



탈석유화시대를 위한 재생 및 지속사용 가능 자원 유래 화학소재

Chemical materials from renewable and sustainable resources for post oil era

조진구 / 한국생산기술연구원 그린공정소재연구부문 수석연구원

1. 서론

현재 우리가 일상생활에서 사용하고 있는 대부분의 화학소재는 원료로부터 생산되는 석유 화학 제품이다.

오일 리파이너리(Oil refinery)라고 일컫는 석유정제공정을 통해 원료로부터 탄화수소 기반의 다양한 화학물질이 얻어진다.

그러나 최근 중국, 인도 등 개발도상국가를 중심으로 고갈 자원인 석유에 대한 수요가 급증함에 따라 원유가의 지속적, 구조적 상승이 필연적이고, 비가역 자원인 석유의 무분별한 남용은 이산화탄소의 배출로 인한 지구온난화 문제를 야기하였다. 이에 선진국을 중심으로 기존의 석유기반 화학산업을 바이오리파이너리(Bio refinery) 기반의 자원순환형 지속가능 산업으로 전환하는 패러다임의 변화가 이루어지고 있다(그림 1).

다시 말해, 지금까지 비가역적으로 사용하고 있던 석유, 석탄 등 탄소자원을 재생 및 지속사용이 가능한(renewable and sustainable) 탄소자원으로 대체하고자 하는 노력이 활발히 진행되고 있으며, 새로운 인증제도(ASTM D

6866) 및 세금제도(탄소세)를 마련하여 비가역 탄소자원의 사용을 엄격히 관리하기 시작했다.

현재 석유는 전체 생산량의 약 65%를 연료로써 사용하고, 35%를 수 만종에 이르는 다양한 화합물을 제조하기 위한 원료로 전환하여 사용하고 있다.

현재 인류가 사용하고 있는 대부분의 화학소재는 석유로부터 유래된다고 해도 과언이 아니다. 이러한 석유 중심의 화학소재 산업을 대체하기 위한 많은 연구가 진행 중에 있으며, 이 중 가장 대표적인 것이 식물성 바이오매스의 활용이다. 이는 석유자원과는 달리 식물성 바이오매스로부터 유래된 연료 및 원료물질은 사용 후 광합성 작용을 통해 자원의 재생화가 가능하기 때문이다(그림 2). 광합성 작용을 통해 매년 새롭게 생산되는 탄소자원은 약 1,700억톤에 이르며, 현재 활용하고 있는 양은 이 중 약 3~4% 정도에 불과하기 때문에 식물성 바이오매스로부터 유래된 화학물질은 석유로부터 유래된 화학물질을 상당량 대체할 수 있을 것으로 기대하고 있다.

