

투자 보고서

2025년 5월

기업 보고서:

EXOZYMES INC.

(NASDAQ: EXOZ)

한국어 번역판

면책고지: 본 보고서 작성일 현재, 작성자는 eXoZymes Inc. (NASDAQ: EXOZ)에 대한 롱 포지션을 보유하고 있습니다.

본 기업 보고서의 내용은 정보 제공 및 교육 목적에 한하며, 개인적·법률적·투자 자문이나 증권 또는 기타 상품의 매수·매도 권유로 간주되어서는 안 됩니다.



SLACK CAPITAL

회사 개요

번역본 안내

본 문서는 사용자가 제공한 Slack Capital의 2025년 5월 eXoZymes 투자 보고서를 한국어로 옮긴 번역본입니다. 원문의 주장, 수치, 시점 및 평가를 가능한 한 그대로 보존했으며 별도의 사실 검증이나 최신 정보 반영은 하지 않았습니다. 원문상 오타자 또는 용어 오류 가능성이 있는 부분은 필요한 경우 괄호로 표기했습니다.

주요 용어

회사명 eXoZymes Inc.는 “eXoZymes(엑소자임스)”로, 회사가 정의한 engineered enzyme 인 Exozyme 은 “엑소자임”, Exozyme System 은 “엑소자임 시스템”으로 번역했습니다. Titre/Titer 는 “생산농도”, cofactor 는 “보조인자”로 표기했습니다.

eXoZymes Inc.(NASDAQ: EXOZ)는 특허받은 생화학 제조 플랫폼을 연구·개발하는 바이오테크 기업이다. 세포 기반 방식처럼 생물체 내부의 대사경로에 의존하는 대신, 천연 효소의 촉매 능력을 활용하고 이를 무세포 환경에서 작동하도록 최적화함으로써 목표 저분자 화합물을 생산하는 새로운 방식을 개발했다.

1. eXoZymes 의 시장 지배 잠재력

eXoZymes 는 혁신적인 플랫폼을 통해 글로벌 화학 제조 방식을 뒤흔들 잠재력을 보유하고 있다. 이 플랫폼은 연구개발 속도와 비용, 높은 생산 수율과 생산농도, 지속가능한 원료 사용을 비롯해 본 보고서에서 설명하는 여러 측면에서 비교하기 어려운 장점을 제공한다고 보고서는 평가한다. 10 년에 걸친 개발 끝에 eXoZymes 의 플랫폼은 상업 출시를 준비하고 있으며, 이러한 기술이 생화학 제조의 “성배”가 될 수 있다는 오랜 기대를 실현할 단계에 진입했다는 것이 보고서의 주장이다.

2. 폭넓은 산업 적용성과 파트너의 관심

eXoZymes 플랫폼은 제약, 뉴트라슈티컬, 바이오연료를 포함한 산업용·특수화학물질 등 다양한 고부가가치 시장에 적용할 수 있다. 총주소시장(TAM)은 1.4 조 달러를 넘는 것으로 제시되며, eXoZymes 는 다수의 비밀유지계약(NDA)을 포함해 100 건이 넘는 전략적 파트너십 논의를 진행하고 있다. 회사는 최근 첫 자회사를 발표했으며, 같은 해 후반 첫 합작법인 파트너십 발표를 예상하고 있다.

3. 강력한 경영진

eXoZymes 는 효소공학과 생합성 분야에서 폭넓은 전문성을 갖춘 업계 선도 과학자들을 포함한 경험 많은 팀이 이끌고 있다. 회사의 CEO 는 여러 스타트업을 업계 선도 위치로 이끈 경력이 있는 바이오테크 경영자이자 전략가다. 상업화를 주도하는 인력에는 Gevo 의 전 최고사업개발책임자와 Ginkgo Bioworks 의 전 사업개발 이사가 포함돼 있다.

4. 낮은 투자자 인지도와 제한된 유통주식수

최근 나스닥에 상장한 eXoZymes 는 지금까지 비교적 낮은 인지도를 유지해 왔다. 창업자·내부자·기관이 주식의 68.24% 이상을 보유하고 있어, 보고서는 eXoZymes 가 높은 성장 잠재력을 가진 기업에 초기 단계부터 접근할 수 있는 기회를 제공한다고 평가한다. 또한 이 Slack Capital 보고서는 eXoZymes 에 대한 초기 주요 분석 자료 중 하나라고 설명한다.

Slack Capital 은 본 보고서와 함께 eXoZymes 핵심 경영진이 출연하는 4 부작 영상 인터뷰 시리즈를 공개했다. 회사의 최근 투자자 웨비나와 1 분기 실적발표에서도 향후 주요 마일스톤과 전략적 우선순위를 설명한다.

목차

회사 개요	2
화학 제조 산업	4
석유 기반 제조	5
식물 기반 바이오제조	5
합성생물학	6
무세포 시스템	8
eXoZymes의 혁신적 플랫폼	8
엑소자임	9
엑소자임 시스템	10
플랫폼의 세 단계	10
1 단계. 엑소자임 설계·개발 주기	11
2 단계. 엑소자임 생산 규모 확대	13
3 단계. 엑소자임 시스템 합성 공정	13
플랫폼 개발 여정	16
상업화 전개	16
스핀아웃	18
합작법인	19
라이선스 계약	19
NCTx - eXoZymes의 첫 자회사	20
N-trans-caffeoyltyramine	20
상업적 활용	20
상업 파트너	21
초기 시장 적용 분야	22
뉴트라슈티컬 원료	22
제약/원료의약품	24
에너지 전환/바이오연료	26
과학 보고서 검토 시 고려사항	27
향후 시장 적용 분야	28
식품 향미·향료·화장품	28
산업용·특수화학물질	28
경쟁 기술 플랫폼	29
협력 관계	30
MDB Capital의 딥테크 검증 절차	30
GCxN 프로그램	31
경영진	32
재무 개요	33
자본 구조	33
위험 요인	34
eXoZymes 자료 목록	35

목차의 쪽수는 원문 보고서 기준입니다.

화학 제조 산업

화학물질은 우리 세계를 구성하는 기초 재료이며, 이를 조작하고 변환하는 과정은 현대 생활의 거의 모든 측면을 움직인다. 식물에서 천연 화합물을 추출하는 것부터 현대 의약품의 분자를 합성하는 것까지, 화학물질은 식품 생산, 제약, 소비재, 운송 및 여러 산업에 필수적이다.

화학 제조 산업은 이러한 필수 물질의 연구·개발·생산에 초점을 맞춘 복잡한 글로벌 네트워크다. 2017 년 화학 제조 산업의 가치는 5.7 조 달러를 넘었고 세계 경제의 약 7%에 기여한 것으로 추정됐다. 2020 년의 종합 글로벌 보고서는 상업 생산을 위해 등록된 화학물질 및 화학 혼합물이 35 만 종을 넘는다고 집계했으며, 미국에서만 매년 2,000 종 이상의 신규 화학물질이 추가되는 것으로 설명했다.

수십 년 동안 산업계는 효과적이지만 자원 집약적인 화학 생산 방식에 의존해 왔고, 이는 환경 훼손, 자원 고갈, 세계 보건에 중대한 영향을 미쳤다. 2023 년 1 월 발표된 한 보고서는 화학 제조 산업이 매년 최대 13 억 톤의 CO₂e를 배출하며, 전 세계 온실가스 배출량의 약 2.2%를 차지한다고 추정했다. 현대 화학 생산은 주로 다음 세 가지 접근법에 의존한다.

1. 석유 기반 제조
2. 식물 기반 제조
3. 1 세대 세포 기반 합성생물학

그러나 Slack Capital의 보고서가 설명하듯, eXoZymes Inc.의 최초 수준 무세포 바이오제조 방식이라는 새로운 접근법이 등장하고 있다.

전 세계 화학 수요가 계속 증가함에 따라 더 지속가능하고 효율적인 화학 제조 방식의 필요성이 중요해지고 있다. 보고서는 eXoZymes의 혁신적 플랫폼이 화학 제조의 새로운 물결을 열고, 환경적 지속가능성과 인류의 복지를 높일 잠재력이 있다고 평가한다.

석유 기반 제조

화학 제조 산업의 상당 부분은 원유와 천연가스를 가치 있는 석유화학제품으로 전환하는 데 초점을 둔다. 이러한 비재생 원료는 플라스틱, 합성고무, 비료, 세제, 용제, 의약품 등 현대 생활에 필수적인 수많은 화학제품의 기반이 된다.

장점	한계
광범위하게 분산된 글로벌 인프라 네트워크를 활용하므로 석유화학 원료에 쉽게 접근할 수 있다.	석유 기반 공정은 상당한 온실가스 배출과 대기·수질오염을 유발해 기후변화와 환경 훼손에 기여한다.
석유화학 제조 공정은 대규모 생산에 맞게 대체로 잘 최적화돼 있어 규모의 경제를 실현할 수 있다.	제조 과정에서 독성 부산물이 발생하며, 이를 안전하게 취급·처리·폐기해야 하므로 비용과 환경 부담이 커진다.
석유 원료는 잘 연구돼 있고 화학적 성질이 비교적 일정하다. 이러한 예측 가능성은 화학 반응에 대한 높은 통제력을 제공한다.	원료 확보를 위한 시추와 수압파쇄는 서식지 파괴, 토양 오염, 지하수 고갈을 일으킬 수 있고 생태계와 인체에 위협이 되는 독성 오염물질을 유입할 수 있다.
석유 기반 원료는 에너지 밀도가 높아 에너지 집약적인 제조 공정을 지원하는 데 효과적이다.	제조 과정에 고온·고압과 위험한 용제·촉매가 필요해 안전 위험과 환경 우려가 커진다.
여러 우려에도 불구하고 석유 관련 원료는 특히 매장량이 많은 국가에서 여전히 널리 이용 가능한 자원이다.	석유는 유한한 자원이므로 고갈될 경우 공급 부족과 급격한 가격 상승이 발생할 수 있다.

식물 기반 바이오제조

당과 지질 같은 식물 바이오매스를 사용하는 식물 기반 바이오제조는 전통적인 석유화학 방식의 대안이다. 발효, 증류, 용매 추출 등의 기술을 이용해 알코올, 바이오연료, 의약품 및 기타 생화학제품을 생산한다.

장점	한계
지속가능하게 조달할 수 있는 재생 원료를 사용하므로 석유 기반 투입물보다 환경 친화적인 대안을 제공한다.	날씨, 토양 상태, 해충 등 환경 요인과 식물 생산의 자연적 변동성 때문에 원료 품질과 수율이 일정하지 않을 수 있다.
천연 화합물이 풍부한 식물 유래 성분은 클린라벨, 웰니스, 영양 및 화장품 효능을 선호하는 소비자에게 매력적이다.	재생 가능하더라도 대규모 바이오매스 재배에는 상당한 물, 영양분, 에너지가 필요하다.
석유화학 제조보다 탄소 배출이 낮고, 성장 과정에서 CO ₂ 를 흡수하는 재생 원료를 사용해 탄소 격리를 지원한다.	추출 공정은 보통 단일 화합물만을 목표로 하므로 나머지 바이오매스가 버려질 수 있다. 또한 추출 과정에서 목표 저분자 화합물이 손상되거나 파괴될 수 있다.
식물 기반 제품은 대체로 생분해돼 토양과 수생 생태계의 장기적 환경 영향을 줄인다.	화학 제조용 바이오매스 재배에 토지를 사용하면 식량 생산 자원과 경쟁해 식량 불안과 자원 경쟁을 초래할 수 있다.

