

바이오경제와 지속가능한 농식품시스템

강 형 준*

1. 바이오경제 개요¹⁾

1.1. 개요

세계적으로 바이오경제 특유의 잠재력 덕분에 화석 자원 대신 유기물 자원 활용에 기반을 둔 '바이오경제 분야'가 정책 수립에 있어서 주류를 이루고 있다. 대부분의 OECD 국가들을 포함한 적어도 49개국에서 바이오경제 관련 전략 혹은 비전을 제시하고 있으며, 해당 국가들은 바이오경제가 향후 식량안보, 기후변화, 화석연료를 포함한 천연자원의 희소성, 경제성장, 식량과 원자재 수요증가 등과 같은 중요한 사회적 문제들을 해결할 기회를 제공할 것으로 인식하고 있다.

바이오경제에 대한 일반적인 개념은 지속가능한 바이오자원 이용에 기반을 둔 경제로 볼 수 있지만, 여러 국가의 바이오경제 관련 전략을 살펴보면 바이오경제 안에 내포된 핵심적인 내용은 상당한 차이를 보이고 있는 것을 알 수 있다. 예를 들어, 미국이나 인도나 남아프리카공화국, 또는 우리나라의 경우 바이오경제를 논의할 때 생물과학 및 생명 공학기술 등에 중점을 두며 건강 관련 분야를 대부분 포함시킨다. 반면 브라질이나 캐나다, 핀란드, 뉴질랜드 등은 1차 산업 및 새로운 바이오매스가치사슬에 중점을 두며, 바이오경제를 농림 어업을 포함하는 개념으로 정의한다. 그리고 네덜란드와 말레이시아, 중국, 일본, 태국, 러시아 등은 떠오르는 산업, 첨단기술개발 등에 중점을 두고 바이오경제를 바라본다. 이처럼 바이오경제의 개념을 논의하는데 있어서 각 국가 별로 중점을 두는 부분에 큰 차이를 보이고

* 강원대학교, 농업경제학 석사과정 (94hyungjun@naver.com)

1) 본고는 'OECD BIO-ECONOMY AND THE SUSTAINABILITY OF THE AGRICULTURE AND FOOD SYSTEM: OPPORTUNITIES AND POLICY CHALLENGES'의 '2. 바이오경제-농식품시스템의 지속가능성을 육성할 기회'를 중심으로 작성함.

있는데, OECD에서는 생명공학기술에 중점을 둔 좁은 의미로서 바이오경제를 정의하였다. OECD는 최근 떠오르고 있는 바이오경제란 생명공학기술이 세계경제에 있어서 중요한 역할을 수행하는 세계이며, ① 향상된 생명공학 기술에 대한 이해 및 활용, ② 지속가능한 응용 생물학적 제법(bioprocess), 및 재생가능한 바이오매스 이용, ③ 여러 분야에 걸친 생명공학 지식 응용 등을 포함한다고 했다(Viaggi 2018).

1.2. 주요 연구 결과

농식품시스템(agro-food system)은 바이오경제 정책 의제의 중요한 부분이다. 경제성장에 대한 바이오경제의 잠재적인 기여, 환경에 미치는 영향, 그리고 정책이 그 발전에 어떻게 영향을 미치거나 지원하는지에 대한 주요 연구 결과는 다음과 같다.

- 바이오경제가 신산업과 혁신기회, 일자리 창출, 천연자원의 효율성 및 생산성 향상, 기후변화에 적응하기 위한 농업에 대한 도움 등을 통해 농식품시스템의 지속가능한 발전에 중요한 역할을 할 것이라는 기대가 높다. 바이오경제는 바이오매스의 계단식 이용(cascading use)과²⁾ 폐자재 재사용을 통해 바이오매스에서 창출되는 가치를 향상시키고 가치사슬을 활성화할 수 있다.
- 국가별 바이오경제 전략들은 식량안보(식품 우선주의)와 환경지속가능성을 핵심 목표로 강조하는 경향이 있다.
- 바이오경제가 농식품시스템에 미치는 전반적인 경제적, 환경적, 사회적 영향에 대한 구체적인 실증은 부족한 편이므로 더 나은 모니터링과 평가가 필요하다.
- 산업 클러스터를 통한 지식 공유와 바이오경제 관련 파트너십을 증가시키기 위한 정책 계획은 점점 더 광범위해지고 있다(예: 기존 및 관련 산업의 공동입지, 공유 시범 시설 및 인프라 제공).
- 바이오경제 전략의 성공적인 실행을 위해서는 시장개발을 촉진하고 소비자 신뢰를 구축하는 총체적인 횡단교차적 정책(cross-cutting policy)³⁾ 접근법이 필요하다.

2) 계단식 이용은 복잡한 개념이지만 간단히 말하자면, 계단처럼 단계별로 내려가는 자원 이용 과정에서 자원 최대한 오래 사용하고 재활용하는 방식임(Olle Olsson 2017).

3) 다수의 행정기관이 규제 관련 권한을 분할하여 가지고 있으며, 동시에 여러 기관에게 중복적으로 위임되어 있는 경우를 의미함.

1.3. 바이오경제의 지속가능성 강화

농업이 생물자원에 의존한다는 점을 고려할 때, 농업 식량시스템은 대부분의 바이오경제 전략에서 중요한 역할을 한다. 농업부문은 에너지, 재료(목재, 플라스틱, 의류), 생화학, 생약 제품 등 식품 및 기타 바이오 기반 산업의 주요 바이오매스 공급자라는 점에서 바이오경제에서 중심적인 역할을 한다.

바이오경제는 근본적으로 지속가능하지 않다. 바이오경제 발전의 주요위험은 식량공급과 비식품 바이오매스 생산 사이의 경쟁이 심해지는데 있다. 바이오경제와 관련된 중요한 딜레마는 바이오경제로 인한 공산품 생산 확대가 농산물을 생산하던 농지의 용도변경을 가속화하여 현재 바이오 연료와 관련된 '식품 대 연료' 문제를 심화시킬 것이라는 점이다.

즉, 바이오경제의 지속가능성을 강화하기 위해서는 바이오매스의 지속가능한 생산을 위한 메커니즘을 파악하고 실행하는 것이 필수적이다. 토양피복 및 건강을 유지하고, 물 사용 효율을 높이고, 토양침식을 줄이는 지속가능한 농법을 채택하기 위한 정책적인 유인이 필요하다. 또한 적절한 토지관리 의사결정에 대한 필요정보와 수단을 제공하고, 바이오매스에서 바이오 연료로의 전환 효율성을 개선하기 위한 기술 개발과 함께 생태계 서비스(ecosystem services)에 초점을 맞춘 연구가 필요하다.

