

대체육의 기회와 과제

이 두 영*

1. 서론

전통적인 동물성 식품(소고기, 돼지고기, 닭고기 등)을 대체하는 것을 목표로 하는 대체육(meat alternatives)은 지속 가능하고 윤리적이며 건강한 방식으로 단백질에 대한 늘어나는 전 세계적 수요를 충족하기 위한 해결 방안으로써 민간 투자와 미디어 및 연구기관의 관심을 끌고 있다. 아직 배양육(cultured meat)과 같은 대체육 중 일부는 개발 초기 단계이지만 이것이 시장 경쟁력을 갖추게 되면 식품 시스템을 급격하게 변화시킬 수 있는 잠재력을 가지고 있는 것으로 평가되고 있다.

대체육이 세계 육류 생산의 상당 부분을 대체할 경우 환경, 건강 및 동물 복지에 큰 혁신을 가져올 것으로 전망된다. 하지만 이러한 혜택은 대체육의 종류와 대체 방식에 따라 차이가 있으며, 비용-효율성, 확장성 및 소비자 수용 문제 등은 이러한 대체육의 상업화와 수용에 있어서 과제로 남아 있다.

본 연구는 대체육에 대한 관심이 높아진 상황 속에서 대표적인 세 가지 대체육: 식물성 대체육(plant-based alternatives), 곤충 기반 대체육(insects), 배양육(cultured meat)에 중점을 두고 대체육의 기회와 과제를 분석하는 것을 목적으로 한다.

* 한국농촌경제연구원 부연구위원(douyounglee@krei.re.kr).

본고는 OECD에서 2022년 9월에 발간한 보고서 "Meat Protein Alternatives: Opportunities and Challenges for Food Systems' Transformation"를 번역·요약하여 작성함.

2. 대체육의 기회와 과제

2.1. 육류 현황

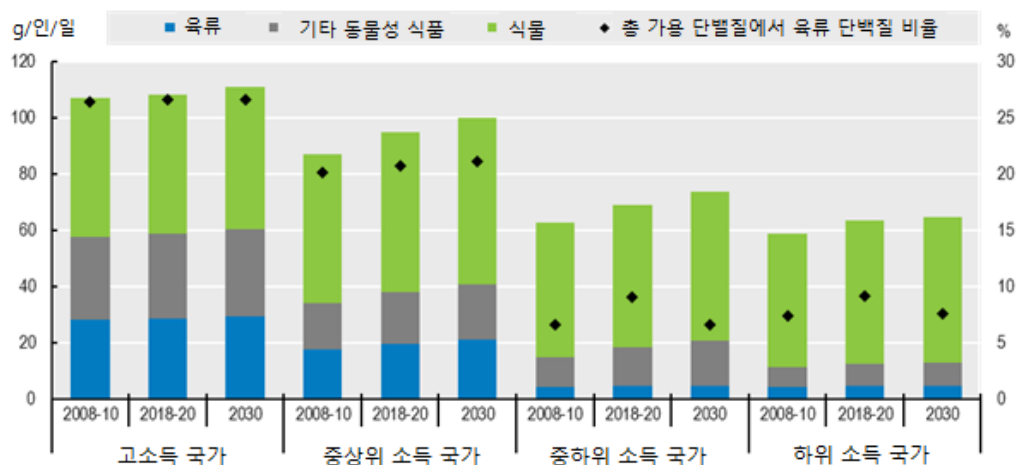
2.1.1. 육류 소비의 추세

육류는 전 세계적으로 가용 단백질의 15%와 가용 칼로리의 8%를 공급하고 있다(OECD/FAO 2021). 하지만, 육류의 식단에 대한 기여도는 국가마다 크게 다르며, 사회·경제적 요인(소득, 성별, 교육 수준) 및 문화적 차이로 인해 나타나는 것으로 보인다.

1인당 육류 가용성은 고소득 국가에서 평균 30g의 단백질/인/일로 가장 높고, 이들 국가에서 육류는 단백질의 27%를 공급한다(그림 1). 중상위 소득 국가에서 육류는 평균 20g의 단백질/인/일로 가용 단백질의 20% 이상 공급한다. 향후 10년동안 1인당 소득 증가로 고소득 국가와 중상위 소득 국가의 육류 소비 격차는 점차 줄어들 것으로 전망된다.

중하위 및 저소득 국가에서 식단에서 육류가 차지하는 비중은 상대적으로 낮다(총 단백질의 10% 미만). 식물성 제품이 가용 단백질의 70% 이상을 제공하고, 1인당 육류의 평균 가용성은 고소득 국가보다 1/6배 수준인 5g의 단백질/인/일 미만이다.

〈그림 1〉 국가 소득 그룹별 1인당 단백질 가용성



주: 육류는 쇠고기 및 송아지고기, 돼지고기, 가금류 및 양고기를 포함하고, 기타 동물성 식품은 유제품, 생산 및 계란을 포함함. 식물은 식물성 기름, 콩류, 부리, 덩이줄기, 곡류(옥수수, 밀, 쌀) 등을 포함함.

자료: OECD/FAO(2021); OECD(2022), 재인용.

전 세계 육류 소비는 인구 및 1인당 소득 증가로 인해 향후 10년 동안 14%(44 백만톤) 증가하며, 이러한 소비 증가의 대부분은 중간 소득 국가에서 발생할 것으로 전망된다. 예를 들면, 동남아시아와 중국에서의 육류 소비는 높은 소득 증가로 인해 2030년까지 각각 20%와 17% 증가할 것으로 예상된다.

고소득 국가에서는 낮은 인구 증가율, 육류 소비의 포화, 건강, 환경 및 동물 복지 문제로 향후 10년간 5% 수준으로 천천히 증가하고, 1인당 기준으로는 정체되거나 감소할 것으로 전망된다.

2.1.2. 육류 생산 및 소비의 외부효과

육류 생산 및 소비는 공중 보건, 동물 복지 및 환경에 대한 여러 외부효과와 연관되어 있다. 전 세계 육류 수요가 증가하고 이러한 외부효과를 내부화하는 정책이 지연됨에 따라 이러한 외부효과 비용이 향후 증가할 것이라는 우려가 존재한다.

육류는 9가지 필수 아미노산을 모두 함유하고 있기 때문에 에너지원이자 단백질의 완전한 공급원이다. 또한 비타민 B12, 기타 B-복합 비타민, 미네랄(철, 아연, 구리) 등 다양한 미세영양소를 공급한다. 하지만, 가공육 및 붉은 고기의 과다한 소비가 식단 관련 사망 위험을 증가시킨다는 증거가 있다. 또한, 가공육이 많은 식단은 심혈관 질환 및 제2형 당뇨병과도 관련되어 있다. 이러한 증거는 개인이 1인당 일주일에 100g 이상의 붉은 고기와 200g 이상의 가공육을 섭취해서는 안된다고 권고하고 있다. 그러나 고소득 국가와 일부 중간 소득 국가에서는 이 권장량보다 더 많이 소비하고 있으며, 과다한 육류 소비(특히 가공육)는 높은 의료 비용과 연관되어 있다.

여러 질병은 동물성 식품이나 농장의 동물에서 사람에게 전염될 수 있다. 살모넬라(salmonella), 캄필로박터(campylobacter), 대장균(*Escherichia coli*) 등과 같은 식인성 병원균의 상당 부분은 동물을 재료로 한 음식에서부터 유래한다. 또한, 농업 확장을 통해 인간 및 가축이 야생 동물과 접촉 기회가 증가하면서 가축을 통한 전염병의 확산 위험이 커지고 있다. 세계동물보건기구(OIE)는 인간의 모든 전염병의 60%가 인수공통전염병이라 추정하고 있으며, 축산업에서 항생제의 과도하거나 부적절한 사용은 항생제 내성을 증가시켜 공중 보건 문제를 야기한다.