합성생물학

합성생물학은 유용한 제품과 기능을 만들거나 개선하기 위해 생물학적 시스템을 설계·공학화하는 분야의 총칭이다. 합성생물학은 의학, 식품·농업, 에너지, 환경 등 여러 영역의 문제를 생물학적으로 해결하는 것을 목표로 한다. 대표적 응용 사례로는 동물 조직 샘플에서 배양육을 생산하는 기술과, 유전자 편집 도구를 이용해 다이아몬드의 특성을 가진 늑대 새끼를 만들었다는 Colossal Biosciences의 최근 발표가 언급된다.

합성생물학이 유망한 분야로 평가받는 이유는 일상생활의 기본 방식을 바꿀 잠재력이 있기 때문이다. 첨단 생명공학 도구와 현대 기술 플랫폼을 결합하면 환경 훼손을 줄이고, 자원 효율성을 높여 생산량을 확대하며, 원료 공급 제약을 완화하고, 바이오플라스틱 같은 첨단 생체재료를 개발하며, 건강을 증진하고 수명을 연장하는 개인맞춤형 의약품을 제공할 수 있다.

그 적용 범위는 매우 크다. Boston Consulting Group은 2030년까지 제조 분야의 합성생물학 응용이 세계 경제에서 최대 30조 달러 규모를 차지할 수 있다고 추정한다. McKinsey & Company는 원칙적으로 전 세계 물리적 제품 투입물의 최대 60%를 생물학적 방식으로 생산할 수 있다고 평가했다.

합성생물학의 최근 확장은 현대 기술 플랫폼의 발전, 투자 급증, 글로벌 문제를 해결하려는 공동의 움직임에 힘입었다.

기술 측면에서는 CRISPR-Cas9 유전자 편집, DNA 시퀀싱과 합성, AI 기반 설계, 자동화 바이오파운드리, 합성유전체학, 지향진화, 대사공학 등이 합성생물학의 실질적 응용을 가능하게 했다. 다만 합성생물학 분야 투자는 최근 정체됐다. 2023년 합성생물학 스타트업은 69억 달러 이상을 조달했지만, 2021년의 200억 달러 이상보다 크게 감소했다. 보고서는 여전히 남아 있는 여러 기술적 과제가 초기 플랫폼의 발전과 채택을 늦춘 것이 투자 감소의 한 원인일 수 있다고 본다.

합성생물학의 장기 전망은 여전히 유망하지만 많은 혁신은 연구 또는 파일럿 단계에 머물러 있다. 산업적 규모로 확대하려면 기술적·규제적·경제적 장벽을 넘어야 한다. 플랫폼이 규모 확대 후에도 원가 효율성을 유지할 수 있다는 실질적 증거를 제시하는 기업이 합성생물학 혁명을 주도하게 될 것이라는 것이 보고서의 판단이다.

1 세대 세포 기반 화학 제조

광범위한 성공을 입증하는 데 어려움을 겪은 합성생물학의 한 분야가 1 세대 세포 기반 생화학 제조다. 이 기술은 세포 내부의 대사 경로를 활용하며, 과학자들이 현대 도구를 이용해 미생물을 재프로그래밍함으로써 목표 저분자 화합물을 생산하게 한다.

1 세대 세포 기반 합성생물학은 일반적으로 목표 화합물 생산을 담당하는 효소의 유전자를 찾아 분리하는 것에서 시작한다. 이후 해당 유전자를 미생물 DNA에 삽입해 목표 화학물질을 합성하도록 재프로그래밍한다. 변형된 세포는 바이오리액터에서 배양되며, 세포 성장과 최종 화합물 생산을 촉진하기 위해 당과 같은 영양분을 공급받는다.

처음에는 지속가능한 화학 생산의 유망한 해법으로 주목받았지만, 세포 기반 합성생물학은 경제성과 산업적 채택을 제한하는 여러 한계를 아직 극복하지 못했다. Ginkgo Bioworks와 Zymergen 같은 기업들이 과감한 주장을 내놓았으나, 살아 있는 생물체를 통제하는 고유한 복잡성 때문에 결과의 일관성이 떨어지고 개발비가 높아졌다고 보고서는 평가한다.

세포 기반 바이오제조 기업인 Ginkgo Bioworks와 Codexis의 시가총액은 정점에서 각각 273억 달러와 27억 달러에 달했으나, 보고서 작성 당시에는 각각 4억 6,100만 달러와 2억 1,800만 달러로 하락했다고 서술한다. 이로 인해 많은 투자자와 이해관계자가 큰 손실을 입었고, 지속가능한 생화학 생산에 대한 합성생물학의 단기 전망에도 일부 부정적 인식이 형성됐다고 본다.

장점	한계
전통 화학 제조보다 독성 부산물이 적고 탄소발자국이 작아 더 지속가능한 생산 공정을 제공한다.	세포가 높은 농도의 목표 화합물을 생산하도록 공학화되면 제품 독성이 발생해 추가 생합성이 억제되고 수율이 제한될 수 있다. 세포 조작은 개발기간을 늘리고 실패율을 높일 수 있다.
바이오매스 유래 당과 같은 재생 원료를 사용해 화석연료 의존도를 낮추고 지속가능한 경계를 지원한다.	단일 화합물을 합성하기 위해 수년과 대규모 연구팀이 필요할 수 있어 연구개발 비용이 높다.
유전공학을 통해 세포를 재프로그래밍하면 향상된 특성을 가진 신규 특수화학물질을 생산할 수 있다.	세포는 성장과 기타 대사 활동에도 원료를 소비하며 원치 않는 부산물을 만든다. 생산효율이 낮아지고 후속 정제 공정이 복잡해진다.
비교적 온화한 조건에서 작동하므로 석유화학 합성보다 에너지 사용과 유해 부산물을 줄일 수 있다.	목표 화합물이 세포 고유의 대사산물과 섞인 복잡한 혼합물로 생산되는 경우가 많아 분리·정제가 어렵고 비싸다.

원문 분류

원문은 “eXoZymes Inc.는 합성생물학 기업이 아니다”라고 명시하며, 회사의 플랫폼이 살아 있는 세포를 사용하지 않고 독자적 무세포 엑소자임 시스템을 통해 세포 밖에서 작동한다고 설명합니다.

무세포 시스템

살아 있는 세포의 복잡한 시스템에 의존하는 세포 기반 플랫폼과 달리, “무세포” 기술은 분리된 단백질과 핵산 같은 정제된 비세포성 생물학적 구성요소를 이용해 더 통제된 접근법을 제공한다.

이 기법은 여러 생명공학 도구의 개발을 가능하게 했다. 예를 들어 무세포 DNA/RNA 분석은 진단과 모니터링에서 비침습적 유전 검사를 가능하게 한다. 무세포 단백질 합성은 연구 및 치료제 개발에 필요한 특정 단백질을 통제된 조건에서 생산하게 한다. eXoZymes가 속한 무세포 바이오제조 분야는 살아 있는 생물체 없이 효소를 이용해 저분자 화합물을 생산한다.

이들 응용은 모두 “무세포”라는 용어에 포함되지만, 각각의 목적과 메커니즘, 공정은 근본적으로 다르다는 점이 중요하다.

eXoZymes의 혁신적 플랫폼

eXoZymes Inc.는 살아 있는 세포 밖에서 효소 생체촉매 반응을 수행할 수 있는 무세포 제조 플랫폼을 개발했다. 이는 1 세대 세포 기반 합성생물학과 구별되는 생화학 제조의 새로운 패러다임으로 제시된다. 바이오리액터 안의 화학 반응과 유사하게 작동하며, 회사가 “Exozymes”라고 부르는 공학화 효소를 엑소자임 시스템에 투입해 바이오 기반 원료를 목표 저분자 화합물로 전환한다.

플랫폼의 과학적 배경을 다룬 종합 연구로 「The Bio-inspired Cell-Free Approach to Commodity Chemical Production」이 제시된다. 또한 GEN Biotechnology 저널은 최근 eXoZymes의 표지 기사를 게재했으며, 회사는 이 글에서 “Exozymes”와 “Exozyme Systems”라는 새로운 과학 용어를 소개했다.

효소와 엑소자임

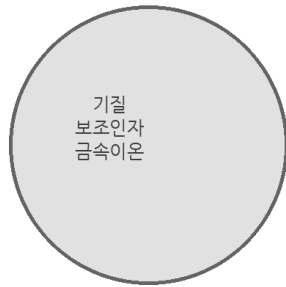
효소는 주로 세포 안에 존재하는 특수 단백질로, 화학적 기질을 분해하고 전환하는 반응을 촉진한다. 이러한 생체촉매는 세포의 생물학적 일꾼으로 불리며 생체촉매 반응의 화학적 전환 속도를 높인다.

세포가 내부 효소를 합성할 때는 DNA의 유전정보를 메신저 RNA(mRNA)로 전사한다. 세포의 작은 단백질 공장인 리보솜은 이 mRNA를 사용해 단백질을 조립하고, 그중 일부가 효소가 된다. 효소는 세포가 온도, pH, 보조인자 수준, 외부 스트레스 차단을 최적으로 유지하는 환경에 적응해 있다. 세포의 통제된 환경을 벗어나면 효소는 빠르게 변성돼 생체촉매로서의 안정성과 효율을 잃을 수 있다.

엑소자임

엑소자임은 세포 밖의 무세포 환경에서 작동해 저분자 화합물을 생산하도록 자연적으로 기능하거나 공학적으로 설계된 효소다. 세포 내 효소와 구별되는 특징은 산업 바이오제조의 가혹한 조건에서도 생체촉매 성능을 유지할 수 있다는 점이다. 이는 일반적인 세포 내 효소라면 성능이 저하될 조건에서 안정성·활성·특이성을 최적화하도록 설계된 특성에 일부 기인한다. 모든 엑소자임은 효소이지만, 모든 효소가 엑소자임에 필요한 특성을 갖는 것은 아니다.

일반 효소



최적화된 엑소자임

AI·효소공학·
지향진화



일반 효소를 산업 조건에 맞는 엑소자임으로 최적화하는 개념도

일반적인 세포외 효소와 최적화된 엑소자임의 차이

효소는 통상 세포 과정과 연관되지만 세포 밖에서의 상업적·산업적 활용도 이미 확립돼 있다. 예를 들어 세탁세제의 최적화된 프로테아제와 리파아제는 의류의 얼룩을 분해하는 단일 생체촉매 공정에 사용된다.

반면 엑소자임은 살아 있는 세포의 복잡한 과정을 모사하면서도 세포 밖에서 효율적으로 작동하는 다단계 생체촉매 반응을 구동한다는 점에서 차별화된다고 보고서는 설명한다.

생체촉매 반응과 엑소자임 시스템

효소 생체촉매 반응이 일어나려면 기질이 효소의 활성부위에 결합해야 한다. 활성부위는 해당 원료 분자와 맞도록 정밀하게 형성돼 있다. 기질이 결합하면 효소가 전이상태를 안정화하고 전자의 재배열을 촉진해 새로운 화학결합을 끊거나 형성한다.

엑소자임 시스템

이러한 반응에는 전자 이동을 지원할 에너지를 공급하기 위해 ATP 나 NADPH 같은 세포성 보조인자가 필요한 경우가 많다. 반응이 끝나면 효소는 중간체를 방출하고 원래 상태로 돌아가 다음 반응을 촉매할 준비를 한다.

