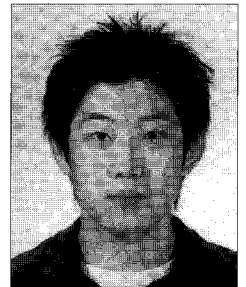


# Systems Biotechnology 기술의 현황과 전망

〈참조: R&D 중간조직 활성화 사업 보고서〉



서강대학교 화공생명공학과  
이진원



서강대학교 화공생명공학과  
박창훈

바이오산업(Biotechnology Industry)은 바이오기술(BT : Biotechnology, 생명공학기술, 생물공학기술)을 바탕으로 생물체의 기능과 정보를 활용해 유용물질을 상업적으로 생산하는 타 산업과 특성이 다른 새로운 형태의 산업을 지칭한다. 바이오산업은 바이오기술의 적용 여부에 기초하여 분류되는 산업이며, 건강·식량·환경 등의 인류의 난제 해결과 직결된 기술 및 두뇌 집약적 고부가가치 지식기반산업이지만, 투자금액이 높고 회수기간이 길어 장기투자가 필수적이고 성공 시 고수익이 보장되나 동시에 성공에 대한 위험성이 존재하는 산업이기도 하다. 이러한 바이오산업을 가능케 하는 바이오기술은 보통 생물체 기능을 이용해 제품을 만들거나 유전적인 구조를 변형하여 어떠한 특성을 나타내게 하는 복합적인 기술로 정의된다.

차세대 바이오산업의 원천기술의 확보에 중요한 역할을 할 Systems Biotechnology의 정의 및 개념을 살펴보면 다음과 같다. Systems Biotechnology(시스템 바이오기술, 시스템 생물공학기술)는 생명체의 제한적 정보 및 부분적인 기

능을 중심으로 생명현상을 규명하거나 이를 이용해 산업분야에 적용하는 전통적인 Biotechnology 분야의 한계를 극복하고, 분자적인 수준 또는 생명시스템의 전반적인 영역에서 체계적으로 해석하여 보다 효율적으로 바이오산업을 발전시키는 기반기술이다. 또한, Systems Biotechnology는 DNA·RNA·단백질 등 분자 수준에서의 기능을 체계적으로 분석하는 기술, 각 생체분자의 상호작용을 부분적인 영역에서 분석하는 기술, 각 분자의 상호작용을 생체시스템 전체수준에서 분석하는 기술, 새로운 생체시스템을 설계하는 기술 등을 포함하고 있다.

바이오기술은 의학·농업·산업 등의 과학기술 응용분야에서 사회적·환경적·경제적 혜택을 줄 수 있는 미래 산업이며, McKinsey사(2003)의 보고서에 따르면 2010년에는 약 10~20%의 화학제품이 바이오기술에 의해 생산되고 2050년에는 비중이 50% 이상 증가할 것으로 전망되고 있다. Systems Biotechnology는 친환경적인 생물공정 개발·신규 의약품 표지물질 및 치료대상 발굴·효과적인

품종개량 및 진단 등 화학·식품·의약·농업 등 산업 전반에 있어 미래지향적인 산업으로 각광 받고 있으며, 바이오기술 분야의 전체적인 발전을 가속화시킬 수 있는 핵심 분야이다. 또한 미국·일본·유럽 등 대부분의 선진국에서 미래 전략산업으로서 신기술분야 중에 우선순위 1위로 지원되고 있는 바이오산업의 중요한 기반기술로 Systems Biotechnology가 부각되고 있다.

Systems Biotechnology는 genome-scale의 전체적 시스템 레벨을 분석할 수 있는 기술의 개발과 생체 현상을 시스템적으로 정확하게 이해할 수 있는 각종 데이터의 확보, 이를 이용한 생명기능의 개선을 위한 새로운 생체기능 도입 도구의 개발 등을 포함하고 있으며, 이러한 기술의 발전을 위해 세계적으로 다양한 연구개발이 진행 중에 있다. 특히 최근 들어 인간을 비롯한 다양한 생명체의 유전체 서열이 밝혀짐에 따라 기존에 알지 못했던 많은 양의 생물학적 정보들을 활용한 시스템적 관점의 바이오기술(genomics·proteomics·transcriptomics·metabolomics 등) 들을 이용하여 세포내에서 혹은 생명체 내에서 일어나는 현상들을 더욱 정확하고 빠르게 감지할 수 있게 되었다. 이러한 시스템적 관점의 바이오기술들, 즉 Systems Biotechnology는 다양한 생물학적 정보들을 효과적으로 통합(integration)하고 해석(analysis)하여 기존의 바이오기술 및 산업을 발전시키려는 일련의 노력들 중 한 갈래라 할 수 있으며, 제한적 정보 및 부분적인 기능 규명을 바탕으로 한 전통적인 바이오기술의 한계점을 극복할 수 있을 것으로 기대되고 있다.

Systems Biotechnology의 주요기술에는 시스템 수준의 네트워크 분석 기술, 유전자 제어 및 신호 전달 네트워크 분석 기술, 시스템 기법을 이용한 대사 합성 기술 등이 있다.

