

May 2026
No. 381

INSS

전략보고

AI · 바이오 시대 공공 바이오파운드리 구축의 국가안보적 함의

김현중

nicolas0121@inss.re.kr

- I. 문제 제기
- II. 공공 바이오파운드리의 구조와 전략적 의미
- III. 글로벌 경쟁 구도와 한국의 위치
- IV. 한국형 공공 바이오파운드리 구축 전략
- V. 결론

AI · 바이오 시대 공공 바이오파운드리 구축의 국가안보적 함의

I. 문제 제기

1. AI-바이오 융합의 가속과 국가 전략환경의 변화
2. 기존 바이오안보 프레임의 한계와 문제의식

II. 공공 바이오파운드리의 구조와 전략적 의미

1. 바이오파운드리의 개념, 정의와 기본 작동원리
2. 바이오파운드리의 기술적 진화와 AI 통합

III. 글로벌 경쟁 구도와 한국의 위치

1. 주요 경쟁국 사례: 미국, 영국, 중국, 일본, 인도의 전략
2. 우리의 위치: 한국의 구조적 강점과 취약점

IV. 한국형 공공 바이오파운드리 구축 전략

1. 공공 바이오파운드리의 전략적 재정의 필요
2. 정책제언: 한국형 바이오파운드리 국가 전략 로드맵 구축

V. 결론

AI·바이오 시대 공공 바이오파운드리 구축의 국가안보적 함의

저자 | 김현중

국문 초록

AI와 생명공학의 융합은 생물학 연구를 설계-제작-시험-학습(DBTL)의 고속 반복이 가능한 공학적 체계로 전환시키고 있으며, 바이오 경쟁의 중심도 개별 연구성과에서 데이터, 자동화, 워크플로를 통합한 플랫폼 경쟁으로 이동하고 있다. 이러한 변화 속에서 공공 바이오파운드리는 단순한 연구지원 시설이 아니라, 생물학적 설계·제작·검증 역량을 국가 차원에서 축적·조직·통제할 수 있는 전략 플랫폼으로 부상하고 있다. 특히 AI와 바이오파운드리의 결합은 연구개발의 속도와 범위를 확대하는 동시에, 데이터 주권, 운영 주권, 공급망 의존, 민감 연구 통제, 위기대응 전환능력 등 새로운 국가안보 및 기술안보 과제를 제기한다. 본 보고서는 공공 바이오파운드리를 국가안보와 기술주권의 관점에서 재해석하고, 주요 경쟁국 사례와 한국의 구조적 강점·취약점을 분석하였다. 분석 결과, 한국은 초기 구축 단계라는 점에서 설계 유연성을 가지나, 기술수준, 전문인력, 수요 분석, 운영 자립화 측면에서는 제약이 존재하는 것으로 평가된다. 이에 본 보고서는 공공 바이오파운드리를 바이오안보, 기술주권, 산업전환을 함께 다루는 국가 전략과제로 규정하고, 수요기반·단계적 구축, 통제된 개방, security-by-design, 핵심 취약성 보완, 산업전환 및 위기대응 연계를 포함한 한국형 국가 전략 로드맵의 필요성을 제시한다.

주제어: 합성생물학, 바이오안보, 국가전략, 바이오파운드리, 기술주권, AI-바이오

I 문제 제기

1. AI-바이오 융합의 가속과 국가 전략환경의 변화

- 인공지능(AI)과 생명공학의 융합은 개별 연구 분야의 기술 진보를 넘어, 국가 경쟁력과 안보환경을 재구성하는 구조적 변화로 발전
 - AI와 합성생물학의 융합은 생명과학 연구를 개별 연구자와 수작업 실험 중심 구조에서 벗어나, 설계-제작-시험-학습(DBTL)을 반복적으로 수행하는 자동화·고속화 체계로 빠르게 전환
 - 최근 AI는 신약 개발, 유전체 분석, 단백질 설계, 바이오 제조, 품질관리 등 생명공학 전반으로 빠르게 확산되며, 글로벌 AI 기반 생명공학 시장도 2024년 35억 달러에서 2035년 227억 달러로 성장할 것으로 전망¹
 - 주요국 역시 합성생물학, 바이오제조, 공공 바이오파운드리, AI 기반 연구플랫폼을 국가전략기술 차원에서 육성 중이며, 바이오 분야 경쟁은 점차 ‘연구개발 경쟁’을 넘어 ‘국가 플랫폼 경쟁’의 성격으로 전환
- 이러한 변화 속에서 바이오파운드리는 단순한 연구지원 시설이 아니라, 생물학적 설계를 실제 시스템으로 구현하는 핵심 실행 인프라로 부상
 - 바이오파운드리는 유전체 설계, DNA 조립, 표현형 시험, 데이터 분석을 병렬적·고속으로 수행함으로써 연구 속도와 재현성을 높이는 AI 기반 플랫폼
 - 경쟁의 핵심 또한 개별 연구성과 축적에서 벗어나, 설계, 데이터, 워크플로, 검증 역량을 얼마나 빠르게 조직하고 반복할 수 있는가의 문제로 이동하며, 데이터 관리·분석 및 의사결정이 통합된 end-to-end 플랫폼 수요가 급증²
 - 그러나 동시에 이는 생물학적 설계 역량을 빠르게 현실화하는 접점이라는 점에서, 혁신 촉진의 수단이자 전략적 통제대상이라는 이중적 성격 보유

1 한국바이오협회, “글로벌 AI 기반 생명공학 시장 현황 및 전망”, KBOIS Brief, Vol. 91 (2026.03.30).

2 “2025 Global Biofoundry Alliance Annual Meeting”, (Sept.17~19), Carl R. Woese Institute for Genomic Biology, Univ. of Illinois Urbana-Champaign.

