가스제</li> <li>- 성형온도 210℃</li> <li>- 곡강도 410</li> <li>- 사출, 시트, 필름</li> <li>- 전분함유시 분해성 우수</li> <li>- 산성냄새</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- 미국 Eastman Chem,</li> <li>- 독일 Aeterna/Battelle (BIOCELLAT)</li> <li>- 독일 Tubize Plastic (BIOCETA)</li> </ul>

**[표 4] 광분해성 고분자**

종 류	특성 및 개발현황	개발회사(상품명)	
		국 내	국 외
matrix 분해성	- 에틸렌/일산화탄소 공중합체 - 비닐케톤 공중합체 - 광활성 graft기 도입 polymer		- Dow Chemical, Dupont - Union Carbide, Bayer사 - Guillet, Ecoplastics사 (Ecolyte, Ecolyte II)
첨가형	- 방향족 ketone 첨가 - 금속착제증감제 첨가(Fe) - Ti/Zr 착제·치환 Benzophenone 첨가 - 금속착제첨가(안정·증감 : Ni·Fe) - 광증감제 첨가 - 금속·황산화제첨가 ↔ 금속이온 유리		- Biodegradable Plastic사 - G.Scott - Princeton Polymer Lab. - Ampacet사(polygrade) - Ideamasters사(Plastigone)

**[표 5] 생분해성에 관심있는 미국회사**

Starch Processors	Plastic Manufacturers	Paper Companies	Food & Pharm Users
Cargill	Du Pont	James River	Johnson & Johnson
Conagra	Eastman Chemical	Kimberly Clark	US Surgical
Beochem/Conagra-duPont			Proctor & Gamble
National Starch	Rhomb & Haas	Warner-Lambert	
	Int'l Specialty Prod.		3M
US GOVT AGENCIES		Biotechnology Companies	Gillett
USDA		Zeneca/Monsanto	Time Brands Inc.
USDOD/NATICK LAB		Calgene	McDonalds
DOE/EPA			Burger King

생분해성 고분자가 시판되기에 이르렀으나 가격이 비싸 용도전개가 원활치 못하였다. 특히 fast food 포장용과 농업용 필름 등과 같은 용도의 경우, 가격/품질/생분해성의 관계가 적당하지 않으면 시장확대가 불가능하게 된다. 그러나 최근 3~4년간에 괄목할 만한 연구결과로 생분해성 고분자의 cost down이 가시화 됨으로써 금후의 전개가 기대되고 있다.

이러한 국제적 추세와 발맞춰 국내 플라스틱 업계에서도 지난 10여 년간 많은 노력을 행하여 쓰레기 종량제 봉투제조에 생분해성고분자를 일부 블렌드하여 사용키로 하는 등 국내에서도 이의 용도전개가 확대되어 가고 있는 바 본고에서

는 국내 분해성 고분자의 기술개발 현황 및 업계 동향 등에 관하여 간략하게 기술하고자 한다.

## 2. 분해성 고분자의 개발현황

이미 잘 알려져 있듯이 분해성 고분자는 크게 생분해성과 광분해성으로 분류할 수 있으면 생분해성에는 전분계와 셀룰로오스계로 대표되는 biomass를 이용하는 것과 diol, diacid로부터 합성되는 지방족 폴리에스테르계와 지방족 환산화합물로부터 개환 중합하여 얻어진 지방족 폴리에스테르와 미생물발효 폴리에스테르가 있다.

[표 2], [표 3], [표 4]에 상기 각 분해성 고분

자의 간단한 특성과 가격 및 국내의 제조회사를 제시했다.

또 [표 5]에는 생분해성 고분자에 관심을 갖고있는 미국회사를 열거하였는데 몇 년 전에 취급하던 회사명이 바뀌었음을 알 수 있으며, 이는 생분해성 고분자를 생산하는 회사와 시장이 유동적이라는 것을 뜻한다.

이하 미국과 유럽 및 일본의 동향과 한국의 경우를 비교하겠다.

- 미국 : 미국의 곡물 5대 major인 Cargill사는 lactic acid와 polylactide생산에 선두주자이며, Union Carbide는 생분해성 지방족폴리에스테르인 polycaprolactone을 생산하고 있다. 한편, Ecostar는 광분해를 통한 생분해 물질의 사업을 포기하고, 주로 starch blend에 주력하고 있다. Netherland의 CSM과 Cargill Venture는 1998년 상반기에 34,000ton/yr의 고순도 lactic acid설비를 2배로 확장했다.

