

해외 기후스마트농업 연구동향 및 적용 사례 *

강 기 경
(국립농업과학원 농업연구관)

1. 서론

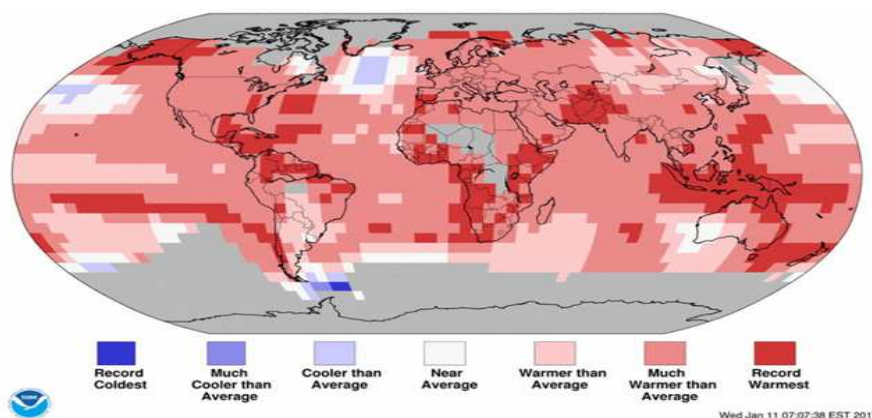
지구온난화 및 그에 따라 기후변동성이 커지는 상황에서 기후스마트농업에 대한 논의는 국제적으로는 2010년부터 본격적으로 이루어졌지만, 우리나라에서는 최근에야 관심을 갖기에 이르렀다. 물론 우리나라에서도 기후적응과 온실가스감축에 대한 연구와 논의는 2000년대 초반부터 활발히 이루어져 왔지만, 농업부문에서 기후변화 적응, 온실가스 감축과 더불어 지속적 생산성 유지·향상 문제를 동시에 해결하려는 통합적인 접근방식에 대한 고려는 상대적으로 적었다. 국제적으로 기후변화 관련 농업문제를 해결하는 방식을 보면 전적으로 새로운 기술을 개발하기보다는 기후스마트 농업기술이라고 판단되는 기존에 개발된 기술이나 영농관리방식을 지역의 여건에 맞게 적용하고, 이를 현장에서 확산되도록 하는 여건을 조성하는 데 중점을 두고 있음을 알 수 있다. 특히 식량부족이 크게 문제가 되는 저개발 국가나 지역에 선진국에서 개발된 기후스마트농업기술을 적용하는 프로젝트가 중심을 이루고 있음을 볼 수 있다. 따라서 여기에서는 기후스마트농업기술에 대해 해외에서 바라보는 시각과 움직임, 기술의 실질적 적용 관점에서 살펴보고자 하였다.

* (kkkang@korea.kr).

1.1. 지구온난화 현황

2016년, 지구 평균기온은 14.84℃로 20세기 평균(13.9℃)에 비해 0.94℃ 높았는데<그림 1>, 이는 1880년 이래 가장 높은 기온을 기록한 2015년보다도 또다시 0.04℃가 상승한 결과이다.

그림 1. 2016년 지구 평균기온 편차 백분위수(평년 : 1981~2010년)



자료: 미국국립해양기상청(NOAA 2017).

이는 21세기가 시작된 이후 지구 평균기온은 5차례(2005, 2010, 2014, 2015, 2016년)나 기록을 갱신한 것이다. 지구 평균기온은 1880년 이래 10년에 약 0.07℃씩 상승하고 있는데, 지구 평균기온이 20세기 평균보다 높았던 해가 40년째 계속되고 있다. 우리나라 역시 해마다 기온이 상승하고 있으며, 최근 이상기상 역시 증가하는 추세인 것으로 파악되고 있다.

1.2. 기후스마트농업이란 무엇인가?

기후스마트농업은 2010년 유엔식량농업기구(FAO)의 농업, 식량안보 및 기후변화에 관한 헤이그 회의에서 그 개념이 처음 제시되었는데, 지속가능한 개발 목표의 달성에 기여하고 식량안보와 기후변화 문제들을 함께 해결함으로써 지속가능한 개발의 3차원(경제적, 환경적, 사회적)을 통합하고자 하였다. FAO는 “기후변화 하에서 식량안보를 위하여 지속가능한 농업개발의 성취를 목적으로 기술적, 정책적, 재정적 여건을 조성하기 위한 종합적인 접근법이다”라고 정의하고 있는데, 다른 말로 표현하면, 기후가 변화하고 그 변동성이 심화되는 여건 속에서 세 가지 목표 즉 생산성 향상, 기

후변화 적응력(resilience, 복원력) 증대, 온실가스 감축을 달성하기 위해 기존의 농업생산의 틀을 바꾸는 새로운 접근방식으로 정의된다. 기후스마트 농업이 지향하는 바는 이 세 가지 목표를 달성하는 위한 것으로 요약되지만 기후스마트농업(climate-smart agriculture, CSA)의 궁극적인 목적은 국가적 식량안보 확보 및 국가적 개발목표를 달성하는 것이다(FAO 2013; Lipper et al. 2014).

1.3. 왜 기후스마트농업이 필요한 가?

기후변화로 인한 재해가 세계 곳곳에서 현실화되고 있고, 다수의 보고서에서 앞으로 기후변화로 인한 피해가 더 커질 것으로 예상되는 상황에서 기후변화 및 날씨 변동성이 심한 조건에서도 지속적으로 농업생산을 유지할 뿐만이 아니라 계속적으로 증가하고 있는 인구를 부양하기 위해서는 식량생산을 늘리는 것이 필요하다. 그러나 식량생산을 위한 농경지면적은 늘리기 쉽지 않기 때문에 단위면적당 생산성을 더 높일 것이 요구된다. 이를 위해서는 기후변화에 잘 적응하고, 또는 기후변화의 원인 물질이 되는 온실가스 감축을 동시에 해야 하는데, 이러한 목적에 부응하기 위해 새로운 개념의 접근방법이 필요하게 된 것이다. FAO는 2050년까지 세계인구가 90억 명 이상으로 증가할 것으로 예상하고 있는데, 주로 개도국에서 도시민이 증가하는 상황에서 소득과 소비가 성장하는 추이가 지속되기 때문에 농업생산이 60% 이상 증가해야만 식량과 사료에 대한 수요가 충족될 수 있다. 따라서 증가된 인구 부양, 경제성장을 위한 기초 제공, 빈곤 감축을 위해서는 농업체계를 바꿔야 된다고 말하고 있다. 더구나 일상적인(business as usual, BAU) 시나리오 하에서 기후변화가 농업에 미치는 부정적인 영향으로 인하여 농업개혁이 더욱 어려워지고, 적응 노력과 관련 비용의 급격한 상승이 요구됨에 따라 식량안보와 농업개발 목표를 달성하기 위해서는 기후변화 적응과 온실가스 감축이 필요함을 역설하고 있다. 특히 개도국에서 기후스마트농업은 식량안보, 분배의 불균형 및 영양결핍 문제를 해결하며, 농업과 빈곤사이의 관계를 다루기 때문에 더욱 중요한 의미를 갖는다고 볼 수 있다.

1.4. 기후스마트농업의 특성

기후스마트농업은 기존의 농업과 지속가능발전에 관해 알았던 모든 것과는 다른 새로운 형태의 농업은 아니며, 지속가능농업 접근방식과 많은 공통점을 가지고 있다. 실제로 기후스마트농업은 이미 이루어진 기술적 토대 및 지속가능한 농업의 접근방

식에 의존하고 있다. 즉 지속가능한 농업의 접근방식 혹은 지속가능농업, 지속가능한 집약화 방식, 보전농업이 기후스마트농업기술을 실천하는 데 있어 주춧돌이 될 것이다.

그러나 기후스마트농업은 기존의 여러 영농방식과는 여러 가지 측면에서 차이가 있는데, 핵심이 되는 특징을 살펴보면, 첫째로 기후스마트농업은 기존의 농업개발 방식과 달리 지속가능한 농업시스템을 계획하고 개발하는 데 있어 기후변화 문제를 체계적으로 통합하여 기후변화 문제를 해결하려고 한다는 점이다(Lipper et al. 2014). 둘째로 기후스마트농업은 3가지의 뚜렷한 목적을 가진다. 즉 생산성 향상, 기후변화 적응성(resilience, 복원력 또는 회복력) 향상 및 온실가스 감축이다. 그러나 흔히 이 3가지 목적 모두를 달성하는 것은 불가능할 수 있다. 흔히 기후스마트농업을 수행할 때에 타협이 필요하게 되는데, 이 때문에 참여과정에서 파악되는 이해당사자가 추구하는 목적에 따라 달리 선택되는 수단에 대한 비용편익 분석은 필수적이다. 셋째로 기후스마트농업은 생태계서비스를 유지함에 있다. 생태계는 농민에게 깨끗한 공기, 물, 식품과 그 밖의 물질을 제공하기 때문에 기후스마트농업은 이러한 생태계서비스의 질을 악화시켜서는 안된다는 것이다. 따라서 ‘지속가능한 농업’의 원칙에 기초한 경관적 접근방식을 택하는 것이 중요하게 된다. 이는 조화되지 않은 경지이용을 초래하는 편협한 분야의 접근방식을 초월하여 통합적인 계획과 관리를 하는 방식이 필요함을 의미한다. 넷째로 기후스마트농업은 각 수준에서 다수의 진입지점(entry point)을 가지는 특성이 있는데, 이는 단순히 영농관리기술의 한 세트로만 인식하지 않고 통합적인 방식에서 접근할 것이 요구된다. 즉 기술개발에서부터 기후변화모델과 시나리오의 개발, 정보기술, 보험제도, 가치사슬 및 제도적 정책적 실행여건 조성 등 농가수준에서 투입되는 단순 기술에서 벗어나 식품체계, 경관 및 가치사슬 혹은 정책 차원에서 다양하고 통합적인 개입을 포괄하고 있는 것이다. 다섯째로, 기후스마트농업은 지역-특이적(site-specific) 혹은 배경-특이적(context-specific)이어서 지역의 여건에 따라 기후스마트(climate-smart)한 것일 수도 있고 아닐 수도 있다. 따라서 어떠한 요소들이 경관수준에서 상호작용하는 지를 고려해야 된다. 또한 제도적 혹은 정책적 여건의 차이에 따라 기후스마트하지 않을 수 있음에 유의해야 한다. 이러한 특성은 한 지역에서의 경험이 다른 곳으로 확장하는 데 있어서 걸림돌로 작용할 수 있다. 마지막으로 기후스마트농업은 여성농업인과 한계계층이 관여되어 있는 경우가 많은데, 식량안보와 기후적응성 향상이라는 목적을 위해서는 가난하고 한계농경지에 의존하는 기후변화에 취약한 계층을 참여시켜야 한다는 것이다. 또한 의사결정에는 모든 지방, 지역, 국가

의 이해당사자들을 참여시켜야 하는데, 이는 가장 적합한 개입수단을 파악하는 것이 가능하고, 지속가능개발을 가능하게 하는데 필요한 협력과 동맹을 형성할 수 있기 때문이다.