2. 기존 바이오안보 프레임의 한계와 문제의식

- 기존 바이오안보 프레임은 병원체, 독소, 위험물질, 장비 등 물질 중심 통제에 기반해 발전해 왔으나, AI-바이오 시대의 새로운 위험과 경쟁에 충분히 대응하는 데 한계 노출
 - 앞으로의 핵심 문제는 “무엇을 보유하고 있는가”를 넘어, “누가 생물학적 설계를 더 빠르게 구현하고 검증할 수 있는가”, “누가 더 많은 데이터를 축적해 AI와 연결할 수 있는가”의 문제로 이동
 - 특히 AI와 자동화가 결합한 생명공학에서는 병원체 자체보다 DNA/RNA 등 유전체 데이터의 설계·축적·자동화·검증 역량이 더 중요한 전략 변수로 작동할 가능성 증대³
- 그럼에도 국내 논의는 아직 공공 바이오파운드리를 주로 연구개발 지원이나 산업 육성의 관점에서 접근하는 경향 우세
 - 공공 바이오파운드리를 단순 인프라 사업으로 볼 경우, 바이오안보적 의미, 데이터와 운영체계의 기술주권 문제, 산업전환 및 위기대응과의 연계 가능성이 충분히 반영되기 어려운 한계 존재
 - 특히 한국처럼 본격 구축 단계에 있는 국가는 초기 설계 단계에서부터 바이오안보, 기술주권, 산업전환을 함께 고려할 수 있다는 점에서 오히려 전략적 기회 보유
- 공공 바이오파운드리 구축은 과학기술 인프라 사업이 아니라, AI-바이오 시대의 바이오안보, 기술주권, 산업전환을 함께 다루는 국가안보 전략과제로 볼 필요
- 본 보고서는 이러한 문제의식에 따라, 공공 바이오파운드리를 국가안보 관점에서 재해석하고, 한국형 공공 바이오파운드리 구축의 전략적 방향성 제시

3 김현중, “바이오안보 전략 I: 한국형 「핵산 합성 스크리닝」제도의 도입 필요성”, 『INSS 전략보고』, No. 314, (2025), 국가안보전략연구원.

II 공공 바이오파운드리의 구조와 전략적 의미

1. 바이오파운드리의 개념, 정의와 기본 작동원리

- 바이오파운드리는 합성생물학의 DBTL 과정 [설계(Design) → 제작(Build) → 시험(Test) → 학습(Learn)]을 자동화·표준화·고속화하는 통합형 연구개발 플랫폼
 - 전통적 바이오·생명과학 연구실은 연구자 중심의 순차적 실험 구조였다면, 바이오파운드리는 병렬적 실험과 반복 최적화를 가능하게 하는 공학적 플랫폼이라는 차별성 보유
 - 바이오파운드리는 로봇 액체취급장비, 고처리량 분석장비, 소프트웨어, 데이터 관리 시스템, 전문 운영인력을 결합하여 생물 시스템 공학을 대규모로 수행하는 통합 인프라로 정의 가능
 - 하지만 바이오파운드리 구축의 가장 큰 핵심은 개별 장비의 보유 여부가 아니라, DBTL의 전주기를 하나의 연속된 워크플로로 연결하는 구조임
- 바이오파운드리의 본질은 단순 실험 자동화가 아니라, 생물학적 설계를 실제 시스템으로 빠르게 전환하는 실행 인프라라는 점에 있음
 - 설계 단계에서는 유전자 회로, 단백질, 대사경로, 균주 등을 계산적으로 설계하고, 제작 단계에서는 DNA 합성·조립과 세포 도입을 수행하는 구조
 - 시험 단계에서는 표현형, 수율, 안정성, 성장속도, 공정 적합성 등 대규모 데이터 set을 초고속으로 처리·평가하고, 학습 단계에서는 결과 데이터를 다시 설계로 환류시키는 페루프(closed-loop) 형성
 - ※ 페루프(closed-loop): 시스템의 출력(결과)을 정밀 센서로 측정하여 이를 초기 입력된 값(목표값)과 비교. 여기서 측정된 오차를 실시간으로 제어·수정하는 피드백 제어방식으로 초정밀 공정에 주로 적용
 - 위와 같은 DBTL 구조는 생명과학을 관찰 중심의 과학에서 설계·제작·검증 중심의 공학적 접근방식으로 전환시키는 핵심 작동원리

- 공공 바이오파운드리는 민간기업의 내부 플랫폼과 달리, 국가 연구개발 생태계 전체가 공동으로 활용할 수 있는 공공 성격의 플랫폼이라는 점에서 별도의 전략적 의미 보유
 - 민간 바이오파운드리는 특정 기업의 연구개발과 상업화 가속을 목표로 구축되는 개별 연구시설이지만, 공공 바이오파운드리는 대학, 출연연, 스타트업, 중소기업 등이 공공 기준 아래 활용할 수 있는 공동 인프라⁴
 - 공공 바이오파운드리는 단기 수익성보다 국가 차원의 기술 확산, 인력 양성, 데이터 축적, 표준 형성, 초기 산업 지원에 더 큰 목적 부여 가능
 - 따라서, 공공 바이오파운드리는 국가지원 연구시설이라는 의미를 넘어, 국가가 생물학적 역량의 형성과 확산을 관리할 수 있는 국가 전략자산의 성격 보유

- 공공 바이오파운드리는 연구개발 가속기, 산업화 전환 허브, 전략 데이터 축적 거점, 공공 거버넌스의 실행 기반이라는 복합 기능 보유
 - 반복 실험의 자동화와 병렬화를 통해 연구 속도와 재현성을 제고하고, 합성생물학·바이오제조·신약개발 초기 탐색의 효율성 제고 가능⁵
 - 균주 개발, 공정 최적화, 생산성 검증, 파일럿 이전 단계의 프로토타이핑을 지원함으로써 기초연구와 산업생산 간 전환 촉진 가능⁶
 - 실험, 공정, 분석 메타데이터를 반복적으로 생산·축적·구조화함으로써 AI의 학습과 표준화, 공정 예측의 기반 형성 가능⁷

- 결국 공공 바이오파운드리는 “실험 자동화 시설”이라기보다, 생명공학 연구개발, 산업화, 데이터 주권, 공공 거버넌스를 묶는 국가 플랫폼으로 이해하는 것이 적절

4 Andrew Watkins et al., “Public biofoundries as innovation intermediaries: the integration of translation, sustainability, and responsibility” *The Journal of Technology Transfer*, Vol. 49 (2024), pp.1259-1286.

