

합성생물학의 핵심 허브 : 바이오파운드리

박봉현 책임연구원 한국바이오협회 바이오경제연구센터
조병관 교수 카이스트 생명과학과

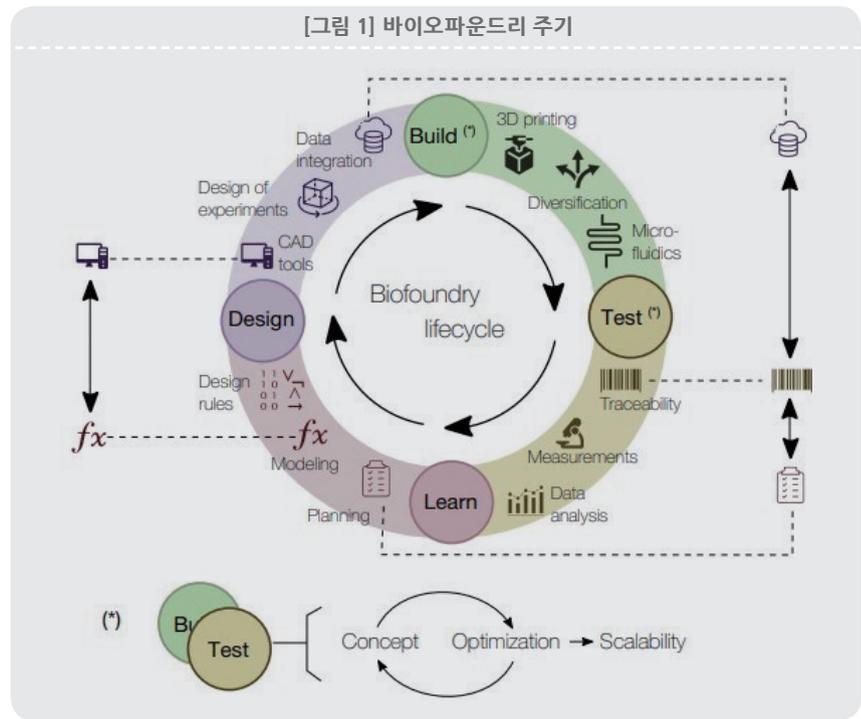
개요

인공지능과 데이터, 로봇 등 첨단 디지털 기술과 융합된 바이오기술의 패러다임이 급속히 변하고 있다. 이 변화의 중심엔 주목해야 할 기술이 있다. 2000년 초반에 본격적인 개념정립이 시작된 합성생물학 기술이다. 개별적인 부품들을 조립하여 자동차를 제조하듯, 합성생물학은 생명과학에 공학적 개념 도입했다. 즉, 표준화된 바이오부품을 이용하여 새로운 생물 구성요소 및 계층으로 대표되는 바이오 시스템 자체를 합성한다. 생명정보와 유전자 등 생물 구성요소를 이용하여 존재하는 생명체를 모방 혹은 변형하거나, 기존에 존재하지 않는 생명체 구성요소와 시스템을 설계 및 구축하는 디지털기술에 기반한 혁신적인 접근방식으로, 합성생물학은 화학, 의료, 농업, 식품 및 환경 문제에 대한 새로운 해결책을 제공할 수 있는 바이오경제의 핵심 기술로 인식되고 있다. 현재 비교적 단순한 미생물의 경우 인공적 제작이 가능한 단계까지 발전한 합성생물학은 바이오파운드리의 도입으로 바이오 연구의 오랜 난제인 속도, 규모, 불확실성 한계의 극복을 통해 바이오 제조 혁명을 견인하여 혁신이 가속화될 전망이다.¹