유전자 조작기술의 발전과 함께 인간게놈 프로젝트의 완료로 생명체에 대한 유전적 특성과 대사물질들의 작용에 관한 데이터들이 축적되는 속도가 급격히 증가하였다. 이렇게 방대한 양의 데이터를 효과적으로 활용하기 위해서는 시스템적인 방식이 요구된다. 또한 기존의 방식과는 달리 생명체를 구성하는 부분들 간의 상호작용과 외부자극에 의한 작용까지 포괄적으로 이해하고 표현하는 것이 필요하다. 이를 위해서 필수적인 기술이 대사 네트워크 분석 기

술이다. 대사 네트워크 분석 기술과 실험적인 데이터를 통하면, 가상의 조건에서 실험이 가능하고, 보다 정확한 세포 기능 분석이 가능하여 경제적 이점과 효율적인 산업화 균주 개발이 가능하다. 이러한 점에서 대사 네트워크 분석 기술은 바이오 연료 및 대체원료 생산의 경쟁력 확보에 필수적이다.

유전정보를 토대로 생리현상에 대한 이해를 추구하는 연구 분야 중 가장 활발히 연구되고 있는 분야는 유전자 제어 네트워크 분석 기술이다. 유전자 제어 네트워크는 세포가 외부환경 혹은 주위의 생물학적 신호에 어떻게 반응하여 유전자의 발현을 조절하는가를 실험과 수학적 모델링 등을 이용하여 분석하는 기술을 통칭한다. 유전자 제어 및 신호 전달 네트워크를 분석하는데 있어서 가장 기본이 되는 것이 단백질 간의 상호작용 분석이다. 이 분석은 다양한 방법으로 수행이 가능하다. 대표적으로는 알려진 상호작용을 검출하기 위한 text mining algorithm을 사용하여 관련 문헌을 스크리닝하는 방법과 high-throughput 실험 기법을 사용하는 방법이 있다. 현재 다수의 단백질-단백질 및 단백질-DNA 상호작용을 위한 다양한 데이터베이스가 존재하고 있다. 유전자 제어 네트워크의 첫 번째 목적인 세포 내의 생리현상 조절에 대한 이해는 미생물을 이용해 바이오에너지, 바이오화학, 바이오의약품을 생산하는 대사공학에도 큰 영향을 주고 있다. 유전자 제어 네트워크 교란 방법의 발달은 산업용 미생물의 개발에서 한 두가지 유전자를 조절하는 것이 아닌 시스템을 진화시키는 방법을 가속화 할 것이며 이는 향후 산업자원 생산용 균주개발에 응용되어 생물공학 공정의 효율 증대에 큰 효과를 줄 것으로 기대된다.

대사 전체 수준에서 새로운 대사 회로를 설계·제조하고 이를 활용하여 새로운 생체분자를 합성하는 기술을 대사 합성 기술이라고 한다. 대사 합성 기술은 크게 유전자 네트워크 합성 기술과 주문형 생체분자 합성 기술로 분류된다. 글로벌 대사 합성 기술은 생명체의 대사회로를 인위적으로 합성함으로써, 기존의 생명체가 가지지 못하였던 새로운 기능을 갖도록 하여주는 합성생물학(Synthetic biology)의 한 분야이며, 유전자 회로 합성, 대사 경로 합성, 바이오나노머신(Bionano-machine) 합성 등으로 분류한다. 합성생물학이란 생물학의 새로운 연구 분야로서 생물

학적 이해를 바탕으로 공학적 개념을 추가하여 새로운 생물학적 시스템을 디자인 및 제작하는 학문이다. 합성생물학의 다른 분야로는 주문형 생체분자 합성기술이 있다. 주문형 생체 분자 합성기술은 기존의 석유 의존형의 화학산업을 바이오의존형 지속성장 가능 화학산업으로 변모시키기 위한 차세대 핵심 산업기술 분야이다. 주문형 생체 분자 합성기술은 친환경기술로서 바이오매스와 같은 저탄소 물질을 원료로 이용하여 산업적으로 필요한 다양한 구조의 화학물질을 맞춤형 생체시스템 (대사공학)을 이용하여 생산하는 기술이다.

유전자 네트워크 합성 기술은 크게 유전자회로(genetic circuit) 합성 기술과 대사네트워크(metabolic network) 합성 기술의 두 분야로 분류할 수 있다. 유전자 회로 합성 기술(gene circuit engineering)은 세포내 유전자 발현에 관련된 조절 인자들과 이들의 영향을 받는 유전자 서열, 즉 프로모터(promoter) 등 유전자 발현 인자들을 유전자 수준에

서 분리하고 인위적으로 재구성하여 이들의 유기적 반응을 통해 유전자 발현 형태를 임의적으로 디자인 및 제어하고자 하는 분야이다. 유전자 회로의 재구성 및 합성에 관한 연구는 유전자 발현 기작의 정보 및 기술적 한계 때문에 주로 수학적 모델 및 모사를 중심으로 이루어져 왔으나, 유전자 서열의 대량 분석 및 유전자 조작, 도입 기술 등이 급격히 발전함에 따라 최근 들어 실험적인 결과들이 발표되고 있다. 대사 경로 합성에 관한 연구는 생명체의 대사 경로(metabolic pathway)를 인위적으로 디자인 및 합성하여 유용한 물질의 합성, 생산 공정 분석 및 최적화에 이용하고자 분야로서 전통적인 대사 공학 기술의 연장선상에 있다 할 수 있다. 이 외에도 인공생명체 합성, 바이오나노머신 합성과 같은 기술이 연구되고 있다. 미래기술로서 많은 가능성을 갖고 있는 Systems Biotechnology는 계속 발전을 해 나갈 것이며, 생물산업의 가치창출에 크게 기여할 것으로 예측된다.

