

R 2025-01 | 2025. 12.

REDD+를 활용한 해외 산림 탄소 감축 전략

Transnational Forest Carbon Mitigation Strategy through
REDD+

안현진 정효재 안규미



한국농촌경제연구원

R 2025-01 | 2025. 12. |

REDD+를 활용한 해외 산림 탄소 감축 전략

Transnational Forest Carbon Mitigation Strategy through
REDD+

안현진 정효재 안규미



한국농촌경제연구원

연구 담당

안현진 | 연구위원 | 연구 총괄, 제1~6장 집필

정효재 | 연구원 | 제2, 3, 5장 집필

안규미 | 전문연구원 | 제2, 3장 집필

연구보고 R2025-01

REDD+를 활용한 해외 산림 탄소 감축 전략

등 록 | 제6-0007호(1979. 5. 25.)

발 행 | 2025. 12.

발 행 인 | 한두봉

발 행 처 | 한국농촌경제연구원

우) 58321 전라남도 나주시 빛가람로 601

대표전화 1833-5500

인쇄처 | 에이치에이엔컴퍼니

I S B N | 979-11-6149-799-0 93520

- 이 책에 실린 내용은 출처를 명시하면 자유롭게 인용할 수 있습니다.
무단 전재하거나 복사하면 법에 저촉됩니다.

머리말

REDD+ 메커니즘은 개발도상국의 산림전용 및 황폐화를 방지하고 산림을 보전함으로써 온실가스배출을 줄이는 글로벌 이니셔티브로 자리매김하고 있으며 대한민국 또한 2050 탄소중립 및 2030 국가 온실가스 감축목표(NDC) 달성을 위해 해외 REDD+ 사업을 적극적으로 추진해 왔다. 그러나 REDD+의 실제 성과는 단순히 재정 투입이나 기술 적용만으로는 설명할 수 없는 복잡한 사회·제도적 요인들에 의해 좌우된다. 이에 따라 본 연구는 기존 REDD+ 사업의 한계를 정량적으로 분석하고 그 대안으로서 혼농임업(Agroforestry) 융합모델의 가능성과 효과를 평가하여 실행력 있는 정책 전략을 제안하고자 하였다. 특히, 확률 프론티어 분석(SFA)을 통해 REDD+ 프로젝트의 탄소 감축 성과를 규명하고, FSD/SSD 분석과 확실성 등가(Certainty Equivalent, CE) 기반의 시나리오 비교를 통해 미시적 의사 결정의 타당성을 입증함으로써, 기존 정성 중심의 평가에서 벗어나 과학적·계량적 근거를 제시하고자 하였다. 연구 결과 혼농임업 융합은 사업의 안정성과 다기능성을 높이는 전략으로 제시될 수 있음이 실증적으로 제시되었다. 특히 부패 환경하에서도 REDD+의 표준화된 설계는 결과의 일관성을 유지하는 데 긍정적 영향을 미칠 수 있다는 점은 향후 거버넌스 설계에 중요한 시사점을 준다. 본 보고서가 대한민국의 REDD+ 사업이 단순한 탄소 감축을 넘어, 파트너 국가와의 상생, 지역사회 생계 개선, 생태계 보전까지 아우르는 지속 가능한 기후협력 모델로 발전하는 데 기여할 수 있기를 기대한다.

2025. 12.

한국농촌경제연구원장 한 두 봉

요약

연구 목적

- 본 연구는 REDD+의 제도적·경제적·사회적 한계를 체계적으로 진단하고, 혼농임업(Agroforestry) 결합 전략을 통해 한국의 NDC 달성을 기여할 수 있는 실행 가능한 해외 산림 탄소 감축 포트폴리오를 제시하는 데 목적이 있음.
- 이를 위해 REDD+ 비효율 구조와 발생 경로를 규명하고, 혼농임업이 REDD+의 한계를 어떠한 메커니즘을 통해 보완하는지 분석하며, 혼농임업 결합형 REDD+의 효율성·위험·경제성을 단독형 REDD+와 비교·검증하고, 그 성과를 파리협정 제6조(ITMO) 및 국가 온실가스 회계(NDC)와 연계하는 제도·재정·거버넌스 방안을 모색하였음.

연구 방법

- 연구는 문헌·사례 분석과 계량 분석을 결합한 혼합 방법을 적용하였음. 네팔, 인도네시아, 캄보디아, 잠비아 등 주요 REDD+ 추진국 사례를 통해 토지권, 거버넌스, 생계 구조 등 REDD+의 구조적 제약 요인을 정리하였음. 조사를 위해 문헌 연구, 전문가 면담, 현지 출장을 수행함.
- 확률프론티어(SFA) 분석으로 프로젝트 규모, 크레디팅 기간, 산림향상 활동, 교육·기술 지원, 부패 수준, 혼농임업 변수 등이 REDD+ 효율성에 미치는 영향을 정량적으로 추정하였음.
- 이어 라오스 풍살리 지역을 대상으로 티크 단독 조림(A), 단기 혼농임업(B), 장기 혼농임업(C) 및 전용률을 내재화한 A2·C2 시나리오를 설계하고, NPV 분석, 몬테카를로 시뮬레이션(탄소 가격 불확실성), 1·2차 확률적 지배, SERF

(확실성 등가)를 활용해 위험 조정 관점에서 전략 우위를 비교하였음.

연구 결과

- 분석 결과, 기존의 산림보전 위주 REDD+ 사업만으로는 성과 한계가 뚜렷하며, 산림과 농업을 결합한 혼농임업 통합 모델로의 전환이 필수적인 것으로 나타남.
- REDD+ 사업 성과를 좌우하는 요인을 계량적으로 검증한 결과, 단순한 재정 투입이나 기술공급보다 지역사회 참여, 권리 체계, 대안 소득 제공, 모니터링 같은 제도·사회적 요소가 성공 여부를 결정짓는 핵심임이 밝혀졌음. 실제 140 개 글로벌 REDD+ 프로젝트의 효율성 분석(SFA)에서 지역 주민 FPIC 준수 여부, 산림복원·조림 등 산림향상 활동 포함 여부, 환경교육 및 기술 지원 제공 여부 등이 프로젝트 비효율성을 유의하게 낮추는 요인으로 도출되었음.
- SFA 분석에서는 장기 운영, 산림향상 활동, 역량 강화가 효율성을 제고하는 반면, 부패 수준이 높을수록 평균 비효율성이 증가하는 것으로 나타났고, 혼농 임업은 평균 감축량 증대보다는 프로젝트 간 성과 변동성을 줄이는 ‘리스크 완충 장치’로 기능하였음.
- 라오스 시나리오 분석에서는 30년 기준 장기 혼농임업(C·C2)이 NPV, 확률적 지배, CE 측면에서 단독 조림(A·A2)보다 우월했으나, 60~80년 장기 탄소량만을 기준으로 할 경우 고밀도 조림형 A2가 더 큰 탄소 잠재력을 보여, 단·중기 혼농임업 중심·장기 조림형 보완이라는 시간 분할형 포트폴리오의 필요성이 도출되었음.

정책적 시사점

- 향후 REDD+ 사업을 설계·집행함에 있어 산림보전과 생산활동을 결합한 거버넌스 모델을 구축하는 데 역량을 집중할 필요가 있음. 이는 과거의 단순 산림보전 사업에서 탈피하여 산림과 농업을 아우르는 토지이용 전략으로 전환함으로써 탄소 감축과 지역사회 공동번영을 동시에 실현하는 접근임.
- 이를 위한 구체적인 정책 방향으로는 첫째, REDD+는 단순조림·보전 사업이 아니라 토지권, 부패 억제, 분권형 거버넌스, 생계 다변화 등을 포괄하는 ‘구조 개혁형 프로그램’으로 재설계되어야 함.
- 둘째, 한국의 해외 산림 전략은 2030 NDC 달성을 위해 혼농임업 기반 REDD+를 단·중기 핵심축으로 두고 2050 탄소중립을 대비해 조림형 REDD+를 장기 탄소은행으로 축적하는 이원적 포트폴리오로 전환할 필요가 있음.
- 셋째, 혼농임업형 REDD+ 성과를 NDC에 반영하기 위해 시간·공간 차별적 기준선, 전용률·비탄소 지표를 포함한 다차원 MRV, 제6조에 부합하는 상응조정·이증계상 방지 규칙, 커뮤니티 기반 이익 공유, ODA·기후기금·민간자본을 결합한 혼합금융 구조를 병행 구축해야 함.
- 넷째, 이는 REDD+를 ‘좋은 프로젝트 모음’에서 ‘한국 기후·산림정책의 한 축’으로 격상시키는 전략적 전환으로, 향후 다양한 국가·모델에 대한 확률지배·포트폴리오 분석, 사회·성별·경제 영향 평가, ITMO·금융 구조 모형화를 통해 더욱 정교화될 필요가 있음.

ABSTRACT

Transnational Forest Carbon Mitigation Strategy through REDD+

Purpose of Research

- This study aims to diagnose the institutional, economic, and social limitations of REDD+ and to propose a practical overseas forest-based carbon mitigation portfolio that integrates agroforestry as a strategic pathway for Korea's NDC achievement.
- Specifically, the research identifies the structural sources of REDD+ inefficiency and analyzes the mechanisms through which agroforestry can complement these weaknesses.
- It also quantitatively compares the efficiency, risk, and economic performance of agroforestry-integrated REDD+ with conventional standalone REDD+, and explores the institutional, financial, and governance arrangements required to link overseas REDD+ outcomes with Paris Agreement Article 6 (ITMO) and national GHG accounting (NDC).

Research Method

- A mixed-method approach was employed, combining literature and case analysis with econometric and scenario-based modeling. Case

studies from Nepal, Indonesia, Cambodia, and Zambia were used to identify structural constraints related to land tenure, governance, and livelihood systems.

- Field visits, expert interviews, and document analysis were conducted to supplement these findings. A stochastic frontier analysis (SFA) was performed using 140 global REDD+ projects, examining the effects of project size, crediting period, forest enhancement activities, technical training, corruption levels, and agroforestry variables on project efficiency.
- In parallel, REDD+ and agroforestry scenarios were designed for Laos' Phongsaly Province?ranging from pure teak plantation (A), short-cycle agroforestry (B), long-cycle agroforestry (C), to deforestation-adjusted extensions (A2, C2).
- These were evaluated through NPV estimation, Monte Carlo simulations incorporating carbon price uncertainty, first- and second-order stochastic dominance tests, and certainty-equivalent (SERF) analysis.

Main Findings

- The empirical findings indicate that REDD+ projects face clear performance limits when relying solely on forest conservation or plantation-based approaches.

- Institutional weakness, insecure land tenure, insufficient incentives, limited participation, and inequitable benefit distribution emerged as core bottlenecks.
- SFA results showed that long-term project duration, forest enhancement activities, and capacity-building significantly improved efficiency, while higher corruption levels increased inefficiency.
- Agroforestry did not drastically increase average emission reductions; rather, it served as a “risk-buffering mechanism,” stabilizing project outcomes and reducing performance volatility.
- In the Laos scenario analysis, long-cycle agroforestry (C, C2) consistently outperformed pure plantations (A, A2) in NPV, stochastic dominance, and certainty-equivalent measures over a 30-year horizon.
- However, over extended periods (60?80 years), high-density plantations (A2) displayed greater long-term carbon-stock potential, emphasizing the need for a time-differentiated portfolio strategy: agroforestry for short- and medium-term performance, and afforestation for long-term carbon banking.

Policy Suggestions

- Policy implications highlight the necessity of incorporating agroforestry as a core element in Korea’s overseas REDD+ cooperation.

- First, REDD+ must transition from a narrow conservation project model to a structural reform program that integrates land tenure clarification, anti-corruption safeguards, decentralized governance, and livelihood diversification.
- Second, Korea’s overseas forest strategy should adopt a dual-track approach: agroforestry-based REDD+ as the main vehicle for achieving 2030 NDC targets, and afforestation-based REDD+ as a long-term carbon reservoir for 2050 carbon neutrality.
- Third, to formally account for agroforestry-based REDD+ outcomes in NDC inventories, advanced baseline setting, deforestation-rate modeling, multidimensional MRV (including non-carbon indicators), Article 6-compliant corresponding adjustments, community-based benefit-sharing structures, and blended-finance mechanisms (ODA·climate funds·private investment) must be established.
- Finally, REDD+ should evolve from a collection of discrete “good projects” into a systemic pillar of Korea’s climate and forest policy, supported by expanded stochastic dominance analyses across countries, socio-economic and gender impact assessments, and dynamic modeling of ITMO and blended-finance mechanisms.
- The results collectively underscore that combining REDD+ with agroforestry is not merely an option but a strategic necessity for achieving robust, equitable, and scalable overseas carbon mitigation

outcomes aligned with Korea's climate commitments.

Researchers: AN Hyunjin, JUNG Hyojae, AHN Kyumi

Research period: 2025. 1. - 2025. 10.

E-mail address: hjan713@krei.re.kr

차 례

제1장 서론	1
1. 연구 필요성	3
2. 연구 목적	6
3. 선행연구 검토	6
4. 연구 내용과 방법	13
5. 연구추진 체계	17
6. 연구 기대효과 및 활용 방안	18
제2장 REDD+의 현황과 한계	19
1. REDD+ 개념 및 주요 이니셔티브	21
2. 글로벌 REDD+ 사업 동향	27
3. REDD+의 한계	41
4. REDD+ 사업의 주요 비효율 요인 분석	51
5. 요약 및 시사점	60
제3장 혼농임업과 REDD+ 연계 사례	65
1. 혼농임업의 개념과 기능	67
2. REDD+에서의 혼농임업과 도전과제	70
3. 요약 및 시사점	94
제4장 혼농임업 기반 전략 시나리오 분석: 라オス 사례	99
1. 혼농임업 기반 REDD+ 시나리오 평가	101
2. 정책 시나리오 분석	113
3. 확률적 지배(Stochastic Dominance)를 적용한 우월 시나리오 도출	132
4. 요약 및 시사점	155

제5장 REDD+혼농임업 융합모델 구축 방향	159
1. 기본 방향	161
2. 핵심과제 및 세부 실행전략	166
3. 정책 로드맵과 향후 과제	175
제6장 요약 및 결론	179
부록	
1. 혼농임업 작물과 수종	189
참고문헌	191

표 차례

제1장

〈표 1-1〉 국내외 연구 주요 내용 정리	11
-------------------------------	----

제2장

〈표 2-1〉 REDD+ 활동의 종류	23
〈표 2-2〉 REDD+ 주요 참여 국가 및 활동 내용 정리	28
〈표 2-3〉 산림청의 주요 REDD+ 시범사업 개요	31
〈표 2-4〉 실증분석에 사용된 변수	56
〈표 2-5〉 분석 결과	57
〈표 2-6〉 REDD와 혼농임업 결합의 무조건부 한계효과	59

제3장

〈표 3-1〉 혼농임업 유형 비교	68
〈표 3-2〉 일반 혼농임업과 REDD+에서의 혼농임업의 차이	71
〈표 3-3〉 인도 편자브주 혼농임업 사업 개요	78
〈표 3-4〉 에티오피아 커피와 가나 코코아 혼농임업 특징과 REDD+ 목표와의 연계 ..	80
〈표 3-5〉 에티오피아와 가나의 혼농임업 시스템별 탄소저장량 비교	81
〈표 3-6〉 혼농임업 시스템의 생산물별 경제적 가치 추정	81
〈표 3-7〉 생산 시스템별 수익성 비교	82
〈표 3-8〉 혼농임업 시스템의 생태계 서비스 가치 추정	83

제4장

〈표 4-1〉 UNFCCC에 제출된 라오스 기준선/배출기준선 정보	105
〈표 4-2〉 라오스 토지 및 산림 피복의 상위 레벨(Level 1) 구분 및 속성	108
〈표 4-3〉 라오스 토지 및 산림 피복 하위 레벨(Level 2) 구분	108
〈표 4-4〉 라오스 풍煞리 주 연도별 계층별 산림면적 변화(2000~2019)	110

〈표 4-5〉 풍살리 주의 4개 분기별 배출활동에 따른 배출량 산정	111
〈표 4-6〉 풍살리 주의 행정지도	112
〈표 4-7〉 UC(고지대 작물) 사진	113
〈표 4-8〉 시나리오별 권장 식재밀도	115
〈표 4-9〉 티크 1그루당 연령별 ER	117
〈표 4-10〉 시나리오 A: 조림단독	119
〈표 4-11〉 시나리오 B: 혼농임업(티크+카사바 3년 단작)	119
〈표 4-12〉 시나리오 C: 혼농임업(티크+카사바 10년 혼농임업 유지)	120
〈표 4-13〉 시나리오별 비용 및 식재 본수: 기본 시나리오	121
〈표 4-14〉 시나리오별 비용 및 식재 본수: 확장 시나리오	124
〈표 4-15〉 시나리오별 현금 흐름 및 NPV 비교: 기본 시나리오	127
〈표 4-16〉 시나리오별 현금 흐름 및 NPV 비교: 확장 시나리오	131
〈표 4-17〉 시나리오별 현금 흐름 및 NPV 비교: 확장 시나리오, 탄소 수익만 고려	146
〈표 4-18〉 사업 기간별 탄소 수익 변화: 확장 시나리오	149
〈표 4-19〉 확장 시나리오 SD 결과 요약	154

제5장

〈표 5-1〉 REDD+·혼농임업 결합형 해외 산림 탄소 감축 전략: 정책 제안 요약	177
---	-----

부록

〈부표 1-1〉 혼농임업 작물 및 수종	189
-----------------------	-----

그림 차례

제1장

〈그림 1-1〉 연구추진 체계도 17

제2장

〈그림 2-1〉 REDD+의 확장 23
〈그림 2-2〉 REDD+ 4대 기반 주요 내용 24
〈그림 2-3〉 REDD+ 실적의 NDC 반영 요건 도식화 34
〈그림 2-4〉 JCM 프로젝트 크레딧 배분 비율 40

제3장

〈그림 3-1〉 혼농임업이 REDD+ 메커니즘에 기여하는 두 가지 경로 72
〈그림 3-2〉 케푸티(Keputih) 맹그로브 생태복원 현장 75
〈그림 3-3〉 워노레조 생태 관광체험 및 맹그로브 가공식품 77

제4장

〈그림 4-1〉 라오스 행정구역 및 인구 분포 103
〈그림 4-2〉 풍살리 주 지도 107
〈그림 4-3〉 라오스 풍살리 주 임상도 109
〈그림 4-4〉 시나리오별 CDF 도출 결과: 기본 시나리오 141
〈그림 4-5〉 시나리오별 CE 도출 결과: 기본 시나리오 143
〈그림 4-6〉 시나리오별 CDF 도출 결과: 확장 시나리오 147
〈그림 4-7〉 시나리오별 CE: 확장 시나리오 148
〈그림 4-8〉 티크의 임령별 산림 탄소 추가 흡수량 변화 149
〈그림 4-9〉 시나리오별 CDF 도출 결과: 확장 시나리오, 60년 사업 기간 150
〈그림 4-10〉 시나리오별 CE: 확장 시나리오, 60년 사업 기간 151
〈그림 4-11〉 시나리오별 CDF 도출 결과: 확장 시나리오, 80년 사업 기간 153
〈그림 4-12〉 시나리오별 CE: 확장 시나리오, 80년 사업 기간 153

제1장

서론

서론

1. 연구 필요성

우리나라는 2050 탄소중립과 2030 국가온실가스감축목표(이하 ‘NDC’)를 달성하기 위해 산림·임업 부문을 핵심적인 탄소흡수원으로 설정하고 있다. 특히 2030년까지 달성해야 하는 흡수량 목표 2,670만 tCO₂ 중 약 95%를 산림이 담당하도록 설계하고 있으며, 이는 한국이 산림 흡수원을 주요 전략 축으로 관리하고 있음을 보여준다. 그러나 국내 산림 여건을 면밀하게 들여다보면 이러한 전략은 구조적 한계를 내포하고 있다. 국토의 60% 이상이 이미 산림으로 구성되어 있어 신규 조림 면적을 확보하기 어렵고, 기존 산림의 흡수능력 또한 2030년대 이후 점차 정체될 것으로 전망된다. 동시에 임목 축적이 높은 중·노령림 비중 확대, 병해충·기후위기 요인 증가 등으로 인해 국내 산림 흡수원의 장기적 안정성도 낮아지고 있다.

결국 국내 산림 흡수원만으로는 2030 NDC와 2050 탄소중립 목표를 달성하기 어렵다는 점이 정책적으로 명확해지고 있으며, 이를 보완하기 위한 해외 감축 전략의 중요성이 확대되고 있다. 한국 정부는 이미 국제 감축 목표 3,750만 tCO₂ 중 약 500만 tCO₂를 REDD+를 통해 확보하겠다는 목표를 설정한 바 있다.

REDD+(Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation)는 산림전용과 황폐화를 방지하고 산림관리 개선을 통해 온실가스를 감축·흡수하는 국제 메커니즘으로, 국내 감축 수단의 한계를 보완할 수 있는 가장 대표적인 해외 산림 기반 전략으로 평가된다. 특히 REDD+는 토지 전용을 방지하는 감축 효과뿐 아니라 조림·재조림 등 신규 흡수원 확보가 가능해 신규조림 여력이 제한된 국가에 필수적인 정책 옵션이다.

그러나 REDD+는 실제 현장에서 다양한 제도적·경제적·사회적 한계를 드러내며, 사업의 실효성을 약화시키는 구조적 요인이 다수 존재한다. 첫째, 성과를 정량적으로 검증하기 위한 체계가 미비하여 실제 감축 효과를 객관적으로 평가하기 어렵다. 둘째, 산림 상태, 제도적 안정성, 지역사회 참여, 사회·경제적 여건 등 성과를 제약하는 요인에 대한 실증적 분석이 부족하다. 셋째, REDD+가 지역 주민의 생계와 공동 편익을 함께 고려해야 함에도 불구하고, 실제 사업 설계는 조림과 보호 중심으로 편중되어 있어 주민의 참여와 지속 가능성성이 충분히 확보되지 못하고 있다. 산림보전 중심 REDD+는 초기 비용 부담이 크고, 수익 실현까지 시간이 오래 걸려 지역 정부 및 주민의 사업 참여 유인을 약화시키는 경향이 있다. 이러한 구조에서는 탄소 수익만으로 장기적 산림관리 비용을 충당하기 어렵기 때문에, 조림·보전형 REDD+ 모델이 장기적으로 ‘재정적 지속성(financial sustainability)’을 확보하는 데 근본적 제약이 발생한다. 실제로 REDD+ 실패 사례 중 다수가 주민 생계와의 충돌을 해결하지 못한 점에서 비롯되고 있으며, REDD+의 지속 가능성을 위해서는 생계전환을 동시에 고려하는 통합적 접근이 요구된다.

