

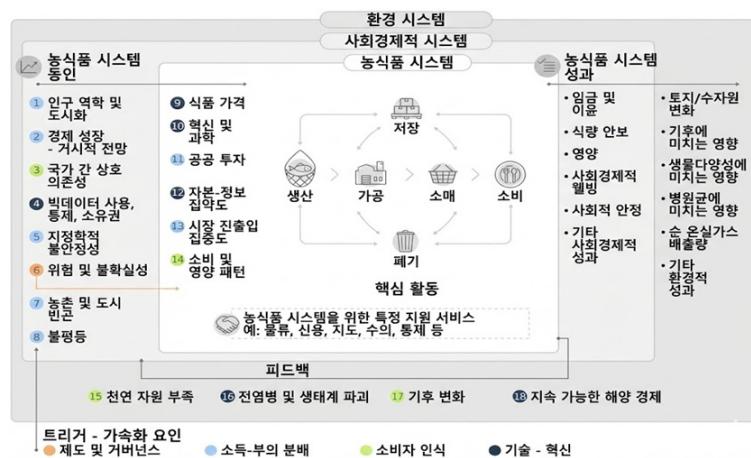
지속가능한 농식품 시스템 전환을 위한 기후 기술

이병훈*

1. 농식품 시스템(Agricultural Food Systems)

농식품 시스템은 식량의 생산·가공·유통·소비 등과 관련한 모든 활동과 참여 주체로 구성된 네트워크로 정의된다. 구체적 범위는 작물, 축산, 임업, 수산 및 양식 생산에서 산출되는 모든 생산물을 포함하며, 식량 생산자에서 소비자로 이어지는 경로뿐만 아니라 원자재 공급자에서 생산자로 이어지는 공급망까지 포함한다. 또한 농식품 시스템은 사회경제적·환경적 구조 내에서 기후, 생물학적·물리적·화학적 영향을 받기 때문에 기후 변화, 극한 기상현상, 병충해 발병, 물 부족 및 수자원 악화 등과 같은 다양한 잠재적 충격과 스트레스에도 직면하고 있다(〈그림 1〉 참조).

〈그림 1〉 농식품 시스템 구조



자료: FAO & UNFCCC(2024), p.10.

* 강원대학교 교수(bhleeok@kangwon.ac.kr)

본 고는 FAO 발간한 보고서 “Climate technologies for agrifood systems transformation” 중 주요 내용을 요약 발췌하여 작성됨.

1.1. 기후 변화와 농식품 시스템의 상호 연계성

농식품 시스템은 기후 변화의 영향을 강하게 받는 동시에 농식품 시스템 자체가 온실가스 배출원이기도 하다. 농식품 가치사슬 전반에서 어떤 기후 기술이 실행 가능하고 실현 가능한지를 신중하게 평가하는 것은 농식품 시스템을 통한 기후 변화 적응과 완화 전략 수립에 있어 필수적이다. 기후 기술은 기후 변화가 농식품 시스템에 부과하는 물리적·생물학적·사회적 제약을 관리하는 역량을 강화하거나 그 과정을 가속화 할 수 있다. 구체적으로 기후 기술은 농식품 시스템 내에서 수의 창출과 온실가스 감축 및 기술 변화 적응에 기여하는 모든 혁신 기술을 의미한다.

1.1.1. 농림어업 생산성 영향

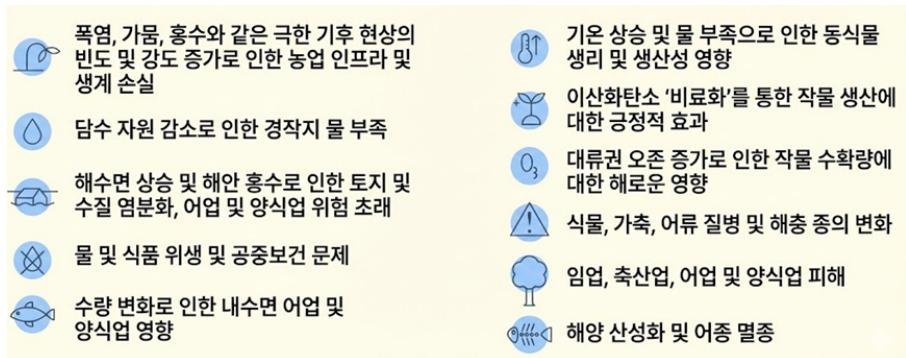
기후 변화는 다양한 방식으로 농업에 중대한 영향을 미친다. 특히, 온도와 강수량 패턴 변화, 극한 기상현상 증가 등은 작물 수확량에 큰 영향을 미칠 수 있다(〈그림 2〉 참조).

고온 스트레스, 가뭄, 홍수는 작물 생산성을 저하시킬 수 있다. 또한 기온 상승과 강수량 패턴 변화는 병해충의 발생을 증가시켜 더 큰 작물 손실과 농약 사용 확대를 초래할 수 있어, 환경 및 건강에 심각한 문제로 이어질 수 있다. 수자원 또한 기후 변화의 영향을 받는다. 예를 들어 강수량 변화와 빙하 융해는 물 부족이나 홍수를 유발하여 농업 생산에 부정적 영향을 미칠 수 있다. 관개 시스템의 신뢰성은 낮아질 수 있으며, 농업·산업·가정 간의 물 확보 경쟁이 더욱 심화될 수 있다.

토양 건강도 우려되는데 기온 상승과 강수량 패턴 변화는 토양 침식과 황폐화를 초래하여 비옥도 감소로 이어질 수 있다. 극한 기상현상은 토양 구조를 교란하여 작물 생육에 필수적인 수분과 영양분을 유지하는 능력을 저하시킬 수 있다.

기온 상승은 가축의 건강, 생산성, 번식에 영향을 미칠 수 있다. 작물 생산의 변화는 사료의 공급과 품질에 영향을 주며 물 부족은 가축에 강한 스트레스를 줄 수 있다. 수생 생태계와 어족 자원 역시 취약한데, 수온, 산성도, 용존산소량 변화는 어류 개체군에 영향을 미쳐 자연어업과 양식업 모두에 지장을 초래할 수 있다.

〈그림 2〉 농림어업 부문에 대한 기후 변화 영향



자료: 저자 작성.

1.1.2. 식량 공급망 영향

허리케인, 홍수, 가뭄과 같은 극한 기상현상은 식량 공급망을 붕괴시켜 인프라를 파괴하고, 운송을 지연시키며, 수확 후 손실을 초래할 수 있다. 동시에 식품 가격 상승과 공급 감소로 이어질 수 있다. 또한 식량의 영양학적 품질 또한 위협받고 있다. 대기 중 이산화탄소 (CO_2) 농도가 상승하면서 단백질, 철, 아연과 같은 작물의 필수 영양소 함량을 감소시킬 수 있으며, 이는 특히 이미 영양 결핍이 만성적인 지역에서 인체 건강에 부정적 영향을 미칠 수 있다.