- Europe : 영국의 ICI(현재 Zeneca, now part of Monsanto)는 미생물 생산 생분해성 고분자의 선두주자이며, Italian agro-chemical company Montedison(Feruzzi group), Milan

Italy는 Novamont Unit를 일반 상업은행에 매각하려고 하는데, Novamont의 생분해성 플라스틱 사업은 23.7백만불 정도이다. 호주와 Finland의 몇몇 회사가 유사한 사업을 전개하고 있다.

- 일본 : 일본의 Biodegradable Plastic society(BPS)는 생분해성 program의 증진과 집행에 매우 활발한 agency로 미국의 NSF team의 주 partner이다.

BPS는 일본 통산성, 농림수산성, 플라스틱 폐기물협회, 이화학연구소, 동경공업대 등이 회원기관이며, 사기업으로는 Japan Com Starch Co., 소화고분자, Shimadzu, Mitsui Toatsu, Kao, Toppan Printing, DaiNippon Printing, Taisci Corp, Unitika, Osaka국립연구소, Misubishi 석유, 일본합성, 일본축매, 기린 맥주, Aicello 화학 등이 있으며, Toyohashi대학, Nagoya대학, Keio대학과 Kyoto대학 등이 있다.

이와 같은 조직에 의하여 일본에 있어서 생분해성 고분자에 관한 연구는 세계를 선도하고 있다고 하여도 과언이 아닌데 특히나 논문수에서

[표 6] 각 회사의 대표적인 생분해성 고분자의 물성  
A. SK Corporation- GREENPOL(LLDPE/생분해성 첨가제)

Grade	SG 1010	SG1111	SG2108	SG 2109
Melt Flow Index (g/10min)	10~40			
Melting Point(°C)	98	118	80	90
Glass Transition(°C)	20	-16	-32	-28
Density(g/cm <sup>3</sup> )	1.32	1.24	1.21	1.22
Heat of Combustion (cal/g)	5,400	5,300	5,300	5,300
Tensile Strength(kg/cm <sup>2</sup> )	310	400	350"	330"
Elongation(%)	216	230	700"	700"
Flexural Modulus (kg/cm <sup>2</sup> )	7,636	6,641	2,200	3,300
Izod Impact strength	4	9	45	27
Biodegradability				
in soil	good	good	very good	very good
in fresh water	fair	fair	good	good
in sea water	fair	fair	good	good

## B. SKYGREEN

Test Item	Density	MI	Tensile Strength at Break		% Elongation at Break		Application
			MD	TD	MD	TD	
ASTM	DI505	DI1238	D882		D882		
Grade	G/cm <sup>3</sup>	G/10min	kg/cm <sup>2</sup>		%		
GT Series	1.15	0.55					LLDPE Blending GT 30% LLDPE 70%
GT - 30			373	275	545	630	
GC Series	1.15	0.47	325	280	480	540	Blend
GA Series	1.15	0.19	290	265	465	540	Composting Bag
GP Series	1.15	0.11	280	250	470	550	Packaging Film

## C. 대상

### - 바이오닐

구분	가로			세로		
	인장(kg/cm <sup>2</sup> )	인열(kg/cm)	신율(%)	인장(kg/cm <sup>2</sup> )	인열(kg/cm)	신율(%)
바이오닐	228~320	88~100	665~862	336~463	105~132	454~675
규격	200↑	85↑	380↑	200↑	85↑	380↑

\* LLDPE Maker 및 가공조건에 따라 물성 상이

### - 생분해성 M/B (Bionyl-F/M, Polyester)

구분	Bionyl-F	Bionyl-M	Polyester
MI(190℃)	4~6	15~20	2~24
Tm(℃)	50~60	50~60	55~65
인장강도	240(가로)	260(yield)	-
전분함량(%)	10	40	-
용도	필름용	사출용	필름, 사출용

### - 생분해성 포장용 완충재 (REGREEN-FORM #200, EPS)

구분	리그린용			EPS		
	0	3	6	0	3	6
저장기간(일)	0	3	6	0	3	6
수축율(%)	5.8	10.2	11.4	5.9	11.1	11.9
복원력(%)	79.3			79.9		

