

# 친환경 화이트바이오기술

권 용 구 (인하대학교 고분자공학과 교수)

## 서론

최근 삶의 질과 환경에 대한 관심이 증가하면서 생태계 보전에 대한 필요성과 더불어 우리의 생활을 윤택하게 하는 화학 제품에 대한 환경 영향과 오염에 대하여 많은 논의가 있어 왔다. 탄소중립과 ESG경영이 화두가 되면서 환경과 보건 기술에 대한 필요성이 급증하고 있다. 이와 더불어 바이오와 접목된 화학 기술에 대한 수요가 증가하고 화학과 바이오기술이 접목된 융합기술에 대한 적용 범위가 넓어지면서 최근 화이트바이오 산업과 기술 분야가 많은 관심을 받고 있다.

바이오기술은 그 적용 분야에 따라 크게 레드바이오, 그린바이오, 화이트바이오기술로 분류하고 있다. 레드바이오기술은 의약품 및 보건의료 용도에 사용되는 바이오화학기술로 정의하며, 작물 개량, 개발, 작물 내성 향상, 농작물

생산성 증대 및 식품 산업과 관련된 분야를 그린바이오기술, 석유 등의 화석연료 대신 바이오매스를 원료로 바이오 연료, 바이오플라스틱, 바이오 기반 정밀·특수화학(화장품 원료 등) 등, 환경친화적인 과정을 통하여 화학 및 에너지 산업 등에서 생물학적 기술을 이용하여 제품을 개발하고 생산하는 기술을 화이트바이오기술로 분류한다. 화이트바이오 산업은 이에 관련된 산업과 연관된 에너지 생산, 화학 물질 생산, 폐기물 처리 등 모든 서비스를 포함한다.<sup>1,2</sup> 화이트바이오기술은 특히 대부분의 과정에서 온실가스를 배출하며 기후위기 해결에 부담이 되고 있는 화석연료 기반의 기존 산업을 극복하는 대안으로 최근 크게 부각이 되고 있다.

화이트바이오기술은 식물 등 재생가능한 자원을 이용하거나 미생물, 효소 등을 활용하여 기존 화학산업의 소재를 바이오기반으로 대체하고 연료, 플라스틱, 생활용품, 시약, 효소 등



〈그림 1〉 화학과 바이오기술이 접목된 바이오기술의 분류

다양한 제품에 적용 가능하다. 예로서 석유기반의 원료에서 나프타, 에틸렌 등 단량체를 거쳐 벤젠, 아세톤 등 석유화학의 기초 원료와 이를 기반으로 플라스틱, 세제, 화장품 등 화학제품을 생산하고 에탄올, 디젤 등의 연료를 생산해왔다면 기존 석유기반의 원료를 바이오매스기반의 원료로 대체하고 이를 이용하여 단량체를 제조하고 발효 등의 공정을 통하여 젓산 및 에탄올 등을 제조하고 다양한 친환경 화학공정과 생물공정을 거쳐 화학제품과 연료를 생산하며, 생산 과정에서 이산화탄소 배출량도 비교적 적지만, 원료인 식물 등 바이오매스가 이산화탄소를 흡수하게 되어 탄소중립적인 기술이라고 볼 수 있다. 특히 저탄소·친환경 트랜드가 최근 크게 부각되고 있으며 이에 따라 관련 산업의 중요성이 부각되고 있으며 시장 규모도 크게 확대되고 있다.<sup>2</sup>

화이트 바이오 시장 규모는 2019년 기준 대략 281조 원이며 연평균 10.1% 성장이 예상되어 2028년에는 662조 원의 규모로 확대될 것으로 기대되고 있다.<sup>2</sup> 바이오매스 자원이 풍부한 미국과 유럽 등을 중심으로 바이오연료 및 바이오 화학제품 등 화이트바이오 산업 활성화를 위한 정책적 지원과 일회용 비닐봉투, 빨대 등 비분해성 플라스틱 규제가 강화되고 있다. 이와 함께 다양한 일회용 플라스틱 제품을 단계적으로 폐지시키는 Break Free From Plastic Pollution Act of 2020 법안이 발의된 상태이다. 유럽에서도 산화분해성 플라스틱 제품 포함 일회용 플라스틱 제품 사용을 전면 금지하는 지침을 '21년부터 발효한 바 있다.<sup>2</sup>