유럽 바이오플라스틱 협회와 EPNOE(European Polysaccharide Network of

[그림 1] 화학산업의 패러다임 변화



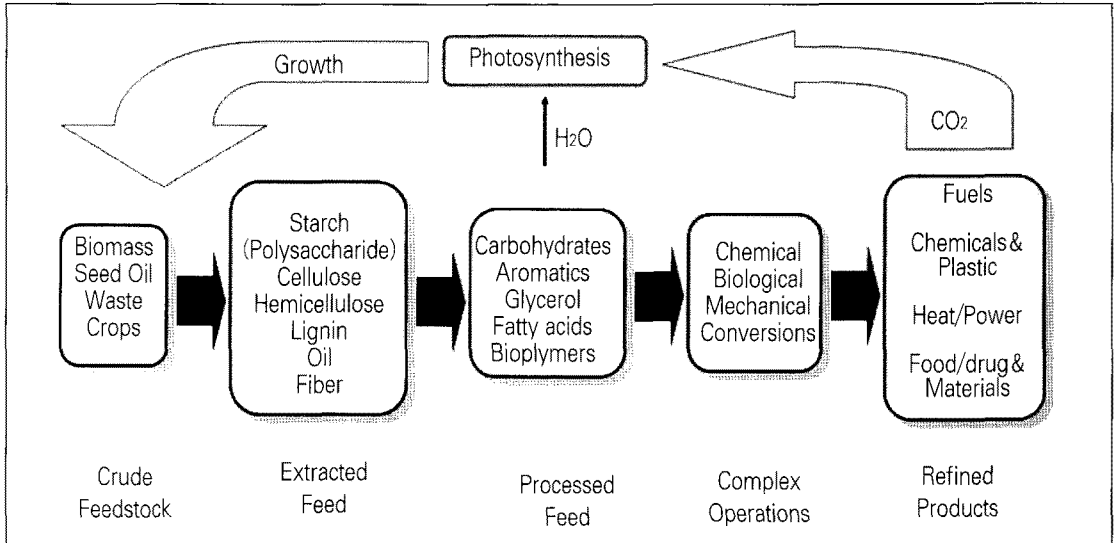
Excellence)의 의뢰로 네덜란드 위트레흐트대학(Utrecht University)에서 발표한 보고 자료에 의하면, 현재 바이오 소재 사업 자체는 소규모이지만 향후 10년이 지나면 사용량이 급증할 것이라고 예측하고 있으며, 구체적으로 석유추출 소재의 최대 90%를 대체할 수 있을 것이라 예측하고 있다.

II. 본론

본 장에서는 현재 포장재를 비롯해 다양한 용도로 널리 사용되고 있는 석유 기반의 화학물질을 대체할 수 있는 재생 및 지속사용 가능 자원 유래 화학소재, 특히 식물성 바이오매스 공급원으로부터 유래되는 화학소재에 대해 설명코자 한다.



(그림 2) 식물성 바이오매스 자원의 탄소순환도



1. 폴리유산

폴리유산 (Poly lactic acid), PLA)은 유산 (Lactic acid)을 직접 축합중합하거나 유산으로부터 전환된 고리형 중간체인 락타이드 (Lactide)를 개환중합하여 제조된다. 유산은 식물성 바이오매스 자원 유래 탄수화물의 발효법에 의해 생산되며, 1990년경 발효에 의한 유산의 경제적인 대량 생산방법이 개발되어, 현재 주로 옥수수 전분으로 나오는 글루코오스를 발효시켜 생산하고 있다. 발효에 의해 생산되는 유산은 99.5wt% 이상의 L-타입으로 얻어지기 때문에 중합 후 얻어지는 폴리유산도 L-타입으로 얻어지는 특징이 있으며, 기존의 폴리프로필렌 및 폴리에스터 소재를 대체할 가능성이 높다 (그림 3).

폴리유산의 대표적인 생산업체로는 세계 최대 곡물회사인 카길(Cargill)과 다우 케미칼(Dow

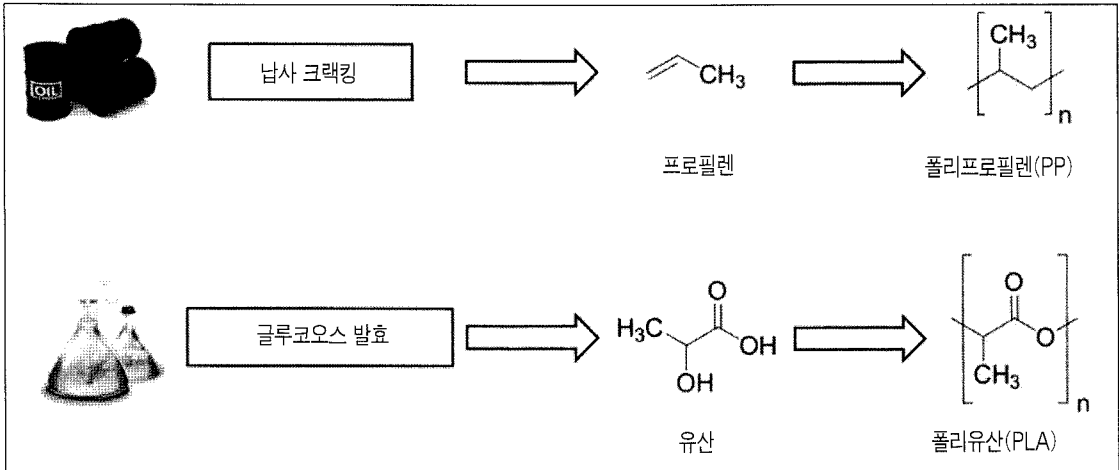
Chemical)의 합자투자사인 네이처웍스 (NatureWorks)가 있고 최근 중국 최대 곡물 도정 업체인 코프코(COFCO)에서는 향후 폴리유산 100만톤 체제를 구축하겠다는 계획을 발표한 바 있다.

