

# 생분해성 고분자

유영태/건국대학교 공업화학과 교수

## 목 차

1. 개론	2. 생분해성 고분자
1-1. 개발 배경과 추세	2-1. 천연 고분자
1-2. 분해성 고분자란?	2-2. 미생물 생산 고분자
1-3. 분해성 고분자의 평가 방법	

### 1. 개론

#### 1-1. 개발 배경과 추세

과학기술의 진보는 천연 고분자 물질을 대체하는 새로운 기능을 갖는 합성 플라스틱의 개발을 촉진시켰으며, 합성 플라스틱이 갖는 독특한 물성, 안정된 공급, 싼가격 그리고 제조 및 가공의 용이성 등의 장점으로 인해 천연 소재의 한계와 계약으로 부터 벗어날 수 있었고, 플라스틱을 중심으로 다양한 고분자 물질이 개발돼 현대 과학 문명의 특징 중의 하나인 '플라스틱 문명'을 구축해 왔다고 볼 수 있다.

그러나 대부분 상품화되어 있는 플라스틱은 사용 후 분해되지 않고 반영구적이기 때문에 사용된 폐플라스틱에 의한 환경오염문제가 심각한 사회문제로 대두되고 있다. 따라서 사용시 편리성 및 내구성만을 비약적으로 향상시킨 합성 플라스틱을 대체할 수 있는, 사용후 붕괴 또는 분해되는 자연의 순환사이클로 흡수

됨으로써 환경 오염의 문제를 배제할 수 있는 '생분해성 플라스틱' 내지는 좀 더 넓은 의미인 '생분해성 고분자물질'이라는 새로운 기능을 가진 고분자 물질에 대한 사회적인 요구가 급속히 높아지고 있다.

세계 각국은 플라스틱을 비롯한 각종 고품 폐기물에 의한 환경오염 문제를 해결하기 위해 그동안 매립, 소각 및 재생이라는 방법을 주로 활용해 왔다. 그러나 재생은 물론 매립과 소각을 통한 폐기물 처리로는 환경오염문제를 완전히 해결할 수는 없다. 이러한 플라스틱 폐기물을 유발하는 환경오염문제의 조기해결책에 대한 사회적 요청이 근래 1~2년 사이 세계적으로 급속히 높아지고 있으며, 이와 같은 추세를 반영하여 [표 1]과 같이 미국, 이탈리아, 서독을 비롯한 세계각국에는 이미 미분해성 플라스틱에 대한 사용규제의 움직임을 보이고 있다.

이와는 달리 국내의 전반적인 분위기는 미국이나 이탈리아 등 선진국에서와 같이 폐플라스틱으로 인한

환경공해문제를 그리 심각하게 인식하고 있지 않을 뿐만 아니라 장차 환경보존이라는 차원에서도 일반대중을 대상으로 한 공공교육도 그리 활성화되고 있지 못한 형편이다.

그러나 미주지역이나 유럽쪽으로 일회용 플라스틱 제품을 수출해오던 국내 몇몇 업체들은 수출대상국에서 비분해성 플라스틱에 대한 사용을 규제함에 따라 이로운한 파급효과를 이미 체감하고 있다. 이들 업체관계자들의 우려와 함께 최근 국내외적 분위기를 감안, 일부 국내 플라스틱 원료 제조업체들은 물론 관련 연구 기관에서도 분해성 플라스틱에 대한 연구개발과 산업화 움직임을 보이고 있어 조만간 국내에서도 썩는 플라스틱의 생산과 실용화가 가능하게 될 것으로 보인다.

