

배양육 기술 개발 현황 및 안전에 대한 문제

Development Aspects and Safety Concerns of Cultured Meat

오혜민¹, 성미선², 신지은², 윤요한^{1, 2, *}

(Hyemin Oh¹, Miseon Sung², Jieun Shin², Yohan Yoon^{1, 2, *})

¹숙명여자대학교 위해분석연구센터, ²숙명여자대학교 식품영양학과

¹Risk Analysis Research Center, Sookmyung Women's University

²Department of Food and Nutrition, Sookmyung Women's University

서론

국제연합식량농업기구(FAO)는 전세계 인구가 2050년까지 90억 명까지 증가할 것으로 예상되며, 그에 따른 육류 소비량도 현재 304만 톤 수준에서 매년 1.3%씩 증가하여 2050년에는 455만 톤에 이를 것으로 예측하고 있다(FAO, 2012). 한국농촌경제연구원(2020)에서 발표한 보고서에 따르면 한국의 1인당 육류 소비량은 2000년 31.9 kg에서 2019년 54.6kg으로 71% 급증하였다. 그러나 육류 소비량이 크게 증가하면서 가축 수 1천억 마리에 이르는 축산업으로부터 발생할 수 있는 환경오염, 동물복지 및 윤리성에 대한 문제 또한 지속되고 있다. 이에 따라 2010년대 이후부터 식물 기반 대체 단백질 식품을 중심으로 식육 대체식품의 개발이 활발해지고 있으며(Lee and Cho, 2019), 과학기술의 발전과 자금의 투자가 증가하면서 새로운 식품원료로서 대체단백질식품의 시장이 크게 성장하고 있다(그림 1).

대체단백질 식품의 시장규모 및 개발 현황

대체단백질식품의 시장규모는 2018년 96.2억 달러로 2025년까지 연평균 9.5%의 성장을 이룰 것으로 전망되고 있다(Park et al., 2020). 대체단백질식품은 식물단백질 기반 제품 시장이 전체 시작규모의 87.2%로 압도적인 비중을 차지하고 있으나, 2019년에서 2025년까지의 유형별 시장규모의 성장률을 살펴보면 곤충단백질 기반 제품이 22.7%, 배양육이 19.5%로 가장 높았으며, 해조류단백질 기반 제품(8.3%), 식물단백질 기반 제품(8.1%), 미생물단백질 기반 제품(5.0%) 순으로 높게 확인되었다(표 1).

식품산업 시장에서는 이미 다양한 대체식품들이 개발되고 있으며, 축산물 대체식품으로는 식물성 우유와 계란 등

*Corresponding author: Yohan Yoon
Sookmyung Women's University, Seoul 04310, Korea
Tel: +82-2-2077-7585
Fax: 82-2-710-9479
Email: yyoon@sookmyung.ac.kr

그림 1. 대체단백질식품 시장의 성장 요인 (박미성 외, 2020)