농업 생산성 변화와 공급망 붕괴는 식품 가격 상승과 식량 접근성·가용성·적정성의 감소를 초래하여, 특히 취약 계층을 중심으로 식량 불안정과 영양실조를 심화시킬 수 있다. 농업으로 생계를 유지하는 농촌 지역은 이 같은 영향에 더욱 취약하여 빈곤 심화, 이주 증가, 사회 불안정으로 이어질 수 있다. 또한 성별 영향을 포함하여 불평등을 심화시킬 수 있다(FAO, 2024).

2007년부터 2022년까지 60개국을 대상으로 재해 영향을 분석한 결과를 살펴보면 농업 부문의 손실은 모든 부문의 재해 영향에서 약 23%를 차지하는 것으로 나타났다. 기후 변화가 모든 재해를 유발한 것은 아니지만 기후 위험의 빈도와 강도가 증가한 것이 주요 원인인 것으로 밝혀졌다(FAO, 2023).

해당 국가의 소규모 생산자와 농식품 시스템 내 다양한 주체들에게 스트레스는 특히 만성적이고 광범위하게 작용하며, 도로, 전력, 관개, 식수, 가공, 저장, 유통 등 기존 인프라

의 부족으로 인한 영향을 더욱 증폭시키는 경향이 있다. 이러한 인프라 부족은 수백만 명의 농민과 농촌 주민에게 지리적, 경제적 고립을 심화시켜 사업 기회 확대를 제약하고 서비스 접근성을 제한하며 지역 기상 조건에 대한 의존도를 높인다.

농식품 시스템은 생산부터 소비에 이르는 전체 공급망 전반에서 다양한 활동을 통해 기후 변화에 영향을 준다. 온실가스 배출은 현재 농업 관행, 토지 이용, 농업 부문의 에너지 사용, 식품 가공·포장·유통, 식품 손실과 폐기 그리고 식단 선택 등 여러 요인에서 발생한다. 특히 온실가스 배출은 농식품 시스템 내 특정 농업 분야, 비료 사용, 토양 탄소 손실, 산림 벌채 및 토지 개간, 에너지 소비가 주요 배출 요인으로 작용한다. 식품 손실과 폐기도 이러한 배출에 영향을 미치며, 전 세계 온실가스 배출의 8~10%를 차지하는 것으로 나타났다 (IPCC, 2022a). 농업·산림·기타 토지 이용 부문의 총 배출량은 연간 $11.9 \pm 4.4 \text{ GtCO}_2\text{eq}$ 에 이르며, 이는 전 세계 인위적 순(純)온실가스 배출량의 21%를 차지한다(IPCC, 2022a). 더 나아가 식량 공급망 전반의 배출량과 매립지음식물 쓰레기에서 발생하는 식품 폐기물 배출량까지 고려하면, 식품 시스템 전체 배출량은 전 세계 온실가스 배출량의 약 31%를 차지하는 것으로 나타났다.

1.2. 농식품 시스템의 회복력: 농식품 시스템 전환 및 기후 기술과의 연계성

기후 변화는 농식품 시스템이 다양한 충격과 스트레스에 노출되고 취약해지는 것을 증가시킨다. 이로 인해 시스템 주체들이 충격을 예방·예측·흡수·적응·전환할 수 있는 적응 역량이 약화 된다. 기후 충격과 같은 스트레스에 대해 농식품 시스템이 회복력(capacities for resilience)을 확보하는 것은 필수적이지만, 이미 체감되고 있는 기후 변화의 영향으로 인해 이마저도 더욱 어려워지고 있다. 회복력이 약화되면 급성 및 만성 형태의 식량 불안과 영양실조의 가능성성이 높아진다. 궁극적으로 농식품 시스템의 회복력은 어떠한 혼란 상황에서도 모든 사람에게 충분하고 안전하며 영양가 있는 식량의 지속적인 가용성과 접근성을 보장할 수 있는 능력에서 비롯된다(〈그림 3〉 참조). 농식품 시스템이 식량안보와 영양을 보장하고 모든 사람을 위한 적절한 식량에 대한 권리를 실현할 수 있는 능력은 자체 역량뿐만 아니라 국가의 책무와 교통, 교육, 보건, 물, 토양, 에너지와 같은 상호 연결된 사회경제 및 환경 시스템, 사회적 보호 제도에 달려 있다.

〈그림 3〉 식량 안보 차원 및 기술과의 연계

식량 안보와 관련하여 농식품 시스템의 회복력은



자료: FAO. 2021a.

1.3. 농식품 시스템 전환과 기후 기술

농식품 시스템이 충격에 더욱 강한 회복력을 갖추려면 공급망 및 생산의 다양화, 기술 도입, 정책적 지원 강화 등 체계 전환이 필요하고, 기후 기술은 이를 지원하는 핵심 요소이다. 이미 언급되었듯이 회복력은 기후 변화에 적응하고 농식품 시스템의 미래 지속 가능성을 확보하는 것을 의미한다.

기후 기술 차원에서 혁신은 기술의 성장을 가속시키는 역할을 한다. 농식품 시스템에서의 혁신은 해당 농식품 시스템의 성과와 결과를 향상시킬 수 있는 새로운 또는 개선된 기술·실천·지식·정책·제도를 창출하고, 조정하며, 채택하는 과정이다. 혁신의 역할은 식량안보, 영양, 환경적 지속가능성, 경제적 번영에 영향을 미치는 다양한 과제와 기회를 해결하는 데 있다. 혁신은 (i) 식량 및 농산물의 생산성·품질·다양성·안전성을 개선하고, (ii) 농식품 시스템의 환경 발자국과 자원 사용을 감소시키며, (iii) 충격과 스트레스에 대응하는 농식품 시스템의 회복력과 적응력을 증진하고, (iv) 농식품 시스템의 주체와 이해관계자가 의사결정 및 이익 공유에 참여할 수 있도록 지원한다.

종합하면, 경제적 성과, 사회적 포용성, 환경적 요인이 포함된 기술 활용이 농식품 시스템에 어떤 영향을 미치는지를 이해하는 것이 중요하다. 이와 같은 지식은 책임감 있는 기술 도입을 촉진하고, 다양한 주체의 요구와 가치를 반영한 기술 혁신의 개발 차원에서도 필요하다(IPCC, 2022a; FAO, 2024).