2. 바이오경제의 기회와 도전과제

<표 1> 각 국가별 바이오경제에 대한 우선분야 및 기회, 장벽 개요

국가	우선분야			기회			장벽					
	농식품	임업	바이오 에너지	경제	환경	사회	시장 규모	전략 부족	규제 조건	기량	공공 인식	정책일관성 /협력
호주				X	X		X				X	
벨기에												
캐나다		X	X	X	X	X		X			X	
칠레				X	X			X				X
덴마크												
에스토니아												
유럽연합	X	X		X	X	X	X			X	X	X
핀란드		X		X	X	X						

(계속)

국가	우선분야			기회			장벽					
	농식품	임업	바이오에너지	경제	환경	사회	시장규모	전략부족	규제조건	기량	공공인식	정책일관성/협력
프랑스	X		X	X	X	X					X	
독일	X	X	X	X	X	X						
아일랜드	X		X	X	X	X	X		X	X	X	X
이탈리아	X		X	X	X	X	X			X	X	X
일본	X		X	X	X	X	X		X	X		
한국	X		X	X	X	X						
라트비아	X	X	X	X	X		X		X	X		
리투아니아	X	X	X	X	X		X		X	X		
네덜란드	X		X	X	X		X				X	X
뉴질랜드	X	X	X	X	X							
노르웨이	X	X	X	X	X	X						
포르투갈	X		X	X	X	X	X		X	X	X	X
스페인	X	X	X	X	X		X		X	X	X	X
스웨덴	X	X	X	X	X							X
영국	X		X	X	X							
미국	X		X	X	X							

자료: OECD(2019).

<표 1>은 각 국가별 바이오경제에 대하여 중점을 두고 있는 분야와 바이오경제를 통해 새로운 기회를 창출할 수 있을 것으로 기대되는 부문, 그리고 바이오경제 발전에 있어서 걸림돌이 되는 부분 등에 대하여 정리한 것이다.

바이오경제의 발전은 서로 얽힌 여러 가지 도전과제들을 해결하기 위한 중요한 정책적인 기회로 볼 수 있다. 식량, 원자재, 연료의 지속가능한 공급에 대한 수요의 증가와 최근의 과학적인 발전은 정책 의제에서 바이오경제의 중요성이 증가했다는 사실을 뒷받침하는 주요한 경제 성장 동력이다. 바이오경제로의 전환을 지지하는 주요 요인으로는 인구 역학, 기후변화, 식량 안보위기, 자원고갈, 새로운 기술의 도입과 선호도 변화 등이 언급된다.⁴⁾

동시에 국가 간에는 전반적인 자원 및 폐기물 활용의 효율성을 향상하는 문제에 관한 관심이 증가하고 있다. 일부 국가에서는 환경발자국(environmental footprint) 감소, 순환경

4) 예를 들어 유럽연합에서는 바이오경제전략은 식량안보위기, 지속가능한 생산, 기후변화 완화, 세계의 지속가능한 발전에 대한 기여 등을 근거로 수립됨.

제 육성, 운송업이 환경에 미치는 영향 제한 등의 측면에서 산업 원자재에 대한 의존도를 줄이는 것이 바이오경제에 일조한 것으로 평가된다. 이 모든 것들은 바이오경제로 나아가는데 일조하는 원동력으로 볼 수 있다(OECD 2018).

바이오경제에 관한 연구는 계속 진행되고 있으며, 현재는 ① 혁신과 생명 공학기술을 상업적인 규모로 강조하는 생명 공학기술 비전, ② 바이오매스 생산에 있어서 가치사슬의 개선을 강조하는 바이오 자원 비전, ③ 에너지 및 자원 최적화가 생태계 건강에 미치는 긍정적인 영향을 강조하는 생물생태학 비전 등을 강조하는 세 가지 관점으로 집약된다고 볼 수 있다. 또한 위 관점들은 바이오경제가 저탄소 경제성장, 천연자원보존, 환경 및 생태계 건강 회복, 농촌 개발 등과 같은 기회를 창출할 수 있는 잠재력을 지닌다고 강조하고 있다.

각국 정부들은 바이오경제가 더욱 생산적이고 지속가능한 농식품시스템에 크게 기여할 수 있다고 강조한다. 많은 바이오경제 전략들은 학술적 근거 아래 바이오경제의 경제적인 기여를 강조한다. 특히, 바이오경제 전략들은 바이오경제가 적절한 바이오매스의 사용과 폐자재 재사용을 통하여 경제성장 촉진, 일자리 창출, 산업경쟁력 강화, 부가가치 증대, 신상품 및 사업 창출 등을 이루어 낼 수 있다고 한다.

바이오경제 전략 및 연구사례는 또한 바이오경제로의 전환에 있어서 ① 기존의 화석에너지 기반 섹터를 보다 비용 효율적이고 오염이 적은 바이오 기반 섹터로 대체하고 새로운 바이오 기반 생산시스템을 개발하여 천연자원을 보다 효율적으로 활용, ② 지식과 기술 이전을 통한 새로운 통합 연구구조 개발, ③ 이산화탄소 배출 감소 등과 같은 몇 가지 잠재적인 장점과 기회를 강조한다.

바이오경제는 비재생 에너지에서 재생에너지(바이오 연료, 녹색화학)로의 전환과 축산업 시스템(번식 및 사육환경 등)의 개선에도 영향을 미친다. 농산물을 재생 가능한 에너지로 가공하는 것은 대다수 국가의 식품시스템이 지닌 가치창출 잠재력을 높이고 경제 발전을 증진하게 하는 동시에 식량안보와 영양을 높일 기회를 제공한다. 또한 바이오경제는 재생 바이오 연료로의 전환과 농작물 생산성 향상 등을 통해 온실가스 배출량을 줄일 수 있을 것으로 기대되며, 다양한 조건에 대응한 새로운 작부체계의 개발을 통해 기후변화에 적응할 수 있도록 도움을 제공할 것으로 기대된다.

일각에서는 바이오경제가 식량과 농업 공급사슬의 가치를 높이고, 디지털기술의 통합과 천연 자원의 관리를 통해 생산 사슬의 지속가능성을 평가하기 위한 대단히 중요한 틀로

고려될 수도 있다고 주장한다.

또한 바이오매스 생산은 주로 농촌지역에서 이루어지기 때문에 바이오경제의 발전은 농촌발전으로 이어질 가능성이 크다. 예를 들어, 바이오경제의 발전은 생물자원의 변혁(농업이나 임업 바이오매스/잔류물을 기반으로 한 바이오 에너지 또는 바이오 기반 제품의 생산)을 바탕으로 새로운 사업과 일자리를 창출하며, 농촌 소득원을 다양화할 것으로 기대된다.

캐나다·핀란드·프랑스·독일·이탈리아·일본·스페인·미국 등의 바이오경제 전략은 농촌 다변화·재활성화, 고용기회 창출, 지역혁신체계 개선 등에서 바이오경제가 지닌 잠재력을 강조한다.

