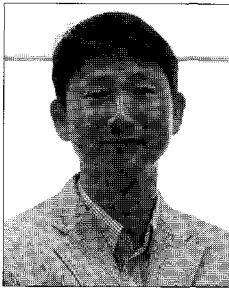


합성미생물을 이용한 바이오연료 생산 연구



울산과학기술대학교
나노생명화학공학부
이성국

E-mail : sklee@unist.ac.kr

합성생물학은 자연과학적인 특히 생물학적인 이해를 바탕으로 공학적인 개념이 도입된 학문으로 ‘기존 생명체를 모방하거나 자연에 존재하지 않는 인공생명체를 제작 및 합성하는 분야’이다. 즉, 반도체 소자의 조립을 통해서 수많은 유용한 전자제품을 생산하듯이 표준화된 생물학적 부품의 조합을 통해서 새로운 고성능·고효율 생물학적 생명시스템이나 생명체를 만드는 학문이다(2, 6). 현재 합성생물학의 응용분야는 다음과 같다: 바이오리파이너리 (Fine chemicals, Drug, Biopolymers); 새로운 합성 대사경로를 제작하거나 기존 경로를 최적화하여 석유로부터 분리되어 사용되고 있는 화학물질이나 의약품 생산, 바이오에너지 (Biofuels, Biohydrogen); 새로운 합성 대사경로를 제작하여 화석연료를 대체할 수 있는 바이오 연료 생산, 환경오염 물질 정화 (Bioremediation); 새로운 화학물질로서 난분해성 환경오염 물질을 제거하는 합성미생물 제작, 생물체 기반 치료제 (Bio-medicine); 암, 에이즈, 유전병과 같은 질병에 대한 생물체 기반 치료제 개발 (예, 암세포를 찾아내고 사멸시키는 인공미생물).

특히, 유기급등과 석유자원 고갈 그리고 기후변화에 따른 국제환경규제로 인해

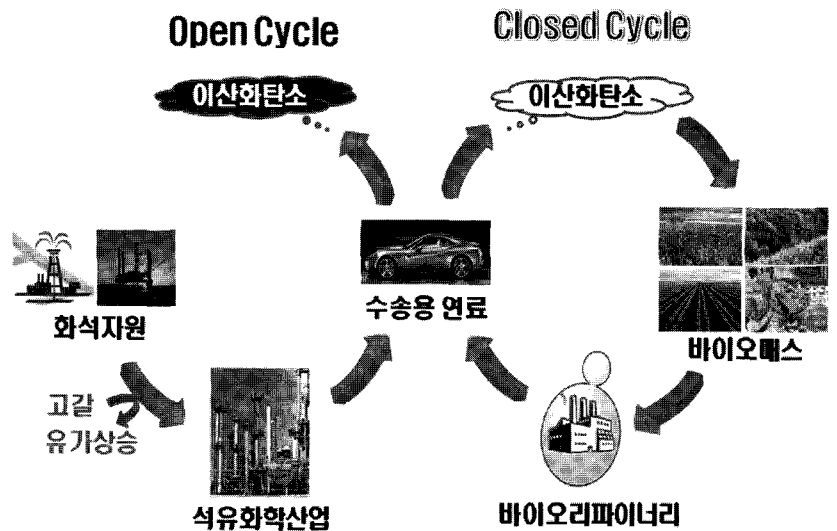


그림 1. 화석연료와 바이오연료의 차이점

친환경 대체연료 사용을 확대하기 위해 국가 차원의 노력들이 진행되고 있다. 친환경 대체에너지에는 바이오 연료, 수소연료전지, 솔라셀 등 다양한 종류가 있으나 이 가운데 바이오연료는 기존 수송용 엔진에 바로 사용할 수 있을 뿐만 아니라 이미 생산되어 사용되고 있기 때문에 단기적으로 가장 대체가능성이 높다[그림 1]. 그리고 생물정보학, 시스템생물학, 대사공학, 합성생물학 등의 눈부신 발전으로 경제성 있는 바이오 연료를 생산할 수 있는 인공미생물의 설계 및 제작이 가능해짐에 따라 화석연료를 대체할 수 있는 바이오연료 생산 연구가 활발하게 진행되고 있다(3, 5). 이에 현재 세계적으로 나아가고 있는 바이오 연료에 대한 연구방향과 본인이 직접 진행하고 있는 합성미생물을 이용한 바이오 연료 생산 연구분야를 소개하고자 한다.