이와 같은 대량생산 기반이 갖춰짐에 따라 초기 석유화학소재와의 가격열세를 빠른 속도로 극복하고 있으며 앞으로 그 차이는 더욱 더 줄어들 전망이다.

현재 국내에서는 네이처웍스에서 생산되는 폴리유산 레진을 수입하여 필름, 쉬트, 섬유재료, 사출 블렌드 재료 등에 적용하고 있다. 특히 일본에서는 토요타, 혼다 등 완성차 업체를 중심으로 폴리유산 수지를 활용한 자동차 부품개발도 활발히 진행하고 있다.

폴리유산의 환경전과정 평가(life cycle assessment, LCA)의 보고에 의하면 1세대 폴리유산의 CO₂ 온실가스 배출량은 1,820

[그림 3] 폴리프로필렌과 폴리유산의 밸류체인 비교



kg/ton으로 PET보다 56% 적지만, 시간이 지날수록 폴리유산의 누적되는 CO₂ 배출량은 점차 감소하게 되고 장기간으로 보면 대기 중 배출량이 마이너스가 되는 것으로 알려져 있으며, 재활용이 되는 경우 더욱 CO₂ 가스 저감효과는 상승할 것으로 예측된다.

2. PET 대체용 바이오소재

PET(Poly ethylene terephthalate) 수지는 고강도, 고투명도, 경량성, 무독성과 같은 장점 때문에 섬유, 테이프, 음료용기 등으로 많이 쓰이고 있으며 최근에는 PET 병맥주 등 용도의 확대와 더불어 중국 등 개발도상국의 수요 증가로 사용량이 급속히 증가하고 있는 추세이다.

2009년 코카콜라사에서는 식물성 바이오매스 유래 화학물질을 약 30% 혼합한 새로운 PET병을 적용한다고 밝히고 이를

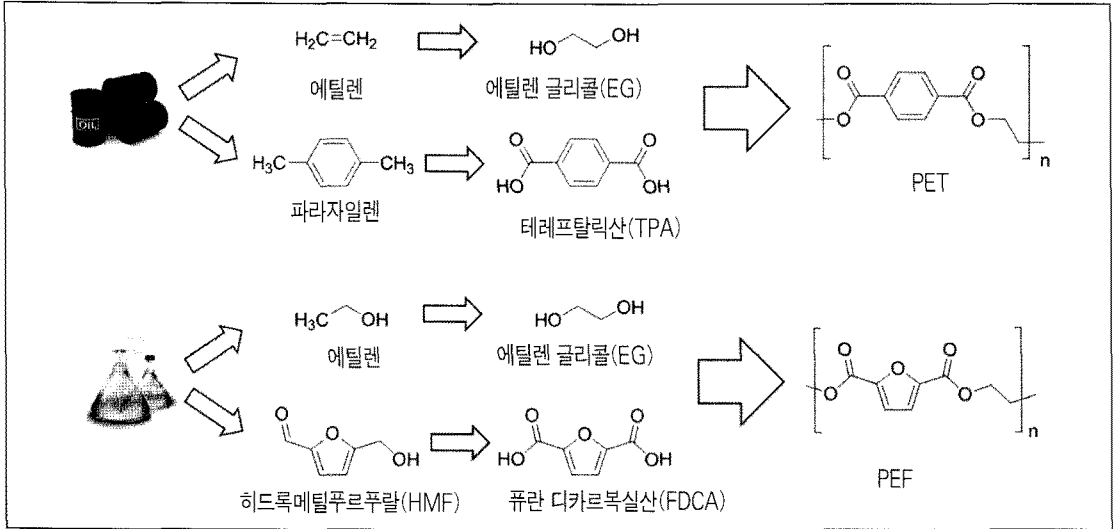
'PlantBottle™'로 명명하였으며, 향후 자사의 모든 음료에 이 새로운 PET병을 적용하겠다는 계획을 발표하였다.