2. 기후스마트농업의 접근방식과 영농관리기술

해외에서는 어떠한 종류의 기술을 개발하고 있으며, 현장에서 어떻게 적용하고 있는지를 살펴보는 것은 의미가 있을 것이다.

손에 잡히는 기후스마트 농업기술은 어떠한 기술인지 모두가 궁금해 하고 있으나 우리는 알게 모르게 이미 기후스마트 농업기술을 많이 사용하고 있다. 기후스마트 농업기술은 크게 두 가지 즉 기존의 기술과 지금까지 개발되지 않았던 전혀 새로운 기술로 나눌 수 있는데, 새로운 기후스마트 영농기술 개발 못지않게 중요한 일은 기존의 기술을 현장에서 적극적으로 사용될 수 있도록 하는 여건 마련이다.

2.1. 접근방식

우리가 흔히 쓰는 친환경농업, 유기농업(organic farming), 보전농업(conservation farming), 저탄소농법(low carbon agriculture), 생태농업(ecological farming), 정밀농업(precision farming) 등의 용어는 개념적 접근방식으로 어느 특정한 단일 기술이나 관리방식을 의미하지 않는다. 또한 기후스마트농업에서 지향하는 시스템적 접근방식의 도입, 복합적 작부체계, 경관차원의 경지관리방식 등은 포괄적이며 목적 지향적이며 개념적인 접근방식을 의미한다고 볼 수 있다.

- 보전농업 : 다음의 3가지 원칙에 근거한 영농관리방식이다. 즉 최소의 토양교란, 작물잔사에 의한 토양피복, 윤작(rotation)이다. 토양교란을 20~30% 이하로 최소화하며, 작물잔사에 의한 토양피복의 경우 30% 이상의 유기물로 토양을 피복하며, 토양피복의 이상적인 수준은 상황에 따라 달리한다. 윤작은 잡초, 병해충 발생을 억제하는 효과를 가지는 데, 윤작을 할 정도로 충분한 농지를 가지지 못한 경우 윤작 대신 간작(inter-cropping)을 이용할 수 있는데, 자연적 질소고정을 유지하기 위해서 콩과작물을 선택한다. 보전농업은 기후 적응력 향상, 기후변화 완화 잠재력을 가지고 있는데, 그 편익은 아주 지역 특이적이다. 안정적인 수량을 보장하며, 토양의 물 보유능력의 상승을 통하여 작물의 가뭄에 대한 완충역할을 수행한

다. 또한 빗물 투수력을 증가시키고, 빗물 유거(run-off)와 증발량을 감소시킴으로써 물 이용효율을 증가시킨다. 멀치(mulch, 표토를 덮는 물질)에 의한 토양피복은 극한 온도에 대해 토양의 완충역할을 한다. 보전농업은 파종 준비작업 비용을 감소시키며, 최소경운 및 작물잔사에 의한 토양피복을 통하여 토양 침식을 80% 까지 감소시킨다. 또한 보전농업은 일반적으로 표토의 유기물 함량을 높이고, 토양 생물활성을 증가시키며, 생물다양성을 증가시키는 효과를 가지는 것으로 알려져 있다. 그러나 이러한 효과에도 불구하고 보전농업이 현장에서 잘 실천되고 있지 않은데, 특히 영세농이 보전농업을 채택하는데 걸림돌을 제거하기 위해서는 혁신적인 접근방식이 필요하다(Meryl et al. 2014).

2.2. 기후스마트농업기술 인벤토리

기후스마트농업기술은 크게 영농관리방법(practices)과 기술(technology)로 세분해 볼 수 있다. 여기서 영농관리방법은 경운법, 시비방법, 정밀농업기술 등과 같이 영농활동에 관한 내용을 의미한다고 볼 수 있으며, 기술은 가뭄저항성 품종이나 내성 축종, 새로운 완효성비료 개발과 같은 신물질의 개발을 의미한다고 볼 수 있다.

2.2.1. 기술

2.2.1.1. 신품종, 신작물 및 적응력이 우수한 축종 도입

지역에 따라 기후변화에 민감한 작물종이 존재한다. 예를 들어 옥수수 혹은 콩>카사바>가축의 순으로 기후변화에 민감하며, 가축은 기후충격에 견딜 수 있는 중요한 자산으로 평가되고 있다. 내재해성 작물종이나 저항성 축종 모두 극한 기상조건에서도 생산성을 유지할 수 있는 가장 좋은 수단의 하나임이 분명하다. 지금까지 농업의 발전은 무엇보다도 가장 생산성이 우수한 작물이나 축종을 선발하고 개량하기 위한 노력을 계속해 왔으며, 앞으로도 이에 대한 투자가 계속 이루어질 것이다. 그러나 앞으로의 연구는 기후변동성이 큰 상황에서도 기후리스크를 줄이기 위하여 종다양성을 높이는 방식으로 전개될 것으로 예상되고 있다. 기후변화농업식량안보팀(CCAFS)¹⁾ 2017)는 기후스마트마을 개발의 선택수단으로 종자/축종-스마트란 범주에서 다루고 있다.

1) 국제농업연구자문그룹(CGIAR)의 '기후변화, 농업 및 식량안보팀(CGIAR Research Program on Climate Change, Agriculture, and Food Security).

2.2.1.2. 맞춤형 비료/완효성 비료의 개발

맞춤형 비료나 완효성 비료의 개발은 재배지역의 토양의 특성에 맞고, 환경오염을 최소화하고, 그 이용효율을 높이려는 목적에서 개발되었으나, 화학비료는 제조과정에서 투입되는 에너지 즉 간접적으로 에너지가 소비된다. 따라서 화학비료의 사용이 증가하면 에너지 사용량이 증가하고 이는 온실가스배출을 증가시키는 것이 된다. 이러한 측면에서 맞춤형 비료나 완효성 비료의 개발은 비료사용량을 줄임으로써 온실가스배출을 감소하는 것이 되는 것이다. 기후변화농업식량안보팀(CCAFS 2017)는 기후스마트마을 개발의 선택수단으로 탄소/양분-스마트란 범주에서 이 문제를 다루고 있다.

2.2.1.3. 신재생에너지 개발

대부분의 선진국에서는 미래의 에너지 부족에 대응하고 온실가스배출량을 감축하기 위하여 신재생에너지의 개발에 많은 투자를 하고 있다. 그러나 아프리카의 많은 저개발국가에서와 같이 전기 공급 인프라가 열악한 지역에서는 태양에너지를 이용하는 양수기(solar pump)를 개발하는 것도 단일기술로서 실질적으로 가뭄에 대비하는 데 많은 도움이 될 것이다.

2.2.2. 영농관리방법

2.2.2.1. 토양관리

토양의 건강성을 유지·개선하는 것은 지속적이고 생산성이 높은 농업을 위한 필수적인 사항이다. 건강한 토양을 유지하기 위한 토양관리방법은 오래전부터 연구되어 왔다. 무엇보다도 토양침식과 토사유실을 방지하기 위하여 경사지에는 계단식(terrace) 논이나 밭을 조성하고, 등고선을 따라 경운하며, 농경지를 작물수확 후 식물잔사로 표토를 피복하거나 비경작기간 동안 나지상태로 유실에 취약한 조건을 피하기 위하여 피복식물을 심거나 경지와 수로차이의 공간에 초생대(buffer strip by vegetation)를 조성하고, 배수로에 돌망태를 설치하는 등의 방안이 권장되고 있다. 특히 토양교란을 최소화하기 위하여 무경운(no-tillage)이나 최소경운(minimum tillage)을 하도록 권고하고 있다. 20년간 경운하지 않은 농경지에서 토양의 입단화가 촉진되고 미생물 바이오매스(biomass)량이 증가하는 것으로 알려져 있다. 이러한 토양보전기술들은 토양유실을 줄이고, 빗물 유거량(run-off)을 최소화할 뿐만이 아니라 토양양분의 유출을 최소화하여 무기질 비료의 사용을 감축하게 함으로써 간접적으로 온실가스감축효과

를 가지게 되며, 화석에너지에 과도하게 의존하지 않는 농업을 구현할 수 있다. 토양 형태(soil type) 및 기후에 따라 최고한계에 근접한 토양탄소수준에서 유지되도록 하기 위해 토양에 의한 탄소격리효과를 최대한 확보하는 방안으로 적절한 유기물을 사용하도록 권고하고 있다. 기후스마트농업이 추구하는 3가지 목적을 달성하기 위한 실질적인 토양관리기술과 생산성, 기후변화 적응 및 완화 측면의 효과는 <표 1>과 같다.