바이오 에너지 기업인 LS9, AMYRIS 등에서 활발하게 진행되고 있다(4). 현재 미생물로부터 바이오 디젤, 항공유 등의 생산이 가능하지만 생산 효율이 낮아 앞으로 생산성을 높이고자 다양한 합성생물학 기술들이 개발되고 적용될 것 있다. 또한 생물정보학, 시스템생물학, 대사공학 분야의 발전과 더불어 가까운 장래에 경제성 있는 바이오 연료 생산이 가능해질 것이다. 최근에 인공 지놈유전체 합성 분야 전문가인 크레이그 벤터 박사는 미생물 지놈유전체를 화학적으로 합성하여 새로운 세포에 삽입함으로써 인공생명체를 만드는데 성공하였다. 그는 합성생물학의 발전으로 화석연료통 대신 연료를 생산하는 미생물이 담긴 통을 장착한 자동차가 나오으로써 유조선이 사라지는 세상이 올 것이며, 덩달아 지구온난화 문제도 해결될 것이라고 했다.

바이오 매스로부터 바이오 연료 생산

바이오 매스로부터 바이오 연료 생산에는 크게 3단계로 나누어져 연구가 진행되고 있다[그림 2]: 태양에너지를 빠르게 바이오 매스로 바꾸주는 에너지작물 개발, 바이오 매스를 미생물의 먹이가 되는 당으로 바꾸주는 전처리, 미생물을 이용한 발효공정을 통해서 당으로부터 연료 생산이다. 이들 과정 중에서 합성미생물을 제작하여 에탄올이 아닌 기존 화석연료와 유사한 특성을 지닌 바이오 연료를 생산하고자 하는 연구들이 미국 국가바이오에너지 연구소 (JBEI, Joint BioEnergy Institute) 및

바이오연료 후보물질 및 생합성 대사경로

미생물을 이용해서 생산할 수 있는 연료물질에는 여러 가지가 있을 수 있다[그림 3]. 현재 가장 각광을 받고 것은 대량 생산되어 사용되고 있는 에탄올과 가솔린을 대체할 수 있을 것으로 판단되는 부탄올이다(1). 하지만 이들 물질이 화학적인 특성에서 기존의 화석연료와 다르기 때문에 몇몇 문제점들을 가지고 있다. 이에 최근에 새롭게 시도되고 있는 것들에는 지방산 유래 디젤, isoprenoid 유래 바이오 가솔린/디젤/항공유, 바이오 수소 등이 있다. 바이오 디젤과 가솔린은 기존의 화