2. 농식품 가치사슬과 기술 수요 평가

농식품 가치사슬(agrifood value chains)은 농식품 시스템이라는 더 넓은 개념 속에 내재되어 있으며, 원재료를 소비자를 위한 최종 제품으로 전환하는 여러 단계로 구성된다. 이러한 단계들은 서로 영향을 미치거나 주고 받는다. 가치사슬 전반에 걸쳐 이해관계자 간의 효과적인 규칙, 역할, 조정 및 협력은 충분한 자원 가용성과 더불어 농식품 시스템의 효율성, 품질, 지속가능성, 회복성을 최적화하는 데 필수적이다. 또한 기술, 인프라, 물류, 시장 접근성의 발전은 농식품 가치사슬의 역동성을 형성하는 과정에서 매우 중요한 역할을 수행한다.

농식품 가치사슬은 독립적으로 기능하지 않는다. 농식품 가공업자들은 일반적으로 다양한 농산물, 축산물, 수산물을 동시에 취급하므로 동시에 상호 연관된 의사결정을 내려야 한다. 또한 사업 서비스, 인프라(운송, 저장, 가공), 정책(금융, 시장 및 토지 정책)은 특정 단일 품목에만 국한되지 않는 경우가 많다. 가치사슬 전 단계에서 어떤 기후 기술이 실행 가능하고 실현 가능한지를 신중히 평가하는 것은 농식품 시스템을 통한 기후 변화 적응과 완화 전략을 모두 뒷받침할 수 있다.

기술 수요 평가(TNAs, Technology Needs Assessments)는 특정 국가나 환경에서 특정 부문에 필요한 기후 기술을 파악하는 데 사용된다. 기술 수요 평가 과정은 기후 기술을 식별하고, 선정 및 실행하는 것을 목표로 하는 일련의 참여 활동으로 정의되며, 궁극적 목표는 해당 부문이 기후 변화에 적응하거나, 혹은 기후 변화와 관련된 완화 노력을 강화하도록 돋는 것이다.

개발도상국 당사국들은 기술 수요 평가에서 농업 부문을 일관되게 최우선 순위로 두고 있으며, 이는 국가 온실가스 감축목표(NDC, Nationally Determined Contribution) 달성을 위한 완화(mitigation) 및 적응(adaptation) 기술 구현에 있어 농업 부문의 중요한 핵심적 역할을 인식하고 있기 때문이다. 특히 전체 개도국 당사국의 87%가 농업, 임업 및 기타 토지 이용 부문을 적응 활동의 우선 분야로 지정하고 있으며, 35%는 농업 부문을 완화 활동의 대상으로 고려하고 있다. 그 밖에도 수자원 및 에너지 분야에서의 역할도 인식하고 있다.

농업 부문의 적응 활동을 위해 최우선 5대 기술은 스프링클러 및 점적 관개(전체 당사국

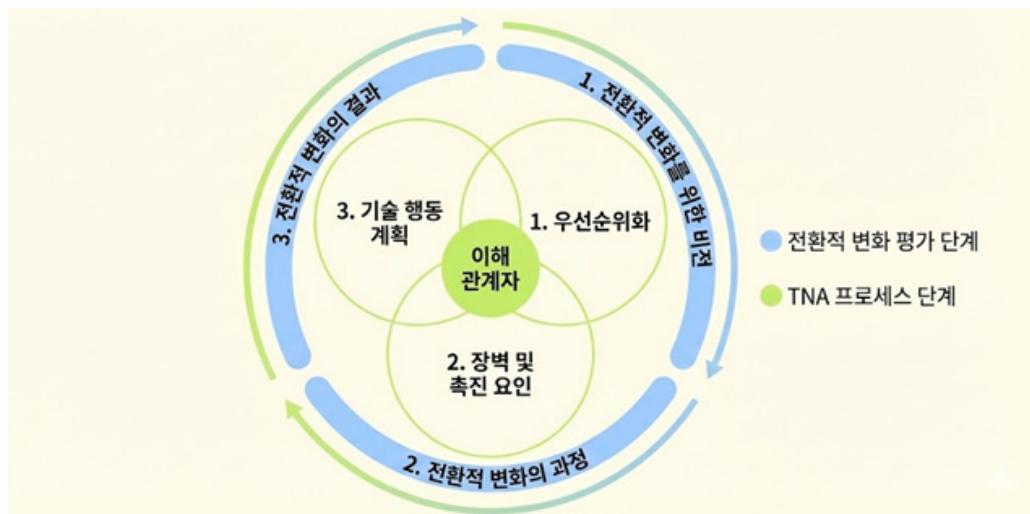
의 37% 언급), 작물 다각화 및 신품종개발(27%), 가뭄 저항성 작물 품종(21%), 보전농업 및 토지 이용 계획(21%), 농림업(18%)이다.

수자원 부문 또한 농식품 시스템에서 핵심적인 역할을 수행하는 것으로 인식되고 있다. 이 부문의 적응 활동과 관련하여, 최우선 순위로 선정된 3대 기술은 빗물 저장(전체 당사국의 54% 언급), 지하 저장 및 이용(19%), 소규모 저수지 및 댐(15%)이다.

에너지 부문에서는 태양광 발전(solar photovoltaic), 수력발전(hydroelectricity), 바이오매스/바이오가스(biomass/biogas) 등 대부분의 기술이 전력 생산과 관련되어 있다.

기술 수요 평가 과정은 3가지 주요 단계와 목표로 구성되는데 첫 번째, 선정된 부문 및 하위 부문에 대해 완화 및 적응 기술을 파악하고 우선순위를 정한다. 두 번째로 우선순위 기술의 도입과 확산을 저해하는 장벽을 파악, 분석 및 해결하고, 해당 기술을 위한 제도적·정책적 여건을 조성하는 과정을 구축한다. 마지막으로 이전 두 단계에서 도출된 정보를 바탕으로 우선순위 기술의 도입과 확산을 위한 기술 이행계획(TAP, Technology Action Plan)을 수립한다. TAP에는 우선순위 기술의 구현을 위한 구체적 실행 조치인 프로젝트 아이디어도 포함된다(〈그림 4〉 참조).

〈그림 4〉 기술 수요 평가의 단계별 전환적 변화



자료: FAO & UNFCCC(2024), p.16.