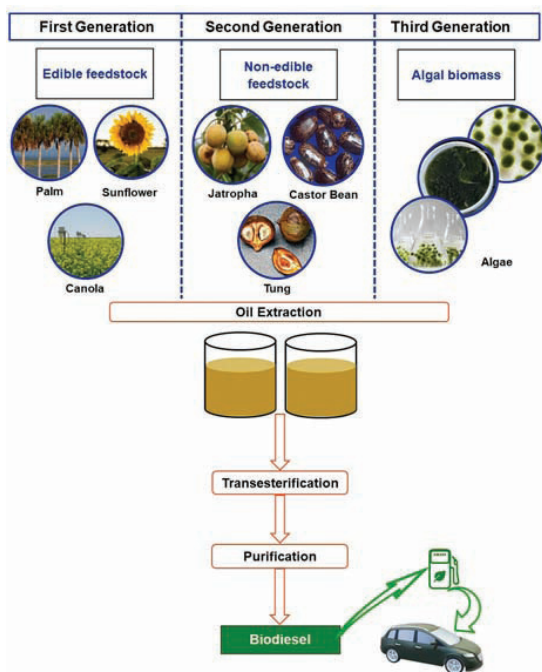
국내의 경우 2012년부터 바이오화학 육성전략을 수립하고 바이오화학산업 및 관련 연구를

지원해왔으나, 때마침 중동 지역의 공격적인 유가 생산 전략과 저유가 장기화로 인한 바이오에너지 및 화학산업 침체로 정책 추진 동기가 다소 약화된 상황이다. 또한 바이오매스 확보 및 이용을 위한 인프라가 부족하고 영세한 실정이며, 바이오매스의 이용 확대와 에너지화를 위한 적극적인 정책 시행 및 지원이 필요한 실정이다. 우리나라의 화이트바이오 산업은 향후 10년 내 시장규모가 2배 이상 확대될 예정이며 높은 부가가치를 나타낼 전망이다. 화이트바이오분야 기술 수준은 미국 대비 85% 수준으로 기술 격차 정도는 3년 정도로 분석되었다. 화이트바이오기술은 바이오와 화학기술 융합을 기반으로 크게 바이오매스 저분자화기술, 바이오플라스틱, 생촉매 및 스마트바이오공정 기술 분야로 구분할 수 있다.

## 1. 바이오매스 저분자화 기술

바이오매스 저분자화 기술은 화학적, 물리적, 생물학적 방법을 활용하여 다양한 생산품, 에너지, 고부가가치 화합물로 분해 및 변환하는 기술로 바이오매스로부터 바이오연료 및 바이오 화합물을 제조하는 과정에서 이산화탄소가 발생하지만, 바이오매스를 생산하는 과정에서 이산화탄소를 흡수하므로 탄소 중립적인 기술이다. 세부 기술로는 바이오매스 구성성분 및 분석기술, 바이오매스 물리적·화학적 전처리 기술, 바이오매스 효소당화기술을 들 수 있다.