초기 원료를 목표 화합물로 전환하려면 여러 효소 경로가 필요하며, 각 모듈이 한 중간체를 다음 중간체로 전환한다.

- 모듈 1: 원료(기질 A) → 중간체 B
- 모듈 2: 기질 B → 중간체 C
- 모듈 3: 기질 C → 중간체 D
- 모듈 X: 기질 X → 목표 화합물

엑소자임 시스템

엑소자임 시스템은 살아 있는 세포 밖에서 가치 있는 저분자를 효율적으로 산업 생산할 수 있도록 엑소자임과 필수 구성요소를 결합한 맞춤형 생화학 경로다. 보조인자, 화학 시약, 환경 제어 요소를 통합해 연속적이고 효율적이며 비용 경쟁력 있는 무세포 바이오제조를 구현하는 것이 핵심 특징이다.

세포 기반 바이오제조의 주요 장벽인 비용과 규모 확대 문제를 완화할 수 있다는 점이 중요한 장점으로 제시된다. 이는 살아 있는 세포의 대사적 제약을 우회할 수 있기 때문이다.

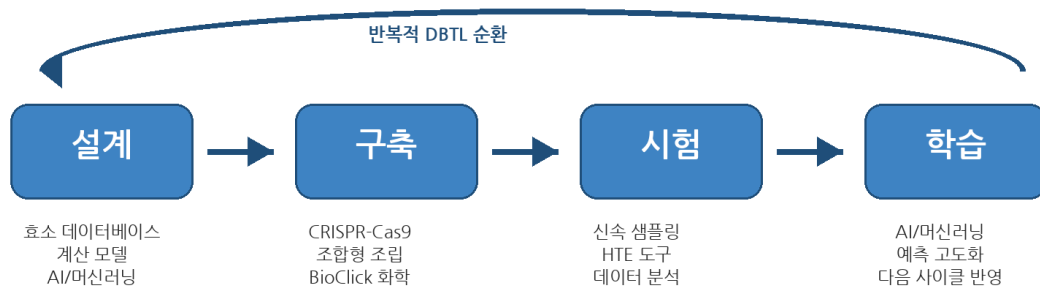
플랫폼의 세 단계

eXoZymes는 무세포 바이오제조 분야의 연구개발 리더십을 구축하기 위해 세 단계의 플랫폼을 개발했다. 최근 노벨 화학상 수상 기술에서 영감을 받은 도구와 독자적인 AI 기반 기술을 결합해 효율적이고 규모 확장이 가능하며 원가 경쟁력이 높은 바이오 제조 플랫폼을 구성한다.

회사는 최근 새로운 목표 화합물을 개념 단계에서 실제 합성까지 수주 만에 개발했다고 설명했다. 이는 전통 화학 및 합성생물학 플랫폼에서 일반적으로 수년이 걸리는 개발기간과 뚜렷한 대조를 이룬다.

1 단계. 엑소자임 설계·개발 주기

eXoZymes의 핵심 강점이자 리더십의 기반은 빠르고 반복적인 설계(Design)-구축(Build)-시험(Test)-학습(Learn), 즉 DBTL 사이클이다. 이 시스템은 가치 있는 데이터와 통찰을 생성해 과학자들이 회사의 엑소자임 시스템에 사용할 효소를 최적으로 공학화하도록 지원한다.



설계-구축-시험-학습이 반복되는 DBTL 사이클

설계: 효소 식별과 최적화

DBTL의 첫 단계는 목표 화합물의 분자구조를 분석해 생체축매 경로와 엑소자임 최적화 등 필요한 엑소자임 시스템 요소를 결정하는 것이다. 회사는 이 정보를 바탕으로 내부·외부 단백질/효소 데이터베이스와 고성능 계산 단백질 설계 모델을 활용해 대규모 라이브러리를 신속하게 스크리닝하고, 이론적으로 목표 화합물을 합성할 수 있는 후보 효소를 찾는다.

초기 후보를 식별한 뒤에는 이전 DBTL 사이클에서 축적된 대규모 데이터로 학습한 독자적 AI/머신러닝 모델을 사용한다. 이 모델은 후보 효소의 구조적·기능적 특성을 분석하고 성능을 높일 수 있는 특정 돌연변이 또는 변형을 제안한다.

효소 최적화 목표
안정성 - 열안정성: 높은 온도에서도 효소 활성을 유지·향상한다.
안정성 - pH 안정성: 넓은 pH 범위에서 효소가 기능하도록 한다.
안정성 - 용매 내성: 유기용매에 대한 저항성을 높인다.
안정성 - 화학적 안정화: 분해를 방지해 효소의 수명을 연장한다.
활성 - 촉매 효율: 회전율을 높여 반응속도를 증가시킨다.
활성 - 기질 친화성: 기질과의 결합 친화도를 높인다.
활성 - 생성물 억제 저항성: 생성물 농도가 높아져도 촉매 활성을 유지한다.
특이성 - 기질 특이성: 부반응을 줄여 목표 제품 수율을 높인다.
특이성 - 위치선택성: 분자의 특정 위치에서 반응이 일어나도록 유도한다.
특이성 - 입체선택성: 거울상 이성질체 순도가 높은 제품을 생산한다.
특이성 - 신규 촉매기능: 자연계에서 발견되지 않는 새로운 변환을 수행하게 한다.

AI 모델을 설계 생태계에 통합함으로써 연구개발 시간을 크게 줄이고 적합한 효소 최적화를 선택할 성공률을 높인다고 회사는 설명한다. AI 기반 접근법을 보완하기 위해 2018년 노벨 화학상과 연관된 지향진화 원리를 활용하며, 표적 유전적 돌연변이를 반복적으로 도입하고 더 우수한 특성을 가진 변이를 선택한다.

구축: 엑소자임의 제작과 준비

구축 단계에서는 설계된 효소를 초고순도·고활성 엑소자임으로 생산한다. 최적화된 엑소자임 단백질을 효율적으로 발현할 수 있는 대장균(*E. coli*) 등의 미생물 숙주를 선택한다. CRISPR-Cas9 유전자 편집 기술을 이용해 미생물 숙주의 유전체를 정밀하게 편집하고 공학화된 엑소자임 유전자를 삽입한다. 이후 변형 미생물을 바이오리액터에서 배양해 원하는 엑소자임을 생산한다.

발효가 끝나면 친화 크로마토그래피, 이온교환 크로마토그래피, 크기배제 크로마토그래피 등의 방법으로 합성된 엑소자임을 정제한다. 이를 통해 불순물이 제거된 고순도·고활성 엑소자임을 얻는다.

최적의 반응조건을 빠르게 찾기 위해 회사는 생체직교 클릭화학에서 영감을 받은 BioClick 플랫폼을 사용한다. 이 기술은 엑소자임의 정밀성을 활용해 목표 화합물에 특정 작용기를 전달하는 반응을 수행한다. 또한 엑소자임을 고체 지지체에 고정하는 기술을 적용해 여러 배치에서 재사용할 수 있도록 하고 생산비를 낮춘다.

목표 화합물이 아직 연구개발 단계에 있기 때문에 회사는 연구와 후속 개발에 필요한 마이크로그램 규모의 엑소자임만 생산한다고 원문은 설명한다.

시험: 고속·대량 실험

시험 단계에서는 공학화된 엑소자임 시스템과 각 구성요소를 바이오리액터 조건에서 평가해 추가 최적화에 가장 적합한 후보를 식별한다.

eXoZymes는 AI 모델을 이용해 엑소자임 농도, 기질 종류, 보조인자 수준, 반응조건 등을 달리한 수백 개의 실험 파라미터를 제안한다. 이후 고속·대량 실험(HTE)을 통해 여러 실험을 병렬로 수행하고 방대한 엑소자임 시스템 조합을 탐색한다. 실험 설정의 정밀도를 높이기 위해 자동 액체 취급 로봇을 사용한다. 원문에는 “liquidity-handling”이라고 표기돼 있으나 문맥상 liquid-handling을 의미한다.

각 실험에서는 반응속도, 제품 수율, 생산농도 등 핵심 생체촉매 플렉스 지표를 질량분석 등의 기법으로 측정한다. 여러 실험을 병렬로 수행하면 연구개발 속도와 효율이 크게 높아지고 실험당 비용이 낮아진다.

학습: 데이터 축적과 반복 개선

시험 단계에서 생성된 방대한 실험 데이터는 eXoZymes의 AI 모델에 통합되며, 모델은 수백 개 실험에서 미세한 패턴과 관계를 찾아낸다.

예를 들어 특정 효소 돌연변이가 엑소자임의 안정성이나 활성을 반복적으로 높인다는 사실을 AI가 발견하면, 다음 설계 단계에서 해당 돌연변이를 우선적으로 검토한다.

시험 데이터는 eXoZymes의 연구개발을 지속적으로 정교화하고 가속한다. DBTL 사이클이 반복될수록 AI 모델의 최적화 추천 정확도와 예측력이 개선된다. 보고서는 이렇게 축적된 내부 데이터베이스를 더 복잡한 화학 합성 과제를 효과적으로 해결하게 하는 중요한 전략 자산으로 평가한다.

2 단계. 엑소자임 생산 규모 확대

DBTL 사이클에서 확보한 실험실 규모 합성을 바탕으로, 2 단계는 상업 수요를 충족할 수 있도록 엑소자임 생산을 확대하는 데 초점을 둔다.

회사는 비교적 표준적인 바이오리액터 인프라에서 미생물 숙주를 발효해 필요한 엑소자임을 합성한다. 발현된 엑소자임은 세포 수확, 세포 파쇄, 크로마토그래피, 동결건조 등의 전문 공정을 거쳐 회수·정제된다.

캘리포니아 몬로비아에 있는 현재 시설은 초기 시장 수요를 충족할 수 있지만, 바이오연료 같은 대량 응용 분야에 필요한 규모로 확대하려면 대규모 바이오리액터와 정제 시스템이 필요하다. 향후에는 Novozymes 같은 선도 효소 제조사와의 파트너십을 통해 비용 효율적으로 산업 규모의 엑소자임을 생산할 계획이다.

3 단계. 엑소자임 시스템 합성 공정

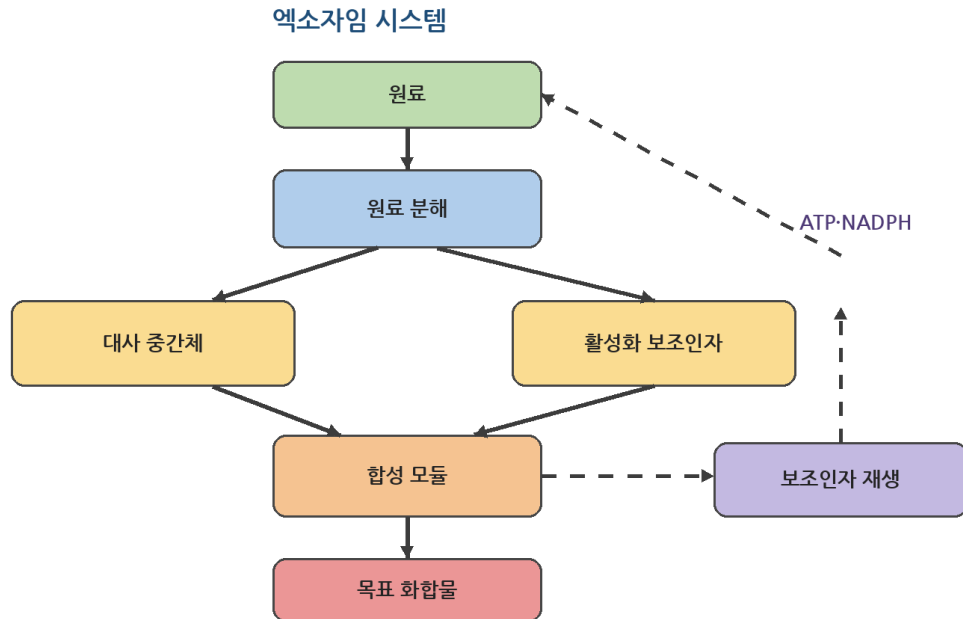
목표 화합물을 합성하기 위해 바이오 기반 원료, 최적화된 엑소자임, ATP·NADPH 같은 고에너지 보조인자의 촉매량, 기타 시약을 바이오리액터에 투입해 생체촉매 사이클을 시작한다. 사용되는 원료는 목표 화합물에 따라 달라지며, 옥수수 유래 포도당이나 사탕수수 유래 자당 등이 포함될 수 있다.