## D. 제한

### - 에스톤그린

구분	지방족 폴리에스터	열가소성 전분계 수지	비고
MI	3~20	4~6	190도, 2.16kg/cm <sup>2</sup>
융점(Tm, ℃)	50~120도	최대 130도	DSC
인장강도(kg/cm <sup>2</sup> )	300~400	280~590	ASTM D638
신도(%)	250~300	110~350	ASTM D638

E. 한화

- ECO-PLAST 필름

Base Resin	단 위	LLDPE 3120	LLDPE 3020
낙하충격강도(g)		52	240
인장강도(kg/cm <sup>2</sup> )	MD	354	393
	TD	215	267
연신율(%)	MD	650	560
	TD	790	780
인열강도(kg/cm <sup>2</sup> )	MD	116	130
	TD	87	95

F. 이래화학

- EnPol series

물 성	단 위	시험방법	EnPol-100	EnPol-130	EnPol-170	EnPol-200	EnPol-250	EnPol-500	EnPol-530	EnPol-550	EnPol-600
비 중	-	ASTM D792	1.2	1.2	1.2	1.19	1.2	1.22	1.21	1.25	1.25
Melt Flow Index	g/10min (190℃, 2160g)	ASTM D1238	2~20	2~20	2~20	2~20	2~20	2~20	2~20	2~20	2~20
인장강도 (파단)	kg/cm <sup>2</sup>	ASTM D638	400	400	400	450	450	400	380	330	330
인열강도	kg/cm	ASTM D1922	180	190	190	220	230	-	-	-	-
연신율(파단)	%	ASTM D638	>700	>700	>750	>800	>800	5~350	5~400	5~300	5~300

는 가장 많은 부분을 차지하고 있다. 그 중에서도 특히 ① 생분해성 고분자 및 그 유도체의 형태 ② 가공 및 성질 ③ 시험방법, 용도 및 폐기물 처리 등에 관한 것이 많다.

또한 국가기관으로는서는 National Institute of Bioscience and Human Technology (NIBHT)와 National Institute of Materials and Chemical Research가 있는데 년 예산은 각각 \$13.7백만과 \$59백만이며 총 연구원 수는 각각 185명, 349명이다. 이 두 기관에서 행하는 과제는 poly(hydroxybutyrate)제조와 미생물 분해, starch 유도체제조와 PCL/범용 plastic blend물의 제조 등이 있으며, 생분해후 생분괴에 관한 연구도 행하고 있다.

미국과 일본을 비교하면 생분해 플라스틱에

관한 한 전반적으로 큰 차이는 없다. 일본은 생분해성 플라스틱 연구에는 활발하지만 정부에서 생분해성 플라스틱의 사용에 대한 법규제정 등은 시간이 걸릴 것이라고 생각한다. 그러나 기업에서 생분해성 플라스틱 제조 기술을 상업적으로 이용하기 시작하면 정부에서 후속조치를 행할 가능성이 크다고 할 수 있다.

일본은 선진 7개국 중 가장 환경문제에 민감한 국가라고 인식되고 있으며, 실제로 쓰레기 처리 수단으로 소각로가 계속 건설되고 있다. 에너지 이용도도 높지만, 각계에서 생분해성 플라스틱이야말로 가장 바람직한 방법중 하나라고 생각되고 있다.

일본에서의 생분해성 플라스틱의 용도 전개면에서는 BPS에 의하면 미국과 같이 역시 fishing

net, audline, 농업용필름, 일회용 포장재 등 틈새시장에 중점을 두고 있으며, 한편으로는 composting infrastructure 구축에 많은 노력을 경주하고 있다고 한다.

- 한국 : 한국에서의 생분해성 플라스틱 연구와 상품화가 선진국 못지않게 활발한 편이다. 이는 corn wet milling과 전분 발효기술 및 합성고분자 제조기술이 충분히 발달되어 미국, 일본, 유럽과 동등하다고 알려져 있기 때문이다. 정부의 쓰레기 처리에 대한 강력한 규제로 인하여 생분해성 고분자와 전분 blend 등이 상용되기 시작했다. 생분해성 플라스틱의 원료중 하나인 butanediol의 상업화도 고려되고 있으며, 전분으로부터 chemical 제조에 관한 연구 및 상업화에도 관심이 많다.

국내에서 개발된 제품의 특성을 [표 6]에 나타내었다. 제품의 다양성이라는 측면을 만족하지는 못하지만 선진국에 비하여 크게 뒤떨어지지 않음을 알 수 있다.

