

# 계층화 분석기법(AHP)을 이용한 기후스마트농업(CSA) 기술의 우선순위 분석

이현지\* · 이경재\*\* · 오승은\*\*\* · 최윤영\*\*\* · 김홍석\*\*\*\*

\*서울대학교 농경제사회학부 박사수료 · \*\*서울대학교 농경제사회학부 박사과정

\*\*\*서울대학교 농경제사회학부 석사 · \*\*\*\*서울대학교 농경제사회학부 교수

## Priority Analysis of Climate Smart Agriculture (CSA) Technology using Analytic Hierarchy Process (AHP)

HyunJi Lee\* · KyungJae Lee\*\* · Sung Eun Sally Oh\*\* · Yun Yeong Choi\*\*\* · Brian H.S. Kim\*\*\*\*

*\*Ph.D. candidate, Department of Agricultural Economics and Rural Development, Seoul National University*

*\*\*Ph.D. student, Department of Agricultural Economics and Rural Development, Seoul National University*

*\*\*\*MS, Department of Agricultural Economics and Rural Development, Seoul National University*

*\*\*\*\*Professor, Department of Agricultural Economics and Rural Development, Seoul National University*

**ABSTRACT** : In responding to climate change in the agricultural sector, Climate Smart Agriculture (CSA) is an approach to establish a sustainable agricultural system through comprehensive management of technology, policy, and investment. The international community is continually expanding CSA implementation, and it became more important to understand the status of the domestic agriculture system and practices that are relevant to CSA. This study explored the available CSA in domestic agricultural systems and presented the order of relative importance of CSA technology. AHP analysis is employed for the evaluation with the following criteria: productivity, marketability, adaptability, and mitigation. The relative importance is evaluated with six agricultural technologies (soil, crop management, water, energy efficiency, alternative energy, and precision agriculture) in 28 agricultural technology sectors. The results of the AHP analysis showed that 'alternative energy' was found to be a top priority among the agricultural technology sectors, and 'shallow depth drain in rice paddy' was a top priority for agricultural technology. Also, the 'marketability' in soil and water sectors, 'mitigation' in crop management, and 'adaptability' in energy efficiency and alternative energy were given higher priority. The results of this study can be used as a good source for strategic CSA preparation and application.

**Key words** : Agricultural Technologies, Analytic Hierarchy Process, Climate Mitigation, Climate Smart Agriculture(CSA)

## I. 서 론

기후변화협약에서 농업관련 의제는 기후변화가 농업생산성과 식량안보에 직결된다는 측면에서 2010년을 기점으로 전 지구적 관심을 받고 있다. 2018년 기후변화에 관한 정부 간 협의체(Intergovernmental Panel on Climate

Change, IPCC)는 '지구 온난화 1.5°C 보고서'에서 2050년 탄소중립 목표(Net- Zero Emission by 2050)를 언급하며, 목표를 달성하기 위해 국제사회에 농업 부문 온실가스 배출량 저감을 요구하고 있다(UNFCCC, 2019). 이러한 국제적 정세에 맞추어 국제사회는 식량안보를 확보하고 농업 부문에서의 기후변화에 대한 취약성과 탄력성을 개선하기 위한 국제협약과 정책을 추진하고 있으며, 개도국뿐 아니라 선진 농업 국가들은 기후스마트농업(CSA) 이행을 확대하고 있다(Akanoa et al., 2018; Batchelor & Schnetzer, 2018; FAO, 2013; FAO, 2017; FAO, 2019b;

Corresponding author : Kim, Brian H.S

Tel : 02-880-4717

E-mail : briankim66@snu.ac.kr

Lewis & Rudnick, 2019; Sova, C. A. et al., 2018; World Bank, 2018; Zougmore et al., 2016). 기후스마트농업(Climat Smart Agriculture, 이하 CSA)은 농업분야의 기후변화 대응 방안으로 생산성 향상, 기후변화 적응, 온실가스 감축을 목표로 하며, 농업생산성 제고, 식량안보 달성을 고려한다는 점에서 지속가능 농업, 녹색성장 농업 등 기존의 농업 개념들과도 밀접한 연관성을 가진다(Batchelor & Schnetzer, 2018). 그러나 CSA는 전통적인 개념과 달리 농업 방식에만 중점을 두지 않고, 농업의 지속가능한 시스템 구축을 위해 기술, 정책, 투자, 개발 및 경관 등 통합 계획 및 관리를 고려해 종합적으로 접근하는 특징을 가지고 있다(FAO, 2013; FAO, 2017; FAO, 2019b; 정학균 외, 2016). 또 다른 CSA의 특징은 농업생산성, 기후변화 완화 및 적응 간 다양한 시너지와 트레이드오프(Trade-off)<sup>2)</sup>를 고려한다는 것이다(박우균 외, 2015; 임영아, 2018). 국내에서도 농업 생산성을 높이고 기후변화 대응하기 위해 신기술보급사업 등의 노력을 해오고 있지만, 실질적으로 생산성과 기후변화 완화를 동시에 고려하는 것은 쉽지 않기 때문에 국제사회는 CSA 접근 방식에 더욱 주목하고 있다(FAO, 2013; FAO, 2017; FAO, 2019b). 정학균 외(2016)는 생산성 영향, 기후적응 편익 및 온실가스 완화 잠재력의 세 가지 CSA 측면을 고려해 국내 다양한 농업기술의 영향 및 특징을 전반적으로 제시하였고, 김준&심교문(2021)은 벼경작 시스템을 중심으로 CSA 관점에서의 편익을 평가하였다. 하지만 사회 토양, 수질, 에너지 등 분야별 기술을 중심으로 시너지와 트레이드오프 관계를 심층적으로 다룬 국외에 비해 국내 연구는 상대적으로 매우 부족하며, CSA 적용 및 확대를 위해 우리나라가 주력해야 할 CSA 기술에 대한 검토가 필요하다. 그러므로 본 연구에서는 국내 농업 상황에 맞는 CSA 기술의 우선순위를 제시하는 것을 목적으로 한다. 이는 향후 우리나라의 CSA 기술 개발 및 투자 방향을 설정하는데 유용한 기초자료로 활용될 수 있다.