엑소자임은 정밀하게 설계된 모듈형 경로를 따라 원료를 단계적으로 전환한다. 각 생체촉매 모듈에서는 온도와 pH 같은 바이오리액터 조건을 최적화해 전환효율을 극대화한다. 목표 화합물의 분자적 복잡성에 따라 몇 개 모듈만 필요할 수도 있고, 의약품처럼 복잡한 물질은 30 단계 이상이 필요할 수 있다.

엑소자임 시스템 합성 공정의 완성

전체 생체촉매 사이클이 끝나면 합성된 화합물을 바이오리액터에서 회수한다. 반응 혼합물에 엑소자임, 보조인자 및 기타 부산물의 흔적이 남을 수 있으므로 여과와 재결정 같은 후속 정제 공정이 필요할 수 있다. 그러나 eXoZymes 플랫폼은 이론적 한계에 가까운 수율을 달성할 수 있어 목표 화합물의 농도와 순도가 매우 높다고 보고서는 설명한다.

생체촉매 사이클을 장기간 효율적으로 운영하려면 ATP와 NADPH 같은 보조인자를 사용 후 형태인 ADP와 NADP+에서 다시 재생해야 한다. 이를 위해 eXoZymes는 주 반응 사이클 옆에 ADP를 ATP로, NADP+를 NADPH로 되돌리는 별도의 모듈형 경로를 개발했다. 또한 퍼지 밸브와 분자 레오스탯 같은 독자적 자동조절 시스템을 적용해 보조인자 수준을 균형 있게 유지하고, 플랫폼을 중단하지 않은 채 장기간 합성을 수행하도록 한다.



원료 전환, 합성 모듈, 보조인자 재생이 결합된 엑소자임 시스템 개념도

3 단계의 목표 화합물 합성은 비교적 표준적인 바이오리액터 인프라에서 수행할 수 있다. 살아 있는 생물체를 유지하기 위한 특수 장비가 필요한 세포 기반 시스템과 달리, 이 플랫폼의 차별성은 정밀하게 설계된 엑소자임과 시약에 있다. 따라서 맞춤형·고자본 설비 없이도 복잡한 합성과 높은 수율을 구현할 수 있다고 보고서는 주장한다.

eXoZymes 플랫폼을 통한 글로벌 전환

eXoZymes의 사명은 접근 가능하고 지속가능하며 혁신적인 바이오제조 해법을 통해 세계를 변화시키는 것이다. 보고서는 이 플랫폼이 전통 화학 생산 방식의 여러 한계를 극복하고 현대 생활에 필수적인 화학물질을 만드는 새로운 기준을 세울 수 있다고 평가한다.

eXoZymes 플랫폼의 장점

eXoZymes 플랫폼의 장점
높은 수율과 생산농도: 원료의 상당 부분을 목표 화합물로 전환해 이론적 한계에 가까운 수율과 높은 생산농도를 달성할 수 있다. 회사는 뉴트라슈 티컬 화합물에서 95% 이상의 순도를 달성했고 단기적으로 99.5%의 의약품급 품질을 목표로 한다.
원료 효율성: 세포 기반 시스템에서는 원료의 상당 부분이 세포 성장과 복제 등 세포 활동에 소비된다. 반면 eXoZymes 플랫폼은 원료의 최대 95%를 목표 화합물로 직접 전환해 생산효율을 높이고 원료비를 줄일 수 있다고 설명한다.
화학 합성 기회: 첨단 엑소자임 공학을 통해 자연계에 존재하지 않는 완전히 새로운 화합물을 제조하거나 기존 화합물의 유사체 성능을 조정할 수 있다. 이는 신약 연구, 재료과학, 특수화학 분야의 혁신을 지원할 수 있다.
최적화된 연구개발: 1 단계 연구개발은 전통 합성생물학보다 빠르고 비용 효율적이며, 화합물 개발기간을 수년에서 수주로 줄일 수 있다고 회사는 주장한다. AI와 고속·대량 실험을 통해 빠른 반복과 실시간 데이터 분석이 가능하며, 장기적으로 하나의 화합물 개발에 2~3 명의 과학자만 필요하도록 하는 것이 목표다.
정밀 제어: 최적화된 엑소자임, 정밀한 모듈형 경로, 온도·pH·보조인자 수준 등의 반응조건을 조정해 촉매 효율과 제품 순도를 높일 수 있다.
규모 확장성: 영양분 소비, 오염, 분자 폐기물, 전단 스트레스 등 복잡한 세포 환경을 관리할 필요가 없다. 표준 바이오리액터와 유사한 방식으로 필요한 구성요소를 정밀 농도로 투입하며, 문제가 생기면 합성 단계별로 원인을 빠르게 찾고 해결할 수 있다고 설명한다.
모듈형 공급: 전통 바이오리액터가 드물게 대형 배치를 생산하는 방식과 달리, 수요에 맞춘 유연한 주문형 합성이 가능하다. 예를 들어 파트너가 월 100 리터를 필요로 하면 주당 25 리터씩 생산하거나 한 번의 가속 배치로 100 리터를 공급할 수 있다.
낮은 자본비용: 복잡한 살아 있는 세포 배양 시스템 대신 표준 바이오리액터에 통합할 수 있다. 단순한 설계와 높은 수율 덕분에 더 작고 저렴한 장비를 사용할 수 있어 초기 인프라 투자와 소규모·특수 생산의 운영비를 낮출 수 있다.
지속가능한 원료: 다양한 고품질 바이오매스 원료를 사용할 수 있어 화석연료와 가혹한 화학물질 의존도를 줄이고 더 지속가능한 산업 생산을 지원한다.

플랫폼 개발 여정

eXoZymes의 개발은 현재 연구 부사장인 Tyler Korman이 2008년 합성생화학 연구의 세계적 중심지로 소개되는 UCLA James Bowie 연구실에 합류하면서 시작됐다. 당시 연구팀은 미국 에너지부(DOE)의 지원을 받아 세포 기반 바이오연료 해법을 연구했다. 결과는 고무적이었지만 세포 기반 공정의 복잡성이 시스템의 중대한 한계를 드러냈다.

2013년 Bowie 교수는 Korman 박사와 현재 개발 부사장인 Paul Opgenorth 박사에게 무세포 대사공학으로 연구 초점을 전환하도록 지시했다. 이후 연구팀은 혁신적이고 특허화된 바이오제조 플랫폼을 연구·확립·개선했다. Nature Chemical Biology와 Nature Communications를 포함한 주요 과학 저널에 연구 결과를 발표하기 시작했다.

2019년 MDB Capital은 ARPA-E Energy Innovation Conference에서 초기 플랫폼 기술 개념을 발견했다. 당시에는 정식 기업 구조와 상업화 전략이 없었지만 MDB는 잠재력을 인식하고 Invizyne Technologies, 즉 현재의 eXoZymes Inc. 설립을 지원했다. MDB Capital 공동창업자인 Chris Marlett와 Anthony DiGiandomenico는 UCLA 기술 라이선스와 회사 설립을 위해 590만 달러를 투자했다.

2024년 11월 eXoZymes Inc.는 나스닥에 상장하며 1,500만 달러를 조달했다. 2025년 2월에는 Invizyne Technologies에서 eXoZymes Inc.로 사명을 변경했다.

상업화 전개

eXoZymes Inc.는 현재 바이오제조 플랫폼의 세 단계와 관련된 연구개발을 주로 수행한다. 현 시설에서 소량의 목표 화합물을 합성할 수 있지만, 향후에는 기존 바이오제조 인프라에 회사 플랫폼을 통합할 산업 파트너와 전략적으로 협력할 계획이다. 이를 통해 회사는 플랫폼의 변혁적 잠재력을 극대화하는 데 집중할 수 있다고 설명한다.

상업화 모델과 초기 시장

이러한 “픽앤쇼블(Pick & Shovel)” 접근법은 회사가 자본 효율성을 유지하면서 상당한 매출 기회를 만들고 주주가치를 제공하도록 설계됐다.

보고서 작성 시점에 eXoZymes 플랫폼은 100 건이 넘는 활발한 논의를 진행하고 있었고, 직전 주 SynBioBeta Conference 에서 35 개의 신규 파트너 후보를 추가로 확보했다고 설명한다. 기업들이 eXoZymes 를 찾는 이유는 대체로 다음 세 가지다.

1. 기존 방식으로 특정 화합물을 바이오제조할 수 없거나 제조가 매우 어렵기 때문
2. 신규 화합물을 개발하거나 기존 화합물의 특성을 개선하려 하기 때문
3. 기존 제조 방식의 경제성이 낮아 생산비를 줄여야 하기 때문

플랫폼에 대한 광범위한 관심을 바탕으로 회사는 재무적·운영상 이해와 주주가치 사이의 균형을 고려해 다양한 상업화 경로를 평가하고 있다.

초기 목표 시장으로는 저용량·고부가가치 화합물 수요가 있는 뉴트라슈티컬 및 제약 잠재력이 있는 분야를 선정했다. 이는 현재 킬로그램 규모의 화합물을 합성할 수 있는 회사 역량과 부합한다. 또한 DOE 산하 NREL 의 지원을 받아 지속가능항공유용 이소부탄올 같은 바이오연료를 또 하나의 초기 시장으로 설정했다.

운영 역량이 확대되면 식품, 향미·향료 시장과 산업용·특수화학물질처럼 대량·저가 시장으로 상업적 적용을 넓힐 계획이다. 플랫폼 자체는 규모 확장성이 있다고 주장하지만, 이들 시장은 미터톤 단위의 화합물을 필요로 하므로 초기 상업화 범위를 넘어선다.

플랫폼의 기초과학은 개발 측면에서 성숙했다고 회사는 판단하지만, 본격적인 성장은 파트너십 계약이 시작된 이후 발생할 것으로 예상한다. 이에 따라 현재 31 명인 팀도 거래 확대와 함께 확장할 계획이다.

초기 뉴트라슈티컬·제약 시장을 대상으로 하려면 eXoZymes 플랫폼은 안전성, 유효성, 품질에 관한 FDA 의 의약품 제조 및 품질 관리기준(GMP)을 준수해야 한다. 제약 파트너십의 화합물은 장기간이 소요될 수 있는 FDA 승인 절차도 거쳐야 한다. 원문은 이 점을 오히려 회사가 해당 산업을 일찍 공략해 더 빠르게 매출 기회를 확보하려는 주요 이유 중 하나로 설명한다.