최근 백화점업계에서는 비닐쓰레기로 인한 공해를 경감시키기 위해 썩는 비닐(생분괴성비닐)포장지의 사용을 확대해 나가고 있으며(조선일보, 1991년 5월 28일자), 전국경제인연합회, 한국백화점협회 등 업

[표 1] 외국의 분해성 플라스틱 적용에

구분	내 용
미 국	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 총 51개 주중 31개주가 비분해성 플라스틱 사용 규제 또는 실시 검토중</li> <li>• 콜라, 맥주 캔용 carrier에 분해성수지(PE), 붕괴성 수지 사용 의무화</li> <li>• (Maryland 등 9개주, New York 등 3개주는 지정 또는 검토중)</li> <li>• Plastic 식품포장에 과세 부과</li> <li>• Plastic 소재별로 회수하는 quarter제 도입</li> <li>• PS, PP, PVC, Poly-bag, Plastic can을 사용후 오물로 버리지 못하게 검토중</li> </ul>
이탈리아	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1989년부터 비분해성 shopping bag에는 일정액 과세 (100리라/1bag, 생분해성의 경우는 면세)</li> <li>• 1989년 7월부터 PVC제 shopping bag 전면사용금지</li> <li>• 1991년 이후 shopping bag과 bottle에 생분해성 플라스틱 사용 의무화</li> <li>• 플라스틱재 음료용기의 회수를 강제 의무화 할 예정 (1993년 3월부터 recyle 회수율 40% 이하업체의 과징금 징수예정)</li> </ul>
서 독	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1989년 3월부터 PET병 강제 deposit제 실시 (정부 회수율 80%를 업체에 요구)</li> <li>• 특정 지방 PVC병 사용 금지</li> </ul>
덴 마 크	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 포장재료용 PVC 사용금지</li> <li>• 일회용 플라스틱 음료용기 사용금지</li> <li>• 사용된 음료용기의 재사용금지</li> </ul>
스 위 스	<ul style="list-style-type: none"> <li>• PVC bottle, steel can, aluminum can 사용금지 검토</li> </ul>
오스트리아	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 포장용재료로서 PVC 사용금지를 검토</li> <li>• PET병, aluminum 음료용기 사용금지 검토</li> </ul>

계대표, 그리고 소비자보호단체협의 회등이 '주1회 포장 안하는 날' 제 정방침을 공식화하였고, 최근 각종 환경오염문제에 대한 국민적 관심이 고조되면서 이러한 운동은 점차 확산될 전망이다. 환경처는 합성수지의 경우 매출액의 0.5%를 제조업체가 납부하여야 하는 것과 같은 폐기물 회수 및 처리 비용 예치제도를 정하여 입법 예고하기로 하였다. (동아일보, 1991년 5월 25일자)

### 1-2. 분해성 고분자란

일반적으로 미생물이나 빛에 의해 썩거나 분해되는 고분자를 '생분해성 고분자' 또는 협의로 '생분해성 플라스틱' 이라고 하는데 현재 국제적으로도 용어 정의나 분해도 평가 방법 등이 통일되지 않는 가운데 각

국에서는 독자적으로 분해성 플라스틱에 대한 연구개발과 산업화가 추진되고 있다. 미국 등에서는 PE에 전분을 혼합시킨 생분괴성 플라스틱도 생분해성 고분자에 포함시키고 있으며, 또한 광분해성 플라스틱도 생분해성 고분자로 분류하는 경우도 있다. 일본에서는 70% 이상 분해되는 생분괴성 플라스틱도 생분해성 고분자로 하지는 의견도 있다. 이와 같이 생분해성 고분자란 용어의 범위에 대한 여러가지 정의가 나오고 있으며, 국제적으로 통일되지 않고 있다.

### 1-3. 분해성의 평가방법

현재까지 이용되고 있는 분해성 플라스틱의 분해성 평가방법으로는 효소, 토양, 그리고 미생물에 의한

분해성 평가방법이 있다. 효소에 의한 분해성 평가방법은 amylase, cellulose, 그리고 protease등 가수분해 효소의 작용결과 플라스틱의 일부가 저분자화하여 반응액중으로 용출되어 나오는 것을 정량하는 방법이며, 분해성 플라스틱의 개발을 위한 분자설계에 적합한 방법으로 평가되고 있다.