## II. 선행연구

2021년 11월 영국 글래스고에서 개최된 기후변화협약 당사국총회(Conference of the Parties 26, COP 26)에서는 기후변화 완화를 위한 국가별 농업의 역할을 강조하며 CSA를 언급한 바 있다(UNFCCC SBSTA, 2019a; UNFCCC SBSTA, 2019b). 국제사회는 2010년 11월 네덜란드에서 개최된 「농업, 식량안보, 기후변화」글로벌 컨퍼런스(Hague Conference on Agriculture, Food Security and Climate Change)에서 CSA 개념을 처음 제시한 이후 CSA의 개념,

기술 사례 및 평가 방법에 대한 연구를 지속적으로 진행해왔다(Akanoa et al., 2018; Batchelor & Schnetzer, 2018; FAO, 2013; FAO, 2017; FAO, 2019b; Lewis & Rudnick, 2019; Negra et al., 2014; Sova, C. A. et al., 2018; World Bank, 2018; Zougmore et al., 2016). 국제적으로 CSA 기술적용 및 개발 사례에 대한 연구는 국제기구, 개도국 및 선진국을 중심으로 다수 진행되어왔다. World Bank(2018)는 소규모 농업시스템의 기후회복력과 수익성 향상을 목적으로 하는 인도 기후회복농업프로젝트(Maharashtra Project)를 통해 CSA 농업시스템의 적용사례를 소개하였으며, Lewis & Rudnick(2019)는 캘리포니아의 CSA 사례를 통해 효과적인 CSA 전략을 제시하였다. Negra et al.(2014)는 브라질, 에티오피아, 뉴질랜드 3국의 CSA 적용 사례를 중심으로 CSA 접근 방법을 제안하였으며, Sova et al.(2018)은 CSA의 3요소의 시너지 및 구체적인 적용사례를 소개하면서 동시에 아프리카, 아시아, 중남미, 카리브해 등 30여개 국가의 농업부문 기후변화 과제와 해결책을 평가하였다. 또한 Akanoa et al.(2018)은 CSA가 나이지리아의 농업 생산성에 미치는 기후변화 영향, 완화 및 적응 전략을 분석함으로써 CSA의 기술 및 정책 효과에 대해 평가했으며, Radeny et al.(2018)은 지속가능한 관개 기술 개발의 어려움에 대해 다루며 CSA 기술의 시너지 및 트레이드오프에 대해 논의하였다. 또한 Zougmore et al.(2016)는 농업 및 축산분야의 CSA 정책을 검토하고, FAO(2019a)는 UN의 지속가능한 개발 목표(SDG)와 CSA의 이행을 통합하여 실현하기 위한 가이드라인을 제시하였다.

국내의 경우 임영아(2018)는 CSA의 개념과 특징을 소개하면서, 기존 농업 개념과 CSA의 개념적 차이를 제시하였으며, 이상현&유승환(2016)은 CSA 개념과 목적을 제시하면서 물-에너지-식량의 넥서스적 개념 도입의 필요성을 제시하였다. 정학균 외(2016)는 선행연구를 기반으로 CSA 기술 인벤토리를 구축하였으며, CSA 기술적용 실태를 파악하기 위해 농가를 대상으로 CSA에 대한 인식 및 선호도에 대한 설문 조사를 실시하였다. 또한 AHP 분석을 적용하여 우선순위 정책을 제시함으로써 CSA 활성화 방안을 제시하였다. CSA 기술적용 사례 관련해서 김준&심교문(2021)이 CSA 관점에서 김제 지역의 벼 경작 시스템을 평가하였다. 추가적으로 이종식&최은정(2017)은 기후변화 대응을 위한 농업분야 동향 조사에서 CSA 관련 국제기구의 농업개발 사례 및 활동들을 검토하였다. 이와 같이 국내외에서 CSA의 개념, 기술 개발 및 적용, 정책적 접근과 다양한 연구가 진행되고 있으나, 국내에서는 상대적으로 다각적인 관점에서의 연구가 부족한 실정이다.

국내 농촌 상황을 고려한 지역 맞춤형 CSA를 적용 및 확대하기 위해서는 국내 농업 현황을 반영한 CSA 기술 개발 및 CSA 실천 농가에 대한 설비 투자 등이 필요하다(정학균 외, 2016). 이를 위해 먼저 국내 CSA 기술에 대한 체계적인 검토가 선행되어야 하며, CSA 기술은 농업인들이 적용하기 용이한 기술, 적용 후 기술 확산 및 기술 개발에 대한 잠재적 성장 가능성, 그리고 CSA의 주요 목표(생산성, 기후변화 적응 및 완화)에 부합하는 기술을 종합적으로 고려하여 국가별 또는 지역별 상황에 맞게 선정해야 한다(FAO, 2013; FAO, 2017; FAO, 2019b). 국내에서는 정학균 외(2016)가 CSA 적용 실태 조사를 위해 국내 농가들을 대상으로 CSA 기술 선호도를 파악하고 추가적인 분석을 통해 기술의 정성적 및 정량적 틀을 제시하였으나, 전문가를 대상으로 국내 적합한 CSA 기술을 제안한 연구는 국내에서 부재하다. 본 연구에서는 CSA 기술의 적용 용이성, 시장성, 생산성, 기후변화 적응성 그리고 완화성을 고려하여 농업 실무자, 연구자를 포함한 전문가를 대상으로 국내 농촌 상황에 맞는 CSA 기술의 우선순위를 제시하고자 한다.

한편 농업 분야에서 기술이나 정책의 우선순위에 대한 연구가 다수 존재하는데, 손민희 외(2019)는 농업환경보전 실천기술 우선순위를 분석하기 위해 AHP 및 BWS 기법들을 이용하여 ‘토양검정 및 비료-가축 분뇨 사용량 감축’기술을 가장 우선순위 농업환경보전 실천기술로 제시하였다. 김창길&문동현(2013)은 AHP 분석을 통해 농업 녹색성장 정책수단의 우선순위를 제시하였으며, 신용광 외(2005)는 친환경농업 정책수단에 관한 우선순위를 도출하였다. Khatri-Chhetri et al.(2017)은 선호의식(Stated Preference, SP) 조사를 통해 인도 농업인들의 기후변화 적응 기술들의 선호도 및 지불의사액(Willingness to Pay, WTP)을 도출하여 기후변화 적응 기술 우선순위를 제시하였고, 박우균 외(2015)는 AHP 기법을 이용하여 농업부문의 온실가스 감축기술 평가를 위한 속성의 우선순위를 경제적 요인, 환경적 요인, 기술적 요인, 제도적 요인 순으로 도출하였다. 본 연구에서는 우선순위 제시를 위한 연구에서 주로 활용되는 AHP 기법을 통해 CSA 기술의 우선순위 연구를 진행하고자 한다.