이러한 문제점들은 REDD+를 단순한 보전 중심의 기후변화 대응 수단으로 유지해서는 실질적 감축 성과를 달성할 수 없음을 보여준다. 제도적 안정성, 경제적 지속 가능성, 사회적 수용성을 함께 충족하는 새로운 접근 방식이 필요하며, 이에 대한 대안으로 혼농임업(Agroforestry)이 국제적으로 빠르게 주목받고 있다. 혼농 임업은 나무와 농작물, 가축을 결합해 토지 생산성을 극대화하고, 생태·경제·사회적 편익을 동시에 확보하는 지속 가능한 토지이용 모델이다. 혼농임업이 REDD+의 구조적 취약성을 보완하는 핵심 기제로 기능할 수 있는 이유는 다음과 같다. 첫

째, 혼농임업은 탄소흡수를 촉진하는 효과가 크다. 혼농임업이 산림전용을 억제하는 가장 효과적인 접근 중 하나이기 때문이다. 주민이 농작물 수확을 통해 단기 소득을 확보하면 신규 경작지를 개간할 필요성이 줄어들고, 이는 REDD+의 핵심 성능지표인 전용률 감소의 직접적 기여로 이어진다. 둘째, 혼농임업은 생계 개선과 기후적응을 동시에 달성한다. 다양한 작물 기반 소득원은 농가의 기후 위기 취약성을 줄여주며, 토양보전·수분 유지 등 생태적 회복력을 높여 장기 탄소흡수의 안정성을 강화한다. 셋째, 혼농임업은 공적개발원조(ODA) 및 지속 가능발전목표(SDGs)와의 연계 가능성성이 높아 공적자금의 활용 효율성을 높일 수 있다. 즉 혼농임업 기반 REDD+는 탄소 감축 성과뿐 아니라 빈곤 감소, 생태복원, 기후적응 등 다중 편익을 동시에 달성하는 복합 전략으로 평가된다.

이러한 배경에서 본 연구는 REDD+의 구조적 한계를 실증적으로 분석하고, 혼농임업 결합형 REDD+ 모델이 탄소흡수성과·경제성·사회적 지속 가능성을 개선 할 수 있는지를 제시하는 것을 목적으로 한다. 본 연구는 다음 네 가지 핵심 질문에 따라 구성된다. 첫째, REDD+의 제도적·경제적·사회적 비효율은 무엇이며, 이러한 한계는 어떤 구조적 요인에서 비롯되는가? 둘째, 혼농임업은 어떻게 REDD+의 한계를 어떻게 보완할 수 있는가? 셋째, 혼농임업 결합형 REDD+는 효율성(확률 프론티어), 위험(확률지배, 확실성 등가), 경제성(순현재가치) 측면에서 기존 단독형 REDD+보다 우월한가? 넷째, 이러한 혼농임업형 REDD+ 성과를 국가온실가스감축목표(NDC)와 어떻게 연계할 수 있는가? 궁극적으로 본 연구는 REDD+와 혼농임업의 결합을 통해 산림보전과 지역 생계 향상이 조화를 이루는 지속 가능한 해외 산림 탄소 감축 포트폴리오를 제시하고, 이를 통해 한국이 2030 NDC와 2050 탄소중립 목표를 달성하기 전략을 제시하는 데 기여하고자 한다. 이러한 접근은 단순조림·보전 사업을 넘어 다중 편익 기반의 국제감축 전략을 구축해야 하는 글로벌 기후정책 환경에서 한국이 선도적 역할을 확보하는 데 중요한 의미를 가진다.

2. 연구 목적

본 연구는 REDD+의 구조적 한계를 진단하고, 혼농임업 결합 전략을 통해 한국의 NDC 달성을 기여할 수 있는 실행 가능한 해외 산림 탄소 감축 전략을 제시하는 것을 목적으로 한다. 구체적으로, 첫째 REDD+의 제도적·경제적·사회적 비효율은 무엇이며, 어떤 경로로 발생하는지를 규명하고자 한다. 둘째, 혼농임업이 REDD+의 한계를 어떻게 보완할 수 있는지를 분석한다. 셋째, 혼농임업 결합형 REDD+가 효율성, 위험, 경제성 측면에서 단독형 REDD+보다 우월한지를 정량적으로 검증한다. 마지막으로, 파리협정 제6조(ITMO) 체계와 NDC 간의 연계를 통해 REDD+ 성과를 국내 감축목표에 어떻게 반영할 수 있는지를 제시한다.

3. 선행연구 검토

3.1. 해외 연구

Angelsen(2008)의 보고서에서는 REDD+의 초기 목표는 결과기반보상(Result-based Payment)을 통해 개발도상국이 산림을 보전하도록 유도하는 것이지만 글로벌 탄소 시장 부재 및 제한된 재정 지원으로 인해 기대만큼의 성과를 거두지 못함을 밝혔다. 주요인으로는 재정문제, 정책 개혁 미흡, 낮은 NDC와의 연계성, 원주민 토지권 보장, 기대에 미치지 못하는 민간부분 참여 등을 지목하였다. 이를 보완하기 위해 특정 지역 전체에서 REDD+, 지속 가능한 공급망, 국가 정책을 통합적으로 운영하는 방식이 유망하고, 농업 생산성 증대가 오히려 산림 파괴를 촉진할 위험이 있어, 농업과 산림보전을 연계하는 정책이 필요함을 밝혔다. 또한 다양한 복원 프로젝트가 진행 중이나 자금 부족이 나타나므로 지속 가능한 토

지이용 유인 강화가 필요함을 주장하였다. REDD+는 기대만큼의 성과를 내지는 못했지만, 여전히 기후변화 대응에서 중요한 역할을 하고 있으며, 향후 10년 동안 REDD+의 성공을 위해 정책적 조정, 재정 지원, 민간 부문 참여 유도 등 종합적인 접근이 필요함을 주장하였다.

Minang et al.(2011)에 따르면 혼농임업(Agroforestry)은 REDD+에서 공식적으로 언급되지는 않았으나, 국가별 산림 정의에 따라 REDD+ 메커니즘의 일부로 포함될 가능성이 있다. 혼농임업(Agroforestry)의 REDD+ 기여 가능성으로는 식량·연료·목재 수요를 충족시키면서 농지 확장을 줄이면, 산림파괴를 방지할 수 있다. 대표적인 사례로 서아프리카 및 중앙아프리카의 카카오 농업 사례가 존재한다. 농가에서 자체적으로 목재 및 연료를 생산함으로 산림황폐화를 방지할 수 있으며 대표 사례로 탄자니아의 최전식 조림 시스템의 예시가 있다. 이 외에도 인도네시아에서는 다양한 작물을 혼합 재배하는 농가는 산림 의존도가 낮음을 밝힌다. 그러나 혼농임업 시스템은 초기 2~3년간 소득이 발생하지 않으며, 투자 대비회수 기간이 길다는 단점이 있다. 따라서 REDD+ 기금 또는 기후 적응 자금을 활용한 재정 지원 및 인센티브 제공이 필요함을 강조하였다.

Minang et al.(2014)은 REDD+ 프로그램에서 혼농임업(Agroforestry)의 역할을 분석하고, 아프리카 사례를 중심으로 REDD+ 전략 내에서 혼농임업이 어떻게 활용될 수 있는지 검토하였다. 연구에서는 혼농임업이 REDD+의 직접적인 목표가 될 수도 있고, 간접적으로 기여할 수도 있으며, 국가별 산림 정의에 따라 그 역할이 달라질 수 있음을 강조한다. 혼농임업은 REDD+의 직접적인 대상이 되지 않더라도, 산림 보호 및 지속 가능한 개발을 위한 보완 전략으로 활용될 수 있다. 본 연구에서는 아프리카 11개국 REDD+ 준비 계획을 분석하였다. 90% 이상의 국가에서 연료 및 건축자재 수요 증가가 주요 산림파괴 요인으로 언급되었다. 연구대상 국가 중 40%의 국가에서 적어도 두 가지 이상의 혼농임업 기반 REDD+ 전략이 포함되나 실제 실행 사례는 극히 적었고, 대부분 국가는 혼농임업을 효과적으로 활용하는 구체적인 방안을 마련하지 못함을 발견하였다. 이에 따라 본 연구는 다음과 같이 혼농임업의 REDD+ 활용을 위한 정책 과제를 제시하였다. 첫째는 REDD+

에서 혼농임업을 효과적으로 포함하려면 토지 및 탄소 소유권 개혁이 필요하다. 둘째는 혼농임업 시스템은 초기 2~3년간 수익이 없고, 투자 대비 회수 기간이 길다. 따라서 재정 지원 및 시장 인프라 개선이 필요하다. 마지막으로 혼농임업이 REDD+에 미치는 영향에 대한 정량적 연구가 부족함을 강조하고, REDD+ 및 기후 변화 대응을 위한 혼농임업 효과를 객관적으로 평가할 연구가 필요함을 밝혔다.

Reang et al.(2021)은 인도 동부 히말라야 지역에서 오랫동안 시행되어 온 전통적인 파인애플 혼농임업 시스템이 REDD+에 적용 가능한 혼농임업 형태임을 보여준다. 실증분석을 통해 자생림에서 파인애플 혼농임업으로 전환하면 시간이 지남에 따라 탄소 저장량이 증가하고, 생물다양성 또한 유지된다는 결과를 도출했다. 이러한 혼농임업 시스템이 REDD+ 메커니즘에 적용될 경우, 농가에게 실제 탄소 크레딧을 지급하여 소득 증진에도 기여할 수 있음을 시사하고 있다. 이 연구는 각 나라가 가지고 있는 고유의 혼농임업 방식이 REDD+에 적용될 경우, 탄소 감축뿐만 아니라 농가의 소득 증대에도 기여할 수 있음을 보여준다. 예를 들어, 아프리카 사례에서 보듯, 혼농임업을 REDD+에 효과적으로 적용하기 위해서는 추가적인 제도적 절차가 필요하지만, 각 나라와 지역에서 이미 시행되고 있는 고유한 방식을 우선적으로 고려하고, 이러한 방식이 실제로 REDD+의 목표에 부합하는지를 먼저 검토한다면, 제도적 절차 및 인프라 개선 등 추가적인 논의가 최소화 될 수 있을 것이다.

3.2. 국내 연구

이상민 외(2015)는 그간 임업 분야 국제개발 협력 프로젝트의 성과와 문제점을 검토하여 한국 임업의 강점을 활용한 국제개발협력 사업의 전략안 및 중점협력 국가별 전략서 마련을 위한 가이드라인을 제안하였다. 과거에 비해 기후변화의 중요성이 높아진 반면, 과거 높은 비중을 차지하였던 임업개발 비중은 크게 감소하는 추세이다. 한국은 산림 ODA 사업은 시행기관이 국내 공공기관이나 비정부기

구(NGO) 등 공여국의 기관이 대부분이며 지역도 아시아 지역에 편중이 심한 편이다. 수원국의 주인의식을 고취할 수 있는 유상 원조의 비율이 임업분야에서는 전무하며, 지나치게 다양한 부처의 정부기관들이 직접 ODA 사업을 추진하여 기관 간 협조 부재로 인한 분절화 현상이 나타난다. 현 체계에서 산림부문의 참여는 산림면적 비율을 높이는 사업에 국한될 수밖에 없는 한계가 나타나며, ODA를 해외 산림개발과 연계하여 설계함으로써 목재자원 조달의 돌파구를 찾고 참여 기업의 적극적인 투자를 유도하는 것이 필요함을 주장하였다.

박미선·윤여창(2012)은 우리나라를 통해 배출권을 확보할 수 있는 대상지를 찾기 어려우므로 국외 산림사업을 통해 탄소배출권을 확보하는 것이 필요하다고 주장하였다. 본 연구에서는 단계적이고 실천적인 REDD+ 전략을 개발하기 위하여 전략적 의사결정 방법인 농업 탄소 삼림계정 및 산림 황폐화 방지 기법을 활용하였다. 사업대상지로 각광받고 있는 인도네시아에서의 REDD+ 사업 전략 개발을 목적으로 하였다. 정부 중심의 사업 추진 전략 시나리오를 바탕으로 REDD+ 사업에 대한 전략적 접근을 시도하였다. 전략의 시기별 중요도와 자원 보유 수준을 고려하여 초·중·말기 전략으로 구분하였다. 초기에는 양국의 정보공유와 사업기반 구축에 집중하여 현지 인적 네트워크 구축, 대상지 선정, 교육 실시, 법률 정비를 해야 하고, 중기에는 관련 전문 조직을 구성하고 기업의 사업참여를 유도해야 한다. 말기에는 선정된 대상지 이해관계자들과 정보를 공유하면서 이의 분배에 관한 논의를 추진하고 기술 개발을 심화시켜야 한다. 향후 연구는 전문가들의 검토 보완이 나타나야 함을 강조했다.

송민경 외(2024)의 연구에서는 대한민국은 국가온실가스감축목표(NDC) 달성을 위해 2030년까지 REDD+를 통해 500만 톤의 CO₂eq 감축을 목표로 설정했으나 이러한 목표를 정부 주도만으로 달성하는 것은 어렵기 때문에, 다양한 REDD+ 프로젝트를 통해 민간 부문의 적극적인 참여를 유도하고 측정 가능한 감축 성과를 확보하는 것이 필수적이라고 주장한다. 이에 본 연구는 민간 부문의 REDD+ 참여를 촉진하기 위해 설문 응답자를 선정하고, 민간 참여를 유도할 수 있는 질문을 구성하여 현재의 인식 수준을 분석하였다. 연구 결과, 응답자 대부분이 REDD+ 및

관련 정책에 대한 인식이 낮은 것으로 나타났다. 그럼에도 불구하고 상당수의 응답자는 REDD+ 프로젝트 참여를 긍정적으로 검토하고 있으며, 이를 기업의 온실 가스 감축 및 탄소 중립 목표 달성을 유용한 수단으로 인식하고 있었다. 본 연구에서 제안하는 민간 부문의 REDD+ 참여 촉진을 위한 정책 요소는 다음과 같다. 먼저, 민간 부문이 REDD+를 통한 NDC 기여 방안을 보다 잘 이해할 수 있도록 관련 정보의 전달을 강화해야 한다. 또한, REDD+ 결과를 NDC 목표에 활용할 수 있도록 다양한 참여 모델과 금융 지원을 포함한 단기 및 장기 지원 방안의 필요성을 주장하였다.

장은혜(2022)는 REDD+ 논의가 구체화되고 체계화될 수 있었던 중요한 이유는 REDD+가 특정 국가에만 이익을 주는 것이 아니고 전 세계에 유익한 일이라는 공감대가 형성되었기 때문임을 밝혔다. 기후변화에 대응하고자 하는 국가가 이를 활성화하고 체계적으로 이행해야 할 명분은 충분하지만 우리나라의 입장에서 REDD+ 이행을 활성화해야 하는 이유에 대해서는 조금 더 구체적으로 정리가 필요함을 주장하였다. 또한 현행 탄소흡수원법은 ‘국내 산림의 탄소흡수원 기능을 유지하고 증진’ 시키기 위한 정책에 중점을 두고 있다 보니, 국제적인 차원에서의 탄소흡수원 유지 증진을 위한 시책과의 연계성이 부족하다고 밝혔다. 현재 국회에 제출된 REDD+ 법률안에서 규정하고 있는 내용들은 파리협정에 따른 신기후 체제에서 우리나라가 REDD+를 이행하기 위해 필요한 제도적 사항들을 개괄적으로 담고 있다는 점에서 의미가 크지만, 현행 법령과의 관계 설정이 분명하지 않고 개념 정의가 명확하지 않은 부분은 법 적용 시 혼란을 가지고 올 수 있다는 점에서 재검토가 필요함을 강조하였다.

정유진·김준순(2024)은 국내에서는 농림업, 교육, 교통 등 다양한 분야의 공적 개발원조(Official Development Assistance: ODA) 및 국제개발협력 사업 대상국을 선정하기 위한 연구가 활발히 진행되어 왔으나 REDD+ 사업 대상국과 관련된 연구는 매우 부족한 실정임을 주장하였다. 또한 기존의 연구들은 REDD+ 사업의 잠재 가능성이나 우리나라와의 협력 관계를 고려하였으나, 대상국의 정치 및 사회·경제 상황을 반영하지 못한 한계가 있었다. 본 연구에서는 개발도상국의 산림

및 환경, 사회경제적 요인, 정치적 특성, 우리나라와의 협력 체결 여부 등 다양한 요인을 통계학적 분석 기법을 통해 분석하고, 이를 바탕으로 우리나라가 REDD+ 협력을 추진할 수 있는 국가의 유형을 구분하였다.

REDD+ 이행 현황은 바르샤바 REDD+ 프레임워크의 4대 이행기반 구축 여부, NDC에 산림 및 REDD+의 포함 여부, 우리나라와의 협력 관계는 산림청 양자협력국, 외교부의 기후변화 기본협정 체결 여부와 중점협력국을 고려하였고, 산림 현황은 산림률과 2010~2020년 기준 연간 순산림변화율, 사회경제 요인으로는 1인당 GDP, 인간개발지수(Human Development Index: HDI), 지속 가능발전목표 평가 지수를 사용하였다. 정치적 상황은 세계거버넌스지수(World Governance Indicators: WGI)에서 제공하는 정치적 안정, 정부 효율성, 부정부패를 선정하여 총 13개의 변수를 설정하였다. 사업 대상국 선정을 위해 문헌검토, 주성분 분석, 계층 및 비계층적 군집분석의 단계로 진행하였다.

요인분석과 군집분석의 결과를 바탕으로, 최종적으로 국가를 네 가지 유형으로 구분하였으며, 군집 4는 ‘우선 접근형 국가’로 구분하였다. 이 군집에 속한 국가들은 우리나라와의 협력 관계가 긍정적이며, 타 군집보다 REDD+ 4대 기반이 잘 구축되어 있다. 이들 국가는 REDD+ 사업을 통해 효율적으로 감축 실적을 확보할 수 있는 우선적인 대상 국가로서, 신속하고 전략적인 접근이 필요하다. 우선 대상 국가 25개 국가 중 1순위로 4대 기반을 모두 구축하고 우리나라와의 협력이 긍정적인 국가는 라오스, 캄보디아, 가나이다. 따라서 향후 REDD+ 신규 사업 추진 시 이 4개의 국가를 우선적으로 고려할 것을 권유하고 있다.

〈표 1-1〉 국내외 연구 주요 내용 정리

연구자	주요 내용	대상 지역	방법	주요 발견
Angelsen et al.(2018)	REDD+ 성과 부족 원인 및 개선 필요성, 지속 가능한 공급망 및 국가 정책	글로벌	문헌분석	REDD+를 위해 정책적 조정과 재정 지원 필요
Minang et al.(2011)	흔농임업이 REDD+에 포함될 가능성 검토, 흔농임업이 산림 보호에 기여 가능	서아프리카, 중앙아프리카, 탄자니아, 인도네시아	사례연구	흔농임업은 REDD+에 포함 가능하며 산림 보호에 기여

(계속)

연구자	주요 내용	대상 지역	방법	주요 발견
Minang et al.(2014)	혼농임업이 REDD+에서 차지하는 역할 및 아프리카 사례 분석	아프리카 11개국	문헌분석 및 사례연구	혼농임업이 REDD+의 보완 전략으로 활용될 수 있음
Reang et al.(2021)	인도 동부 히말라야 전통적 파인애플 혼농임업이 REDD+ 적용 가능성 분석	인도 동부 히말라야	실증분석	전통적 혼농임업이 탄소 저장과 농가 소득 증대에 기여
이상민 외 (2015)	한국 임업 ODA의 한계와 개선 방향 제시, 기업 참여 유도 필요	한국	문헌검토 및 정책 분석	ODA 분절화 문제 해결 및 기업 참여 유도 필요
박미선·윤여창 (2012)	인도네시아 REDD+ 사업전략 개발, 단계별 접근 전략 제시	인도네시아	전략적 의사결정 기법	REDD+ 사업의 단계적 접근 필요, 현지 이해관계자 의견 중요
송민경 외 (2024)	REDD+ 목표 달성을 위한 민간 부문 참여 촉진 방안 연구	한국	설문조사 및 정책 분석	민간 부문 인식 제고 및 금융 지원 필요
장은해(2022)	REDD+ 법률안 검토 및 국내 법령과의 관계 설정 필요성 제기	한국	법률검토	REDD+ 법률안 정비 필요, 국제 규범과 국내 법 연계 부족
정유진·김준순 (2024)	REDD+ 대상국 선정 연구, 통계 분석을 통한 국가 분류	개발도상국 (라오스, 캄보디아, 가나 등)	문헌검토, 요인분석, 군집 분석	REDD+ 사업 대상국을 유형별로 구분하여 전략적 접근 필요

자료: 저자 작성.

3.3. 선행연구의 시사점과 본 연구의 차별성

기존의 REDD+ 관련 연구들은 대체로 개념적 정리나 사례 분석에 집중되어 왔다. 일부 연구는 REDD+ 사업의 제도적 구조와 정책적 의의를 분석하였으나, 실제 사업성과를 정량적으로 평가하거나 경제적 지속 가능성을 검증하는 시도는 제한적이었다. 또한 지역 주민 참여의 중요성을 강조하긴 했지만, 구체적으로 어떤 방식으로 주민 참여를 제고하고 소득을 보장할 수 있는지에 대한 전략은 부족하였다. 특히 혼농임업과 REDD+의 결합 가능성을 심층적으로 탐구한 연구는 거의 전무한 실정이다.