유럽연합(EU)의 경우, 2017년 11월에 발간된 '식량농업의 미래와 2016년 코크 2.0 선언'에 게재된 '공동농업정책(CAP) 커뮤니케이션'은 지속가능한 농촌 가치사슬과 비즈니스 모델을 구축하여 농촌의 지속가능성을 해소하는 수단으로써 바이오경제와 순환경제의 잠재력을 활용하는 방안을 강조하며, 2020년 이후 공동농업정책의 새로운 전달모델(delivery model)에서 국가전략계획은 바이오경제와 관련하여 구체적인 방안을 포함해야 함을 밝혔다.

바이오경제 - 농촌에 있어서 기회인가?

바이오경제로의 전환은 농촌지역에 바이오 정제시설 개발과 관련된 새로운 사업을 가져올 가능성이 있다(즉, 바이오매스를 식품과 사료, 화학물질, 재료 및 바이오 에너지, 바이오 연료, 전력, 열 같은 다양한 바이오경제 제품으로 가공하는 것). 저가 원자재를 운반하는 것이 더 비쌀 수 있으므로 농촌지역은 바이오경제의 요소시장에서 잠재적인 비교우위를 가질 수 있다.

그러나 주로 농촌지역에서 생산되는 재생에너지와 마찬가지로, 바이오경제 발전이 농촌발전을 촉진 시킨다는 보장은 없다. 바이오경제의 발전에는 생물폐기물에 관한 양립할 수 없는 규정과 표준, 다른 부처와 부서 간의 상충되는 정책목표, 환경 영향에 대한 불확실성, "모든 것을 일률적으로 충족"하는 정책과 단순히 농촌 개발 문제나 목표에 대한 고려가 없다는 사실 등과 같은 많은 문제가 존재한다. 또한 화석연료 경제가 잘 발달한 국가와 지역에서는 바이오경제적 이해관계가 다루어야 할 침몰투자(sunk

investment)와 이익집단에 의한 경로 의존성이 크다. 10개국에 걸쳐 16개의 지역 사례 연구에서 수집된 증거는 재생에너지 개발과 관련된 정책의 영토개발영향이 크게 과대평가되었음을 보여준다.

자료: OECD(2019).

바이오경제의 발전에 있어서 당면과제로 작용할 요인들 또한 있다. 바이오경제의 편익에 대한 인식이 점점 퍼지고 있음에도 불구하고, 부족한 정책 일관성(예: 바이오에너지와 폐기물 정책), 소비자의 인식 부족은 바이오 기반 제품의 시장진출을 방해하는 요소로 작용하고 있다.

바이오 경제와 관련된 한 연구(Burns, Higson and Hodgson 2016)에서는 바이오경제에 대한 대중의 인식 부족이 영국의 바이오경제 혁신 시스템 발전에 상당히 중요한 당면과제로 작용하는 것을 확인했다. 즉, ① 균형적 시각으로 바이오경제의 리스크와 이익을 바라볼 수 있도록 고객들에게 더 정확한 정보를 전달하며, ② 새로운 기술에 대한 공공의 신뢰와 윤리적 적용을 개선하기 위해 더 강력한 규제를 도입하고, ③ 투명성과 공공 참여를 강화하는 등 바이오 기반 제품에 대한 대중의 수용을 끌어내기 위한 몇 가지 권고안이 제시되었다.

더불어, 유럽위원회 바이오 기반 제품 전문가그룹은 바이오 기반 제품이 시장에 원활히 진출하는 데 있어서 주요 장애물로 인식 및 지식 부족을 지적하고 다음과 같이 권장하였다. ① 의미 있는 라벨링과 정보 캠페인을 시작하고 정보를 갖춘 소비자들의 제품 사용을 유도할 수 있는 기반조건을 만든다, ② 생산자, 유통업자, 소비자 및 NGOs 등 가치사슬 참여자들을 통해 바이오 기반 제품의 이점을 전달한다. ③ 신뢰할 수 있는 B2B 가이드라인과 이해하기 쉬운 라벨링을 개발한다.

전반적으로, 바이오경제는 고도로 숙련된 일자리를 창출하고 경쟁력을 키우는 동시에 새로운 시장을 열고 바이오경제 제품을 개발하는 등, 여러 부문과 다양한 차원에서 주요한 기회를 제공하는 것으로 보인다.

유럽연합(EU) 공개회담 결과

2011년 바이오경제 전략을 준비하면서, 유럽위원회는 유럽의 바이오경제에 대한 공개 회담을 진행했는데, 유럽 대부분의 회원국으로부터 200건 이상의 의견을 제출받았다. 응답자 대부분은 바이오경제에 대한 낙관적인 전망을 제시하였으며, 60% 이상의 응답자들이 2020년이나 2030년까지 잠재적인 이익을 얻을 수 있을 것으로 본다고 대답했다. 또한 응답자의 대다수는 또한 천연자원의 과도한 이용과 식량안보에 대한 부정적인 영향을 포함하여 바이오경제와 관련하여 여러 가지 위험요인이 있을 것이라고 대답했다. 공공 정보와 바이오경제에 대한 이해 부족은 특히 이익과 위험뿐만 아니라 윤리적 문제와 지속가능한 소비 및 생산 패턴의 문제로 간주되었다. 이러한 관점에서 응답자의 70% 이상이 바이오경제에 대한 정보의 전달과 전파에 관련된 조치를 요구했다.

자료: OECD(2019).

2.1. 1차 생산에 대한 바이오경제의 기여

바이오경제 전략의 대다수는 바이오경제의 발전이 농업분야나 일반적으로 1차 생산(농업과 임업)에 상당한 이바지를 할 수 있다고 주장한다. 바이오경제 전략은 더 생산적이고 지속가능한 생산 시스템을 육성하는 바이오경제의 잠재력을 강조하며, 일부 전략은 보다 '회복적'이고 '자원 효율적'인 생산시스템(유럽연합, 프랑스) 또는 바이오매스 생산의 '지속 가능한 증대'를 포함(스웨덴, 노르웨이, 스페인)한다.

농업은 액체연료와 부가가치제품(화학 및 재료)에 대한 원료를 제공하는 동시에 건강하고 안전한 식품과 사료를 제공함으로써 바이오경제의 중심에 위치할 가능성이 크다. 그러나 이는 농업을 통해 생산된 제품을 선택하는 것에 대한 절충을 초래할 수도 있다.

바이오경제는 물 사용 효율(물을 더 적게 사용하여 농작물을 생산하거나; 질소사용 효율), 비료 사용 효율, 질병에 더 강한 작물, 수확량이 증대되고 CO₂ 배출량이 감소된 다양한 작물(특히 쌀) 재배 등 농업분야에 적용 폭이 매우 넓다. 바이오경제 발전을 향한 움직임은 잠재적으로 농업분야에 다음과 같이 많은 기회를 가져다줄 것으로 기대된다.