일반적으로 외부효과로 간주되지 않지만, 육류 생산은 농장 동물의 사육 및 도축 상태로 인해 일부 소비자에게 윤리적 문제를 제기한다. 고소득 국가에서는 가축의 대부분이 우리나 외부 접근이 불가능한 밀집 사육 환경에서 사육된다. 또한, 육류 생산 업계는 몇 가지 고통스러운 관행(마취 없는 거세, 뿔 제거, 치아 깎기, 기절 시키지 않는 도살)을 사용하고 있다. 매년 약 500억 마리의 닭, 15억 마리의 돼지, 6억 마리의 양, 5억 마리의 염소와 3억 마리의 소가 식용으로 사육되고 도살된다. 특히, 닭은 6주에서 8주, 돼지는 약 6개월 후 등 가축들은 보통 새끼인 상태에서 도살된다.

가축 생산은 환경에 큰 영향을 미친다. 축산업은 전 세계 토지의 3분의 1을 사용하고, 이용 가능한 모든 담수의 4분의 1을 소비하며 수명 주기 분석에 따르면 전 세계 온실 가스(GHG) 배출량의 15%를 차지한다(FAO 2006). 목초지와 사료 생산을 위한 토지 전환은 삼림 벌채의 주요 요인이며 생물다양성 손실과 CO₂ 배출을 가져온다. 또한, 동물 사육은 대기 및 수질 오염의 중요한 원인이다. 다만, 축산이 환경에 미치는 영향은 축종과 생산 시스템에 따라 크게 다르며 반추 동물 사육이 이러한 환경 문제에 가장 큰 영향을 미친다. 잘 관리된 축산 시스템은 토양 탄소 함량과 토양 비옥도를 유지함으로써 환경을 개선할 수 있다. 또한, 여러 국가 및 업계는 연구 개발(R&D) 및 지도 사업에 대한 투자와 산업 이니셔티브(지속 가능성 평가, 온실가스 감소 목표 등)를 통해 가축 생산의 환경 영향을 줄이기 위한 조치를 채택했거나 고려하고 있다.

지난 수십 년 동안 건강, 환경 지속 가능성 및 동물 복지 문제에 대한 사람들의 인식이 고소득 국가와 젊은 세대 사이에서 특히 증가하였다. 이러한 우려는 육류의 생산 및 소비와 관련된 부정적인 외부 효과 및 윤리적 우려를 완화하면서 영양학적으로 건전한 가능성을 가지고 있는 대체 단백질 공급에 대한 관심을 불러일으키고 있다.

2.2. 대체육 세 가지 유형

두부, 템페(tehpe), 세이탄(seitan) 등과 같은 육류 대체품은 수 세기 동안 존재해 왔다. 그러나 식품 과학 및 제조 기술의 발전에 따라 최근 몇 년 동안 맛, 질감, 외관 및 영양 특성 측면에서 고기를 더 가깝게 모방한 차세대 대체육이 시장에 등장하였다.

일부 소비자는 여러 이유로 육류 소비를 줄이려고 하지만, 여전히 많은 소비자가 고기와 관련된 특정 풍미, 식감 및 입맛을 선호한다. 이것은 고기의 맛과 소비자의 경험을 모방하기 위해 만들어진 식물성 단백질, 동물성 소스 및 생명공학 혁신을 사용한 새로운 제품 개발을 뒷받침하였다.

이 보고서는 감각(맛, 외관, 식감) 및 영양 특성 측면에서 육류를 모방하는 것을 목표로 하는 세 가지 유형의 대체육에 초점을 두고 있다.¹⁾

- 식물성 대체육(Plant-based alternatives): 식물성 단백질을 이용한 버거 패티, 미트볼, 너겟, 소세지 등의 제품으로 고기와 거의 동등한 것으로 마케팅되고 있는 것
- 곤충 기반 대체육(Insect-based alternatives): 식용 곤충 및 대체육 제조에 단백질 공급원으로 사용되는 곤충 기반 재료(곤충 분말 및 밀가루)
- 배양육(Cultured meat): 실험실에서 만들어진 고기 또는 체외 고기로 도축된 동물이 아닌 동물 세포에서 생산된 것. 이 획기적인 기술은 개발 초기 단계에 있으며, 아직까지 싱가포르의 한 레스토랑에서만 상용화됨.

2.2.1. 식물성 대체육(Plant-based alternatives)

식물로 만든 가공 대체육(야채 버거)은 1970년대 후반부터 시장에 출시되었으며, 지난 10년 동안 감각(맛, 외관, 식감) 및 영양 특성 측면에서 육류와 거의 유사한 제품이 개발되었다. 'Beyond Meat' 및 'Impossible Foods' 등의 기업에서 상용화한 제품들은 판매대에서 육류와 거의 동등하게 취급되고 있다.²⁾

식물성 대체육의 주요 투입물은 콩·완두콩과 같은 단백질 함량이 높은 작물이며, 제조법은 일반적으로 시리얼(밀, 쌀), 감자전분, 식물성 기름(코코넛, 카놀라, 해바라기 기름) 등을 포함한다. 식물성 대체육의 주요 장점으로는 사료에서 음식으로의 전환 손실을 감소시킨다는 점이다. 1kg의 식물성 대체육을 생산하는 데 1.3kg의 경작 작물이 필요한 것으로 추정(전환율 약 75%)되는 데 반해 쇠고기의 경우 1 kg당 사료가 7-10kg, 돼지고기는 4-5kg, 가금류는 2-2.5kg가 필요하다.

1) 하이브리드 제품(육류와 대체육의 혼합식품)과 유제품, 계란 및 해산물 대체물은 본 보고서의 연구 대상이 아님.

2) Beyond Meat의 첫 제품은 2012년 미국에서 출시됨.

식물성 대체육 생산공정은 1단계에서 단백질 함량이 높은 작물에서 식물 단백질을 추출하고, 2단계에서 추출된 식물성 단백질에 첨가제를 혼합하여 실제 고기의 맛과 냄새를 재현한다. 3단계에서 실제 고기의 질감을 형성하기 위해 전단 세포 기술, 균사체 배양 또는 3D 프린팅과 같은 기술로 재성형 과정을 진행한다. 다만, 제품 제조과정에서 일부 영양소 손실이 발생할 수 있고, 현재의 기술은 진짜 고기와 같은 형태를 그대로 재현하는데 한계가 있어 다진 고기 형태의 제품만이 시중에 판매되고 있다.

2.2.2. 곤충 기반 대체육(Insect-based alternatives)

최근 추정에 따르면, 약 140개국에서 약 211종의 곤충이 소비되고 있다. 곤충은 수 세기 동안 세계 여러 지역에서 식단의 일부였지만, 대부분의 고소득 국가에서는 일반적이지 않다. 그러나 곤충을 영양 공급원으로 사용하고자 하는 관심이 증가하고 있으며, 최근 몇 가지 곤충 기반 제품이 시장에 등장하고 있다.

식용 곤충은 주로 야생에서 채집되지만 식용 및 사료용으로 사육되는 곤충이 증가하고 있다. 알려진 식용 곤충 종의 92%는 야생수확, 6%는 반가축, 2%는 사육인 것으로 추정된다. 곤충은 동물성 단백질 중에서 사료 전환율이 가장 높은 수준으로 약 1.7-2.3kg의 사료가 1kg의 곤충을 생산하는 데 필요한 것으로 추정되는데, 이는 쇠고기와 돼지고기 1kg을 생산하는 데 필요한 것보다 상당히 적고, 가금류 1kg을 생산하는 데 필요한 것과 비슷한 수준이다. 곤충은 또한 기존 가축보다 번식률이 높고 수일 내에 성숙기에 도달할 수 있어 농가들이 1년에 몇 번씩 출하할 수 있다.

곤충은 여러 가지 방법으로 가공될 수 있다. 전통적으로 곤충은 국, 찜, 구이, 훈제, 튀김 등 풍미 및 영양을 개선하기 위해 조리된다. 고소득 국가에서는 소비자의 수용도를 높이기 위해 분말이나 밀가루와 같이 인식할 수 없는 형태로 만드는 건조, 초음파 보조 추출, 저온 대기압 플라즈마, 건조 분획 등 다양한 기술이 개발되고 있다. 다만, 곤충 분말/가루는 독특한 질감, 외관 및 향을 가지고 있어 제품 제조에 어려움이 있다.