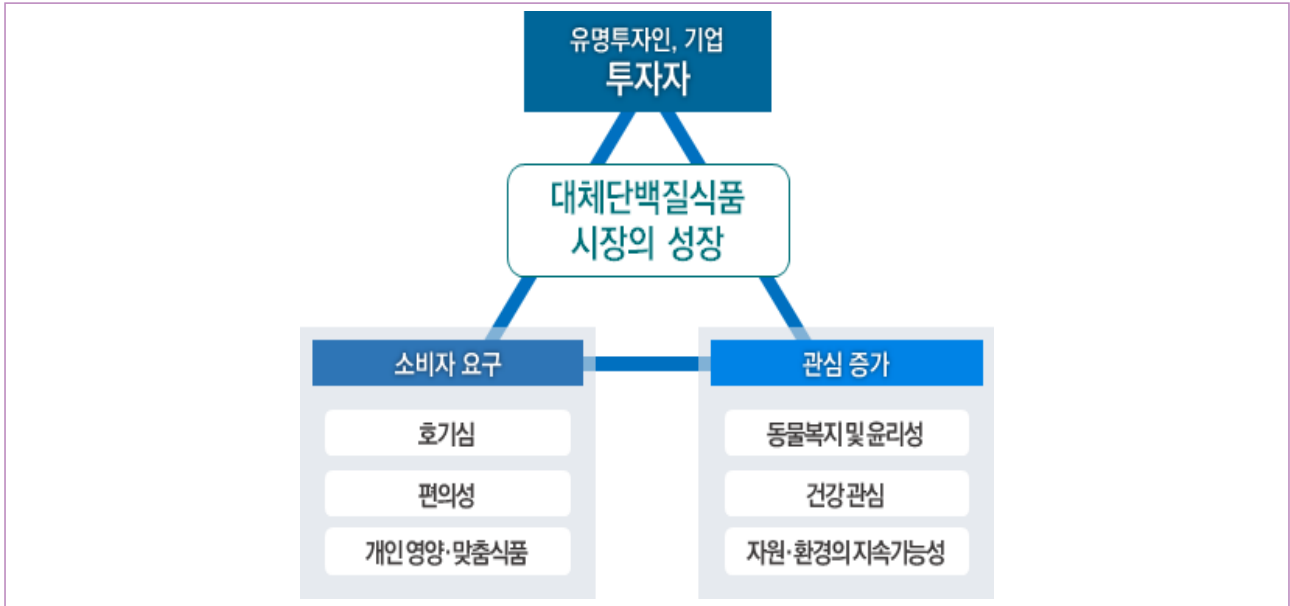


표 1. 세계 대체단백질식품 제품유형별 시장규모(단위: 백만 달러, 박미성 외, 2020)

구 분	2017년	2018년	2019년	2025년	CAGR*(%)
곤충단백질 기반 제품	514.8	607.5	722.9	2,470.1	22.7
배양육	0	0	0	31.6	19.5
해조류단백질 기반 제품	485.1	517.6	553.8	894.0	8.3
식물단백질 기반 제품	7,890.8	8,395.8	8,962.5	14,319.8	8.1
미생물단백질 기반 제품	98.2	102.2	106.5	143.1	5.0
전체	8,989.0	9,623.1	10,345.7	17,858.6	9.5

*CAGR: Compound Annual Growth Rate

1) CAGR는 2019년부터 2025년까지의 연평균 증가율

2) 배양육의 연평균 증가율은 2021년(15.5백만 달러)부터 2025년(31.6백만 달러)까지의 예상 증가율(Meticulous Research, 2019)

이 개발되고 있다. 축산물 대체식품에 대한 관심이 증가하면서 살아있는 동물조직에서 얻은 줄기세포를 증식하여 생산하는 ‘배양육’을 개발하고 있다. 배양육은 기존의 가축생산 방식이나 다른 축산물 대체식품에 비하여 차별화된 가치를 보유하는 미래 유망 식품 소재다(식품의약품안전평가원, 2019; Yoon et al., 2021; 표 2). 배양육은 자원 사용 및 온실가스 배출이 낮은 편이며, 생산 공정 중 배양육 내 영양소를 인체에 유익한 물질로 대체할 수 있다. 이는 배지와 배양 조건의 조절을 통하여 사람의 건강에 유익한 식육의 제조가 가능함을 의미한다. 또한, 식중독과 인수공통전염병 등 질병 발생의 우려를 줄

일 수 있어 사람에게 유익하고, 가축 사육 중 발생하는 분뇨, 오·폐수 및 메탄가스 발생을 저감할 수 있으며, 토지와 물 등의 자원 고갈을 방지할 수 있다. 특히 배양육은 다른 축산물 대체식품 중 유일하게 기존의 육류와 유사도가 높으며, 실제 식육의 제조가 가능한 방법이다.