전략적 파트너 선정

개발된 화합물을 상업화하려면 적절한 파트너와의 협력이 중요하다. 회사가 파트너의 적합성과 전략적 정렬을 평가할 때 고려할 수 있는 요소는 다음과 같다.

제조 전문성 상업 수요를 충족할 인프라와 대규모 화학물질 생산 실적	기존 유통망 핵심 시장에서 빠르게 제품을 적용하고 고객에게 도달할 강력한 네트워크	기술적 깊이 제품 분야와 관련된 전문성을 바탕으로 개발에 실질적으로 기여할 역량
혁신 중심 사고 기존 방식보다 최첨단 바이오솔루션 개발과 기술 진보를 우선하는 태도	전략적 성장·확장 운영 규모 확대와 고부가가치 시장 진입을 통한 지속가능한 성장 의지	규제·컴플라이언스 전문성 글로벌 규제 요건에 대한 깊은 이해와 승인 확보 경험
협업적 접근 개방적 소통과 아이디어 교환, 공동 문제 해결을 장려하는 문화	문화적 정렬 신뢰와 존중을 만드는 가치관, 의사결정 방식, 업무윤리의 일치	위험관리·컴플라이언스 운영·사업 위험을 선제적으로 식별·관리하는 체계와 책임성

스핀아웃

스핀아웃 거래는 eXoZymes가 높은 시장 관심과 고부가가치 잠재력을 가진 화합물을 식별했을 때 추진된다. 회사는 1 단계에서 설명한 방식으로 해당 화합물에 대한 연구개발을 시작해 엑소자임 시스템의 과학적 타당성과 실험실 규모 생산 능력을 입증한다.

실험실 검증을 완료하면 모회사와 분리된 완전자회사를 설립한다. 개발된 화합물 자산과 관련 독점 권리를 자회사로 이전하고, eXoZymes는 자금, 플랫폼 접근권, 기술 지원을 계속 제공한다.

화합물이 추가 마일스톤을 달성할수록, 예를 들어 eXoZymes 실험실에서 10kg을 합성할 수 있게 될수록 기초 자산과 자회사의 경제적 가치가 증가한다. 모회사 내부에서 자산의 상업가치가 거의 최대치에 도달했다고 판단하면, 외부 파트너에게 일부 지분을 매각하는 방식으로 자회사를 스핀아웃한다. 외부 파트너는 추가 전문성을 제공해 상업 자산의 가치를 더 높인다.

자회사에서 매각하는 지분 비율은 시장 기회의 중요성과 화합물 자산의 개발단계에 따라 달라진다.

eXoZymes는 최근 첫 완전자회사 NCTx를 출범시켰으며, 보고서는 이를 기술 플랫폼 상업화로 전환하는 이정표로 설명한다.

NCTx 외에도 회사는 화합물 자산 포트폴리오를 개발하고 있으며, 자회사로 이전하기 전에 각 자산의 기초 경제가치를 높이는 전략을 추진한다.

합작법인

eXoZymes는 화합물 자산의 상업화를 위해 합작법인(JV) 파트너십도 추진할 계획이다. 스핀아웃이 회사의 연구개발을 통해 자산 가치가 거의 최대치에 도달한 뒤 파트너가 참여하는 구조라면, JV는 자산 개발의 훨씬 이른 단계에서 파트너가 참여한다.

합작법인은 eXoZymes의 연구개발 역량과 파트너의 보완적 전문성을 결합한다. 시장 기회에 따라 파트너를 조기에 참여시키면 자산의 상업적 성공 가능성을 높이고 개발 위험을 분산하며 경제적 가치를 크게 높일 수 있다.

JV를 시작할 때는 별도 법인을 설립하고 지분율을 기준으로 비용 부담과 이익 배분 구조를 정한다. eXoZymes는 계속 자산을 개발하고 화합물의 성능을 최적화하며 시장 경쟁력을 강화해 상업적 성공 가능성을 높인다.

최근 투자자 웨비나에서 회사는 같은 해 후반 첫 합작법인 파트너십을 발표할 것으로 예상했으며, 파트너가 글로벌 뉴트라슈티컬/제약 분야의 선도기업일 가능성을 시사했다고 보고서는 서술한다.

라이선스 계약

향후 eXoZymes의 플랫폼이 글로벌 화학 바이오제조 분야의 선도 기술로 인정받으면, 회사는 더 넓은 상업화 전략의 일부로 라이선스 계약을 추진할 계획이다.

라이선스 계약은 외부 파트너에게 eXoZymes 플랫폼을 기존 바이오제조 공정에 통합할 권리를 부여한다. 그 대가로 회사는 선급 금이나 자산 판매·사용에 따른 로열티를 받을 수 있다. 라이선스는 비교적 낮은 위험으로 플랫폼의 적용 범위와 매출을 확장하는 방법으로 제시된다.

시장 기회와 물량 수요에 따라 독점 또는 비독점 계약을 체결할 수 있다. 라이선스 사용자는 제조, 유통, 고객 관리를 담당하고, eXoZymes는 기술 지원을 계속 제공한다.

NCTx - eXoZymes 의 첫 자회사

eXoZymes Inc.는 최근 N-trans-caffeoyltyramine(NCT)의 개발·생산에 초점을 둔 첫 자회사 NCTx, LLC 를 설립했다. 이 생리 활성 화합물은 다양한 뉴트라슈티컬 및 제약 활용 가능성으로 관심을 받고 있다.

eXoZymes 플랫폼은 NCT 화합물을 개념 단계에서 목표 합성 실증까지 불과 6 주 만에 개발할 수 있게 했다고 회사는 설명한다. 이는 바이오테크와 합성생물학 분야에서 흔히 수년 단위의 화학 개발기간에 비해 플랫폼의 연구개발 효율성을 보여주는 사례로 제시된다.

N-trans-caffeoyltyramine

NCT 는 대마씨 껍질, 구기자(Lycium chinense), 남가새(Tribulus terrestris) 등 다양한 식물에서 자연적으로 발견되는 화합물이다.

대마씨 껍질이 가장 높은 NCT 농도를 가진 것으로 알려졌지만, 2019 년 연구에서 최고 농도는 100g 당 83.2mg, 즉 0.0832% 에 불과했다. 껍질이 대마 전체 바이오매스에서 차지하는 비중도 작기 때문에 식물 전체의 NCT 농도는 더욱 낮다. 따라서 충분한 양의 NCT 를 추출·정제하는 일은 매우 어렵고 비용이 높다.

상업적 활용

NAFLD/MASLD 및 MASH 치료 가능성

연구는 비알코올성 지방간질환(NAFLD, 현재는 주로 MASLD 로 불림)과 더 심한 형태인 대사이상 관련 지방간염(MASH)에서 NCT 가 잠재력을 가질 수 있다는 근거를 제시했다. 이 질환들은 간에 지방이 과도하게 축적되는 상태다. MASLD 는 전 세계 인구의 30% 이상과 미국에서 1 억 명 이상에게 영향을 미치는 가장 흔한 만성 간질환으로 설명된다. 간경변, 간부전, 간암, 간이식 필요성, 조기 사망 위험과 연관되므로 효과적인 치료법이 필요하다.

마우스 연구에서 NCT 는 HNF4α 단백질에 작용해 지방 분해 과정인 리포파지를 촉진하고 미토콘드리아 기능을 강화해 지방 연소를 더 효율적으로 만든 것으로 제시됐다. 10 주 동안 고지방식이와 NCT 를 함께 섭취한 마우스는 고지방식이지만 섭취한 마우스보다 체중이 10g 적었으며, 체중 차이는 35~40%에 해당했다. 별도의 연구에서는 NCT 가 리포파지를 통해 간 지방 축적을 되돌리고 간 손상과 관련된 혈액 지표를 낮췄다고 보고됐다.

보고서 작성 시점에 MASLD 치료는 주로 식단과 운동 같은 생활습관 개선에 의존하고 있으며, MASLD 자체에 승인된 특정 약물은 없다고 설명한다. 다만 제 2 형 당뇨병 약물과 비타민 E 가 간 건강에 간접적인 도움을 줄 수 있다고 덧붙인다.

NCT 의 시장 및 장 건강 활용 가능성

FDA 는 최근 MASH 를 직접 치료하는 첫 치료제로 Rezdiffra™를 승인했으며, 여러 후기 임상 약물이 개발 중이어서 관련 시장이 확대될 것으로 예상된다. 비만과 당뇨병의 세계적 증가를 배경으로 MASLD 치료 시장은 2025 년 234 억 달러에서 2030 년 369 억 4,000 만 달러로 성장할 것으로 전망된다. NCT 의 비만·체중관리 활용도 유망한 연구 분야로 제시되며, 해당 치료 시장은 2030 년 1,000 억 달러에 이를 것으로 예상된다.

장 건강 및 IBD 지원

NCT 가 장 건강과 IBD 에 유의미한 이점을 제공할 가능성을 보여주는 근거도 있다고 보고서는 설명한다. 원문은 IBD 를 “Irritable Bowel Disease”라고 표기했지만, 통상 IBD 는 염증성 장질환(Inflammatory Bowel Disease)을 의미한다. IBD 는 위장관의 만성 염증성 질환으로 복통, 설사, 직장 출혈 등의 증상을 일으키고 협착과 대장암 위험을 높일 수 있다. 전 세계적으로 450 만 명이상이 IBD 를 앓는 것으로 제시된다.

고지방식이와 NCT 를 함께 섭취한 마우스의 전임상 연구에서는 장 염증과 관련된 여러 유전자의 발현이 증가한 것으로 나타났다고 원문은 서술한다. 또한 NCT 는 장 장벽을 유지하고 항균 펩타이드를 분비하는 데 중요한 Paneth 세포의 기능을 지원한 것으로 제시됐다. 3 주간의 인체 연구가 NCT 가 장 장벽 기능에 미치는 영향을 탐색 중이라고 설명한다.

장 투과성 이상과 IBD 의 현재 치료에는 항염증제, 면역억제제, 프로바이오틱스와 커큐민 같은 뉴트라슈티컬이 포함된다. Brightseed Bio Gut Fiber™는 보고서 작성 시점에 소량의 NCT 를 함유한 유일한 시판 제품으로 소개된다.

더 넓은 장 건강 치료 시장은 2023 년 517 억 달러에서 2032 년 1,064 억 달러로 성장할 것으로 전망된다. IBD 치료 시장도 2024 년 229 억 달러에서 2033 년 339 억 달러로 확대될 것으로 예상된다.

상업 파트너

NCT 를 상업 유통하기 위해 eXoZymes Inc.는 NCTx, LLC 의 지분 일부를 매각하고, 신속한 시장 진입과 판매 성공에 필요한 전문성을 제공할 파트너를 유치할 가능성이 높다고 보고서는 전망한다.

회사는 우선 뉴트라슈티컬 시장을 공략하고, NCT 제품이 FDA 의 GRAS(일반적으로 안전하다고 인정되는) 원료 지위를 얻는 것을 목표로 한다. FDA 가 통지에 응답하는 데 최대 180 일이 걸릴 수 있다고 설명한다.

또한 eXoZymes 플랫폼은 엑소자임을 공학적으로 조정할 수 있으므로 성능이 크게 향상된 NCT 유사체를 합성할 수 있다. 다만 이러한 유사체를 질병 치료·예방에 사용하려면 광범위한 임상시험과 FDA 승인이 필요하다.