- 새로운 자원을 활용하고 새로운 시장을 개방함으로써 새로운 소득 흐름과 일자리 창출
- 농업 관행 다양화와 새로운 부문과 기업 간 연계 확립
- 자원 효율적인 비즈니스 모델로 전환하여 상품가격 또는 정책 변경으로 인한 리스크 노출 감소
- 비용 절감, 효율적인 자원 사용 및 폐기물 자원 이용의 최적화

새로운 기술은 환경발자국을 줄이면서 동시에 생산성, 효율성 및 복원력은 향상시킬 것으로 보인다. 또한 새로운 식물 품종은 관리방법개선과 함께 성장조건에 더 잘 적응하고 수확량을 향상시키는 한편 토양침식, 염화 등을 감소시킬 수 있다.

기후변화와 관련하여 각 국가는 농업으로부터의 온실가스 배출을 최소화할 기회를 바이오경제를 통해 살펴본다. 새로운 에너지원은 화석연료 기반 제품을 대체할 것이며, 농업과 임업의 지속가능한 발전은 토양과 숲의 탄소 보존을 보호하는 데 도움을 줄 것이다.

식량안보와 관련하여, 바이오경제의 발전은 향후 식품과 사료 시장에 대한 압력을 줄일 수 있는 더 많은 범위의 유용한 공동 제품을 가져올 것으로 기대된다. 그러나 바이오경제의 영향은 시장개발 측면과 기술적 진보(예: 바이오 연료) 측면에서, 핵심 바이오경제 가치사슬의 일부가 실제로 어떻게 진화하고 있느냐에 달려있다.

농업 생산물은 식품 가공부문을 위한 기본적인 원료생산물을 제공할 뿐만 아니라 비식품용 및 가공 후 남은 부산물은 동물 사료 및 다른 영양소의 형태로 비식품산업에서 바이오 에너지, 화학물질 등을 생산하기 위한 중요한 원료로 사용된다.

예를 들어, 스페인은 새로운 바이오 소재 및 제품(바이오 윤활유, 바이오 플라스틱, 식품 첨가제, 화장품 등)을 개발하기 위해 바이오 경제 프로젝트를 지원하고 농식품 산업의 잔류물 및 부산물을 이용함으로써 다른 산업부문의 바이오 혁신에 대한 긍정적인 유발효과를 촉진하고자 하였다.

그러나 잠재적인 리스크 또한 과소평가되어서는 안 된다. 일반적으로 성장 중인 바이오경제와 관련된 농업부문의 이익과 기회에 대한 낙관론이 크지만, 특히 정책이 부분적이고 비 통합적인 방식으로 개발되고 시행된다면 잠재적인 리스크가 발생할 가능성이 있다. 또한 바이오매스 활용도의 대규모 증가에도 상당한 리스크 및 상충관계(trade-offs)가 있다. 기존의 농업에서와 마찬가지로 바이오경제를 육성하는 데 있어 주요 리스크는 식량 공급과

비식품 바이오매스 생산 간의 경쟁이 격화되는 데 있다. 바이오경제와 관련된 중요한 딜레마는 농장에서의 공산품 생산 확대가 농지를 식량 생산에서 다른 용도로 전용시킬 것이고, 따라서 바이오경제가 현재 바이오 연료와 관련된 '식품 대 연료' 문제를 심화시킬 것이라는 우려가 존재한다.

또한 바이오경제로의 전환이 바이오매스를 식품으로 사용하기에 적절한 우선순위를 부여하지 않고 단지 바이오 기반 산업에 저렴한 바이오매스를 제공하기 위한 것이라면, 바이오경제로의 전환은 식품 가격에 압력을 가할 수 있다. 바이오경제 제품에 대한 바이오매스 수요 증가는 곧 식량안보 위기로 이어질 가능성이 있으며, 과거 경험한 바와 같이 가격수준과 가격 변동성 측면에서 상당한 영향을 미칠 수 있다.

바이오경제 전략에서는 종종 그러한 리스크를 인정하고 식품과 연료 간의 경쟁을 중요한 도전과제로 인식한다. 또 다른 심각한 문제는 바이오경제의 필수적인 부분인 운송을 위한 바이오 연료의 지속가능성과 관련이 있다.

바이오매스의 대체 사용에 대한 지나친 강조는 농업을 식량 생산과 자연문화 경관의 보존과 관리에서 벗어나게 할 것이다. 바이오매스의 생산과 사용은 지속가능성과 생물 다양성 측면에서 보수적인 목표를 고수해야 한다. 바이오경제로의 전환은 환경에 대한 전반적인 영향의 관점을 통해 살펴봐야 한다. 이러한 평가는 특정한 재생가능한 생산과정이 비효율적이고 고비용적이라는 사실을 드러낼 수도 있다.⁵⁾

재생불가능한 시스템에서 바이오경제시스템으로 전환한 후에도 일부 재생 불가능한 투입물이 필요하고 식품생산에 사용될 가능성이 크다는 점에도 유의해야 한다(예: 인(phosphorus)).

지속가능성에 이바지할 수 있는 바이오경제의 잠재력은 명확한 정책과 국정 우선순위가 필요하다. 재생가능한 투입물에만 의존하는 시스템으로의 전환은 투입물(재활용, 돌려짓기, 영양소 순환)의 사용 정밀도 측면에서 더 나은 관리 시스템을 끌어낼 혁신이 필요하며, 도입에는 시간이 걸릴 것이다. 또한 다른 종자 품종(예: 질소를 응고시킬 수 있는 작물)이 필요할 수 있다. 그러나 이러한 기술의 개발과 채택은 R&D를 장려하는 정책과, 기술채택을 유도할 수 있을 만한 가격이 뒷받침되어야 할 것이다.

5) 예를 들어 한 연구에 따르면 화석연료에서 바이오 연료로의 전환이 오히려 온실가스 배출을 증가시키는 것으로 나타남 (Zilberman 등 2013).

바이오경제 물질에 대한 농업(및 산림) 폐기물 사용 증가는 토양과 토양 생물 다양성에서 유기물 수준에 부정적인 영향을 미칠 수 있으며 토양 비옥도와 토양 생산성에 추가적인 부정적인 영향을 미칠 수 있다. 또한 작물 생산성을 높일 필요가 있으면 비료와 살충제의 사용이 증가할 수 있으며 물과 토양오염과 관련된 추가적인 문제가 발생할 수 있다. 바이오경제는 또한 물 수요에 추가적인 압력을 가하기 때문에 세계 일부 지역에서 물 부족 사태를 악화시킬 수 있다. 식량작물과 비식량작물에 대한 토지 수요증가는 더 많은 단일재배, 부정적인 환경 영향 및 자연 서식지와 생물 다양성에 대한 압력 증가로 이어질 가능성이 있다. 온실가스 배출 감소는 그동안 바이오경제 발전을 촉진하는 핵심동력이었지만, 공급원료 생산, 토지전용 및 바이오 에너지 전환 단계 전반적인 온실가스 절감과 관련하여 몇 가지 우려가 있다.