이상과 같은 제품들의 가능한 용도는 다음과 같다.

1. 일회용품 : 일회용품 플라스틱 컵, 수저, 칼, 쟁반, 면도기, 음료수용 빨대, 일회용 식기류, 위생용품
2. 스포츠 용품 : 골프티, 낚시줄
3. 농업용 : 묘목반침용 포트, 서방성농약용 캡슐재질(인건비 및 농약중독 위험 감소)
4. 의료용 : 일회용 의료 및 수의과용 주사기 및 포장재, 특수 의료용 고분자
5. 포장용 : 콤포스트 봉투, 쓰레기 종량제용 봉투, 쇼핑봉투, 포장용필름, 식품포장용재질
6. 생활용품 : 샴푸용기, 음료수용기, 라미네이팅용 재질
7. 기타 : 어망, 필라멘트, 부직포 등.

### 3. 생분해성 고분자의시장과 경제성

미국에서의 플라스틱소비량은 년 300억lb로 (포장용 200억lb+consumer70억lb+잡화 30억lb), 이중 3분의1이 일회용이다

금후 5년간 이 일회용 시장의 30%를 목표로 하면 27.8억lb의 생분해성 고분자가 필요하게 된다. 한편 일본에서는 신규 생분해성 고분자의 개발과 더불어 용도 전개에 주력함으로써 새로운 시장을 창출하고 있다.

[표 7]에 2002년 생분해성 고분자의 잠재적 시장 전망과 [표 8]에 유럽지역의 생분해성 고분자시장의 점유율을 나타냈다.

전반적으로 생분해성 고분자는 소량으로 생산되며 현시점에서 전세계적으로 년 3만톤이 넘지 않으나 대량생산으로 연결 될 경우 가격도 크게 하락할 수 있음이 예측된다.

그러나 이들은 생분해성 고분자 사용을 의무화하는 법률의 제정 또는 콤포스트플랜트의 증가에 따라 크게 좌우된다고 할 수 있다.

### 4. 맺음말

이상과 같이 많은 가능성을 지니고 있음에도 불구하고 특히 포장재료로서의 용도전개가 아직까지는 원활하지 못하다.

이는 포장재료 수송이 용이해야하고 식품이나 의약품 포장에는 품질보전성이 중요한데 이에 대한 검토가 완전치 못함에 있다.

즉, 품질보전성에는 물, 수증기, 각종 가스, 빛, 향, 냄새 등에 대한 차단성, 인장강도, 충격강도등의 내용품보전성, 내수·내유성, 내열성 및 내한성 등 안정성과 유해물질, 다른 맛과

[표 7] 2002년 생분해성 고분자의 잠재적 시장 전망

구분	시장(1,000톤/년)	성장률(%평균)	가격(\$/kg)	시장규모(백만톤/년)
• 서유럽				
Neste-93	420	20	3~5	1,700
F&S-94	>>50	9	5.6	>300
TII-94	600	2~4		1,800
• 북미				
BCC-92	540	30	1~3	1,100
Freedonia-95	650	16	4.6	3,000
TII-94	> 300		2~4	1,000

[표 8] 유럽 지역별 생분해성 고분자 시장 점유율 전망(%)

지역	1994	1996	1998	2000	2002
프랑스/베네룩스	13	13	13	12	12
독일어권	50	50	50	51	50
리베리아	2	2	2	2	2
이태리	8	8	8	8	8
스칸디나비아	25	26	26	26	27
영국	2	1	1	1	1
기타	0	0	0	0	1

조사기관 : Neste 1993 서유럽대상  
 Frost & Sullivan 1994 서유럽대상(첨가제)  
 Business Communication Co. 1992 미국대상  
 Technical Insights, Inc. 1994 북미 및 서유럽대상  
 Freedonea 1995 북미대상

냄새의 이행들이 없어야되는 위생안정성 등이 있다.

그 밖에 작업성, 편의성, 상품성, 및 경제성 등의 요구특성이 있다.

따라서 포장용도로서의 전개가 성공하려면 상기와 같은 제 요구특성을 만족하도록 하여야 하며 이들의 성공은 금후 생분해성 고분자 재료의 성장에도 큰 역할을 할 것이다. ☐

월간포장계는 포장업계에 유익한 최신 기술 및 정보를 제공하고 있습니다.

정기구독 및 광고 문의는

(사)한국포장협회 편집실로 해주십시오.

02)835-9041