토양에 의한 평가방법은 실제로 자연환경에서의 분해성을 중시한 평가방법으로, 흙에서 주로 이용되고 있다. 그러나 이 방법은 야외토양중 매몰시험, 바다속 침지시험, 그리고 일정한 토양을 혼합하여 항온실에서 유지하는 pot시험법등이 개발되고 있으며, 평가하는 시간이 매우 길고, 재현성이 낮으며, 또 분해생성물의 정량성을 평가할 수 없기 때문에 정확한 분해기구 규명에는 적합하지 않다.

미생물에 의한 분해성 평가방법은 오래전부터 플라스틱 재료의 곰팡이 저항성 시험에 널리 이용되어 온 방법으로, fungi, Actinomycetes, Bacillus 등의 microorganism을 이용하여 플라스틱을 분해시킬 때 중량감소, 현미경관찰, 분자량 감소, 그리고 물성저하 등을 분석하여 평가하여, 화학구조가 다른 여러 가지 플라스틱 재료의 분해성을 일차적으로 탐색하여 조사하는데 적합한 방법이다. 특히 ASTM G-21에서는 플라스틱 분해성 평가의 시험 fungi로서 토양중에 가장 일반적으로 발견하는 다섯가지를 제시하는데, Aspergillus niger, Penicillium funiculosum, Chaetomium globosum, Gliocladium virus, Aureobasidium pullulans 등이며,

이들은 미생물 중 비교적 쉽고 육안으로 판별이 가능하며, 위험성도 적어서 널리 받아들여지고 있다.

국내에서도 생분해성 평가방법에 관한 연구가 시작되어, PE/starch, EVA/starch, 및 PVC/starch 블렌드, 지방족폴리에스터의 환경 분해성에 관한 연구를 진행 중이다. 사용 목적에 맞는 분해성 플라스틱을 개발하기 위해서는 분해기구를 규명하고 그 분해정도를 정확히 평가함으로써, 분자나 재료를 설계하여 합성 또는 가공하여야 하기 때문에 분해성 평가방법의 확립은 매우 중요한 과제라고 할 수 있다.

## 2. 생분해성 고분자

### 2-1. 종류

#### 2-1-1. 천연고분자

천연 고분자를 원료로 한 생분해성 고분자는 Cellulose, Hemicellulose, Pectin, Lignin 및 저장 탄수화물인 전분 등 식물에서 유래하는 것과 새우, 게 등의 껍질을 포함한 Chitin질을 기초로 한 동물 유래의 것들이 있다.

식물성유(Oil) 고분자 : 서독의 battele 사에서는 피마자유, oleic acid가 풍부한 해바라기유, 그리고

서독에서 실험적으로 재배된 식물인 Euphorbia로 만든 oil 등에서 유래된 식물성유를 이용한 플라스틱 합성 기술에 대한 특허를 가지고 있다. 이 새로운 플라스틱은 현재 생산되는 제품의 시장을 확장시킬 뿐만 아니라 포장재, 전기재료, 건축재료로서도 사용될 수 있다.

#### 2-1-2. 미생물 생산 고분자

미생물이 만들어내는 생고분자 (biopolymer)를 활용하여 플라스틱과 같은 기능을 갖는 물질을 만드는 것으로, biopolymer는 poly-b-hydroxybutyrate(PHB), PHB/PHV 등의 polyalkanoates인 intracellular 고분자와 pullulan과 같은 polysaccharides인 extracellular 고분자로 나눌 수 있다.