5 Maciej B. Holowko et al., “Building a biofoundry”, *Synthetic Biology*, Vol.1 No.1, (2020): ysaa026.

6 Yensi Flores Bueso and Mark Tangney, “Synthetic Biology in the Driving Seat of the Bioeconomy,” *Trends in Biotechnology*, Vol. 35, Issue 5, (2017), pp.373-378.

7 Christopher J. Petzold and Aindrila Mukhopadhyay, “From bench to biofactory: high-throughput technologies and automated workflows to accelerate biomanufacturing”, *Current Opinion in Biotechnology*, Vol. 94 (2025), 103320.

2. 바이오파운드리의 기술적 진화와 AI 통합

가. 인공지능 기반 바이오파운드리의 발전

- 바이오파운드리의 기술적 진화는 개별 장비 자동화에서 출발하여, 하드웨어, 소프트웨어, 데이터, 시가 결합된 지능형 실험 플랫폼으로 발전 중
 - AI는 다음 <그림 1>과 같이 DBTL 순환구조를 통해 바이오 데이터 분석, 균주 설계, 배양 조건 최적화, 실험 조건 추천, 실패 원인 진단, 공정 제어, 예측 정확도 향상에 활용되며, 반복 실험 횟수를 줄이고 효율성을 향상⁸⁾
 - 최근에는 생성형 AI 유전체 모델(Evo/Evo2), 단백질 설계 모델, 자율실험실 개념이 확산되면서 바이오파운드리는 단순 자동화 수준을 넘어 지능형 실험 플랫폼으로 진화



<그림 1> 인공지능 기반 DBTL의 순환구조 개념도

- 바이오파운드리 기술의 핵심 병목은 개별 실험 단계가 아니라, 각 단계를 연결하는 워크플로의 통합 수준에 존재
 - 설계와 제작, 제작과 시험, 시험과 학습이 분절된 상태에서는 고가 장비를 보유해도 전체 연구 효율은 제한적
 - 반대로 각 단계의 입력과 출력이 표준화되고, 장비 간 데이터가 자동 연동되며, 결과가 다음 설계로 즉시 환류가 될 경우, DBTL 사이클의 속도와 생산성 급증 가능
 - 이 점에서 바이오파운드리의 본질은 개별 자동화가 아니라 end-to-end 구조, 즉 전주기 통합 운영체계의 구축에 있음

8 Ji Hun Kim et al. "Recent advances in AI-enabled automation of DNA assembly in biofoundry", *Current Opinion in Biotechnology*, Vol. 96 (2025), 103386.

- 한국형 공공 바이오파운드리도 이와 같은 맥락에서 하드웨어, 소프트웨어, 워크플로를 통합한 구조로 설계되었음⁹
 - 한국형 공공 바이오파운드리는 Genome Station, Molecular Station, Organism Station의 3개 스테이션과 7개 자동화 모듈을 중심으로 구성되는 방향 제시
 - 동시에 workflow, communication, station, partbank, inventory, AI & cloud 등 소프트웨어·AI·클라우드 모듈을 함께 설계함으로써, 장비와 데이터, 운영체계를 하나의 플랫폼으로 통합하려는 방향 제시
 - ※ 한국 공공 바이오파운드리 사업은 예비타당성조사 통과 이후 2025년부터 5년간 총 1,263억 원을 투입하는 본사업 착수 단계에 진입한 상태로, 향후 쟁점은 운영 인력, 데이터 표준, 공공수요 연계, 바이오안보 내재화 설계¹⁰
 - 이는 공공 바이오파운드리가 단순 장비센터가 아니라, AI 학습이 가능한 지능형 실험 플랫폼이자 공공적으로 관리 가능한 운영체계로 설계되어야 한다는 의미 보유

9 한국과학기술기획평가원(KISTEP), “2021년도 예비타당성조사 보고서, 바이오파운드리 구축 및 활용기술개발 사업”, [최종보고서] 발간등록번호 11-1721000-000713-01. (2022년 10월)

10 과학기술정보통신부, “바이오파운드리 인프라 및 활용기반 구축사업 예비타당성조사 통과,” <https://www.msit.go.kr/eng/bbs/view.do?bbsSeqNo=42&mId=4&mPid=2&nttSeqNo=955&sCode=eng> (발행일: 2024년 1월 16일, 검색일: 2026년 4월 20일)

III 글로벌 경쟁 구도와 한국의 위치

1. 주요 경쟁국 사례: 미국, 영국, 중국, 일본, 인도의 전략¹¹⁾

- 주요국의 공공 바이오파운드리 전략은 단순 연구 인프라 구축이 아니라, AI-바이오 시대 국가 역량을 어떤 방식으로 조직할 것인가의 문제와 직결
 - 공공 바이오파운드리는 각국에서 합성생물학 연구지원 시설을 넘어, 첨단 응용연구 가속, 기술이전, 산업화 전환, 데이터 축적, 표준 형성의 거점으로 활용 중
 - 각국은 산업구조, 국가전략, 공공-민간 관계, 기술주권 인식 수준에 따라 상이한 모델 채택
 - ※ 미국은 민관 결합형, 영국은 공공 네트워크형, 중국은 국가주도형, 일본은 선택과 집중형, 인도는 후발주자형 사례
- 각국 사례에서 신약개발 예시가 다수 등장하는 것은, 해당 분야가 현재 AI-바이오 융합의 효과가 가장 빠르게 가시화되고, 민간투자와 국가 지원이 집중되며, 국가 간 경쟁도 가장 첨예하게 전개되는 영역이기 때문
 - 특히 AI 신약개발은 단백질 구조 예측, 후보물질 탐색, 독성 예측, 임상 성공 가능성 판단 등에서 AI의 효용이 비교적 명확하게 입증되는 분야
 - 동시에 wet lab 검증, 고처리량 실험, 데이터 축적, 규제 대응까지 포함하는 end-to-end 플랫폼 경쟁이 가장 먼저 본격화된 영역이라는 점에서, 공공 바이오파운드리의 전략적 의미를 보여주는 대표 사례로 활용 가능
 - 다만 공공 바이오파운드리의 의미는 신약개발 분야에만 한정되지 않으며, 바이오제조, 화이트바이오, 바이오소재, 공정 최적화, 위기대응 생산 역량 등으로도 확장 가능