초기 시장 적용 분야

뉴트라슈티컬 원료

총주소시장(TAM): 1,050 억 달러

건강과 웰니스가 전 세계 생활양식의 중요한 기준이 되면서, 뉴트라슈티컬 화합물은 영양과 건강 효능을 결합한 제품을 제공한다. 이 산업은 비타민, 미네랄, 항산화제, 허브 추출물 같은 생리활성 성분을 농축한 건강보조식품, 기능성 식품, 음료를 생산한다.

엄격한 임상시험과 승인 절차가 필요한 제약 산업과 달리, 뉴트라슈티컬 화합물은 상대적으로 가벼운 규제를 적용받아 시장 진입이 빠르다. 미국 FDA의 GRAS 기준은 정확한 표시, 안전성 시험, 품질관리를 요구해 높은 화합물 순도를 확보하도록 한다고 보고서는 설명한다.

뉴트라슈티컬 산업은 식물 원료에서 추출하거나 합성한 고품질·저용량 화합물에 의존한다. 하나의 화합물이 여러 제품에 사용되는 경우가 많아 매력적인 상업 거래 기회를 제공한다.

기존 생산 방식은 식물 추출의 낮은 수율, 높은 원료비, 기후변화에 따른 지속적 공급 제약, 불규칙한 배치 생산 등의 문제를 안고 있다. 뉴트라슈티컬 화합물은 안정성이 낮고 유통기한이 짧은 경우도 많다.

eXoZymes 플랫폼은 높은 화합물 수율과 생산농도를 통해 이익률을 높일 수 있다고 제시된다. 널리 이용 가능한 바이오매스 원료를 사용해 인삼뿌리 같은 희귀·고가 원료 의존도를 낮출 수 있다. 또한 화합물의 생체이용률과 흡수를 높이고 자연계에 없는 신규 화합물을 합성할 수 있으며, 식물 수확철과 무관하게 연중 주문형 생산을 제공할 수 있다.

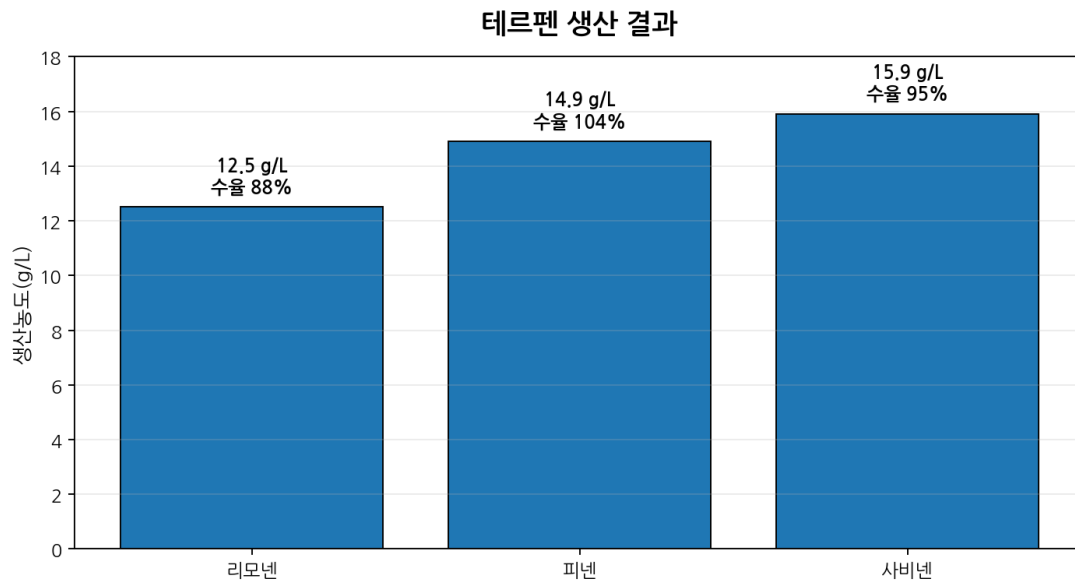
과학 보고서 - 테르펜

2017년 Korman, Oppenorth, Bowie는 27개의 엑소자임과 저가 포도당 원료를 이용해 5일 동안 리모넨, 피넨, 사비넨을 생산하는 플랫폼의 능력을 입증한 과학 보고서를 발표했다.

테르펜은 특유의 향을 내는 천연 화합물이다. 리모넨은 감귤·레몬·오렌지 향, 피넨은 소나무 향, 사비넨은 향신료·목재·감귤 계열 향을 낸다. 식품 향미, 향료, 범용화학물질, 의약품, 바이오연료 등 다양한 산업에서 사용된다.

연구에서 제시된 결과는 다음과 같다.

- 리모넨: 수율 88%, 생산농도 12.5g/L
- 피넨: 수율 104%, 생산농도 14.9g/L
- 사비넨: 수율 95%, 생산농도 15.9g/L



2017년 연구에서 보고된 테르펜 생산농도와 수율

엑소자임 시스템은 5일 동안 연속 작동했으며 추가 엑소자임, 보조인자, 시약 투입이 필요하지 않았다. 원문은 이를 플랫폼의 운영 효율성과 비용 효율성의 증거로 설명한다. 발표된 결과는 세포 독성과 기질 경쟁 문제를 겪는 세포 기반 테르펜 생산보다 한 자릿수 이상 높은 수준이었다고 주장한다.

2017년 보고서는 엑소자임 시스템과 개별 엑소자임을 추가 최적화하면 성능을 더 높이고 세스퀴테르펜과 디테르펜 같은 추가 테르펜 화합물도 합성할 수 있다고 제안했다.

제약/원료의약품

원료의약품(API) 총주소시장: 2,550 억 달러

제약 산업은 인간의 건강을 증진하고 지원하는 의약품의 연구·개발·유통을 담당하는 글로벌 보건 시스템의 핵심 요소다. 원료의약품(API)은 의약품에서 의도된 치료효과를 제공하는 생리활성 화합물이다.

API 산업은 일반적으로 소량의 초고순도 화합물을 생산한 뒤 이를 정제나 알약 같은 최종 제품으로 제형화한다. API 기업은 안전성, 품질, 유효성을 확보하기 위해 FDA 나 유럽 EMA 의 엄격한 규제를 따라야 한다. API 규제 절차에는 수년의 연구개발과 임상 시험이 필요할 수 있으며, 승인이 보장되지 않는다.

API 산업은 실험실에서 상업 물량으로 생산을 확대하기 어렵다는 문제를 안고 있다. 신규 API 개발에는 오랜 시간과 높은 비용이 필요하다. 배치 간 순도를 일관되게 유지하면서 엄격한 규제를 충족하기도 어렵다. 또한 API 의 약 70%가 석유화학 원료에서 유래하며, 이는 제약기업 배출량의 25%, 전 세계 탄소배출량의 약 1%에 해당한다고 보고서는 제시한다.

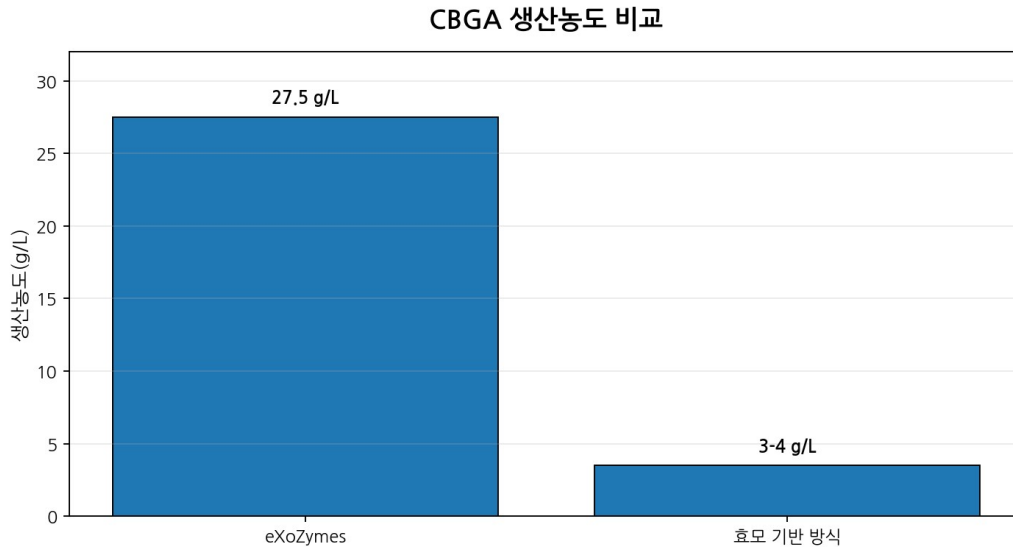
eXoZymes 플랫폼은 현재 95% 이상의 화합물 순도를 달성할 수 있고 99.5%를 목표로 하므로, 후속 정제 필요성과 잠재적 약물 부작용을 줄일 수 있다고 주장한다. 플랫폼 설계상 API 제조사는 신약발굴 결과를 실험실에서 완전한 상업 생산으로 원활하게 전환할 수 있다고 설명한다. 모듈형 생산으로 주문 변동에 대응하고 과잉생산이나 재고에 묶이는 자본을 줄일 수 있으며, 빠른 화학 개발기간은 규제 제출을 앞당겨 의약품을 환자에게 더 일찍 제공할 수 있다는 것이 보고서의 논리다.

과학 보고서 - 칸나비노이드

Korman, Bowie 및 연구팀은 플랫폼이 여러 칸나비노이드 화합물을 합성할 수 있음을 보여주는 두 편의 과학 보고서를 발표했다.

1. 「A cell-free platform for the prenylation of natural products and application to cannabinoid production」(2019) - 천연물의 프레닐화와 칸나비노이드 생산에 적합한 무세포 플랫폼
2. 「A bio-inspired cell-free system for cannabinoid production from inexpensive inputs」(2020) - 저가 원료로 칸나비노이드를 생산하는 생체모방 무세포 시스템

첫 연구에 이어 2020년에는 엑소자임 시스템을 추가 개선해 칸나비게롤산(CBGA)을 27.5g/L의 생산농도로 만들었다. 이는 효모 기반 칸나비노이드 합성 방식의 3~4g/L보다 약 7배 높은 수치로 제시된다. 플랫폼은 12개의 엑소자임과 저가 원료를 사용했으며 칸나비게로바린산(CBGVA)도 합성할 수 있었다.



CBGA 생산농도: eXoZymes 27.5g/L 대 효모 기반 방식 3~4g/L

CBGA와 CBGVA는 THC, CBD, CBC, THCV를 비롯해 다양한 생물학적 특성을 가진 100종 이상의 희귀 피토칸나비노이드 생산에 사용되는 전구체다.

eXoZymes는 엑소자임을 공학적으로 최적화해 자연계에 존재하지 않는 완전히 새로운 칸나비노이드도 합성할 수 있다고 설명한다. 이러한 신규 변이 화합물은 서로 다른 분자구조와 고리 구성을 가질 수 있으며, 칸나비노이드 치료제의 새로운 의학적 효능을 열 가능성이 있다.

회사는 과거 플랫폼이 칸나비노이드 1kg을 1만 달러 미만에 생산할 수 있고, 장기적으로 1,000달러 미만으로 비용을 낮출 로드맵이 있다고 보고했다. 반면 추출이 어려운 칸나비노이드의 당시 시장가격은 kg당 2만 5,000~5만 달러로 제시된다.

THC 대량 제조 허가

eXoZymes Inc.는 2022년부터 미국 규제상 Schedule I 통제물질인 테트라하이드로칸나비놀(THC)의 대량 제조 허가를 보유하고 있다. 엄격한 법률·규제 요건을 충족한 뒤 THC를 대량 생산·판매할 수 있다는 설명이다. 글로벌 칸나비노이드 시장은 당시 470억 달러이며 2029년 1,010억 달러로 성장할 것으로 전망됐다.