바이오경제 발전과 관련된 농업 바이오매스에 대한 수요증가는 독일과 미국의 전략에서 강조된 바와 같이, 제한된 경작 가능 토지와 많은 지역/국가에서 활용되는 농업지역의 감소라는 맥락에서 충족되어야 한다. 더욱이 유럽연합(EU)의 갱신된 바이오경제 전략이 의미하듯이, 생물학적 자원이 지속가능성 한계 내에서 사용되고 생태계가 안전한 경계선(예시: 특정 공급 생태계 서비스의 수용력 초과)을 넘어서는 일이 없도록 하는 것이 중요하다. 따라서 바이오매스 생산의 불가피한 증가는 생산성 향상과 자원 효율 증대에 의존해야 할 것이다.

바이오경제가 발전함에 따라 두 가지 주요 우선순위(첫째, 농업 총요소 생산성 향상, 둘째, 폐기물 감소와 농업 및 기타 제품의 이용 효율성 증대)를 충족시킬 필요가 있다. 기존 기술로도 농업 생산성을 높일 수 있는 잠재력이 큰데, 바이오경제의 일부인 신기술은 생물 다양성을 보존하면서 토지와 물의 생산성을 높일 수 있는 훨씬 더 큰 잠재력을 제시한다. 이러한 리스크를 완화하려면 바이오경제의 장기적인 경제적, 환경적 지속가능성을 보장하기 위한 일관성 있고 통합된 정책이 필요할 것이다.

덴마크에서는 식량 및 동물 사료 생산에 아무런 악영향을 미치지 않고 2020년까지 국내 기존 농업·임업의 틀 내에서 추가로 1,000만 톤의 바이오매스를 생산할 수 있다는 사실이 밝혀졌으며, 농업의 환경 영향을 크게 줄이고 생물 다양성을 증가시키는 것도 가능할 것으로 보인다. 추가적인 바이오매스는 짚 회수율의 증가(15%), 더 많은 짚을 가진 곡물 품종으로 전환, 새로운 작부체계 채택을 통해 생성될 수 있다. 처음 두 가지 계획은 5년 이내에 구현될 수 있지만 새로운 작부체계로의 대규모 전환은 2020년 이전에 가능할 것으로 보이지 않는다.

2.2. 식품산업에 대한 바이오경제의 기여

바이오경제는 식품산업에도 상당히 이바지할 것으로 기대된다. 식품산업에 대한 바이오경제의 기여도는 1차 산업에 대한 기여도보다 적은 관심을 받았지만, 여전히 많은 바이오경제 전략에서 강조되고 있다.

계속해서 성장하는 바이오경제에서 식품 분야의 핵심과제는 식품안전의 개선이다. 예를 들어, 가축부문에서는 동물 질병의 통제가 계속 우선순위로 유지될 것이다. 바이오경제에서의 생물학의 발전은 이 분야와 강한 연관을 가진다.

유럽연합과 스페인, 이탈리아는 식품안전을 향상시키고 소비자건강 및 건강한 식단으로의 개선을 위해 바이오경제의 잠재적인 기여를 다루고 있다. 먼저, 전 세계적으로 소비자의 관심을 증가시키고 있는 식품안전 사고의 중요성을 비추어 볼 때, 근본적인 연구혁신에 대한 추가적인 투자와 생산에서 소비에 이르기까지 식품안전 강화에 대한 혁신적인 접근 개발 필요성을 강조한다.

아르헨티나, 프랑스, 이탈리아, 라트비아, 뉴질랜드, 노르웨이, 스페인 및 미국을 포함한 많은 국가에서 농식품 바이오경제의 혁신은 자국민의 건강을 향상시키는 것을 매우 중요시한다. 예를 들어, 농식품분야의 혁신은 음식의 영양과 식품안전을 보장하는 동시에 사람의 건강에 대한 장기적인 이익을 증진시키는 방향으로 진행되어야 한다. 이러한 맥락에서 기능성 식품(기본 영양을 넘어 건강에 잠재적으로 긍정적인 영향을 미치는 식품)과 건강한 식단에 대한 R&D가 강조된다. 곤충과 조류(藻類) 등은 단백질 공급의 미래 수요를 충족시키기 위해 프랑스와 이탈리아 같은 국가에서도 유망한 대체식량자원으로 고려된다. 다음으로, 바이오경제의 발전으로 식품산업은 곤충과 조류와 같은 대체 식품 공급원을 이용할 가능성이 크다. 핀란드 농림부는 최근 곤충을 식량 목적으로 기르고 판매하는 것을 허용하였다. 이탈리아의 전략은 병원체, 알레르기 유발 물질, 독소, 화학 잔류물, 미소물질 등을 다루기 위해 식품과 사료 안전을 위한 빠른 온라인 탐지 도구를 개발하고 그러한 도구를 위험 분석에 통합할 필요성을 강조한다. 스마트식품 활용과 국내 식품관리를 위한 혁신적인 ICT 도구, 기기, 앱 개발도 식품안전을 높일 것으로 기대된다.

유럽연합과 이탈리아의 전략은 또한 음식과 건강 사이의 연관성에 대한 소비자의 인식을 높이고 정보에 입각한 음식 선택에 대하여 욕구를 창출할 필요성을 강조한다. 정보 및 식품

제조 개선(reformulation) 외에도 일부 혁신적인 해결책은 더 적절한 영양 및 식이요법 선택에 일조할 가능성이 있다. 예를 들어, 이탈리아의 전략은 식품생산기술과 새로운 배달방법, ICT 접근법이 맞춤 영양 솔루션과 건강관리를 제공하는 데 어떻게 사용될 수 있는지에 관한 스마트 영양 솔루션(예를 들어, 개선된 영양소 생체이용성)의 개발을 제안했다. 새로운 배달방법과 ICT 접근법은 맞춤 영양 솔루션과 건강관리를 제공하는 데 사용될 수 있다. 독일의 전략은 또한 “지속 가능한 농업생산의 요구 사항에 따라 생산되는 높은 수준의 부가가치를 지닌 고도의 정제 식품”에 대한 새로운 시장 잠재력을 강조한다.