2.2.3. 배양육(Cultured meat)

배양육은 동물 체외에서 육류를 생산하는 것을 의미한다. 배양육은 도축된 동물이 아닌 동물 세포에서 생산되며, 이 기술은 원래 줄기세포 생물학의 발전과 의학적 응용을 목적으로 한 조직 공학에 기반을 두고 있다.

과학자들은 1990년대부터 배양육 연구를 해왔다. 네덜란드 과학자 Wilem van Eeln은 1994년에 배양육 생산 방법에 대한 최초의 특허를 출원했고, 배양육은 2013년 의학 연구원인 Mark Post와 두 명의 언론인이 TV 프로그램에서 Post의 배양육 버거를 맛보고 "고기에 가까웠다"고 선언하면서 대중의 주목을 받았다.

현재 배양육 및 관련 기술(발판(scaffolding), 성장 배지(growth medium)을 연구하는 약 100개의 신생 기업이 있으며, 이들 회사 중 12개 회사는 향후 몇 년 내에 제품을 개발하고 시장에 출시하는 것을 목표로 하고 있다. 그러나 현재까지 미국 스타트업인 '잇저스트(Eat Just)'만이 배양육 제품을 2020년 12월부터 싱가포르의 한 레스토랑에 판매하고 있다. 배양육 생산은 아직 산업 수준으로 규모화되지 않았다.

배양육 생산을 위한 투입물은 주로 영양분과 성장 배지 형성에 필요한 다른 성분, 즉 세포가 성장하는데 필요한 에너지 요구량을 제공하는 솔루션을 포함한다. 또한, 성장 배지의 업스트림 생산과 생산 과정에서 에너지와 물도 필요하다. 현재 배양육 1kg을 생산하는데 약 1.5kg의 작물이 필요한 것으로 추정된다(약 70%의 전환율). 따라서 배양육은 모든 육류보다 사료 전환율이 더 높은 수준이다(Suhlmann et al. 2019).

배양육 생산은 크게 네 가지 단계로 이루어진다. 1단계에서 생체검사를 통해 살아있는 동물로부터 몇 개의 줄기세포를 채취하고, 2단계에서 온도와 산소 제어 및 성장 배지를 공급하는 생물 반응기에서 줄기세포를 증식·성장시킨다. 3단계에서는 줄기세포가 적정 세포 수에 도달하면 성장 배지 구성 변화를 통해 줄기세포를 골격근, 지방 및 결합 조직으로 분화되도록 유도하고, 4단계에서는 분화된 세포를 수확하고 처리하여 최종 제품으로 완성한다. 전체 생산 과정은 배양되는 육류의 종류에 따라 2주에서 8주 사이가 소요된다. 따라서 생후 7~112주에 이르는 모든 육류의 생산 시간보다 짧은 기간이다.

배양육은 분자적으로 육류에 매우 가깝기 때문에 맛, 질감 및 모양 면에서 거의 완벽한 대체품이 될 수 있다. 그러나 배양육 공정을 통해 육류의 모든 특징을 복제하는 것은 어렵

고, 육류 질감에 영향을 줄 수 있는 사후 효소작용 발생 여부의 불확실성이 있고, 식물성 대체육과 같이 풍미 개선을 위해 성분을 추가해야 할 수도 있다. 또한, 비용 효율 측면에서 일정 규모 이상의 배양육 생산과 공급량을 보장하기 위한 기술적 과제가 존재한다.

2.3. 대체육의 식품 시스템에서 기회와 과제

2.3.1. 식량 안보, 영양 및 기타 소비 측면

1) 소비자 가격

가격은 소비자 구매 결정에 중요 요소이다. 현재 배양육의 가격은 육류 가격보다 높게 형성되어 소비자 수요를 제한하고 있지만, 향후 생산 규모 확대 및 효율화에 따라 가격 하락이 전망된다.

식물성 대체육은 세 가지 대체육 중 가장 저렴하지만, 여전히 육류 가격보다 높은 수준이다. 예를 들면, 2021년 미국의 다진 소고기 소매가격은 1kg에 9.5달러이지만, 'Beyond'사와 'Impossible burger'사의 버거 패티 가격은 각각 1kg에 21.3달러와 17.5달러이다. 또한, 곤충 기반 대체육으로 만든 "Coop(스위스의 스타트업)"사와 "Bug Foundation(독일의 스타트업)"사의 버거 패티 가격은 각각 1kg에 46달러와 35달러이다. 배양육은 아직 시장에 출시되지 않았지만 현재의 높은 생산 비용을 고려하였을 때 높은 가격이 예상된다.

2) 건강과 영양

육류는 단백질의 완벽한 공급원이며, 미네랄과 복합 비타민과 같은 중요 영양소를 포함하고 있다. 하지만, 가공육과 적색육은 과다한 소비 시 비전염성 질병(심혈관 질환 및 일부 암)과 연관된 성분이 포함되어 있다. 대체육은 육류와 비슷한 수준의 영양을 제공하는 것을 목표로 한다.

식물성 대체육인 'Beyond'사와 'Impossible burger'사의 햄버거는 소고기 버거의 에너지, 단백질 함량, 단백질 품질 및 소화율과 유사하다. 하지만, 소고기 버거와 달리 일일 권장량의 약 10% 수준의 식이섬유가 함유되어 있어 관상 동맥 심장 질환, 암 및 뇌졸중 감소에 긍정적인 효과가 있다. 곤충 기반 대체육의 단백질 함량은 종에 따라 크게 다르지만, 메뚜

기, 귀뚜라미, 노란색 거저리(yellow mealworm) 등의 단백질 함량은 육류의 수준과 거의 비슷하지만 넓은 범위를 가지고 있다. 또한, 단백질의 완벽한 공급원이며, 9가지 필수 아미노산을 함유하고 있다. 다만, 곤충 기반 대체육은 높은 수준의 나트륨을 함유하고 있고 식물성 대체육보다 식이섬유가 적다. 배양육은 기본 영양 정보가 공개되지 않았지만, 분자적으로 육류에 매우 가깝다. 다만, 비타민 B12와 같은 특정 화합물은 배양 세포에 존재하지 않아 추가적인 기술이나 유전자 변형이 사용될 수 있다.

3) 동물 복지

육류 생산은 인간과 가축 간 긴밀한 상호작용을 포함하여 질병 및 감염의 위험과 동물 사육 및 도축에 관한 윤리적 우려가 존재한다. 반면, 대체육은 생산 과정에서 가축을 제외시킴으로써 부정적인 외부 효과와 윤리적 문제에 대응할 수 있으며, 건강 및 동물 복지 문제에 대한 인식이 높아지고 있는 고소득 국가에서 소비자 수요의 핵심 동인이 될 수 있다.

식물성 대체육은 가축의 산물을 사용하지 않으므로 동물 복지에 부정적인 영향이 없다. 또한, 식중독, 전염병 및 항생제 내성 문제와 관련성이 없고, 농작물 생산에 사용되는 항생제 수준은 낮다. 반면, 곤충 기반 대체육이 동물로부터 자유로운 것은 아니다. 하지만 무척추 동물의 스트레스, 고통 등에 대해 알려진 바는 거의 없으며 포유류보다 낮을 것으로 추정된다. 또한, 곤충과 관련된 식인성 질병, 인수공통 감염 및 항균제 내성 등은 가축보다 낮을 것으로 예상된다. 배양육은 농장 동물을 도살하지 않고 고기를 생산할 수 있지만, 생물의 줄기 세포를 이용하기 때문에 동물로부터 완전히 자유로울 수는 없다. 또한, 세포 배양과정에서 동물 혈청이 사용된다는 점에서 윤리적 문제가 발생한다. 한편, 배양육 지지자들은 완전히 통제되고 멸균된 실험실 환경에서 생성된 육류가 농장에서 생산된 육류보다 안전하다고 주장한다.