### III. 연구 방법

기후스마트농업(CSA)과 관련된 다수의 선행연구들은 기술, 정책 등의 우선순위 제시를 위해 주로 평가자의 견해나 주관적인 선호도를 계량적으로 모형화 할 수 있는 다기준의사결정방법론을 적용하고 있다. 다기준의사결정

방법에는 계층화 분석 기법(Analytic Hierarchy Process, 이하 AHP), 평점모형(Scoring Method), 목표달성평가법(Goal Achievement Method), 다속성효용합수법(Multi Attributes Utility Theory), 최고-최저 조정법(Best-Worst Scaling, BWS) 등이 있으며, 이 중 AHP 기법은 가중치를 설정하는 과정부터 전문가들의 의견을 종합하는 과정에 대한 신뢰성을 담보한다는 평가를 받고 있다. 또한 AHP기법은 비일관성지수 등을 통해 결과를 해석하는 데 있어 전문가의 주관에 지나치게 의존하는 문제를 방지할 수 있다(김창길&문동현, 2013). 연구 방법 및 과정은 다음과 같다.

#### 1. 계층구조 설정

본 연구는 국내 적용 가능한 기후스마트농업(CSA) 기술의 우선순위 제시를 위하여 AHP 분석기법을 활용하였다. 평가 대상인 CSA 기술의 목록을 구성하기 위해 국내외 기후변화완화기술(저탄소농업기술), 기후변화적응기술 및 스마트농업 기술목록 자료집 그리고 정학균 외(2016) 보고서 등 국내외 자료들을 검토하였으며, 1차적으로 총 63개 기술 목록을 구축하였다. 그러나 쌍대비교를 기반으로 하는 AHP기법은 선택 대안이 많을 경우 문항수가 많아져서 일관성이 낮은 응답 값을 얻을 수 있는 가능성이 높아지므로(김나운 외, 2021; 박우균 외, 2015; 손민희 외, 2019; Brandt et al., 2017). 본 연구에서는 선행연구 검토와 전문가 자문을 통해 국내 농촌 상황에 맞는 CSA 기술을 선별하는 작업을 진행했다. 일관성 있는 응답 값을 도출하기 위해 우선적으로 국내외 기술현황 자료를 검토하고, 농업 기술 분야의 전문가 자문을 통해 국내 적용이 용이하지 않거나, 병해충 방제 등 온실가스 감축 측면에서 효과가 크지 않을 것으로 판단되는 기술을 제외하였다. 추가적으로 국내 농촌 상황과 CSA 목적에 부합하는 CSA 기술을 선별해내는 과정에서 연구자 개입을 최소화하기 위해 간이 기술 평가지<sup>3)</sup>를 작성하여 자문을 요청한 전문가에게 기술별로 CSA 기술의 적용 용이성, 개발 및 확산 가능성, 생산성, 온실가스 감축 효과의 항목에 점수를 부여하도록 하였다. 이러한 과정을 통해 최종적으로 28개의 CSA 기술을 선정하였으며, 해당 기술들은 토양 분야 6개, 품종개발 및 작물관리 분야 5개, 용수 분야 4개, 에너지 효율 및 절감 분야 4개, 대체에너지 분야 4개, 정밀농업 분야 5개 기술로 구성된다. AHP 계층구조 설정 단계에서는 Table 1과 같이 첫 번째 평가항목은 농업기술 분야, 두 번째 평가항목은 농업기술로 설정하였다.

Table 1. Evaluation Level for Climate Smart Agriculture (CSA) Technology Prioritization

Evaluation Level 1 (Agricultural technology Sector)	Evaluation Level 2 (Agricultural Technology)
Soil	Cultivation of Green Manure Use of Biochar Nutrient Management Crop-Livestock Cycling, Livestock Manure Fertilize and customized liquefied Manure Customized Fertilizer based on Fertilizer Use Prescription Homemade Liquefied Manure
Development of Variety and Crop Management	Environmental Adaptation Growing Plant Crop Conversion Changing of Sowing Period No-tillage and Partial Tillage Mulching
Water	Intermittent irrigation Shallow Depth Drain in Rice Paddy Field Water-Saving Irrigation Establishment of Facilities for Optimizing Water Use Efficiency
Energy Efficiency and Savings	Multi-Layered Insulation Curtain and Thermal Tunnel Automatic Switchgear Water Curtain and Circulation Waterproof Facility Agricultural Heat Recovery Ventilator Heating Energy Saving Technology using Local Heating System
Alternative Energy	Ground-Source Heat Pump Air Source Heat Pump Agrophotovoltaic System Wood Biomass Pellet RPC Grain drying Heat Source Replacement system using Rice Hull
Precision Agriculture	Early Warning System of Natural Disaster Digital Soil Map Agricultural Drones Yield Mapping Agricultural Sensors Energy-Saving Facility Environment Control System

한편 평가 계층을 비교하기 위해서는 평가하고자 하는 항목의 특성이나 효과를 나타낼 수 있는 기준이 필요하며, 본 연구는 국제기구의 CSA 평가 방법들을 검토하였다. World Bank(2018)는 CSA 정책 지수(CSA-POL), CSA 기술 및 실행 지수(CSA-TECH) 및 CSA 결과 지수(CSA-RES)의 평가지표를 제시하였으며, FAO(2013)는 빈곤 및 가구의 영향, 적응 관련 생산 변화의 결과, 탄력적인 시스템 채택의 결과, 역량 개발 및 서비스와 관련된 결과, 취약성 및 위험 평가와 관련된 결과에 대한 카테고리별로 지표를 제안하였다. 또한 지속 가능한 강화를 위한 미래 혁신 연구소(Feed the Future Innovation Lab for

Sustainable Intensification)는 2018년 11월 개발한 지속 가능한 강화 평가 프레임워크(Sustainable Intensification Assessment Framework, SIAF)를 통해 식량안보 측면에서 사용할 수 있는 지표들과 측정 기준을 생산적 지표, 경제적 지표, 환경적 지표, 인문학적 지표, 사회적 지표 구분하여 제시하였다(Musumba et al., 2017). CSA 평가 방법은 국제기구 및 국가별로 차이가 있으며(World Bank, 2018), 본 연구에서는 국제기구가 제안한 지표들 중 공통적으로 포함되어 있는 지표, 즉 적용 용이성, 기술의 잠재적 성장 가능성 및 시장성, 그리고 CSA의 주요 목표(생산성, 기후변화 적응 및 완화)에 부합하는 정도 등을

Table 2. Definition of Evaluation Criteria

Evaluation Standard	Description
Receptivity	Feasibility and applicability in the farming community
Marketability	Ability to achieve potential in growth and profitability in the market
Productivity	Ability to increase productivity without harming the environment
Mitigation Ability	Ability to increase carbon sequestration in soil and atmosphere by mitigating greenhouse gases
Adaptation Ability	Ability to increase resilience by building capacity to adapt to stress and risk in farming