바이오파운드리란¹⁻³

바이오파운드리는 합성생물학에 로봇·AI를 도입하여 새로운 바이오 시스템 제작을 위한 설계(Design)-제작(Build)-시험(Test)-학습(Learn)의 각 단계를 자동화 및 고속·고처리량으로 구동하는 시스템이다. 바이오파운드리는 고속액체처리장비, 분석장비 등 다양한 바이오관련 장비의 단순한 나열인 바이오코어 시설을 의미하지 않는다. 정밀한 바이오 시스템 설계기술이 포함되고 도출된 설계 논리에 따라 최종 바이오 시스템을 실물화하기 위해 DNA 합성 및 조립에서부터 제작된 바이오 시스템의 성능을 고속·대용량으로 테스트하는 장비를 연결·구동하는 자동화 소프트웨어, 인력 및 바이오데이터 관리 시스템 등을 포함하는 매우 고도화된

바이오 인프라 시설이다. 특히, 바이오 연구개발에 요구되는 반복 노동업무를 자동화하고 처리량을 극대화시켜 기존 기술로는 불가능한 규모의 바이오 R&D를 현실화한다. 현재는 운영 주체에 따라 공공과 민간 바이오파운드리로 구분하고 있으며, 미국의 Ginkgo Bioworks 등 소수의 민간 바이오파운드리를 제외하면 대부분의 국가에서 공공 바이오파운드리의 형태로 구축 및 운영하고 있다.



바이오파운드리는 DBTL 사이클의 반복 순환을 통해 바이오 연구의 재현성을 확보하고 바이오 제조에 필요한 정량적 정밀도를 극대화한다. 컴퓨터 모델링 및 AI 기반 인공지능의 설계, DNA 합성 및 어셈블리를 통한 바이오부품 및 회로의 대량생산, 로봇공학 기반 자동화 및 고속-대용량 분석을 통해 설계-제조-활용이 분리되어 직렬적 연구수행과정에서 병렬적 연구수행으로 전환이 가능해져 합성생물학 기반의 연구들은 더욱 가속화·대량화된다. 또한, 바이오파운드리는 모듈형태로 기능을 재구성하여 다양한 워크플로를 구현할 수 있는 유연함을 갖고 있으며 고도화된 자동화 소프트웨어는 이를 지원한다. 바이오 연구 및 산업적 응용을 넘어 사회문제 해결에 민감한 대응이 가능한데 대표적인 예로 런던 공공 바이오파운드리는 사스 바이러스 변이체의 고처리량 진단 워크플로를 구성하여 공공기능의 유연함을 증명했다. 이러한 장점으로 북미, 유럽 및 아시아 태평양 지역에 공공 및 민간 바이오파운드리가 설립되면서 바이오기술의 새로운 패러다임 변화를 주도하고 있다.