배양육 기술 개발 현황

배양육은 1990년대 초반 미국과 네덜란드를 위주로 연구가 진행되었으며 최근에는 이스라엘, 일본, 중국 등 중동과 아시아 지역에서도 스타트업 형태의 창업과

표 2. 축산물 대체식품의 비교 및 특징(식품의약품안전처, 2019; Yoon et al., 2021)

구분	기존 육류	대체단백질식품			
		식물성 고기	식용곤충	배양육	
생산방법	가축 사육, 도축 후 식용	식물성 단백질 또는 곰팡이를 이용하여 제조 및 가공	식용이 가능한 모든 곤충	조직의 줄기세포 배양을 통한 식육 생산	
가격	대량생산 가능성	높지만 한계 존재	높음	높음	기술 개발 중
	생산비	상승 중	저렴	하락 중	고가
환경	자원 사용량	높음	매우 적음	적음	매우 적음
	온실가스 배출량	높음	감소	감소	잠재적 감소
윤리	동물복지 문제	상존	없음	없음	일부 있음
건강	영양가	-	높은 단백질 함량	높은 단백질 및 무기질 함량	지방산 조성 및 철분 함량 조절 가능
	건강 효과	-	단백질 증가 콜레스테롤 감소	단백질 증가 지방 감소	지방산 조성 개선 철분 감소
	안전성	-	검증	검증 진행 중(알레르기 우려)	검증 필요
선호 선호	소비자 기호도	수요 증가	낮은 식미 문제	모양 혐오감	두려움과 과학기술 공포증
	기존 육류 유사도	-	다소 낮음	낮음	유사함

연구개발로 점차 확대 발전되고 있다(Choi and Shin, 2019). 국외의 경우, 2013년 배양육의 생산 기술을 개발하였으나, 100g 당 32만 5천 달러의 높은 생산비용으로 상용화의 어려움을 겪었다. 그러나, 꾸준한 연구를 통하여 대형 장비를 개발하였고, 생산 비용이 1,000 달러까지 감소되었으며, 2021년에는 배양육의 단가를 10달러까지 감소시키기 위한 연구를 지속적으로 진행하고 있다. 미국에서는 1995년부터 항공우주국(NASA)에서 우주선 내에서 섭취할 식품 조달의 목적으로 배양육 연구를 시작하였고, 1999년에 네덜란드의 빌렘 반 엘런 박사가 배양육 관련 이론을 통하여 국제 특허를 확보하면서 배양육 연구가 활발하게 이루어졌다(표 3). 최근 미국 실리콘밸리의 배양육 개발업체인 잇저스트(Eat-Just)는 배양육 제조 기술을 활용한 닭고기를 생산하여 2020년 최초로 싱가포르에 판매를 허가받았다(Maeng,

2016; Lee and Kim, 2018).

국외의 축산물 대체식품 시장은 식물성 육류뿐 아니라, 배양육의 판매까지 시작되고 있는 반면에, 국내 축산물 대체식품은 대부분 대두와 원두 단백질을 중심으로 국한되어 있는 실정이다. 또한, 개발 기술의 수준은 초기 개발단계 수준으로 국외의 대체식품 회사와 계약을 통하여 제품을 수입 판매하면서 점차적으로 축산물 대체식품의 시장을 형성해가기 시작하는 상황이다. 더욱이 국내 배양육 산업은 아직 초기 단계로 배양육과 관련된 연구 및 개발을 진행 중인 회사가 아직 많지 않고, 초기 단계의 투자를 유치하고 있다(Yoon et al., 2021; 표 4). 최근 스페이스프가 돼지 줄기세포를 이용한 배양육을 시제품으로 공개하였으며, 다른 기업들도 2~3년 내로 시제품을 출시할 예정이라고 밝혔다.