2.1. 농식품 시스템의 기후 기술: 적응 기술과 완화 기술

기후 적응과 완화 기술은 전 세계적인 기후 변화 대응에 필수적이다. 농식품 부문에서는 물·에너지·식량 자원 간의 상호 연계성이 특히 중요시되는 가운데, 이와 같은 기술들은 지속 가능한 자원 관리를 촉진하는 데에도 활용되며, 해당 부문의 회복력과 지속 가능성을 높이는 데 핵심적인 역할을 한다. 아울러 적응 기술과 완화 기술을 각각 살펴보면, 상당수 기술이 두 측면에서 공동 편익(co-benefits)을 제공한다는 점이 확인된다.

기후 적응 측면에서 IPCC(2022a)는 농식품 부문의 회복력과 지속 가능성을 높이기 위해 관련된 잠재적 적응 범주를 검토하고, 적용 가능한 다양한 방안을 제시하였다(〈표 1〉 참조).

〈표 1〉 농식품 부문과 관련된 기후 적응 범주 및 적응 방안

적응 범주	적응 방안
농업의 다양화	농업적 다양화: 농장 내 생물다양성(예: 혼작)
	농업적 다양화: 경관 단위 다양화
	혼합 시스템: 작물, 나무, 임목-가축 통합, 수산, 양식, 혼농임업
	다중 규모의 농생태학적 접근
농업 경영(농가 단위)	유기 경영
	무경운, 최소 경운 또는 보전농업
	통합적 병해충 및 잡초 관리
축산 경영	계절별 사료 보충
	개선된 동물 건강 및 기생충 관리
	열 스트레스 관리
생산 시기·위치·종·밀도의 조정	식물 또는 동물 유형의 대체 또는 변경
	파종 시기 조정·역계절(비해당 계절) 생산
	작물 재배지 또는 방목지 이동; 수산종의 재배 위치 이동
토지의 황폐화 감소, 토양 보전 및 개선, 탄소 포집	산림파괴 및 산림 황폐화 감소
	산림복구·산림회복
	조림 및 토지 복원
	개선된 토양 관리(토양 침식·염류화·토양 다진 감소)
물 관리(농가 단위)	관개 효율 및 물 이용 개선
	점적 관개
	통합 물 관리·물 보전 및 효율성 향상
	기후 스마트 인프라(예: 더 깊은 양식지, 물 저장고)

적용 범주	적용 방안
유전적 개선	전통 육종(품종 또는 종 개량, 수산 분야의 '보조 진화') 바이오기술 및 생명공학
공동 자원 관리	지역사회 기반 산림 관리 지역사회 씨앗·사료·사료작물 은행 공동 물 저장 및 관리 체계 농민 간 학습, 농민 필드 스쿨 사회적 지원 네트워크
기후 서비스	기상 예보 및 조기경보 체계 개선 식품 저장 인프라
인프라	개선된 식품 운송 및 유통 식품 가공·소매·농식품 산업의 효율성 및 지속가능성 개선 보호 인프라에 대한 투자
소비자 행동 변화	식단 변화 식품 폐기 감소(소매업자 및 소비자 수준)
식품 시스템 전환	식량 주권·농생태학·식량권 접근 다종 규모의 통합 접근 공급망 단축, 직거래, 순환경
정책 및 계획	지역사회 기반 적응(재난위험관리 포함) 지역 거버넌스 및 분쟁 해결 체계 지역 및 로컬 식품 시스템 강화 국가 및 국제 적응 계획·조정·정책 및 거버넌스 지역사회 서비스 접근성 및 사회보호 향상
생계 다양화	생계 다양화(경제적 다양화: 농장 내 또는 지역사회 고용 형태 포함)

자료: FAO & UNFCCC(2024), p.18.

완화 측면에서, IPCC(2022b)는 완화 조치를 토지 기반 기후 기술과 관리 관행으로 정의하며, 이는 토지 시스템 내에서 온실가스 배출을 감소시키고 탄소 격리 강화를 목표로 한다. <표 2>는 농업, 임업 및 토지 이용 부문을 넘어 식량 시스템을 중심으로 완화 방안을 정리한 것이다. 광범위한 관점을 통해 기술적 접근과 행동적 접근을 모두 포괄하는 부문 간 완화 방안을 파악할 수 있다.

〈표 2〉 완화 조치 유형과 수단

부문	조치 유형	완화 조치
산림 및 기타 생태계	보호	산림 파괴 및 산림 황폐화 감소
		연안 습지 전환 감소
		이탄지(peatland) 황폐화 및 전환 감소
		초지 및 사바나 지역의 황폐화 및 전환 감소
	관리	산림 관리 개선
		화재 관리(산불, 초지·사바나 화재 포함)
	복원	조림, 재조림 및 산림 생태계 복원
		연안 습지 복원
		이탄지 복원
농업	탄소 격리	경작지의 토양 탄소 관리
		초지의 토양 탄소 관리
		훈농임업
		바이오차 활용
	배출 저감	반추동물 장내발효 배출 저감
		분뇨 관리 개선
		작물 양분(비료) 관리 개선
		벼 재배 관리 개선
바이오 에너지	-	바이오 에너지 및 탄소 포집·저장 기술을 수반한 바이오 에너지
수요 측면	-	식품 손실 및 식품 폐기 감소
		지속 가능한 건강식으로의 전환
		목재 제품 사용 확대
		부산물 활용
식품 가공 및 포장	-	식품 보존
		스마트 패키징 등 관련 기술 활용
		재생에너지 및 에너지 효율 향상 기술 활용
		물류 개선
저장 및 유통	-	대체 연료·대체 운송 방식 도입
		재생에너지 및 에너지 효율 향상 기술 활용
		냉매 교체

자료: FAO & UNFCCC(2024), p.20.

또한 농업 부문에서 청정 기술과 지속 가능한 해결책의 개발 및 보급을 가속화하기 위한 노력의 일환으로 7대 혁신 기술 분야가 대두되었다. 해당 기술 분야는 농업 부문에서 중요한 발전을 견인하기 위한 핵심 개입 분야로 분류되며, 2030년까지 기후 회복력과 지속 가능한 농업을 전 세계 농업인들에게 가장 매력적이며 광범위하게 채택되는 선택지로 만드

는 것을 목표로 한다. 이러한 획기적 기술은 배출 저감, 식량 및 영양 안보 보장, 천연자원 보호, 소규모 생산자의 기후 회복력 강화에 필수적이다(〈표 3〉 참조).