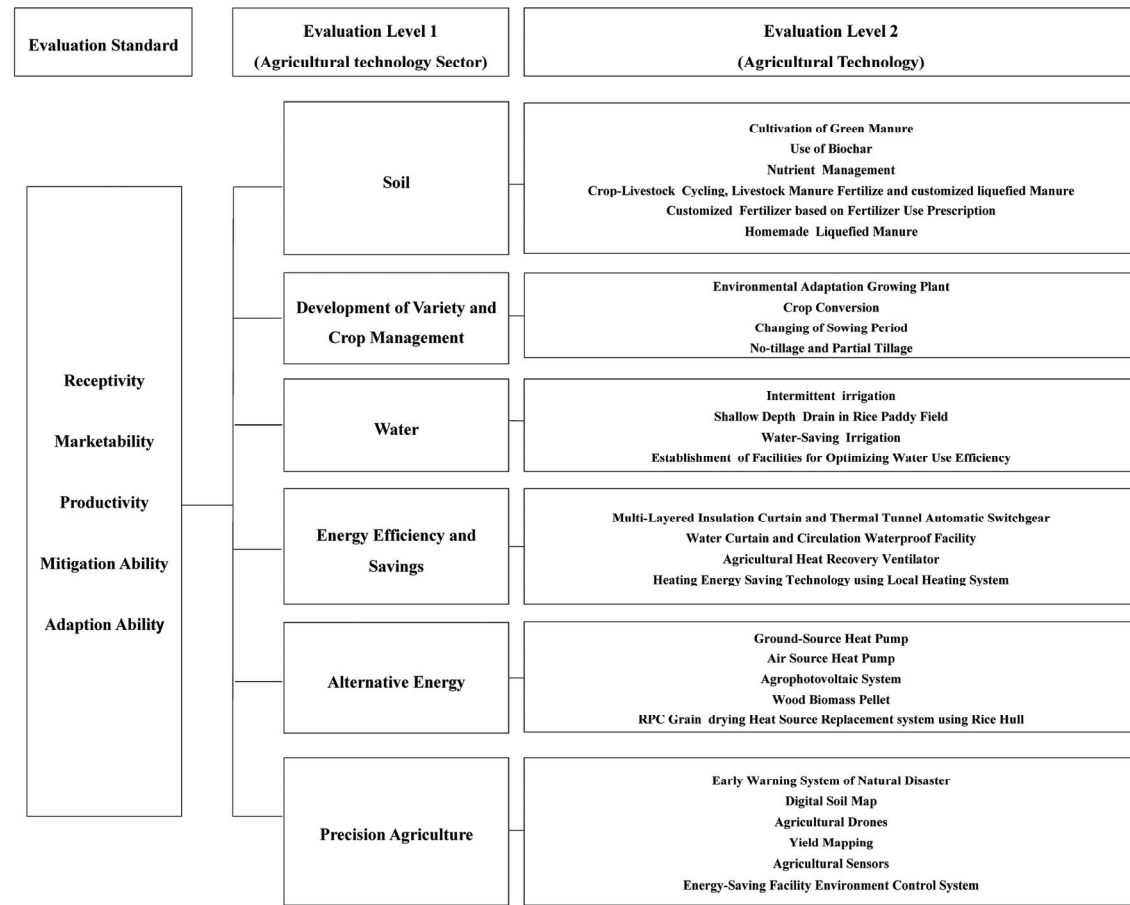


Figure 1. AHP Hierarchical Map for Climate Smart Agriculture (CSA) Technology Prioritization

고려하여 최종적으로 평가 기준을 수용성, 시장성, 생산성, 완화성, 적응성으로 설정하였다. Table 2는 평가기준에 대한 정의를 나타내며, Figure 1은 6개 농업기술 분야와 28개의 농업기술, 5개의 평가기준을 토대로 형성된 AHP 계층구조를 제시하고 있다.

## 2. 설문 조사

본 연구는 국내 적용 가능한 기후스마트농업(CSA) 기술의 우선순위를 제시하기 위해 AHP 분석을 위한 설문

조사를 진행하였다. 설문은 1) 6개 농업기술 기술 분야별 상대적 중요도 평가, 2) 농업기술 분야의 농업기술별 상대적 중요도 평가, 3) 농업기술 분야의 평가기준별 상대적 중요도 평가 순으로 구성하였으며, 9점 척도를 활용하여 쌍대비교를 통한 상대적 중요도를 산출하도록 설계하였다. 설문 응답자들은 기후변화, 환경정책, 농업환경에너지, 농업용수, 스마트농업, 원예 생명 공학 분야에서 농업 기술에 대한 이해도가 높은 전문가 20명을 대상으로 하며, 정책실무자 3명, 연구원 8명, 교수 6명 및 농업인을 대표할 수 있는 농업인협회 전문가 3명으로 구성하였다.

### 3. 쌍대비교 분석을 통한 가중치와 일관성 도출

AHP 기법은 Saaty(1980)에 의해 제안된 기법으로 복잡한 평가기준을 계층화하여 단계별 요인들에 대한 쌍대비교(Pairwise Comparison)를 통해 상대적 다수 대안에 대한 다면적 평가기준을 통한 복잡한 의사결정 문제를 최적의 대안을 찾는 데 지원하는 방법 중 하나이며 여러 분야에 적용이 가능한 기법이다(Saaty, 1990). 일반적으로 AHP 기법은 계층화 단계, 평가기준의 쌍대 비교, 가중치의 추정, 가중치의 종합 등 네 단계로 진행된다. 이 과정을 통해 도출되는 가중치를 바탕으로 모든 계층의 전체 대안들에 대한 우선순위 제시가 가능하다(임은선, 2006). AHP의 가중치 산정은 평가항목 간 상대적 중요도 또는 선호도를 나타내는 쌍대비교를 통하여 이루어진다. 쌍대비교를 통하여 두 요소 간 상대적 중요도의 측정결과를 종합하여 요소들 간 상대적 가중치를 추정하며, 기준 간의 상대적 중요도는 다음의 식 (1)과 같은 행렬로 나타낼 수 있다.

$$A = [a_{ij}] = \begin{bmatrix} w_1/w_1 & w_1/w_2 & \dots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & w_2/w_2 & \dots & w_2/w_n \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & \dots & w_n/w_n \end{bmatrix} \quad (1)$$

여기서  $a_{ij}$ 는 요소  $j$ 에 대한 요소  $i$ 의 상대적 가중치  $\frac{w_i}{w_j}$ 의 추정치이다. 행렬  $A$ 는  $a_{ji} = \frac{1}{a_{ij}}$ 를 만족하며 주대각선의 원소값이 모두 1이 되는 성질을 가진 직교행렬의 특징이 있다.