표 3. 해외 배양육 발달 과정

국가	연도	배양육 발달 과정
네덜란드	1999	네덜란드 암스테르담 대학교의 빌렘 반 엘런(Willem van Eelen) 박사가 배양육 관련 이론으로 국제 특허 확보
	2002	빌렘 반 엘런 박사가 금붕어에서 채취한 근육조직을 실험실에서 배양하는 데 성공
	2001	암스테르담 대학의 비테 베스터호프(Wiete Westhof)는 배양육 제조 방법에 대한 특허를 획득하였으며, 2007년에는 세포분열 유도 기술 개발
	2009	살아있는 돼지로부터 추출한 세포에서 배양육 생산이 가능함을 확인
	2013	마크 포스트(Mark Post) 교수팀은 소의 줄기세포에서 근육 조직을 배양하여 시식행사를 진행함. 이때 사용된 햄버거 패티는 37만 5천 달러/100 g에 달했으며, 이후 배양육 기술개발은 단가절감과 맛, 식감 개선에 중점을 두기 시작
미국	1995	미국 항공우주국(NASA)에서는 우주선 내에서 섭취할 식품을 조달하기 위한 목적으로 배양육 연구를 시작하였으며, 1995년에 미국식품의약국(FDA)에서 배양육 사용 승인
	2001	우주선 내에서 칠면조 고기의 배양 실험을 실시
	2003	하버드 대학의 오론 카츠(Oron Catts)와 이오나트 주르(Ionat Zurr)는 개구리 줄기세포를 이용하여 시식 가능한 스테이크 배양
	2017	맴피스 미트(Memphis Meats)는 닭고기 배양육을 시식회에서 공개하였으며, 시식용 배양육의 생산비는 1,986달러/100 g으로 확인
	2020	실리콘밸리의 배양육 개발업체 잇저스트(Eat Just)는 싱가포르 식품청(SFA)으로부터 배양육 닭고기의 생산 및 판매 허가
이스라엘	2018	알레프 팜스는 세계 처음으로 배양육 스테이크를 제조하여 공개
	2019	알레프 팜스는 고도 400km의 국제우주정거장(ISS)에서 아주 작은 크기의 배양육 제조 성공
	2020	슈퍼미트가 생산한 배양 닭고기를 이용한 음식을 파는 식당 더치킨(The Chicken)이 문을 열어 배양육을 넣은 햄버거 판매. 유료 시판이 아닌 방문 고객을 대상으로 한 무료 시식이지만, 상시적으로 배양육 음식을 제공하는 식당의 첫 등장으로 보고

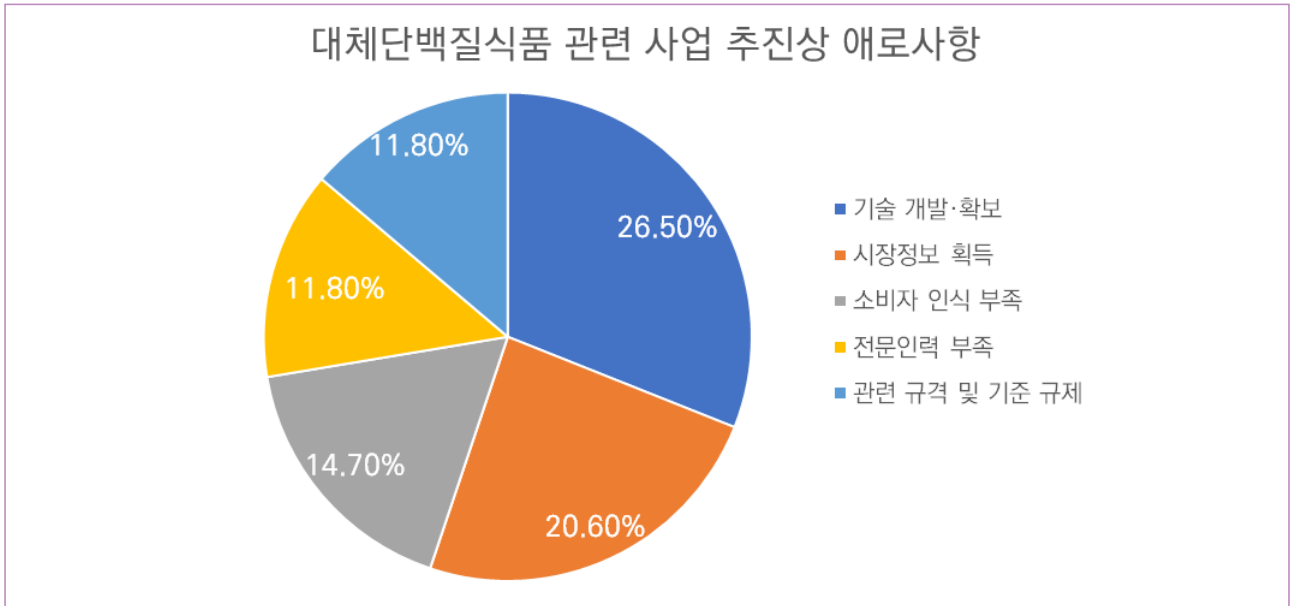
표 4. 국내 배양육 연구 개발 진행 중인 기업(Yoon et al., 2021)