4) 소비자 수용

Onwenzen et al.(2021)에 따르면 대체육에 대한 전반적인 수용도는 전통적 육류 수용도에 비해 낮은 것으로 나타났다. 곤충에 대한 수용도가 가장 낮고 배양육이 그 다음이며 식물성 대체육에 대한 수용도가 가장 높은 편이다. 곤충 기반 대체육 및 배양육에 대한

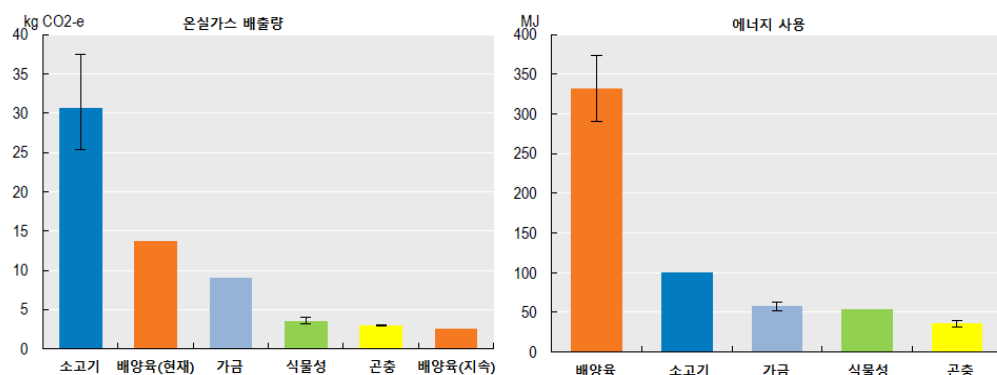
거부감, 가격, 맛 등에 대한 우려가 존재하며, 식물성 대체육에 대해서는 생소함, 맛, 건강 등에 대한 소비자의 걱정이 있다.

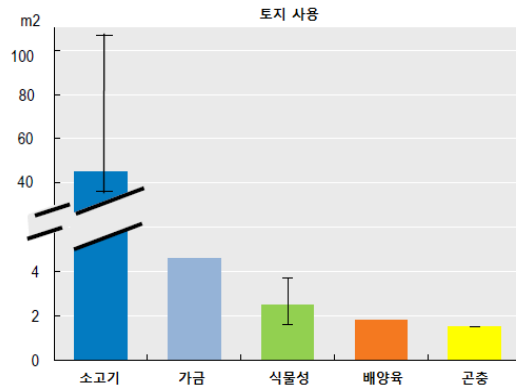
여러 연구에서 대체육에 대한 소비자 수용도를 높일 수 있는 방안으로 육류와 대체육 간의 하이브리드(혼합)를 제안한다. Neville et al.(2017)은 육류 하이브리드와 육류 제품 간에 소비자 수용도에 큰 차이가 없는 반면, 식물성 대체 식품은 수용 수준이 낮음을 제시하였다. 육류 하이브리드는 고기의 맛, 편의성, 친숙성 등을 포기하지 않고 고기 섭취를 줄이려는 소비자에게 절충안이 될 수 있다. 또한 대체육의 장점에 대한 교육과 대체육에 대한 명확한 상품 표기가 소비자의 신뢰를 높여 대체육 소비 확대를 가져올 수 있다.

2.3.2. 환경 지속가능성 측면

육류 생산은 환경에 대하여 외부 효과와 연관되어 있어, 대체육의 주요 장점으로 이러한 외부 효과의 감소를 가져올 수 있는 잠재력을 꼽을 수 있다. <그림 2>는 1kg의 다진 소고기, 가금, 배양육, 식물성 대체육 및 곤충 기반 대체육 햄버거의 온실가스 배출, 에너지 및 토지 사용을 제시한다.

〈그림 2〉 1kg 육류 및 대체육의 환경 영향





주: 오차 막대는 95% 신뢰 구간을 나타냄. 배양육(현재)는 현재의 기술과 에너지 하에서 배양된 고기를 말하며, 배양육(지속)은 청정 에너지 가정하에서의 배양육을 의미함.

자료: OECD(2022).

1) 온실가스(GHG) 배출

가축 생애 전과정평가(life-cycle analysis, LCA)에 따르면, 축산 부분은 전 세계 온실가스 배출량의 14.5%를 차지한다. 이 중 약 44%는 장내 발효 및 분뇨 관리에서 발생하는 메탄(CH_4) 배출이고, 나머지는 비료 사용 및 거름 관리로 인한 아산화질소(N_2O) 배출(29%), 토지 사용 변화 및 화석 연료 사용으로 인한 이산화탄소(CO_2) 배출(27%)이다. 축산 부문 배출량의 반정도가 가축 생산 자체와 관련되어 있지만, 사료 생산, 가공 및 운송 부문이 온실가스 배출의 45%를 차지한다(Gerber et al. 2013).

식물성 대체육의 배출량은 동물성 식품보다 낮다. 식물성 대체육에 주로 사용되는 완두콩과 밀은 1kg $\text{CO}_2\text{-e/kg product}$ 미만의 배출 강도를 가지며 이는 쇠고기(>30kg $\text{CO}_2\text{-e/kg product}$), 돼지고기 및 가금류보다 상당히 낮다. 식물성 대체육 기반 햄버거의 탄소 발자국 또한 미국 쇠고기 버거보다 89% 낮다는 연구 결과가 있다(Heller and Keoleian 2018). 곤충 기반 대체육 또한 곤충 무게와 식용 단백질 기준 모두에서 육류보다 탄소 발자국이 낮다고 나타난다. 또한 더 높은 사료 전환율로 인하여 사료 생산과 관련된 배출량도 더 낮은 것으로 추정된다. 배양육은 생산 과정에서의 산업 공정이 생물학적 기능을 대체하기 때문에 에너지 집약적이다. 이로 인하여 현재의 생산 기술과 에너지 하에서는 배양육이 쇠고기보다 탄소 발자국이 작지만 가금육 및 돼지고기보다는 높다고 나타났다. 하지만 청정 에너지원으로 전환할 경우 배양육 생산과 관련된 온실가스 배출량은 크게 줄일 수 있다.

2) 토지 이용

축산은 토지 사용도가 높다. FAO는 전 세계 열음이 없는 땅의 26%가 가축 방목에 사용되고 농경지의 33%가 가축 사료 생산에 사용된다고 추정하였다(FAO 2013). 대체육의 명백한 환경적 이점은 육류보다 사료 전환율이 더 높기 때문에 육류에 비해 토지 사용도가 낮고, 목초지가 필요하지 않다.

식물성 대체육은 육류보다 제품 kg당 토지 사용량이 낮다. 예를 들면, 'Beyond'사와 'Impossible burger'사의 햄버거는 미국 소고기 햄버거에 비해 생산하는 데 필요한 토지가 92%~96% 적다고 추정된다(Heller and Keoleian 2018). 곤충 생산 시설에는 토지가 거의 필요하지 않기 때문에 곤충 생산 관련된 거의 모든 토지 사용 요건은 사료 생산에서 나온다. Oonincx and de Boer(2012)는 거저리 단백질 1kg을 생산하는데 같은 무게의 가금류에 비해 1/2.3~1/2.85배, 돼지고기에 비해 1/2.57~1/3.49배, 소고기에 비해 1/7.89~1/14.12배 작은 토지가 필요하다고 추정하였다. 배양육 생산에 있어서 토지 사용 감소는 잠재적으로 주요 환경적 이점이며, 에너지 사용 및 온실가스 배출 추정에 있어 불확실성이 적다. 예를 들면, CE DELFT(2021)는 배양육 1kg을 생산하는데 단지 토지 1.8m²가 필요하다고 추정하였으며, 이는 1kg의 가금류와 소고기에 비해 각각 60%와 94% 적다.