에너지 전환/바이오연료

총주소시장(TAM): 1,670 억 달러

바이오연료는 식물 바이오매스, 농업 폐기물, 조류 등 유기물에서 생산하는 저탄소 액체연료 및 혼합용 물질이다. 대표적 바이오연료인 에탄올은 식물 전분과 당에서 생산되며, 차량용 E10 연료에는 에탄올 10%와 휘발유 90%가 혼합된다. 바이오연료는 재배·가공·연소 전 생애주기에서 화석연료보다 탄소배출이 낮고 사용 시 황산화물도 대체로 적게 배출한다.

이소부탄올

관심이 커지고 있는 바이오연료 중 하나는 n-부탄올의 이성질체인 이소부탄올이다. 에탄올과 유사한 원료로 생산한다. 에너지 밀도는 33MJ/L로 휘발유의 34MJ/L와 비슷하고 에탄올의 23MJ/L보다 높다. 또한 에탄올보다 부식성이 낮고 기존 연소엔진과 파이프라인 유통 인프라를 이용할 수 있다.

이소부탄올은 Bu16, 즉 부탄올 16%와 휘발유 84%를 혼합한 연료에 사용되며, 생애주기 온실가스를 20% 줄이는 재생연료 기준에 해당한다고 설명한다.

새로운 활용 분야는 지속가능항공유(SAF)다. 항공산업은 전 세계 이산화탄소 배출의 2%를 차지하며, 국제항공운송협회(IATA)는 2050년 탄소 순배출 제로를 목표로 한다. 이 목표의 핵심에는 지속가능한 원료와 생산방식으로 만든 저탄소 대체 항공유인 SAF가 있다.

유럽은 2050년까지 유럽 기반 항공사들이 제트연료에 SAF를 최대 70% 사용하도록 의무화했다. 보고서 작성 당시 SAF 사용 비중이 0.2%에 불과했다는 점을 고려하면 매우 큰 목표다. 미국에서도 주정부와 연방정부의 다양한 지원금 등을 통해 SAF 사용 확대를 지원하는 움직임이 커지고 있다.

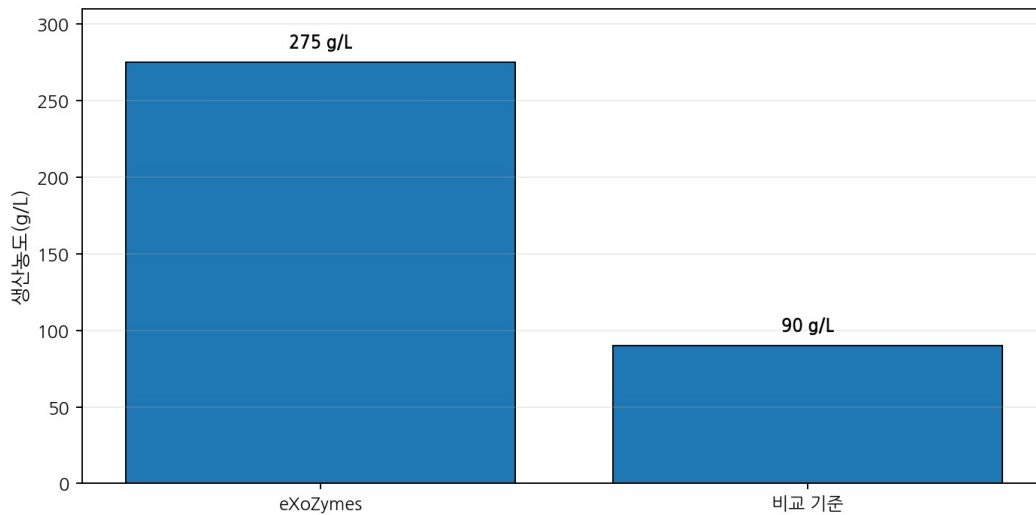
그러나 현재 이소부탄올 생산 방식은 산업 규모에서 높은 수율과 생산농도를 달성하기 어렵다는 문제를 갖고 있다. 화석연료보다 높은 생산비도 가격 경쟁력과 시장 채택을 제한한다. 세포 기반 플랫폼에서는 미생물 발효 과정의 세포 독성 문제가 추가로 발생한다.

과학 보고서 - 이소부탄올

2020년 Korman, Bowie 및 연구팀은 16개 효소 경로를 통해 포도당에서 이소부탄올을 합성할 수 있음을 보여주는 과학 보고서를 발표했다. 연구에서 시간당 생산성 4g/L, 생산농도 275g/L, 5일간 수율 95%를 달성했다. 이는 2017년 연구 결과를 확장한 것이다.

당시 당을 에탄올로 전환하는 표준 성능은 생산성 2g/L, 생산농도 100g/L, 수율 90%로 제시됐다. 미생물 이소부탄올 생산의 최고 보고 수치는 대장균에서 생산성 0.7g/L, 생산농도 22g/L, 수율 86%였다. 보고서는 eXoZymes가 이소부탄올 합성에서 다른 최상급 바이오제조 방식보다 상당한 우위를 보여줬다고 평가한다.

이소부탄올 생산농도 비교



이소부탄올 생산농도 비교: eXoZymes 275g/L 대 비교 기준 90g/L

회사는 DOE 산하 국립재생에너지연구소(NREL)와 협력해 이소부탄올 엑소자임 시스템의 상업화를 가속하고 있다. 또한 국방부의 BioMADE 이니셔티브에서 200만 달러의 지원금을 받아 이소부탄올 시스템 개발을 계속 지원받았다고 보고서는 설명한다.

과학 보고서 검토 시 고려사항

제시된 과학 보고서들은 수년 전에 발표된 것이다. 그 이후 eXoZymes Inc.는 다음 요소를 바탕으로 엑소자임 시스템의 성능을 추가 개선했다고 설명한다.

- 엑소자임으로 공학화할 후보 효소를 찾기 위한 데이터베이스 스크리닝의 향상
- AI/머신러닝 통합을 통한 엑소자임 특성과 생체축매 성능의 추가 최적화
- 최근 노벨 화학상 관련 도구를 통합해 플랫폼 성능을 추가 개선

향후 시장 적용 분야

식품 향미·향료·화장품

총주소시장(TAM): 710 억 달러

- 식품 향미 산업: 과일, 향신료, 육류 또는 보존제의 자연스러운 맛을 모사하는 에스터, 알데하이드, 케톤, 테르펜, 락톤 등의 화합물. 글로벌 식품 향미 시장은 190 억 달러로 제시된다.
- 향료 산업: 감귤 향, 꽃향, 향신료 층을 구성하는 방향성 화합물질, 에센셜오일, 고정제의 혼합물. 글로벌 향료 시장은 620 억 달러이며, 이 화합물을 공급하는 산업은 170 억 달러 규모로 제시된다.
- 화장품: 에몰리언트, 유화제, 계면활성제, 보존제, 색소, 생리활성 성분 등 미용·관리용 화합물. 노화방지 세럼, 보습제, 파운데이션, 립스틱, 헤어트리트먼트 등에 사용된다. 글로벌 화장품 시장은 2,960 억 달러이며 원료 공급 산업은 350 억 달러 규모로 제시된다.

산업용·특수화학물질

총주소시장(TAM): 수조 달러에 이를 가능성

- 산업용 화학물질: 산, 용제, 석유화학 유도체처럼 대규모 제조·산업 공정에 사용되는 기초 화학물질. 플라스틱, 비료, 세제, 페인트, 연료 생산의 원료 또는 중간체로 사용되며 연간 수백만 톤이 생산되기도 한다.
- 특수화학물질: 더 적은 양으로 생산되며 특정 성능 중심 응용에 맞춰지는 화합물. 접착제, 촉매, 코팅제, 건설화학품, 전자화학품, 산업용 세정제, 수처리 화학물질 등이 포함된다.

eXoZymes의 시장 리더십

보고서는 eXoZymes Inc.가 엑소자임 기반 바이오제조 분야에서 활동하는 최초이자 유일한 기업이라고 주장한다. 수십 년간의 플랫폼 연구개발을 바탕으로 강력한 지식재산 포트폴리오를 구축했으며, 무세포 효소 안정성, 보조인자 관리, 대사 효율과 관련된 핵심 혁신에 대해 여러 특허를 확보했다고 설명한다.

또한 회사는 여러 영업비밀을 보호하고 있으며, 세부 내용은 공동창업 과학자인 Korman, Opgenorth, Bowie 만 알고 있다고 보고서는 서술한다. 이러한 비공개성 때문에 플랫폼을 역설계하려면 수년의 연구와 상당한 자금이 필요하다고 평가한다.

eXoZymes는 MDB Capital의 PatentVest 팀 지원을 받아 추가 특허를 확보하고 시장 리더십을 강화할 계획이다. 잠재적 특허 대상은 다음과 같다.

- 자연계에 존재하지 않거나 현재 바이오제조 방식으로 만들 수 없는 완전히 새로운 화합물. 검증 가능한 신규 저분자 화합물 이므로 특허보호를 신청할 수 있다.
- 생체촉매 성능을 최적화하도록 유전공학적으로 변형된 회사의 엑소자임. 고유한 변경 단백질이므로 특허 대상이 될 수 있다.
- 화학 합성을 위해 독자적으로 개발한 모듈형 경로. 자연계에 존재하지 않는 검증 가능한 신규 경로로 특허를 신청할 수 있다.
- 엑소자임 시스템과 바이오제조 플랫폼의 추가 발전. 지속적인 기술개선이 새로운 특허 기회를 만들 수 있다.

경쟁 기술 플랫폼

원문은 eXoZymes가 엑소자임 기반 바이오제조에 집중하는 유일한 회사라고 설명하지만, 바이오제조 분야는 역동적이며 신규 진입자와 기술이 계속 등장한다. eXoZymes와 동일한 방식을 복제하지는 않더라도 합성생물학 등의 접근으로 같은 시장에서 경쟁하는 기업은 다음과 같다.

- Ginkgo Bioworks: 다양한 합성생물학 응용을 위해 미생물을 공학화한다.
- Codexis: 지향진화를 통해 유사한 산업용 효소를 최적화한다.
- Amyris: 발효와 공학화 미생물을 이용해 바이오 기반 원료를 생산한다.
- Cascade Bio: 무세포 생체촉매를 이용해 효소 성능을 높인다(원문은 Exozyme은 아니라고 구분한다).
- Arzeda: 계산 모델과 AI를 이용해 신규 단백질과 효소를 설계한다.
- Gevo: 전세포 생체촉매 공정을 이용한 지속가능 바이오연료에 초점을 둔다.

협력 관계

MDB Capital 의 딥테크 검증 절차

eXoZymes Inc.는 2019 년 MDB Capital 이 수행한 엄격한 딥테크 평가를 통해 추가 검증을 받았다고 보고서는 설명한다. 실사 과정에는 다음 항목이 포함됐다.

지식재산

- eXoZymes 특허와 UCLA 라이선스 계약을 평가하고, 관련 시장을 분석해 경쟁사·동향·침해 위험을 파악했다. 기존 특허를 강화하고 추가 특허 기회를 개발할 방안도 검토했다.
- 시장 기회, 특허 수명, 청구항의 견고성을 중심으로 IP 포트폴리오의 경제적 잠재력을 평가해 방어 가능한 리더십 위치를 확인했다.

