

재생 및 지속사용 가능 자원 유래 탄소 중립형 접착소재

김백진¹ · 김상용¹ · 조진구^{1†} · 이상협² · 김현중³

¹한국생산기술연구원 청정생산시스템연구본부 그린공정연구부, ²대구가톨릭대학교 자연대학 생명화학과,

³서울대학교 농업생명과학대학 산림과학부 환경재료과학전공

바이오복합재료 및 접착과학 연구실, 바이오매스 기반 바이오소재 연구팀

(2010년 2월 5일 접수)

Renewable and Sustainable Resource Derived Carbon Neutral Adhesive Materials

Baekjin Kim¹, Sangyong Kim¹, Jin Ku Cho^{1†}, Sang-Hyeup Lee², and Hyun-Joong Kim³

¹Green Chemistry & Manufacturing System Division, Green Process R&D Department, Korea Institute of Industrial Technology, Cheonan 331-825, Korea

²Department of Life Chemistry, Catholic University of Daegu, Kyungsan 712-702, Korea

³Lab. of Adhesion & Bio-Composites, Program in Environmental Materials, Research Team for Biomass-based Bio-Materials, Research Institute and for Agriculture and Life Sciences, Seoul National University, Seoul 151-921, Korea

(Received February 5, 2010)

요약: 지난 세기 동안 무분별한 화석자원의 남용과 중국 등 개발도상국에서의 수요급증은 불안정한 유가문제를 야기하였고, 막대한 양의 비가역적 이산화탄소 배출은 지구온난화 문제를 발생시켰다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 석유자원을 대체할 수 있는 재생 및 지속사용 가능 자원에 대한 관심이 커지고 있다. 본 논문에서는 재생 및 지속사용 가능 자원으로서 식물성 바이오매스 공급원을 활용하여 석유화학제품 대체하고자 하는 연구개발 동향을 접착소재의 관점에서 고찰하였다.

Abstract: The extensive use of fossil resources over the past century resulted in dwindling supply and surging price of oil and it is strongly suspected that irreversible global climate change might be due to carbon dioxide emitted from combustion of fossil carbons. With this regard, much attention is recently paid to renewable and sustainable resources as alternatives to petroleum. In this review, we considered a range of efforts to replace petroleum-derived chemicals, particularly adhesive materials with renewable and sustainable plant-based biomass feedstock.

Keywords: renewable and sustainable resources, biomass, carbon neutral, alternatives, adhesives

1. 서론

석유자원의 고갈에 따른 원유가의 불안정과 비가역적 온실가스 배출에 의한 지구온난화 문제를 해결하기 위해 기존의 석유기반 화학산업을 자원순환형 지속가능 산업으로 전환하는 패러다임의 변화가 이루어지고 있다 [1,2]. 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 65%를 연료로서 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(Figure 1).

[†]Corresponding author: Jin Ku Cho (jkcho@kitech.re.kr)

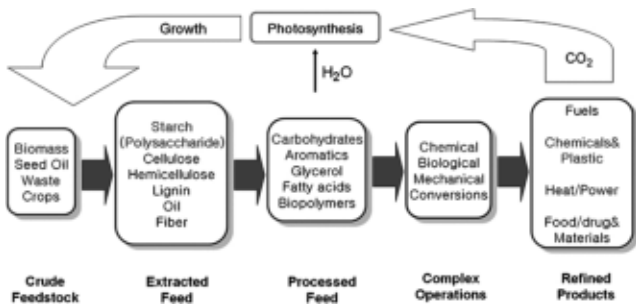


Figure 1. Carbon cycle by renewable and sustainable biomass resources.

광합성 작용을 통해 매년 새롭게 생산되는 탄소자원은 약 1,700억톤에 이르며, 현재 활용하고 있는 양은 이중 약 3~4% 정도에 불과하기 때문에 식물성 바이오매스로부터 유래된 화학물질은 석유로부터 유래된 화학물질을 상당량 대체할 수 있을 것으로 기대하고 있다[3-5]. 이미 미국, 유럽 등 선진국을 중심으로 이와 관련한 괄목할만한 개발이 이루어지고 있는데[6-9], 그 대표적인 것이 듀폰사에서 개발된 1,3-PDO (propane diol)이다[10,11]. 1,3-PDO는 식물로부터 유래된 글루코오스로부터 발효공정을 통해 얻어지는 물질로서 폴리에스터의 단량체로 사용될 때 기존의 폴리에스터와는 차별적인 물성을 나타내어 현재 시장에서 큰 호응을 보이고 있다. 또한 PET 용기의 단량체로 사용되는 TPA (Terephthalic acid)도 바이오매스로부터 유래된 물질로 대체하려는 시도가 이루어지고 있는데, 시장의 규모 상 상당한 파급효과가 있을 것으로 예상된다.