이 새로운 PET병은 완전히 재활용 가능하며 (주: 이를 위해 20온스 PET병 약 20억병에 해당하는 연간 1억 파운드 규모의 재활용 시설을 사우스캐롤라이나 Spartanburg에 마련하였음), 영국 런던왕립대학(Imperial College London)에서 시행한 전과정 평가(LCA)를 통해 석유화학 기반의 PET 플라스틱병과 비교하여 약 25%의 탄소배출을 줄일 수 있다고 주장하였다.

PET 수지는 에틸렌글리콜(ethylene glycol, EG)과 테레프탈산(terephthalic acid, TPA)를 단량체로 하여 축합중합을 통해 제조된다. 기존의 석유화학공정에서는 에틸렌글리콜을 에틸렌으로부터 제조하는데, 1차적으로 에틸렌을 에틸렌옥시드(ethylene oxide, EO)로 전환한 후, 이를 물과 반응시켜 얻게 된다.



(그림 4) PET와 PEF의 밸류체인 비교



또한 테레프탈산은 BTX공정에 의해 제조된 파라자일렌(p-xylene)을 산화시켜 얻게 된다.

반면에 PlantBottle™에 적용되는 PET 수지의 경우, 석유화학공정에서 납사크래킹(Naphtha cracking)으로부터 나오는 에틸렌을 대신하여 바이오에탄올로부터 전환된 바이오에틸렌을 통해 바이오에틸렌글리콜을 제조하고 이를 PET 수지의 단량체로 사용하게 된다.

바이오에탄올로부터 바이오에틸렌의 생산은 브라질의 브라스캠(Braskem)이 독점하고 있으며, 브라스캠은 사탕수수과 당밀을 원료물질로부터 바이오에탄올을 생산하고 있다.

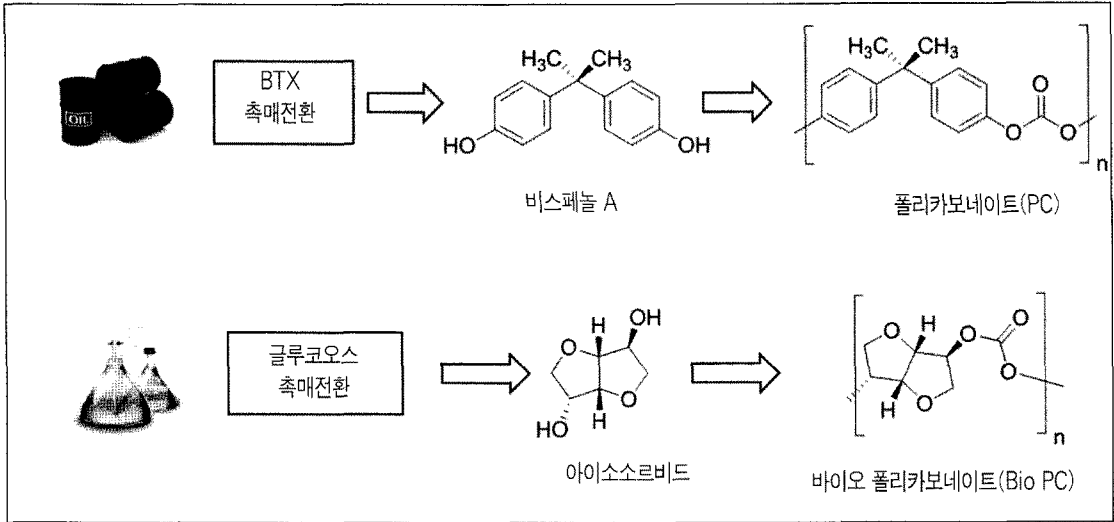
한편 올해 들어 코카콜라사의 경쟁사인 펩시콜라사에서는 PET 수지의 나머지 한 단량체인 테레프탈산도 바이오매스로부터 제조하여 100% 바이오매스 유래 화학물질로만 구성 된 바이오 PET병을 자사의 제품에 적용하겠다고 발표하였다.