기술 리더십

- 분야 전문가와 협의하고 데이터를 면밀히 검토해 플랫폼의 기술적 타당성을 검증했다. 반복적인 질문을 통해 주장에 대한 엄격한 검토를 수행했다.
- 경쟁사를 분석해 eXoZymes 의 차별성을 확인하고, 제약·바이오연료 같은 고부가가치 시장에서 경쟁우위와 리더십 잠재력을 평가했다.

사업모델

- 시장 진입 전략을 평가하고 고객군을 정의하며 판매·마케팅 접근법과 진입·확장을 지원할 파트너십을 구체화했다.
- 전문성과 성공 경험을 보유한 상업 경영진을 영입했다.
- 정부지원금과 잠재적 FDA 경로를 포함한 규제 과제를 평가했다.

재무 분석

- 규모 확장성과 상업 준비도를 고려해 주소시장을 분석하고 단기·장기 수익화 전략과 연결했다.
- 매출 동인, 마진 구조, 자본 효율성을 중심으로 여러 성장 시나리오의 재무 전망을 스트레스 테스트했다.
- 전략적 변곡점과 연계된 자본 수요를 산정해 자금조달 전략과 투자자 포지셔닝을 지원했다.

이 검증 절차 후 MDB 는 eXoZymes 를 자체 인큐베이터 프로그램에 포함했다. MDB 는 27 년 이상의 경험을 보유하며 17 건의 IPO 를 진행했고, 대표 사례로 Medivation 이 Pfizer 에 140 억 달러에 인수된 건을 제시한다.

GCxN 프로그램

2023년 10월 eXoZymes Inc.는 미국 에너지부 NREL이 지원하는 Shell의 GameChanger Accelerator Program(GCxN)에 선정됐다.

엄격한 선정 절차로 알려진 GCxN은 eXoZymes에 25만 달러의 비회석성 지원금, 전문가 사업 멘토링, 실제 대규모 파일럿 플랜트 시험 기회 등 NREL의 자원을 제공한다. 보고서는 이 프로그램 선정이 이소부탄올 프로젝트의 중요성을 검증할 뿐 아니라 플랫폼이 글로벌 에너지 산업에 미칠 잠재적 영향을 보여준다고 평가한다.

NREL과의 전략적 협력은 이소부탄올 엑소자임 시스템의 상업화를 가속하는 데 초점을 두며, 다음 과제를 포함한다.

- 엑소자임 생산과 생체촉매 모델을 검증하는 종합 기술경제성 분석
- 이소부탄올 시스템의 탄소감축 효과를 정량화하는 전과정평가
- 이소부탄올 엑소자임 시스템에 필요한 효율적이고 비용 경쟁력 있는 바이오제조 방식의 식별

NREL 보고서는 이소부탄올 프로젝트의 잠재적 합작 파트너에게 추가 신뢰성과 검증 자료를 제공할 것으로 기대됐다. 원문은 해당 보고서가 2025년 중 발표될 것으로 예상했다.

경영진

Michael Heltzen, CEO

20 년 이상의 경력을 가진 바이오테크 기업가. EXO Incubator, BlueSEQ Innovations Inc., Cardea Bio, BGI Europe 에서 핵심 리더십 직책을 맡았으며 바이오제조, 합성생물학, 헬스케어 산업에 대한 이해를 보유한다.

Tyler Korman, PhD., 공동창업자 연구 부사장

분자생물학과 생화학 분야 전문가. UC Irvine 과 UCLA 의 박사·박사후 연구를 통해 무세포 효소 기반 시스템의 기술적 전문성을 쌓았다. Bowie, Opgenorth 와 함께 eXoZymes 플랫폼 개발을 이끌었다.

Paul Opgenorth, PhD., 공동창업자 개발 부사장

대사공학과 바이오공정 개발 전문가로 무세포 효소 기반 시스템에 특화돼 있다. 생화학물질을 효율적이고 비용 경쟁력 있게 합성하는 방법을 연구했으며 Korman, Bowie 와 플랫폼 개발에 핵심 역할을 했다.

Damien Perriman, 최고사업책임자

바이오테크 플랫폼 개발·상업화에서 25 년 이상의 경력을 보유한다. Genomatica 와 Gevo 에서 고위직을 맡았고 영양, 화장품, 섬유, 고성능 연료 분야의 바이오 기반 제품을 출시했다. 네트워크와 사업개발 경험을 바탕으로 고부가가치 거래 확보를 지원한다.

Zachary Karl, PhD., 사업개발 부사장

생명과학 분야의 사업개발 경영자. Ginkgo Bioworks 의 전 사업개발 이사이며, eXoZymes 의 잠재력을 인식한 뒤 직접 합류를 요청했다고 보고서는 설명한다. 전략적 파트너십 경험과 네트워크를 제공한다.

James Bowie, PhD., 공동창업자 이사

분자생물학과 바이오테크 분야에서 세계적으로 알려진 연구자. 합성생화학 연구는 바이오제조 접근법에 큰 영향을 미쳤으며, UCLA 의 Bowie 연구실에서 eXoZymes 플랫폼이 개발됐다. 현재도 회사가 무세포 엑소자임 기반 바이오제조의 선도 위치를 유지하도록 자문한다.

James Lalonde, PhD., 이사

신약개발과 효소공학 분야에서 40 년 이상의 경력을 가진 인물. Amgen 에서 연구개발과 여러 의약품 출시를 감독하는 리더십 역할을 맡았다. eXoZymes 연구를 검토한 뒤 깊은 인상을 받아 팀 지원 의사를 직접 밝혔다는 것이 보고서의 설명이다.

재무 개요

eXoZymes Inc.는 스타트업에서 초기 상업 배치 단계로 전환을 시작하고 있다. 2024년 영업수익은 없었고 순손실은 586만 달러였다. 2025년 1분기 순손실은 185만 달러였으며, 2025년 3월 31일 기준 현금 잔액은 851만 달러였다.

첫 차회사 출범과 같은 해 후반 예상된 첫 합작법인 파트너십을 바탕으로, 회사는 플랫폼 배치 단계에 진입하고 있으며 2025년에 상당한 자본을 유치하고 매출을 창출할 것으로 기대한다고 보고서는 서술한다.

상장 전 개발기간 동안 eXoZymes는 높은 자본 효율성을 유지했다고 평가된다. 순손실은 2023년 200만 달러, 2022년 140만 달러, 2021년 121만 달러였다.

UCLA에서 시작된 초기 개발 이후 회사는 연방 지원금 1,600만 달러와 MDB Capital 공동창업자들의 민간 투자 590만 달러를 받았다. 회사는 미국 DOE 산하 NREL의 지원을 받아 추가 정부지원금을 전략적으로 확보할 계획이다.

2024년 11월 13일 eXoZymes Inc.(당시 Invizyne Technologies)는 나스닥에 상장했고, 주당 8달러에 1,500만 달러를 조달했다.

자본 구조

주주	직위/구분	주식수	지분율
MDB Capital	벤처펀드	4,136,426	37.98%
Tyler Korman	연구 부사장	842,957	7.74%
Paul Opgenorth	개발 부사장	754,072	6.92%
James Bowie	이사	603,880	5.54%
Mo Hayat	전 회장	534,148	4.90%
Michael Heltzen	CEO	333,733	3.06%
기관투자자	-	98,100	0.90%
Edgardo Rayo	이사	77,909	0.72%
James Lalonde	이사	51,939	0.48%
합계		7,433,164	68.24%
유통주식수		3,458,628	31.76%
완전회식 주식수		10,891,792	100%

원문 주석

발행주식수: 8,367,810 주

스톡옵션·RSU·워런트 등: 2,523,982 주

위험 요인

eXoZymes의 위험
파트너 실행 위험: eXoZymes의 매출은 외부 파트너의 성과와 실행력에 크게 의존한다. 제조, 규제 승인, 시장 진입에서 파트너가 지연·실수·전략 변경을 겪으면 매출과 상업적 수익이 직접 영향을 받을 수 있다.
규모 확대 위험: 바이오제조 플랫폼을 실험실에서 상업 물량으로 확대하는 것은 본질적으로 어렵고, 1만 리터 이상에서 어려움을 겪는 경우가 많다. eXoZymes는 아직 상업 규모 합성을 입증하지 않았으므로 대규모 생산에서 성능이 저하될 위험이 있다.
공급망 노출: 대규모 보조인자와 엑소자임 공급은 Novozymes 같은 외부 파트너가 담당할 가능성이 높다. 파트너의 운영 또는 공급망 문제가 협업을 방해하고 생산 일정을 지연시킬 수 있다.
초기 운영 위험: eXoZymes는 상업 실적이 없는 짧은 운영 역사를 가진다. 연구개발에서 상업화로 전환하는 과정에서 예상하지 못한 기술·운영 문제가 발생할 수 있다. 경영진의 경험에도 불구하고 플랫폼이 새로운 만큼 실행 위험이 존재한다.
규제 노출: 제약 화합물 협업에서 매출은 FDA 또는 EMA 승인에 연계된다. 규제 절차는 오래 걸리고 비용이 높으며 결과가 불확실하다. 승인이 지연되거나 실패하면 예상 매출이 사라질 수 있다.
경쟁 위험: 합성 바이오제조 분야는 빠르게 발전하고 경쟁이 치열하다. 학계 연구실, 스타트업, 기존 바이오제조사, 전통 화학기업이 더 우수한 플랫폼을 개발해 eXoZymes의 시장 리더십에 영향을 줄 수 있다.
시장 채택: 플랫폼의 장점에도 불구하고 대형 기존 기업은 보수적일 수 있어 충분한 검증 없이 기존 시스템을 바꾸거나 신기술을 통합하는 데 주저할 수 있다.
핵심 인력 의존: 개발 진전은 핵심 과학자와 경영진의 전문성·리더십에 크게 의존한다. 핵심 인력의 이탈은 연구개발 속도, 경쟁적 IP 위치, 사업개발을 약화시킬 수 있다.
자금조달 및 희석: 매출 발생 전 기업이므로 개발과 상업화를 지원하기 위해 추가 자금을 조달해야 할 수 있다. 향후 증자는 기존 주주의 지분을 희석시킨다.

eXoZymes Inc. 자료 목록

- 회사 웹사이트
- 회사 LinkedIn 계정*
- 회사 X 계정
- 2025 년 4 월 투자자 웨비나
- 2025 년 5 월 투자자 웨비나
- YouTube 인터뷰 시리즈
- YouTube 교육용 재생목록
- 투자자 프레젠테이션 - 2024 년 9 월
- IPO 투자설명서 - 2024 년 11 월
- 회사 특허
- 관련 과학저널 보고서
- Stocktwits 포럼
- eXoZymes Inc. Discord 그룹**

원문 주석

* eXoZymes 는 최근에는 마케팅 활동을 본격적으로 구축하기 시작했으며, 이전에는 대부분의 대외 활동이 LinkedIn 프로필을 통해 이뤄졌다고 원문은 설명합니다.

** 원문 작성자는 Discord 가 다른 투자 플랫폼보다 대화의 유연성과 흐름이 좋기 때문에 이곳에서 가장 활발하게 활동한다고 밝힙니다.

번역 출처

번역 기준 문서: Exozymes_Company_Report(1).pdf / Slack Capital / 2025 년 5 월. 본 번역은 원문 내용을 이해하기 쉽게 한국어로 옮긴 것이며 최신 정보 업데이트나 투자 판단을 위한 사실 검증을 포함하지 않습니다.