반면, 본 연구는 몇 가지 측면에서 선행연구와 차별성을 갖는다. 첫째, REDD+ 사업의 성과를 정량적 분석 도구(DEA, SFA, Stochastic Dominance)를 통해 평가

함으로써, 기존 연구들이 간과한 실증적 근거를 제시한다. 둘째, REDD+를 단순한 산림보호 프로젝트가 아니라 한국의 NDC 달성을 직접적으로 연계되는 전략적 수단으로 위치시키고, 국내 산림흡수원 한계 보완이라는 국가적 필요성과 연결 짓는다. 셋째, 혼농임업을 REDD+의 핵심 보완 모델로 제시하여, 주민 참여를 강화하고 경제·사회적 공동편익을 확보할 수 있는 구체적 대안을 제시한다. 넷째, 국제 탄소 시장(Article 6)과 연계하여 REDD+ 성과를 국가 온실가스 감축목표 달성을 직접 반영할 수 있는 실행 경로를 제시한다. 이러한 점에서 본 연구는 REDD+에 관한 기존 논의의 한계를 보완하고, 혼농임업을 통한 새로운 정책 대안을 제시함으로써 한국형 REDD+ 모델의 발전 가능성을 열어가는 데 중요한 기여를 할 것이다.

4. 연구 내용과 방법

4.1. 연구 범위

본 연구의 연구 범위는 해외 산림 탄소를 확보하기 위한 REDD+ 사업이며, 연구 대상은 산림청에서 제시된 43개 양자 산림협력 대상국이다. 이 중 현재 국가 NDC 사업으로 시행되고 있는 라오스의 REDD+ 사례를 중심으로 향후 REDD+ 사업의 효율화 방향을 제시한다. 정책적 방향성은 산림청의 역할을 중심으로 제시하며, 농림부 등의 역할은 협조 기관으로 제시될 수 있다.

4.2. 연구 내용

본 연구는 REDD+의 구조적 한계를 진단하고, 이를 보완하기 위한 혼농임업(Agroforestry) 결합 전략을 실증적으로 검증함으로써, 한국이 NDC 달성을 위한

실행 가능한 해외 산림 탄소 감축 전략을 제시하는 것을 목표로 한다. 연구는 정성적 분석과 정량적 분석을 결합한 접근을 통해 REDD+ 사업의 비효율성 요인을 체계적으로 규명하고, 혼농임업의 효과를 정량적으로 입증하며, 나아가 실제 사업 적용 가능성은 검토하는 순서로 진행된다.

가. REDD+의 개념과 추진체계

REDD+의 개념과 추진체계를 정리하고, 전 세계 REDD+ 사업의 현황과 주요 통계를 바탕으로 구조적 한계를 진단한다. 제도적 측면에서는 토지 권리의 불명확성과 행정·회계 절차의 불일치, 경제적 측면에서는 단기 보상 위주의 구조와 사업 지속성 부족, 사회적 측면에서는 주민 참여와 이익 공유의 미흡 등을 주요 한계로 규정한다.

나. 혼농임업의 REDD+ 적용 가능성 조사

REDD+의 한계를 보완할 수 있는 혼농임업의 개념과 기능을 제시하고, 양자의 상호보완적 구조를 이론적으로 규명한다. 혼농임업이 탄소흡수, 생계 개선, 기후 적응, 생태복원 등의 기능을 통해 REDD+의 제약을 어떻게 완화할 수 있는지 분석하고, 특히 소득 창출·토지이용·주민 참여 측면에서의 개선 경로를 구체화한다. 또한 Rosenstock et al.(2019)의 연구를 참고해 개발도상국의 약 40% 이상이 혼농 임업을 주요 기후대응 수단으로 채택하고 있음을 근거로, REDD+혼농임업 융합의 현실적 타당성을 제시한다.

다. REDD+와 혼농임업 결합 효과를 정량적으로 검증하기 위한 실증 분석

REDD+와 혼농임업 결합 효과를 정량적으로 검증하기 위한 실증 분석을 수행한다. 먼저 ID-RECCO 등 국제 REDD+ 데이터베이스를 활용해 토지, 제도, 참여, 혼농임업 여부 등 주요 변수를 정의하고, 혼농임업이 효율성에 미치는 영향을 분석하기 위해 확률프론티어모형(Stochastic Frontier Analysis: SFA)을 활용해 전 세계 140개 REDD+ 프로젝트를 표본으로 효율성 분석을 수행한다. 이를 통해 각

사업의 생산효율성을 수치화하고, 제도·참여·재정 등 세부 요인별로 비효율성의 분산 구조를 실증적으로 검증한다.

라. 혼농임업 기반 전략 시나리오 및 경제성과 감축 효과: 라오스 사례

라오스 풍살리 지역의 REDD+ 사업을 대상으로 혼농임업 기반 전략 시나리오를 구성하고, 경제성과 감축 효과를 평가한다. 현지의 토지이용 변화(티크, 카사바, 바나나, 고무 등)를 반영하여 세 가지 시나리오를 설정하였다: A안(티크 단독 조림), B안(티크+카사바 3년 단기 흔식), C안(티크+카사바·바나나·고무 혼합 10년 복합식재). 각 시나리오에 대해 순현재가치(NPV) 분석을 수행하고, 주민·국가·투자자(ITMO 확보 비용 기준 10~30달러) 관점에서 경제성을 비교한다.

마. REDD+·혼농임업 융합모델의 정책적 실현을 위한 전략

기존의 ‘보전형 REDD+’에서 벗어나, 생산과 보전을 결합한 ‘혼농임업형 복합 모델’로의 전환을 제안하며, 성과기반보상(Result-Based Payment: RBP) 체계 구축, 관할권 MRV와 국가산림모니터링시스템(NFMS)의 연계 강화, 기술 보급·참여형 플랫폼 운영, 그리고 ODA-탄소 시장-민간투자를 결합한 금융모델을 정책 로드맵으로 제시한다.

4.3. 연구 방법

연구 방법은 문헌조사 및 전문가 면담 조사를 위해 국내외 관련 연구 문헌을 검토하고 데이터 및 기초 통계량을 조사하였다. 국내 산림 ODA 전문가, 정책 담당자, 현장 실무자 등을 면담하여 사업 수행에서 실질적으로 대면하게 되는 한계와 애로 요인 등을 파악하기 위해 노력하였다. 혼농임업과 REDD+의 융합 사업이 진행되고 있는 해외 현장을 방문하여 조사를 수행하였다.

REDD+ 사업은 기후, 사회, 제도, 재정 등 다양한 불확실성을 내포하고 있어, 단

순한 산술평균이나 생산성 비교로는 사업 간 성과 차이를 설명하기 어렵다. 따라서 본 연구에서는 이러한 확률적 요인을 통제하면서 각 국가의 REDD+ 사업 효율성을 추정하기 위해 확률프론티어모형(SFA)을 적용하였다. SFA 모형은 Aigner et al.(1977)과 Meeusen & van den Broeck(1977)에 의해 제안된 확률적 생산함수 기반 분석 도구로, 생산과정의 오차항을 두 부분으로 분리하여 해석한다. 하나는 확률적 요인(무작위 오차)으로서 기후, 통계오차 등 불가피한 외생적 변동을 나타내며, 다른 하나는 비효율성 항으로서 각 사업체 또는 국가의 제도적·행정적 비효율성을 의미한다. 본 연구에서는 REDD+ 감축 성과(탄소 감축량)를 종속변수로 설정하고, 설명변수로는 산림면적, 제도 안정성, 토지권 명확성, 지역사회 참여도, 정책투자 규모, 그리고 혼농임업(Agroforestry) 적용 여부를 포함하였다. 혼농임업 변수는 더미형(1=혼농임업 결합, 0=단독 REDD+)으로 처리하였으며, 효율성에 대한 간접효과를 검증하기 위해 주요 변수와의 상호작용항(interaction term)을 추가하였다.

본 연구는 라오스 풍살리(Pongsaly) 지역을 사례로 REDD+ 및 혼농임업 융합모델의 경제성과 감축 효과를 검증하였다. 풍살리 지역은 산림청이 추진 중인 국가 REDD+ 시범사업 지역으로, 열대습윤기후를 기반으로 한 상업적 조림(티크)과 단기작물(카사바, 바나나, 고무)의 혼식 가능성이 높은 지역이다.

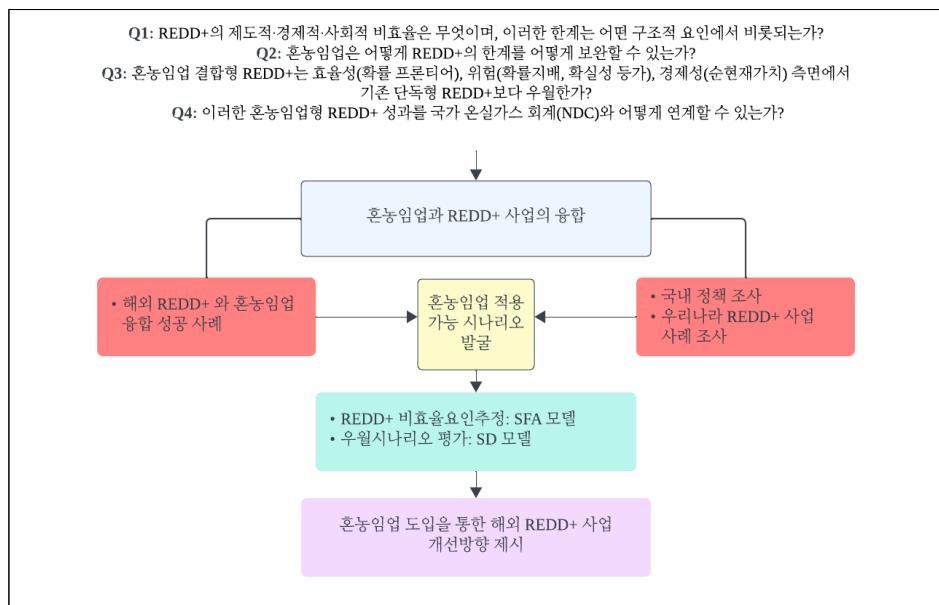
현지 토지이용 변화와 작물 생장주기, 농가 소득 구조를 고려하여 세 가지 시나리오를 구성하였다. 시나리오 A: 티크 단독 조림형(순수 REDD+), 시나리오 B: 티크 556본/ha+카사바 8,000주(3년 단기 혼식형), 시나리오 C: 티크 278본/ha+카사바·바나나·고무 혼합(10년 복합식재형). 각 시나리오의 조합은 토지이용 강도, 생장주기, 관리비, 수확주기, 수익률 등을 기반으로 산정하였다. 경제성 평가는 순현재가치(Net Present Value: NPV) 분석을 통해 수행하였으며, 각 시나리오의 기간별 비용과 수익 흐름을 10년 주기로 할인하여 비교하였다. NPV 산정 시 할인율은 4%를 적용하였고, 감축된 탄소량은 녹색기후기금(GCF)의 결과기반보상 단가로 환산하였다. 또한 REDD+ 전략의 탄소 성과를 비교하기 위해 산림전용률을 내재화한 확장 시나리오 A2(조림형)와 C2(혼농임업형)에 대해 탄소흡수만을 고려한

순현재가치(NPV)를 사업 기간별로 산정하였다. 티크의 추가흡수량이 임령 60~70년에서 정점을 보이는 생장 특성을 반영하여, 단·중기와 장기 구간을 구분해 시나리오별 경제적 성과를 비교하였다. 단순 NPV 비교만으로는 파악할 수 없는 위험구조·불확실성·의사결정자 선호에 따른 시나리오 우위를 정량적으로 평가하기 위해 확률지배(SD)와 확실성 등가(CE)를 도출하였다.

기존 국내 REDD+ 연구들이 주로 개념적·사례 중심의 정성적 분석에 머물렀던 반면 본 연구는 실증적 데이터 기반의 분석틀을 도입했다는 점에서 차별성을 갖는다고 할 수 있다. 이와 같은 정량적 접근의 가장 큰 장점은, 정책결정자가 사업 효율을 객관적 수치로 비교·판단할 수 있도록 근거를 제공한다는 점이다.

5. 연구추진 체계

〈그림 1-1〉 연구추진 체계도



자료: 저자 작성.

6. 연구 기대효과 및 활용 방안

본 연구의 학술적 기대효과는 다음과 같다. 첫째, 본 연구는 국내 REDD+ 연구에서 처음으로 정량분석 기법을 체계적으로 도입하여 실증적으로 적용한 연구라는 점에서 중요한 학문적 의의를 지닌다. 기존 연구들이 제도 분석이나 사례 중심의 정성적 접근에 머물렀던 것과 달리, 본 연구는 REDD+ 사업의 효율성과 비효율성 요인을 계량 경제학적으로 추정함으로써, REDD+ 성과를 객관적이고 비교 가능한 정량지표로 제시하였다. 이는 REDD+뿐만 아니라 향후 다양한 다국적 환경 협력사업의 성과평가 방법론을 과학적이고 체계적인 방향으로 고도화하는 데 기초가 될 것이다.

둘째, 본 연구는 혼농임업(Agroforestry)을 REDD+의 생산함수적 맥락에서 통합적으로 해석함으로써 이론적 확장을 시도하였다. 혼농임업을 단순한 생태복원 기술이 아닌, 탄소흡수·생계 개선·기후적응·생물다양성 증진이 동시에 작동하는 복합 생산 체계로 규정하고, 이를 REDD+ 효율성 분석모형에 내생적으로 결합하였다. 이러한 접근을 통해 혼농임업이 REDD+의 구조적 한계(제도적 비효율, 주민 참여 부족, 재정 불안정)를 보완하는 경로를 실증적으로 규명하였으며, REDD+ 연구의 분석 틀을 한층 심화·확장하였다.

본 연구의 정책적 기여는 다음과 같다. 본 연구는 REDD+의 성과를 정량화하고, 제도·참여·투자 요인의 상대적 영향을 계량적으로 도출함으로써, 향후 성과기 반보상(Result-Based Payment: RBP) 제도의 설계와 평가 체계 구축에 직접적으로 기여할 수 있다. 특히 SFA 분석을 통해 산출된 효율성 지표는 REDD+ 사업의 성과평가 및 보상기준 설정 시 과학적 의사결정 근거로 활용될 수 있으며, 사업별 성과의 편차를 객관적으로 파악하여 성과 중심의 관리 체계와 투명성 제고를 가능하게 한다.

제2장

REDD+의 현황과 한계

REDD+의 현황과 한계

1. REDD+ 개념 및 주요 이니셔티브¹⁾

1.1. REDD+ 발전 과정 및 주요 이니셔티브

REDD+는 산림전용 및 황폐화로부터 탄소 배출 감축(REDD)과 탄소 축적, 지속 가능한 산림경영, 조림과 복원을 통한 산림 탄소 축적 증진(plus)을 의미한다. 기본 아이디어는 국가들이 산림전용 및 황폐화를 줄이는 대신에 이에 대해 재정적으로 보상되어야 한다는 것이지만 기후변화, 빈곤, 생물 다양성 보존 등의 문제를 동시에 다루는 것을 추구하기 때문에 산림전용 및 황폐화 방지를 위한 새로운 대안으로 여겨지고 있다.

REDD+는 환경적·사회적 안전장치를 고려함에 따라 온실가스 감축뿐 아니라 생물 다양성 보전, 생태계 서비스 증진, 지역 주민 삶의 질 향상 등의 비탄소편익(non-carbon benefit)을 창출하는 효과적인 방법이다.

REDD+의 목표는 개발도상국이 기후변화 완화(mitigation) 노력에 기여하도록

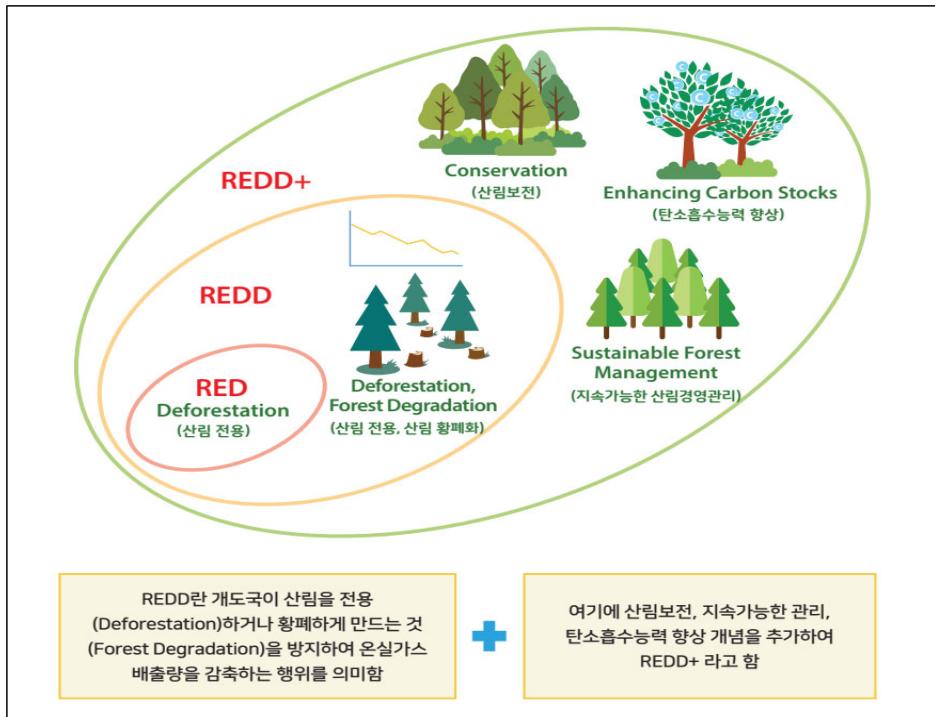
1) 산림청(2021)에서 발행한 ‘알고보면 쓸모있는 REDD+ 이모저모(알기쉬운 REDD+ 설명집)’를 기반으로 내용을 정리하였다.

유도하는 것이다. 이를 위해 REDD+는 다음 두 가지 핵심 방향을 제시한다(FAO, 2013; FAO, 2020). 첫째는 온실가스(GHG) 배출량 감축이다. 이는 산림 손실 및 황폐화를 늦추고(slowing), 멈추고(halting), 되돌림(reversing)으로써 온실가스 배출을 줄이는 것을 의미한다. 다음은 온실가스 흡수량 증가이다. 산림보전(conservation), 관리(management), 확대(expansion)를 통해 대기 중 온실가스를 더 많이 흡수하도록 하는 것을 의미한다.

REDD+의 발전 과정과 주요 이니셔티브는 다음과 같다. 기후변화협약(UNFCCC)은 온실가스 감축을 위한 국가들의 노력을 뒷받침하기 위해 1994년 발효되었으며, 경제활동과 직·간접적으로 연관된 중요한 협약 중 하나이다. 1997년 교토의정서는 UNFCCC의 구체적 이행 방안으로, 선진국들에 2008~2012년 동안 온실가스를 1990년 대비 평균 5.2% 감축하도록 목표를 설정했다. 교토의정서에서는 온실가스 배출이 높은 개도국의 동참도 필요하다는 인식이 나타났고, 생물 다양성 보존, 지역 주민 소득 보장 등 산림이 주는 탄소 흡수 외의 편익에 대한 당위성이 높아졌다.

2003년 개도국 산림전용으로 발생하는 온실가스 배출을 줄이기 위해 산림전용을 줄이고자 하는 노력을 금전적으로 보상하자는 의견이 제기되었다(윤평화, 2015). 2005년 코스타리카와 파푸아뉴기니는 제11차 당사국총회에서 RED(개도국의 산림전용으로 인한 온실가스 감축)를 제안했다. 당시 개도국은 온실가스 감축 의무가 없었지만, 산림전용으로 인한 배출 증가 문제를 해결하기 위해 산림보전을 통한 감축에 인센티브를 제공하는 방안을 제시하였다. 이후 2007년 REDD+ 개념이 도입되었으며, 산림보전, 지속 가능한 산림 경영, 탄소흡수 증진을 포함하는 빨리 행동 계획이 채택되었다. 이때 채택된 REDD+ 활동의 종류는 다음과 같다.

〈그림 2-1〉 REDD+의 확장



자료: 산림청(2021: 11), 〈그림 2〉.

〈표 2-1〉 REDD+ 활동의 종류

활동	의미	예시
산림전용으로 인한 온실가스배출 감축 (Reducing emissions from deforestation)	산림의 타 용도 전환 (산림전용) 방지	농업, 기반 시설 등에 의한 산림전용 방지 활동
산림황폐화로 인한 온실가스배출 감축 (Reducing emissions from forest degradation)	산림 탄소 축적 소실 (산림황폐화) 방지	과도한 벌채, 연료채취 등 방지 활동
산림 탄소 축적 보전 (Conservation of forest carbon stocks)	산림보전을 위한 활동	보호구역 확대
산림의 지속 가능한 경영 (Sustainable management of forests)	산림 탄소중립 유지·강화	지속 가능한 산림경영 이행 강화
산림 탄소 축적 증진 (Enhancement of forest carbon stocks)	非산림의 산림으로 전환 혹은 산림의 탄소 축적 강화	신규·재조림, 산림복원

자료: 산림청(2021)의 내용을 저자 재구성.

2009년 코펜하겐에서 REDD+ 활동을 위한 인센티브 제공 및 선진국의 재정 지원 필요성이 강조되었으며, 코펜하겐 녹색기후기금 설치가 합의되었다. 2010년 제16차 당사국총회(칸쿤)에서는 칸쿤 합의문 채택을 통해 REDD+ 활동 범주, REDD+ 이행을 위한 4대 기반 구축의 필요성(국가 전략 또는 행동 계획, 국가 차원의 산림 배출 기준선(forest emissions baseline) 또는 산림 기준선(forest reference level), 국가산림 모니터링 시스템(national forest monitoring system), 안전장치 정보 시스템(safeguards information system))에 대한 합의가 이루어졌다. 또한, 안전장치를 고려하여 REDD+를 이행하는 것이 단순히 온실가스 감축뿐 아니라 생물 다양성 보전, 생태계 서비스 증진, 지역 주민 삶의 질 향상 등과 같은 비탄소 편익(non-carbon benefit)을 창출하는 효율적인 방법임이 강조되었다.