아직 정확하게 테레프탈산을 대체할 수 있는 바이오매스 유래 화학물질이 밝혀지지 않았지만 아넬로텍(Anellotech), 제보(Gevo), 드라스(Draths), 사빅(Sabic) 등에서 개발한 바이오 테레프탈산 또는 아반티움(Avantium)에서 개발한 퓨란디카르복실산(furan dicarboxylic acid, FDCA)을 활용하는 것으로 예상되고 있다(그림 4).

3. 바이오 폴리카보네이트

폴리카보네이트는 내충격성, 내열성, 내후성, 자기소화성, 투명성 등의 특징으로 인해 클레이징, 슈트, 포장용품, 자동차용품, 가정용 전기기구/공구, 조명기구, 광학용 제품 등에 널리 활용되고 있다. 폴리카보네이트의 단량체는 주로 페놀류 화합물이 사용되며, 특히 비스페놀 A계 화합물들이 가장 널리 사용되고 있다.

(그림 5) 비스페놀 A계 폴리카보네이트와 바이오폴리카보네이트의 밸류체인 비교



그러나 폴리카보네이트의 단량체로서 석유화학 기반의 비스페놀 A계 화합물들을 대신하여 재생 및 지속사용이 가능한 바이오매스 유래 화합물을 사용하려는 시도가 이루어지고 있다. 더욱이 비스페놀 A는 인체에 유해한 독성물질이기 때문에 아기젖병 등 인체에 직접 영향을 미칠 수 있는 용도로서는 이미 시장에서 퇴출되고 있는 상황이다.

비스페놀 A를 대체할 수 있는 바이오매스 유래 화합물로서 아이소소르비드가 주목을 받고 있다. 아이소소르비드는 식물성 바이오매스에서 나오는 탄수화물 성분으로부터 글루코오스를 추출하고 이를 환원공정을 통해 솔비톨(sorbitol)이라는 물질로 전환한 후 이를 다시 탈수화반응을 시켜 얻게 된다(그림 5).

아이소소르비드는 비스페놀 A와 유사한 물리적, 화학적 특징을 가지고 있을 뿐만 아니라, 독성이 없어 비스페놀 A를 대체할 수 있을 것으로

기대를 모으고 있다. 아이소소르비드는 프랑스의 로켓(Roquette)사에서 생산되고 있으며, 전 세계적으로 이를 활용하기 위한 연구가 활발히 진행 중에 있다.

III. 결론

현재 세계 각국은 석유 기반의 화학소재를 재생 및 지속사용 가능 자원 기반으로 전환하고자 하는 노력을 하고 있으며, 각종 규제를 통해 이러한 패러다임의 변화를 시장에 적용시키고 있다.

특히 범용 패키징 화학소재 분야는 이러한 급속한 시장환경의 변화에 가장 큰 영향을 받고 있는 분야 중 하나로 신속하고, 적극적인 대응이 요구된다. 따라서 범 국가차원의 지원과 산업현장에서의 이해와 노력이 필요한 시점이다. [ko]