AHP를 이용하여 의사결정을 위해서는 설문 응답에 대한 일관성을 나타내는 척도인 일관성 비율(Consistency Ratio, CR)에 유의하여야 한다. 그러나 실제 응답에 있어

서는 이러한 일관성이 완전히 지켜지기 어렵기 때문에 일관성을 검증하는 과정이 필요하다. 일관성 비율이 0의 값을 갖는다는 것은 응답자가 완전한 일관성을 유지하며 쌍대비교를 수행하였음을 의미한다. CR은 아래의 식 (2)와 같이 일관성 지수(Consistency Index, CI)를 경험적 자료에서 얻은 무작위 지수(Random Consistency Index, RI)로 나눈 값이다( $\lambda_{\max}$ =쌍대비교행렬의 최대 고유값(eigenvalue) (Table 3).

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (2)$$

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$$

CI는 0과 1사이의 값을 가지며 완전한 일관성을 가지는 경우 0값을 가지며 일관성이 떨어질수록 값이 커진다. CR이 0.1 미만이면 쌍대비교는 합리적인 일관성을 갖는 것으로 판단하고 0.2 이상일 경우 일관성이 부족하여 재조사가 필요한 것으로 간주된다(Saaty, 1980). 본 연구에서는 모든 응답자의 일관성 비율(Consistency Ratio, CR)이 0.1 미만인 것으로 나타나 응답의 일관성을 확인하였다(Table 3).

## IV. 분석결과

### 1. 평가항목 1 (농업기술 분야)의 중요도

평가항목 및 평가기준별 중요도는 아래와 같다. Table 4는 분야(제1계층)의 쌍대비교 결과 도출된 가중치와 순위를 나타내고 있다. 분석 결과, 6개의 농업기술 분야 중 가장

Table 3. Random Consistency Index(RI)

Number of attributes(size of matrix)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

자료: Saaty(1980)

Table 4. Weights and Rankings by Field

Agricultural technology Sector	Weight	Rank
Soil	0.1305	6
Development of Variety and Crop Management	0.1372	5
Water	0.2020	2
Energy Efficiency and Savings	0.1744	3
Alternative Energy	0.2125	1
Precision Agriculture	0.1434	4

우선순위가 높은 분야는 ‘대체에너지’ 분야로 0.2125의 가중치 값을 가진다. 2위는 ‘용수’ 분야로 ‘대체에너지’ 분야와 가중치의 값이 약 0.01만큼 차이를 보였다. 그 뒤로 ‘에너지 효율 및 절감’, ‘정밀농업’, ‘품종 개발 및 작물 관리’ 순으로 큰 값을 나타냈고 ‘토양’ 분야의 가중치는 0.1305로 가장 작은 값을 가지는 것으로 분석되었다.

값을 곱한 후 해당 값을 기준으로 30개 CSA 기술의 순위를 제시한 것이다. 분석결과 국내 적용 가능한 기후스마트농업(CSA)의 우선순위 기술은 ‘용수’ 분야의 ‘논물 얇게 대기’ 기술로 도출되었으며, 0.0766의 가중치 값을 가진다. 그 다음 ‘에너지 효율 및 절감’ 분야의 ‘수막 및 순환식 수막시설’ 기술이 2위로 선정되었다. 3위는 ‘대체에너지’ 분야의 ‘왕겨를 이용한 RPC 곡물건조 열원 대체’ 기술인 것으로 나타났다. 그 다음 순위의 기술로는 ‘용수’ 분야의 ‘절수관개’와 ‘대체에너지’ 분야의 ‘목질 바이오매스 펠릿’ 기술이 국내 적용가능한 우선순위 기

## 2. 평가항목2 (농업 기술)의 중요도

Table 5는 농업기술 분야의 가중치와 분야별 가중치의

Table 5. Weights and Rankings of Sub-Technologies

Agricultural technology Sector	Agricultural Technology	Weight within the Sector	Total Weight	Rank
Soil	The Cultivation of Green Manure	0.2379	0.0311	17
	Use of Biochar	0.1539	0.0201	25
	Nutrient Management	0.0824	0.0108	30
	Crop-Livestock Cycling, Livestock Manure Fertilize and customized liquefied Manure	0.1427	0.0186	26
	Customized Fertilizer based on Fertilizer Use Prescription	0.0872	0.0114	28
	Homemad Liquefied Manure	0.2960	0.0386	10
Development of Variety and Crop Management	A Environmental Adaptation Growing Plant	0.0816	0.0112	29
	Crop Conversion	0.1612	0.0221	22
	Changing of Sowing Period	0.1697	0.0233	21
	No-tillage and Partial Tillage	0.3076	0.0422	7
	Mulching	0.2799	0.0384	11
Water	Intermittent irrigation	0.1918	0.0387	9
	Shallow Depth Drain in Rice Paddy Field	0.3793	0.0766	1
	Water-Saving Irrigation	0.2529	0.0511	4
	Establishment of Facilities for Optimizing Water Use Efficiency	0.1760	0.0355	12
Energy Efficiency and Savings	Multi-Layered Insulation Curtain and Thermal Tunnel Automatic Switchgear	0.1784	0.0311	16
	Water Curtain and Circulation Waterproof Facility	0.3964	0.0692	2
	Agricultural Heat Recovery Ventilator	0.2255	0.0393	8
	Heating Energy Saving Technology using Local Heating System	0.1996	0.0348	13
Alternative Energy	A Ground-Source Heat Pump	0.1506	0.0320	15
	Air Source Heat Pump	0.1986	0.0422	6
	Agrophotovoltaic System	0.1294	0.0275	18
	Wood Biomass Pellet	0.2181	0.0463	5
	RPC Grain drying Heat Source Replacement system using Rice Hull	0.3032	0.0644	3
Precision Agriculture	Early Warning System of Natural Disaster	0.1111	0.0159	27
	Digital Soil Map	0.1784	0.0256	19
	Agricultural Drones	0.1518	0.0218	24
	Yield Mapping	0.2308	0.0331	14
	Agricultural Sensors	0.1748	0.0251	20
	Energy-Saving Facility Environment Control System	0.1532	0.0220	23