〈그림 2-2〉 REDD+ 4대 기반 주요 내용



자료: 산림청(2021: 19) 그림의 내용을 저자가 재구성하여 다시 표현함.

2013년 제19차 당사국총회(바르샤바)에서는 바르샤바 REDD+ 프레임워크 (Warsaw REDD+ Framework)가 채택되어 REDD+ 결과기반 활동의 본격적인 이행에 대한 기대를 높였다. 산림(배출) 기준선 설정과 REDD+ 이행 결과 평가 (MRV, 측정·보고·검증)가 기술 평가의 대상이 된다는 중요한 결정이 이루어져 이행 결과에 대한 신뢰성이 높아졌다는 긍정적인 평가를 받았다. 바르샤바 프레임워크는 REDD+가 작동하는 공식 체계를 만들었으며, 배출감소를 증명하기 위한 전문가 기술 평가, 결과기반 지불을 받기 전 개신된 안전장치 요약 제출, 투명성 제고를 위한 UNFCCC 웹사이트 자발적 자료 공유 등이 명시되었다.

2015년 파리협정 제5조는 산림을 포함한 온실가스 흡수원의 보전 및 증진의 중요성을 명시적으로 인정하고 REDD+ 이행 및 지원의 필요성을 강조하여 REDD+의 역할을 더욱 강화했다. REDD+ 이행을 위한 기술적인 논의는 과학기술자문부 속기구(SBSTA)에서 지속적으로 이루어졌으며, 2015년 6월 제42차 과학기술자문부 속기구 회의(SBSTA42)에서 안전장치, 비시장기반 접근법을 활용한 REDD+ 활동 재정 지원, 비탄소편의 보상 방법론 등 3가지 의제에 대한 논의가 완료되어 REDD+ 이행을 위한 기술적 논의가 마무리되었다.

현재 REDD+는 준비 단계(국가전략, 정책, 측정 방법 개발), 이행 단계(시범 활동), 결과기반 지불 단계(REDD+ 활동 측정·보고·검증 후 보상 제공)의 3단계로 운영되며, 다양한 국제기구 및 양자 협력을 통해 지원이 이루어지고 있다. 현재 REDD+를 이행하고 있는 국가는 50여 개 국가이나 그 이행 수준에는 차이가 나타난다. 2021년 4월 기준, 브라질, 칠레, 에콰도르, 인도네시아, 말레이시아, 파라과이 등 10개국이 감축 결과를 인정받았다.²⁾

REDD+ 이행을 지원하기 위해 다양한 국제 이니셔티브들이 설립되어 운영되고 있다. 2008년에 설립된 UN-REDD 프로그램은 유엔개발계획(UNDP), 유엔 환

2) REDD+ 이행 기반이 국가 수준에서 구축되어야 하는 이유는 지역 단위나 소규모 프로젝트 수준으로 REDD+ 현장 활동이 이루어진다면, 산림을 파괴하던 지역 주민들이 다른 지역으로 옮겨가서 불법 벌채를 하는 누출(leakage)이 발생할 수 있기 때문이다. 각 국가들의 REDD+ 이행 현황은 REDD+ 정보 공유 웹페이지(UNFCCC REDD+ Information Hub)를 통해 공개되었다.

경 계획(UNEP), FAO에 의해 설립되어 REDD+ 이행 준비 단계에 있는 국가들의 4대 기반 구축을 지원하고 있다. 2020년 11월 기준 약 3억 2,000만 달러의 예산으로 65개 이상의 국가를 지원했다. 산림 탄소 파트너십 기구(FCPF)는 세계은행에서 운영하는 정부·기업·시민단체의 글로벌 파트너십 기금으로, REDD+ 기반 구축을 위한 준비 기금(Readiness Fund, 4억 달러)과 결과기반보상을 위한 탄소 기금(Carbon Fund, 9억 달러)으로 나누어 운영된다. 2013년에 개발도상국의 기후 변화 대응 정책 및 프로그램을 지원하기 위해 설립된 녹색 기후 기금(GCF)은 REDD+의 전 단계를 지원하고 있다. 특히 결과기반보상에 대한 시범 사업(5억 달러)을 운영하고 있으며, 브라질, 에콰도르, 칠레, 파라과이, 콜롬비아, 인도네시아, 아르헨티나, 코스타리카 등 여러 국가들이 REDD+를 통한 결과기반보상을 승인 받았다.

국제기구뿐 아니라 여러 선진국도 REDD+ 이행을 적극적으로 지원하고 있다. 노르웨이는 개도국 REDD+ 이행의 다양한 단계를 지원해 왔으며, 결과기반보상도 제공하는 주요 지원국 중 하나이다. 2020년까지 매년 3억 5,000만 불을 지원했으며, 향후에도 지원을 지속할 계획이다. 독일 역시 REDD+ 이행을 위한 국가들의 역량 배양과 결과기반보상을 지원하는 국가로서, 다자 기구를 통한 지원뿐 아니라 노르웨이와 공동으로 REM(REDD Early Movers)을 운영하여 결과기반보상이 자리 잡는 데 크게 기여하였다. 일본은 공적 개발 원조(ODA) 자금을 활용하여 REDD+ 국가의 기반 구축을 위한 기술적인 지원을 제공하고 있으며, 핵심 협력 국가들과의 파트너십을 구축하고 공동 크레딧 메커니즘(Joint Credit Mechanism)을 개발해 왔다. 대한민국 산림청은 2012년부터 인도네시아를 시작으로 REDD+ 시범사업을 추진해 왔으며, 2050 탄소중립 산림부문 추진전략의 핵심 과제로 ‘REDD+를 통한 해외 흡수원 확대’를 선정하는 등 REDD+에 대한 노력을 지속하고 있다.

2. 글로벌 REDD+ 사업 동향

2.1. REDD+ 주요 참여국 현황³⁾

2.1.1. 개도국과 선진국의 역할

참여 국가 중 개발도상국은 REDD+ 메커니즘의 중심에 있으며 이들 국가의 영토 내에서 산림전용 및 황폐화로 인한 배출량 감소를 목표로 한다. 현재 약 40개의 개발도상국을 중심으로 국제적, 양자적, 일방적으로 수많은 REDD+ 시범 활동이 시행되고 있다. REDD+에 적극적으로 참여하는 개발도상국은 다음과 같다. 인도네시아 정부는 REDD+에 적극적으로 참여해 왔으며, 한국 산림청의 지원을 받는 REDD+ 시범 사업은 인도네시아의 이탄지에서 시행되었다. 인도네시아는 또한 세계은행 산림탄소 파트너십 기금(FCPF)을 통해 결과기반보상을 받았으며, 국가 차원의 REDD+ 프로그램을 시행하고 있다. 브라질은 산림 배출 기준선을 제출했으며 FCPF로부터 결과기반보상을 받는 국가 중 하나이다. 볼리비아는 국가 REDD+ 전략 개발에 초기 주자였으나, 이후 소규모 농민 및 지역사회의 권리에 초점을 맞춘 비시장 기반 접근 방식으로 전환하였다.

베트남은 산림황폐화 관련 데이터 가용성 부족 및 불명확한 토지 소유권 문제를 겪고 있지만 REDD+ 이니셔티브에 참여하고 있다. 카메룬은 REDD+ 이행의 초기 단계에 있으며, R-Plan 준비 및 콩고 분지 이니셔티브 참여에 중점을 두고 있다. 탄자니아는 REDD+에 대한 빈곤층 우선 접근 방식을 강조하고 있다. 에콰도르, 칠레, 파라과이, 콜롬비아, 아르헨티나, 코스타리카 또한 GCF를 통해 결과기반보상을 받았다. 캄보디아, 미얀마, 라오스는 한국 산림청의 REDD+ 이니셔티브의 시범 사업 대상국으로 언급되었고, 페루는 스위스와 협력적 접근 방식을 통해

3) REDD+ Web Platform(https://redd.unfccc.int/submissions/by-country.html?utm_source=chatgpt.com), 검색일: 2025. 3. 7.

자국의 NDC 달성을 REDD+ 배출량 감축을 활용하기 위한 협정을 세계 최초로 체결하였다.

선진국은 개발도상국의 REDD+ 이니셔티브에 재정적 및 기술적 지원을 제공하는 역할을 한다. 주요 지원 선진국은 다음과 같다. 노르웨이는 REDD+의 주요 지원국이며 UN-REDD 프로그램 및 양자 이니셔티브에 상당한 자금을 지원했으며, 여기에는 결과기반보상도 포함된다. 독일은 다자간 채널 및 양자 간 파트너십을 통해 REDD+를 지원하며, 노르웨이와 공동으로 REM(REDD Early Movers) 프로그램을 운영하고 있다. 일본은 공적 개발 원조(ODA)를 통해 기술 지원을 제공하고 REDD+ 준비를 지원한다. 호주는 REDD+ 이행을 위한 양자 협력 프로그램에 참여하고 있는 것으로 언급되었다. 네덜란드와 덴마크 정부는 볼리비아 아마존과 같은 지역의 국가 이하 REDD+ 프로그램에 자금을 지원하였다. 스위스는 파리협정에 따라 페루와 같은 국가의 REDD+ 프로젝트를 통해 NDC를 달성하기 위한 협력적 접근 방식을 개척하고 있다.

〈표 2-2〉 REDD+ 주요 참여 국가 및 활동 내용 정리

구분	국가	주요 참여 내용 및 특징
개발 도상국	인도네시아	- 한국 산림청 지원 이탄지 시범사업 - FCPF를 통한 결과기반보상 수혜
	브라질	- 산림 배출 기준선 제출 및 FCPF 결과기반보상 수혜
	볼리비아	- 국가 REDD+ 전략 초기에 개발, 이후 소규모 농민 및 지역사회 중심의 비시장 기반 접근 방식으로 전환
	베트남	- 산림황폐화 데이터 부족 및 토지 소유권 문제 존재하나 REDD+ 적극 참여
	카메룬	- REDD+ 초기 단계(R-Plan 준비, 콩고 분지 이니셔티브 참여 중심)
	탄자니아	- 빈곤층 우선 접근 방식으로 REDD+ 이행, 노르웨이 지원 수혜
	에콰도르	- GCF 결과기반보상 수혜
	칠레	- GCF 결과기반보상 수혜
	파라과이	- GCF 결과기반보상 수혜
	콜롬비아	- GCF 결과기반보상 수혜
	아르헨티나	- GCF 결과기반보상 수혜
	코스타리카	- GCF 결과기반보상 수혜
	캄보디아	- 한국 산림청 REDD+ 시범사업 참여국
	미얀마	- 한국 산림청 REDD+ 시범사업 참여국
	라오스	- 한국 산림청 REDD+ 시범사업 참여국
	페루	- 스위스와 협력적 접근 방식을 통해 세계 최초 REDD+ 활용 NDC 달성을 협정 체결

(계속)

구분	국가	주요 참여 내용 및 특징
선진국	노르웨이	- 주요 REDD+ 재정 지원국(UN-REDD, 결과기반보상 등 다자 및 양자 지원)
	독일	- 다자간 및 양자간 파트너십 통한 지원 - 노르웨이와 공동으로 REM 프로그램 운영
	일본	- 공적개발원조(ODA)를 통한 기술 지원 및 REDD+ 준비 지원
	호주	- REDD+ 이행 양자 협력 프로그램 참여
	네덜란드, 덴마크	- 볼리비아 아마존 등 국가 이하 REDD+ 프로그램 재정 지원
	스위스	- 페루와 REDD+를 통한 NDC 달성을 협력적 접근 방식 추진

자료: 저자 작성.

2.1.2. 대한민국의 REDD+ 시범사업⁴⁾

한국은 교토의정서 체제하에서 비부속서 I 국가로 온실가스 감축 의무가 없었으나, 선진개도국으로서 자발적으로 2020년 온실가스 배출량의 30% 감축 목표(2억 4,400만 톤)를 수립했다. 이 목표 달성을 위한 방법 중 하나로 REDD+가 제안되어, 2012년부터 산림청이 주관하여 REDD+ 국제 시범 사업을 추진하기 시작하였다. 산림청은 산림전용이 발생하면서도 보전 가치가 높은 국가들을 중심으로 인도네시아, 캄보디아, 미얀마, 라오스를 사업 대상국으로 선정하여 사업을 추진했다. 당시 UNFCCC의 REDD+에 대한 구체적 지침이 부족했기에, VERRA 표준을 활용하여 사업을 설계하고 탄소배출권 확보 방식을 도입했다.

산림청은 각 국가와 MOU 및 ROD를 체결한 뒤, 사업지 선정 및 타당성 조사를 통해 프로젝트를 설계했다. 양국 전문가들이 협력하여 사업단을 구성하고, 산림탄소, 사회경제, 생물다양성에 대한 조사를 바탕으로 사업설계서를 작성·등록한 뒤, 현장 활동과 모니터링을 통해 탄소배출권을 확보하는 형태로 사업이 진행되었다. 산림청은 인도네시아에서 가장 먼저 REDD+ 시범사업을 실시하고 그 과정에서 축적된 경험과 노하우를 활용하여 캄보디아, 미얀마, 라오스의 사업을 진행하며 시행착오를 줄여나갔다. REDD+ 사업은 산림파괴의 근본 원인을 해소하는

4) 산림청(2021)에서 발행한 ‘알고보면 쓸모있는 REDD+ 이모저모(알기쉬운 REDD+ 설명집)’를 기반으로 내용을 정리하였다.

방향으로 설계되며, 국가별로 산림파괴의 원인이 달라 사업 내용과 방식도 각국의 특성에 따라 다르게 진행하였다.

인도네시아에서 시행된 REDD+사업은 리아우주 캄파르 지역에서 시행되었으며, 1만 4,749ha를 대상으로 하였다. 산림청이 구성한 사업단은 인도네시아 관련 부서에 상주하며 산림경영계획구(Forest Management Unit: FMU) 경영계획수립과 REDD+ 사업계획서 작성사업을 진행하였다. FMU 경영계획은 원래 인도네시아 정부에서 추진하던 계획이나 인도네시아 정부의 수요를 고려하여 FMU에 REDD+ 사업을 포함시켰다. FMU 사업은 인도네시아 전역에 600여 개의 산림경영계획구를 지정하고 이를 지방정부가 관리하는 사업이다. REDD+ 사업은 민간 산림이용권이 발부된 95% 면적을 제외하고, 산림이용권이 발부되지 않은 지역 중 1만 4,749ha를 대상으로 하고 있다.

캄보디아 REDD+ 사업은 2015~2022년 동안 캄퐁톰주 산단 및 산둑지구에서 진행되었으며, 총면적은 7만 42ha에 달한다. 주민공동체림(Community Forest) 지원을 목표로 캄보디아 산림청과 한국 녹색사업단이 협력하여 추진되었다. 자발적 탄소 표준(VCS)에 따라 사업설계서 개발, 검증, 현장사업 이행, 모니터링 및 인증, 배출권 발행 및 분배 절차를 거쳐 진행되었다. 2020년 9월 기준으로 온실가스 65만 tCO₂ 감축 성과를 거두었으며, 배출권 발행에도 성공하였다. 이는 승용차 34만 대의 연간 온실가스 배출량과 맞먹는 규모이며, 탄소배출권 평균 보상금(톤당 5달러)으로 환산하면 약 32만 3,000달러에 해당한다. 탄소 감축 외에도 지역 주민의 생활 수준 향상과 생물다양성 보호에도 기여하였다.

미얀마 REDD+ 사업은 생물다양성 보전을 중점으로 2016~2025년 동안 바고요마 북자마리 지역(6만 9,000ha)에서 진행되었다. 대상 지역 선정을 위해 위성영상 분석 및 현지조사를 수행하여 탄소 축적량과 산림전용율을 평가하였다. 라오스 REDD+ 사업은 생계 개선을 중심으로 2016~2030년 동안 참파삭 주 동호사오 국립공원(11만 ha)에서 추진되었다. 위성영상 분석과 현지 조사를 거쳐 후보지를 선정하였다.

〈표 2-3〉 산림청의 주요 REDD+ 시범사업 개요

국가	사업대상지	면적/기간	주요 활동
인도네시아	수마트라섬 리아우주, 캄파르 반도(이탄지)	14,749ha / 2013~2016	산림 경영 계획 수립, 황폐지 복구, 산불 예방, 산림 감시단 운영, 대체 소득 사업 개발(파인애플)
캄보디아	캄퐁톰주 산단, 산둑 지구	70,042ha / 2015~2022	REDD+ 정책 수립 지원, 공동체림 등록 및 지원, 산림 감 시단 운영, 농업 기술 교육(비료 생산 등), 대체 소득 사업 개발(수지, 양봉)
미얀마	동부 바고요마 북자마리 경영림	69,000ha / 2016~2022	REDD+ 정책 수립 지원, 능력 배양, 산림 경영 모델링 운영, 대체 소득 사업 개발(대나무 공예), 효율적인 쿠스토브 보급
라오스	참파삭주 동호사오 보호 지역	110,000ha / 2018~2022	능력 배양, 경계 표준 설치, 천연 간신 지원, 생태 관광 사업

자료: 산림청(2021)의 내용을 저자 재구성.

2.2. REDD+와 국가온실가스감축목표(NDC) 연계성

2.2.1. NDC(Nationally Determined Contributions)의 개념 및 REDD+와 연계⁵⁾

국가 결정 기여(Nationally Determined Contributions: NDC)는 파리협정의 핵심 요소로서, 각 국가가 기후변화에 대응하기 위해 스스로 결정하고 약속하는 온실가스 감축 목표 및 기후변화 적응 노력을 의미한다.⁶⁾ 이는 교토의정서 체제에서 파리협정 체제로 전환되면서 도입된 개념으로, 모든 참가국이 자국의 상황과 역량을 고려하여 2030년까지의 감축목표를 자발적으로 설정하고, 5년마다 이를 갱신하도록 규정되어 있다. NDC는 국가별 기후행동의 기본 단위이자, 파리협정의 장기목표(지구 평균온도 상승 1.5°C 이내 억제)를 달성하기 위한 핵심 메커니즘이다.

NDC에는 에너지, 산업, 수송, 농업, 토지이용 등 다양한 부문이 포함되지만, 토지이용·토지이용 변화 및 임업(Land Use, Land-Use Change and Forestry: LULUCF)

5) UN-REDD Programme(2021)의 보고서 내용 정리.

6) 탄소중립녹색성장위원회(<https://www.2050cnc.go.kr/base/board/read?boardManagementNo=65&boardNo=3400&searchCategory=&page=1&searchType=&searchWord=&menuLevel=3&menuNo=15>), 탄소중립을 향한 첫걸음 NDC, 어디까지 알고 있니?, 검색일: 2025. 3. 24.

부문은 배출원인 동시에 탄소흡수원으로 기능하기 때문에 다수의 국가에서 핵심 부문으로 간주되고 있다. 특히 산림의 보전과 복원, 지속 가능한 산림경영은 많은 국가의 NDC에서 필수적 감축 수단으로 포함되어 있으며, 이 과정에서 REDD+가 중요한 역할을 담당하고 있다.

REDD+는 파리협정 제5조에 공식적으로 통합되어 있으며, 제6조의 협력적 접근법에 따라 ITMOs(Internationally Transferred Mitigation Outcomes: 국제이양 감축 성과) 형태로 국가 간 거래가 가능하다(Coalition for Rainforest Nations, 2023). 이러한 제도적 기반 덕분에, REDD+는 단순한 개발협력사업을 넘어 각국의 NDC 이행을 지원하는 국제 탄소 감축 메커니즘으로 자리 잡고 있다. 실제로 최근 개신된 NDC 문서에서 다수의 국가는 산림을 포함한 LULUCF 부문을 온실가스 감축 전략의 핵심으로 제시하고 있으며, REDD+를 주요 이행 수단으로 명시하고 있다.

많은 국가의 NDC에는 조림·재조림, 재식생, 지속 가능한 산림경영, 산림 및 습지 보호 등 REDD+와 직접적으로 관련된 활동이 포함되어 있다. 일부 국가는 산림 벌채 조기경보시스템 구축, 산림파괴 제로(Zero Deforestation) 협정 체결, 공공·민간 협력형 재조림사업, 토착수종 활용 등 구체적인 REDD+ 이행 전략을 병행하고 있다. 그러나 여전히 전체 NDC 중 산림 부문에 계량화된 감축목표를 명확히 설정한 국가는 소수에 불과해, REDD+의 실제 감축 기여를 정확히 평가하기에는 한계가 있다. 그럼에도 불구하고 국제 연구들에 따르면, REDD+를 포함한 산림 부문 활동이 충실히 이행될 경우 전 세계 NDC 총감축량의 약 25%를 산림이 담당할 수 있을 것으로 전망된다.