#### 2-1-3. 화학 합성 고분자

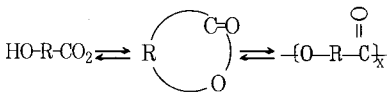
합성 고분자는 미생물 생산고분자가 갖고 있는 기술적 어려운 점을 보완할 수 있고 기능의 조절을 이용하여 풍부한 변화를 부여할 수 있어 보다 합리적인 생분해성 고분자로 평가되고 있다. 이와같은 고분자에는 개환중합에 의한 소재와 단계중합에 의한 소재가 있으며 polycaprolactone(PCL), polyglycolic acid(PG), polyacetic acid(PL), polyorthoester, polyphosphazene, polypeptide 등 많은 종류가 개발되었는데, 현재 이들 대부분은 가격이 상당히 고가이기 때문에 의료용 고부가가치 제품에 한해 이용되고 있으나 최근 diol/diacid 조합에 의한 보다 저렴한 지방족 폴리에스터의 개발이 이루어져 실용화 단계에 있다.

[표 2] 분해성 고분자의 종류

구분	제조방법	분해기구	용도	적용수지
생분해성 플라스틱	천연고분자	셀룰로오스, Hemi-cellulose 및 키틴 등의 천연고분자로 플라스틱을 제조	필름, 셀룰로오스 섬유, Sheet의료 용(봉합사 등)	
	미생물 생산 고분자	(PHB), 박테리아류가 저장한 PHB를 추출하여 제조	수술용, 의료용재, Bio-film.	
	합성 고분자	diol/glycolide 등의 원료를 사용하여 폴리에스터 등의 고분자합성	의료용 봉합사, 일회용 필름, 포장재	PG, PCL, PBS
	식물성유(Oil) 고분자	식물성유의 지방산을 중합하여 고분자 제조	포장재, 건축재료 전기재료	
생분괴성 플라스틱	전분등의 녹말첨가형	범용수지에 녹말을 첨가하여 녹말이 생분해되므로 플라스틱 붕괴	쓰레기백, 쇼핑백, 기저귀 커버, 기타 1회용 포장재	폴리에틸렌, 주로 LDPE,
	지방족 폴리에스터 첨가(Blend)형	PCL(폴리카프로락탐)과 범용 수지 블렌드	폴리 브랜드	LLDPE
광분해성 플라스틱	금속 이온계 고분자 마스타베취 첨가형	전이금속을 첨가, 금속 이온이 고분자쇄중 산화로 생성된 peroxide나 carboxy기의 분해 촉진 촉매작용	Mulching film, 쇼핑백, 포장재, 식품 포장재, 일회용품 산업용 포장재 등	폴리에틸렌, 폴리프로필렌, ALC PVC, EVA, PMMA, 기타 수지
	비닐케톤계 공중합 MB 첨가형	고분자에 자외선흡수 관능기(EI-CO)도입 고분자에 자외선 흡수	쓰레기백, Mulching 필름	폴리스타일렌, 폴리에틸렌, 폴리프로필렌
	에틸렌-일산화탄소 공중합체	관능기(EI-CO)도입	Six-pack-Ring	폴리에틸렌

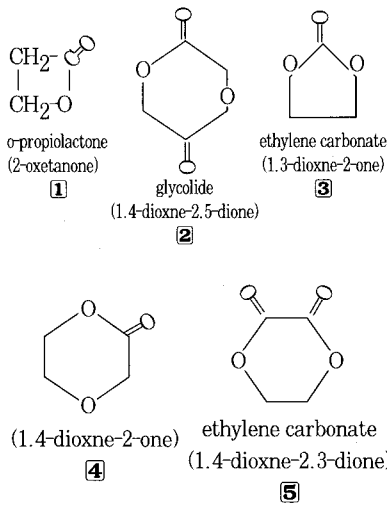
▲ 환경단량체의 개환중합

Lactone은 hydrocarboxylic acid로부터 유도된 cyclic ether를 말하는데 이 같은 물질의 개환중합으로는 반응식 (1)과 같은 polyester가 얻어진다.



가장 간단한 lactone인 R이 (CH<sub>2</sub>)<sub>n</sub>인 lactone은 n이 2인 4-membered ring인  $\beta$ -propiolactone, 1이다.