또한 핀란드와 이탈리아의 전략에 따르면 바이오경제의 발전은 식품산업의 기존 및 신분야 모두에서 새로운 사업 기회를 가져다줄 것이다. 우선, 폐쇄적인 시스템, 바이오 정제, 국내 축산업 측면 스트림(stream) 및 현장 바이오매스가 제공하는 기회를 이용하여 완전히 새로운 사업을 창출할 수 있다. 식품산업에서 나오는 부산물과 스트림, 폐기물은 부가가치가 높은 식재료와 바이오 활성 제품, 바이오 화학물질(포장재) 및 바이오 연료로 전환될 수 있다.

바이오경제의 발전은 또한 식품 사슬의 자원 효율을 증가시킬 것으로 기대된다. 유럽연합(EU)과 이탈리아, 스페인의 전략에 따르면 물과 에너지의 사용 및 폐기물의 감소는 기존 공정의 개선, 신기술과 처리방법 채택, 가공, 운송 및 유통에 있어 식품 가치사슬을 따라서 순환성 및 재활용 증대를 통해 달성될 수 있다. 자원 효율성의 증가와 폐기물의 감소는 비용의 절감을 통해 식품산업의 경쟁력을 높이는 동시에 환경에 긍정적인 영향을 줄 것이다.

또한 이러한 전략들은 생분해성 식품 포장(유럽위원회, 스웨덴, 이탈리아, 아일랜드) 개발의 다양한 이점을 강조한다. 이러한 “에너지원으로 완전히 재사용, 재활용 또는 회수할 수 있는 생분해성의 더 얇고 가벼운 새로운 포장재(EC 2012)”는 식품산업의 환경발자국을 감소시키고 식품안전과 유통기한 향상에 기여하며 맛을 보존하고 식품 및 포장 산업의 경쟁력을 높일 것으로 기대된다.

스페인의 전략은 소비자 건강 증진 및 식품안전 보장에 “유기농 및 영양품질을 장기간 보존하는 새로운 가공, 랩핑, 패키징, 보존 및 콜드체인기술”의 기여를 강조한다. 이탈리아의 전략은 쇼핑백과 쓰레기봉투, 과일과 채소를 위한 비닐장갑과 봉투, 비닐막과 같은 제초필름 등 식품과 농업부문에 도움이 될 수 있는 많은 혁신적인 생분해성 물질의 중요성을 강조한다. 아일랜드의 바이오경제전략은 생분해성 및 퇴비성 포장재 외에도 과일과 채소 폐기물의

클린 라벨 개발, 업사이클링⁶⁾ 밀짚, 토마토 식물 폐기물, 올리브 나무 잔류물을 이용한 농산물 포장 등 혁신적인 아이디어를 추진한다.

1차 생산의 바이오경제 가치사슬로의 통합 - 이탈리아 메트리카 단지

2016년 설립된 사르디니아의 메트리카 단지는 3세대 바이오 정제소로 이탈리아에서 바이오 플라스틱 개발을 위한 녹색화학 공장 역할을 하고 있다. 그 공장은 지역 엉겅퀴 잡초를 바이오 윤활유, 바이오 필러, 바이오 플라스틱의 주요 투입물로 사용된다. 이 프로젝트는 2011년 이 지역에서 가장 오염이 심각한 석유화학 공장 중 한 곳(한때 석유 기반 중합체를 생산한 곳)이 폐쇄되고 이 공장을 세계에서 가장 혁신적인 녹색 화학단지 중 하나로 변경을 결정하면서 시작되었다. 지역사회에 경제적, 사회적, 환경적인 이익을 제공하는 이 공장은 연간 최대 7만 톤의 바이오 제품을 생산할 것이며, 거의 700명의 직원을 고용하고 지역 원자재를 활용할 것이다.

자료: OECD(2019).

더불어, 바이오경제는 농업분야와 식품산업에 대한 기여 외에도 주로 자원효율증대를 통해 농식품 가치사슬 전반에 긍정적인 영향을 미칠 것으로 기대된다. 그러한 점에서 바이오경제의 개념은 순환경제와 밀접한 관련이 있는데, 이는 바이오경제가 가치사슬을 따라 쓰레기 감축, 재활용과 재사용의 개념을 촉진하기 때문이다. 바이오경제 발전의 전반적인 목표는 기존의 가치사슬을 강화하고 새로운 가치를 창출하는 것이다.

앞에서 강조했듯이, 바이오경제의 발전은 모든 종류의 자원을 보다 효율적으로 사용해야 이루어질 수 있다. 유럽연합과 이탈리아의 전략은 주로 '식품 공급망'과 '식품생산 가치사슬'에서 자원 효율을 개선할 필요성을 강조한다. 이와 관련하여, 두 전략 모두 물 소비와 에너지 사용을 줄이고, 원자재 손실과 폐기물 발생을 최소화하고, 식품 가공에서부터 운송과 유통까지 재활용을 극대화할 필요성에 동의한다. 이는 기존 공정의 효율성 향상과 신기술(특히 물 및 에너지 절약 기술) 및 처리방법 채택 덕분에 식품사슬을 따라 자원 효율성이 증대된 결과로 예상된다.

6) 업사이클링이란 재활용품을 이용해서 기존의 제품보다 품질이나 가치가 더 우수한 새로운 제품을 만드는 과정을 의미함.

농식품 부산물 가치 증대 및 폐기물을 위한 유럽연합의 주력 프로젝트

SO.Fi.A(농식품 공급망의 지속가능성)는 기후변화 적응, 폐기물 회수, 쓰레기 감소를 통해 공급망의 모든 수준에서 국가 농식품 분야의 지속가능성을 개선하기 위한 혁신적인 기술 솔루션을 제공하는 이탈리아의 프로젝트이다.

Agrimax는 유럽연합이 지원하는 프로젝트로 작물 및 식품 가공 잔여물에서 나오는 고부가가치 제품의 생산을 개발하고 시연한다. 이 프로젝트는 유럽연합의 지속가능성을 극대화하는 동시에 식품, 포장, 농업분야에 새로운 바이오 기반 화합물을 제공하는 것을 목표로 한다. Agrimax는 이탈리아와 스페인에 각각 1개, 2개의 시범가공공장을 설립해 농축산물 가공폐기물에서 고부가 화합물을 추출하는 과정의 기술적·상업적 실현 가능성을 테스트한다.

EU 호라이즌 2020 연구 및 혁신 프로젝트인 Agrocycle은 농식품 부문의 폐기물 재활용과 가치화를 다루고 있다.

AgriBioMethane은 바이오 메탄으로 정제된 바이오가스를 생산하기 위해 4개 농장의 거름과 지역 농식품 기업의 폐기물 및 부산물을 활용하는 프랑스의 프로젝트다. 그 후 바이오 메탄은 Mortagne-sur-Sèvre 마을의 가스 망에 주입되어 학교 버스의 연료로 사용된다.

자료: OECD(2019).