〈표 3〉 농업 부문의 혁신 기술 영역

혁신 기술 영역	
비료 배출 저감	정밀 비료 관리 기술
	통합 토양 비옥도 관리
	질화 억제제(화학적 및 생물학적)
	저배출 비료(완효성 비료 및 지속방출 비료 포함)
	혼작, 바이오비료 및 유전공학을 활용한 생물학적 질소 고정
	유기비료(퇴비, 가축분뇨, 작물 잔사) 및 바이오차(biochar) ¹⁾ 를 활용한 토양 비옥도 개선
가축 부문 메탄 배출 저감	반추동물 장내발효 메탄 배출 저감 전략
	메탄 배출 감소를 위한 분뇨 관리 전략 및 기술
	자원 이용 효율성 향상
지속 가능한 식량 시스템 전환 위한 농생태학 및 촉진 환경 혁신	투입재 대체 확대
	회복력 및 시너지 강화
	지식 공동 창출
	포용적 비즈니스 모델 도입
	정책 및 제도 개선
	작물 및 가축 육종
대체 단백질	식물성 단백질
	미생물 발효 기반 단백질
	배양육 단백질
	곤충 기반 단백질
식품 손실 및 식품 폐기와 그에 따른 배출 감소	개선된 농업 관행
	향상된 수확 후 관리
	더 효율적인 가공 방법
	개선된 포장 및 저장
	부산물 활용
	식품 부패 감소
	재고 관리 개선
	식품 기부 프로그램
	가정 내 식품 폐기 감소
	식품 찌꺼기 및 기타 유기물의 퇴비화
디지털 서비스	유전학 등 농업 연구 분야에서의 활용
	지수 기반(index-based) 농작물 보험 제공(타 서비스와 결합 증가)
	농업 조언 및 시장 정보 제공
	실시간 기상 예보
	홍수 및 가뭄 모니터링 및 관리 도구

자료: FAO & UNFCCC(2024), p.21.

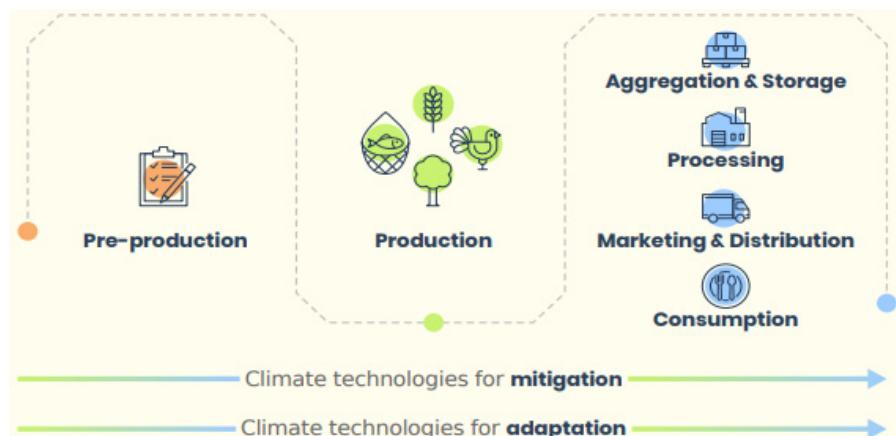
1) 바이오차(biochar): 유기물을 산소가 거의 없는 조건에서 열분해하여 만든 탄소 기반 물질로, 토양 비옥도 개선과 탄소 격리에 활용됨.

3. 기후 기술과 농식품 시스템 가치사슬

농식품 시스템 전환을 지원하기 위한 기후 기술의 개입을 구체적으로 평가할 때 기술이 농식품 시스템의 적응 및 완화 요구를 구체적으로 어떻게 지원할 수 있는지 이해하기 위해 우리는 가치사슬 접근법이 필요하다. 국가 또는 상황에 따라 가치사슬은 농식품 시스템의 핵심 요소이며, 제품이 1차 생산자에서 최종 소비자로 이동하는 과정의 경로 역할을 하며, 각 단계에서 부가가치가 더해진다.

전형적 농식품 가치사슬은 생산, 저장, 가공, 운송 및 유통, 소비의 5단계로 구성된다. 사전 생산(pre-production) 단계도 존재하는데 여기에는 생산, 토지 준비 및 사료 선택을 포함한 계획 단계의 모든 활동이 포함된다. 이러한 단계는 기후 기술과의 상호 연계를 고려할 때 중요하다(〈그림 5〉 참조).

〈그림 5〉 전형적 농식품 가치사슬



자료: 저자 작성.

3.1. 기후 기술과 작물

작물은 식량, 섬유, 연료 등 다양한 목적으로 재배된다. 작물 가치사슬의 복잡성과 기술적 측면은 궁극적으로 특정 작물과 상황에 따라 달라진다. 생산부터 최종 소비에 이르기까지 각 단계에는 기술 및 기후 변화와 연계된 활동이 포함된다.

생산 전 단계에서 농가들은 종자, 비료 및 살충제를 선택하고 윤작, 관개, 토지 준비와 같은 농업 활동을 계획한다. 생산 단계에는 파종, 해충 관리, 토양 및 수질 관리, 수확 등의 작업이 진행된다. 저장 및 가공을 포함한 수확 후 공정은 유통기한 연장과 시장 접근성을 보장한다. 냉각 및 밀폐 저장 같은 보관 방법은 농산물의 품질 유지에 도움이 된다. 가공은 농산물을 보존하고 취급하여 사용하기에 적합하도록 만들기 위해 수행된다. 이 같은 과정은 농산물의 가치를 높이고 손실을 줄이며 식품 안전을 유지하는 데 도움이 된다. 마지막으로 가공된 식품은 유통을 거치는데, 유통과정에서 소비자에게 도달하기 전에 다양한 유통업체를 통해 운송 및 보관된다.

작물 가치사슬의 각 단계마다 다양한 기후 적응 및 완화 기술은 중요하다. 작물을 위한 기후 적응 기술은 극한 기온, 강수 패턴 변화, 가뭄, 홍수의 빈도 증가, 해충 및 질병의 확산과 같은 기후 변화의 영향에 대한 농업 시스템의 회복력을 강화하는 것을 목표로 한다. 이 같은 기술은 농가들이 변화하는 환경 조건에 적응하고 작물 생산성을 최적화하며 식량 안보를 보장하도록 지원한다.

생산 전 및 생산 단계에서는 유전적 개량(가뭄, 홍수, 도복, 열, 염분, 수분 부족, 해충 또는 질병에 대한 작물 내성 제고 품종 선택), 농업 다각화(혼합 시스템, 농생태학적 접근 방식 사용), 개량농법(유기농 관리, 통합 해충 및 잡초 관리, 간작, 통합 토양 비옥도 관리, 토양 개량제 사용), 생산 시기, 지역 또는 작물 선택의 조정, 강화된 물 관리(태양광 관개, 점적 관개)와 같은 적응 기술에 주된 초점을 맞춘다.