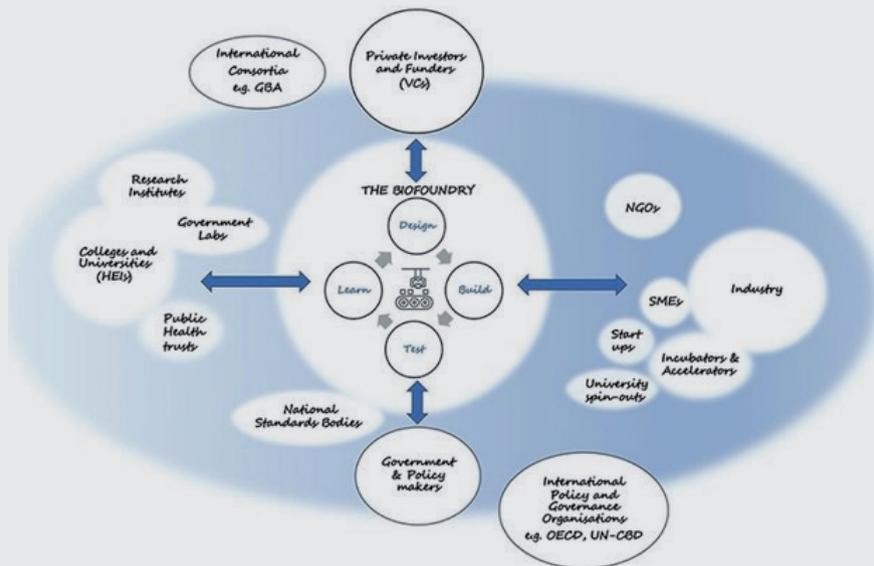
🏠 바이오파운드리 생태계³

바이오파운드리는 합성생물학 연구의 가속화를 위해 요구되는 기술과 인프라 접근성을 제공함으로써 학계와 산업계의 접점 역할을 하고 있다. 고도로 통합된 자동화 및 분석 인프라를 활용하여 새로운 회사가 매번 새로운 기술을 개발하지 않고도 공유되는 합성생물학 플랫폼 기술을 통해 신제품 개발을 가속화 할 수 있다. 스타트업 기업의 경우 초기 기술개발 가속화를 실현하는 조력자의 기능도 수행할 수 있다.

바이오파운드리 기반의 여러 스타트업 기업들이 나타나며 시장에 연착륙 중이다. 미국 민간 바이오파운드리 Amyris 사(<https://amyris.com>)는 주간 500개의 DNA 어셈블리, 1,600개의 균주제작, 10만개의 시료분석이 가능한 바이오파운드리 도입을 통해 7년간 15개의 신약 혹은 바이오소재의 상용화에 성공하였고, 미국 Ginkgo Bioworks 사의 경우 바이오파운드리 도입을 통해 AI, 자동화 기반 미생물 설계, 제작 시스템을 구축하여 임상 원료의 단기간 대량생산 및 제공을 통해 미국 Moderna 사의 mRNA 백신 개발 및 수급을 뒷받침하였다.

영국 합성생물학 혁신 및 지식센터와 영국 공공 바이오파운드리는 다양한 생물제조 응용 프로그램의 핵심 지점으로 산업계와 학계 간의 보다 많은 접촉을 촉진하였고 양측의 협업으로 상호 제공할 수 있는 가치에 대한 이해도가 향상되었다. 또한, 정부정책, 거버넌스 및 표준과 관련된 활동을 조정 및 기여하며 국제 컨소시엄을 통해 지식 교환 및 교육을 위한 광범위한 네트워크를 제공해오고 있다.

[그림 2] 바이오파운드리 생태계



📦 바이오파운드리를 위한 국제적 연합⁴

글로벌 바이오파운드리 연합(GBA, Global Biofoundries Alliance)은 '19년 5월 일본 고베 대학에서 시작되었으며 30개 이상의 국제 바이오파운드리가 참여하는 네트워크로 세계 유수의 공공 바이오파운드리를 하나로 묶고 있다. 전문지식 및 인프라를 공유함으로써 GBA는 전 세계적으로 영향력 있는 대규모 과제와 표준설정, 상호 운용성 및 소프트웨어 개발을 위한 역량 가속화에 핵심적인 역할을 수행하고 있다. 한국은 한국생명공학연구원-카이스트가 주도하는 K-바이오파운드리 등이 회원으로 가입되어 활동하고 있다.

GBA는 1) 글로벌 공공 바이오파운드리 구축 촉진 및 지원, 2) 바이오파운드리 간의 협업과 커뮤니케이션 강화, 3) 기술, 운영 및 기타 유형의 공통 과제에 대한 대응책 개발, 4) 공공 바이오파운드리의 가시성, 영향 및 지속가능성 제고, 5) 글로벌 영향력이 큰 협업 프로젝트 탐색 등을 목적으로 한다. 이러한 목표를 달성하기 위해 GBA는 회원들 간의 의견 조정, 인프라, 개방형 표준, 모범사례, 데이터의 공유를 촉진하고 있다. 기타 활동에는 지속가능한 비즈니스 모델 공유, 거래 및 운영비용 절감 전략, 바이오파운드리의 연구자와 사용자를 위한 교육 및 훈련 프로그램 개발 등이 포함된다.

