

국내 AI 기반 바이오·의료 국가R&D 가치사슬 단계별 산학연 협력 구조 분석 및 정책적 시사점

이도연*, 김근환*

*한국과학기술정보연구원 데이터분석연구본부
e-mail:dylee@kisti.re.kr

Industry–Academia–Research Collaboration Structure Analysis and Policy Implications in AI–based Bio–Medical Value Chain

Doyeon Lee*, Keunhwan Kim*

*Research Division for Data Analysis, Korea Institute of Science and Technology
Information

요약

본 연구는 AI 기반 바이오·의료 산업의 가치사슬 5단계를 기준으로 국내 국가R&D의 산학연 협력 구조를 실증 분석하고 정책적 시사점을 도출하였다. NTIS 공동·위탁 연구 데이터 406건을 기반으로 기관유형 간 협력 매트릭스 및 자기·교차 협력 개방도 지표를 산출하였다. 분석 결과, 전체 협력의 약 89.2%가 교차기관 협력으로 나타나 개방형 네트워크 구조가 확인되었다. 단계별로는 오믹스(94.0%)와 바이오제조(100%) 단계에서 외부협력 비율이 높았으며, 전임상 단계는 자기협력 비중이 19.9%로, 상대적으로 내부 집중적 구조를 보였다. 협력의 '양적 규모'와 '구조적 개방성'은 반드시 일치하지 않았다. 이를 바탕으로 본 연구는 가치사슬 단계별 기능 특성과 병목 구조를 고려한 차별화된 산학연 협력 정책 설계의 필요성을 제안한다.

2. 이론적 배경

1. 서론

AlphaFold2 공개 이후 AI 기반 바이오·의료 분야의 국가 R&D는 단일 연구기관이 아닌 다양한 기관 간 협력을 통해 수행되는 개방형 혁신 구조가 강화되고 있다. 그러나 산학연 협력 구조는 가치사슬 단계에 따라 기술적 특성, 인프라 의존도, 기능적 분업 방식이 달라서, 협력 현황을 단계별로 세분화하여 진단하는 것이 정책 설계에 중요한 함의를 둔다[1].

기존 연구는 협력 네트워크 구조를 기관 유형·지역·분야별로 분석하거나, 특정 기술 분야 내 협력 패턴을 파악하는 데 초점을 두어 왔다[2]. 반면 바이오·의료 가치사슬 단계별로 산학연 협력의 규모, 형태(자기협력/교차협력), 개방성을 통합 분석하는 프레임워크는 충분히 제시되지 않았다[3].

이에 본 연구에서 'AI 기반 바이오·의료 산업의 가치사슬 단계별 산·학·연 공동연구가 어느 영역에 집중되었는가?'라는 연구 질문에 답하고, 이를 투자 구조 분석 결과와 연계하여 정책적 시사점을 도출하였다.

2.1 바이오·의료 가치사슬과 산학연 협력의 기능적 분업

바이오·의료 혁신은 기초 연구부터 임상·제조, 사업화 단계까지 산학연 주체 간 역할 분담과 협력이 필수적인 구조를 가진다 [4]. 각 단계는 데이터 유형, 인프라 의존도, 규제 강도 측면에서 상이하므로 동일한 협력 정책이 모든 단계에서 동일한 성과로 이어지지 않는다[5]. 따라서 협력 구조 분석은 단순한 공동연구 건수나 규모가 아니라 기관 유형 간 교차협력 방식과 개방성을 함께 고려해야 한다.

2.2 개방형 혁신 네트워크와 협력 개방도

개방형 혁신 이론에서 교차기관 협력은 지식 스필오버와 전문 역량 결합을 통해 혁신 효율성을 높이는 것으로 알려져 있다[6]. Owen-Smith and Powell[7]은 보스턴 바이오테크 클러스터 연구에서 지식 네트워크의 개방성이 혁신 성과와 밀접히 연계됨을 보였다. 이러한 관점에서 협력 개방도(교차협력 비율)는 각 가치사슬 단계의 혁신 생태계 구조적 특성을 파악하는 지표로 활용될 수 있다.

3. 연구 방법

CLUSTER5 (Clinic)	1,444	192	1,252	86.7%
----------------------	-------	-----	-------	-------

3.1 협력 데이터 구성

NTIS 최종 데이터 세트(6,895건)의 과제고유번호를 기준으로 위탁연구 또는 공동연구가 수행된 과제를 연계 추출하였으며, 수행기관명 및 기관 유형 정보 406건을 수집하여 협력 구조 분석에 활용하였다. 기관 유형은 대학(Univ), 병원(Hosp), 출연연구소(GFRI), 중소기업(SMEs), 중견기업(ME), 대기업(LE), 국공립연구소(NRI), 기타 공공기관(OPI), 기타(ETC)로 분류하였다.