UNDP의 국가 설문조사(UNDP, 2019, 2021)에 따르면, 다수의 국가들이 REDD+를 기존의 개발계획이나 지속 가능발전목표(SDGs)와 연계하여 NDC를 점진적으로 강화하고 있으며, REDD+와 NDC 간의 연계성은 지속적으로 확대되는 추세이다. 그러나 아직도 많은 개발도상국에서는 REDD+의 감축 성과가 국가 차원의 NDC 이행으로 완전히 흡수되지 못하고 있다. 이에 따라 UN-REDD 프로그램을 중심으로, REDD+를 NDC 체계에 통합하고 MRV(Measurement, Reporting,

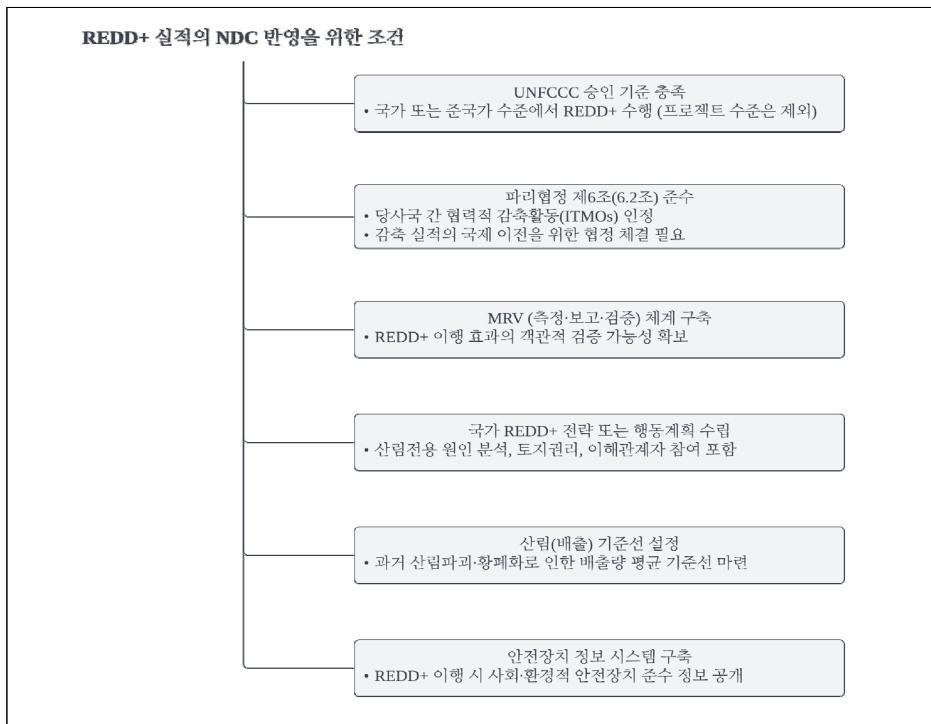
and Verification) 체계를 강화하기 위한 국제적 지원과 기술협력이 확대되고 있다.

REDD+로 확보된 탄소흡수량이 자동적으로 NDC 실적으로 인정되는 것은 아니다. NDC에 반영되기 위해서는 다음의 조건을 충족해야 한다. 첫째, UNFCCC 승인 기준 충족이다. REDD+ 활동은 UNFCCC에서 인정하는 국가 또는 준국가 수준에서 수행되어야 하며, 프로젝트 단위의 감축 실적은 원칙적으로 NDC에 직접 반영될 수 없다. 즉, REDD+는 국가적 프레임워크 내에서 수행되어야 하며, 국가 보고서(BUR·NC 등)에 포함되어야 한다(정유진·김준순, 2024). 둘째, 파리협정 제6조 준수이다. 제6.2조는 국가 간 감축 협력을 허용하며, 감축 성과를 국제적으로 이전된 감축 결과물(Internationally Transferred Mitigation Outcomes: ITMOs) 형태로 인정한다. REDD+ 사업이 NDC에 활용되기 위해서는 해당 감축량이 실질적(real), 검증 가능(verifiable), 추가적(additional)이어야 하며, 2021년 이후 발생한 감축 실적일 것, 그리고 국가 간 협정을 통해 상호승인된 감축량일 것 등의 조건을 충족해야 한다(국립산림과학원, 2025). 이를 충족할 경우, REDD+ 활동으로 발생한 감축 성과는 ITMOs로 거래되어 국가 간 NDC 이행에 반영될 수 있다. 셋째, 국가 REDD+ 전략 및 행동계획 수립이 필요하다. 산림전용 및 황폐화의 원인 분석, 토지소유권 문제, 산림 거버넌스, 이해관계자 참여 등 핵심 이슈를 포괄하는 국가 전략문서를 수립해야 하며, 과거 일정 기간 동안의 산림전용 및 황폐화로 인한 배출·흡수량을 기준선(reference level)으로 설정하여 성과를 평가해야 한다. 넷째, 투명한 MRV(Measurement(측정), Reporting(보고), Verification(검증)) 체계 구축이 요구된다. REDD+ 활동의 성과를 정확하게 측정하고 보고하며 검증할 수 있는 국가적 시스템이 마련되어야 하며, REDD+ 이행 전반에서 사회적·환경적 안전장치(Safeguards)가 어떻게 관리되고 준수되는지에 대한 정보를 투명하게 공개해야 한다(산림청, 검색일: 2025. 3. 25.).

요약하면 NDC는 각국의 기후 행동을 제도적으로 이행하는 기반이며, REDD+는 그 중에서도 산림 부문 NDC 이행의 핵심 수단으로 작동한다. REDD+의 감축 성과가 NDC 실적으로 인정되기 위해서는 국가 수준의 제도적 준비, 파리협정 제6조 준수, 그리고 MRV 기반의 투명한 이행 체계가 전제되어야 한다. 이러한 조건

이 충족될 때 REDD+는 단순한 산림보전 프로젝트를 넘어 국가 NDC 달성을 실질적으로 기여하는 국제협력형 감축 메커니즘으로 기능할 수 있다.

〈그림 2-3〉 REDD+ 실적의 NDC 반영 요건 도식화



자료: 저자 작성.

2.2.2. REDD+를 통한 국가별 NDC 감축 전략: 개발도상국⁷⁾

최근 많은 개발도상국은 REDD+를 자국의 NDC에 통합하면서, 산림을 기반으로 한 기후변화 대응을 강화하고 있다. 이러한 연계는 단순한 산림보전 활동을 넘어, 토지이용 전환, 생계 개선, 지속 가능한 농림 복합 시스템으로의 전환을 포함하며, 그 중심에는 혼농임업(Agroforestry)이 중요한 역할을 하고 있다.

7) UN-REDD(2014, 2021)의 내용을 정리함.

① 에콰도르

에콰도르는 REDD+를 NDC에 공식적으로 통합한 대표적 국가로, 농업·산림·토지이용(AFOLU) 부문에서의 배출 저감과 산림 탄소 축적 강화를 동시에 추진하고 있다. 국가 REDD+ 전략을 기반으로 한 LULUCF 행동계획은 명확한 정량 목표(2025년까지 총 배출량의 20% 감축)를 설정하고 있으며, PROAmazonia 프로그램(GCF·GEF 연계)을 통해 재정 자립적 REDD+ 이행 체계를 구축하였다. 이 전략은 단순한 조림·보전사업이 아니라, 산림과 농업이 공존하는 생산·보전형 토지이용 모델, 즉 혼농임업적 접근을 내재화하고 있다. 이를 통해 산림전용을 줄이면서도 농가 소득원을 유지하는 방향으로 국가 감축목표를 달성하고 있다.

② 캄보디아

캄보디아는 2020년 UNDP Climate Promise 지원을 받아 개신된 NDC를 제출하며 REDD+ 중심의 산림 감축 전략을 강화했다. 2030년까지 현상 유지(BAU) 대비 42% 감축, 그 중 산림벌채율을 절반으로 감소시키겠다는 구체적 정량목표를 설정하였다. REDD+ 전략의 시나리오 모델링 과정에서 지속 가능한 농림 복합이용(혼농임업)을 감축 수단으로 반영하였으며, 산림보전과 농업 생산의 균형을 유지하기 위한 거버넌스 체계를 구축하였다. 이처럼 캄보디아의 NDC는 REDD+를 토대로 혼농임업적 토지이용을 촉진하고, 농촌 생계 개선을 감축 전략의 핵심 요소로 통합한 사례로 평가된다.

③ 케냐

케냐는 REDD+ 준비 단계를 거치며 NDC에서 AFOLU 부문 중심의 감축 정책을 구체화하였다. 초기에는 토지이용 데이터의 불확실성으로 REDD+를 명시하지 못했으나, 최신 인벤토리와 REDD+ 실행 경험을 반영해 개신된 NDC에서는 REDD+ 활동을 명확히 통합하였다. 케냐의 전략은 단기적 벌채 억제보다 산림 내 농업 활동의 지속 가능한 관리(혼농임업, sustainable forest-agriculture management)를 통해 감축 효과를 장기적으로 확보하는 데 초점을 두고 있다. 이를 통해 지역사

회의 생계와 탄소흡수 기능을 병행 강화하고 있다.

④ 가나

가나는 2015년 첫 NDC에서부터 “REDD+를 통한 지속 가능한 산림자원 활용”을 핵심 전략으로 제시하였다. 연간 1만~2만 ha의 재조림, 코코아 농경지의 REDD+ 연계 감축(45%) 등을 포함하여, 농업과 산림을 결합한 혼농임업형 탄소 감축 모델을 추진하고 있다. 특히 다중 이해관계자 참여를 기반으로 REDD+ 전략을 설계하여, 주민 소득 증대·토지 복원·산불관리 등 사회적 공동 편익을 동반하는 구조를 확립하였다. 이는 REDD+·NDC 연계의 실질적 운영 모델로서 높은 정책 일관성과 사회적 수용성을 보여준다.

개도국의 REDD+와 NDC 연계 전략의 공통 특징은 다음과 같다. 첫째 정량적 목표의 명확화이다. 에콰도르(2025년 20% 감축), 캄보디아(2030년 벌채율 50% 감축) 등은 구체적 수치 기반의 목표를 설정하여 REDD+와 NDC 연계를 제도적으로 명확히 하였다. 이들 국가는 산림전용 방지와 동시에 혼농임업 기반의 토지 생산성 향상을 병행하는 전략을 채택하였다.

다음은 국제 연계 및 재정 연계 강화이다. REDD+와 NDC 연계는 GCF, GEF, UNDP 등 국제기구의 기술·재정 지원을 유도하는 통로로 작용하고 있다. 에콰도르는 REDD+ 성과를 통해 GCF로부터 결과기반보상을 수령하였으며, 이를 PROAmazonia 혼농임업형 프로그램에 재투자하였다. 이는 REDD+의 재정적 지속 가능성은 높이는 대표 사례다.

마지막으로는 다중 이해관계자 참여와 지역 생계 기반 강화이다. 가나, 케냐 등은 REDD+ 전략을 지역사회 심의 관리 체계로 설계하여, 농가 참여형 혼농임업 모델을 통해 산림보전과 소득 창출을 병행하고 있다. 이는 REDD+ 정책의 수용성과 실효성을 높이는 핵심 요인으로 작용한다.

그러나 개발도상국의 REDD+와 NDC 통합은 여러 한계를 지닌다. 데이터·기술 역량 부족으로 정확한 감축량 산정이 어렵고, 재정적 의존도가 높아 국제 지원이 줄어들 경우 지속 가능성이 취약하며, 정책 간 불일치(농업·산림·개발 정책의

충돌)로 일관된 감축이 어렵다. 또한 산림보전 정책이 생계 제한으로 인식될 경우 지역사회의 저항이 발생할 수 있다.

이러한 제약 속에서 혼농임업은 REDD+와 NDC 통합의 실질적 매개체이자 조정 메커니즘으로 부상하고 있다. 혼농임업은 산림전용을 억제하면서도 주민에게 경제적 대안 수익을 제공함으로써 REDD+의 사회적 지속 가능성을 높인다. 농업·임업의 복합적 토지이용은 탄소흡수와 생계유지의 균형을 가능하게 하며, REDD+의 장기성과 안정성을 강화한다. 또한 혼농임업은 MRV 체계 구축과 NDC 회계의 통합성 확보에도 유리하다. 생산과 감축이 동시에 이루어지는 구조이기 때문에, 토지 단위 감축량 산정과 보고 체계를 통합적으로 운영할 수 있기 때문이다.

결론적으로 에콰도르·캄보디아·케냐·가나의 사례는 REDD+와 NDC 연계가 단순한 산림보전 정책이 아니라 지속 가능한 토지이용 전환전략(Land-use Transition Strategy)임을 보여준다. 따라서 향후 REDD+와 NDC 통합을 보다 효과적으로 추진하기 위해서는 ① 국가 차원의 혼농임업 기반 감축 시나리오 개발, ② MRV·NDC 회계 통합체계 구축, ③ ODA·민간투자·탄소 시장 결합형 재정모델 설계가 필수적임을 알 수 있다. 혼농임업은 REDD+를 ‘보전 중심’에서 ‘생산·참여·감축 통합형’으로 전환시키는 실질적 도구로서, 개발도상국의 기후대응 역량을 강화하고, 한국과 같은 공여국의 국제협력 전략 수립에도 중요한 시사점을 제공한다.

2.2.3. REDD+를 통한 국가별 NDC 감축 전략: 선진국⁸⁾

일본은 2013년부터 공동 크레딧 메커니즘(Joint Crediting Mechanism: JCM)을 통해 REDD+ 프로젝트를 지원하고 있다. 이 메커니즘은 일본이 개발도상국에 저탄소 기술과 인프라를 제공하여 온실가스 감축 프로젝트를 수행하고, 그 성과를

8) MSCI(https://www.msci.com/research-and-insights/blog-post/japan-goes-for-growth-to-support-nature-based-projects?utm_source=chatgpt.com), Japan Goes for growth to support Nature Based Project, 검색일: 2025. 5. 8.

양국이 공유하는 방식이다. 일본의 공동크레딧 메커니즘은 그 동안 주로 에너지 효율화나 재생에너지 사업에 집중되어 왔으나, 2024년부터 산림보전(REDD+)과 농업 등 자연기반(Nature-based) 프로젝트로 전략적 방향을 전환하였다. 이는 2030년까지 누적 1억 톤의 탄소 크레딧 발행이라는 목표에 비해, 현재까지 실적이 70만 톤 수준에 그치는 한계를 극복하기 위한 조치로 볼 수 있다. 최근 JCM 최초의 자연기반 프로젝트로 등록된 캄보디아의 프레이랑(Prey Lang) REDD+ 사업은 일본의 REDD+ 참여 확대를 상징하는 대표적인 사례이다. 이 프로젝트는 8만 6,738ha 규모의 보호구역을 대상으로 산림파괴를 억제하고, 지역 주민의 생계를 지원하며, 이산화탄소 감축을 달성하는 것을 목표로 하고 있다.

일본이 캄보디아에서 시행한 프레이랑 JCM-REDD+ 사업은 혼농임업(Agroforestry)적 요소를 내재한 프로젝트로 해석할 수 있다. 본 사업은 단순히 산림을 보전하는 데 그치지 않고, 지역 주민이 산림과 조화를 이루며 생계를 유지할 수 있는 구조를 지향하고 있다. 예를 들어, IBIS Rice 프로그램을 통해 지역 농가가 야생생태 보전을 유지한 채 유기농 쌀을 생산하도록 지원하고, 비목재 임산물(수지, 꿀 등)과 생태관광을 통해 부가적인 소득을 창출하도록 유도하고 있다. 이러한 활동은 전통적인 REDD+의 ‘보전 중심’ 접근을 넘어, 농업·임업을 통합한 복합 토지이용 체계를 구축하는 혼농임업형 REDD+의 방향성과 일치한다. 다시 말해, 산림보전의 기회비용을 농가 소득으로 상쇄하면서, 장기적으로 산림자원과 지역경제의 상생을 도모하는 구조이다.

프로젝트의 모니터링 체계 역시 혼농임업 도입에 유리한 기반을 제공한다. 프레이랑 프로젝트는 캄보디아 국가 기준 배출량(FRL)을 적용하고 있으며, 산림전용뿐만 아니라 산림황폐화까지 감축 평가에 포함하고 있다. 현장에서는 SMART(Spatial Monitoring and Reporting Tool) 시스템을 활용하여 불법 벌채를 실시간 감시하고, 연료 사용량·작물 수확량 등도 정기적으로 기록한다. 이러한 정밀한 MRV(측정·보고·검증) 시스템은 향후 혼농임업 플롯을 포함한 토지 단위별 탄소흡수량 측정에 그대로 적용할 수 있는 구조이다. 특히 혼농임업을 도입할 경우, 산림 완충지대(buffer zone) 내 토지이용 변화를 세밀히 추적할 수 있어, 누출

(leakage)과 탄소 저장 반전(risk of reversal)을 줄이는 효과가 있다. 현재 JCM에서 기본적으로 20%의 감축량 할인율이 적용되지만, 혼농임업이 결합될 경우 지속적 관리와 토지 이용 고착화를 통해 할인율을 완화할 수 있는 근거가 될 수 있다.

이 프로젝트의 가장 큰 성과는 2023년까지 총 61만 톤의 CO₂ 감축 크레딧을 발행하며 JCM 전체 크레딧의 83%를 차지했다는 점이다. 그러나 한편으로는 크레딧 배분의 불균형이 중요한 문제로 지적된다. 일본이 대부분의 크레딧을 확보하고 개최국인 캄보디아가 사실상 혜택을 받지 못함으로써, 지역사회 참여 동기가 약화되고 있다. 향후 혼농임업형 REDD+ 체계를 구축할 경우, 농가 단위의 생산·감축 성과를 명확히 측정할 수 있으므로, 지역별·가구별 성과기반 보상 (Result-Based Payment) 체계를 설계하여 공정한 크레딧 배분이 가능해진다. 이러한 접근은 REDD+의 지속 가능성은 높이고, 지역사회와의 협력 기반을 강화하는 핵심적인 수단이 될 수 있다.

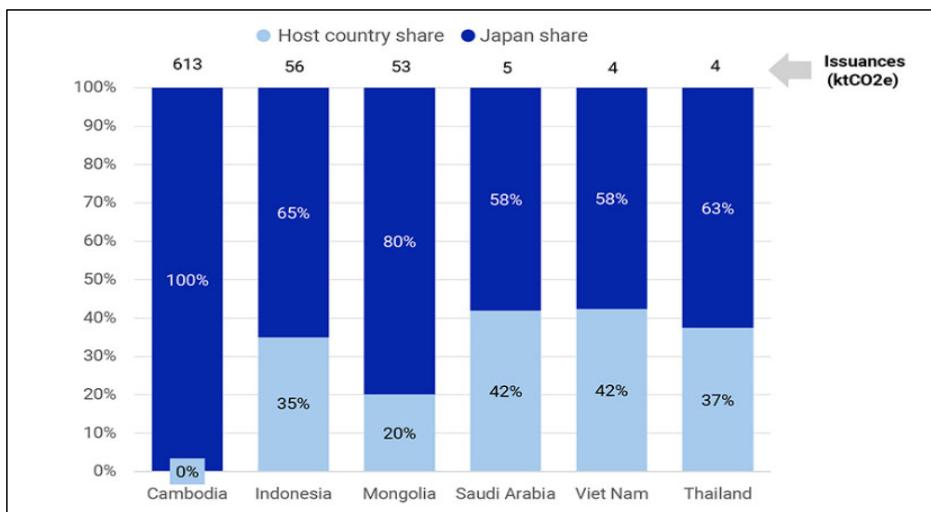
프레이랑 프로젝트의 운영 경험은 향후 JCM-REDD+ 사업이 나아가야 할 방향을 보여준다. 첫째, 보호구역 주변에 혼농임업 완충대를 조성함으로써 불법 벌목을 줄이고, 작물·수목 복합재배를 통해 농가의 연속적인 현금흐름을 확보해야 한다. 예를 들어 티크·토착수종과 함께 카사바, 바나나, 후추, 커피 등을 훈식하는 모자이크형 조림 구조를 설계할 수 있다. 둘째, IBIS Rice와 같은 프로그램을 커피·카카오 등 그늘작물 인증 모델로 확장하여 시장 프리미엄을 형성하고, ESG 투자나 JCM 성과기반보상과 연계된 민간자금 유입을 촉진해야 한다. 셋째, MRV 시스템은 플롯 단위의 탄소계수와 수확량을 연계해 데이터 신뢰성을 높이고, 지역 사회가 직접 참여하는 모니터링 체계로 발전시킬 필요가 있다. 넷째, 크레딧 배분에서는 개최국의 최소 지분을 보장하고, 지역공동체 전용 풀(pool)을 조성하여 공정한 이익 공유 메커니즘(Benefit Sharing Mechanism)을 마련해야 한다. 마지막으로, JCM의 재원 구조를 혼합금융(Mixed Finance) 형태로 재설계하여, 일본 환경성 보조금과 아시아개발은행(ADB)·민간 ESG 펀드가 결합된 형태로 농가 수준의 혼농임업 전환을 지원할 수 있다.

결국 프레이랑 REDD+ 사례는 단순한 산림보전 사업이 아니라, 보전과 생산,

생계와 탄소 감축이 결합된 혼농임업형 REDD+ 전환 모델로 진화할 수 있는 기반을 보여준다. 이러한 접근은 일본 JCM의 크레딧 확보 전략을 강화할 뿐 아니라, 개최국의 자립적 산림관리 역량과 사회적 수용성을 동시에 높이는 현실적 해법이 된다. 더 나아가 한국이 추진 중인 해외 REDD+ 협력사업이나 ITMOs 기반 국제감축 프로젝트에서도, 이러한 혼농임업형 REDD+ 모델은 지속 가능한 감축 성과와 공정한 이익 공유를 동시에 달성할 수 있는 핵심 전략으로 활용될 수 있을 것이다.

향후 협상 관련 관건으로는 크레딧 배분 문제가 있다. 현재 JCM 프로젝트 크레딧 배분 비율이 일본에 과도하게 유리한 구조로 운영되고 있다. 현재까지 개최국 (Host countries)이 받은 크레딧은 전체 발행량의 5%에 불과하다. 특히 캄보디아 프리이링 프로젝트는 최대 규모의 프로젝트였음에도 불구하고 모든 크레딧이 일본에만 배분되었으며 개최국인 캄보디아는 전혀 크레딧을 받지 못하였다. 이를 제외한 다른 프로젝트는 개최국 몫 크레딧이 0~50%까지 다양하다. 향후 크레딧 배분 문제가 주요 갈등 요인이 될수 있으며, 개발도상국들이 더 많은 크레딧 배분을 요구할 가능성이 크다.

〈그림 2-4〉 JCM 프로젝트 크레딧 배분 비율



자료: MSCI Carbon Market 2024(검색일: 2025. 5. 8.).