📦 바이오파운드리 구축 동향⁵⁻¹⁶

(미국) 합성생물학 기술개발 및 투자에 가장 적극적인 국가로, 정부 지원을 기반으로 민·관 협력의 연구 생태계가 조성되어 있다. 미국 국방부 산하 DARPA는 미생물 개량, mRNA 항체, 식물기반센서, 유전자드라이브 기술에 공격적인 투자를 진행 중이다. 학계·산업계 연구자로 구성된 EBRC는 DNA 합성기술, 바이오물질 엔지니어링 기술, 세포 엔지니어링 기술, 데이터 및 자동화 기술을 기반으로 환경, 농업, 헬스 및 의약학, 에너지, 바이오산업 혁신 연구 로드맵을 구축하였다. 또한, 미국 에너지부를 중심으로 약 300개 이상의 합성생물학 기업을 육성하거나, 실리콘밸리를 중심으로 식량, 연료, 헬스케어 등 분야에서 약 60개 이상의 스타트업 회사가 창업되는 등 창업과 민간 기업 투자가 매년 증가하는 등 합성생물학 기술 시장이 빠르게 성장하고 있다.

'16년 미국 에너지부의 바이오에너지 기술 사무소는 Agile 바이오파운드리를 국립 연구소의 컨소시엄 형태로 설립하였다. 산업계 및 학계와 협력하여 분산형 바이오파운드리로 운영하며 7개의 국립연구소로 구성되어 있다. 인프라의 유연성을 극대화하고 위해 완전 자동화보다는 부분 자동화를 지향하여 다양한 학연산의 협력 추진으로 바이오제조 연구에 활용성이 높다.

[그림 3] Agile BioFoundry의 7개 국립 연구소



보스턴에 위치한 대표적인 민간 바이오파운드리인 Ginkgo Bioworks 사는 DBTL 사이클 프로세스를 자동화하여 생물학적 디자인의 프로토타입의 대량 제조가 가능하다. 다양한 기업에 바이오파운드리 서비스를 제공하여 제품개발 속도를 향상시키고 있다. 스타트업 10년 만에 기업가치 22조원 이상을 달성하는 데 성공하였으며 최근, 자이머젠(Zymergen) 기업의 바이오파운드리 부분을 인수합병하여 관련분야 민간 바이오파운드리로는 최대규모이다. Illinois Biological Foundry for Advanced Biomanufacturing(iBioFAB)은 '14년에 설립되어 바이오 시스템의 고속 설계, 제작, 검증/품질 관리, 분석을 지원하는 통합 인프라이며 세계 최초의 리빙파운드리로서 화학, 재료 및 생물학적 제제에 대한 새로운 제조 패러다임을 제공한다.

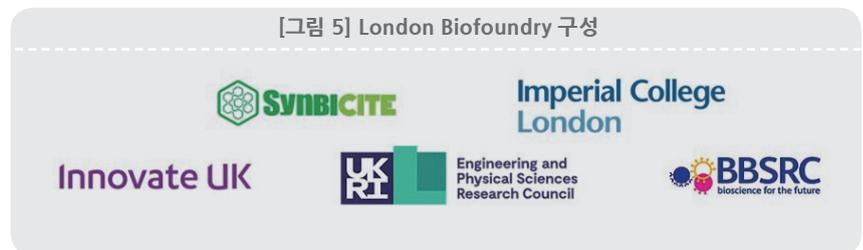
[그림 4] Ginkgo Bioworks 사의 완전 자동화 바이오파운드리



(영국) 영국의 경우 2005년 영국생명공학연구협의회(BBSRC)에서 10개 연구투자 우선분야 중 첫 번째로 합성생물학을 선정하였고, 기업혁신기술부(BIS)는 합성생물학을 영국 8대 미래기술로 선정하는 등 매우 초기부터 합성생물학에 주목하면서 지속적인 투자를 하고 있다. 현재까지 6곳 이상의 바이오파운드리 거점을 육성하는 등 적극적인 투자와 국가 바이오경제 전략과의 연계를 통해 합성생물학 기술의 상업화를 전략적으로 추진하고 있는 등 정부 주도의 선제적·체계적 지원으로 합성생물학 분야에서의 글로벌 기술우위 선점을 위해 노력 중이다.