표 1. 토양관리방식에 따른 생산성, 기후적응 및 완화 효과

영농관리기술	효과 혹은 영향
무경운, 최소경운	• 토양의 물 보유능 증가에 따른 장기적 생산성 향상 • 잡초 관리와 침수 잠재력의 관점에서 상충관계(trade-off) 존재 • 토양지력 및 물 보유능 향상에 의한 기후변화 적응력 향상 • 토양탄소 손실 감소에 의한 높은 온실가스 감축잠재력
계단식 경작, 등고선 재배	• 토양수분 증가 및 침식 감소에 따른 높은 생산성 유지 • 토양의 질과 빗물관리 향상에 따른 생산성 변동폭 감소 • 등고선 재배에 따른 토양유실 및 토양탄소 손실 감축효과
돌망태 설치(netting) 및 소형 용덩이 조성	• 빗물 유출 및 토양침식 감소에 따른 생산성 유지 • 빗물관리 개선 및 토양침식에 의한 인접 경작지에서의 높은 생산성 유지
피복재배 및 초생대 조성	• 토양 물 보유능 증가, 물유출 및 토양침식 감소에 따른 생산성 향상 • 물 보유능 증가 및 토양침식 감소에 따른 건조조건에서도 안정적 생산 유지 • 긍정적 온실가스 감축효과
작물잔사 토양피복	• 토양지력 및 물 보유능 증가에 따른 높은 생산성 유지 • 토양지력과 물 보유능 증가에 따른 기후변화 적응력 증가 • 가축사료와의 경쟁(상충)관계 성립 • 토양탄소격리에 따른 높은 온실가스 감축 잠재력

자료: 저자 작성.

2.2.2.2. 작물관리

작물생산은 아주 다양한 영농시스템에서 이루어진다. 영농시스템은 사회경제적 여건, 토양 및 기후적 요인에 의해서 달라진다. 생산성을 유지하고 기상재해로 인한 농사 실패 확률을 줄이기 위해 일반적으로 재배시기 및 재식밀도의 조절, 육묘를 이용한 파종, 이식방법의 변경, 노지재배에서 멀칭(mulching) 재배법의 도입, 비닐하우스나 유리온실(축성, 반축성)의 이용 등 다양한 방식으로 재배양식을 바꾸는 방안이 이용되고 있다. 이외에도 재배환경관리에 스마트팜(smart farm)과 같은 최첨단 관리기법을 도입함으로써 에너지나 물, 비료 등 투입재의 이용효율을 증대할 수 있으며, 안정적

인 수확을 위해 품종의 선택을 달리하거나 시비량이나 시비시기 조절, 생장조절제의 사용 등을 통하여 개화 혹은 수확시기를 조절할 수 있고, 작물체를 관리하는 방법으로 가지치기, 솎아내기, 접목 등을 통해서 생산성 향상을 도모할 수 있다. 그러나 이러한 관리방법들이 어느 정도 온실가스감축 효과를 가지는가에 대해서는 아직 연구자료가 충분하지 않다. 작물관리에 초점을 맞춘 주요 기후스마트 영농기술의 생산성과 기후변화 적응 측면에서의 효과는 <표 2>와 같다.

표 2. 작물관리방식에 따른 생산성, 기후적응 및 완화 효과

영농관리기술	효과 혹은 영향
재배시기, 밀도 조절	• 농사 실패 가능성 감축 • 강우패턴 변화(강우시기, 이상강우) 혹은 가뭄조건 속에서 생산성 유지
육묘 재배 (재배양식 선택)	• 생산성 향상
노지피복(멀칭) 재배	• 비생물적 스트레스에 의한 안정된 수량
보호생산시설(시설하우스, 그물집(net house) 이용	• 적은 면적당 높은 수량 • 생물적/무생물적 스트레스에 대한 농약사용 감소 • 기후변동성에 대한 적응력 향상
온실 재배환경관리	• 온도, 빛, 습도 등 조절에 의한 수량 증가
접목기술 혹은 생장조절제 사용	• 비생물적 스트레스에 의한 안정된 수량 • 비생물적 스트레스에 대한 내성 증가

자료: 저자 작성.

2.2.2.3. 물관리

물에 절대적으로 의존하는 농업에서 지속적인 생산을 위해서는 효율적인 물 관리는 필수적이다. 특히 물 부족에 대비하기 위한 선제적인 조치는 매우 중요하다.

강우에 의존하는 영농시스템에서는 효율적인 물 관리는 빗물을 수확할 수 있는 소규모 물웅덩이를 조성하거나 지하병커를 구축하는 등 빗물 활용시설을 설치하는 방안이 있다. 빗물 보유 능력을 향상시키기 위해서는 토양관리와 함께 토양지력과 작물관리방법의 개선을 통하여 작물생장과 수량 증대를 도모하여 물 이용효율을 향상할 수 있다. 관개농업시스템에서는 수원으로부터 물을 공급하는 과정에서 관수시기, 관수량 조절, 점적 관개시설 도입 등 관개 방법을 개선함으로써 물 이용효율을 개선할 수 있으며, 특히 동아시아 등 벼 재배지역을 중심으로 벼 건습교대농법(alternative drying and wetting)에 대한 연구가 많이 이루어지고 있다. 한편 가뭄 시에는 작물에 보조

적인 관개를 통해서 관개과정에서는 생육단계별 개선된 물 관리방법을 적용하여 물 이용효율을 높을 수 있다. 지역차원에서는 물의 효율적인 이용을 위해서는 수자원의 공동관리가 필요하다.

표 3. 물관리방식에 따른 생산성, 기후적응 및 완화 효과

영농관리기술	효과 혹은 영향
벼 건습교대농법 혹은 간단관개	• 논 메탄가스발생 억제
관개 및 빗물 회수	• 높은 수확 및 경지이용률 상승 • 생산 변동성 감축과 기후적응력 향상 • 관개형태가 에너지 집약적인지 아닌지에 따른 감축잠재력 변화
우회배수 도랑 설치 등 배수구조 개선	• 침수가 문제가 되는 지역에서 경작지의 배수에 의한 수량 증가 • 물 관리 향상에 따른 집중강우조건에서 수량 변동성 감소 • 생산성 향상 및 토양탄소 증가에 따른 긍정적 감축효과
묘상, 이랑, 고랑, 둑, 제방 조성	• 침수 영향 감소 혹은 토양수분 증가에 따른 수량 증가 • 건조지역 혹은 집중강우에서 수량 변동성 감소 • 긍정적 감축효과
레이저를 이용한 균평작업	• 생산성 변동 감소 혹은 균일한 토양수분 공급에 따른 수량 증가 • 정밀한 시비, 물 관리에 따른 자원이용 효율 증가

자료: 저자 작성.

- 벼 건습교대농법 : 이 농법은 벼논을 건조와 관수를 반복하는 물관리방법으로 물 절약과 함께 온실가스발생 잠재력을 감소시키면서도 수량성을 유지할 수 있는 기술로서 순소득을 증가시키는 효과가 있다(Meryl and Sander 2014).

2.2.2.4. 가축사양관리

인구증가와 더불어 소득이 늘어나고 소비패턴이 변화함에 따라 개도국에서 육류소비가 증가할 것으로 예상된다. 그러나 기후변화는 가축생산에 크게 영향을 미칠 것으로 추정된다. 사료작물의 양과 질의 실질적인 감소와 더불어 어떤 지역에서는 가축에 대한 폭염스트레스가 예상된다. 또한 기후패턴의 변화와 이상기후에 의해 가축 질병 매개체의 확산과 새로운 질병의 출현에 의해 가축생산이 영향을 받을 것이다. 그러나 축산부문에서는 생산성 증가, 기후변화 적응 및 완화에서 기회가 확대될 것으로 기대된다. 축산분야에서 기후스마트 관리방식과 생산성, 기후변화 적응과 완화측면에서의 효과는 <표 4>와 같다.

표 4. 가축관리방식에 따른 생산성, 기후적응 및 완화 효과

영농관리기술	효과 혹은 영향
방목관리 개선	• 토양탄소격리 증가
개량목초지와 혼농임업 초종 개선	• 가축생산성 향상
먹이 조절 및 사료 보조제 공급	• 가축생산성 향상 • 단위생산량 당 온실가스 배출량 저감
백신 접종 및 저항성 축종 도입	• 가축 피해 예방 및 생산성 향상
방목 규모 조정 및 연령구조 개선	• 가축 생산성 향상 • 온실가스 배출 감축
사육환경 개선(냉난방)	• 가축생산성 향상 • 에너지 사용에 따른 온실가스 배출과의 상충관계 존재
가축분뇨 관리(토양사용 방법 및 시기 조절)	• 식량과 조사료의 생산성 향상 • 온실가스(아산화질소) 발생 경감
경종-축산 혼합시스템에서 저항성 종의 도입	• 기후리스크 경감
사료첨가제 개발	• 가축생산성 향상 • 반추가축에 의한 온실가스(메탄) 방출 감축

자료: 저자 작성.

2.2.2.5. 경지이용방식의 변경

경지이용 방식에 따라 농업생산, 기후변화 적응력 및 완화 잠재력은 크게 달라진다. 전통적으로 지속가능한 생산을 위해 토양지력을 유지하고 토양유실을 방지하기 위한 노력으로써 윤작(輪作, rotation)이나 간작(間作, inter-cropping) 혹은 휴한(休閑)이 이루어져 왔다. 기후변화 속에서 다양한 생태계서비스를 유지·개선하기 위한 목적으로 이러한 경지이용 방식을 고려할 때 경지가 논, 밭, 과수원 혹은 목초지로 이용되거나 자연 상태인 자연방목지나 숲으로 유지되느냐에 따라 기후변화 적응력, 기후변화 완화효과 및 생태계서비스의 공급이 크게 달라진다. 흔히 개도국의 영세농 생산시스템에서는 농장과 숲은 농촌의 일부로서 농촌마을의 생계를 책임지고 있다. 숲이 가져다주는 생태계서비스를 유지하기 위한 숲의 적응력을 높이고, 삼림벌채, 황폐화, 삼림피복에 의한 온실가스 발생을 감축하기 위해서는 좀 더 큰 차원 즉 경관적 관점에서 기후스마트농업이 이루어져야 한다고 말하고 있다. 최근 시스템적 혹은 경관차원의 접근방식으로 혼농임업(agro-forestry)에 대한 관심이 크게 증가하고 있는데, 혼농임업은 간작의 한 형태로 나무 혹은 영년생 과수(permanent fruit)를 심은 곳에 초본성의 1년생 혹은 다년생의 작물을 혼작하는 경지이용방식이다. 혼농임업시스템은 작물생산과 숲의 적절한 유지관리를 통한 시너지효과 극대화 방식으로 기후변화에 적응 및 토양탄소 저장에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 밝혀지고 있다. 경지이용 방식의 변경과 관련된 대표적인 영농관리기술과 생산성, 기후변화 적응과 완화측면에서의 효과는 <표 5>와 같다.