3) 물 사용 및 오염

축산은 물 사용량이 많다. 농장의 직접적인 물 사용량 비율은 낮지만, 사료 작물의 경작 및 가공을 위한 간접적인 물 사용량이 큰 비중을 차지한다. Heinke et al.(2020)은 연간 4,387km³의 수자원이 사료 생산에 사용되며, 이는 전체 농업 용수의 약 41%를 차지한다고 추정하였다. 또한, 축산의 수질 오염 원인인 질소와 인은 동물의 배설물에서 나오고, 합성 비료의 사용은 지표수와 지하수 모두의 주요 오염 요인이다.

식물성 대체육은 모든 육류보다 제품 kg당 물 요구량이 낮다(CE DEFLT 2021). 예를 들면, 'Beyond'사와 'Impossible burger'사의 햄버거 1kg을 생산하는데 필요한 물은 미국산 소고기 버거 1kg을 생산하는 것보다 각각 87%, 99% 적은 물이 필요한 것으로 추정된다(Heller and Keoleian 2018). 농장 곤충은 일반 가축보다 물 필요량이 적다. 곤충은 사료나 기질(substrates)에서 물 필요량을 획득할 수 있고, 곤충 사육에 필요한 대부분의 물은 사료

생산 및 가공 단계에서의 세척과 관련되어 있다. Miglietta et al.(2015)는 거저리 단백질 1kg을 생산하는데 같은 무게의 가금류에 비해 1/1.5배, 돼지고기에 비해 1/2.5배, 소고기에 비해 1/5배 적은 물이 필요한 것으로 추정하였다. 배양육에 대한 물 사용량 연구는 부족하여 구체적으로 값을 제시하기 어렵다. 다만, 소고기 사용량보다는 적지만 가금육 및 돼지고기보다는 비슷하거나 많을 것으로 추정된다(CE DELFT 2021).

2.3.3. 식품 가치 사슬 내 종사자 측면

1) 생산비 및 경제성

고소득 국가에서 수십 년 동안 축산이 집약화되고 농업 기술이 발전하면서 육류 생산의 비용 효율성이 높아져 대체육의 경쟁이 어려워졌다. 그 결과 현재 본 리포트의 대체육은 육류보다 생산 비용이 크다. 그러나 향후 생산 규모를 확대하고 생산 프로세스를 최적화함으로써 향후 몇 년 동안 상당한 비용 절감 가능성이 존재한다.

식물성 대체육 제조 과정에서 식물 투입물(대두, 두류, 밀 등)의 가격은 상대적으로 저렴하다. 다만, 식물성 대체육은 높은 가공비용으로 인하여 육류보다 비싼 상황이다. 예를 들면, 소고기 소매가격의 50%가 가공 비용으로 추정되는 반면, 대체육 소매가격의 90% 이상이 수확 후 가공 비용으로 추정된다. 또한, 식물 기반 지방, 향미 강화제, 색상 첨가제와 같은 기타 성분이 최종 비용에 추가된다. 곤충 기반 대체육은 생산 비용에 대한 정보가 부족한 편이다. 다만, 현재 사용 가능한 추정치에 의하면 육류보다 생산비용이 높게 추정된다. McKinsy&Co.(2019)는 육류 단백질의 생산비가 1kg당 평균 4달러인 것에 비해 곤충 단백질의 생산 비용은 9-11달러라고 제시하였다. 이러한 높은 생산 비용의 주요인은 곤충 농장이 규모가 작고 노동 집약적이기 때문인 것으로 추정된다(FAO 2021). 배양육의 높은 생산 비용은 산업의 중요한 과제이자 상업성의 주요 걸림돌로 남아있다. 마크 포스트가 2년여의 개발 끝에 2013년에 만든 최초의 배양육 버거는 생산비가 300달러(2,470달러/kg)였다. 이러한 높은 비용은 의학에서 전통적으로 사용되는 호르몬과 영양소와 같은 제품과 화합물 사용 때문이다. 또한, CE DELFT(2021)은 현재의 생산 기술과 투입 비용을 기반으로 비슷한 육류 제품보다 100~10,000배 더 비싼 1kg 149달러에서 22,422달러로 제시하였다.

2) 축산 부문 가치 사슬 내 고용

동물 사료 생산, 사육, 유통 및 판매는 전 세계 수억 명의 생계를 책임지고 있으며, 특히 저소득 국가에 집중되어 있다. 전 세계 GDP의 약 3%가 농업에서 나오고 이 중 40%는 축산이 차지하는 것으로 추정된다(FAO 2013). 따라서 대체육이 가격 경쟁력을 갖추고 널리 수용되어 상당한 시장 점유율에 도달하게 되면 농업에 크게 의존하고 있는 지역과 국가에 특히 사회경제적 영향을 미치고 축산 부문 가치 사슬 내 종사자에 영향을 미칠 것으로 예상된다.

□ 사료 산업에 대한 영향

2018-20년 사이 약 17억 톤의 곡물, 단백질 가루 및 가공 부산물이 동물 사료로 사용되었다(OECD/FAO 2021). 따라서 육류 수요가 감소한다면 사료 작물에 대한 수요도 감소될 것이다. 하지만 이러한 감소 중 일부는 대체육 생산을 위한 공급 원료로 전환될 수 있다. 식물성 대체육 생산을 위한 단백질 작물(완두콩, 렌즈콩, 머그콩 등)과 배양육 성장 배지 생산을 위한 농작물에 대한 수요가 늘어날 것으로 보인다. 또한, 대체육 생산을 위해서는 현재의 사료 작물 중심의 생산 구조도 변화가 필요하다.

□ 축산업에 대한 영향

가축 생산 감소는 축산 부문의 실업을 발생시켜 사업을 감소시키고 농촌 경제에 파급효과를 가져온다. 일부 일자리가 대체육 시장에서 창출될 수 있지만 그 수가 얼마일지는 명확하지 않다. 또한 새로운 직업(화학자, 생물학자, 엔지니어, 공장 노동자 등)은 다른 기술을 요구할 수 있어 축산 부문 근로자가 직업을 전환하는데 많은 비용을 수반할 것이다. 하지만, 대체육 시장의 성장으로 인한 잠재적·부정적 고용 효과에 대한 우려를 과대평가해서는 안된다. 왜냐하면 세계 육류 소비는 향후 10년 동안 중간 소득 국가를 중심으로 증가하고, 대체육 시장은 여전히 규모가 작을 것으로 전망되기 때문이다. 마지막으로 대체육은 육류 생산보다 더 적은 토지를 필요로 하므로, 대체육이 축산업의 중요 부분을 대체하면 상당한 토지 면적이 확보될 수 있다.

□ 육류 가공업 및 유통업에 대한 영향

대체육 생산에는 도축과 같은 단계가 필요하지 않기 때문에 도축장, 육류 포장 산업, 도축자와 같은 소규모 가공업자 및 유통업자 등의 일자리 감소가 예상된다. 그러나 대체육 시장의 성장은 특히 대형 육류 가공업체와 유통업체에 다양화의 기회를 제공할 전망이다. 이미 여러 글로벌 육류 가공업체와 식품업체가 대체 단백질 시장에 진출해 기존 제품을 식물성 신제품으로 보완하는 '단백질 기업'으로 변신하였다(Tyson Foods, Nestle, Perdue Farms 등). 전반적으로, 대체육 시장 성장이 고용을 포함한 사회경제적 영향은 축산 부문 가치 사슬의 종사자에 따라 다를 것으로 보인다.

3) 향후 10년간 대체육 성장 가능성

대체육의 식품 시스템에 대한 영향은 대체육이 상당한 시장 점유율을 확보하는지 또는 "틈새 제품(niche product)"으로 남아 있는지 여부에 따라 크게 달라질 것이다. 대체육이 비용 효율적이고 널리 받아들여져 육류 단백질 시장의 많은 부분을 차지하게 되면, 이는 건강, 환경 및 윤리적 영향뿐만 아니라 축산 부문 가치 사슬에 있는 종사자에게도 광범위한 영향을 미칠 수 있다. 반면, 대체육이 틈새시장으로 남아있게 된다면 사회 전반에 대한 영향은 작을 수 있다.