Edinburgh Genome Foundry(EGF)는 고도로 자동화된 플랫폼을 사용하여 큰 DNA 단편을 조립하는 전문 연구 시설로 개인맞춤 의학, 백신개발, 유전자 치료, 생체 센서 및 줄기세포 프로그래밍과 같은 다양한 프로젝트를 진행하고 있다. 맨체스터대학교에 위치한 합성생물학 연구센터 SYNBIOCHEM내의 바이오파운드리는 대표적 산업바이오를 지원하는 곳으로 빠르고 예측가능한 정밀 및 특수화학 물질 생산을 위해 합성생물학 접근방식을 적용하고 있으며 목적 화합물을 지속가능하고 친환경적인 방법으로 빠르게 생산하는 것을 목적으로 한다. London 바이오파운드리는 DNA 합성에서 분석까지 많은 실험을 병렬로 진행할 수 있는 SynbiCITE의 핵심 인프라시설로, 학술 및 산업 고객을 위한 합성 DNA 및 유기체의 설계, 엔지니어링 및 기능적 특성화를 전문으로 한다.

[그림 5] London Biofoundry 구성



(싱가포르) SynCTI의 바이오파운드리는 DBTL 사이클 개념을 기반으로 하는 통합 시설로 주로 치료용 미생물 등 차세대 의약품 개발을 위한 합성생물학 기술을 바이오파운드리 기반으로 적용하고 있으며 아시아에서 합성생물학 연구의 중심 허브가 되는 것을 목표로 한다.

(일본) EBRC(Engineering Biology Research Center)는 '18년 고베 대학에 설립되었으며 6개의 학과가 이노베이션 허브를 결성하여 생물 유래 화합물, 바이오로직스, 생물 플랫폼 개발 등의 바이오경제 분야에서 활발한 연구를 진행 중이다.

(중국) 합성생물학 분야의 후발주자임에도 불구하고, 2016-2020년 사이에 합성생물학 프로젝트를 집중적으로 추진하여 단기간에 글로벌 수준의 바이오파운드리를 포함한 연구 인프라를 구축하였다. 이러한 공격적인 인프라 투자를 바탕으로 단일염색체 진핵세포를 인공합성하는 데 성공하는 등 우수한 연구성과를 내기 시작하며 합성생물학 분야에서 빠르게 성장 중이다.

(국내) 국가차원의 합성생물학 육성전략이 과기정통부를 중심으로 활발히 세워지고 있어 합성생물학 육성법 제정, 바이오파운드리 인프라 구축, 전문인력 양성, 기업지원 등이 추진되고 있다. 합성생물학 전반을 제공하는 국제적 역량을 갖춘 바이오파운드리 전문기업은 없으나 최근 CJ 사가 바이오파운드리 일부 기능을 사업화하고 바이오기업의 활용을 기대하고 있다. 최근 DNA 분석·합성분야에 바이오니아, 유전체 편집 분야에 툴젠, 효소개발에 제노포커스 등 다수의 바이오기업 등이 합성생물학 활용기술을 도입하기 위한 노력을 경주 중이다. 초고속 DNA 설계 및 합성에 필요한 바이오파운드리, 공정개발 지원 및 시험시설은 개별 기관 및 기업차원에서 소규모로 운영 중이다. 생명연·카이스트는 연구용 바이오파운드리 베타시설을 운영 중이며 CJ제일제당은 균주개발 및 생산공정 자동화를 위한 바이오파운드리 시설을 도입하고 최근 사업화하였다.