Diester lactone도 널리 알려져 있는데 가장 간단한 물질은 glycolide, 2로써 glycolic acid의 이량체이다. 그외에도 많은 lactone들이 반응성과 그들의 중합생성물에 대해 널리 알려져 있다.



2-2. 미생물 생산 고분자

2-2-1. Poly(hydroxybutyrate)(PHB)

박테리아를 이용한 발효과정으로 얻을 수 있는 PHA중에서 제일 처음 알려진 것으로는 3-hydroxybutyric acid의 반복단위를 가진 폴

[표 3] Polymerizability of Cyclic Compounds

Class of Monomer	Polymerizability	
	5-Membered Ring	6-Membered Ring
Lactam	+	-
Lactone	-	+
Urethane	decomposes	+
Urea	+	-
Imide	-	-
Anlydide	-	-

[표 4] Polymerization of Cyclic Monomers

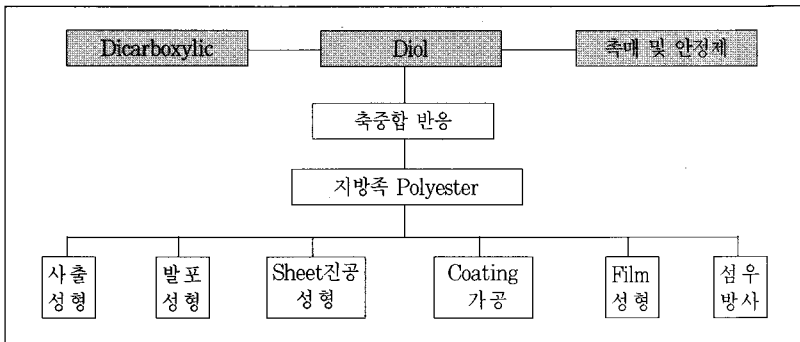
NO	Compound	Ring size	Polymerization
1	$\beta$ -propiolactone	4	+
2	$\beta$ -butyrolactone	4	+
3	$\alpha, \alpha$ -bis(chloromethyl)propiolactone	4	+
4	$\gamma$ -butyrolactone	5	-
5	$\gamma$ -valerolactone	5	-
6	ethylene carbonate	5	-
7	tetramethylene carbonate	5	-
8	2,2-dimethyl-4-phenyl-1,3-dioxolan-5-one	5	-
9	lactone of trans-2-hydroxycyclohexaneacetic acid	5	-
10	$\delta$ -valerolactone	6	+
11	$\alpha, \beta, \gamma$ -trimethoxy- $\delta$ -valerolactone	6	+
12	1,4-dioxane-2-one	6	+
13	glycolide	6	+
14	lactide	6	+
15	1,4-dioxane-2,5-dione	6	+
16	trinethylene carbonate	6	+
17	neopenylene carbonate	6	+
18	ethylene oxalate	6	+
19	propylene oxalate	6	+
20	$\alpha$ -n-propyl- $\delta$ -valerolactone	6	-
21	$\delta, \delta$ -dimethyl- $\delta$ -valerolactone	6	-
22	3-ethyl-1,4-dioxane-2-one	6	-
23	3,3,6-trimethyl	6	-
24	tetraphenylglycolide	6	-
25	tetraphenylglycolide	6	-
26	$\epsilon$ -caprolactone	7	+
27	$\beta$ -methyl- $\epsilon$ -isopropyl- $\epsilon$ -calrolactone-	7	+
28	3-oxa- $\epsilon$ -caproiactonc	7	-
29	lactone of 4-hydroxycyclohexanecarboxylic acid	6	+
30	cis-disalicylide	8	+
31	di-o-cresotide	8	+
32	trisalicylide	12	+