가. 미국: 민관 결합형 혁신 가속 모델

- 미국 모델의 핵심은 공공 연구기반과 민간 플랫폼 기업, 벤처투자, 대형 제약사·빅테크가 유기적으로 결합된 다층적 생태계 구축
 - 바이오파운드리 인프라 측면에서, 미국은 Agile BioFoundry, iBioFAB 등 공공형 플랫폼과 Ginkgo Bioworks 같은 민간형 플랫폼이 병존하는 구조
 - 신약개발 측면에서는 Insilico Medicine, Recursion, Schrödinger 등이 AI 기반 데이터 분석모델, wet lab 검증체계를 결합한 end-to-end 플랫폼 구축
 - 공공 투자와 민간 자본이 동시에 작동하면서 기술개발과 사업화의 연결 속도 극대화

11 한국바이오협회, “AI기반 신약개발 산업화 전략”, *Innovating Data into Strategy and Business*, 한국바이오경제연구센터 (2025.12.15.); 한국바이오협회, “바이오파운드리 AI활용 활성화를 위한 정책 제안”, *Innovating Data into Strategy and Business*, 한국바이오경제연구센터 (2025.12.17.).

- 미국 모델의 가장 큰 장점은 혁신의 속도, 자본 동원력, 상업화 연계성이 매우 높다는 점에 있음
 - i) 공공 연구소와 대학의 기초연구, ii) 민간 플랫폼 기업의 데이터 축적과 자동화 역량, iii) 벤처 자본과 자본시장의 투자 여력, iv) 대형 제약사와 빅테크의 협력 구조가 동시에 작동하는 생태계 형성
 - 이에 따라 유망 기술 등장 시 이를 신속하게 검증하고 대규모 자본을 투입해 사업화 단계로 확장할 수 있는 구조 보유
 - 결국 미국 모델은 공공 연구성과를 산업적 응용과 시장 형성으로 전환하는 연결성이 가장 강한 모델이라는 의미 보유

나. 영국: 공공 네트워크형 생태계 설계 모델

- 영국 모델의 핵심은 분산형 공공 바이오파운드리 네트워크를 통해 공학생물학 생태계를 체계적으로 육성하는 방식에 있음
 - 영국은 SynbiCITE, London Biofoundry, Edinburgh Genome Foundry, SYNBIOCHEM 등 다수의 공공 거점을 연계하며 국가 차원의 engineering biology ecosystem 설계 추진
 - 연구지원, 스타트업 연계, 교육, 소프트웨어 보급, 표준화가 함께 추진된다는 점에서 단일 시설 중심이 아니라 네트워크형 전략의 성격 보유
 - 책임혁신(RRI) 논의와 결합되며 공공 바이오파운드리의 사회적 정당성과 공공성을 상대적으로 강하게 반영하는 특징 존재

다. 중국: 국가주도형 역량 집중 및 자립화 모델

- 중국 모델의 핵심은 국가 주도의 대규모 투자와 역량 집중을 통해 공공 연구와 산업 응용을 빠르게 확대하는 방식에 있음
 - AI 신약개발 측면에서 중국은 제약산업 디지털 전환 추진계획과 지방정부 지원을 통해 AI 기반 약물 발견, 생성형 설계, 임상 효율화 등을 국가 우선 과제로 설정
 - 인프라 측면에서는 중국합성생물학연구센터(CAS), 텐진산업생명공학연구소, 선전파운드리, 칭화대학 바이오파운드리, 등에서 범용형 공공 인프라와 산업 응용형 시설을 빠르게 확장 중
- 공급망 자립, 기술 국산화, 데이터 내재화 측면에서도 국가주도의 강력한 전략적 방향성 확인 가능

라. 일본: 선택과 집중의 정밀 특화 모델

- 일본 모델의 핵심은 제한된 자원을 특정 분야에 집중해 정밀한 기술 우위를 확보하는 방식에 있음
 - AI 신약개발 분야에서 Elix, Fujitsu, FRONTEO 등은 단백질 구조 예측, 생성형 설계, 자연어처리 기반 표적 발굴 등 특정 영역에 강점 보유
 - 바이오파운드리 인프라 측면에서도 고베대, RIKEN, AIST 등을 중심으로 제한적이지만 정교한 자동화·분석 역량 축적
- 전면적 대규모 확장보다 화이트바이오, 정밀 분석, 특정 산업용 응용 등에서 선택과 집중 전략 추구

마. 인도: 후발주자형 국가 사례의 시사점

- 인도 사례는 선도국 모델과 달리, 후발주자형 국가가 제한된 자원과 제도적 조건 속에서 생명공학 혁신 중개체계를 어떻게 구축하는가를 보여주는 사례라는 점에서 의미
 - 인도의 Bio-Riidl Mumbai는 bio incubator 유형으로 분류되며, 생명공학 engineering biology 관련 혁신 중개조직 사례로 소개¹²
 - ※ Bio-Riidl Mumbai는 엄밀한 의미의 공공 바이오파운드리 자체라기보다, 스타트업, 초기 기업 지원, 기술사업화, 창업 연계 기능을 수행하는 중개조직이라는 점에서 차이
 - 그럼에도 이 사례는 후발주자 국가에서 첨단 바이오 인프라의 성공 여부가 장비 규모보다 혁신생태계 연결성과 운영체계에 좌우될 수 있음을 보여주는 참고 사례
- 인도와 같은 후발주자형 국가 사례가 주는 시사점은 운영 지속가능성, 전문인력, 단계적 확장, 연계 생태계 설계에 있음
 - 바이오파운드리는 인프라 구축 비용뿐 아니라 소모품, 유지보수, 소프트웨어, 전문인력 비용이 지속적으로 발생하는 구조이며, 초기 자금 투입만으로 장기 운영을 보장하기 어려운 특성 보유
 - 후발주자 국가는 처음부터 완성형 대규모 모델을 추구하기보다, 이용자 수요와 운영 가능성을 고려한 단계적 확장과 재원 혼합모델 설계 필요
 - 장기적으로 가장 중요한 자산은 장비뿐만 아니라, 사람과 운영 노하우이며, 인큐베이터, scale-up 시설, 규제 지원, 민간 파트너와의 연계 구조를 함께 설계할 필요성에 대한 교훈 제시

12 Andrew Watkins et al. "Public biofoundries as innovation intermediaries: the integration of translation, sustainability, and responsibility", *The Journal of Technology Transfer*, Vol. 29, 2024. pp.1259-1286.