3. REDD+의 한계

3.1. REDD+ 사업 한계 사례 분석

① 네팔 REDD+ 시범사업 및 주요 시사점(Shrestha et al., 2014)

네팔은 2000년대 중반 이후 기후변화 대응을 위한 REDD+(Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation) 이니셔티브에 적극적으로 참여하였으며, 2008년부터 본격적인 시범사업을 추진하였다. 대표적인 시범사업은 2009년부터 2013년까지 시행된 프로젝트로, 노르웨이 개발협력청(Norwegian Agency for Development Cooperation: NORAD)의 재정 지원을 받아 카브레(Kabhre), 루판데히(Rupandehi), 가르촌(Gorkha) 지역을 대상으로 이행되었다. 본 사업은 지역 주민 조직(Community Forest User Groups: CFUGs)을 중심으로, 탄소흡수량 증진 및 공동체 생계 향상을 동시에 추구하는 성과기반 보상(Payment for Ecosystem Services: PES) 모델을 실험적으로 적용하였다. 총 104개 CFUGs, 약 1만 8,000가구가 참여하였으며, 여성·소수민족·빈곤층 등 사회적 취약계층의 포용적 참여를 목표로 설정하였다.

주요 성과 및 성공 요인은 다음과 같다. 첫째 지역공동체 역량을 기반으로 한 REDD+ 운영이다. 네팔은 40년 이상의 Community Forest Management(CFM) 경험을 보유하고 있으며, 해당 사업은 이 경험을 REDD+ 설계 및 운영에 효과적으로 활용하였다. 지역 주민들은 탄소량 측정, 산림관리계획 수립, 자금 집행 등 REDD+ 전반에 주도적으로 참여하였다. 향상된 산림관리로 인해 산림 식생의 생장률이 높아졌고, 이는 이산화탄소(CO_2) 격리 효과 증대로 이어졌다. 산림 화재 감시, 조림 활동, 지속 가능한 자원 채취 등 지역 주민의 행동 변화가 긍정적인 생태계 변화로 나타났다. 둘째는 공정한 지표에 따른 성과 배분이다. 탄소 성과와 사회경제적 필요를 모두 반영하여, 재정적 보상을 사회적 포용성 원칙에 따라 배분하였다. 공동체 중심의 참여형 거버넌스 효과로 CFUGs의 자율적인 운영, 정기 회

의, 분배 기준 논의 등 민주적 의사결정 구조가 형성되었고, 이러한 거버넌스 모델은 다른 남아시아 국가들에도 적용 가능한 REDD+ 실행 모델로 평가되었다.

사업의 한계 및 개선이 필요한 요인은 다음과 같다. 첫째 국가 MRV 체계와의 연계 부족으로 지역 단위 탄소 모니터링은 실현되었으나, 국가 수준의 MRV 시스템과의 연계는 제도적으로 미비하였다. 둘째, REDD+의 국가적 확산을 위한 정부 및 시민사회의 역량 부족이 지적되었다. 특히 지방정부 차원의 REDD+ 전담기구 부재는 제도적 지속 가능성의 제약 요인이다. 셋째, 여성, 소수민족, 빈곤층을 위한 참여 구조는 마련되었으나, 기존 사회 구조 내 배제 관행과 이해관계 상충으로 인해 실질적 참여 수준은 제한적이었다. 마지막으로 인센티브의 경제적 지속 가능성이 미비하였다. REDD+ 참여에 따른 시간·노동·기회비용이 상당하였으며, 탄소 거래 시장의 가격만으로는 이를 충분히 보상하기 어려운 한계가 나타났다. 본 사업은 NORAD의 지원으로 상대적으로 높은 보상 수준을 유지했지만, 외부 지원 없이 자립적 REDD+ 추진은 어려운 실정이다. 노르웨이가 시행한 네팔 REDD+ 사업의 시사점은 REDD+의 성공은 탄소 감축 효과만이 아니라, 지역 주민의 생계 보장, 사회적 포용, 제도적 역량 강화 등 복합적 요인에 의해 좌우된다는 것이다. 탄소 성과만을 기준으로 한 보상 구조는 한계가 있으므로, 복합적 인센티브 구조 및 장기 재원 확보 전략이 필요하다. 국가 REDD+ 전략 수립 시, 지역 수준의 경험을 반영하여 제도적 연계성과 위계 체계를 구축하고, 지역 주민의 능동적 참여를 제도화 할 필요가 있다. 특히, 사회적 포용(social inclusion)과 거버넌스 구조의 투명성을 강화하는 것이 REDD+의 신뢰성과 지속 가능성을 높이는 핵심 요소이다.

② 인도네시아 중부 칼리만탄 REDD+ 시범사업 실패 사례(Lestari, 2019)

중부 칼리만탄(Central Kalimantan)은 인도네시아에서 REDD+ 시범사업이 우선적으로 시행된 지역 중 하나로, 산림훼손 및 삼림벌채 방지를 통한 온실가스 감축을 주요 목표로 설정하였다. 그러나 REDD+ 프로그램은 이 지역에서 실질적인 이행 실패(implementation failure)를 겪었다. 주요 실패 원인으로 다음과 같은 점이 지목되었다.

첫째는 국제적 설계와 지역 현실 간의 불일치이다. REDD+ 정책이 주로 국제기구 및 외부 이해당사자에 의해 설계되었으며, 지역 상황이나 정책 환경과의 정합성(consonance)이 부족했다. 결과적으로, 정책 목표(산림파괴 억제)와 실제 이행 간의 맥락적 괴리(contextual gap)가 발생하였다. 다음으로 관료와 지역 주민 간 상호작용 실패이다. 정책 이행의 핵심 주체인 현장 관료(street-level bureaucrats)와 대상 집단(target group) 간의 효과적인 상호작용이 이루어지지 않아 정책 목표가 현장에서 실현되지 못하고, 제도적 신뢰 형성에도 실패하였다. 또 지방정부와 비정부기구(Non-Governmental Organizations) 간의 인식 차이가 커졌으며, 이는 불신으로 이어졌다. REDD+ 정책의 방향성과 지역의 기대가 달랐고, 이에 따라 이해관계자 간 협력 부재가 나타났다. 넷째 경제 개발 중심의 실행과 목표 괴리이다. REDD+ 본래 목적과 달리, 경제 개발 활동(economic development activities)에 더 큰 비중을 둘에 따라 산림보전보다는 지역 개발 논리가 우선시되면서, 프로그램은 지속 가능성과의 연계가 미흡했다. 마지막으로 REDD+ 수행을 담당하던 기관이 인도네시아 정부의 정책 변경에 따라 해산되면서, 프로그램은 제도적 연속성과 실행력을 상실하는 등 제도의 불안정성이 사업의 지속을 저해하였다.

본 사업의 경우 상향식 접근(bottom-up approach)의 필요성이 명확히 부각된 사례이다. 지역 정부와 NGO는 자신들이 대표하는 주민의 이익을 반영하지 못한 채, 외부 지향적(top-down, donor-driven) 프로그램이 우선시된 점을 비판하였고, 이것이 지역 주민과의 상호작용 및 적극적 참여의 방해 요인이 되었음을 주장하였다. REDD+ 정책의 정당성과 수용성은 프로그램의 설계 주체와 실행 현장 간 상호 정합성에 달려 있으며, 이는 정책의 성공과 실패를 가르는 핵심 요인으로 볼 수 있다. 외부 설계 기반 정책은 현지의 정치·사회·경제적 맥락과 조화를 이루지 못하면, 오히려 환경 보호 정책에 대한 신뢰 저하를 유발할 수 있다.

③ 잠비아 REDD+ 사업의 주요 시사점(Gumbo & Mfune, 2013)

잠비아의 REDD+ 프로젝트는 2010년대 초반부터 UN-REDD 프로그램의 지원을 받아 본격적으로 추진되었다. 본 프로젝트는 산림 파괴의 주요 원인을 체계적

으로 분석하고, 이에 대응하는 제도적 기반을 마련하는 데 중점을 두었다. 주요 목표는 산림 자원의 지속 가능한 이용과 온실가스 배출 저감을 통해 기후변화 대응에 기여하는 것이다.

잠비아의 REDD+ 프로그램은 이행 과정에서 일부 유의미한 성과를 보였으나, 동시에 여러 구조적·제도적 제약도 병존하였다. 특히, 지역 기반 산림관리에 대한 인식이 제고되고, 참여적 거버넌스 기제를 도입함으로써 지역공동체의 산림 관련 활동에 대한 관여가 점진적으로 확대되었다는 점은 주요 성과로 평가되었다. 이를 통해 산림 보존에 대한 사회적 기반을 강화하고, 산림 파괴를 줄이기 위한 실천적 전환을 일부 유도한 바 있다.

그러나 이러한 참여의 확대에도 불구하고, 실질적인 지역 주민의 의사결정 권한은 여전히 제한적이었으며, 정보 비대칭과 제도적 장벽이 존재함에 따라 주민 참여의 질적 수준은 기대에 미치지 못하였다. 추가적으로 REDD+ 정책을 이행하는 과정에서 일관성 있는 재정 지원 체계가 부족하였고, 정부 부처 간의 협력이 미흡하여 사업 추진의 안정성과 지속 가능성에 일정한 제약을 초래하였다. 잠비아 REDD+ 경험은 지역 참여 기반의 강화와 제도적 조정이라는 측면에서 긍정적인 단초를 마련했지만, 동시에 보다 체계적이고 지속적인 정책 설계와 운영 역량의 필요성을 함께 제기하고 있다.

3.2. 기존 사례를 통해 살펴본 도전과제

3.2.1. 제도적 도전과제

REDD+는 ‘산림전용 및 황폐화로 인한 배출감소(reducing emissions from deforestation and forest degradation)’에 더해 산림보전, 지속 가능한 산림관리, 탄소 저장량 증진을 포함하는 개념으로, 기후변화 완화와 다양한 부수적 혜택(co-benefits)을 제공할 방안으로 주목받아 왔다. 그러나 현실에서 시행된 REDD+

프로젝트들은 중요한 제도적, 경제적, 사회적 제약에 부딪혀 왔다. 네팔, 인도네시아, 캄보디아, 잠비아 등 여러 사례연구에 따르면 다음과 같은 핵심적인 한계들이 REDD+의 실효성을 저해해왔으며, 이러한 문제를 해결하는 것이 향후 성공을 위해 필수적임을 보여준다.

핵심적 한계들은 다음과 같다. 첫째, 토지 소유권 및 이용권의 불명확성이다. 안전한 토지 및 산림에 대한 권리 확보는 REDD+의 근간이지만, 많은 프로젝트에서 권리가 중복되거나 애매하게 정의되어 있다. 예를 들어 잠비아에서는 ‘불명확한 자원 권리 체계’와 관습적 토지권과 법적 토지권 간의 갈등이 REDD+ 노력을 저해해왔다. 소유권이나 이용 권한이 명확하지 않으면 지역공동체와 이해관계자들은 숲을 보호할 인센티브와 권한이 부족하고, 분쟁은 프로젝트 실행을 지연시킬 수 있다.

둘째, 거버넌스와 기술 역량 부족이다. 효과적인 REDD+ 이행에는 강력한 거버넌스와 기술 역량이 필요하지만, 실제로 많은 이행 주체들이 이를 갖추지 못했다. 네팔의 시범사업은 지역사회 수준에서는 성공적이었으나, 국가 규모로 확대하는 과정에서 ‘프로그램을 국가 규모로 확대하는 데 역량의 제약이 있다’는 한계가 드러났다(Shrentha et al., 2014). 정부는 더 큰 규모에서 REDD+를 효과적으로 시행 할 역량이 제한적이었으며, 이를 위해서는 신규 기관(예: 지역구 단위의 REDD+ 전담 부서) 설립과 모니터링 및 집행 전문성 강화가 필요했다. 이와 마찬가지로 잠비아의 추진 과정은 ‘제도 개편’과 ‘더딘 정책 개발 속도’로 인해 더디게 진행되었는데, 이는 미약하거나 빈번히 변화하는 제도적 구조가 REDD+ 준비를 지연시킬 수 있음을 보여준다.

셋째, 정부 조직의 일관성 부재이다. 잣은 조직 개편이나 기관 간 조율 부족은 REDD+ 이니셔티브를 혼란에 빠뜨린다. 대표적 사례로 인도네시아에서는 2013년에 특별 REDD+ 기관(BP REDD+)이 설립되어 노르웨이와의 10억 달러 규모 파트너십을 이끌었으나, 2015년에 해체되어 산림부로 통합되었다(Lestari, 2019). 이 해체로 그간 쌓아온 추진력과 전문성이 상실될 것이라는 우려가 제기되었고, 실제로 기관의 불안정성이 REDD+ 실패 요인의 하나로 지적되어 왔다. 더불어 정

부 부처와 NGO 사이의 조율 부족은 불신과 비효율을 야기한다. 예를 들어, 인도네시아의 일부 REDD+ 현장에서는 지방 공무원들과 NGO가 서로 다른 기대를 가지고 제대로 협력하지 못해 사업 실행에 차질을 빚었다.

넷째, 지역 현실을 고려하지 않는 상향식 설계이다. 초기 REDD+ 프로젝트 중 상당수가 국제 기부자나 중앙 정부에 의해 상향식으로 설계되었고, 이로 인해 지역 현실과 맞지 않는 경우가 있었다. 인도네시아 중부 칼리만탄의 시범사업에서 연구자들은 국제적 차원에서 수립된 정책과 현장 여건 사이에 ‘맥락적 격차’가 있다고 지적했다(Lestari, 2019). 지역공동체와 일선 행정가들이 REDD+ 목표에 대한 공통 이해를 공유하지 못했고, 그 결과 이 사업을 ‘일부 집단에게만 이익을 주는 것’으로 여기게 되어 지역 주민들의 행동 변화를 이끌어내지 못했다. 결국 획일적인 정책 틀이 지역의 사회·정치적 역학과 충돌한 셈이다. 이러한 사례는 REDD+ 개입이 부적합한 규칙을 일방적으로 강요하기보다, 지역의 필요와 역량에 맞춰 참여 계획으로 이루어져야 함을 시사한다.

마지막으로 MRV 체계 수립의 어려움이다. 견고한 MRV(모니터링, 보고, 검증) 체계를 구축하는 일은 어렵고, 특히 지역사회 기반 노력과 국가 차원의 산림 탄소 산정 방식을 정합시키는 데에 난관이 따른다. 네팔의 프로젝트는 공동체 주도의 산림 모니터링을 개척했지만, 이러한 지역 측정 결과를 국가 MRV 프레임워크에 통합하는 데 여전히 문제가 있었다. 국가 차원에서 지역 탄소 데이터를 정부 시스템과 연계하는 공식 메커니즘이 부족했는데, 이는 ‘제도적으로 취약한 연결 고리’ 또는 탄소 산정 방식의 불일치를 보여준다(Shrentha et al., 2025). 이러한 불일치는 인정되는 배출 감축량을 둘러싼 분쟁을 초래할 수 있고, 국가 또는 국제 보고를 위한 결과 집계를 어렵게 만든다. 명확하고 일관된 산정 방법이 없다면, REDD+ 프로젝트가 기후 대응 성과를 신뢰성 있게 입증하기 힘들 것이다.

3.1.2. 경제적 도전과제

REDD+는 산림보전을 위한 성과기반 보상금을 제공하지만, 그 금액이 너무 적

거나 일시적이면 장기적인 행동 변화를 유도하기 어렵다. 많은 프로젝트가 초기 기부금이나 시범 지원금에 의존하여 단기적으로 추진되지만, 수십 년에 걸친 지속적인 지원은 보장되지 않는다. 네팔의 시범사업에서 지역사회는 종자 자금과 탄소 판매 수익을 기준 산림 이용 혜택에 더한 ‘보너스’ 형태로 지급받았고, 이러한 재정적 인센티브는 산림보전 개선에 기여했다(Shrentha et al., 2014). 그러나 숲을 훼손하지 않음으로써 포기해야 하는 기회비용을 충분히 보전하기는 여전히 어려웠다. REDD+를 추진하기 위한 행정 및 노동 투입(예: 회의 참여, 순찰, 기록 유지)에는 상당한 비용이 들고, 한 연구는 “인센티브 지급이 효과를 내려면 추가 투입된 시간과 노동, 그리고 포기된 혜택이 지급된 보상을 넘지 않아야 한다”고 지적했다(Shrentha et al., 2014). 해당 연구는 국제 탄소 시장의 가격만으로는 이러한 비용을 상쇄하기에 충분치 않을 것이라고 결론지었다. 실제로 이 네팔 프로젝트의 성공에는 노르웨이 지원(NORAD)을 통해 가능했던 높은 수준의 보상이 크게 작용했으며, 연구진은 “탄소의 시장 가치가 상승하지 않는 한 이러한 유형의 REDD+ 프로젝트를 대규모로 실행하기 어렵다”고 경고했다. 이는 REDD+ 재원의 핵심적인 한계를 보여준다. 이러한 재원은 아직까지 벌목이나 농업 등 토지 이용으로 얻는 수익과 경쟁할 만큼 충분하지 않고, 장기간 안정적으로 제공되기도 어렵다.

많은 REDD+ 사업들은 외부 재원(예: 공여 기관의 지원금이나 자발적 탄소 시장) 의존도가 높아, 장기 지속성에 대한 우려를 낳는다. 예를 들어 네팔의 프로젝트는 노르웨이 지원 덕분에 ‘상대적으로 높은 수준의 보상’을 유지할 수 있었지만, 그러한 외부 지원이 없다면 지역 이해관계자의 참여 의지가 약화되었을 수 있다고 보고되었다(Shrentha et al., 2014). 잠비아 등 여러 국가에서는 자금 유입의 불규칙성과 공여기관의 우선순위 변화로 REDD+ 프로그램이 중단과 재개를 반복하기도 했다(Kim, 2021). 또한 프로젝트에서 자발적 탄소 시장 거래용 탄소 크레딧을 발행하는 경우, 향후 수요와 가격이 불확실하다. 탄소 시장의 변동성 때문에 수입이 보장되지 않으며, 크레딧 가격이 하락하거나 구매자가 사라질 경우 지역사회는 다시 생계형 농업이나 벌목으로 회귀할 수 있다. 이처럼 탄소 거래에 초점을

둔 프로젝트는 지속적인 투자를 유치하거나 국가 예산에 통합되기가 어려울 수 있음을 보여준다.

일부 지역에서는 REDD+ 개입에도 불구하고 강력한 경제적 동인이 여전히 산림 파괴를 야기하고 있다. 농경지 확장, 상품 작물 플랜테이션(대규모 재배지) 조성, 불법 벌채는 단기적으로 막대한 이익을 가져다주며, REDD+의 보상금은 이를 충분히 상쇄하지 못하는 실정이다. 캄보디아의 한 REDD+ 시범지에 대한 독립적 조사에 따르면 6년 사이 전체 숲의 3분의 1 이상이 파괴되었고, 그동안 넓은 지역이 고무, 카사바, 캐슈넛 농장으로 전환되었다(Kim, 2021). 조사자들은 “REDD+가 이런 산림 파괴를 전혀 막지 못하고 있다”고 지적했으며, 희귀 수종의 목재가 여전히 암시장에서 거래되고 있었다. 이 사례는 보다 광범위한 경제적 요인(예: 상품 수요 급증이나 불법 벌목에 대한 단속 부재 등)을 해결하지 않으면 REDD+ 프로젝트가 산림 파괴를 다른 곳으로 옮기는(“누출”) 데 그치거나 이러한 압도적인 압력에 밀려 효과를 잃을 수 있음을 보여준다.

마찬가지로 인도네시아 칼리만탄 시범 사업에서는 지역 공무원들이 산림보전 보다 오일팜 농장 허가나 기반 시설 건설 같은 경제 개발 활동에 우선을 두어, REDD+ 목표 간의 충돌이 발생했다. 이러한 사례들은 REDD+의 성공을 위해서는 산림 보호와 더불어 지역 주민들에게 지속 가능한 생계 수단(예: 친환경 농업, 혼농임업 등)을 제공하고, 토지이용에 대한 종합적인 계획을 병행함으로써 산림 훼손의 경제적 유인을 낮춰야 함을 시사한다(Ekawati et al., 2019).

REDD+가 초기 단계에서 금전적 보상을 제공해도, 그러한 인센티브를 장기간 유지하는 것은 여전히 큰 과제이다. 많은 프로젝트가 3~5년 단위의 사업 기간으로 운영되지만, 숲을 지키겠다는 약속은 무기한 지속되어야 한다. 시범 단계 이후 지금이 끊기거나 탄소 크레딧 수입이 감소한다면, 공동체는 더 이상 산림을 훼손하지 않을 경제적 동기를 잃게 될지도 모른다. 이렇게 장기적인 재정 지원이 보장되지 않는 상황이 REDD+의 주요 장애물이다. REDD+를 효과적으로 지속하기 위해 전문가들은 ‘혼합형’ 인센티브 체계를 개발할 것을 제안한다 - 탄소 감축에 따른 보상금에 더해 다른 혜택(예: 지역 개발 지원금, 생물다양성 보전 인센티브, 생

태관광 수입 또는 정부의 직접 지원 등)을 결합하는 방식이다(Shrestha et al., 2014). 이렇듯 다각화되고 지속적인 자금 조달 전략이 없다면, REDD+로 인한 산림보전은 자금 지원이 이루어지는 동안에만 유지되다가 결국 중단될 위험이 있다.

3.2.3. 사회적 도전과제

캄보디아 Tumring REDD+ 시범지에서는 6년 동안 숲의 37% 이상이 불법 벌채와 토지 전환으로 사라졌다. 이는 지역 사회의 참여와 단속 노력이 얼마나 부족했는지를 여실히 보여준다(Kim, 2021). 토착민과 지역공동체의 진정한 참여가 REDD+ 성공에 필수적이라는 데 공감대가 있지만 의사 결정 과정에서의 지역 참여가 부족하고 많은 프로젝트들이 여전히 피상적인 협의 수준에 머물고 있다. 실제로 참여 범위에 따라 결과가 달라졌는데, 네팔의 시범사업은 40여 년간 축적된 지역사회 산림관리 경험을 활용하여 주민들이 모니터링과 혜택 분배를 주도하게 함으로써 긍정적 성과를 거두었다. 그럼에도 이 성과를 국가적으로 확대하는 데에는 포용적인 이해관계자 참여를 달성하는 것이 여전히 과제로 남아 있었고, 전국 단위 REDD+의 성공을 위해 이러한 포용적 거버넌스 확립이 필요하다는 점이 드러났다(Kim, 2021).