바이오매스 저분자화 기술은 바이오매스로부터 생산된 성분들을 열, 화학적 또는 생물학적 프로세스를 통해 저분자 물질로 변환시키는 과정을 포함하며 저분자화된 바이오매스 성분은 바이오 연료 생산, 바이오매스 기반 플라스틱



〈그림 2〉 바이오매스로부터의 바이오디젤 제조 공정<sup>3)</sup>

물질의 제조, 화장품 및 의약품 산업 등에 활용된다. 이는 기존의 화석 연료 사용을 줄이고 친환경적인 대안을 제공하는 데 기여할 수 있다.<sup>4)</sup> 화석연료의 사용을 줄이고 지속가능한 사회로의 전환을 위한 대안으로 생물유기체, 즉 바이오매스를 변환시켜 얻어지는 기체, 액체 또는 고체의 연료를 연소 또는 변환시켜 얻어지는 연료를 바이오연료라고 한다. 이들은 생물유기체를 변환시킨 바이오가스, 바이오에탄올, 바이오액화유 및 합성가스 뿐만 아니라 쓰레기 매립장의 유기성폐기물을 변환시킨 매립지가스, 동물·식물의 유지를 변환시킨 바이오디젤 및 바이오중유, 생물유기체를 변환시킨 팜검, 목재칩, 펠릿 및 숯 등의 고체연료를 모두 포함하며 바이오에탄올과 바이오디젤이 수송용연료를

중심으로 상업화가 가장 활발하다.<sup>5)</sup>

## 2. 친환경 바이오플라스틱

자연에 존재하는 바이오매스 자원은 크게 조류계(algae), 목질계(나무) 및 초본계(풀)로 나눌 수 있으며 전처리 및 당화과정을 거치며 다양한 화합물로 변환되고 사용되거나 고분자 등의 중합에 활용할 수 있다. 이를 기반으로 크게 바이오기반 비분해성 바이오플라스틱과 생분해성 바이오플라스틱을 제조할 수 있으며 생분해성 바이오플라스틱은 곰팡이, 박테리아 등과 같은 미생물에 의해 물과 이산화탄소, 메탄 등으로 완전히 분해되는 고분자로 정의한다. 천연고분자는 생체가 만들어 내는 고분자로 생체 자신이 그 분해효소나 대사계를 갖고 있어 생분해성을 나타낸다. 천연고분자는 크게 polypeptides, polysaccharides, polynucleotides로 나뉘어지며 다양한 용도로 활용되고 있다. 최근 이산화탄소를 포집하고 활용하여 환경 친화형 고분자 소재를 개발하는 연구가 온실가스 저감 효과와 함께 진행되고 있다<sup>6)</sup>.

바이오기반 생분해성 바이오플라스틱의 한 예로서 lactic acid를 원료로 하는 poly(L-lactic acid)는 여러 용도로 광범위하게 사용되고 있다. Polysaccharides 기반 물질로부터 추출된 당류를 발효시키거나 중간 단량체 분리 없이 미생물인 수소 세균(Ralstonia Eutrophus)으로부터 polyhydroxyalkanoates (PHAs)를 제조할 수 있으며, 생분해성 고분자로서 polypropylene과 비슷한 물성을 나타낸다. 지방족 polyester는 축중합, 개환중합, 폴리에스터간의 에스터 교환반응을 통하여 합성되며, 물성이나 가공성이 우수하고 100% 완전분해가 가능하다. 화학합성에



고분자	구조식	고분자	구조식
poly( $\epsilon$ -caprolactone)	$\left[ \text{CH}_2 - \text{C} \begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{O} \end{array} \right]_n$	starch	
poly(L-lactide)	$\left[ \text{CH} - \text{C} \begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{O} \end{array} \right]_n$   CH <sub>3</sub>	cellulose	
poly(glycolide)	$\left[ \text{CH}_2 - \text{C} \begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{O} \end{array} \right]_n$	chitin	
poly(3-hydroxybutyrate)	$\left[ \text{CH} - \text{CH}_2 - \text{C} \begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{O} \end{array} \right]_n$   CH <sub>3</sub>		

〈그림 3〉 생분해 플라스틱의 분류<sup>7)</sup>

의하여 제조된 생분해성 고분자로는 butanediol과 succinic acid을 합쳐 만들어진 poly(butylene succinate)를 들 수 있다. 원료인 di-methyl succinate와 butanediol은 석유에서 유래된 화학제품을 사용하고 있으나, 녹말 등을 재생 가능한 원료로부터 succinic acid의 발효에 의해서 제조가 가능하다. 또한 1,4-butanediol과 adipic acid, dimethylene terephthalate를 공중합하여 제조한 Poly(butylene adipate-co-butylene terephthalate) (PBAT) 공중합체는 dimethylene terephthalate의 양에 따라 생분해성을 가진다.