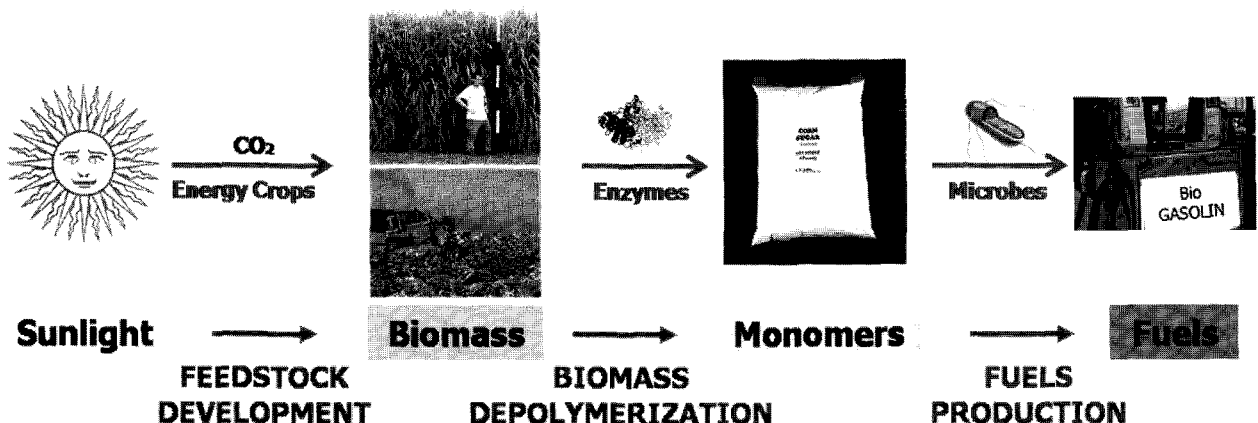


그림 2. 화석연료와 바이오연료의 차이목적질계 바이오 매스로부터 바이오 연료 생산 과정정

석연료와 흡사한 특성을 가지고 있기 때문에 기존 운송 시스템이나 엔진에 바로 사용될 수 있고 분리정제 과정의 비용이 거의 요구되지 않는다. 하지만 에탄올 및 부탄올의 경우 물에 대한 용해도가 높기 때문에 기존 운송시스템을 이용할 수 없을 뿐만 아니라 분리정제 과정에 많은 비용이 요구되는 단점이 있다. 한편, 현재 식물성 기름들을 통해서 만들어지는 전통적인 바이오디젤 생산은 원료자원이 제한적인 문제점을 가지고 있지만 발효 미생물을 사용하여 당류를 디젤로 전환하는 방법은 지속가능한 원료물질들을 사용한다.

장래 연구분야

최종 연구목표는 화학적으로 전처리된 식물 바이오매스로부터 생물학적 전처리 없이 화석연료와 유사한 바이오 가솔린/디젤을 만드는 합성미생물을 제작하는 것이다. 이런 목표를 달성하기 위해 여러 연구를 진행 및 계획을 하고 있으며 다른 연구실과 공동연구를 통해서 순차적으로 목표를 달성하고자 한다. 세부 연구분야를 간략하게 소개하면 다음과 같다.

- 1) 바이오매스로부터 만들어지는 당류 (glucose, xylose, arabinose, galactose, mannose)를 동시에 대사할 수 있는 합성미생물 제작: catabolite repression이 해제된 변이주 제작 및 연구를 통해서 이들 당을 동시에 탄소 및 에너지원으로 이용할 수 있는 인공미생물 개발.
- 2) SSF (Simultaneous Saccharification and Fermentation) 공정에 사용될 수 있는 합성미생물 제작: 대장균내에서 잘 생산되는 당화효소 발현시스템 개발, 발현된 당화효소가 세포 밖으로 분비되어 세포 표면에 디스플레이 되는 시스템을 개발함으로써 당화 및 발효를 동시에 진행할 수 있는 인공미생물 개발.
- 3) 지방산 (탄화수소)유래 바이오 연료를 생산하는 합성미생물 제작: 목질계 바이오매스로부터 생산되는 다양한 당을 발효하여 탄화수소 유래 바이오 연료를 생산하는 인공미생물 개발.
- 4) 합성미생물을 제작하는데 필요한 발현시스템, 생물학적 부품, 유전자 회로 제작: 바이오 연료를 비롯한 바이오 화학제품을 경제성 있게 생산할 수 있는 인공미생물 제작에 필요한 분자생물학적 기술 개발.