스페인 및 독일의 전략은 한 단계 더 나아가, 생산에서 시작하여 운송, 저장, 처리 및 마케팅을 거쳐 소비까지 식품시스템 전체와 농식품 가치사슬을 따라 자원 효율을 개선할 필요성을 언급한다. 두 국가의 전략들은 주로 잔류물을 줄이고 손실을 최소화하며 모든 폐기물과 부산물을 회수해 다른 생산 공정을 위한 원재료로 활용될 수 있도록 기반을 마련하는 방안의 중요성을 강조한다. 그러한 점에서 원자재의 재활용을 촉진하는 기술이 필수적으로 개발되어야 할 것이다.

3. 지속가능한 농식품 성장을 위한 혁신

역사적으로 기술의 발전은 농식품 분야의 발전에 대단히 이바지하였으며, 바이오경제의 발전에는 연구와 혁신이 필수적이다. 바이오매스의 생산과 활용에서도 혁신적인 접근방법이 필요하며, 특히 바이오경제 전반에 초점을 맞춘 체계적인 접근방법과 그 경제적, 환경적, 사회적 영향 또한 연구를 통해 뒷받침될 필요가 있다.

OECD는 2009년 공공부문의 연구비 증액, 규제 완화, 해당 분야의 민관협력 장려를 통해 농업 및 산업 연구 활성화를 제안했다. 바이오경제에 대한 미래 경제 기여도의 75%가 농업 및 산업의 응용 분야에서 나올 가능성이 매우 크기 때문이다. 또한 환경적으로 지속가능한 생명 공학기술 제품 시장을 창출하고 유지하기 위한 국제협약을 지원함으로써 지구환경문제를 해결하기 위해 생명 공학기술의 활용을 제시했다.

대부분의 바이오경제 전략은 농식품분야의 발전이 주로 연구와 혁신의 증대 및 새로운 방법, 기법, 기술 개발 및 채택을 통해 이루어질 것으로 보인다. 바이오경제에서의 연구와 혁신이 가져오는 성과물의 대표적인 사례는 아일랜드 Glanbia社에서 낙농업의 부산물인 유청 단백질을 세계 영양시장에서 중요한 성분으로 전환시킨 것이다. 특히, 합성 생물학, 빅데이터 기법, 3D 프린트 및 사물인터넷, 나노소재, 인공지능 등과 같은 주요 산업들의 핵심 기술 동향과 바이오경제는 밀접한 관련이 있다.

바이오경제의 연구와 혁신의 중요성 측면에서 주요 국가들의 바이오경제 전략을 다시 살펴보면, 미국의 경우 생물학연구와 혁신에 중점을 둔 전략을 수립하였으며, 스웨덴은 바이오 기반 경제 발전의 주요 우선순위를 규정하는 반면, 네덜란드는 바이오매스의 생산과 혁신, 지속가능성, 일관성 있는 정책을 중시하고 있다. 독일의 경우 경제, 혁신, 교육, 정책에 초점을 맞춘 국가 바이오경제 위원회를 설립했다. 전반적으로, 대부분의 바이오경제 전략에는 연구와 혁신 의제가 포함되며, 혁신 주도의 지식 기반 바이오경제 개발을 지원한다. 영국의 상원 보고서에는 바이오경제 발전에 있어서 기술의 발전과 활용의 중요성이 명확하게 언급되었다.

아르헨티나, 브라질, 캐나다, 프랑스, 이탈리아, 라트비아, 뉴질랜드, 노르웨이, 스페인, 미국 등 바이오 자원이 풍부한 나라에서는 지속가능한 발전을 위해 농업, 임업, 어업, 수경재배 등 1차 산업의 혁신을 촉진하고자 한다. 이에 따라 지속가능성 강화, 기후 스마트

농업 및 임업, 정밀농업 및 축산 분야에서의 연구개발의 유망성이 주목받고 있다. 유럽연합(EU)의 경우 2014년부터 2020년까지 연구와 혁신과 관련된 바이오경제 전략이 우선순위에 있으며, 그중에서도 농식품에 대하여 중점을 두고 있다.

바이오경제는 생명 공학기술을 적극적으로 활용한다. OECD는 2030년까지 생명 공학기술이 1차 생산의 최대 50%, 의약품 생산의 80%, 산업생산의 35%까지 일조할 것으로 추정했다. 생명 공학기술의 발전은 바이오경제가 농업분야에 영향을 미칠만한 주요 과제를 해결하기 위한 제반 조건으로 간주된다. 해당 사안을 언급한 바이오경제 전략은 대부분 더욱 생산적이고 지속가능한 농업을 위한 바이오 기술의 중요성을 강조한다.

또한 식량안보 문제와 재생에너지 활용 문제 사이의 절충방안(농업생산 중 얼마만큼 식량에 할당하고 재생에너지에 할당하느냐에 관한 문제)에 대한 논쟁을 배경으로 비식품 공급원료에 대한 연구개발과 2세대 및 3세대 바이오 연료를 가능케 하는 생명공학 혁신에 대한 우선순위가 점점 높아지고 있다(예: 일본, 덴마크, 미국).

바이오경제의 맥락에서 바라볼 때, 육종기술(breeding technique)의 발전은 ‘바람직한 특성’을 가진 동식물을 개발하는 방법으로 여겨진다. 바이오경제 전략은 ① 변화하는 환경에 따른 동식물의 적응능력을 증가시키는 것(예: 작물의 내열성 및 내건성 향상), ② 생물학적 및 비생물학적 스트레스(주로 기후변화에 적응할 필요성과 관련이 있음), ③ 질병 저항성 향상, ④ 생산, 수확량, 효율성 증가, ⑤ 대체 동물 사료 개발, ⑥ 살충제, 비료, 물과 같은 투입물 필요성 감소, ⑦ 영양 가치 증가 등 육종기술의 잠재력을 중요시한다.

아르헨티나, 브라질, 중국, 프랑스, 라트비아, 뉴질랜드, 노르웨이, 스페인, 미국의 정책전략은 식물의 광합성 능력을 향상시키는 유전적인 개선의 가능성을 강조하며, 이탈리아와 프랑스의 전략도 포함한다.

과학의 발전에 따라 병해충 통합관리나 잡초 방제를 위한 로봇 활용 등 대체 기술과 실행이 점차 자리를 잡아가고 있으며, 질병의 치료를 위한 백신개발뿐만 아니라 새로운 질병 진단 방법 개발 등에서 가축 질병 관리를 위한 새로운 기회가 발생하고 있다. 식물이 더 효율적으로 광합성을 하고 더 많은 이산화탄소를 흡수할 수 있도록 하는 식물 육종기술의 진보는 기후변화 완화와 수확량 및 영양성분 향상 등에 긍정적인 영향을 미칠 것으로 보이며 토지에 대한 압력을 감소시켜줄 것으로 기대된다.