2. 우리의 위치: 한국의 구조적 강점과 취약점

- 한국은 공공 바이오파운드리 본격 구축의 초기 단계에 있으나, 후발주자라는 한계와 함께 설계 유연성이라는 전략적 기회 보유
 - 정부 주도의 공공 바이오파운드리 구축사업, 기반기술 개발, 핵심장비 고도화, AI 신약개발 육성 정책 등이 병행되며 제도적 기반 형성 중
 - 이는 한국이 공공 바이오파운드리를 단순 장비 도입이 아닌 국가 전략 플랫폼으로 설계할 수 있는 시점에 있다는 의미 보유
 - 다만 데이터 자산, 운영체계, 국제 표준 주도력, 자립적 기술 기반은 아직 미완성 상태

가. 한국의 구조적 강점

- 첫째, 초기 구축 단계라는 점에서 AI-first, data-first, security-by-design 설계 가능성 보유
 - 기존 베타 시설과 기구축된 기반 인프라들을 확장·통합하는 방식으로, 하드웨어, 소프트웨어, 워크플로, 및 보안체계를 초기 단계부터 함께 설계할 수 있는 여지 존재
 - ※ 후발주자의 약점을 설계 유연성으로 전환할 수 있다는 점에서 전략적 강점
- 둘째, 디지털·AI·자동화 기반 산업역량과의 연계 가능성 보유
 - 반도체, 제조 자동화, 로봇, 데이터 인프라 등 기존 한국의 첨단 산업 기반은 바이오파운드리의 자동화·데이터화·AI화와 높은 정합성 보유
 - 공공 바이오파운드는 바이오 분야 단독 인프라가 아니라, 기존 디지털 산업 역량을 생명공학으로 확장하는 전략적 접점으로 활용 가능
- 셋째, 공공형 모델 설계에 유리한 제도적 출발점 보유
 - 민간 대형 플랫폼이 아직 지배적이지 않다는 점에서, 공공 플랫폼을 중심으로 연구지원·표준화·인력양성·안보 거버넌스를 함께 설계할 수 있는 공간 존재
 - ※ VTT 사례는 공공 바이오파운드리가 단순 연구지원이 아니라 산업화 전환, 표준 형성, 다국적 협력의 허브로 기능할 수 있음을 예시¹³

13 Yvonne Nygard, "The Biofoundry paves the way for industrial-scale bioeconomy - VTT develops bioprocesses using AI in a global project", VTT Research, 2025.06.24.

나. 한국의 구조적 취약점¹⁴

- 첫째, 국내 합성생물학 기술수준과 전문인력 기반은 아직 선도국 대비 충분히 성숙하지 않은 상태
 - 우리나라 합성생물학 기술 수준을 최고기술 보유국 대비 75% 수준으로 평가되며, PI급 전문인력은 약 250명 내외로 제시
 - 특히 자동화·소프트웨어·데이터·하드웨어 통합 인력 확보 계획이 미흡하다는 점에서, 핵심 취약성은 장비보다 융합형 운영인력 부족 존재
- 둘째, 산업계와 연구계의 실제 수요 기반이 아직 충분히 검증되지 않은 상태
 - 국내 합성생물학 시장과 바이오파운드리 서비스 수요 분석이 미흡하며, 기업 응답자의 57.4%, 바이오 연구자의 37%가 바이오파운드리에 무관심
 - 이는 인프라 규모보다 실제 활용 주체와 응용 분야를 먼저 정교하게 설계할 필요를 시사
- 셋째, 인프라 규모·워크플로·스테이션 계획과 운영 자립화 전략의 정합성이 아직 충분하지 않은 상태
 - 워크플로, 스테이션 수, 센터 규모 등이 수요조사 결과와 충분히 정합적으로 연결되지 못하고 있는 부분이 다수 발견
 - 또한 고가 장비의 재투자·유지보수·소모품비, 운영비 확보, IP 및 Data 관리, 사업 종료 후 자립화 계획도 구체성이 부족
 - 이는 공공 바이오파운드리가 단순 구축사업으로 접근될 경우, 초기 투자 이후 운영 품질과 활용도 측면에서 구조적 취약성이 누적될 수 있음을 의미

다. 종합 평가

- 한국의 위치는 ‘초기 기반은 형성 중이나, 수요·인력·운영체계 측면의 플랫폼 성숙도는 아직 제한적’으로 요약 가능
 - 강점은 초기 설계 유연성, 디지털 산업 기반과의 연계성, 공공 플랫폼 설계 가능성에 있음
 - 취약점은 선도국 대비 낮은 기술 수준, 제한된 전문인력, 불충분한 수요 분석, 자립화·IP·Data 거버넌스 미비에 존재
- 한국의 핵심 과제는 공공 바이오파운드리를 얼마나 크게 구축하느냐보다, 기존 기반을 활용해 수요기반, 단계적 운영, 지속가능형 국가 플랫폼으로 설계할 수 있느냐에 있음
- 예타 보고서¹⁵에서 한국형 공공 바이오파운드리를 보다 현실적이고 전략적인 국가 플랫폼으로 재설계하기 위한 정책적 기준을 마련해야 한다고 지적한 점을 재확인 필요

14 한국과학기술기획평가원(KISTEP), “2021년도 예비타당성조사 보고서”. Ibid.

15 한국과학기술기획평가원(KISTEP), “2021년도 예비타당성조사 보고서”. Ibid.