- 작물-가축-임업 통합시스템: 2015년 국제농업온실가스연구연맹(GRA)의 농경지분과회의와 함께 개최된 ‘통합적 작물-가축-임업 생산시스템에 관한 세계회의’에서 발표된 것으로 브라질에서 연구한 결과에 의하면 작물-가축-임업 통합시스템이 생산량 증가와 함께 토양탄소의 축적을 가져오며, 과도한 경운 및 과도한 비료를 사용하는 관행농업에 비해 온실가스 감축효과가 뚜렷하다고 하였다(박성진 2015).

표 5. 경지이용방식에 따른 생산성, 기후적응 및 완화 효과

영농관리기술	효과 혹은 영향
혼농임업 (일종의 간작)	• 생산량 증가 • 토양탄소의 축적 • 과도한 경운 및 과도한 비료를 사용하는 관행농업에 비해 온실가스 감축효과
작물-가축-임업 통합시스템	• 생산량 증가 • 토양탄소의 축적 증가
작물/휴한 윤작체계 개선 (콩과작물과의 윤작)	• 재배밀도 감소에 의한 단기적 수량 감소 • 토양질소고정에 의한 중장기적 토양지력 및 수량 향상 • 토양지력 향상 및 물 보유능 향상에 의한 기후변화 적응력 향상 • 특히 콩과작물의 윤작시 높은 감축잠재력
다중 작부체계 개선	• 병해충잡초 발생 및 수인성 병원체 전이 억제능력 증가 • 기후변동성과 극한 기상의 영향으로부터 작물생산성을 완충하기 위한 선제적(proactive) 접근방식 • 탄소격리 향상

자료: 저자 작성.

2.2.2.6. 에너지 및 자원 관리

농업생산시스템의 모든 과정에서 에너지는 결정적인 역할은 한다. 비료, 농약과 같은 투입재의 생산 이전단계에서부터 작물, 가축, 임산물의 생산, 생산 이후나 수확후 작업, 식품저장 및 가공, 나아가 식품 수송 및 분배, 음식 준비에 이르기까지 모든 과정은 에너지와 관련되어 있다. 농업생산 및 소비 시스템에서 에너지는 두 가지 형태로 소비되는데, 즉 직접에너지와 간접에너지로 소비된다. 직접에너지는 전기, 기계동력, 연료 등으로 소비되는 에너지이고, 간접에너지는 농기계, 농기구, 비료와 농약 등을 제조할 때 소비되는 에너지이다. 증가하는 인구를 부양하기 위한 농업생산 증가는 에너지사용량의 증가를 수반하게 된다. 에너지 사용의 증가는 경지이용변화 및 온실가스배출 증가를 통하여 환경에 부정적인 영향을 미친다. 가축분뇨나 바이오매스와 같은 에너지 자원의 효율적인 관리와 지속가능한 재생에너지의 사용을 통한 에너지원의 다양화는 화석연료의 의존을 낮출 것이다. 따라서 에너지 관리는 에너지 이용

효율성을 높이며, 재생가능한 에너지를 자체에서 생산하고, 에너지에 대한 접근성을 넓히는 것을 목적으로 하고 있다(FAO 2013).

표 6. 에너지/자원 관리방식에 따른 생산성, 기후적응 및 완화 효과

영농관리기술	효과 혹은 영향
비료와 가축분뇨의 적정 관리	• 비료와 가축분뇨의 적정사용에 따른 높은 생산성 유지 • 가축분뇨 사용 시기조절에 따른 온실가스(N_2O) 배출 감소 • 높은 온실가스 감축잠재력(특히 화학비료가 과다하게 사용되는 곳에서)
바이오에너지 생산 (가축분뇨/바이오매스 이용)	• 자원부족과 구입비 상승 우려에 대비한 기후변화 적응력 향상 • 화학연료의 사용 감소로 인한 온실가스배출 감축효과
고체연료로서 바이오매스의 이용	• 자원부족과 구입비 상승 우려에 대비한 기후변화 적응력 향상 • 화학연료의 사용 감소로 인한 온실가스배출 감축효과
비료, 농약의 효율적 사용	• 간접에너지 사용 감소로 인한 온실가스배출 감축효과

자료: 저자 작성.

<박스 1> 지역특이적 양분관리법(SSNM; Site-Specific Nutrient Management)

SSNM은 비료 시비추천은 흔히 넓은 지역에 걸쳐 작물의 시비반응에 기초하는데, 지금까지는 농가포장이 토양지력이나 양분에 대한 작물의 반응에 있어서 큰 차이가 있음에도 불구하고 일괄적으로 시비를 추천하는 방식을 취해 왔다. 그러나 이러한 방식의 시비추천은 어떤 지역에서는 과잉으로 어떤 지역에서는 과부족으로 양분의 불균형을 초래하게 되었다. 이러한 지침에 대한 대안으로서 SSNM은 이른바 ‘4Rs’이라고 하는 4가지의 핵심적인 원칙을 통해 시공간적으로 작물의 양분요구량에 맞추어 양분공급을 최적화하는 방식이다. ‘4Rs’은 적당한 비료(right product)를, 적당한 비율(right rate)로 적당한 시기(right time)에, 적당한 곳(right place)에 시비한다는 개념이다. 적당한 비료는 상업적으로 시판되는 비료에 더해서 가축분뇨, 퇴비 및 식물잔사를 포함하며, 이는 양분균형을 이루며, 토양특성에 부합한다는 의미를 담고 있으며, 적당한 사용량은 토양검정을 통해 사용량을 정하고 작물체 수확량에 맞추어 양분균형을 맞춘다는 개념이다. 이는 모든 원료로부터 오는 양분공급량과 식물체의 양분요구량의 평가에 기초해야 한다. 적절한 시용시기는 작물을 심기 전후, 개화기 혹은 성숙기에 달리 시용하는 것을 의미하며, 작물에 의한 양분흡수와 토양의 양분 공급의 동적인 변화에 기초해서 시비가 결정된다. 적당한 시비위치의 개념은 비료를 포장 전체에 흩어 뿌리는 방식을 택

할 것인지 아니면 골뿌림이나 줄뿌림 혹은 관주하는 방식을 선택할 것인지를 결정하는 것인데, 작물의 뿌리 발달 체계, 포장의 공간적 변이 정도에 따라 그 선택이 달라진다. ‘4Rs’ 양분관리법을 실행하기 위한 수단으로는 양분상태진단을 위한 센서, SSNM 양분관리 소프트웨어로서 ‘양분전문가(Nutrient Expert®)’와 ‘컴퓨터 및 휴대폰용 앱(Crop Manager)’ 등이 필요하다고 하였다.

2.3. 시너지효과와 상충관계

단수의 증가를 위한 영농기술의 사용은 바이오매스 축적 메커니즘을 통하여 토양 탄소 격리량을 증가시킬 수 있으나, 한편으로는 농자재의 사용 증가로 인한 간접적인 온실가스배출 증가를 가져올 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 기술 인벤토리의 구축이 효과적이나 현재로서는 보다 많은 자료의 축적이 필요하며, 전문가와의 협력을 통하여 시너지 효과와 상충관계에 대한 분석에 더 많은 노력이 필요하다. 예를 들어 온실가스를 감축하고 오히려 토양에 탄소를 축적하는 효과가 있는 무경운농법의 경우, 기상재해에 노출되어 있고, 관리기술이 잘 습득되어 있지 않으면 생산성을 낮출 수 있다. 온실재배의 경우, 노지재배보다 농약사용은 줄일 수 있고, 기상재해로부터 비교적 안전하게 생산할 수 있으나, 겨울이나 여름에 가온이나 냉각 에너지를 소모한다는 점에서 두 가지 목적과 나머지 온실가스 감축 목표와는 대립적인 관계라고 볼 수 있다. 이와 같이 기후스마트농업이 추구하는 3가지 목적을 달성하기 위해서는 우선 기존에 개발된 기술이나 영농관리방식이 어떠한 효과를 가지는지를 평가할 필요가 있다. 즉 일차적으로는 친환경농업기술, 토양보전농법, 유기농업기술, 지속가능농업기술, 최적관리기술, 종합적 병해충관리 기술, 종합적 영양관리 기술, 온실가스감축 기술, 생태농업, 자원순환형 농법 등에 대한 기술인벤토리를 구축하고, 이차적으로는 이들이 기후변화 적응 및 완화 효과와 더불어 환경적 생태적 성과를 포함한 생태계서비스에 대한 평가체계를 구축하는 것이 필요하다.

2.4. 규모의 문제와 시스템적 접근방식

어떤 지역의 토양, 지형, 기후 특성에 맞고 식량안보를 포함한 다양한 생태계서비스를 유지 개선할 수 있도록 하기 위해서는 종합적 기술체계를 조합하여 사용할 경우, 이 기술체계가 하나의 필지단위 혹은 농장단위 보다도 더 큰 ‘경관’ 수준으로 확장되어 사용

될 수 있도록 발전시킬 필요가 있다. 이는 필지 혹은 농장 단위에서 사용하는 비교적 단순한 기술체계에서 일어날 수 있는 상충성 문제를 해결하고, 시너지 효과를 극대화하기 위한 전략으로 지속가능한 작물생산체계를 갖춘다는 의미에서 중요하다(FAO 2013).