정밀농업과 디지털기술 등 관련기술(센서, 디지털 플랫폼, 로봇, 인터넷 어플리케이션,

드론 등)은 보다 회복력 있고 생산적이며 지속가능한 농식품시스템을 구축에 일조할 것으로 보인다,

이탈리아, 프랑스, 독일, 노르웨이, 스페인의 전략 모두 정밀농업에서 주로 비료와 식물 보호 제품의 보다 효율적인 사용을 통해 농업의 지속가능성을 높이려고 하고 있다. 따라서 해당 국가들의 경우 정밀농업에 대한 추가적 연구가 우선되는 것으로 보인다. 아르헨티나, 브라질, 프랑스, 이탈리아, 라트비아, 뉴질랜드, 노르웨이, 스페인, 영국, 미국은 혁신적인 바이오 기반 공정, 제품 및 서비스의 개발을 촉진하기 위해서는 생명 공학기술, 나노기술, 오믹스기술⁷⁾ ICT와 같은 기술 간의 융합이 중요하다고 언급하고 있다. 바이오경제 발전을 디지털화(digitization)와 직접 연계하는 나라는 극소수에 불과하다. 브라질, 중국, 뉴질랜드, 스페인의 에스트레마두라 및 영국은 기존 산업과 사업을 현대화하고 완전히 새로운 지속가능한 산업과 비즈니스 모델을 개발하기 위해 디지털기술과 바이오 기술을 결합함으로써 발생할 수 있는 잠재력을 강조한다.

또한 바이오 자원의 지속가능한 생산을 위한 전제조건으로서, 대부분 국가의 전략은 생태계 보존, 회복, 복원 등을 목적으로 한 연구개발을 지원한다. 몇몇 전략은 바이오 기술과 같은 현대 기술을 사용함으로써 자원관리를 개선하고 토양, 물, 공기 질을 증가시킬 필요성을 강조한다. 브라질, 프랑스, 이탈리아, 라트비아, 스페인에서도 농업 생태학적, 유기농경영 접근법이 중요하게 여겨지고 있으며 새로운 개념의 도시녹화와 도시농업은 캐나다와 이탈리아의 바이오경제 전략에서 특히 주목을 받고 있다.

연구와 혁신에 대한 추가 진전의 필요성 외에도, 대부분의 바이오경제 전략들은 또한 “식물 영양소와 물이 어떻게 순환하고 생태계에 의해 방출되거나 고정되는지에 대한 더 나은 지식”의 필요성을 언급한다. 이러한 분야에 관한 추가적인 연구와 혁신은 자원관리와 농업 관행을 변화시킴으로써 보다 생산적이고 지속가능한 농업시스템을 육성할 수 있을 것으로 기대된다.

또한 바이오경제 전략에서는 지속가능한 농업을 위해서 지속가능한 토양관리법이 육성되어야 한다는 데 동의한다. 유럽연합(EU)의 전략은 토양의 지속가능한 관리를 촉진하고 보존 농업(conservation agriculture)의 진보를 끌어내는 데 있어서 연구투자의 필요성을 강조한

7) 오믹스(omics)는 어개별 유전자(gene), 전사물(transcript), 단백질(protein), 대사물(metabolite) 연구에 대비되는 총체적인 개념의 데이터 세트를 바탕으로 하는 생물학 분야를 의미함(생화학백과).

다. 독일은 환경을 훼손하지 않고 농업의 생산성을 향상시키기 위해 토양품질을 유지하고 개선하는 진보적인 농법의 필요성을 강조한다. 마지막으로 이탈리아는 토양의 비옥성과 질을 개선하는 농법과 시스템, 그리고 다양한 생태계 기능을 농민들이 연구하고 실행할 수 있도록 하는 연구투자의 필요성을 강조한다.

특히, 토양 영양소 관리 개선은 지속가능한 바이오경제의 발전을 위한 필수요소로 간주된다. 스웨덴, 독일, 스페인은 비료와 식물보호 제품의 보다 효율적인 사용의 필요성을 강조하고, 이탈리아는 온실가스 배출량을 낮추기 위해 질소와 인산염 이용을 감소시켜야 한다고 강조한다. 아일랜드의 전략은 새로운 비료 기술과 토양 영양소 관리에 대한 인식 개선이 수확량 향상에 미친 긍정적인 영향에 대하여 강조하는 반면, 노르웨이는 유기 비료 사용 확대를 강조한다.

특히, 기후변화의 맥락에서 농업에서의 물 사용의 효율성 개선 또한 우선순위로 고려되고 있다. 독일의 전략은 관개(灌溉)의 중요성에 대해 언급하며, 절수기술의 도입과 광범위한 채택을 강조한다. 이탈리아의 전략은 특히 물 사용을 효율화시키기 위한 혁신적인 도구 및 전략(센서, 네트워크, DSS 등)을 통해 농업에서의 물 사용과 관리의 효율성을 개선할 필요가 있다고 언급한다.

이뿐만 아니라, 바이오경제의 발전은 기후변화의 영향을 완화시킬 것으로 기대된다. 비료와 식물 보호 제품이 덜 필요한 새로운 식물 품종은 탄소 격리량 증가와 함께 온실가스 배출 감소에 기여할 것으로 보인다. 현대적인 사육 및 관리기술은 또한 축산업이 환경에 미치는 부정적인 영향을 감소시키는 데 큰 도움을 줄 것이다. 그리고 기후-스마트 농업, 정밀농업, 생태계 강화, 농업생태학, 재생농업과 같은 보다 지속가능한 생산법을 채택할 필요성에 대해 많은 국가들이 동의하고 있다.

참고문헌

- Burns, C., A. Higson and E. Hodgson. 2016. "Five recommendations to kick-start bioeconomy innovation in the UK". *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*. Vol. 10, (<http://dx.doi.org/10.1002/bbb.1633>)(검색일: 2020.5.5.)
- Zilberman, D. et al. 2013. "Technology and the future bioeconomy", *Agricultural Economics* (United Kingdom)(<http://dx.doi.org/10.1111/agec.12054>) (<http://www.clusteragrifood.it/images/progetti/Poster%20-20SOFIA%20-%20%20E%20NG.pdf>;%20<http://agrimax-project.eu/#overview>;%20<http://www.agrocycle.eu/>;%20<http://www.agribiomethane.fr/>)(검색일: 2020.5.5.)
- OECD. 2019. *BIO-ECONOMY AND THE SUSTAINABILITY OF THE AGRICULTURE AND FOOD SYSTEM: OPPORTUNITIES AND POLICY CHALLENGES*.
- Viaggi, D. 2018. *The bioeconomy: Delivering sustainable green growth*. Boston, MA; Oxfordshire, UK:: CABI.