IV 한국형 공공 바이오파운드리 구축 전략

1. 공공 바이오파운드리의 전략적 재정의 필요

가. 공공 바이오파운드리의 재정의: 연구지원 인프라가 아닌 국가 바이오안보, 기술주권 인프라

- 공공 바이오파운드리는 더 이상 실험 자동화 시설이나 합성생물학 연구지원 인프라로만 이해하기 어려운 단계에 진입
 - AI와 로봇, Cloud lab의 발전이 바이오파운드리와 결합하여 생물학을 “관찰의 과학”에서 “프로그램 가능한 공학”으로 전환시키며, 통제되지 않은 위험한 생물학적 역량의 확산을 촉진 가능¹⁶
 - 이 점에서 공공 바이오파운드는 단순한 생산성 제고 수단이 아니라, 어떤 생물학적 역량이 어떤 속도로 축적·검증·확산되는지 좌우하는 전략적 접점
 - 따라서 공공 바이오파운드리 구축은 과학기술 인프라 확충이 아니라, 국가가 생물학적 설계·제작·검증 역량을 어떤 규칙 하에 조직하고 통제할 것인가의 문제로 이해할 필요
- 공공 바이오파운드리의 전략적 의미는 민간 플랫폼과 구별되는 공공성에 존재
 - 민간 플랫폼은 혁신과 상업화에는 강점을 가질 수 있으나, 국가 차원의 위험관리, 데이터 주권, 접근통제, 국제협력 기준 설정, 위기 시 전환 운영까지 일관되게 담보하기 어려운 구조
 - 반면 공공 바이오파운드리는 프로젝트 심사, 이용자 분류, 민감 연구 관리, 데이터 보존, 로그 추적, 표준화, 대외협력 범위 조정 등을 제도적으로 내재화할 수 있는 공공적 접점
- 공공 바이오파운드리의 국가전략적 성격은 바이오안보 인프라, 기술주권 인프라, 산업전환 인프라라는 세 차원에서 재정의 가능
 - 위험의 중심이 병원체 보유에서 설계·데이터·자동화 역량으로 이동하는 상황에서, 공공 바이오파운드리는 잠재적 위험역량의 형성과 확산을 관리하는 핵심 접점
 - 바이오파운드리는 실험데이터, 운영 소프트웨어, 워크플로, 표준, AI 학습 역량의 축적이 핵심 자산이기에, 공공 바이오파운드리는 이러한 전략자산을 국가 차원에서 공공적으로 보유·관리할 수 있게 하는 플랫폼
 - 공공 바이오파운드리는 기초연구 성과를 산업적 응용, 공정 검증, 시제품 개발, 위기 대응 생산 전환으로 연결하는 국가 전환 허브라는 성격 보유

16 Stephen D. Turner, “AI can design and run thousands of lab experiments without human hands. Humanity isn’t ready for the new risks this brings to biology”, *The Conversation*, published April 9, 2026.

나. 기술적 진화의 안보적 재해석: 공공 바이오파운드리를 둘러싼 새로운 국가안보·기술안보 과제

- 바이오파운드리의 기술적 진화는 효율성 향상이나 산업 트렌드 차원을 넘어, 국가안보와 기술안보의 새로운 쟁점 제기
 - 기존 기술·산업 보고서는 자동화, AI 통합, 클라우드랩, 고처리량 실험, 플랫폼화의 효율성과 시장성을 강조하는 경향
 - 한국은 세계 최초로 「합성생물학 육성법」을 제정하는 등 첨단 바이오 기술과 관련 생태계 육성과 발전에 집중
 - 이를 통제하고 감독해야 할 바이오안보, 규제, 거버넌스 체계 구축에는 관심 미비
 - 국가안보적 관점에서 중요한 것은 이러한 기술 진화가 국가의 통제력, 전략자산, 공급망 자율성, 위험 노출 구조를 어떻게 변화시키는지의 문제
 - 따라서 공공 바이오파운드리를 둘러싼 기술적 진화는 기술 혁신의 진전으로만 볼 것이 아니라, 새로운 취약성과 통제 필요를 함께 야기하는 새로운 전략 변수로 해석할 필요 다대
- 하드웨어·소프트웨어·워크플로 통합은 효율화가 아닌 통제력의 문제
 - 바이오파운드리는 센터 건물과 고가 장비를 도입한다고 곧바로 완성되는 것이 아니며, 워크플로 표준화, 통합 소프트웨어, 데이터 품질관리, 운영 프로토콜, 사용자 서비스 구조가 갖춰지지 않으면 활용률 저하와 성과 부진으로 이어질 수 있음¹⁷
 - 따라서 통합형 플랫폼은 단순 생산성 향상이 아니라, 누가 생물학적 설계를 현실화하는 핵심 운영체계를 보유하는가의 문제로 연결
 - 한국형 공공 바이오파운드리의 통합 설계는 장비 및 센터 구축뿐만 아니라 운영 주권 확보의 문제로 이해할 필요
- AI 통합은 연구 효율화가 아닌 역량 증폭과 확산 속도의 문제
 - AI가 설계 후보 추천, 실패 원인 분석, 후속 실험 자동 추천, 코드 생성, 데이터 해석에 직접 개입할 경우, 기존보다 훨씬 넓은 설계 공간을 짧은 시간 안에 탐색 가능
 - 혁신 촉진의 측면에서는 국가 경쟁력 제고 요인이지만, 안보 측면에서는 잠재적으로 민감한 설계 역량의 구현 속도를 높이는 요인
 - 따라서 AI-바이오파운드리의 결합은 단순한 연구 도구 고도화가 아니라, 국가 차원의 위협관리·접근통제·감사체계가 함께 설계되어야 하는 새로운 안보 환경의 출현 의미

17 Jonathan Tellechea-Luzardo et al. "Fast biofoundries: coping with the challenges of biomanufacturing", Trend in Biotechnology, Vol.40, Issue 7, (2022), pp.831-842.