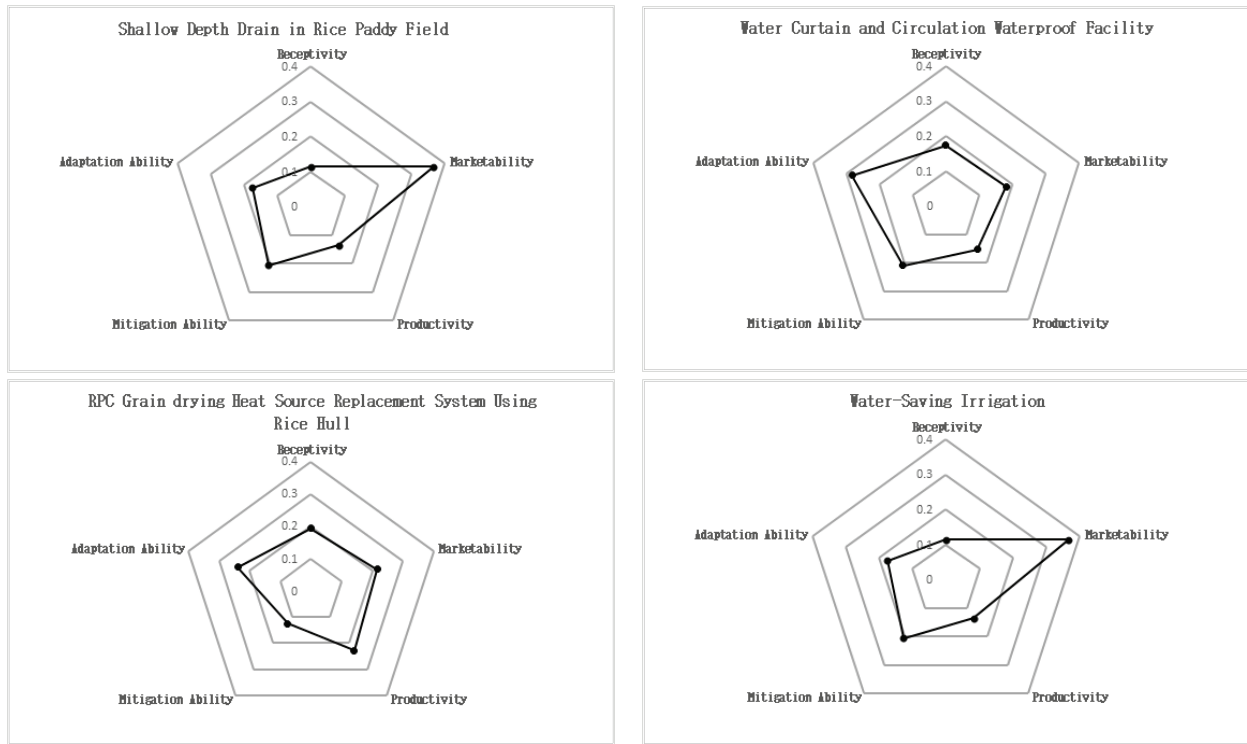


Figure 2. Development of Priority Technologies of Climate Smart Agriculture(CSA)

후스마트농업(CSA) 기술인 것으로 분석되었다.

‘논물 얇게 대기’는 ‘벼 이앙 후 한 달 간 논물을 깊이 댄 후 2~5cm 정도 논물을 얇게 대고 자연적으로 말리며 다시 얇게 대는 작업을 이삭이 익을 때까지 반복하는 기술’로 상시 담수에 비해 온실가스 배출량은 78%를 줄일 수 있기 때문에(김창길&임정빈, 2021), 전통적으로 논농사의 비중이 높은 우리나라의 현실을 고려했을 때 ‘논물 얇게 대기’의 도입은 기후변화 대응에 매우 효과적일 것으로 판단된다. ‘수막 및 순환식 수막시설’의 경우에는 온실의 지붕면에 지하수를 살수하여 물커튼 형성에 의한 보온효과와 지하수가 갖고 있는 수온으로 약간의 가온효과를 얻는 기술로 유류 에너지를 절감할 수 있다는 장점을 가진다(김형권 외, 2015). 또한 ‘왕겨를 이용한 RPC 곡물건조 열원 대체’기술은 ‘왕겨를 이용하여 열을 생산 이용해 미곡종합처리장의 곡물건조기에 필요한 화석연료 사용을 대체’하므로 이산화탄소 배출량이 없는 청정 에너지원 평가받고 있다(금동혁, 2012).

Table 6은 국내 적용 가능한 기후스마트농업(CSA)의 우선순위 기술 중 1~4위를 중심으로 각 평가기준에 대한 가중치를 보여준다. 논물 얇게 대기와 절수관개 기술은 시장성이 중요한 평가기준으로 나타났고, 수막 및 순환식 수막시설은 적응성과 완화성이 다른 평가기준에 비

해 상대적으로 중요하게 제시되었다. 왕겨를 이용한 RPC 곡물건조 열원 대체 기술은 적응성과 생산성이 다른 평가기준에 비해 상대적으로 중요하게 나타났다. 이러한 차이는 농업기술 별로 적용 기반 또는 현황이 다르고, 농업 전문가들이 기대하는 농업기술의 효과가 다르기 때문인 것으로 사료된다.

### 3. 평가기준의 중요도

평가기준에 관한 우선순위는 농업기술 분야별로 다르게 도출되었으며, Table 6은 농업기술 분야별 평가기준 우선순위를 나타낸다. 먼저 ‘토양’ 분야를 살펴보면, ‘시장성’의 가중치 값이 0.3374로 가장 높았으며 ‘완화성’, ‘적응성’, ‘생산성’, ‘수용성’ 순으로 중요한 것으로 나타났다. 즉 ‘토양’ 분야를 평가하는 데 있어서 ‘시장성’을 가장 우선적으로 고려해야 함을 의미한다. 다음으로 ‘품종 개발 및 작물 관리’ 분야의 경우 ‘완화성’의 가중치 값이 0.3414로 가장 높은 것으로 나타났고, ‘생산성’이 상대적으로 덜 중요한 평가 기준으로 나타났다. ‘용수’ 분야를 살펴보면 ‘시장성’이 가장 중요한 것으로 밝혀졌으며 ‘수용성’이 가장 작은 가중치 값을 갖는 것으로 분석되었다. ‘에너지 효율 및 절감’ 분야의 경우 ‘적응성’이



Table 6. Weights and Rankings of Evaluation Criteria

Agricultural technology Sector	Evaluation Standard	Weight	Rank
Soil	Receptivity	0.1205	5
	Marketability	0.3374	1
	Productivity	0.1611	4
	Mitigation Ability	0.1968	2
	Adaptation Ability	0.1842	3
Development of Variety and Crop Management	Receptivity	0.1456	4
	Marketability	0.1920	2
	Productivity	0.1309	5
	Mitigation Ability	0.3414	1
	Adaptation Ability	0.1901	3
Water	Receptivity	0.1137	5
	Marketability	0.3688	1
	Productivity	0.1352	4
	Mitigation Ability	0.2061	2
	Adaptation Ability	0.1762	3
Energy Efficiency and Savings	Receptivity	0.1732	4
	Marketability	0.1825	3
	Productivity	0.1529	5
	Mitigation Ability	0.2090	2
	Adaptation Ability	0.2824	1
Alternative Energy	Receptivity	0.1936	4
	Marketability	0.2163	3
	Productivity	0.2282	2
	Mitigation Ability	0.1240	5
	Adaptation Ability	0.2379	1
Precision Agriculture	Receptivity	0.1573	4
	Marketability	0.2153	3
	Productivity	0.1419	5
	Mitigation Ability	0.2467	1
	Adaptation Ability	0.2388	2

가장 큰 가중치 값을 보였으며 ‘생산성’의 가중치 값이 가장 작은 것으로 나타났다. ‘대체에너지’ 분야를 살펴보면 ‘적응성’이 가장 중요한 평가기준인 것으로 밝혀졌으며 ‘완화성’이 가장 덜 중요한 것으로 분석되었다. 마지막으로 ‘정밀농업’ 분야의 경우 ‘완화성’이 가장 높은 가중치 값을 가지는 것으로 나타났으며 ‘생산성’의 가중치 값이 가장 작은 것으로 분석되었다. 이는 농업기술 분야 별로 동일한 평가기준을 적용하기 보다는 농업기술 분야에 따라 차별화된 평가기준을 적용하는 것이 적합하다는 것을 시사한다.