3.2 협력 분석 지표

주관기관 유형 i 와 공동기관 유형 j 간 공동수행 연구비 합계를 원소로 하는 협력 매트릭스 M_{ij} 을 구성하였다. 총 협력 규모 (Total collaboration: T), 자기협력(Self-collaboration: S, 동일 기관유형 간 협력), 교차협력(Cross-collaboration: C=T-S, 서로 다른 기관유형 간 협력), 외부협력 비율(D=C/T)을 산출하였다. 자기협력이 낮고 교차협력 비율이 높을수록 개방형 네트워크 구조에 해당한다.

4. 연구 결과

4.1 전체 가치사슬 협력 구조

전체 가치사슬의 총 협력 규모는 2,984억 원으로 집계되었다. 자기협력은 323억 원(10.8%), 교차협력은 2,661억 원(89.2%)으로 나타나 높은 외부협력 비율을 보였다. 이는 AI 기반 바이오·의료 산업이 기관 간 기능적 분업과 공동참여를 중심으로 작동하는 개방형 협력 구조임을 시사한다.

4.2 가치사슬 단계별 협력 구조 분석

단계별 협력 규모와 개방도는 아래 [표1]과 같다.

[표1] 가치사슬 단계별 산학연 협력 규모 및 외부협력 비율(2021-2025, 단위: 억 원)

Cluster	Total Collaboration* (A)	Self-Collaboration** (B)	Cross-Collaboration** (C=A-B)	External Collaboration Ratio (D=C/A)
ALL CLUSTERS	2,984	323	2,661	89.2%
CLUSTER1 (Drug)	802	68	734	91.5%
CLUSTER2 (Omics)	535	32	503	94.0%
CLUSTER3 (Preclinic)	151	30	121	80.1%
CLUSTER4 (Biomfg)	52	-	52	100.0%

4.2.1 신약·의약 개발(CLUSTER1)

총 협력 규모 802억 원, 외부협력 비율 91.5%. AI 기반 후보 물질 발굴과 생물학적 검증 과정이 기능적으로 분리되어 수행되는 특성상 대학·연구기관·기업 간 전문 역량 결합이 요구되는 단계이다.

4.2.2 오믹스·바이오인포매틱스(CLUSTER2)

총 협력 규모 535억 원, 외부협력 비율 94.0%로 전 단계 중 가장 높다. 대규모 데이터 활용과 분석 인프라 의존성이 높아 기관 간 전문역량 결합이 필수적인 단계의 특성을 반영한다.

4.2.3 전임상·실험 자동화(CLUSTER3)

총 협력 규모 151억 원, 자기협력 비중 19.9%로 전 단계 중 가장 높다. 특정 기관 내 연구역량 축적과 내부 연구팀 중심 수행 구조가 상대적으로 강하게 작동하고 있는 혼합형 협력 구조를 보인다.

4.2.4 바이오제조·공정(CLUSTER4)

총 협력 규모 52억 원으로 가장 작으나, 자기협력이 존재하지 않아 외부협력 비율은 100%로 나타난다. 전문 설비·공정 역량에 대한 의존도가 높아 기관 간 기능 분업을 기반으로 수행됨을 보여준다.

4.2.5 임상·실사용(CLUSTER5)

총 협력 규모 1,444억 원으로 전 단계 중 가장 크나, 외부협력 비율은 86.7%로 오믹스보다 낮다. 협력의 '양적 규모'와 '구조적 개방성'이 반드시 동일한 방향으로 움직이지 않음을 보여주는 중요한 사례이다.

5. 고찰 및 정책적 시사점

5.1 협력 구조의 단계별 차별성과 정책 함의

본 연구의 분석 결과를 투자 구조(AlphaFold2 이후 국내 AI 기반 바이오·의료 국가R&D 투자의 가치사슬 단계별 분포 및 포트폴리오 재배분 구조 분석)결과와 연계하면, AI 기반 바이오·의료 국가 R&D는 투자 집중, 투자 안정성, 협력 방식이 단계별로 상이하게 결합되는 다층적 포트폴리오 구조를 보인다. 특히 오믹스 단계는 투자 안정성과 협력 개방성이 모두 높은 반면, 전임상·바이오 제조 중간 구간은 낮은 투자 비중, 높은 변동성, 내부 집중적 협력 구조가 복합적으로 나타나 연계 기능 강화가 필요한

병목 구간으로 확인된다.