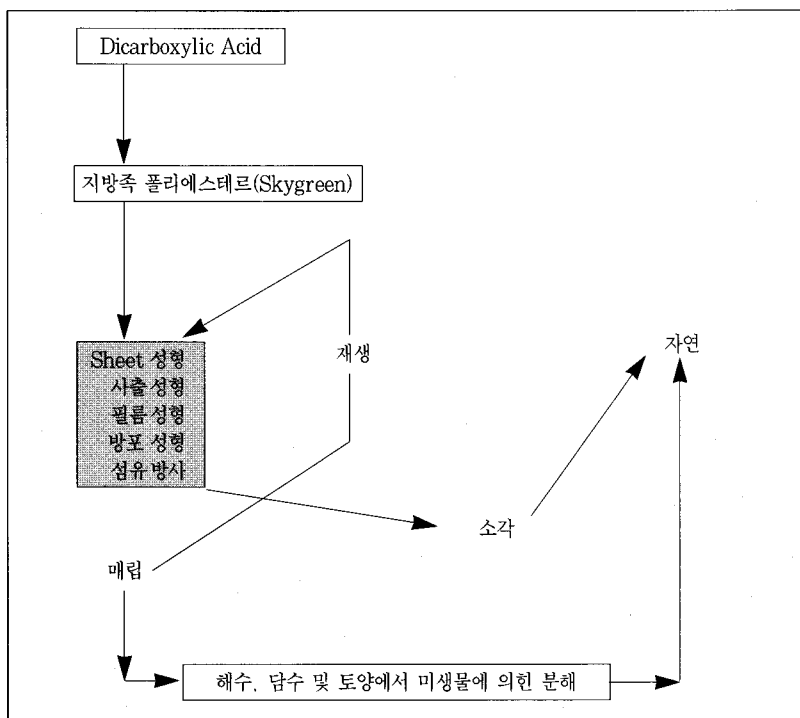
[표 5] Physical and Mechanical Properties of P(3HB-co-Films a 23°C

Composition (mol%)		Crystallinity (%)	Dcnsity (g/cm <sup>3</sup> )	Strrss at Yield (MPa)	Elongation at Yield (%)	tensile Strength (MPa)	Elongation to Break (%)
3HB	4HB						
100	0	60±5	1.250	-	-	43	5
97	3	55±5	n.d.	34	4	?	45
90	10	5±5	1.232	28	5	?	242
84	16	45±5	1.234	19	7	26	444
56	44	15±5	n.d.	-	-	10	511

[그림 2] SKYGEEN의 제조공정



[그림 3] 폴리에스테르의 환경 리사이클



진다. 그리고 보다 미묘하게도 얻어지는 공중합체의 조성은 배양조에 있는 탄소원의 농도에 따라 달라진다. 탄소원으로 3-hydroxypropionic acid, 1,5-pentanediol 또는 1,7-hexanediol을 사용한 경우에는 3hb와 3-hydroxypropionate (4HB)의 공중합체인 P(3HB-co-4HB)를 얻을 수도 있는데 이 때 사용되는 탄소원으로는 4-hydroxybutyric acid, 3-chlorobutyric acid, r-butyroactone, 1,4-butandiol, 1,6-hexanediol 등이 있다.

이와 같이 적당한 박테리아와 탄소원의 종류 및 양을 조절함으로써 여러가지 구조를 가진 PHA 공중합체를 제조할 수 있다. 이러한 공중합체의 조성 및 구조는 X-선 회절법, IR, H-NMR 또는 C-NMR 등으로 조사분석 될 수 있다.

▲성질

가장 대표적인 공중합체인 P(3HB-co-3HV)의 성질과 P(3HB) 및 다른 중합체의 물성을 조사하여 [표5]에 나타냈다.

이축연신한 P(3HB)와 P(3HB-co-3HV)의 필름은 강한 물성을 가지고 있으며, 투명도도 아주 좋다. 더구나 산소투과성이 폴리에틸렌보다 훨씬 적은 기체 차단성을 가지고 있으며, 포장 재료로서의 응용도 가능하다고 하겠다.