수확 후 단계에서는 인프라(식품 저장, 냉각 및 건조 인프라, 식품 가공 및 농식품 산업의 효율성 및 지속 가능성 개선)가 식량 손실 감소에 가장 중요한 역할을 한다.

소비 단계에서는 소비자의 행동 변화(식습관 변화, 음식물 쓰레기 감축)가 주요 기후 변화 대응 전략이다. 궁극적으로 정책 및 전략적 계획, 식량 시스템 내의 체계적 변화는 전체 가치사슬에 영향을 미칠 수 있다. 몇 가지 조치에는 공급망 단축을 통한 효율성 제고, 지역 경제 강화를 위한 농가와 소비자 간 직접 판매 촉진, 폐기물 감소 및 자원 최적화를 우선시하는 순환 경제 육성이 포함된다.

작물을 위한 기후 완화 기술은 온실가스 배출을 줄이고 탄소 격리를 강화하며 지속 가능한 농업 관행을 장려하여 기후 변화의 영향을 완화하는 데 중점을 둔다. 예를 들어, 저배출 비료 사용, 농생태학적 관행(보존 농업, 덮개 작물 및 녹비, 바이오 기반 비료, 윤작 및 간

작 포함) 및 작물 육종은 생산 단계에서 가장 중요하다. 반면, 디지털 서비스(관개 일정 시스템, 실시간 기상 예보, 에너지 관리 시스템, 유통 경로 최적화)는 전체 가치사슬에 걸쳐 이점을 제공한다. 식품 가공 및 포장 분야에서는 부산물 활용, 식품 손실 및 폐기 최소화, 스마트 포장 채택과 같은 조치가 온실가스 배출 감소에 기여한다. 또한 작물 가치사슬에 재생 에너지원을 통합하고 에너지 효율적인 기술 및 관행을 적용하면 화석 연료 의존도를 줄이고 에너지 접근성을 보장하여 기후 변화 완화에 기여하고 농업 부문의 생산성과 회복력을 향상시킬 수 있다.

3.2. 기후 기술과 축산

축산 가치사슬은 축산 농가에서 기업에 이르기까지 다양한 주체를 포함하며, 사슬의 복잡성에 따라 각기 다른 역할을 수행한다. 단순한 사슬에서는 한 축산 농가가 모든 단계를 처리할 수 있는 반면, 산업화된 사슬에서는 전문화된 주체 또는 수직적 통합이 이루어진다.

투입재 공급업체는 사료, 기계, 의약품과 같은 필수 자원을 제공한다. 생산 단계는 육종, 번식, 비육, 동물성 생산물(우유 및 달걀) 생산을 포함하며, 개별 농가나 전문화된 주체에 의해 관리된다. 육종은 우수 형질의 가축을 선발하는 과정이며, 번식은 새로운 개체를 생산하고 비육은 시장 출하 수준 제조까지 사육하는 과정이다.

우유 및 육류와 같은 가공 축산물은 부패하기 쉬운 특성으로 위생적인 조건과 보존 방법이 필요하다. 가공 과정에서 상당한 폐기물이 발생하므로 환경 영향을 최소화하기 위한 적절한 처리 방법이 필요하다.

도매업체와 소매업체는 생산자와 소비자를 연결하며, 식품 손실을 최소화하기 위해 저온유통 시스템을 활용한다. 운송은 가치사슬의 중요한 부분이며, 효율적인 집하 및 저온유통 시스템을 통해 제품이 양호한 상태로 시장에 도달하도록 보장한다.

축산 가치사슬 전반에 걸쳐 기후 변화는 중대한 도전 과제를 초래한다. 축산 부문은 기후 변화의 원인을 제공하는 동시에 그 영향을 받는다. 축산업은 주로 장내 발효와 분뇨 관리에서 발생하는 메탄을 통해 온실가스 배출의 상당 부분을 차지한다. 동시에 사료 공급량 감소, 물 부족, 극심한 기상이변, 신종 질병 등 기후 변화의 영향으로 인한 위협에 직면해 있다.

축산 부문을 위한 기후 적응 기술은 기후 변화의 영향에 대한 축산 시스템의 회복력을 강화하는 것을 목표로 한다. 가축 관리(대체 사료 공급원), 계절 예측 시스템, 지속 가능한 목초지 관리, 유전적 개량(내열성, 내병성 품종 및 종으로의 전환), 농업 다각화 및 동물 유형 변경과 같은 기술은 생산 단계에서 가장 큰 영향을 미치지만, 그 이점은 사슬의 다른 부분으로도 확장된다. 인프라 기술(식품 저장 시설, 신기술 식품 운송 및 유통, 자연적 및 인공적 그늘막 및 보호 구조물, 기후 제어 축사 시스템)은 생산 후 단계에서 중요하다. 소비 단계에서는 음식물 쓰레기 감축과 같은 소비자 행동 변화가 중요하며, 정책 및 계획 수립은 가치사슬 전체에 영향을 미칠 수 있다.

축산업은 온실가스 배출에서 차지하는 비중이 크기 때문에 기후 완화 기술은 필수적이다. 또한 완화 기술은 자원 효율적 사용을 촉진하고 폐기물을 줄이며 환경 파괴 범위를 최소화한다. 생산 단계의 주요 완화 기술에는 가축 육종, 장내 발효 및 분뇨 관리에서 발생하는 메탄 배출 감소 방법, 동물 건강 개선 및 사료 품질 개선이 포함된다. 대체 단백질(배양 육 및 곤충 기반 단백질), 소비자 행동 변화(육류 소비 감소), 식품 손실 및 폐기물 감소 기술(효율적인 가공 방법, 개선된 포장 및 저장, 식품 부패 감소) 및 디지털 서비스의 활용은 가치사슬 전반에 걸쳐 중요하다. 또한 정부는 환경 친화적인 축산물 생산 방법에 대한 연구 개발(R&D)을 장려할 수 있다.

축산 농가, 축산물 가공 시설 및 냉난방 시스템에 전력을 공급하기 위해 태양광 패널, 바이오가스 발전소 및 히트 펌프와 같은 재생 에너지 시스템을 설치하면 화석 연료 의존도를 줄이고 온실가스 배출량을 줄일 수 있다. 가축 분뇨를 재생 에너지 및 바이오 비료로 전환하는 바이오가스 생산 시스템을 구현하면 메탄 배출량을 줄이고 유기성 폐기물을 활용하며 축산 농가의 추가 수익원을 창출할 수도 있다. 육류, 계란, 우유와 같은 축산물은 부패하기 쉽고 가치사슬 전반에 걸쳐 냉각 및 가공이 필요하기 때문에 에너지 효율적인 기술 사용과 효과적인 에너지 관리를 통해 적응 및 완화 활동을 지원할 수 있다.