기후변화 적응과 완화를 포함한 생태계의 건강과 복원성 및 공간규모별 기후스마트 농업을 구현하기 위해서는 단순한 가뭄저항성 품종이나 정밀농업과 같은 새로운 기술이나 영농관리기술을 넘어선 새로운 접근방식이 필요한데, 통합적인 경관 구상에 대한 경험과 기후변화와 농업과의 연관성으로 보아 ‘기후스마트경관개념의 접근방식’이 제안되고 있다. ‘기후스마트 경관개념’은 통합적 경관관리에 기초한 기후변화 대응 방식이라고 볼 수 있는데, 특징은 필지수준 및 농장 수준에서 실현되는 기후스마트 영농방식이지만, 경관에 걸쳐 다양한 경지이용을 통하여 기후 적응력(resilience; 복원력)을 갖도록 하며, 경관수준에서 경지이용의 관리를 통하여 사회경제적 및 생태적 효과를 달성하게 되는 특징을 가지게 된다.

경관적 접근방식, 생태계 접근방식, 가치사슬접근방식(value-chain approach) 과 같은 시스템적 접근방식이 필요한 이유는 3가지 목적을 달성하기 위해서이다. 3가지 목적의 시너지효과, 상충관계를 분석하고, 비용편익분석을 수행함으로써 어떠한 행동이 바람직한 성과를 가장 효율적으로 달성하는 지를 결정할 수 있게 된다. 생산성 측면에서는 경관수준의 접근방식은 필지수준보다 생산성을 증가시킬 수 있는데, 이는 해충 천적, 유용 곤충, 화분매개의 안정화, 물의 공급 타이밍과 흐름 개선을 개선하며, 동시에 혼합경작, 가축생산, 혼농임업/임업시스템은 보완적이며 상호 유용성이 있다. 적응측면에서는 경관규모에 걸쳐 경지이용의 다양성, 종 이용의 다양성, 유전적 다양성, 다양화된 식품과 수입원 역시 이해관계에 대한 선택상에 근거한다. 완화측면에서는 보다 넓은 경관규모의 접근방식에 포함되어 있는 영년생 작물(permanent fruit), 초지, 숲 및 습지에 대한 관심으로 보다 다양화된 시스템은 온실가스 감축 및 탄소격리에 효과적인 수단이 된다. 시스템적(경관학적) 접근방식의 사례연구는 FAO(2013)에 의해 이루어졌는데, 그 한 예로서 기후스마트농업시스템을 위한 경관관리에 대한 연구결과에 따르면, 자원의 상태나 본질, 경지이용의 역동성 및 사회경제적 상황에 따라 다른 접근방식이 필요하다고 말하고 있다. 실제로 ‘기후스마트 경관’을 구현하기 위해서는 여러 제도적인 메커니즘이 필요하다. 즉 기후스마트농업의 목적을 달성하기 위해서는 다수의 이해당사자를 위한 계획이 필요하며, 도와주는 경관 거버넌스

2) 여기서 ‘경관’이란 FAO(2013)에 따르면 필수적인 생태계서비스를 제공할 수 있을 정도로 크나, 이러한 서비스를 생산하는 경지가 사람에 의해서 관리될 수 있을 정도로 작은 규모의 공간을 의미함.

(governance)와 자원에 대한 권리연한(tenure)의 확보, 경관에 대한 공간적 목표에 대한 투자가 필요하고, 규모에 따라 사회적 및 기후적인 측면에서의 목표에 부합하는 지를 판단하기 위한 조사가 필요하다.

2.5. 기술의 포트폴리오 구성

지역의 여건에 따라 지역에서 수용할 수 있고 통합적이며, 특히 여성농업인이 수용할 수 있도록 하는 기후스마트농업기술의 포트폴리오를 구성하는 것이 중요하다. 이러한 지역의 실정에 맞는 기술 포트폴리오를 구성하기 위해서는 각각의 영농관리방법이나 기술에 대한 성과평가가 선행되어야 하는데, 특히 생산성, 적응력, 기후완화 측면에서 성과에 대한 설명이 필요하다. 그리고 영농관리기술을 투입하는 과정에서 투입되는 여러 영농관리기술 사이에 필연적 혹은 바람직한 측면에서 연계성(nexus)이 있을 수 있다. 또한 현재와 미래의 기후위험도를 파악하여 위험도와 취약성을 지도화할 필요가 있을 것이다. 혁신적인 적응전략으로서 옥수수-두류-가축과 같은 영세농 체계에 맞는 기후스마트농업의 포트폴리오를 구성하고 이를 평가하는 데 있어서 특히 여성농업인에 맞는 참여방식에 대한 평가가 이루어질 수 있도록 가이드라인을 제시할 필요가 있다. 또한 규모(필지단위, 농장단위 및 경관단위)의 평가와 다른 기후스마트농업기술의 포트폴리오의 영향 즉 생산성, 생계, 여성농업인, 형평성, 환경에 미치는 영향의 본질로서 상충관계와 기술이 가지는 한계를 규명할 필요가 있다. 소통신략과 수단의 공동 개발 및 기후스마트농업기술을 규모화하여 폭넓은 사용에 적용하는 것이 좋을 것이다. 무엇보다도 필지단위, 농장단위, 경관단위에서 최적화 모델을 개발할 필요가 있는데, 특히 자연자원의 관리는 경관단위에서 고려되어 할 것이다.

3. 기후스마트농업기술 연장구연을 위한 여건조성

기후스마트농업을 구현하기 위한 조치들로 정책이나 제도, 재정, 이해당사자의 참여를 위한 거버넌스 구축, 여성농업인에 대한 배려, 인프라 구축, 보험제도, 기상기후 정보에 대한 접근성 향상 및 자문서비스, 역량 향상을 위한 교육·홍보 등을 말한다. 이러한 실행여건은 법과 규제 혹은 유인책을 제공하며, 기후스마트농업체제로의 전환이 효과적이고 지속가능한 방식으로 나아가도록 도울 것이다. 또한 제도적으로 역량을 배양하는 것을 보장하며, 새로운 기술이나 영농방식을 도입하는 데 투자리스크

를 감소시켜 줄 것이다. 특히 이러한 실행여건 조성은 경관적 접근방식과 같이 대규모로 기후스마트농업을 구현하는 데 효과적이라고 평가되고 있다.

3.1. 기후정보서비스

지구온난화에 따른 기후변동성의 확대 및 기상이변의 빈도가 증가할 것으로 예측되는 상황에서 앞으로 더욱 기후위험에 노출가능성이 크다. 따라서 과거, 현재, 미래의 날씨와 기후정보에 대한 시의적절한 접근성의 확대는 기후취약성을 감소시키는 데 큰 역할을 할 것으로 기대된다.

- 기후마법사: CCAFS는 기후스마트 실행수단으로 ‘기후마법사(Climate wizard)’을 운영하고 있는데, 과거, 현재 및 최근의 예측 정보를 제공하고 있다.
- 기후스마트 안내서: CCAFS는 농업에서 기후변화 완화와 적응체계를 구축하는데 유용한 수단으로 CCAFS는 ‘기후스마트농업 101’이라는 별도의 웹사이트(<https://csa.guide/>)를 통해서 기후스마트농업을 실행하기 위한 행동지침을 제시하고 있는데, 이 웹사이트는 6개 부문 즉 ① 기초지식 ② 진입점 ③ 기후스마트농업 기획 ④ 재정 ⑤ 자원 라이브러리 ⑥ 사례연구 등으로 구성되어 있다. 진입지점에서는 기후스마트농업 프로그램을 시작하기 위한 영농관리기술과 시스템적 접근 방식 및 이를 가능케 하는 여건들이 소개되어 있다.
- 농업기후예측 및 자문서비스: CCAFS는 콜롬비아에서 농민의 기후변화 적응력을 강화하기 위하여 국제열대농업연구센터(CIAT), 농업부, 국가농업연구소, 생산자단체 및 비정부기구(NGO)로 구성된 연합기구와 협력하여 농업기후예보와 자문을 수행하기 위한 연구를 진행하고 있는데, 지역농민의 요구와 지역의 특이적인 상황에 맞는 농업기후예보와 관리방안에 대한 자문을 제공하고 있다. 그 결과, 옥수수, 벼, 두류, 카사바의 품종이 선별되어 가뭄과 과습조건에 대한 내성평가가 이루어졌으며, 탄소 및 물 발자국에 의한 평가를 수행함으로써 벼를 심지 않기로 하여 보다 기후스마트(climate-smart)한 관리가 이루어졌다고 한다(Cariboni D. 2014).
- 조기경보시스템: 지리정보시스템(GIS), 정보통신기술(ICT) 및 원격탐사(remote sensing) 기술 이용하여 극한 기상에 적응하기 위한 선제적 준비함으로써 농사 실패 가능성의 감소에 따른 안정적 수량을 확보함으로써 식량안보에 기여할 수 있다.

3.2. 제도 및 정책

3.2.1. 연구와 기술 투자

유엔식량농업기구나 세계은행 등 국제기구 및 국제농업연구자문그룹(CGIAR) 등의 국제연구기관들은 지구차원의 식량안보 및 농업문제, 그리고 가난한 국가의 국민이나 농민의 생계 문제를 해결하고자 농업연구 및 농업개발에 많은 투자를 해오고 있다. 물론 각국 나라에서도 농업기술 개발을 위한 연구에 많은 투자를 하고 있다. 기후스마트농업에 대한 투자를 어느 정도하고 있는지는 정확히 파악하기 어렵지만, 지구온난화 및 그에 따른 기후변동성으로 인하여 오는 농업생산에 미치는 부정적인 영향을 최소화하고 농업 자체가 야기하는 온실가스배출을 줄이기 위한 노력으로서 기술개발은 지속적으로 이루어질 것이다. 특히 지역의 실정에 맞는 기술을 개발하고 이를 바탕으로 영농현장에 적용하기 위한 정책적, 제도적, 사회경제적 여건을 조성하기 위한 방안에 관한 연구 또한 필요할 것이다. 국제적으로나 국내적으로나 기술이전과 확산을 위한 기술 및 정보교류를 위한 틀을 마련하는 것도 지구차원의 기후변화 관련 농업문제를 해결하는 중요한 방식임이 분명하다. FAO가 후원하고 있는 GACSA³⁾은 국제적으로 기후스마트농업기술을 논의하고 정보를 교류하는 장으로서 중요한 의의를 가진다고 생각된다.