반면 잠비아의 강력한 중앙집권적 산림 거버넌스 체계는 ‘효과적인 참여형 산림 관리의 기반이 불충분’하다는 평가를 받았다(Gumbo & Mfune, 2013). 한 분석은 REDD+ 계획 수립 과정에 ‘시민들의 더 많은 참여가 도움이 되며’, 현재의 ‘기술관료적 구조’를 지역 사회의 목소리를 반영하도록 조정해야 한다고 지적한다. 지역 주민들에게 거의 발언권이 주어지지 않는다면, REDD+를 통해 도입된 규제를 기꺼이 준수하거나 지지할 가능성도 낮아진다. 실제 인도네시아에서는 하향식 접근 방식의 부재가 심각한 결함으로 지목되었는데, 현지 다약(Dayak) 공동체와 공무원들이 사업 설계 단계에 의미 있게 참여하지 못하면서 무관심이나 반발을 초래했다(Kim, 2021). 향후 REDD+ 사업들은 지역 산림 사용자 그룹, 마을위원회, 투명한 의사결정 절차 등을 통해 참여형 거버넌스를 구축하고, 지역의 필요와 지

식이 프로젝트 규칙에 반영되도록 해야 한다.

금전적 보상과 기타 REDD+ 혜택의 분배 방식이 지역사회의 지지를 좌우할 수 있다. 만약 혜택이 공정하게 나누어지지 않거나 소수의 엘리트만 이익을 얻는다면 주민들의 환멸을 불러일으킬 것이다. 네팔 시범사업의 성공 요인 중 하나는 사회적 약자를 배려한 분배 메커니즘이었다. 탄소 거래 수익이 여성, 빈곤 가구, 소외 계층 등에게 혜택이 돌아가도록 ‘사회적 포용’ 원칙하에 분배되었고(Shrestha et al., 2014), 이는 참여자들의 주인의식과 헌신을 높여주었다. 반면 일부 사업에서는 지역 주민들이 혜택의 대부분이 외부인이나 극소수 지도층에 돌아갔다고 인식한 경우도 있었다. 인도네시아 중부 칼리만탄에서 주민들은 REDD+를 ‘특정 집단만 이익을 얻는 사업’으로 여기게 되었고, 이는 불신을 낳아 협력이 저해되었다(Lestari, 2019). 캄보디아 시범사업 또한 탄소 크레딧 판매로 자금을 마련했음에도 정작 지역 주민들의 생계나 산림 상태는 거의 개선되지 않았다는 비판이 있었다. 따라서 혜택은 투명하고 포용적으로 공유되어야 지속적인 지역 참여를 이끌어낼 수 있다. 예를 들어 마을 기금을 조성하여 학교나 진료소를 건립하고, 순찰 활동 참여자에게 직접 보수를 지급하며, 프로젝트 관리에 지역 주민을 고용하는 등 혜택이 풀뿌리까지 미치도록 해야 한다. 눈에 보이는 혜택이 지역 사회에 돌아가지 않는다면, 주민들은 다른 생계 수단이 주어졌을 때 굳이 산림보전을 지지할 이유를 찾기 어려울 것이다.

숲에 의존하는 공동체의 입장에서 REDD+로 인해 땔감 채취나 토지 개간이 제한되면 일상생활이 직접 영향을 받는다. 만약 프로젝트가 이에 상응하는 생계 대안이나 지역 발전을 제시하지 못하면, 주민들은 생활을 꾸리기 위해 다시 지속 불가능한 관행으로 돌아갈 수밖에 없다. 여러 시범사업에서 생태관광, 흔농임업, 지속 가능한 농업 등 대체 수입원을 도입하려 했지만, 이를 확대 발전시키는 일은 쉽지 않았다. 약속된 일자리, 개선된 지역 서비스, 이익 공유 등의 혜택이 현실화되지 않으면 REDD+에 대한 주민들의 열의도 식게 된다. 예를 들어 캄보디아 프로젝트에서 지역 순찰팀은 1회 순찰당 약 38달러의 수당만 받았는데(주유비와 식비 정도에 불과한 금액이다), 그 결과 한 달에 한두 번밖에 순찰을 돌지 못했고 이는 불

법 벌채를 막기에는 터무니없이 불충분한 수준이었다(Kim, 2021). 이처럼 충분한 지원을 받지 못하자 자원봉사자들은 사기가 떨어졌고, 숲은 무방비로 남게 되었다. 궁극적으로 REDD+는 보다 광범위한 농촌 개발 전략의 일부로 추진되어야 한다. 산림 보호와 함께 주민들의 생계 향상(예: 지속 가능한 농업기술 보급, 청정에너지 지원, 교육·보건 서비스 개선 등)이 결합될 때만, 지역공동체가 장기적으로 산림보전에 전념할 수 있을 것이다.

요약하면, 지금까지의 REDD+ 프로젝트들은 충분한 자금이나 선의만으로는 성공을 담보할 수 없으며, 앞서 살펴본 제도적·경제적·사회적 어려움들을 극복해야 비로소 성과를 거둘 수 있다는 교훈을 남겼다. 명확한 토지/산림 권리의 설정, 안정적이고 강력한 제도와 정책 일관성, 지속적인 재정 인센티브(장기 재원 확보와 산림훼손을 대체할 경제활동 제공), 그리고 실질적인 지역공동체 권한 부여(포용적 참여, 공정한 혜택 분배, 신뢰 구축)가 모두 갖춰져야 한다. 네팔, 인도네시아, 캄보디아, 잠비아 등의 시범사업들은 이러한 조건이 충족된 곳에서는 REDD+가 긍정적 영향을 발휘했음을 보여준다.

4. REDD+ 사업의 주요 비효율 요인 분석

4.1. 확률 프론티어 모형을 이용한 비효율 요인 분석

앞 장에서 살펴본 바와 같이 REDD+ 시범사업의 성패는 단순한 기술·재정 투입 규모에 의존하지 않으며, 지역 참여, 권리 체계, 생계 대안, 감시 메커니즘 등 제도적·사회적 요소가 상호작용하며 성과를 결정함을 확인할 수 있다. 그러나 이러한 요인들이 REDD+ 사업의 탄소 감축 성과와 비효율성(평균 및 이질성)에 미치는 영향을 규명한 정량 연구는 극히 제한적이다.

기존 REDD+ 연구는 개별 프로젝트 사례 분석(case study)에 집중하고, 참여 수

준과 거버넌스 환경을 주로 정성적으로만 평가하였다. 그 결과 성과에 영향을 미치는 요인들의 방향성과 효과의 크기를 비교·식별하는데 구조적 한계점을 가진다. 본 연구는 다수의 프로젝트를 포괄하는 정량 분석을 통해 이러한 한계점을 보완하였다. 구체적으로, 탄소 감축 성과를 생산함수 관점에서 평가하는 동시에, 성과로부터 이탈을 초래하는 비효율성의 결정요인을 함께 식별함으로써 REDD+ 정책 설계와 이행 전략 수립에 활용 가능한 근거를 제시하고자 한다.

이를 위해 본 연구는 확률프론티어 분석(Stochastic Frontier Analysis: SFA)을 적용하였다. 분석 자료는 국제산림연구센터(CIFOR)가 구축한 ID-RECCO로부터 수집하였으며, 수집된 자료를 바탕으로 탄소 감축의 잠재 산출과 비효율성(평균 및 이질성)에 대한 영향 요인을 통합적으로 추정하였다.

4.1.1. 이론적 모형

본 연구는 REDD+ 프로젝트 탄소 감축 성과를 확률적 프론티어(stochastic frontier)로 가정하고, 프론티어로부터의 이탈을 비효율성으로 간주하였다. 로그 탄소 감축량 y_i 는 다음과 같이 표현된다(Aigner et al., 1977).

$$y_i = f(x_i; \beta) - v_i + u_i,$$

이때 $f(x_i; \beta)$ 는 주어진 조건에서 달성 가능한 최대 탄소 감축을 의미한다, v_i 는 정규분포를 따르는 오차항으로 측정오차와 외생 충격을 포착한다. u_i 는 비효율성을 의미하며 0 이상의 값을 가진다. 본 연구에서는 비효율성이 평균과 분산에 의해 결정되는 절단정규(truncated normal) 분포를 가정하였다(Battese & Coelli, 1995). 구제적으로, 산출함수 $f(x_i; \beta)$ 는 로그-선형의 형태를 도입하였다. 탄소 감축에 영향을 미치는 투입 요소로 크레디팅 기간, 프로젝트 면적, 대륙별 지역 더미(아프리카, 아시아, 남미)를 고려하였다. 프로젝트 크레디팅 기간과 면적은 탄력치를 추정하기 위해 로그로 변환하였고, 대륙별 지역 더미는 프론티어의 체계적

수준 차이를 통제를 위해 고려되었다.⁹⁾

비효율(μ_i)의 결정요인을 식별하기 위해, 본 연구는 비효율 평균(μ_i) 방정식을 FPIC 명시 여부, 산림향상 활동 여부, 환경교육 및 기술 지원 여부, 토지의 법·관행 최소 일치 여부, 대안 생계 활동(경제활동 수), 국가별 부패 수준의 함수로 모형화 하였다. 또한 REDD 메커니즘, 혼농임업(Agroforestry), 그리고 REDD와 혼농임업의 교차항을 추가하여 REDD 대비 REDD와 혼농임업 결합 효과를 분석하였다.

프로젝트 간 효율성의 이질성(변동성)을 식별하기 위해서 비효율 이질성($\sigma_{u,i}$) 방정식도 모형화하였다. 비효율 이질성 방정식은 $\ln\sigma_{u,i}$ 을 종속변수로 하며, 설명 변수들은 비효율 평균 방정식에서 고려된 공변량과 동일하다. 모든 모수는 원스텝 최대우도(Maximum Likelihood)로 동시에 추정하였다(Wang & Schmidt, 2002).¹⁰⁾

4.1.2. 자료

본 연구는 REDD+ 프로젝트의 탄소 감축 성과와 비효율성의 결정요인을 실증적으로 규명하기 위해, CIFOR-ICRAF(Center for International Forestry Research and World Agroforestry-International Centre for Research in Agroforestry)가 구축한 ID-RECCO(International Database on REDD+ Projects and Programs) 데이터베이스의 5.0 버전을 사용하였다. ID-RECCO는 프로젝트의 공간적 분포, 기간, 인증 상태, 행위자 구성, 자금흐름, 활동유형, 권리 체계, 참여·감시 메커니즘 등 REDD+의 제도·집행 맥락을 포괄적으로 기록하고 있어, 본 연구의 목적인 제도·사회적 요인과 감축 성과의 연계를 계량적으로 분석하기에 적합한 기반을 제공한다.

종속변수는 프로젝트가 실제로 발행 가능한 감축 성과를 나타내는 총 탄소크레딧(total carbon credits)으로 정의하였다. ID-RECCO의 정의에 따라, 이는 순 감축

9) 투입 재정과 관련된 변수들은 데이터의 한계로 고려하지 못하였다.

10) 본 연구는 농업 등 전통적인 생산 부문과 달리 자본·노동과 같은 명시적인 생산요소를 고려하지 않지만, REDD+의 감축 성과가 기술적·제도적 요인에 의해 결정될 수 있다는 점에 초점을 둔다.

량(net emission reductions)에서 버퍼크레딧(buffer credits)을 차감한 값으로, 기준선 대비 실제 감축, 누출·내부 손실·위험 준비분 반영 이후 시장에 유효하게 공급될 수 있는 크레딧을 의미한다. 실증분석에서 이 변수는 로그 변환하여 사용하였다.

프로젝트 규모와 노출 정도를 나타내는 통제변수로 면적(area)과 크레디팅 기간(crediting period)을 사용하였다. 면적은 프로젝트의 공간적 범위와 활동 강도를 대리하는 지표이다. 크레디팅 기간은 인증서류의 시작연도와 종료연도를 고려하여 산출하였다(종료-시작+1). 비현실적인 연도를 배제하기 위해 시작연도가 1900년 이전 또는 종료연도가 2100년 이후인 경우에 해당하는 프로젝트는 분석에서 제외하였다. 이 변수들은 잠재 산출의 체계적 차이를 설명하므로 로그변환 후 생산프론티어의 투입변수로 포함하였다.

탄소 감축량의 수준이 지리적으로 달라질 수 있다는 점을 고려하여, 대륙별 지역 더미를 생산프론티어 방식에 포함하였다. 구체적으로 아프리카, 아시아, 남아메리카로 대륙을 구분하였으며, 아프리카를 기준 범주로 설정하였다.

지역 주민 참여 여부는 탄소 감축 효율성에 중요한 영향을 미친다. 네팔은 CFUG(Community Forest User Group)를 통해 주민들이 산림관리에 직접 참여하여 감축 성과가 향상되었다는 평가가 있지만, 인도네시아는 일부 주민 배제로 성과가 저해되었다는 사례가 있다. 잠비아의 사례에서는 주민의 실질적 참여가 부재하여 실패한 사례로 평가된다. 특히, 지역 주민과의 사전·자유·충분한 정보에 기반한 동의(FPIC)의 존재 여부는 REDD+의 사회적 정당성과 집행 안정성에 직결되어 중요함으로 비효율성의 평균 및 변동성 방정식에 포함하였다.

토지 및 산림에 대한 권리 분쟁 구조는 REDD+의 집행 기반을 규정하는 핵심 제도이다. 잠비아의 사례에서 토지권의 불명확성으로 갈등이 지속되며 REDD+ 성과를 저해하였다라는 평가가 있으며, 인도네시아의 경우 토지 등록제 도입을 통해 사업의 정당성을 확보하였으며, 토지권 분쟁을 통한 갈등을 해소하기 위한 노력은 하였다. 네팔은 CFUG에 법적 권리를 부여하여 주민 신뢰를 얻었다. 이처럼 토지권의 안정성은 REDD+ 추진을 위한 중요한 요소임을 알 수 있다. 본 연구에서

는 토지의 법·관행의 부분 정합을 토지권 안정성을 나타내는 변수로 사용하며 비효율성의 평균 및 변동성 방정식에 포함하였다.

환경교육, 기술 지원 및 대체 생계 제공 여부는 REDD+에 대한 주민의 이해도와 수용성, 참여 지속성에 영향을 미치는 요인으로 SFA 분석에 중요한 변수로 간주 될 수 있다. 네팔에서는 생계 다변화와 REDD+ 교육이 병행되어 긍정적인 효과를 나타냈고, 인도네시아는 NGO 주도의 역량 강화 프로그램을 통해 일부 성과를 거두었다. 반면, 잠비아는 교육 부족과 REDD+ 관련 용어의 난해성으로 인해 주민 참여가 저조하였다. 이처럼 기술적·교육적 지원은 REDD+의 실행 역량을 높이고, 장기적인 감축 성과를 유지하는 데 기여한다. 따라서 본 연구에서는 프로젝트에 환경교육·기술 지원의 포함 여부와 경제활동의 구성 요소 수를 비효율성의 평균 및 변동성 방정식에 포함하였다.

국가 차원의 부패 수준은 프로젝트의 계약, 집행, 감시 등 전 과정에서 위험 수준을 높여, 거래비용과 집행비용을 상승시키고 결과적으로 기술적 비효율을 확대 할 수 있으므로 비효율성의 평균 및 변동성 방정식에 포함하였다.

산림 복원 및 생태적 개선 활동 여부는 REDD+의 감축 효과를 높이는 핵심 요소로, 단순 보호를 넘어 조림·복원 등 적극적인 생태 개선이 수행될 때 탄소 저장량 증가에 기여할 수 있다. 인도네시아의 일부 지역에서는 조림 활동을 병행하였으며, 네팔은 산림 모니터링과 함께 유지·복원 작업을 수행하였다. 반면, 잠비아는 계획상 복원이 포함되었으나 실제 실행은 미흡하였다고 평가되었다. 이러한 산림 복원 활동은 REDD+의 실질적인 감축 성과를 높이는 직접적 수단으로 고려될 수 있다. 본 연구에서는 산림향상 활동을 비효율성의 평균 및 변동성 방정식에 포함하였다.

프로젝트의 지배적 메커니즘(REDD, ARR, IFM 등)과 혼농임업 도입 여부, 그리고 REDD-혼농 결합 여부는 기술·집행 메커니즘의 구조적 차이를 반영하므로, 비효율성 평균식과 비효율성 분산식에 모두 포함하여 추정하였다.

〈표 2-4〉 실증분석에 사용된 변수

변수명	정의	변수형태
총 탄소크레딧	프로젝트가 실제로 발행 가능한 탄소 감축 성과(tCO ₂ eq)	연속형 변수
면적	프로젝트의 공간적인 범위(ha)	연속형 변수
크레디팅 기간	인증서류의 시작연도와 종료연도(years)	연속형 변수
대륙별 지역 구분	아프리카, 아시아, 남아메리카로 지역 구분	더미변수
지역 주민 참여 여부	사전·자유·충분한 정보에 기반한 동의(FPIC)의 존재 여부	더미변수
토지 및 산림에 대한 권리 분쟁 구조	법-관행의 부분 정합	더미변수
환경교육, 기술 지원 및 대체 생계 제공 여부	1) 환경교육·기술 지원의 제공 여부, 2) 대안 생계·경제활동의 구성 요소 수	1) 더미변수, 2) 연속형 변수
산림 향상 활동	산림 복원 및 생태적 개선 활동 여부	더미변수
부패 수준	세계은행 WGI의 “Control of Corruption”	연속형 변수
프로젝트의 지배적 메커니즘	면적 규모 기준의 지배적인 프로젝트 유형	더미변수
훈농임업	훈농임업 여부	더미변수

자료: ID-RECCO(검색일: 2025. 10. 10.)를 활용하여 저자 작성.

4.1.3. 분석 결과

발행 가능 최대 탄소크레딧(로그)을 종속변수로 한 프론티어 추정에서, 면적의 탄력성은 0.593으로 추정되어 면적이 1% 증가할 때 잠재 산출(발행 가능 탄소크레딧의 최대치)이 평균 0.593% 유의하게 증가하였다. 추정된 크레디팅 기간(로그)의 계수값은 0.975로, 기간이 길수록 학습·축적 효과에 의해 프론티어 수준이 상승함을 시사한다. 대륙별 더미 변수는 아시아와 남미 대륙의 감축 성과가 아프리카 대륙의 감축 성과와 통계적으로 유의한 차이가 없음을 보였다.

비효율 평균 방정식의 추정 결과 산림향상 활동 포함, 환경교육·기술 지원, 부패 지수는 평균 비효율을 낮추는 효과를 보인다. 반면 지역 주민의 참여 여부, 경제활동 여부, 토지의 법-관행의 정합 여부는 평균 비효율에 통계적으로 유의한 한계효과를 보이지 않는다.

비효율 이질성 방정식은 비효율 분산의 로그를 종속변수로 두어, 각 설명변수가 프로젝트 간 이질성(변동성)에 미치는 영향을 식별하였다. 추정 결과, 지역 주민 참여 여부는 통계적으로 유의하며 양의 한계효과를 보인다. 이는 FPIC가 명시

된 프로젝트 일수록 프로젝트 간 변동성이 커짐을 의미한다. 환경교육·기술 지원 여부 역시 유의한 양의 한계효과를 나타낸다. 이는 교육·기술 지원의 설계·집행 수준이 프로젝트 별로 상이 할 수록 탄소 감축 성과의 이질성이 확대됨을 시사한다. 반면, 토지의 법·관행 최소 정합은 유의한 음의 한계효과를 보여 제도적 정합성이 확보될 수록 프로젝트 간 결과의 분산이 축소되는 것으로 나타났다. 대안 생계·경제활동 수 또한 통계적으로 유의한 음의 한계효과를 보인다. 반면 산림 향상 활동과 부패지수의 한계효과는 통계적으로 유의하지 않았다.

〈표 2-5〉 분석 결과

변수	계수	표준오차
생산부분		
면적	0.593***	0.052
크레디팅 기간	0.975***	0.291
지역더미_아시아	0.169	0.336
지역더미_남아메리카	-0.185	0.251
상수항	7.672***	1.494
비효율성 평균		
지역 주민 참여 여부	-0.087	0.335
산림 향상 활동	-0.869**	0.305
환경교육·기술 지원의 제공 여부	-0.545**	0.241
토지 법·관행의 부분 정합	0.277	0.421
대안 생계·경제활동의 구성 요소 수	0.090	0.058
부패 수준	-1.890*	1.065
REDD	-0.897**	0.378
혼농임업	-0.118	0.508
REDD×혼농임업	0.212	0.508
상수항	-1.858	1204
비효율성 분산		
지역 주민 참여 여부	1.597*	0.892
산림 향상 활동	-0.459	0.833
환경교육·기술 지원의 제공 여부	2.125*	1.181
토지 법·관행의 부분 정합	-2.258***	0.847
대안 생계·경제활동의 구성 요소 수	-1.125**	0.443
부패 수준	-1.412	4.370
REDD	0.345	0.875
혼농임업	2.831**	1.064
REDD×혼농임업	-3.284**	1.541
상수항	2.601	2.469

주: ***는 1% 유의수준, **는 5% 유의수준, *는 10% 유의수준을 나타냄.

자료: 저자 작성.

본 연구의 목적 중 하나인 REDD에 혼농임업을 결합한 형태와 REDD 단독 메커니즘을 비교하기 위해 비효율성 평균 방정식과 이질성을 방정식에 REDD 더미변수, 혼농임업 더미변수, 그리고 REDD와 혼농임업 교차항을 포함하였다. 추정 결과 REDD 단독 메커니즘은 ARR·IFM 등 다른 유형 대비 평균 비효율이 더 큰 경향을 보였으나, 혼농임업의 도입은 평균 비효율에서 뚜렷한 개선 신호가 확인되지 않았다. REDD에 혼농임업을 결합하더라도 평균 수준의 추가 개선을 보이지 않았다. 다만 이질성 차원에서 혼농임업의 단독 도입은 변동성 확대 가능성을 보였으나, REDD와의 결합은 변동성을 유의하게 축소하는 안정화 효과를 나타냈다. 한편, REDD 체계에서 혼농을 결합했을 때의 순효과(선형결합)는 이질성을 축소($-0.453=2.831+(-3.284)$)하는 것으로 추정되었지만 통계적으로 유의하지는 않았다($p=0.688$). 따라서 평균 수준의 개선이 작거나 불확실하더라도, 성과의 일관성·예측 가능성 제고라는 관점에서 REDD에 혼농임업 도입은 정책적 의미를 지닌다.

