

생분해성 고분자소재 생산기술



유전공학연구소 박영훈

1) 연구의 필요성

현대 물질문명의 특징 중의 하나로 플라스틱의 사용을 꼽는데 이의가 없을 것이다. 플라스틱은 우리 인류가 개발해낸 이기(利器)의 대부분을 위한 기본 소재가 되고 있으며 앞으로도 유용성은 날로 확대되어 갈 것으로 보인다. 그러나 여기에 따르는 문제점의 하나가 플라스틱에 의한 환경오염이다. 종래에 플라스틱의 큰 장점으로 제시되었던 반영구적 견고성, 내구성이 이제는 폐기후 처리상의 어려움 때문에 환경공해의 주범으로 인식되기에 이르고 있는 것이다. 이에 따라 이를 대체할 수 있고 사용후 붕괴 또는 분해소멸되어 자연의 순환 싸이클에 흡수되는 “분해성 고분자”의 개발은 시대적 요청이며 또한 앞으로의 지구환경보존은 물론 우리나라 경제산업의 국제 경쟁력을 유지 강화하기 위해서도 반드시 필요한 일이라 하겠다. 국제적인 교역환경이 이와같은 분해성 고분자소재의 사용을 국제협약에 의해 강제되는 방향으로 바뀌고 있기 때문이다.

이 중에서도 “생분해성 고분자 소재”는 자연계에 존재하는 토양미생물에 의해 완전분해됨으로써 공해요인의 원천적제거가 가능한 것이 특징이다. 즉 소각등의 폐기물처리 방법이 냄새유발, 대기오염 등의 2차공해를 유발하는 반면 “생분해성” 소재의 경우 “써어서 분해” 됨으로써 이같은 요인을 근본적으로 없앨수 있는 것이다. 현재 선진국을 중심으로 이와같은 생분해성 고분자의 개발 노력이 집중 추진되고 있는 가운데 기술이전 및 도입도 거의 불가능한 상황에서 국내 독자적 노력에 의한 생분해성 고분자 소재의 생산기술 확보는 국가적 중요성 및

당위성을 갖는다고 할 수 있다.

2) 연구동향

바이오테크놀로지의 발달에 의해, 사용시에는 플라스틱과 동일한 기능과 특성을 가짐과 동시에 토양 등의 자연환경하의 미생물에 의해 쉽게 분해되고, 환경에 하중을 주지않는 생분해성 플라스틱이 개발되어, 자연환경과 조화를 이룰수 있어 국제적으로 많은 관심을 불러일으키고 있다. 현재 생분해성 플라스틱의 재료를 형성하고 있는 것은 미생물생산 고분자, 미생물 생산 biochemical을 합성원료로한 고분자, 그리고 천연고분자를 원료로 한 생분해성 플라스틱등이 있으며, 최근 식물성 oil로부터 플라스틱을 제조하는 기술이 개발되었다.

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

PHB는 poly-hydroxyalkanoate(PHA) 족의 일종인 천연 polyester로써 D-3-hydroxybutyric acid가 직선상으로 연결된 단일 중합체이며, 매우 다양한 세균들이 세포내에 합성하는 에너지 저장물로서, starch나 glycogen과 같은 생물학적 기능을 가진다. PHB의 특성과 용도는 인체에 무독성이며, 생체조직과 융화성이 있어 수술용 봉합사, 수술용 솜, 접골이음쇄 등의 의료용품(bio-medical)에 사용되며,

압전성(piezoelectricity)를 가지고 있어서 압력감지 장치 등에 사용가능하다. 또한 서방성 (controlled release)를 이용하여 농약의 코팅제로 사용하거나 약품전달 수단으로도 응용 가능하며, 다이어트 식품으로도 이용할 수 있다. 그러나 무엇보다도 가장 중요한 특성은 생분해가 가능한 것으로 식품포장용 및 일회용 제품포장용 등의 재료로 사용된다면, 현재까지 천연고분자 물질을 대체하여 사용되어 온 어려움성 고분자 물질의 난분해성 성질로 인한 심각한 공해문제를 해결할 수 있게 된다. 더구나 PHB는 합성고분자인 polypropylene과 유사한 물리, 화학, 기계적 성질을 가지고 있으므로 biotechnology 분야에서 그 산업적인 활용 가능성에 대해 많은 주목을 받고 있어서 유럽, 일본 등에서 개발 노력이 집중적으로 이루어지고 있다. PHB는 세포내 함량은 활발히 자라고 있는 세포내에서는 비교적 낮고 성장단계에 있어서 정지기 초기에서 축적되기 시작한다. 미생물에 따라서 산소, 질소, 황, 인 혹은 칼륨 등의 영양소 제한시 PHB가 축적되는데, 특히 질소원이 제한되고 탄소와 에너지원의 충분한 환경에서는 핵산과 단백질의 합성이 저해되고 동화된 탄소원의 대부분이 저장물질로 전환된다. 그러나 외부 탄소원이 고갈되고 적당한 질소원이 제공된다면 세포내의 저장물질은 분해되어 핵산이나 단백질의 합성에 사용될 수 있다. 영국의 ICI사는 PHB 생산균주로 *Alcaligenes eutrophus*를 이용하여 이차배양시 glucose나 유기산을 첨가하는 2단계 배양법으로 균체 건조중량의 80%까지 PHB를 축적할 수 있었다. 그 당시는 10 kg/week 정도의 PHB를 생산해 내었는데 최근들어 난분해성 합성고분자의 사용에서 발생하는 환경문제가 이슈로 등장함에 따라 보다 물성이 개량된 Biopol을 연간 5000톤 생산할 수 있는 규모로 확장하였으며, 제품의 순도를 95%까지 증가시켰다고 한다. 이 경우 종래 \$20/kg의 공급가격을 \$6-7/kg 수준으로 낮출 수 있을 것으로 기대되고 있다. 반면 Massachusetts 대학의 연구진은 광합성 세균인 *Rhodospirillum rubrum*과 *Pseudomonas oleovorans*를 포함한 몇종의 새로운 미생물을 이용하여 PHB를 생산하고 있으나 ICI사에 비해 훨씬 초기단계에 있어 40% 정도의 PHB를 얻고 있다. 일본의 Suzuki 등은 microcomputer를 이용한 유기식 배양법에 의하여 methanol로부터 *Pseudomonas*

sp. K를 이용, PHB를 배양시간 170시간 후 세포 무게의 66%인 136g/l의 수준으로 축적시키는데 성공하였다.