□ 현재 시장 규모

대체육은 종류에 따라 시장 상황이 다르다. 현재 대체육 시장은 주로 식물성 대체육으로 이루어졌다. 최초의 가공된 식물 기반 대체육(예: 야채 버거)이 수십 년 전부터 시장에 나와 있었지만, 고기를 더 가깝게 모방한 식물성 대체육은 약 10년 전부터 상품화되었다. 'Beyond'사와 'Impossible burger'사와 같은 선도적인 브랜드들은 이제 여러 나라의 슈퍼마켓, 식당, 그리고 패스트푸드점(맥도날드, 피자헛 등)에서 판매되고 있다. 2020년 12월 기준으로 'Beyond'사의 육류 제품은 약 122,000개의 소매 및 식품 서비스에서 이용 가능하다. 하지만, 육류에 대한 식물 기반 대체육의 세계 시장 규모는 2021년에 50억 달러에서 160억 달러 사이로 추정되며, 세계 육류 시장 규모인 1조 4천억 달러에서 1조 7천억 달러에 비교하였을 때 1% 미만이다.

곤충 기반 대체육은 일부 고소득 국가에서 5년 이상 시장에 출시되어 있다. 하지만 식용 곤충 시장 규모에 대한 추정치는 1억 5,400만 달러에서 5억 1,000만 달러 사이로 다양하다. 곤충 가루가 식용 곤충 시장의 대부분을 차지하며 단백질 바와 스낵이 그 다음이다.

배양육은 2020년 12월부터 싱가포르의 한 레스토랑에서 상용화되었다. 이스라엘에도 테스트 레스토랑이 있으며 일부 회사는 시제품에 대한 공개 테스트를 제공하고 있어 상업화 수준이 가장 낮다.

□ 예상되는 시장 성장

민간 투자, 육류 및 식품 회사의 투자 증가로 향후 10년 동안 대체육 시장의 강력한 성장이 전망된다. 그러나 대체육 시장의 실제 성장은 소비자 수용, 규제 프레임워크 변화 및 생산 비용의 감소 등 몇 가지 요인에 따라 달라질 전망이다.

컨설팅 회사들은 향후 몇 년 동안 식물성 대체육의 전 세계 연간 성장률을 육류 시장 예상 성장률보다 높은 약 20%로 예측하였다. 다만, 작은 초기 시장 규모를 고려할 때 2030년에 시장 규모가 약 250억 달러에서 최대 1,400억 달러이며, 이는 여전히 전 세계 육류 시장의 10% 미만이다.

세계 식용 곤충 시장 규모는 2025년까지 약 15억 달러, 2030년에는 최대 80억 달러에 이를 것으로 예상된다. 그러나 규제 장벽과 낮은 곤충 식품 가공 기술 수준으로 인하여 사료로써 곤충의 성장 잠재력은 고소득 국가에서 더 높을 것으로 전망된다.

배양육 시장의 성장에 대한 전망은 몇 가지 가설만 존재하는 상황이다. McKinsey & Co. (2021)는 소비자 수용, 다양한 부위 재생산 기술(가공육 또는 전체 부위), 시장 침투 정도(북미 및 유럽 또는 전 세계 육류 소비 지역) 등 몇 가지 요인에 따라 2025년에는 0-20억 달러에서 2030년에는 50-250억 달러로 성장할 수 있을 것으로 추정하고 있다. 전반적으로 컨설팅 회사의 보고서 대부분은 2025-2030년까지 대체육 시장이 거의 식물성 대체육 중심이 될 것이라고 예측하지만, 일부에서는 2035년 이후 배양육이 식물성 대체육을 추월하여 대체육 단백질의 가장 큰 공급원이 될 수 있다고 전망한다.

북미와 유럽의 대체육 시장이 현재 가장 성숙되었으며, 대체육 제품이 이미 몇 년 동안 식료품 진열대에 있었다. 아시아-태평양은 인구와 소득 증가로 단백질에 대한 수요 증가를

촉진하고 있고, 이 지역의 새로운 식품과 기술에 대한 높은 수용도로 인해 향후 대체육의 최대 시장이 될 가능성이 있다.

3. 대체육의 국제 농산물 시장에 대한 영향 분석

3.1. 식단 변화 시나리오

OECD-FAO Aglink-Cosimo³⁾ 모델을 사용하여 두 가지 식단 변화 시나리오에 따라 육류에서 대체육으로의 수요 변화가 글로벌 농업 시장에 미치는 중기적 영향을 추정한다.

- 점진적 시나리오: 2030년까지 고소득 국가에서 10%의 육류 소비가 대체육으로 일정한 비율로 전환됨. 90%의 대체가 식물성 대체육에서 이루어지고, 10%는 곤충 기반 대체육과 배양육을 통해 이루어짐.
- 급진적 시나리오: ① 2030년까지 고소득 국가에서 25%의 육류 소비가 대체육으로 일정한 비율로 전환됨. 80%의 대체가 식물성 대체육에서 이루어지고, 20%는 곤충 기반 대체육과 배양육을 통해 이루어짐. ② 2030년까지 중간 소득 국가에서 10%의 육류 소비가 대체육으로 일정한 비율로 전환됨. 90%의 대체가 식물성 대체육에서 이루어지고, 10%는 곤충 기반 대체육과 배양육을 통해 이루어짐.

3.2. 분석 결과

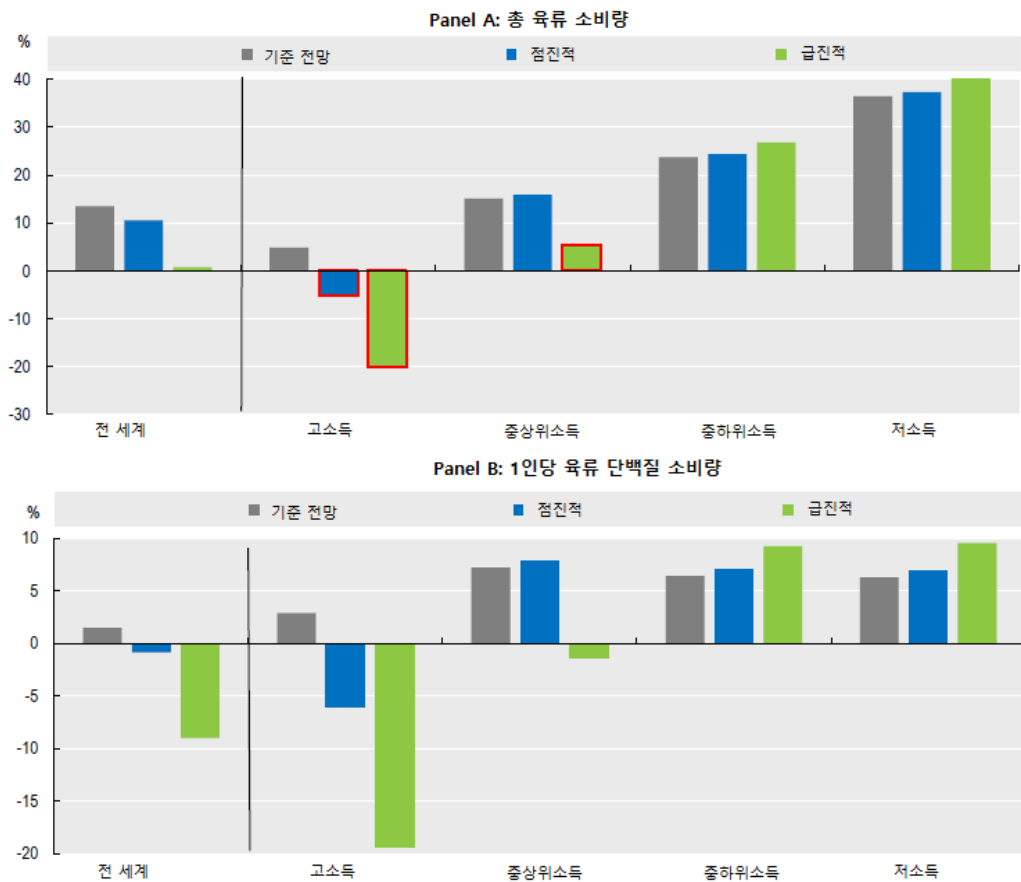
3.2.1. 육류 소비

고소득 국가에서 육류 소비는 2018-20년과 2030년 사이에 5% 증가할 것으로 전망된다 <그림 3>. 따라서 2030년 기준선 대비 육류 소비량의 10% 감소는 점진적 시나리오에서 5% 감소, 급진적 시나리오에서 20% 감소를 의미한다. 중상위 소득 국가에서 육류 소비는 기준치에서 15% 이상 증가할 것으로 예상되어, 육류의 10% 감소는 기준 소비 대비 5% 증가를 의미한다. 식단 변화가 나타나지 않는 중하위 소득 국가와 저소득 국가에서는 육류 소비가

3) OECD-FAO Aglink-Cosimo는 OECD와 FAO가 글로벌 농업 분석을 위한 사용하는 부분균형모형임.