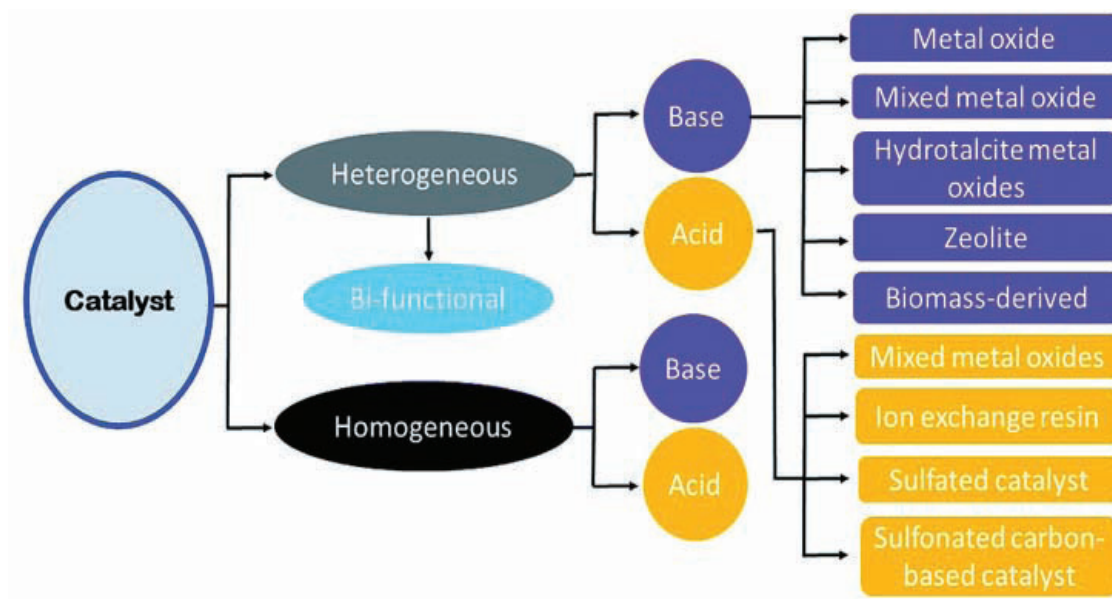
곡물에서 추출되는 전분, 게나 새우의 껍질에서 얻을 수 있는 키틴, 셀룰로오스 등이 생분해가 가능한 천연 고분자들이다. 이러한 천연 고분자는 합성하거나 미생물에 의해 생산된 분해성 고분자들에 비해 가공성은 다소 떨어지나 가격이 상대적으로 저렴한 편이다. 특히 전분

은 자원이 풍부하여 공급이 원활하고, 무독성이며, 가격이 저렴하고 생분해도가 우수할 뿐만 아니라, 가공성을 향상시킬 수 있는 다양한 변성 기술이 개발되어 있다. 키틴은 주로 의료용 생체재료로 이용되고 있다.

### 3. 생물촉매 및 스마트 공정 개발 기술

생물 촉매와 발효 기술은 생물학적 촉매나 미생물을 사용하여 발효과정을 통하여 의약품산업, 식품 및 음료 산업, 환경산업 등에 화합물을 합성하거나 화학 반응을 촉진시키는 기술을 의미한다. 생물촉매는 화합물의 화합 또는 분해를 촉진하는 데 사용되는 유기 또는 무기 화합물이며, 주로 미생물, 효소 또는 유전자 조작된 세포 등으로부터 얻어진다. 발효기술을 통하여 요구르트, 맥주, 와인 등의 다양한 식품 등이 생산되며, 항생제, 백신 등의 제조에 활용





〈그림 4〉 바이오디젤 합성을 위한 촉매시스템의 분류<sup>8</sup>

되기도 한다. 최근 바이오 연료 생산 등의 분야에서 발효시스템 기술이 활용된다.