온도 제어 및 냉각은 에너지 집약적인 공정일 수 있으며, 할로겐계 냉매의 사용은 온실 가스 배출을 증가시킬 수 있다. 따라서 지속 가능한 냉각 해결책은 에너지 효율성을 우선시하고 재생 에너지원을 통합하며 자연 냉매를 사용해야 한다.

3.3. 기후 기술과 임업

지속 가능한 임업 및 농림업의 가치사슬은 목재 및 비목재 임산물을 최종 소비자에게 전달하는 것까지 포함한다. 생산, 수확, 운송, 가공(부가가치 창출 포함), 마케팅 및 유통, 소비의 단계로 구성되며 다양한 이해관계자가 참여한다.

지속 가능한 벌채는 생물다양성, 토양, 물 및 전반적인 생태계 기능을 보호하기 위해 보존해야 할 수목과 구역을 조사하고 식별하는 것으로부터 시작된다. 선택적 벌채의 경우 제거할 특정 수목을 표시하고 현장에서 가공을 진행하며, 유기물은 재생과 토양 보전을 지원하기 위해 남겨둔다. 목재가 운송된 후, 벌채된 지역은 다시 심거나 보조 자연 재생 또는 보식과 같은 방법을 통해 자연적으로 재생되도록 한다. 지속 가능한 산림 관리는 종종 자연 생태계에 적용되는 반면, 지속 가능한 농림업 관리는 특정 조림으로 풍부하게 조성된 보다 계획된 시스템을 포함한다. 벌채된 목재는 다양한 운송 수단을 통해 가공 시설로 운송되며, 집하 센터는 비용과 환경 영향을 줄이기 위해 화물을 통합 운영한다.

가공 시설에서 원자재는 부가가치가 높은 제품으로 변형된다. 이 단계에서는 목재 잔여물 및 기타 재생 에너지원을 활용하고 에너지 효율성 조치를 우선시해야 한다. 마케팅 활동은 이와 같은 제품을 지역 및 전 세계적으로 홍보하는 것을 목표로 한다. 유통망은 탄소 배출을 줄이기 위해 운송 거리를 최소화하고 인근 지역에서 자재와 제품을 조달하여 지역 사회를 지원하는 것을 우선시해야 한다. 지속 가능한 임업 및 농림업 제품의 소비자는 개인과 산업계를 포함한다. 지속 가능한 소비를 촉진하려면 인증된 제품을 선택하고, 내구성 있는 품목을 선택하며, 현지 조달 제품을 선호하고, 책임 있는 재활용 또는 업사이클링을 실천해야 한다.

임업 분야의 기후 기술은 산림 보전, 복원 및 지속 가능한 이용을 지원하는 것을 목표로 한다. 이는 산림 건강을 개선하고 목재 생산, 생물다양성 및 생태계 서비스에 대한 기후 변화의 영향을 줄인다. 이러한 기술은 지속 가능한 산림 관리에 뿌리를 두고 있으며 변화하는 기후 패턴, 산불 증가, 해충 및 질병, 서식지 변화와 같은 문제를 해결하는 것을 목표로 한다.

적응과 완화 모두에 기여하는 임업의 주요 기후 기술에는 디지털 기술, 제품/공정 기술 및 생명공학 기술 등이 있다. 원격 탐사 및 데이터 관리의 발전과 같은 디지털 기술은 국가 산림 모니터링 시스템을 고도화하는 데 도움이 되었으며, REDD+²⁾ 체계하에서 성과 기반

보상을 실행할 수 있는 핵심적인 토대를 마련하였다. 제품 및 공정 기술은 지속 가능하게 조달된 목재를 건축 및 건설, 섬유 및 에너지 부문에 사용하여 화석 연료 및 탄소 집약적 자재를 대체하고 바이오 경제로의 전환을 촉진하는 것을 포함한다. 또한 개발도상국의 임업 부문에서는 혁신 도입이 제한적이므로, 저기술 혁신(등급 분류 개선, 물류 운송, 첨단 제재, 태양열 건조기, 현대적 바이오에너지)에 투자하면 지속 가능한 산림 관리 및 가치사슬 효율성을 크게 향상시킬 수 있다. 수확량 증대, 질병 저항성 향상, 기후 변화 적응을 위한 수목 육종이 연구되고 있다. 또한 기후 변화 완화 및 적응 노력을 지원하기 위해 활용되고 있는 이러한 기술과 기타 산림 부문 기술들은 광범위하게 논의 및 보급되고 있다.

마지막으로 정책, 입법 및 효과적 집행은 지속 가능한 임업의 이행을 촉진하고 보장하는 데 중요한 역할을 한다. 명확한 지침과 표준을 설정함으로써 산림 생태계를 보호하고 책임 있는 자원 관리를 장려하며 산림 지역의 장기적인 보전과 생산성을 지원한다.

3.4. 기후 기술과 어업

어업 가치사슬은 생산 전(어선 및 장비 확보)과 어류 생산부터 소비까지 여러 단계로 구성된다. 생산 단계에서 어업은 수산 자원에서 다양한 어종을 포획하거나 수확하는 것을 포함한다. 포획 후 어류는 즉시 소비되거나 소비자에게 도달하기 전 여러 단계를 거쳐 가공될 수 있다. 생산 후 단계에는 저장, 가공, 마케팅 및 유통, 소비가 포함된다. 가치사슬을 저장 및 가공으로 확장하면 제품의 유통기한이 연장되고 각 단계에서 가치가 더해진다.

기후 기술은 어업이 기후 변화에 적응하도록 지원하고 대안적인 완화 해결책을 제공하는 데 필수적이다. 어업을 위한 적응 기술은 기후 변화의 영향에 대해 해양 및 담수 생태계, 어업 활동, 지역 사회의 기후 변화 영향에 대한 회복력을 강화하는 것을 목표로 한다. 이와 같은 기술은 해수면 온도 상승, 해양 산성화, 기상이변 빈도 증가와 같은 환경 조건 변화가 어족 자원, 수생 서식지, 생태계에 미치는 부정적인 영향을 완화한다.

가치사슬의 생산 단계에서 중요한 역할을 하는 적응형 어업 관리는 어족 자원을 유지하고 생태계 건강을 보전하며 장기적인 생존 가능성을 보장한다.

2) REDD+는 '산림 파괴 및 황폐화로 인한 배출량 감소 Plus'(Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation Plus)의 약자로, 개발도상국(개도국)의 산림 파괴로 인한 온실가스 배출을 막고, 산림 보전 및 지속가능한 산림 경영을 통해 탄소흡수량을 증진시켜 기후변화에 대응하기 위한 UN 기반의 국제 메커니즘이다.