## V. 결 론

국제기구 및 선진국에서 지향하는 기후스마트농업(CSA)을 국내에 적용 및 확산시키기 위해서는 기후스마트농업(CSA)에 관한 정책적 근거 마련이 뒷받침되어야 하며, 이를 위해서는 시범사업 등을 통한 기후스마트농업(CSA)의 기술 효과 검증이 필요하다. 그러나 기후스마트농업(CSA) 기술에 관한 연구는 거의 부재한 상황이다. 이에 본 연구는 AHP를 이용해 국내에서 적용 가능한 기후스마트농업(CSA) 기술의 우선순위를 제시하는 것을 목적으로 한다. 분석 결과는 다음과 같다.

첫째, 농업기술 분야 중 대체에너지 분야가 우선순위가 가장 높은 것으로 나타났다. 대체에너지 관련 기술에는 왕겨를 이용한 RPC 곡물건조 열원 대체, 목질 바이오매스 펠릿, 열원히트펌프 등이 포함되어 있는데, 이러한 기술들은 전체 농업기술 순위에서 각각 3위, 5위, 6위에 해당한다. 이에 농업기술 중 상위영역을 차지하는 기술이 가장 많이 포함되어 있는 대체에너지 분야가 우선순위 농업기술 분야로 선정된 것으로 판단된다.

둘째, 농업기술 별 분석 결과에서는 용수분야의 논물 알개 대기가 우선순위가 가장 높은 것으로 나타났다. 이러한 결과는 우리나라가 논농사 비중이 높아 기술의 적용 및 효과의 파급력이 크기 때문인 것으로 판단된다. 그 다음으로는 에너지 효율 및 절감 분야의 ‘수막 및 순환식 수막시설’과 대체에너지 분야의 ‘왕겨를 이용한 RPC 곡물건조 열원 대체’기술이 우선순위 농업기술로 도출되었는데, 이러한 기술들은 화석연료 사용량 저감을 통해 온실가스 저감에 효과적이기 때문에 우선순위로 도출된 것으로 사료된다.

셋째, 농업기술 분야별로 평가기준의 중요도가 상이한 것으로 나타났다. 토양 분야와 용수 분야는 시장성이 우선순위가 가장 높은 평가기준으로 제시되었으며, 품종 개발 및 작물관리 분야와 정밀농업 분야는 완화성, 에너지 효율 및 절감 분야와 대체에너지 분야는 적응성이 가장 높은 평가기준으로 나타났다. 이는 향후 농업기술에 관한 평가수단 마련 시, 농업기술 분야별로 다른 평가기준을 가지고 접근할 필요가 있음을 보여준다.

본 연구는 농업기술 관련 분야의 전문가들을 대상으로 AHP를 실시하여 CSA 기술 적용의 방향성을 제시했다. 연구에서 제시한 CSA 기술을 적용하고 확대해 나가기 위해서는 CSA 기술-정책 연계를 통해 적용 농가에 대한 인센티브 지원 등의 투자가 필요하며, 중간 플랫폼 역할을 수행하는 네트워크 구축을 통해 기관 간 CSA 정보 교류체계를 마련해야 할 것이다. 한편 본 연구에서는 기존 CSA 연구 보고서 및 국내외 CSA 기술 사례 검토 및 전문가 자문을 통해 AHP 분석을 위한 28개 기술을 선정 하였으나, 향후 연구에서는 좀 더 정량적이고 체계적인 분석 방법을 통해 국내 CSA 기술을 검토하는 연구가 필요할 것으로 판단된다. CSA의 기술 적용사례, 정책 대안 그리고 전략 마련을 위한 다각적인 연구가 지속적으로 진행된다면 CSA 접근을 통해 농업분야 온실가스 대응에 기여할 수 것으로 기대한다.

주2) 평가 방법은 평가 항목에 대한 현황과 발전 가능성을 고려해 전문가가 1점(매우 낮음)부터 5점(매우 높음)의 점수를 부여하도록 하였으며, 평가 결과는 엑셀을 활용하여 기술별 점수를 합산하고 순위를 작성하여 기술 선정 시 참고용으로 활용함

본 연구 논문은 농촌진흥청 연구사업(과제번호: PJ014824)의 지원에 의해 이루어진 것입니다. 아울러 이 연구를 위해 AHP 설문조사 및 자문에 도움을 주신 농업기술 분야의 전문가분들께 감사를 드립니다.

## References

1. 금동혁. (2012). 왕겨에너지를 이용한 RPC용 신건조시스템 및 전력 생산 플랜트 개발. 농촌진흥청. 서울: 성균관대학교.
2. 김나윤, & 박창석. (2021). 재난재해 부문 기후변화 적응 대책 우선순위 분석: AHP 와 ANP 방법론을 이용하여. 환경정책, 29(1), 21-45.
3. 김준, & 심교문. (2021). 한국 김제의 벼 경작 시스템의 기후스마트농업 (Climate-Smart Agriculture) 기반의 평가. 한국농림기상학회지, 23(4), 235-250.
4. 김창길, & 문동현. (2013). 농업·농촌 녹색성장 정책수단의 우선순위 결정. 농촌경제, 35(5), 45-64.
5. 김창길, & 임정빈. (2021). [탄소중립 시리즈 (3)] 농업·농촌의 온실가스, 배출 감축과 흡수 증대. 시선집중 GSNI, (293), 1-19.
6. 김형권, 전종길, 백이, 표희영, 정재완, & 김용철. (2015). 순환식 수막하우스의 수온에 따른 플라스틱 온실 내 온도변화 분석. 시설원예·식물공장, 24(2), 93-99.
7. 박우균, 김진엽, 이선일, & 이상호. (2015). 농업부문 온실가스 감축기술 우선순위 평가를 위한 다중속성 분석. 농업경영. 정책연구, 42(3), 616-629.
8. 손민희, 이슬비, 이균식, & 김태영. (2019). 농업환경보전 실천기술 우선순위 분석을 통한 맞춤형 실천기술 패키지 제안 연구. 농업생명과학연구, 53(5), 153-165.
9. 신용광, 김창길, & 김태영. (2005). 계층분석과정 (AHP)을 이용한 친환경농업정책 프로그램의 우선순위 결정. 농촌경제, 28(2), 39-56.
10. 유승환, & 이상현. (2016). 기후스마트 농업 및 WEF Nexus 를 고려한 농촌용수 및 자원관리. 한국농공학회지, 58(3), 27-32.
11. 이상현 & 유승환. (2016). 기후스마트 농업 및 WEF Nexus 를 고려한 농촌용수 및 자원관리. 한국농공학회지, 58(3), 27-32.