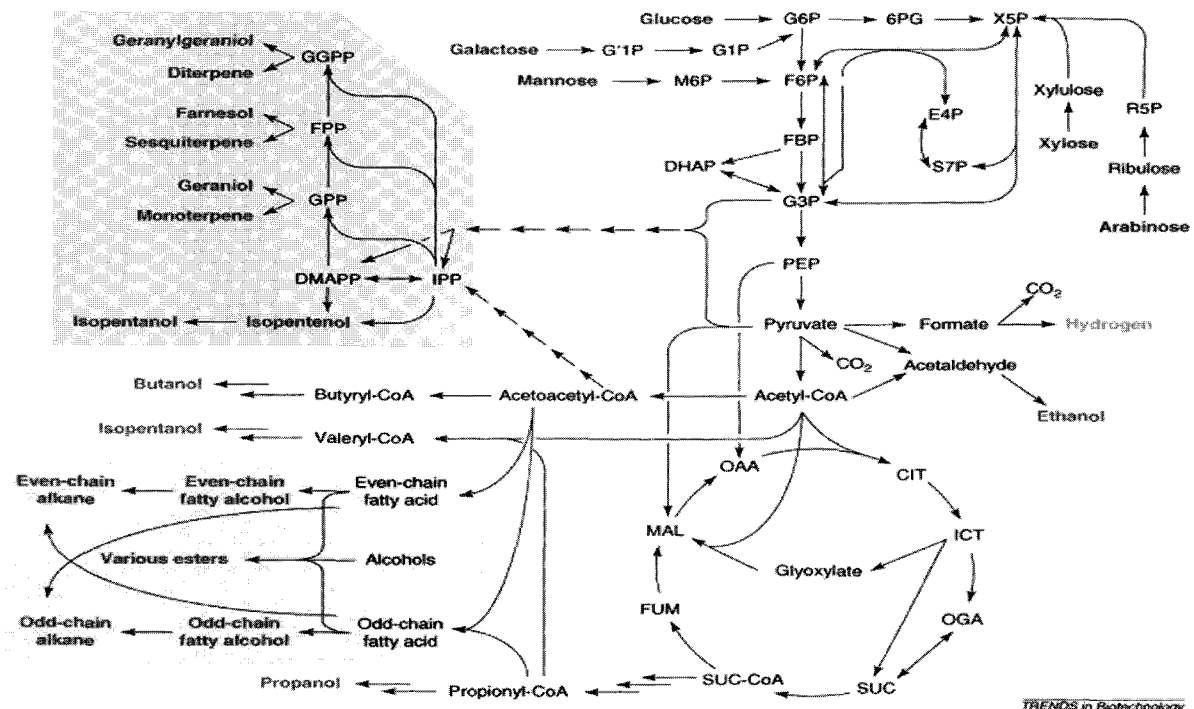


그림 3. 바이오 연료 생산 대사경로 (3)

마무리

합성생물학은 반도체의 표준 칩 팩 (chip fab) 기법에서와 같이 반도체 소자처럼 상호 교환이 가능한 표준화된 생물학적 부품 (standard biological parts)을 만들고 이용하여 새 기능을 가진 생물학적 시스템이나 생물체를 제작하는 학문으로 미래 생물산업을 주도 할 것으로 생각된다. 합성생물학의 기초 학문인 유전공학의 국내 수준은 세계적이고 합성생물학을 활용한 생물산업 (바이오연료/리파이너리) 시장선점 잠재력이 매우 크지만 이 분야에 대한 체계적인 연구가 잘 진행되고 있지 않다. 앞으로 생물공학 관련 학회를 통해서 합성생물분야 연구가 우리나라에서도 활발하고 체계적으로 진행될 수 있기를 바란다.

참고자료

- (1) Atsumi, S., T. Hanai, and J. C. Liao, 2008. Non-fermentative pathways for synthesis of branched-chain higher alcohols as biofuels, *Nature* 451:86-89.
- (2) Bhalerao, K. D. 2009. Synthetic gene networks: the next wave in biotechnology? *Trends in Biotechnology* 27:368-374.
- (3) Fortman, J. L., S. Chhabra, A. Mukhopadhyay, H. Chou, T. S. Lee, E. Steen, and J. D. Keasling, 2008. Biofuel alternatives to ethanol: pumping the microbial well. *Trends in Biotechnology* 26:375-381.
- (4) Keasling, J. D., and H. Chou. 2008. Metabolic engineering delivers next-generation biofuels. *Nature Biotechnology* 26:298-299.
- (5) Lee, S. K., H. Chou, T. S. Ham, T. S. Lee, and J. D. Keasling, 2008. Metabolic engineering of microorganisms for biofuels production: from bugs to synthetic biology to fuels. *Current Opinion in Biotechnology* 19:556-563.
- (6) Voigt, C. A. 2006. Genetic parts to program bacteria. *Current Opinion in Biotechnology* 17:548-557.