- 데이터 축적은 연구 부산물이 아닌 전략자산의 문제
 - 반복 실험을 통해 축적된 데이터는 다음 설계의 정확도를 높이고, 공정의 예측 가능성을 높이며, 특정 산업 응용의 진입장벽을 형성하는 기반
 - 데이터는 장비보다 더 중요한 장기 자산이며, 공공 바이오파운드리는 이를 공공적으로 축적하고 관리할 수 있는 거의 유일한 국가 플랫폼
 - 독립된 데이터 주권을 확보하지 못할 경우 한국은 장비를 보유하더라도 핵심 경쟁력인 학습자산과 운영지식은 외부 플랫폼에 의존 가능

- 해외 의존성은 비용 문제가 아닌 공급망·기술안보 문제
 - 하드웨어, 운영 소프트웨어, 자동화 인터페이스, DNA 읽기·쓰기 기술의 해외 의존성은 단순 도입·유지비 부담을 넘어 전략적 취약성으로 해석 필요
 - 가격 상승, 유지보수 중단, 기술지원 제한, 업그레이드 지연, 수출통제 등 외부 공급망 변수에 따라 공공 바이오파운드리 운영 전체에 영향을 받음
 - 이는 바이오파운드리의 기술적 취약성이 곧 공급망·기술안보 취약성으로 이어질 수 있음을 의미

- scale-up과 산업 연계 부족은 사업화 한계가 아닌 국가 전환역량 부족의 문제
 - 공공 바이오파운드리의 한계가 단지 연구에서 산업화로 넘어가는 마지막 단계의 공백으로 이해되어서는 안 되며, 국가 전환역량의 부족이라는 관점에서 재해석 필요
 - 응용연구-시제품-공정검증-scale-up-산업생산으로 이어지는 연계가 부족할 경우, 공공 바이오파운드리는 연구 자동화 시설에 머물고 국가 전략산업 형성으로 이어지지 못할 가능성 존재
 - 특히 위기 대응 생산 전환, 공급망 대체, 전략 소재 생산 체계 확보 등의 관점에서 볼 때, scale-up 연계 부족은 단순 사업화 문제를 넘어 국가 전환 능력의 취약성을 의미

- 운영인력 부족은 인력난이 아닌 국가 플랫폼 유지능력의 문제
 - 자동화 엔지니어, 소프트웨어-실험 브리지 인력, 데이터 관리자, 운영책임자 등은 장비보다 대체가 어려운 핵심 역량
 - 이들의 장기 고용과 경력경로가 확보되지 않을 경우, 시설은 구축되더라도 운영 품질과 축적지식은 불안정 상태에 머물 가능성 존재

2. 정책제언: 한국형 바이오파운드리 국가 전략 로드맵 구축

가. 기본 원칙: 기술 촉진과 국가 통제를 결합한 공공 전략 플랫폼 설계

- 한국형 공공 바이오파운드리는 연구 효율화 중심의 기술 인프라가 아니라, 기술 촉진과 국가 통제를 동시에 구현하는 공공 전략 플랫폼으로 설계 필요
 - ✓ AI-first와 security-by-design의 동시 적용 필요
 - ✓ data-first와 sovereignty-by-design의 적용 필요
 - ✓ 통제된 개방(controlled openness) 원칙 채택 필요

나. 추진 방향 1: 국가 바이오안보 인프라로서의 기능 내재화

- 공공 바이오파운드리를 바이오안보 정책의 외곽 인프라가 아니라, 핵심 실행 인프라로 위치 재설정 필요
 - 사용자 신원 검증, 프로젝트 위험도 분류, 서열·주문 스크리닝, 민감 연구 구획화, 데이터 접근권한 설정, 로그 저장 및 감사체계 구축 필요
 - 공공 바이오파운드리 운영규정에 생물안전·생물보안·연구안보 요소를 초기 단계부터 내재화할 필요

다. 추진 방향 2: 기술주권 확보를 위한 핵심 취약성 보완

- 공공 바이오파운드리의 운영 자율성과 기술주권 확보를 위해 하드웨어, 소프트웨어, DNA 읽기·쓰기 영역의 취약성 보완 필요
 - 국산 장비, 인터페이스 소프트웨어, 운영체계, 시퀀싱·합성 역량 육성 필요
 - 기술 도입 정책과 기술안보 정책을 별개로 보지 않고, 공공 바이오파운드리 구축사업 자체를 전략기술 자립 기반 사업으로 재설계할 필요

라. 추진 방향 3: 산업전환과 위기 대응을 연결하는 연계 체계 구축

- 공공 바이오파운드리가 응용연구에 머물지 않고 국가 산업전환 역량으로 기능하기 위해서는 외부 연계 체계 동시 구축 필요
 - 인큐베이터, scale-up facility, 파일럿 생산시설, 규제 컨설팅, 투자 연계, 공공조달 연계를 패키지로 설계할 필요
 - 감염병, 공급망 충격, 전략 소재 부족 상황에서 공공 바이오파운드리를 전환 운영 가능한 국가 대응 인프라로 활용하는 시나리오 설계 필요

마. 추진 방향 4: 장기 운영체계와 전문직군 설계

- 공공 바이오파운드리의 지속가능성 확보를 위해 장비 중심 예산 편성에서 벗어나 전문 운영조직과 인력체계에 대한 장기적 관점의 정책 설계 필요
 - 자동화 엔지니어, 데이터 관리자, 시스템 통합 인력, 바이오-소프트웨어 브리지 인력을 별도 전문 직군으로 제도화할 필요
 - 시설 구축사업과 운영인력 사업을 분리하지 않고, 하나의 국가 역량 구축사업으로 묶어 접근할 필요

바. 추진 방향 5: 국제협력과 표준 선점의 병행

- 공공 바이오파운드리는 국제협력의 대상이자 국제표준 경쟁의 수단이라는 점에서, 초기부터 표준 선점 전략 병행 필요
 - 글로벌 바이오파운드리 동맹(Global Biofoundries Alliance, GBA) 등 기존 국제 네트워크 참여를 단순 교류 차원이 아니라, 한국형 운영원칙과 데이터 표준을 제안하는 전략적 채널로 활용할 필요
 - ※ 한국은 국내 공공 바이오파운드리 운영 경험을 바탕으로 올해 11월 파리에서 열리는 GBA 연례회의에서 국제표준 논의에 적극 참여 필요
 - 국제협력은 선택적 과제가 아니라, 한국이 규칙 수용자에 머무르지 않고 부분적 규칙 형성자로 이동하기 위한 전략 수단이라는 인식 필요