크게 증가한다. 종합적으로 점진적 시나리오에서 고소득 국가의 식단 변화는 전 세계 육류 소비 전망치는 13.5%에서 10.5%로 제한적으로 영향을 미치는 반면, 급진적 시나리오에서는 향후 10년 동안 전 세계 육류 소비가 거의 증가하지 않는다. 한편, 급진적 시나리오에서 고소득 국가의 1인당 육류 단백질 소비가 20% 감소함에도 육류 소비 수준은 2030년도 중하위 소득 및 저소득 국가보다 4.5배 높다.

〈그림 3〉 2018-2020년 대비 2030년 시나리오별 육류 소비량 변화



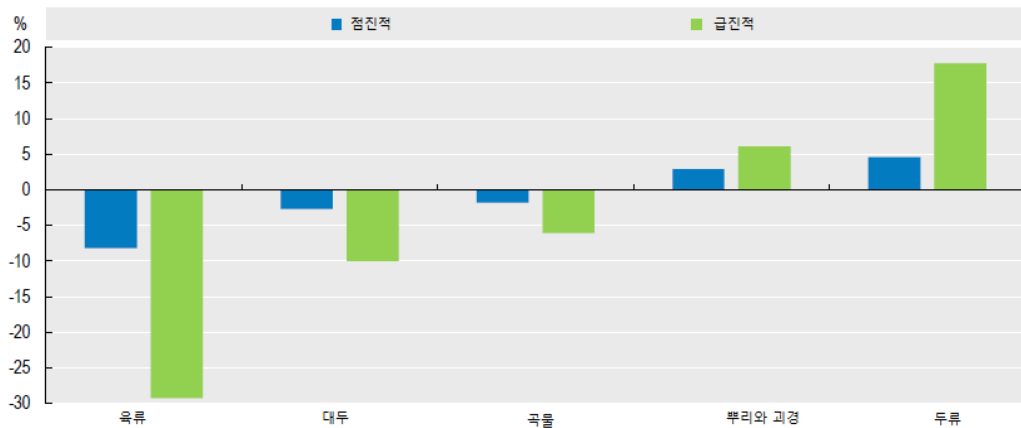
주: 2018년 소득을 기준으로 저소득(1,550달러, 중하위소득(3,895달러, 중상위소득(13,000달러, 고소득)13,000달러임.
자료: OECD(2022).

3.2.2. 국제 상품 가격

고소득 및 중상위 소득 국가에서의 육류 수요 감소로 국제 육류 가격의 큰 하락이 전망된다(그림 4). 점진적 시나리오와 급진적 시나리오에서 각각 기준선보다 8%, 29% 하락이 전망된다.

식단 변화가 농작물에 미치는 영향은 식물 기반 식품에 대한 수요 증가와 사료 작물에 대한 수요 감소 등 두 가지 상충하는 효과가 동시에 작용하기 때문에 명확하지 않다. 대두와 옥수수와 같이 주로 사료로 사용되는 상품의 경우, 사료 수요 감소가 대체육 투입 수요의 증가를 초과하여 가격을 하락시킬 수 있다. 점진적 시나리오와 급진적 시나리오에서 대두(soybean) 가격은 기준 가격보다 각각 3%, 10%, 곡물(옥수수, 밀, 쌀 등)은 2%, 6% 하락이 전망된다. 반면, 두류(pulses)의 경우 식품 수요 증가가 사료 수요 감소보다 크게 나타나 점진적 시나리오와 급진적 시나리오에서 각각 5%, 18% 증가할 것으로 전망되며, 뿌리와 괴경도 각각 3%, 6% 증가가 예상된다. 이러한 가격 변화는 중하위 소득 국가의 소비뿐만 아니라 농가의 소득 변화에도 영향을 줄 것으로 보인다.

〈그림 4〉 기준 가격 대비 국제 상품 가격(2030년) 변화율



주: 육류는 소고기, 송아지고기, 가금류, 돼지고기 및 양고기가 포함됨. 곡물에는 옥수수, 밀, 쌀이 포함됨.

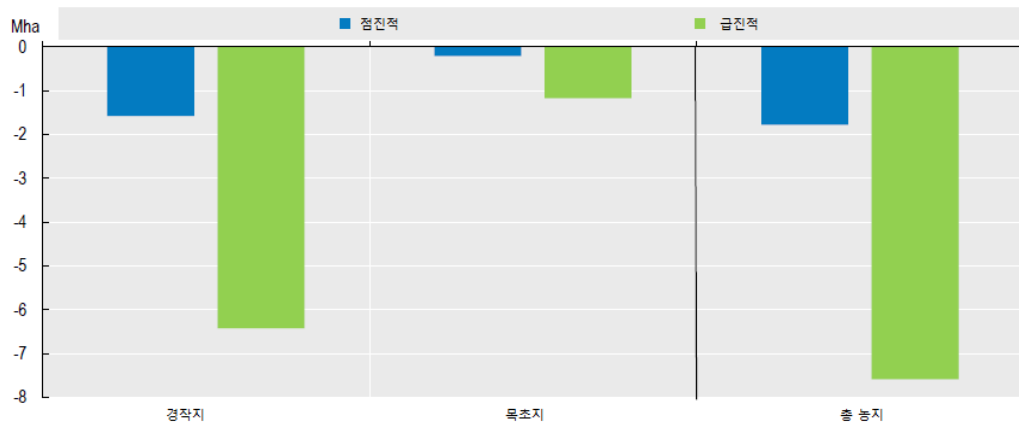
자료: OECD(2022).

3.2.3. 토지 사용

일부 국가의 육류 수요 감소와 전 세계 육류 생산 감소는 목초지의 감소로 나타날 전망이다(그림 5). 점진적 시나리오 및 급진적 시나리오에서 전 세계 목초지 면적은 각각 204,000 ha 및 120만ha 감소가 예상된다. 고소득 및 중상위 국가의 낮은 육류 수요가 중하위 및 저소득 국가의 증가하는 수요에 의해 부분적으로 상쇄되기 때문에 전 세계 목초지 감소는 제한적이다. 또한, 일부 국가에서는 육류 생산의 일부만 목초지에서 이루어지고 있다.

점진적 시나리오 및 급진적 시나리오에서 경작지의 감소는 각각 1.6백만ha와 6.4백만ha로 전망된다. 경작지의 변화는 식물 기반 식품에 대한 수요 증가와 사료 작물에 대한 수요 감소로 두 가지 복합적인 효과가 나타나지만 사료 생산의 감소가 식량 생산의 증가보다 크기 때문에 결과적으로 경작지의 감소가 나타난다. 종합하면, 점진적 시나리오와 급진적 시나리오에서 전 세계 농경지는 각각 1.8백만ha와 7.6백만ha 감소할 것으로 예상되며, Aglink-Cosimo 모델은 농지가 숲으로 전환된다고 가정한다.

〈그림 5〉 기준 전망 대비 농지 이용(2030년) 변화



자료: OECD(2022).