기업	연구 개발 진행 단계
셀미트	<ul style="list-style-type: none"> • 19년 중소벤처기업부 민간투자주도형 기술창업지원 프로그램(TIPS)* 선정 • 20년 미국계 벤처캐피탈(VC) 스트롱벤처스 투자 유치 • 21년 50억원 규모의 프리 시리즈 A 투자 유치 • 국내 스타트업으로부터 투자를 받아 살아있는 소, 돼지 줄기세포를 이용하여 배양육 생산기술 개발
다나그린	<ul style="list-style-type: none"> • 17년 중소벤처기업부 민간투자주도형 기술창업지원 프로그램(TIPS) 선정 • 20년 산업부 산업기술 알키미스트 프로젝트 신규과제** 선정 • 20년 16억원 규모의 프리 시리즈 A 투자 유치 • 3차원 세포배양 지지체 Protinet™1 개발 • 1,000L로 scale up 개발 진행 • 23년 시제품 출시 목표, 25년 닭고기 1kg을 15달러 수준으로 공급할 계획
씨위드	<ul style="list-style-type: none"> • 20년 중소벤처기업부 민간투자주도형 기술창업지원 프로그램(TIPS) 선정 • 20년 산업통상자원부 지원 '산업기술 알키미스트 프로젝트' 수행 • 해조류를 이용하여 자체 배양액과 3차원 지지체 생산 • 배양육 'C MEAT' 생산 원천기술 개발 및 상용화 진행 • 22년 말 시범운영 식당을 통하여 소비자에게 선보일 예정
스페이스프	<ul style="list-style-type: none"> • 20년 8월 서울대학교 동물번식학, 동물성식품학 연구실 및 세종대학교 기능성식품 연구실과 공동연구를 위한 업무협약 체결 • 20년 산업통상자원부 지원 '산업기술 알키미스트 프로젝트' 수행 • 21년 돼지 줄기세포 이용한 배양육 시제품 공개
노아바이오텍	<ul style="list-style-type: none"> • 3D 프린터 기술을 활용한 배양육 생산 기술을 중점적으로 연구 • 이원다이애그노믹스(주)와 함께 공동연구

* 엔젤투자(1억원) + 성공벤처인의 보육·멘토링 + R&D(5억) + 추가지원 4억 원(창업자금 1억 원, 엔젤매칭펀드 2억 원, 해외마케팅 1억 원) 등 최대 10억 원 지원(2~3년)

** 도전적이고 혁신적인 기술 개발을 지원하는 사업(1단계(최대 2억 원 이내/년), 2단계(5억 원 이내/년), 3단계(50억 원 이내/년) 지원)

그림 2. 대체단백질식품 관련 사업의 애로사항 (박미성 외, 2020)



배양육 기술의 안전성

꾸준한 기술 개발을 통하여 가격이 낮아지게 되면 배양육이 축산물 대체식품으로 상용화 될 가능성이 충분하지만, 배양육의 상용화를 위해서는 배양육 생산에 사용되는 다양한 소재 및 설비에 대한 안전성 평가가 반드시 필요하다. 현재까지는 배양육 생산에 사용되는 소재 및 설비에 대한 안전성 문제뿐만 아니라, 배양육 생산에 대하여 뚜렷한 관련 규제 및 기준과 가이드라인이 마련되어 있지 않다. 또한, 배양육 생산 시 다양한 종류의 줄기세포 또는 전구세포가 활용되고, 동물에서 추출하여 성장, 최종적으로 배양육으로 분화하기까지 매우 복잡한 과정을 거치기 때문에 윤리적·기술적으로 문제를 마주하게 될 것이다. 미국의 모던 매도우 등의 유력사 또한 배양육 생산 시 규제 및 생산비 문제로 인하여 2015년 배양육 생산이 중단된 바가 있다. 전반적으로 배양육 생산 기술은 인체 건강에 어떠한 위험을 초래할 수 있는지 예측하기 어렵지만, 세포추출부터 배양, 대량생산에 이르기까지의 전반적인 과정에 대한 기술적, 윤리적, 제도적 안전성이 면밀히 고려되어야 할 것으로 사료된다.