P(3HB-co-3HV) 필름의 열적 및 역학적 성질을 아래에 나타내었는데, 3HV의 함량이 증가할수록 연신율이 증가하나, 71+ 3HV의 함량에서는 연신율이 급격히 감소한다. 따라서 이 공중합체는 30-60몰+의 3HV를 가진 경우에만 아주 부드럽

다는 것을 알 수 있다.

P(3HB-co-4HB)에서 4HB의 함량에 따른 물성은 [표4, 5]와 같다.

### 2-3. 화학합성 고분자(지방족 폴리에스테르)

합성에 의한 분해성 고분자로는 aliphatic polyester, polyorthoester, polycarbonate, polyanhydride 및 polyester와 polyether, polyamide의 공중합체가 있으나 주류를 이루는 것을 지방족 폴리에스테르이다. 지방족 폴리에스테르는 Diol과 Dicarboxylic acid의 축중합 반응을 통하여 얻어지거나 락톤, 글리콜리드 등의 환형 단량체로부터 개환중합에 의해 합성된다.

#### 2-3-1. 이론적 배경

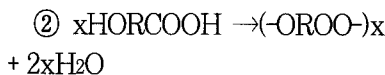
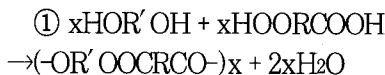
##### ▲ 폴리에스테르의 합성기구

카르복시기와 히드록시기를 가진 화합물을 에스터화(esterification)하여 선형이나 3차원 폴리에스테르를 합성하며 에스터화 반응은 다음의 3가지로 구분한다.

##### ▲ Direct Esterification

interaction fo the hydroxyl and carboxylic groups.

Polycondensation of a glycol ester of a dicarboxylic acid.



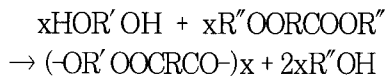
##### ▲ Transesterification

interaction of the eser link

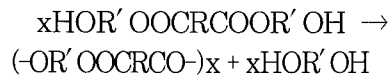
with and alcohol, an acid, or another ester, forming a new ester link and eliminating the corresponding alcohol, acid or ester.

##### ① Alcoholyses

Reaction of a dialkyl ester of a dicarboxylic acid with a glycol.

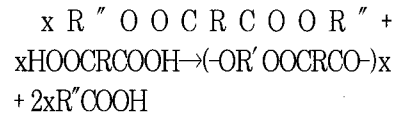


Polycondensation of a glycol ester of a dicarboxylic acid.

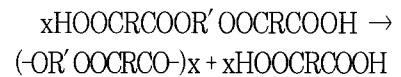


##### ② Acidolysis

Transesterification of a glycol esters with dicarboxylic acids.



Polycondensation reaction of acid glycol ester with elimination of dicarboxylic acids.



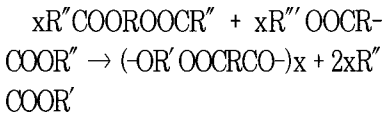
##### ③ Esterolysis

Interaction of a glycol ester with a dialkyl ester of a dicarboxylic acids.