3.2.2. 정책

기후스마트농업 실행 여건조성에는 인프라 구축이 절대로 중요한 데, 저수시설 확충 및 관개시설 정비 등을 위한 정부차원의 투자가 요구된다. 시설재배나 가축사육시설에서 냉난방에너지를 줄이기 위한 노력으로서 지열을 이용하고, 가축분뇨를 활용한 신재생에너지의 생산을 독려하기 위해서도 정부의 개입을 필요로 한다. 기후스마트농업에 대한 정책적 개입은 인프라를 구축하는 외에도 정책을 안내하고, 공공보조와 같이 기후스마트농업을 채택에 걸림돌이 되는 것을 제거하며, 한편으로는 기후스마트농업의 채택에 대해 인센티브를 제공하는 정책으로의 재원을 할당하는 일이 될 것이다. 농촌신용프로그램, 투입재/산출재 가격표시정책, 보조금, 공공재 편익, 재산권, 연구와 기술보급을 위한 투자 지원, 사회안전망 프로그램과 같은 정책프로그램이나 수단을 이용하여 기후스마트농업시스템으로 전환 및 역량 배양을 위하여 농민을 포함한 활동가들에게 인센티브를 제공하게 된다. 우리나라의 경우와 같이 온실가스

3) 국제기후스마트농업연맹(Global Alliance for Climate-Smart Agriculture).

감축을 위한 정책으로 저탄소농축산물 인증제, 탄소상쇄제도, 온실가스목표 관리제 등도 기후스마트농업 활동을 하는 농민들을 위해 제공하는 인센티브 정책이 될 것이다. 무엇보다도 효과적인 정책개발을 위해서는 힘의 구조와 정책결정과정 등에 대한 분명한 이해가 필요하며, 기후스마트농업정책을 위해서는 정책입안자가 필요로 하는 정보가 무엇인지를 아는 것이 중요하다.

3.2.3. 제도

제도는 농업개발 및 적응력이 높은 생계활동에 핵심요소이다. 농민과 의사결정권자를 위한 조직화된 힘이자 기후스마트농업기술을 확대하고 지속적으로 유지될 수 있도록 하는 주요 수단으로 인식되고 있다(FAO 2013). 기후스마트농업을 채택하도록 하기 위한 제도적인 틀은 규모관점에서 볼 때, 우선 지역수준에서는 마을이나 공동체 수준에서 농민 스스로 기후스마트농업을 확산하도록 하는 기 조직화된 단체들 사이에 연결고리를 갖도록 하는 것이 필요하고, 지방정부나 지방기관과 같은 중간수준에서는 국가로부터 재원조달에 대한 접근성을 높이는 문제나 위임사항을 확보하는 것과 같은 제도적인 역할을 강화할 필요가 있다. 국가수준에서는 전반적인 제도적인 틀을 개선하기 위한 노력이 필요하다. 기후스마트농업을 지원하기 위한 노력은 흔히 올바른 제도의 부재, 제도적 역량의 부족, 높은 수준에서의 조정 등에 있어서의 한계에 의해 제약을 받기 때문에 농민에게는 근본적으로 변화하기 위해서는 인센티브와 실행 가능한 여건조성이 필요하다. 이러한 일은 정책이나 제도적인 지원에 의해서 도움을 받게 되는데, 국가제도는 기술선택, 관리방법, 기후변동성, 가치사슬여건에 대한 정보를 생산하고 보급 확산하는 일을 담당해야 하며, 국가조직이 농민을 위한 사회안전망과 보험제도를 제공하는 데 중추적인 역할을 해야 하며, 제도적인 효율성을 개선하기 위한 수단들로 지식능력 배양, 제도적인 절차 강화, 기후변화와 기후스마트농업을 통합한 전략계획과 정책 수립 및 제도적인 분야 간 협력 강화, 탈집중화와 탈중심화를 위한 수단을 분석하는 일을 담당해야 한다. 다른 중요한 공식적인 제도는 지역적 또는 국가들 초월하는 제도를 포함한다. 비전통적인 활동가로는 시장과 보험이나 농업자문회사와 같은 민간영역의 활동가, 이권단체, 신뢰에 근거한 조직 등이 있다. 이러한 활동가들이 상호작용하고 기후스마트농업기술 채택에 영향을 주는 넥서스(nexus)는 그 자체로 제도라고 볼 수 있다.

- 농업보험 : 영세자영농이나 목축민은 기후 리스크(climate risk)때문에 새로운 영농 기술에 대한 투자를 주저하게 된다. 농업보험은 리스크 관리에 매력적인 수단이

나 개별 농가가 입은 피해를 직접 측정해야 하는데, 이는 비용과 시간이 많이 소요되므로 사후 보상까지 기다릴 정도로 경제적인 여유가 없기 때문에 한계가 있다. 그러나 지수에 기초한 보험은 이와는 달리 실현가능성이 높은 대안이 될 수 있는데, 이는 분명히 정의된 위험에 대한 보상을 결정하기 위해 강수량과 같은 날씨지수를 사용하기 때문이다(ACRE⁴⁾ 2014). 그 결과로 피해보상이 빨리 이루어질 수 있고, 행정비용이 적으며, 보험료도 일반적인 작물보험보다 낮기 때문이다. 동부아프리카에서 외진 곳에 떨어져 사는 유목민에 대해서 식생에 의한 토지피복에 대한 인공위성 영상을 이용하여 가축먹이의 가용성을 평가하는 혁신적인 농업보험(IBLI)⁵⁾이 시범적으로 시행되고 있다(Wandera and Mude 2013).

3.2.4. 사회통합과 여성 문제

기후스마트농업 접근방식에는 지역에 적합한 해법을 찾는 것이 핵심이다. 아직 무엇이 지역에 적합한 것인지를 파악하는 것은 다른 이해당사자들의 필요성, 우선순위 및 해결과제에 대한 이해를 필요로 한다. 성별 연관성, 지역적 규범, 사회노선을 넘어선 힘의 역동성에 의해 여성과 남성이 지식, 기술, 및 전망을 달리 가질 수 있다. 사람에 따라 기후스마트농업을 채택하는 것을 방해하거나 혹은 도울 수 있는 기회와 장애요인을 달리 가질 수 있다. 이해당사자들의 참여가 성별 간 차이와 기후스마트농업 프로젝트를 수행하는 데 있어 사회경제적 불평등을 이해하는 데 도움을 줄 수 있다. 여성은 세계 곳곳에서 자원과 정보에 대한 접근성, 의사결정과정과 이익 공유에서 불평등을 겪는다. 이는 농촌지역에서 남성이 증가함에 따라 특히 중요한 문제가 된다. 따라서 이러한 불평등이 해결되어야 기후스마트농업의 접근방식이 농가와 마을공동체가 적응력을 갖도록 하는데 기여할 수 있다. 성별간 사회적 불평등에 대한 고려 없이 실행된다면 기후스마트농업기술은 생계를 개선할 기회를 잃을 위험성이 있고, 실제로 이러한 불평등을 악화시킬 수 있다. 그러므로 여성에 맞는 사회적으로 허용되는 기후스마트농업을 계획하고 실행하는 데는 지식수준, 보는 관점, 니즈(needs), 다른 사회단체와 이해당사자들의 해결과제에서 차이를 인식할 필요가 있다.

4) ACRE(Agriculture and Climate Risk Enterprise)는 아프리카에서 농가가 보험료를 지불하는 가장 큰 지수보험 프로그램임.

5) IBLI(Index-Based Livestock Insurance)는 케냐 북부와 에티오피아 남부에 사는 유목민을 대상으로 한 지수형 가축보험으로 인공위성 영상판독에 의한 '정규식생지수(NDVI)'를 산출하여 이용함.

3.3. 기후스마트농업 실천계획 수립

기후스마트농업 계획수립에 대해서는 국제농업연구자문그룹(CGIAR)의 ‘기후변화, 농업 및 식량안보팀(CCAFS)이 제작한 “Climate-Smart Agriculture 101”에서 제시하고 있는 내용을 살펴보면, 여기에는 현황분석, 목표설정과 우선순위결정, 프로그램지원, 모니터링·평가·학습의 4단계의 과정을 통해서 이루어지는 데, 기후스마트 농업은 지역(배경)-특이적이어서 단순 기후스마트농업기술이 적용되는 곳은 없고, 다양한 접근방식에 의해 기후스마트농업이 성립될 수 있음을 지적하고 있다. 따라서 기후스마트농업 개입 방안을 설계할 때는 프로그램이 시행되는 지역적인 현실에 대한 철저한 이해를 필요로 한다. 새로운 활동을 도입하거나 기존의 농업프로그램을 재구성한다든지 현재의 프로젝트를 확대한다든지 할 경우에 기후스마트 프로그램을 구성할 때 맨 처음 단계는 현황분석이다. 현황분석은 다양한 주제를 다루게 되는 데, 일반적으로 기후변화영향·취약성 평가, 현재의 그리고 유망한 기후스마트농업기술과 서비스의 파악 및 평가, 제도적이고 정책적 진입지점(entry point)의 파악, 재정적인 진입지점에 대한 평가 등을 다루게 된다. 다음 단계로는 목표를 정하고 우선순위를 정하는 것인데, 가능한 기술과 서비스 정책들에 대한 광범위한 목록의 범위를 가장 확실한 수단으로 좁히는 과정으로 기후스마트농업 투자 포트폴리오를 파악하는 데 도움을 줌으로써 투자와 재정지원을 유도할 수 있다. 우선순위 선정 후 현장구현으로 나아가기 위해서는 잘 계획되고 잘 알려진 프로그램이 필요하다. 그러므로 기후스마트농업 계획의 3단계에서는 목적으로 하는 개입수단을 잘 알리고 훈련하고 현장에서 전개하기 위해서는 실행 가능한 재료와 계획에 초점을 맞춘다. 사례로서는 농민을 시장과 연결시키는 혁신적이고 모든 비용이 포함된 기후스마트 사업모델, 기술안내서 및 매뉴얼, 조기경보시스템의 개발, 재해경감을 위한 체크리스트, 날씨기반 지수보험 등이다. 계획수립의 마지막 단계로는 기후스마트농업의 모니터링·평가·학습단계로서 실행과정을 추적하고 영향을 평가하며 기후스마트농업 기획과 실행을 개선하기 위해 반복적인 학습을 돕기 위함이다.