- 유전적 불안전성 문제

일부 배양육 생산 업체에서는 줄기세포 배양 시 사용되는 세포배양액의 품질을 높이기 위하여 유전자 편집 기술을 사용하고 있으며, 이는 유전자 변이를 일으킬 위험이 있다고 지적되는 GMO 논란에서 자유롭지 못한 상황이다. 따라서 배양육 생산에 있어 성장촉진제나 유전공학기술의 사용에 대해서도 고려해야 할 부분이 많은 것으로 판단된다. 배양육 생산에 사용되는 세포주, 혈청 또는 지지체 등이 세균, 곰팡이, 바이러스 등의 미생물에 대하여 오염되는 경우도 주의해야 하지만, 배지의 구성성분과 사용 세포의 분열에 대한 유전적 불안전성에 대한 문제도 해결해야 하는 영역이다.

- 배지 및 구성성분 등 첨가물에 대한 안전성 문제

배양육 생산에 사용되는 구성요소는 생산과정에서 대부분 제거되기 때문에 섭취 시 영향은 크게 없으나, 기술의 투명성과 안전성을 보장하기 위하여 구성요소에 대한 포괄적인 안전성 분석이 필요하다. 배양육 생산에 사용되는 배지, 혈청 및 여러 종류의 첨가물에 대하여 알

리지 유발, 세포 독성, 항생제 및 잔류·오염 물질 등에 대한 안전관리기준이 필요할 것으로 사료된다.

결론

정부는 5대 유망산업과 유망식품을 선정하여 2022년까지 산업규모를 17조 원으로 확대한다는 계획을 보고하였고, 대체식품 산업의 육성을 위한 로드맵을 2022년

까지 마련하겠다는 계획을 발표하였다. 새로운 식품 원료로서 배양육이 상용화되기 위해서는 인정절차를 통한 생산 및 유통이 가능해야 하며, 이를 위한 안전성 및 영양성분에 대한 기준 확립이 필요할 것으로 사료된다. 현재까지 미국, 유럽, 오세아니아, 아시아 등의 주요 국가들이 배양육을 위한 법적 제도를 마련하고자 검토 중에 있으며, 우리나라도 이에 대한 안전기준을 마련할 필요가 있다.

참고문헌

1. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2012. World agriculture towards 2030/2050: the 2012 revision. FAO Agricultural Development Economics Division.
2. 정민국, 김현중, 이형우. 2020. 육류 소비행태 변화와 대응과제. 한국농촌경제연구원.
3. 이현정, 조철훈. 2019. 세계 대체육류 개발 동향. 세계농업.
4. 박미성, 박시현, 이용선. 2020. 대체식품 현황과 대응과제. 한국농촌경제연구원.
5. Meticulous Research. 2019. Alternative protein market by stage/type, application, and geography.
6. 식품의약품안전평가원. 2019. 세포배양기술을 이용한 식품의 안전성 평가 기반 연구.
7. 윤성용, 조해주, 이경본. 2021. 대체육(代替肉). KISTEP 기술동향브리프.
8. Choi MH, Shin HJ. 2019. State of the art of cultured meat research and engineering task. Korean Society for Biotechnology and Bioengineering Journal 34:127-134.
9. 맹진수. 2016. 미래 식품의 대체 기술 동향: 배양육, 인공계란과 식용곤충을 중심으로. 융합연구정책센터.
10. 이정민, 김용렬. 2018. 대체 축산물 개발 동향과 시사점. 한국농촌경제연구원.