주1) 트레이드오프(Trade-off)는 상충관계, 상쇄작용 등의 용어로 사용되기도 하며, 본 연구는 트레이드오프로 통일함

12. 이종식, 최은정(2017) 농업부문 기후변화 대응을 위한 주요 국제기구 동향. 세계농업 111-135.
13. 임영아. (2018). 기후스마트농업과 넥스트적 접근의 필요성. 전원과 자원, 60(3), 4-8.
14. 임은선. (2006). 계층분석과정 (AHP)-선택의 기로에서 합리적으로 판단하기. 국토, 128-135.
15. 정학균, 임영아, 이혜진, & 김창길. (2016). 기후 스마트 농업의 실태 진단과 과제. 한국농촌경제연구원.
16. Akanoa, O., Modirwaa, S., Yusufb, A., & Oladelec, O. (2018, July). Making smallholder farming systems in Nigeria sustainable and climate smart. In 13th European IFSA symposium held in Chania, Greece.
17. Batchelor, S., & Schnetzer, J. (2018). Compendium on climate-smart irrigation: concepts, evidence and options for a climate-smart approach to improving the performance of irrigated cropping system. Compendium on climate-smart irrigation: concepts, evidence and options for a climate-smart approach to improving the performance of irrigated cropping system.
18. Brandt, P., Kvakicić, M., Butterbach-Bahl, K., & Rufino, M. C. (2017). How to target climate-smart agriculture? Concept and application of the consensus-driven decision support framework "targetCSA". Agricultural Systems, 151, 234-245.
19. Chandra, A., McNamara, K. E., & Dargusch, P. (2018). Climate-smart agriculture: perspectives and framings. Climate Policy, 18(4), 526-541.
20. FAO. (2013). Climate-Smart Agriculture: Sourcebook, p.ix
21. FAO. (2017). Climate-Smart Agriculture: Sourcebook. Second Edition. Retrieved from <http://www.fao.org/climate-smart-agriculture-sourcebook/enabling-frameworks/en/>
22. FAO. (2019a). Climate-smart agriculture and the Sustainable Development Goals. Retrieved from <http://www.fao.org/3/ca6043en/CA6043EN.pdf>.
23. FAO. (2019b). Operational guidelines for the design, implementation and harmonization of monitoring and evaluation systems for climate-smart agriculture. Rome, FAO.
24. Khatri-Chhetri, A., Aggarwal, P. K., Joshi, P. K., & Vyas, S. (2017). Farmers' prioritization of climate-smart agriculture (CSA) technologies. Agricultural systems, 151, 184-191.
25. Lewis, J., & Rudnick, J. (2019). The policy enabling environment for climate smart agriculture: A case study of California. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 3, 31.
26. Musumba, M., Grabowski, P., Palm, C. and Snapp, S. (2017). Guide for the Sustainable Intensification Assessment Framework. Feed the Future, USAID, Kansas State University. [https://www.k-state.edu/siil/documents/docs\\_siframework/Guide%20for%20SI%20Assessment%20Framework%20-%2010.24.17](https://www.k-state.edu/siil/documents/docs_siframework/Guide%20for%20SI%20Assessment%20Framework%20-%2010.24.17)
27. Negra, C., Vermeulen, S., Barioni, L. G., Mamo, T., Melville, P., & Tadesse, M. (2014). Brazil, Ethiopia, and New Zealand lead the way on climate-smart agriculture. *Agriculture & Food Security*, 3(1), 1-6.
28. Radeny M, Ogada MJ, Recha J, Kimeli P, Rao EJO, Solomon D. 2018. Uptake and Impact of Climate-Smart Agriculture Technologies and Innovations in East Africa. CCAFS Working Paper no. 251. Wageningen, Netherlands: CGIAR Research Program on Climate Change, Agriculture and Food Security (CCAFS). Retrieved from [www.ccafs.cgiar.org](http://www.ccafs.cgiar.org).
29. Saaty, T. L. (1990). How to make a decision: the analytic hierarchy process. *European journal of operational research*, 48(1), 9-26.
30. Saaty, T. L. 1980. The analytic hierarchy process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation. Pittsburgh, PA: University of Pittsburgh Publishing.
31. Sova, C. A., Grosjean, G., Baedeker, T., Nguyen, T. N., Wallner, M., Nowak, A., ... & Lizarazo, M. (2018). Bringing the Concept of Climate-Smart Agriculture to Life.
32. UNFCCC SBSTA. (2019a). Koronivia joint work on agriculture: Draft conclusions proposed by the Chairs. Retrieved from <https://unfccc.int/process-and-meetings/conferences/bonn-climate-change-conference-june-2019/sessions/sbsta-50>.
33. UNFCCC SBSTA. (2019b). Koronivia joint work on agriculture: Draft conclusions proposed by the Chairs. Retrieved from <https://unfccc.int/event/sbsta-51>.
34. UNFCCC. (2019). Climate action and support trends. Retrieved from [https://unfccc.int/sites/default/files/resource/Climate\\_Action\\_Support\\_Trends\\_2019.pdf](https://unfccc.int/sites/default/files/resource/Climate_Action_Support_Trends_2019.pdf).
35. World Bank (2018). Maharashtra Project for Climate Resilient Agriculture. Retrieved from <https://documents.worldbank.org/en/publication/documents-reports/documentdetail/704731519959668277/india-maharashtra-project-on-climate-resilient-agriculture-project>

36. Zougmore, R., Partey, S., Ouédraogo, M., Omitoyin, B., Thomas, T., Ayantunde, A., ... & Jalloh, A. (2016). Toward climate-smart agriculture in West Africa: a review of climate change impacts, adaptation strategies and policy developments for the livestock, fishery and crop production sectors. *Agriculture & Food Security*,

5(1), 1-16.

- 
- Received 18 October 2022
  - Finally Revised 28 November 2022
  - Accepted 29 November 2022