4. 기후스마트농업기술 연장적용 사례

4.1. 국제농업연구자문그룹(CGIAR)의 ‘기후변화농업식량안보팀(CCAFS)’

CGIAR은 별도로 ‘기후변화, 농업 및 식량안보에 관한 연구프로젝트팀(CCAFS)’을 운영하고 있는데, 이 팀의 주력 연구는 대규모로 기후스마트농업으로 전환 시 야기되는 문제를 해결하는데 있다. 이들은 모든 계층의 참여자들과 협력하여 농민의 요구에 부합하는 영농기술이나 관리방법의 통합적인 포트폴리오를 검증하고 평가하며, 이를 독려하고 규모를 확대하는 방안을 마련하고자 하는 것이다. 또한 역량 배양, 기후변동성과 기후변화에 대한 적응력을 키우며, 식량가용성을 늘리고, 온실가스 감축·편익(동반편익)을 창출하고자 하는 데 있다. 따라서 최상의 가장 유망한 방법이나 수단, 지역적 적응계획 및 거버넌스를 위한 접근방법을 통합하고 적용하며, 또한 혁신적인 인센티브와 규모 확장을 위한 메커니즘을 개발하고자 하는 것이다(CCAFS 2017).

CCAFS는 현재 전개되고 있는 기후스마트농업의 규모별 편익에 대한 증거 부족을 지적하고 있다. 따라서 연구의 초점은 기존의 기후스마트농업기술 및 새로운 영농기술에 대해 생산성 증가와 식량안보 및 기후변화 적응과 완화 측면에서의 성과를 평가하는 데 있다. 실제로 기후스마트마을에서 일차적으로 실증연구를 통하여 이를 수행하고 있는데, 현재 연구 포트폴리오는 다른 농산물프로그램과 밀접한 협력 하에 이루어지고 있으며, 비용, 식량안보, 적응과 감축 측면에서 편익과 함께 기술채택의 일차적인 장벽을 파악하고자 기초자료를 수집하고 있다. 그들의 연구 활동을 살펴보면, ① 새로운 그리고 기존의 기후스마트농업 기술수단 및 여성에 맞는 농업적 수단의 평가 ② 새로운 포트폴리오를 구성하기 위한 영농기술 및 정보시스템의 공동개발 ③ 기후스마트농업 수단의 채택하는 데 장벽에 대한 이해 ④ 모델링 및 우선순위 설정 ⑤ 기후스마트농업의 편익에 대한 과학적 근거의 확보 등이다.

CCAFS의 주력사업인 ‘기후스마트마을’프로젝트는 2012년부터 기후스마트농업을 구현하기 위하여 마을을 조성하고자 작물, 가축, 물고기 및 혼농임업(agro-forestry) 및 자연자원 관리수단을 참여적인 방법으로 수행되고 있다. 이 프로젝트는 20개 국가에서 36개 마을을 대상으로 있는 데, CCAFS가 파트너들과 함께 기후스마트농업에 대한 투자와 기술채택을 확대하기 위한 플랫폼을 제공하게 될 것이라고 한다.

표 7. CGIAR의 CCAFS팀이 수행하고 있는 기후스마트농업 관련 프로젝트

지역	프로젝트명
서아프리카	• 적응력이 우수한 경종-임업-목축 시스템을 구축하기 위한 참여적인 현장 연구 • 통합적 물 저장 및 작물-가축 개입을 통한 기후스마트영농시스템의 구축 • 통합적 현장연구를 통한 기후스마트 농업모델의 개발
동아프리카	• 기후스마트 포트폴리오의 참여 방식의 평가 및 적용 • 기후스마트 마을 모형의 확대
라틴아메리카	• 기후스마트 마을의 개발
남아시아	• 기후스마트 영농기술의 개발 • 홍수 및 지하수 고갈의 동시적 관리를 위한 혁신적인 접근방법의 개발 • 참여방식의 기후스마트마을 모형에 대한 평가
동남아시아	• 적응력이 우수하고 회복력이 있는 마을에 대한 조사 연구 • 메콩강 지역에서 기후스마트마을에서의 새로운 접근방식에 대한 연구 • 동남아시아에서 기후스마트농업의 확대 방안에 관한 연구

자료: (<https://ccafs.cgiar.org/themes/improved=technologies-practices-and-portfolios-csa/>).

4.2. 세계은행(World Bank)

2011년 이후 세계은행은 기후스마트농업을 위하여 아프리카, 남미, 중국을 포함한 동남아시아 지역 등 세계 전역에 걸쳐 기후스마트농업 관련 프로젝트를 직접 지원하거나 혹은 차관형태로 지원하고 있다. 베트남 삼각주에 대한 대규모 프로젝트를 지원하는 것 외에도 케냐의 기후스마트농업 프로젝트(2017), 말라위의 가뭄 회복 및 적응 프로젝트(2017), 니제르의 기후스마트농업 지원 프로젝트(2016), 중국의 기후스마트 주곡작물 생산(2014), 중국의 통합적 현대농업개발 프로젝트(2013), 우루과이에 대한 자연자원과 기후변화의 지속가능한 관리(2011) 등의 프로젝트를 지원하고 있다.

〈박스 2〉 메콩강 삼각주의 통합적 기후적응성과 지속가능한 생계 양상 프로젝트

2016년 6월 세계은행의 집행위원회는 기후적응성을 키우고 메콩강 삼각주에 있는 9개의 군에 사는 120만 명의 지속가능한 생계를 보장하도록 하기 위하여 베트남에 3억 1천만 달러의 차관을 지원하는 것을 승인하였다. 이들은 기후변화와 염수 침입 및 연안침식 및 홍수에 의한 피해를 받는 주민들을 대상으로 하고 있다. 이 프로젝트의 목적은 대상으로 선정된 일부 지역에서 기후스마트 계획을 위한 수단을 개선하고 경지와 물 관리기술의 기후적응성을 향상시키는 일이다. 이 프로젝트는 5가지 항목으로 구성되어 있다. 첫 번째는 모니터링, 분석 및 정보시스템을 개선

함으로써 스마트한 투자한 수행하고 예상되는 큰 규모의 환경변화에 대응하기 위한 역량을 보장하기 위한 틀을 제공하는 것이다. 이 항목은 3가지 세부항목으로 구성되어 있다. 즉 메콩강 삼각주에서의 지식 기반을 개선하기 위한 모니터링 시스템, 의사결정 개선을 위한 인프라와 정보시스템, 기후적응성을 기획과정 속에 주류화하는 것이다. 두 번째 항목은 삼각주 상부에서 홍수를 관리하는 것으로 이는 해당 3개 군에서 농촌소득을 개선하고 고부가가치 자산을 보호하면서 홍수제어조치의 혜택을 보전하거나 재획득하는 것이다. 세 번째 항목은 삼각주 어귀에서 염류화에 적응하는 것으로 이는 염수의 침입, 연안침식, 지속가능한 양식업 및 3개 군의 연안 지역에 사는 마을들의 생계 개선에 관련된 문제들을 해결하는 일이다. 네 번째 항목은 삼각주에서 있는 연안지역을 보호하는 것으로 연안침식, 지하수 관리, 지속가능한 양식업, 3개 군의 연안에 사는 마을을 위한 생계 개선에 관련되어 있는 문제들을 해결하는 일이다. 다섯째 항목은 프로젝트 관리와 실행에 관한 것으로 농업농촌개발부, 자연자원환경부 등에 대해 프로젝트 관리 및 역량 구축을 지원하는 일을 담고 있다. (자료: <http://projects.worldbank.org/P153544?lang=en>)

4.3. 유엔식량농업기구(FAO)

FAO(2013)는 사례연구로서 ① 유목(케냐) ② 키함바(Kihamba) 혼농임업의 보전(킬리만자로) ③ 어업과 양식업에 대한 생태계 접근방식의 실행(니카라과) ④ 공공의 토지 이용권(tenure)을 통한 삼림자원 보전 및 생계 개선(과테말라) ⑤ 임지-농업 접점에서 생계 개선을 통한 산불 예방(시리아) ⑥ 이탄토 지역에서 생태계서비스 유지(루오에 루가이 평원) ⑦ 정책수립, 기획, 모니터링을 위한 영토규모에서 생태계서비스 평가(카제라 강 유역) ⑧ 수문학적 균형을 위한 기획 및 관리_열대 안데스지역의 역할(남아메리카 대륙)에 관한 프로젝트를 수행하였다. 이 프로젝트는 경관적 관점에서 이루어졌는데, 이 사례연구를 통하여 얻어진 결론은 다음과 같다.

- 지속가능한 개발을 위해서는 농업, 임업, 어업을 경관수준에서 관리해야 한다.
- 경관수준에서 적당한 경지이용계획을 수립하고 의사결정은 참여방식의 여론에 근거한 사람중심의 접근방식에 기초되어야 한다.
- 자연자원은 모든 분야에서 필요한 생태계서비스를 제공한다. 각 생산분야는 흔히 독립적으로 관리되므로 경관수준에서 조정은 생산시스템과 자연자원의 통합적

관리를 수월하게 하며, 경관학적 접근방식을 따르는 기후스마트농업은 분야간 자연자원 관리에 있어서 드러나는 문제점을 해결할 수 있도록 한다.