V 결론

- AI-바이오 시대 공공 바이오파운드리는 더 이상 실험 자동화 시설이나 합성생물학 연구지원 인프라에 머물지 않음
 - 공공 바이오파운드리는 생물학적 설계·제작·시험·학습 역량이 집중되는 실행 인프라로서, 향후 국가가 바이오 경쟁력을 어떻게 축적하고 위험을 어떻게 관리할 것인가를 좌우하는 전략적 접점
 - 기술적 진화가 가져오는 의미도 단순 생산성 향상이 아니라, 데이터 주권, 운영 주권, 공급망 자율성, 국가 통제력의 문제로 재해석할 필요
- 향후 바이오 경쟁의 핵심은 단순한 연구성과 축적이 아니라, 설계, 데이터, 워크플로, 검증 역량을 얼마나 빠르게 국가적으로 축적하고 공공적으로 통제할 수 있는가에 있음
 - 공공 바이오파운드리는 연구 인프라이면서 동시에 바이오안보 인프라, 기술주권 인프라이자 산업전환 인프라라는 복합적 성격 보유
 - 한국처럼 본격 구축 초기 단계에 있는 국가는, 후발주자라는 한계와 함께 초기 설계 단계에서 공공성과 통제 원리를 함께 내재화할 수 있는 전략적 기회 보유
- 공공 바이오파운드리 구축은 과학기술 인프라 사업이 아니라, AI-바이오 시대의 바이오안보, 기술주권, 산업전환을 함께 다루는 전략과제로 볼 필요
- 한국의 과제는 공공 바이오파운드리를 얼마나 빨리 구축하느냐보다, 이를 어떤 철학과 규칙 아래 국가 전략 플랫폼으로 설계하느냐에 있음
- 공공 바이오파운드리를 국가안보와 기술주권의 관점에서 재해석하고, 이를 공공적 통제와 전략적 전환의 기반으로 설계할 때 비로소 한국형 공공 바이오파운드리는 국가 핵심 인프라로 자리매김 가능

참고문헌

[국문]

- 과학기술정보통신부, “바이오파운드리 인프라 및 활용기반 구축사업 예비타당성조사 통과,” <https://www.msit.go.kr/eng/bbs/view.do?bbsSeqNo=42&mId=4&mPid=2&nttSeqNo=955&sCode=eng> (발행일: 2024년 1월 16일, 검색일: 2026년 4월 20일)
- 김현중, “바이오안보 전략 I: 한국형 「핵산 합성 스크리닝」제도의 도입 필요성”, 『INSS 전략보고』, No. 314, (2025), 국가안보전략연구원.
- 한국과학기술기획평가원(KISTEP), “2021년도 예비타당성조사 보고서, 바이오파운드리 구축 및 활용기술개발 사업”, [최종보고서] 발간등록번호 11-1721000-000713-01. (2022년 10월)
- 한국바이오협회, “AI기반 신약개발 산업화 전략”, *Innovating Data into Strategy and Business*, 한국바이오경제연구센터 (2025.12.15.)
- 한국바이오협회, “바이오파운드리 AI활용 활성화를 위한 정책 제안”, *Innovating Data into Strategy and Business*, 한국바이오경제연구센터 (2025.12.17.)
- 한국바이오협회, “글로벌 AI 기반 생명공학 시장 현황 및 전망”, KBIOIS Brief, Vol. 91 (2026.03.30.)

[영문]

- Carl R. Woese Institute for Genomic Biology, “2025 Global Biofoundry Alliance Annual Meeting”, (Sept.17~19), Univ. of Illinois Urbana-Champaign.
- Bueso, Yensi Flores and Tangney, Mark., “Synthetic Biology in the Driving Seat of the Bioeconomy,” *Trends in Biotechnology*, Vol. 35, Issue 5, (2017), pp.373-378.
- Holowko, Maciej B., et al., “Building a biofoundry”, *Synthetic Biology*, Vol.1 No.1, (2020): ysaa026.
- Kim, Ji Hun et al. “Recent advances in AI-enabled automation of DNA assembly in biofoundry”, *Current Opinion in Biotechnology*, Vol. 96 (2025), 103386.
- Nygaard, Yvonne., “The Biofoundry paves the way for industrial-scale bioeconomy - VTT develops bioprocesses using AI in a global project”, VTT Research, 2025.06.24.
- Tellechea-Luzardo, Jonathan et al. “Fast biofoundries: coping with the challenges of biomanufacturing”, *Trend in Biotechnology*, Vol.40, Issue 7, (2022), pp.831-842.
- Turner, Stephen D., “AI can design and run thousands of lab experiments without human hands. Humanity isn’t ready for the new risks this brings to biology”, *The Conversation*, published April 9, 2026.

- Petzold, Christopher J. and Mukhopadhyay, Aindrila., “From bench to biofactory: high-throughput technologies and automated workflows to accelerate biomanufacturing”, *Current Opinion in Biotechnology*, Vol. 94 (2025), 103320.
- Watkins, Andrew et al. “Public biofoundries as innovation intermediaries: the integration of translation, sustainability, and responsibility”, *The Journal of Technology Transfer*, Vol. 29, 2024. pp.1259-1286.

Abstract

National Security Implications of Building Public Biofoundries in the Age of AI–Bio Convergence

HyunJung (Henry) Kim
(Institute for National Security Strategy)

The convergence of AI and biotechnology is reshaping biological research into a high-speed, platform-based system centered on design, automation, data, and iterative validation. In this context, public biofoundries are emerging not simply as research infrastructure, but as strategic national platforms for organizing and governing biological capabilities.

This report argues that public biofoundry development should be understood not as a conventional science and technology infrastructure project, but as a strategic national task that simultaneously addresses biosecurity, technological sovereignty, and industrial transformation. By examining major competing countries' approaches and South Korea's structural conditions, the report finds that Korea possesses important design flexibility as a late builder, but also faces constraints in technological capability, specialized workforce, demand formation, and long-term operational sustainability.

The report concludes that Korea should pursue a phased, demand-driven, and security-conscious public biofoundry strategy, integrating AI, data governance, operational resilience, and industrial linkages into a coherent national roadmap.

Keywords: SynBio, Biosecurity, National Strategy, Biofoundry, Technological Sovereignty, AI–Bio

본지에 실린 내용은 집필자 개인의 견해이며,
국가안보전략연구원의 공식입장이 아닙니다.

INSS

전략보고

May 2026
No. 381