기후 변화에 대비한 해양 보호 구역 및 기타 효과적인 지역 기반 보전 조치를 설정하는 것은 생물다양성을 보전하고 지속 가능하게 이용하며, 중요한 서식지를 보호하고, 인간의 개입을 줄임으로써 기후 영향에 대한 생태계 회복력을 향상시키는 데 도움이 된다.

구역의 설정은 지역 어업 공동체의 생계를 위한 식량권에 부정적인 영향을 미칠 수 있으므로 항상 지역 어업 공동체와 협의하고 공동 설계해야 한다. 계절별 어로 금지, 구역 제한 및 어획량 제한과 같은 조치는 어족 자원을 보존하고 생태계 균형을 유지한다. 훈제, 건조, 냉동, 염장 및 통조림과 같은 보존 및 가공 관행은 어획물의 손실, 부패, 미생물 증식을 줄이고 제품의 가치를 높이기 때문에 생산 후 단계에서 중요하다.

또한, 복원 조치(맹그로브 및 습지 복원 시스템)는 어류 및 기타 수생 종의 서식지를 복원하고, 해안 침식 및 폭풍의 영향을 완화하며, 블루 카본(Blue Carbon) 저장을 강화한다. 어선, 가공 시설, 기타 작업에서 재생 에너지를 사용하고 에너지 효율성을 개선하면 해당 부문의 화석 연료 의존도를 줄이고 온실가스 배출량을 낮추며 운영 비용을 절감하는 데 도움이 된다.

3.5. 기후 기술과 양식업

양식업 가치사슬은 재배 방법 및 기술의 사용으로 인해 생산 및 수확 단계에서 어업과는 다르다. 생산 전 활동에는 저수지 건설, 댐, 강, 바다에 가두리 설치, 펌프, 기포장치, 급이 장치, 필터 사용 등이 포함된다. 어업과 달리 양식업은 대부분 시장 지향적이며 지역 또는 국제 공급망에 통합되어 있으며, 일부 시설은 직접 도매 또는 소매 판매에 관여한다.

양식업 생산 단계를 위한 적응 기술에는 위험과 민감도 노출을 줄이고 적응 능력을 높이는 기술 도입이 포함된다. 기후 변화에 더 잘 견디는 종으로의 다양화 및 기후 회복력이 있는 기술과 관행(보호 인프라, 생산 주기 변경, 순환 여과 양식 시스템, 개선된 물 관리)의 채택과 같은 전략은 양식업의 회복력을 높일 수 있다. 사료 관리 및 사료 품질 개선은 유전 적 개량과 함께 생산 효율성을 높이고 기후 위험을 줄일 수 있다. 또한, 식량 손실 및 폐기 를 줄이고 재생 에너지 및 에너지 효율성 조치를 통합하면 자원 효율성을 높이고 화석 연료 사용을 줄임으로써 기후 완화에 기여할 수 있다.

4. 결론

지속 가능한 농식품 시스템으로 전환을 위한 기후 기술 적용은 필수적이다. 농식품 시스템은 식품 및 농산물의 생산, 가공, 유통 및 소비를 담당하는 다양한 주체와 활동으로 구성된 복잡한 가치사슬 네트워크이다. 또한 농식품 시스템은 기후 변화의 영향을 강하게 받는 동시에 시스템 자체가 온실가스 배출원이기도 하다. 최근 들어 농식품 시스템은 극한 기상 현상, 병충해 발병, 물 부족 및 수자원 악화 등과 같은 다양한 스트레스에 직면하면서 생산성 하락, 비용 증가로 인해 수익성 악화로 이어지고 있다. 이와 같은 부정적 영향에 기후 기술이 핵심적 대안으로 주목받고 있다. 농식품 시스템 내에서 기후 기술은 수익 창출과 온실가스 감축 및 기술 변화 적용에 기여하는 모든 혁신 기술을 의미한다. 기후 기술의 효과적 적용을 위해서는 기술 수요 평가(TNA)가 선행되어야 한다. TNA는 특정 국가 또는 상황의 특정 부문에 필요한 기후 기술을 파악하는 데 사용되며, TNA 절차는 농식품 시스템의 이질성과 특정 기후 요구를 반영하도록 강화되어야 한다. 어떤 기후 기술을 사용할 수 있는지, 어떤 기후 목표를 위해, 그리고 가치사슬의 어떤 단계에서 사용할 수 있는지 정의하기 위해 국가 및 상황에 맞는 세부적인 평가가 필요하다. 농식품 시스템 간의 상당한 차이를 고려할 때, 사용, 배치, 채택 및 확장할 기후 기술 옵션을 정의하고 뒷받침하기 위해 지역 농식품 시스템에 대한 정확하고 상황에 맞는 평가가 필요하다. 평가는 지속 가능성(경제적, 사회적, 환경적)이 뛰어나고 천연자원, 물, 사회적 포용성을 충분히 고려하여 상황에 맞는 기술을 파악하고 적용해야 한다.

■ 참고문헌

- IPCC. 2022a. *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009325844>(검색일: 2025. 12. 1.).
- IPCC. 2022b. *Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press. doi: 10.1017/9781009157926(검색일: 2025. 12. 1.).
- Mukherji, A., Arndt, C., Arango, J., Flintan, F., Derera, J., Francesconi, W., Jones, S. et al. 2023. *Achieving agricultural breakthrough: A deep dive into seven technological areas*. Montpellier, France, CGIAR System Organization. <https://hdl.handle.net/10568/131852>(검색일: 2025. 12. 1.).
- Alexandrova-Stefanova, N., Mroczek, Z.K., Nosarzewski, K., Audouin, S., Djamen, P., Kolos, N. & Wan, J. 2023. *Harvesting change: Harnessing emerging technologies and innovations for agrifood systems transformation – Global foresight synthesis report*. Rome, FAO and Cirad. <https://doi.org/10.4060/cc8498en>(검색일: 2025. 12. 1.).
- FAO. 2024. *The state of the world's forests 2024: Forest-sector innovation towards a more sustainable future*. Rome. <https://doi.org/10.4060/cd1211en>(검색일: 2025. 12. 1.).
- FAO & UNFCCC. 2024. *Climate technologies for agrifood systems transformation: Placing food security, climate change and poverty reduction at the forefront*. Rome. <https://doi.org/10.4060/cd2877en>(검색일: 2025. 11. 30.).

■ 참고사이트

- 유엔식량농업기구(www.fao.org).
유엔기후변화협약(unfccc.int).