중요한 발견은 동일한 협력 확대 정책이 모든 단계에서 동일한 성과로 이어지지 않는다는 점이다. 예를 들어 전임상 단계의 내부 협력 중심 구조는 외부협력 확대 정책보다는 내부 연구 역량 축적 지원과 단계 연계형 브리지 프로그램이 더 효과적일 수 있음을 시사한다.

5.2 3대 전략적 보강 방향

5.2.1 바이오제조 단계 중장기 안정 투자 트랙 구축

바이오제조 단계는 절대 투자 규모가 작고 변동성이 가장 크나, 협력 구조는 가장 개방적(외부협력 100%)으로 나타나 산업화 역량이 분산되어 있음을 시사한다. 공정 데이터 인프라와 AI 기반 공정 최적화-품질 예측 역량에 대해 중장기 안정 투자 트랙을 구축하고 중소기업(SMEs)-출연연(GFRI) 간 기능 분업 연계를 강화할 필요가 있다.

5.2.2 전임상-임상 전환 구간 브리지형 지원 체계 설계

전임상 단계의 상대적 약화(CAGR -16%)와 높은 변동성(35.6%), 내부 집중적 협력 구조는 후방 연구 성과가 전방 임상으로 원활하게 이전되지 못할 병목 가능성을 시사한다. 예측모델링 기반 의사결정 지원과 단계 연계형 공동연구 프로그램을 통해 전임상-임상 전환 효율성을 제고할 필요가 있다.

5.2.3 임상·RWD/RWE 기반 AI 활용 고도화

임상 단계는 투자 총량(43.1%)과 협력 규모(1,444억 원)가 가장 크며 대규모 개방형 네트워크로 작동한다. 병원 데이터 연계 인프라, 표준화된 RWD/RWE 플랫폼, 규제 연계형 데이터 활용 체계를 통해 의료 혁신과 산업 경쟁력 강화를 동시에 달성할 수 있는 정책 레버리지를 마련할 필요가 있다.

6. 결론

본 연구는 AI 기반 바이오·의료 국가 R&D의 산학연 협력 구조를 가치사슬 5단계로 세분화하여 분석하고, 투자 구조 결과와 연계한 정책적 시사점을 도출하였다. 전체 교차협력 89.2%의 개방형 네트워크 구조가 확인되었으나, 단계별로 협력의 형태와 개방성은 상이하였다. 특히 전임상 단계의 내부 집중적 협력 구조와 바이오제조 단계의 외부협력 100%는 단계별 기능 특성을 반영하는 구조적 차이로 해석된다.

정책적으로는 전주기 일률적 협력 확대보다, ① 바이오제조 안정 투자 트랙, ② 전임상-임상 브리지 프로그램, ③ 임상 RWD/RWE 인프라 고도화를 축으로 한 단계별 차별화 전략이

효율적일 것으로 판단된다. 향후에는 특허·논문·임상시험 성과 데이터와 연계한 협력 효과 검증 연구가 필요하다.

사사

본 연구는 한국과학기술정보연구원 주요사업(수요대응형 지역 R&D혁신 지원체계 구축, 과제번호: K26L4M2C3) 및 한국연구재단 바이오의료기술 개발사업 (과제번호: 2024M3A9H5043141, RS-2025-02413635)의 지원을 받아 수행되었습니다. 본 발표는 『AlphaFold2 이후 국내 AI 기반 바이오·의료 산업의 가치사슬 단계별 국가 R&D 투자 및 협력 구조 분석』 (한국산학기술학회논문지, 2026, DOI: 10.5762/KAIS.2026.27.4)의 연구 내용을 바탕으로 재구성하였습니다.

참고문헌

- [1] 과학기술정보통신부, 「AI 바이오 국가전략(안)」, 2025.12.
- [2] H. S. Yoo et al., "Analysis of the Collaborative Networks of Innovation Actors," The Korean Association for Policy Analysis and Evaluation, Vol. 34, No. 4, 2024.
- [3] C. Wild et al., "Public Contributions to R&D of Medical Innovations: A Framework for Analysis," Health Policy, Vol. 152, 2025.
- [4] Y. Kim et al., "A New Digital Value Chain Model with PLC in Biopharmaceutical Industry," Journal of Open Innovation, Vol. 8, No. 2, 2022.
- [5] E. J. Topol, "High-Performance Medicine: The Convergence of Human and Artificial Intelligence," Nature Medicine, Vol. 25, No. 1, 2019.
- [6] K. Isoko et al., "Bioprocessing 4.0: A Pragmatic Review and Future Perspectives," Digital Discovery, Vol. 3, No. 9, 2024.
- [7] J. Owen-Smith, W. W. Powell, "Knowledge Networks as Channels and Conduits," Organization Science, Vol. 15, No. 1, 2004.