생물촉매 및 스마트 공정 개발 기술은 크게 효소 기반 생물촉매 시스템과 균류, 세균, 효모 등 미생물 기반 발효 시스템으로 분류되며 효소는 화합물의 변환 또는 분해등에 생물학적 반응을 촉진시키기 위해 사용하며, 미생물 기반 발효기술은 의약품, 식품 및 음료 산업에서 사용되며, 발효공정을 통해 원하는 화합물을 제조한다.<sup>9</sup> 미생물 또는 효소를 촉매로 사용하여 식물성 오일이나 동물성 지방을 바이오디젤로 생성하며 화학촉매보다 더 높은 효율성과 선택성을 얻을 수 있으며 이산화탄소 배출을 줄이고 재생 가능한 에너지를 이용하기 때문에 환경친화적이다. 최근 빅데이터와 인공지능을 바이오공정에 활용하고 생물학적인 프로세

스의 자동화, 공정 최적화, 유전자 편집 및 조작을 통해 생물체의 물성을 변화시키고, 반응 및 공정에 활용하기도 한다.

#### 4. 결론

최근 화이트 바이오 제품의 개발이 활발히 진행되고 있으나 상용화에는 일반적으로 2년 이상, 억 단위 비용이 소요되는 규모가 큰 위해성 심사로 인하여 상용화에 애로를 겪고 있으며 이러한 문제는 화이트바이오 제품에 대한 위해성 심사를 간소화하여 극복할 수 있다. 국내 화이트바이오기술 및 산업은 친환경·ESG를 중시하는 글로벌 트렌드로 높은 성장성이 기대되나, 산업 형성 초기 단계며 국제경쟁력이 취약하고 연구 개발의 불확실성이 높아 현재 정부

의 예산지원이 중요하다. 화이트 바이오기술 분야의 성장을 촉진하기 위해서는 시장 선점을 위한 위해성 심사 등, 심사 절차 간소화하고 법률 정비를 통한 등록 기준 완화, 국제 인증 지원 등 정책지원 및 제도개선이 필요하다.

## 5. 참고문헌

1. 바이오산업 혁신 정책방향 및 핵심과제, 2020
2. KISTEP, 바이오경제로의 이행을 위한 화이트바이오 산업 육성 정책 제언, 2017
3. T. Bera, K. S. Inglett, A. C. Wilkie, Biofuel: Concepts and Considerations, UF IFAS Extension, 2020.
4. N. Shreyas, P. Bagade, S. Ahmed. Bioethanol production: insight into past, present and future perspectives. Biofuels 9 229, 2018.
- Biotech, Bioengineering Jang et al. 2012
5. M. Eslam, M. A. Betiha, N. IA. Negm, Insight into the Recent Advances in Sustainable Biodiesel Production by Catalytic Conversion of Vegetable Oils: Current Trends, Challenges, and Prospects, *Energy & Fuels* 37, 2631, 2023.
6. O. Hauenstein, M. Reiter, S. Agarwal, B. Rieger, A. Greiner, Bio-based polycarbonate from limonene oxide and CO<sub>2</sub> with high molecular weight, excellent thermal resistance, hardness and transparency. *Green Chem.* 18, 760, 2016.
7. 생활속의 고분자, 윤진산, 진인주, 권용구, 학연사, 2020
8. C. Bishwajit, et al. Widely used catalysts in biodiesel production: a review. *RSC advances* 10, 41625, 2020.
9. S.O. Bitire *et al.* The Potential for a Sustainable Biodiesel Production by Modified Biobased Catalyst – A review. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 1107 012206, 2021.