과기정통부를 중심으로 ‘바이오파운드리 구축 개발사업’을 기획하는 중이며 인프라 구축과 핵심장비, 소프트웨어 및 바이오 부품 بانک 구축 등을 중심으로 초기 인프라를 조성하고 바이오 설계·제작·시험·학습의 각 단계를 구성하는 핵심기반 기술개발에 나설 계획이다.

향후 전망¹

바이오파운드리는 합성생물학 분야에서 빠른 속도로 발전하는 핵심 인프라이며 합성생물학 DBTL 사이클 자동화에 초점을 맞추면서, 바이오화학, 의약, 바이오플라스틱, 환경 등의 난제를 해결할 게임체인저로 주목받고 있다. 바이오파운드리 구축은 DNA 합성 및 조립기술, 전문장비, IT기술과 전문인력의 융합이 필요한 복잡한 과정이며 초기 운용비용은 표준 실험실보다 더 높을 수 있지만, 모듈화, 자동화를 통한 처리량, 결과 도출 속도, 재현성 및 신뢰성을 극대화 시킬 수 있는 잠재력을 가졌으므로 연구개발에 투입되는 최종 소요비용은 감소하고 성공가능성은 극대화할 수 있다. 구축된 시설은 화이트바이오, 레드바이오, 그린바이오 등 바이오 전분야에 걸친 다양한 프로젝트에 빠르고 신뢰할 수 있을 만한 데이터를 제공해 줄 것이며 새로운 바이오 경제개발의 기초를 형성하여 합성생물학 프로그램의 핵심이 될 수 있다.

이러한 성공사례는 정부와 민간의 투자를 계속 유치하는 선순환 구조를 만들고 정부-산학 간의 유기적인 협업을 가능케 한다. 바이오파운드리는 합성생물학 R&D를 더욱 진전시킬 국가 인프라의 기능을 수행하며, 바이오제조 산업 성장의 가속화에 기여할 전망이다. 이에 광범위한 국가혁신 전략 내에서 적절한 바이오파운드리 모델을 계획하고 추진해야 할 것이다.

< 참고자료 >

1. Building a biofoundry, Synthetic biology, 2020.12.16.
2. Fast biofoundries: coping with the challenges of biomanufacturing, Trends in Biotechnology, 2022.07
3. Biofoundries are a nucleating hub for industrial translation, Synthetic biology, 2021.06.23.
4. Building a global alliance of biofoundries, Nature communication, 2019.05.09.
5. <https://agilebiofoundry.org/>
6. <https://www.damplab.org/>
7. <https://biofoundry.web.illinois.edu/>
8. <https://www.growbyginkgo.com/>
9. <https://www.ed.ac.uk/biology/research/facilities/edinburgh-genome-foundry>
10. <https://synbiochem.co.uk/research/biofoundry/>
11. <https://www.londonbiofoundry.org/>
12. <https://www.earlham.ac.uk/earlham-biofoundry>
13. <https://syncti.org/bio-foundry/>
14. 합성생물학 기반 바이오파운드리 기술개발 현황 및 시사점, 농림식품기술기획평가원, 2022.01.03.
15. BIG3 산업별 중점 추진과제, 범부처, 2021.10.08.
16. 7400억 '한국형 바이오파운드리' 대역사 이달 판가름, 디지털타임스, 2022.05.05

Writer

박봉현 한국바이오협회 바이오경제연구센터, 책임연구원

Reviewer

조병관 카이스트 생명과학과, 교수

BIO ECONOMY BRIEF

발행 : 2022년 8월 | 발행인 : 오기환 | 발행처 : 한국바이오협회 한국바이오경제연구센터
 13488 경기도 성남시 분당구 대왕판교로 700 (삼평동, 코리아바이오파크) C동 1층, www.koreabio.org
 * 관련 문의 : 한국바이오협회 한국바이오경제연구센터 e-mail : kberc@koreabio.org



Innovating Data Into Strategy & Business