또한 biochemical 고분자로 분류될 수 있는 Polylactide(PL), Polyglycolic acid(PG), Polycaprolactone (PCL) 등도 주요개발대상으로서 특히 미국의 Dupont사 중심으로 PL의 상업화가 활발히 추진되고 있는 것으로 알려지고 있다.

국내에서의 생분해성고분자소재 생산에 관한 기술개발은 아직도 초기실험실적 개발단계로 평가되고 있다. 산업계에서는 태평양화학(주) 및 고려합섬 등에서 연구개발 보고가 이루어진 바 있는데 고려합섬의 경우 미생물을 이용한 발효법으로 PHB생산 기술을 확보 현재 산업화를 위한 scale-up 연구를 진행시키고 있다고 하나 자세한 기술내용은 알려져 있지 않다. 현재 과기원, 서울대, 경북대 등에서 PHB 생산관련 연구가 활발히 진행되고 있으며 실험실적 결과도 매우 양호한 것으로 알려지고 있다.

3) 연구수행내용

신기능 생물소재 기반기술개발 사업중 중과제의 하나로 현재 추진중인 생분해성 고분자소재 생산 기술개발 과제의 과제구성 및 내역은 표 1과 같다. 생분해성 고분자 관련 소재의 개발을 효율적으로 추진하기 위해 생물학적 방법및 화학합성 방법을 동시에 개발추진하며 분해성평가 기술의 확립을 위한 세부과제도 기업참여하에 추진하고 있다. 표 1에서 볼 수 있는 바와 같이 국내의 산·학·연의 관련 연구인들이 적절히 협력하는 시스템을 구축하고 있으며 국제협력연구 (미국 및 일본)도 적극 추진중이다.

4) 연구개발 전망 및 건의

산·학·연 협력 시스템의 구축으로 생분해성 고분자소재의 국내 개발이 효율적으로 추진될 수 있을 것으로 기대된다. 무엇보다도 국제적으로도 경쟁력이 있는 목표 소재의 생산기술을 확립하기 위한 산·학·연 협력 주체간의 역할분담 및 상호 교류 이해가 필요하다고 생각된다. 현재 대체적으로 합의의 수행되고 있는 역할분담 체제는 다음과 같다.

표 1. 생분해성 고분자소재 생산기술 개발 과제 의 구성

세부과제명	연구책임자	연구목표/내용	참여기업
1. 폴리락트산 및 지방족 폴리에스터의 개발	김영하 (KIST)	<ul style="list-style-type: none"> • 폴리락트산의 경제적 방법의 개발 • 화학합성에 의한 지방족 폴리에스터 개발 	(주)삼양사 (주)선경인더스트리 (주)유공 (주)제일합섬 (주)코오롱 조양홍산(주) 선일포도당(주)
2. 분해성 평가기술 개발	신평균 (KIST)	• 분해성 평가기술 확립	
3. 전분계 고분자 소재 개발	임승순 (한양대)	• 전분함유 고분자 소재의 개발	선일포도당(주)
4. PHB/PHA 관련 공중합체 생산기술 개발	박영훈 (유전공학연)	• 고생산성 PHB/PHA 생산공정 개발	선일포도당(주) (주)삼양사
5. PHB 및 관련 공중 합체의 산업생산을 위한 균주개발	이용현 (경북대)	• 유전자 조작에 의한 고역가 PHB/PHA 생산 균주개발	
6. 메탄올로부터 PHB 및 관련 공중 합체의 발효생산 생산 공정 개발	김정희 (과기원)	• 메탄올원료 이용 우수균주 및 발효 생산기술 개발	
7. 발효에 의한 폴리락타이드 모노머 생산기술 개발	장호남 (과기원)	• 유산 발효생산 및 고순도 분리정제 기술 개발	한국야쿠르트유업(주) (주)코오롱
계			8 개사

- 학 계 : - 신규 생분해성 고분자 소재의 탐색
 - 생분해성 고분자 생산균주 탐색, 개량
 - 생분해성 고분자 생합성 기작연구 및 대사제어
- 연구소 : - 생분해성 고분자소재 생산 균주 개량
 - 고생산성 발효공정/분리정제 기술 개발
 - Bioreactor 시스템 개발 (Pilot test)
- 산업계 : - 물성평가 기술개발 및 용도개발
 - 대량산업화 기술/제품화 기술 개발

- 소비자 인식제고 노력

현재까지 수행, 추진되고 있는 연구계획에 의하면 제 1단계 연구기간('92~'95)내에 국제적 수준의 경쟁력을 확보한 PHB/PHA 소재 및 PL의 생산공정이 확립될 것으로 전망된다. 제 1단계 기술개발 결과를 바탕으로 정밀한 경제성 분석과 함께 pilot 운전 및 시제품 생산을 제 2단계 개발 기간중('96~'98) 실시할 예정으로 있어 빠르면 '98년에는 국내개발 생분해성 고분자 소재 제품을 선보일 수 있을 것으로 전망된다