같은 맥락에서 동 시대 산업 전 분야에 깊숙이 연관되어 있는 접착제 산업도 기존의 비가역적 밸류체인을 순환형 구조로 재편될 것을 요구 받고 있다. 최근 Bath 대학의 Packham 교수는 접착제 분야에서도 이러한 지속사용 가능성(sustainability)이 앞으로 중요한 의미를 가질 것으로 분석하였다[12]. 접착제는 일반 가정에서부터 첨단 산업분야까지 그 적용범위가 광범위한 화학소재로서 다양한 화학물질의 혼합물 형태로 제조되어 사용되고 있다. 이러한 접착제 내의 각각의 화학물질들은 여타 다른 화학물질과 마찬가지로 거의 대부분이 석유로부터 유래된 석유화학물질로서 이를 재생자원 유래 물질로 전환하려는 노력이 이루어지고 있다. 본 총설에서는 최근에 개발된 대표적인 식물성 바이오매스 유래 접착소재를 화학적 구성성분별로 나누어 소개하고, 이를 통하여 향후 개발 방향과 가능성에 대해 살펴보고자 한다.

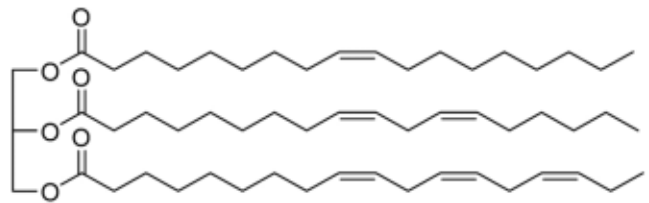


Figure 2. Representative chemical structure of triglyceride.

2. 본 론

2.1. 유지계 바이오매스 유래 폴리올을 이용한 폴리우레탄 접착소재

식물성 유지계 바이오매스로부터 얻어지는 식물성 오일, 지방산과 그 유도체는 기존의 석유로부터 나오는 핵심 원료물질을 대체하여 정밀화학제품, 고분자, 단량체 등을 제조할 수 있는 잠재력이 매우 큰 재생자원으로 인식되어 왔다[13]. 식물성 유지계 바이오매스로부터 나오는 지방은 트리글리세라이드(triglyceride)라는 물질로서 화학적으로 글리세린과 3개 지방산이 에스테르 결합으로 연결되어 있는 구조를 가지고 있다(Figure 2).

식물성 유지계 바이오매스로는 팜(Palm), 대두(Soybean), 유채(Canola), 평지씨(Rapeseed), 아마씨(Linseed), 목화씨(Cottonseed), 코코넛, 해바라기, 올리브, 자트로파(Jatropha), 아주까리(castor bean) 등이 있으며, 바이오매스 공급원 으로부터 추출된 트리글리세라이드는 화학적인 변형을 통해 다수의 히드록시 관능기를 갖는 고분자 단량체로 전환될 수 있다. 일반적으로 화학적 변형을 통한 히드록시 관능기의 도입이 가능한 반응 자리로는 에스테르 결합 지점과 지방산 내의 이중결합 지점이 있으나, 아주까리기름처럼 지방산 내에 이미 히드록시 관능기가 존재하는 경우도 있다. 지방산 내의 이중결합을 이용한 관능기의 도입은 주로 에폭시화 반응을 통해서 이루어진다. 식물성 오일의 에폭시 화합물은 그 자체로도 PVC 가소제 용도로 연간 약 20만톤 규모의 시장을 형성하고 있지만[14], 최근에는 폴리우레탄의 단량체인 폴리올을 생산하기 위한 전구체로서 활용도를 넓혀가고 있다. 식물성 오일 유래 폴리올을 제조하는 가장 손쉬운 방법으로는 이중결합을 직접 산화시키는 것이지만 반응의 제어가 용이하지 못하여 히드록시 관능기뿐만 아니라 퍼옥사이드, 알데히드, 케톤과 같은 다른 형태의 산화물이 함께 생성되기 때문에 히드록시 관능기의 수가 부족하고, 추가의 분리정제공정이 요구되는 단점이 있다. 그러나 이러한 직접 산화공정에 의해서도 히드록시 관능기의 양을 증가시킬 수 있는 기술이 개발되기도 하였다[15]. 식물성 오일 내의 이중결합 위치에 히드록시 관능기를 보다 제어가 용이하게 도입하기 위한 방법으로는 에폭시화 반응을 통한 에폭시 화합물을 1차적으