[표 6] 지방족 필름의 접합도

Diol Diacid	Ethylene glyco(2)	Tri-MG (3)	Tetra-MG (4)	Tetra-MG (5)	Hcxa-MG (6)	Hcxa-MG (7)	Octa-MG (8)	Deca-MG (10)
Oxlic (2)	158~173	66~89	96~103	49	66~75	31-7	-	6~79
Muccinic (3)	22	25~33	22	26	48	-	-	29
Succinic (4)	90~10	843~52	113~121	32~87	44~100	86	109	68~71
Glutaric (5)	19	35	53	36	22	28~38	-	55~60
Adipic (6)	47~52	36~46	56~58	36	55~56	-	-	70~77
Pimeric (7)	25	37~51	38	39	52	-	-	63.5
Suberic (8)	61~63	41~52	56	42	58~61	-	-	70~75
Axclaic (9)	44~52	47~60	49	46	52	-	-	66
Sebacic (10)	72~80	49~110	64	53	54~71	-	70	71~74
Nonanoic (11)	-	59	-	-	-	-	-	-
Decanoic (12)	-	61	-	58	-	-	73	-
Undecanoic (13)	143	-	-	-	-	-	-	-
Dexadecanoic (14)	87~95	-	-	-	-	-	-	-
Iexadecanoic (18)	-	75~76	-	-	-	-	-	-

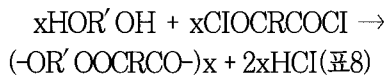
\*( )카본수: MG:메틸렌 글리콜



▲ Double decomposition reaction

Interaction of decarboxylic acid chlorides with glycols.

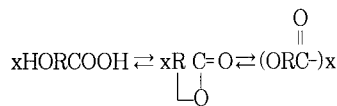
Negligible use in practice.



▲ Ring opening polymerization of Lactones

락톤(lactone)은 hydroxycarboxylic acid로 합성되는 환상 ester

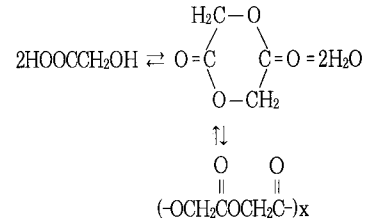
를 말하며 고리를 형성하는 원소의 수에 따라 4-membered  $\beta$ -lactone, 5-membered  $\gamma$ -lactone, 6-membered  $\delta$ -lactone, 7-membered  $\epsilon$ -lactone 등으로 명명, 개환중합하여 의료용으로 흔히 사용한다.



고리에 에스터기가 2개인 diester lactone 역시 의료용으로 사용되며 간단한 예로는 2개의 glycolic acid로 합성되는 glycolide가 있으며 이를 축대로 개환중합하여 poly(glycolide)를 얻는다.

(표 7) 용도

구분	용도
FILM 성형	쇼팽백, 쓰레기 봉투, 위생백, 일회용 장갑, 일반 종합 필름
사출 성형	용기류, 판축물, 위생 의료 용품, 화장품 용기, 유아용품, 사무용품
sheet 및 진공 성형	상품 내외부 포장, 일회용품
Coating 가공	Gyps, Prepaid card
발포 성형	포장 재료, 식료품 Trey
섬유 방사	부직포, 어망 낚시줄 등



2-3-2. 고분자의 구조가 생분해에 미치는 영향

▲ Linearity, Flexibility

-방향족 폴리에스터는 방향족 고리의 굽힘강성(rigidity)으로 인해 가수분해가 어렵다.

-가교제로 이소시아나화합물의 물질 등을 첨가하면 공중합시 화학적 가교결합이 일어나 제반 물질이 고무상 거동을 보이며 생분해성이 저하된다.

▲ Morphology

무정형 영역은 배향된 정도가 낮아서 효소의 침투가 용이하다.

▲ Hydrophilic/Hydrophobic

두 가지를 다 갖는 amphiphilic polymer의 경우 분해속도가 빠르며 두 조성을 변화시키면 물질과 생분해속도의 조절이 가능하다.

▲ Crystal size

연신된 필름은 결정체의 횡방향으로 크기가 작아져서 분해속도가 빠르고 열처리(annealing)된 필름은 결정의 크기가 커져 분해속도가 저하된다.

▲ Random copolymerization

규칙적인 반복구조가 상실되어 결정성이 저하되고 융점강하가 수반되며 각각의 단일 중합체에 비해 가수분해효소의 공격을 쉽게 받아 분해가 가속된다.

▲ Surface properties

▲ Molecular weight

▲ Substituents