- 기후스마트경관의 다양한 편익에 대한 측정과 모니터링은 분야간 노력의 효과를 추적하는 데 필수적이다.
- 경관학적 접근방식을 적용함으로써 기후스마트농업을 확대할 수 있으며 시범사업 규모에서 보다 큰 규모의 정책프로그램이나 정책으로 전환하는 데는 다양한 전략과 영농관리기술을 필요로 한다.

4.4. 기타 국제기구의 활동

국제기후스마트농업연맹(GACSA)는 2014년 발족되어 2016년 9월 기준으로 국가단위 혹은 대학, 연구소 등 독립기관 등 총 154개의 멤버가 가입하여 활동하고 있는데, 우리나라는 국가차원에서 공식적으로 가입되어 있지 않다. 이는 독립적인 연맹기구로서 가입 멤버에 의해서 운영되는데 FAO가 운영을 지원하고 있다. GACSA는 기후스마트농업기술을 정리한 요약서(Practice Briefs)를 제작하였는데, 여기에서는 ① 지역특이적 양분관리, ② 종합적 토양지력관리 ③ 커피-바나나 간작(inter-cropping) ④ 여성에 맞는 기후스마트농업 접근방식 ⑤ 유용한 자원으로서 종합적 가축분뇨 관리 ⑥ 변화하는 기후 속에서 벼 집약농업의 재조명 ⑦ 되새김 가축의 개량 등에 관한 기후스마트농업기술을 소개하고 있다. 이 뿐만 아니라 GACSA는 17개의 국제기관과 30명 이상의 전문가들의 도움을 받아 ‘기술보급을 위한 기후스마트농업 개요서(Compendium on Climate-Smart Agriculture & Extension)’를 발간하였는데, 이 개요서에는 기후스마트농업의 확산을 지원하기 위하여 기존의 기술보급 수단들을 개관하고 있으며, ① 접근방식 ② 기술과 혁신 ③ 지식과 참여로 나누어 기후스마트농업의 확산을 위한 다양한 기술보급 방안을 소개하고 있다(Simone et al. 2016; GACSA 2016). 이외에도 국제미작연구소(IRRI)는 온실가스발생 감소와 물의 효율적 이용을 위한 기후스마트 물 관리 방법으로 ‘건습교대농법’을 개발하여 확산하려는 노력을 하고 있다.

5. 시사점

2010년 이후 지금까지 해외에서는 농업관련 국제기구나 연구기관에서는 기후스마트농업에 대한 논의가 활발히 이루어져왔으나, 우리나라에서는 지난해 한국농촌경제연구원이 기후스마트농업에 대한 국제심포지움을 개최함으로써 이에 대한 논의의 불

씨를 마련하였다. 그동안 우리나라에서 기후변화 문제에 관해서는 2008년 이후 거의 모든 분야에 걸쳐 온실가스 감축과 함께 기후변화 적응이라는 측면에서 국가적인 계획이 수립되었고, 농업부문에서도 기후변화 문제에 대한 많은 논의와 연구, 대응계획 수립이 이루어져왔다. 그러나 우리는 흔히 기후스마트농업이 추구하는 세 가지 목적을 동시에 구현할 수 있는 실행 가능한 기후스마트농업 프로그램이나 우리의 실정에 맞는 기후스마트농업기술을 내놓기에는 아직 연구가 부족한 편이다. 세 가지 목적 사이에 상충관계가 있다면 이를 극복하기 위한 기술적 정책적 제도적 대안 마련도 필요한 시점이다.

실제로 해외에서 실행되고 있는 많은 기후스마트농업 연구프로젝트들이 생산성 향상, 적응력 향상 및 온실가스감축이라는 세 가지 목적 모두를 달성할 수 있는 특정한 새로운 기술을 개발하기보다는 기 개발된 기술이나 영농관리방식을 통합적으로 현장에 적용하려는 방향에서 현장중심의 연구가 거의 대부분을 차지하고 있음을 알 수 있다. 특히 다양한 주체가 참여하는 방식의 현장연구를 통하여 기후스마트농업이 널리 확산되도록 하는데 필요한 여건이 무엇인지를 파악하고, 추구하는 세 가지 목적 사이에 상충하는 문제를 해결하기 위하여 경관적인 관점에서 경지이용을 다양화하는 방식으로 접근하고 있음을 알 수 있다.

기후스마트농업을 구현하기 위해서는 기술적으로는 상충 문제의 완화 혹은 해소 방안이 마련되어야 함은 물론 이를 실행하기 위한 실질적인 방안으로 필지, 농장 및 경관수준에서 지역의 여건에 맞는 계획을 수립해야 하며, 지역의 특이한 상황 즉 사회경제적 여건, 문화적 배경, 기술 및 정책적 상황에 맞는 기술 포트폴리오를 구성할 필요가 있다. 기후스마트 농업기술이 널리 확산되도록 하기 위해서는 경제적 수단, 규제적 수단, 홍보 및 교육, 생산자 공동활동 조직화 즉 네트워킹과 거버넌스 구축 등 다양한 측면에서 여건을 조성할 필요가 있다. 특히 농민에 의한 기술채택의 장벽 혹은 한계를 극복하기 위해서는 최상의 선택을 위한 강한 과학적 근거와 충분한 기술적 가이드스가 필요하며, 외국의 사례에서 보듯이 선도 농가를 육성한다든지, 모범사례를 발굴하려는 노력이 필요할 것이다. 무엇보다도 중요한 것은 경영메커니즘을 통한 자발적인 참여를 유도하는 환경조성이 필요하다고 본다. 이와 더불어 지속가능한 기후스마트농업 시스템으로 나아가기 위해서는 새로운 기술이나 정책, 새로운 시스템, 새로운 기후변화시나리오에 대해서 적응과 감축 및 생산성, 나아가 생태계에 미치는 다양한 효과 분석이 필요할 것이다. 결론적으로 기후스마트농업 계획을 널리 그

리고 규모별로 성취하기 위해서는 기술적인 역량을 강화해야 하며, 대수의 이해당사자를 위한 계획 수립, 거버넌스, 투자의 공간적 목표 설정 및 다목적 모니터링을 위한 제도적 정책적 지원이 필요할 것이다.

참고문헌

- ACRE. 2014. Grameen Credit ACRE Factsheet.
- Cariboni D. 2014. *Colombia rice growers saved from ruin after being told not to plant their crop*. The Guardian September 30, 2014.
- CCAFS and FAO. 2014. *Climate-Smart Agriculture: What is it? Why is it needed?* Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- CCAFS. 2017. *Climate-Smart Villages: An AR4D approach to scale up climate-smart agriculture*. CGIAR Research Program on Climate Change, Agriculture, and Food Security(CCAFS).
- FAO. 2012. *Mainstreaming climate-smart agriculture into a broader landscape approach*. Rome, Italy. FAO.
- FAO. 2013. *Climate-Smart Agriculture: Sourcebook*. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- FAO. 2013. *Climate-Smart Agriculture Sourcebook, Module5: Sound Management of Energy for Climate-Smart Agriculture*. Rome, Italy. FAO. pp. 139-165.
- GACSA. 2016. *Supporting Agricultural Extension towards Climate-Smart Agriculture: An overview of existing tools*. GACSA. Compendium on Climate-Smart Agriculture & Extension.
- Lipper L, Thornton P, Campbell BM, and Torquebiau EF. 2014. *Climate-smart agriculture for food security*. Nature. Climate Change 4:1068-1072.
- Meryl Richards, Klaus Butterbach-Bahl, ML Jat, Brian Lipinski, Ivan Ortiz-Monasterio, and Tek Sapkota. 2015. *Site-Specific Nutrient Management: Implementation guidance for policy makers and investors*. GACSA Compendium Climate-smart agriculture & extension. (<https://cgspace.cgiar.org/bitstream/handle/10568/69016/CCAFSpbNutrient.pdf>)
- Meryl Richards and B. Ole Sander. 2014. *Alternate wetting and drying in irrigated rice*. GACSA Compendium Climate-smart agriculture & extension. (<https://cgspace.cgiar.org/rest/bitstreams/34363/retrieve>)
- Meryl Richards, Tek Sapkota, Clare Stirling, Christian Thierfelder, Nele Verhulst, Theodor Friedrich, and Josef Kienzle. 2014. *PracticeBrief: Conservation agriculture*. GACSA Compendium Climate-smart agriculture & extension. (<http://www.fao.org/gacsa/resources/csa-documents/en/>)
- NOAA. 2017. *Assessing the Global Climate in 2016*. NOAA(<https://www.ncei.noaa.gov/news/global-climate-201612>)

- Simone Sala, Federica Rossi, and Sonila David. 2016. *Supporting agricultural extension towards Climate-Smart Agriculture An overview of existing tools*. GACSA COMPENDIUM Climate-smart agriculture & extension. (<http://www.fao.org/3/a-bl361e.pdf>)
- Wandera B. and A. Mude. 2013. *Index-Based Livestock Insurance (IBLI) in Northern Kenya, the Product, its impact and the way forward*. (<https://ccafs.cgiar.org/bigfacts/#theme=evidence-of-success&subtheme=services&casestudy=servicesCs2>)
- 기상청. 2016. 2015기상연감. 569p. pp. 155-156.
- 박성진. 2015. 국제농업온실가스연맹(GRA) “농경지분과” 참석 및 발표 귀국보고서. 국무외여행귀국보고서. 25p.

참고사이트

- 국제농업연구자문그룹(CGIAR) (<http://www.cgiar.org/>)
- 국제농업연구자문그룹/기후변화·농업·식량안보연구프로그램(CGIAR/CCAFS) (<https://ccafs.cgiar.org/>)
- 농업온실가스국제연구연맹(GRA) (<http://globalresearchalliance.org/>)
- 기후스마트농업101(Climate-Smart Agriculture 101) (<https://csa.guide/>)
- 기후스마트농업국제연맹(GACSA) (<http://www.fao.org/gacsa/en/>)
- 세계은행(World Bank) (<http://www.worldbank.org/>)
- 유엔식량농업기구(FAO) (<http://www.fao.org/>)