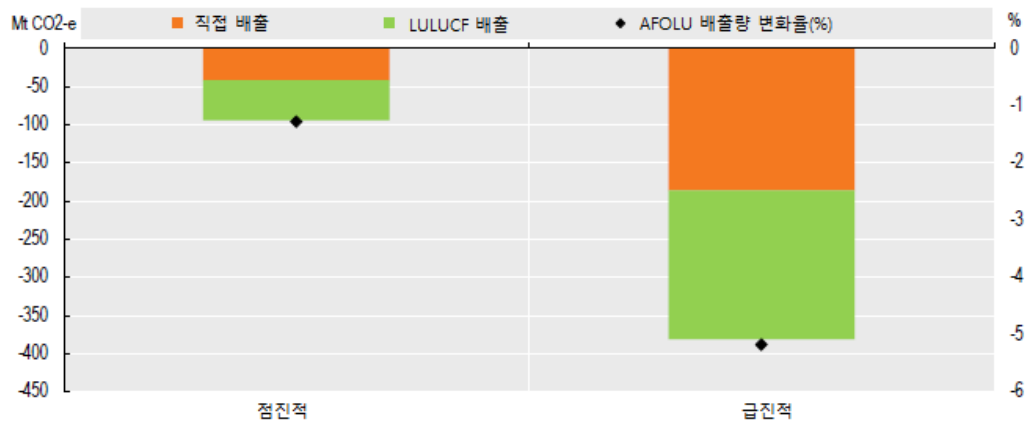
3.2.4. 농림업(AFOLU) 분야 온실가스

고소득 국가의 고소득 및 중상위 소득 국가에서의 식습관 변화는 배출 집약도가 낮은 식물성 소비로 대체되어 농림업(agriculture, forestry, and other land use, AFOLU)에서 직

점적으로 발생하는 온실가스(GHG) 배출량 감소로 이어진다(그림 6). 구체적으로 점진적 시나리오 및 급진적 시나리오에서 농림업(AFOLU)의 직접 배출량은 기준 전망 수준보다 42백만t CO₂-e(-0.8%)와 186백만t CO₂-e(-3.4%) 각각 감소한다. 급진적 시나리오에서의 배출량 절감은 파리 협정의 2°C 목표를 달성을 위한 경제적 노력과 일치하는 탄소 가격 기준으로 농업 부문 직접적인 GHG 배출량의 약 5분의 1 수준이다.

식습관 변화는 삼림지 증가로 인해 토지 이용, 토지 이용 변화 및 임업(land use, land use change, and forestry, LULUCF)으로 인한 온실가스 배출량 감소로도 이어진다. LULUCF 배출량은 점진적 시나리오 및 급진적 시나리오에서 기준 전망보다 53백만t CO₂-e(-3%)와 195백만t CO₂-e(-10%)로 각각 감소한다.

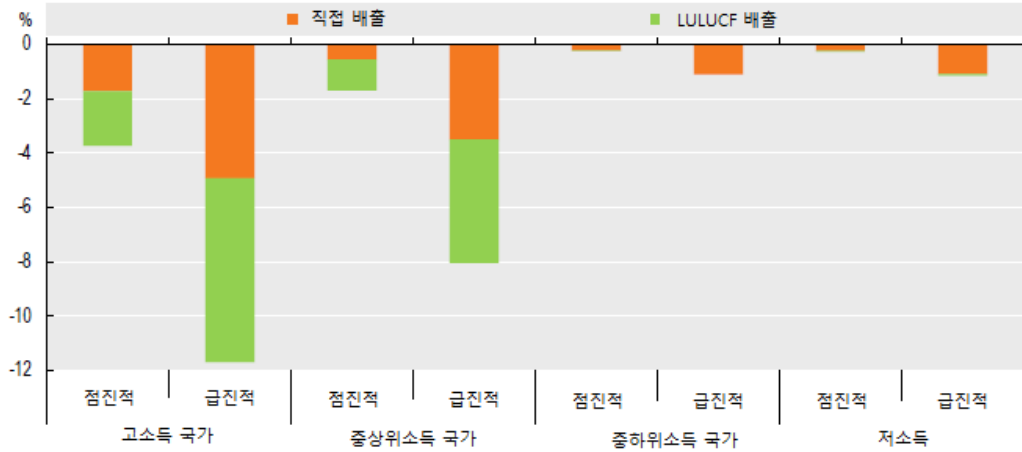
〈그림 6〉 기준 전망 대비 농림업 부문의 전 세계 온실가스 배출량 변화(2030년)



주: 직접 배출은 장내 발효, 토양에 적용된 거름, 목초지의 거름, 거름 관리, 합성 비료 사용, 벼 경작, 농작물 잔류물, 농작물 잔류물 연소, 사바나 연소 및 유기 토지 경작으로 인한 온실가스 배출을 포함함. LULUCF배출은 순 삼림 배출, 유기 토양 배출 및 바이오매스 연소로 인한 배출을 포함함.

자료: OECD(2022).

〈그림 7〉 기준 전망 대비 국가 소득 그룹별 농림업(AFOLU) 부문의
전 세계 온실가스 배출량 변화(2030년)



주: 직접 배출은 장내 발효, 토양에 적용된 거름, 목초지의 거름, 거름 관리, 합성 비료 사용, 벼 경작, 농작물 잔류물, 농작물 잔류물 연소, 사바나 연소 및 유기 토지 경작으로 인한 온실가스 배출을 포함함. LULUCF 배출은 순 삼림 배출, 유기 토양 배출 및 바이오매스 연소로 인한 배출을 포함함. 2018년 소득을 기준으로 저소득<1,550달러, 하위 중간 소득<3,895달러, 상위 중간 소득<13,000달러, 고소득>13,000달러임.

자료: OECD(2022).

총 온실가스 배출 감소량은 점진적 시나리오 및 급진적 시나리오에서 기준 전망보다 각각 94백만t CO₂-e(-3%) 및 381백만t CO₂-e에 달한다. 다만, 전 세계 농림업(AFOLU) 부문 온실가스 배출 감소량은 국가 소득 그룹에 따라 다르게 나타난다(그림 7). 고소득 및 중상위 소득 국가에서 AFOLU 배출량은 급진적 시나리오에서 각각 12%와 8% 감소하지만, 중하위 소득 국가에서는 고소득 및 중상위 국가의 육류 및 사료 수입 수요 감소로 인해 배출량이 약간 감소할 것으로 전망된다.

참고문헌

- CE DELFT. 2021. "LCA of cultivated meat: Future projections for different scenarios."
- FAO. 2006. Livestock's long shadow: environmental issues and options.
- Gerber, P. J., et al. 2013. "Tackling climate change through livestock: a global assessment of emissions and mitigation opportunities." Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Heller, M. and G. Keoleian. 2018. "Beyond Meat's Beyond Burger Life Cycle Assessment: A detailed comparison between a plant-based and an animal-based protein source."
- McKinsey & Company. 2021. "Cultivated meat: Out of the lab, into the frying pan."
- McKinsey & Company. 2019. "Alternative proteins: The race for market share is on."
- Miglietta, P. et al. 2015. "Mealworms for Food: A Water Footprint Perspective." water, pp. 6190-6203.
- Neville, M. et al. 2017. "Consumer-orientated development of hybrid beef burger and sausage analogues." Food Science & Nutrition.
- OECD/FAO. OECD-FAO Agricultural Outlook 2021-2030.
- OECD. 2022. Meat Protein Alternatives: Opportunities and Challenges for Food Systems' Transformation.
- Onwezen, M. et al. 2021. "A systematic review on consumer acceptance of alternative proteins: Pulses, algae, insects, plant-based meat alternatives, and cultured meat." Appetite.
- Oonincx, D. and I. de Boer. 2012. "Environmental Impact of the Production of Mealworms as a Protein Source for Humans - A Life Cycle Assessment." PLoS ONE.
- Suhlmann, G., Ziemben, F., Donnan, D., Gerhardt, C., and Warschun, M. 2019. "When consumers go vegan, how much meat will be left on the table for agribusiness?" Kearney: Chicago, IL, USA.