REDD에 혼농임업이 결합된 형태와 REDD 단독을 염밀하게 비교하기 위해, 모형을 고정한 상태에서 REDD 메커니즘에 혼농임업을 결합하는 상황하에서 무조건부 한계효과를 추가적으로 추정하였다. 구체적으로는 동일 표본(138개)에서 REDD=1을 유지한 채, (i) 혼농 미도입(0)과 (ii) 혼농 도입(1) 두 시나리오의 개체별 예측치를 산출하고, 그 차이의 표본평균 효과로 정의하였다. 이러한 분석의 목적은 혼농임업을 고려하지 않은 REDD 프로젝트에서, 혼농임업을 고려할 경우 잠재 산출(발행 가능 최대 탄소크레딧)에 어떤 영향을 미치는지를 정량적으로 분석하는 데 있다. 통계적 유의성 검증을 위해 부트스트랩(2,000회)을 이용하여 90% 신뢰구간을 도출하였으며, 결과는 <표 2-6>에 제시하였다.

REDD에서 REDD에 혼농임업을 결합하는 형태로 전환 시 발생 가능 탄소크레딧 평균 변화는 -0.015 , 평균 비효율 변화는 0.016 으로 추정되었으나, 두 변화 모두 신뢰구간이 0을 포함하여 통계적으로 유의하지 않았다.

〈표 2-6〉 REDD와 혼농임업 결합의 무조건부 한계효과

변수	계수	90% 신뢰구간
발생 가능 탄소크레딧 평균 변화	-0.015	(-0.024, 0.009)
비효율 변화	0.016	(-0.000, 0.032)

자료: 저자 작성.

본 연구는 ID-RECCO에 등재된 REDD 프로젝트를 대상으로 SFA 모형을 적용하여, 1) 탄소 감축의 잠재 산출(프론티어), 2) 평균 비효율, 3) 비효율 이질성을 한 모형 안에서 추정하였다. 생산(프론티어) 방정식에서는 프로젝트 면적과 크레디팅 기간이 모두 통계적으로 유의하게 양의 관계를 보인다. 이는 규모의 경제와 학습·축적효과가 존재함을 시사하며, 같은 제도·집행 여건에서도 더 크게, 더 오래 운영될수록 도달 가능한 최대 감축량의 수준 자체가 상승함을 의미한다. 반면 대륙별 지역 효과는 통계적으로 유의하지 않음을 보인다.

비효율 평균 방정식에서는 산림향상 활동 포함, 환경교육·기술 지원이 평균 비효율을 유의하게 낮추는 것으로 나타났다. 이는 산림향상 활동의 체계적 내재화, 교육을 통한 역량 강화가 프로젝트 실행 효율을 높이는 핵심 수단임을 시사한다. 반대로 부패 고위험 환경은 평균 비효율을 유의하게 높여, 집행 불확실성과 거래비용 확대가 평균 성과를 잠식할 수 있음을 보여준다. 한편 토지의 법·관행의 최소 정합은 평균 비효율에 대해 통계적으로 유의하지 않았다. 반면 REDD 중심설계는 평균 비효율을 낮추는 경향이 관찰되었다.

비효율 이질성 방정식에서는 FPIC와 교육·기술 지원이 모두 통계적으로 유의하게 이질성을 증가시키는 양의 한계효과를 보인다. 즉, 해당 요소들이 도입되더라도 프로젝트 간 설계·집행 품질의 편차가 클 경우 성과의 이질성이 커질 수 있음을 보여준다. 반대로 토지의 법·관행 최소 정합과 경제활동 수는 성과의 이질성을 통계적으로 유의하게 감소시키는 것으로 나타났다. REDD 중심 설계는 이질성에 영향을 미치지는 못하였다.

REDD에 혼농임업을 결합하는 전략은 평균 산출을 즉각적으로 높이기보다는 프로젝트 간 성과의 이질성을 줄이는 데 유효함을 보였다. 이는 이러한 전략이 신

로 가능한 감축 실적의 예측 가능성·일관성을 높이는 데 기여할 수 있음을 보였다.

결과적으로 탄소 감축량을 높이기 위해서는 프로젝트의 규모와 기간을 제도적으로 확보하는 설계가 선행되어야 하며, 평균 비효율의 개선을 위해서는 산림향상 활동의 표준화·내재화, 지속적 교육·기술 지원이 핵심 수단으로 확인된다. 추가적으로 성과의 변동성 관리를 위해 토지의 법·관행의 정합성 확보와 경제활동이 병행되어야 하며, 특히 부패 고위험 맥락에서는 독립적 검증, 투명한 정보공개, 표준화된 REDD 운영을 결합한 이중적 거버넌스 전략이 요구된다. 이러한 정책 조합은 평균 성과의 제고와 더불어 성과의 예측 가능성·일관성을 동시에 강화하는 데 기여할 것으로 판단된다. 마지막으로, REDD에 혼농임업을 결합하는 설계는 중·장기적 성과의 예측 가능성과 신뢰성을 높이는 정책으로서 가치가 높다고 판단된다.

5. 요약 및 시사점

□ REDD+의 제도적 틀은 성숙했으나 현실 이행은 불완전한 제도화

REDD+는 지난 20여 년간 UNFCCC 논의를 거치며 국제적 기후정책 체계 속에서 제도적 기반을 확립해 왔다. 발리 행동계획, 칸쿤 합의, 바르샤바 프레임워크, 파리협정 제5조로 이어지는 일련의 과정에서 산림전용 감축, 산림황폐화 방지, 지속 가능한 산림경영, 탄소 축적 증진 등 REDD+의 5대 활동이 명확히 규정되었고, 국가전략·기준선·모니터링 체계(MRV)·세이프가드 정보시스템과 같은 핵심 기반도 제도화되었다. 또한 UN-REDD, FCPF, GCF와 같은 다자 이니셔티브와 노르웨이·독일·일본 등 선진국의 재정·기술 지원, 그리고 인도네시아·브라질·에콰도르·캄보디아 등 주요 개도국의 참여 확대로 REDD+는 국제적으로 가장 널리 도입된 감축 메커니즘으로 자리 잡았다.

그러나 제도적 기반이 성숙했다고 해서 현장에서 REDD+가 안정적으로 작동

하는 것은 아니다. 각국의 정치·사회·경제적 조건이 다층적으로 영향을 미치면서 REDD+는 아직 불완전한 제도화 단계에 머물러 있는 경우가 많다. 특히 토지 및 산림 권리, 부처 간 조정, 지방정부의 역량, 이해관계자 참여, 부패 환경 등은 제도가 작동하는 토대 자체를 흔들어 REDD+의 실질적 효과성을 제한한다. REDD+는 국제적으로는 잘 설계되어 있으나, 국가·지방 수준에서는 제도적 기반이 충분히 뿌리내리지 못한 채 ‘준비·시범·부분적 결과기반보상’ 단계가 혼재되어 있다는 점이 공통적으로 확인된다.

□ NDC와의 연계는 확대 중이나 형식적 통합과 실질적 통합의 격차 존재

NDC와의 연계 측면에서는 더 큰 변화가 관측된다. 파리협정 이후 산림(LULUCF)은 많은 국가에서 감축 전략의 핵심 부문으로 부상했고, 에콰도르·캄보디아·가나·케냐 등 다수의 개도국이 REDD+를 NDC에 공식적으로 편입하기 시작했다. 이들 국가는 산림전용 감축, 혼농임업 도입, 재조림 면적 확대 등 구체적 정량 목표를 설정하고, GCF·GEF·UNDP 등과 연계한 재정 구조를 도입하면서 REDD+를 국가 감축 전략의 중심에 배치하고 있다. 또한 파리협정 제6조(ITMOs)를 통해 REDD+ 감축 실적이 국제적으로 거래될 수 있는 길이 열리면서, REDD+는 단순한 개발협력사업을 넘어 국가 간 감축 협력의 핵심 메커니즘으로 진화하고 있다.

그럼에도 실질적 연계는 여전히 초기 단계이다. NDC 문서에 REDD+를 명시하는 형식적 통합은 빠르게 확대되고 있으나, 감축 실적을 국가 인벤토리 및 NDC 회계로 편입하기 위한 MRV·회계·협정 구조가 실질적 통합 수준으로 정착한 국가는 많지 않다. 프로젝트 단위 REDD+ 실적이 국가 전체 산림 부문 감축 성과와 자동적으로 연결되지 않으며, 이중 계상 방지, 추가성 증명, 국가 간 승인 체계 등 제6조 요건을 충족하는 국가도 아직 제한적이다. 이는 REDD+의 국제적 제도화 수준과 국가별 이행 역량 간의 간극을 보여주는 대표적 현상이라 할 수 있다.

□ 사례 분석을 통해 본 REDD+의 3대 도전과제: 제도·경제·사회

사례 분석은 REDD+의 구조적 취약성을 제도·경제·사회 세 영역에서 더욱 분명하게 확인시켜 준다. 제도적 측면에서 네팔, 인도네시아, 캄보디아, 잠비아 사례 모두 토지 소유권 및 이용권의 불명확성, 정부부처 간 조정 실패, 지방정부 역량 부족, 중앙집권적 설계와 지역 맥락의 부조화 등이 반복적으로 나타났다. 특히 인도네시아의 BP REDD+ 해체 사례처럼 주요 기관이 정치 변화로 혼들릴 경우, 축적된 전문성과 신뢰 기반이 손쉽게 사라지며 REDD+의 지속성이 약화될 수 있음이 확인되었다.

경제적 도전요인 역시 REDD+의 가장 고질적 문제 중 하나이다. REDD+의 성과기반 보상은 종종 농경지 확대, 플랜테이션 개발, 불법 벌채 등 토지 전환 압력에 의해 경제적 유인이 충분하지 않다. 농가가 포기해야 하는 기회비용이나 REDD+ 참여에 필요한 노동·시간 비용을 고려할 때, 탄소 크레딧 가치만으로는 지속적 행동 변화를 유도하기 어렵다는 것은 네팔과 캄보디아 사례에서 반복 확인되었다. 또한 대부분의 REDD+가 외부 재원(ODA, 공여기관, 자발적 탄소 시장)에 의존해 단기 사업 중심으로 운영되기 때문에, 장기적 재정 지속성이라는 구조적 위험이 존재한다.

사회적 측면에서는 포용적 참여 부족, 혜택 분배의 불공정성, 생계 제약 해결 실패가 핵심 문제로 지적된다. 네팔처럼 기존 공동체 기반이 강한 경우에는 CFUG 중심 거버넌스가 REDD+ 성과를 증대시켰지만, 다수 국가에서는 지역 주민이 REDD+를 ‘외부 사업’으로 간주하며 규칙 준수를 부담으로 여기는 경우가 많았다. 특히 혜택이 특정 계층에 집중되거나 분배 방식이 투명하지 않을 경우, 지역사회는 REDD+에 대한 신뢰를 잃고 산림보전 행동을 지속할 동기를 잃게 된다.

□ SFA 분석이 보여주는 REDD+ 비효율 구조와 혼농임업의 의미

이러한 정성적 분석을 보완하기 위해 수행한 확률프론티어(SFA) 분석은 REDD+ 비효율성의 구조적 요인을 정량적으로 확인하고, 혼농임업이 REDD+ 성

과의 ‘안정성 장치’로 작동할 수 있음을 보여주었다. 분석 결과 프로젝트 규모와 크레디팅 기간이 잠재 감축성을 유의하게 높였고, 산림향상 활동과 교육·기술 지원은 평균 비효율을 낮추는 핵심 요인으로 나타났다. 반면 부패 수준이 높을수록 평균 비효율이 증가해 부패 환경이 REDD+ 집행의 근본적 리스크임을 보여주었다. 분석 결과 혼농임업 단독으로는 평균 감축량을 크게 높이지는 않지만 REDD+와 결합할 경우 프로젝트 간 성과 변동성을 유의하게 줄여주는 효과, 즉 감축 성과의 일관성과 예측 가능성을 높이는 역할을 하는 것으로 분석되었다. 이는 혼농임업이 REDD+의 ‘효율성 향상 장치’라기보다 ‘리스크 완충 장치’에 가깝다는 점을 시사하며, 실제로 농가 소득 안정·토지이용 고착화·누출 감소 등 혼농임업의 특성과도 부합한다.

□ 시사점

종합하면 REDD+가 효과적으로 작동하기 위해서는 단순히 산림 보호 활동을 강화하는 수준을 넘어, 토지권·세이프가드·부패 억제·참여 구조·생계 대안 등 핵심 기반을 정비하고, 국가 REDD+ 체계를 NDC 회계 구조와 실질적으로 통합하는 방향으로 정책 전환이 필요하다. 또한 혼농임업은 REDD+의 불확실성·변동성을 줄이고 지역사회 수용성을 높이며, 산림전용 압력을 완화하는 전략으로서 특히 개도국 현장에서 실현 가능성이 높다.

향후 REDD+는 단순한 보전 중심 모델에서 벗어나 생산·참여·감축·안정성을 통합하는 다기능적 토지이용 전략으로 재설계될 필요가 있다. 특히 한국의 REDD+ 국제협력 사업과 NDC 달성을 위해서는 국가 REDD+ 체계와 MRV·회계의 일관성 확보, 토지권 명확화와 거버넌스 안정성, 생계 기반과 혼농임업의 결합, 성과기반 보상의 공정한 분배 구조 등 종합적 접근이 요구된다. 이러한 재설계를 통해서만 REDD+는 단기적 시범 사업을 넘어 지속 가능한 국제 감축 메커니즘으로 자리 잡을 수 있으며, 한국의 해외 산림 감축 전략 또한 실질적 성과와 정책적 정합성을 확보할 수 있을 것이다.

제3장

혼농임업과 REDD+ 연계 사례

혼농임업과 REDD+ 연계 사례

1. 혼농임업의 개념과 기능

혼농임업(Agroforestry)은 하나의 토지이용 단위에서 나무·농작물·가축을 의도적으로 결합하여 경영하는 전통적이면서도 현대적인 토지이용 방식이다.¹¹⁾ 현재 세계적으로 약 10억 ha에서 실행되고 있으며, 12억 명 이상이 종사한다. 열대지역에서는 가나·브라질의 코코아 혼농임업, 중앙아메리카의 임목축업, 유럽에서는 스페인의 데헤사(돼지 방목+코르크나무), 중앙유럽의 Streuobst(과수+농작물), 북유럽의 순록 목축 등이 대표적이다. 1960년대 이후 농업의 집약화로 일부 전통 혼농임업은 쇠퇴하였으나 최근에는 생물다양성 보전, 토양 침식 방지, 공기 정화 등 환경적 가치가 재조명되면서 지속 가능한 자원관리 수단으로 다시 주목받고 있다.

혼농임업의 유형은 구성 요소, 공간·시간적 배열, 생태적 기능, 사회경제적 맥락에 따라 다양하다. FAO는 순혼농임업(silvoarable: 임목+농작물), 혼목임업(silvopastoral: 임목+가축), 혼농축임업(agrosilvopastoral: 임목+농작물+가축)으로 구분한다. EU CAP은 여기에 산림농장, 생울타리, 방풍림, 수변림 등을 포함하

11) 최지선(2020)의 내용을 정리.

며, AGFORWARD는 고소득 임목 시스템, 농경지형 혼농임업, 축산형 혼농임업, 자연·문화적 가치형 혼농임업으로 유형화한다. 실제로는 시간과 공간에 따라 다양한 유형이 중첩되는 복합적 체계가 많다.

이 외에도 혼농임업은 양봉(Apiculture)과 어업(Aquaculture)을 통합하여 다종적 생산성과 생태적 이점을 확대하기도 한다. 양봉은 꿀 생산을 넘어 농작물의 수분을 촉진해 수확량을 높인다. 멕시코 맹그로브 지역에서는 벌통당 연간 65kg의 꿀을 생산하며 생태계 복원과 지역경제 활성화에 기여하는 모델로 활용된다. 어업 통합은 벼-어류 시스템과 실버-아쿠아컬처로 발전하였다. 벼-어류 시스템에서는 물고기가 잡초와 해충을 제거해 농약 사용을 줄이고, 배설물이 비료가 되어 화학비료 사용을 절감하며, 동시에 벼와 어류를 함께 수확해 식량과 소득을 늘린다. 실버-아쿠아컬처는 인도네시아 맹그로브 숲과 어업을 혼합하는 형태 등이 유명하다.

〈표 3-1〉 혼농임업 유형 비교

구분	순혼농임업 (Silvoarable)	혼목임업 (Silvopastoral)	혼농축임업 (Agrosilvopastoral)
구성 요소	임목+농작물	임목+가축	임목+농작물+가축
주요 특징	나무를 일정 간격으로 배치, 생육 단계별 작물 전환	그늘·방풍+목초·사료+방목	가정정원형 다종(상·중·하층)+ 순환방목+유기순환
생태적 효과	미기후 완화, 토양침식 억제, 탄소 저장	토양 고정, 분뇨 환원, 생태순환	탄소·생물다양성 극대화, 잔재물 퇴비화
주요 수종 작물/가축	망고·티크·딥테로·아카시아·알비지아·유칼립투스 / 벼·옥수수·카사바·콩·참깨·고추·생강·카카오·커피·채소	루케나·세스바니아·글리리시디아·알비지아·파쿠스·바나나 / 목초(나파에·브라기아리아·스티아로·기나) / 소·물소·염소·양·돼지·닭·오리	상층(망고·티크·딥테로), 중층(두리안·림부탄·코코아·커피), 하층(생강·채소) / 염소·닭 등
경제적 효과	나무 성장기에도 지속적 수확	축산물+임목 결합 수익, 생산성↑	연중 수확·현금흐름 안정, 리스크 분산

자료: 저자 작성.

혼농임업의 성공적인 설계를 위해서는 기후와 지형에 맞는 작물과 수종 선택이 중요하다. 이러한 선택이 적합할 때 생산성과 환경적 지속 가능성을 동시에 달성 할 수 있다. 주로 활용되는 작물·수종과 적용은 다음과 같다. 아시아에서는 논이 많은 열대·아열대 기후를 이용해 쌀과 물고기를 동시에 기르는 ‘논-어류 시스템’

을 운영하며, 물과 양분을 재활용해 식량과 단백질, 추가 소득을 확보한다. 옥수수는 인도와 네팔 등지에서 빠르게 자라는 고무나무나 아카시아와 혼식되어 사료와 곡물 역할을 겸하고, 습윤한 지역에서는 바나나가 코코넛·고무·커피나무 아래에서 그늘과 과일을 제공한다.

산악지대에서는 차와 커피가 대표적 경제작물이다. 중국 윈난의 전통 차림에서는 차나무와 큰 교목이 공존해 높은 생물다양성을 유지하고, 베트남과 인도네시아의 커피 농가에서는 질소를 고정하는 글리리시디아와 알비지아를 함께 심어 토양을 비옥하게 하고 커피 품질을 높인다(USAID & WINROCK, 2019).

카사바는 열악한 토양에서도 잘 자라며, 동남아시아와 아프리카에서 토양 회복과 식량 확보에 중요한 뿌리작물로 이용된다. 콩류는 질소를 고정해 토양 비옥도를 높이고 윤작 작물로 활용된다. 지역 특성에 맞는 다년생 수종으로는 코코넛, 기름야자, 고무나무, 유칼립투스, 아카시아, 뽕나무, 티크, 님나무, 대나무 등이 있으며, 목재·기름·라텍스·사료·누에 먹이 등 다양한 용도를 제공한다.

아프리카에서는 사바나와 고산지대의 생태계에 맞춰 혼농임업이 발전하였다. 사헬과 동부·남부 아프리카에서는 옥수수·조·수수 같은 주식 작물을 재배할 때 파이더비아 알비다와 같은 질소고정 나무 아래에 심는 것이 보편적이다. 이 나무는 우기에 잎을 떨어뜨려 토양에 질소를 공급하고 건기에 잎을 다시 내어 가축 사료와 그늘을 제공하며, 이런 특성 덕분에 옥수수 수확량이 무나무 지역보다 280% 증가하였다(Mongabay, 2009. 8. 24.). 잠비아와 말라위 당국은 헥타르당 100그루 식재를 권장할 정도로 효과를 인정하고 있다.

경제작물로는 동아프리카 고지대의 커피와 카카오가 중요하며, 이들을 재배할 때 *Grevillea robusta*, *Ficus*류, *Cordia alliodora* 같은 나무를 그늘나무로 사용한다. 다목적 수종으로는 사헬의 *Faidherbia* 외에도 *Gliricidia sepium*이 널리 심어진다. 나무는 울타리와 연료, 그늘, 침식 방지 등 다양한 용도로 쓰이며, 잎과 가지가 조단백질 18~30%를 포함해 가축 사료로 뛰어나고 커피·차·카카오 재배지에서 지주나 그늘나무로 쓰인다(USAID & WINROCK, 2019).

중남미에서는 열대우림과 안데스 산악지대의 여건에 맞춰 혼농임업이 발전해

왔다. 안데스와 중미 고지대에서 옥수수와 콩은 기본 식량작물로, *Inga edulis*와 *Erythrina edulis* 같은 질소고정 나무의 그늘 아래 재배하면 토양 비옥도와 수분 보유력이 높아진다. 아마존 저지대와 중부 아메리카에서는 카사바·감자·플랜틴 같은 뿌리작물이 과수·그늘나무와 함께 심어 탄수화물 공급을 보장한다. 경제작물로는 커피와 카카오가 중심이며, 특히 커피 농가에서는 전통적으로 *Inga* 나무를 그늘나무로 심어 잎 낙엽이 토양을 덮고 양분을 유지해 잡초를 억제하며 토양 침식을 크게 줄인다.

종합하면, 아시아·아프리카·중남미의 혼농임업은 지역 생태에 맞는 작물과 수종을 선택해 기후 적응성과 생산성을 높이고 있다. 아시아는 쌀·옥수수와 열대 과일 및 차·커피를 나무와 결합한 혼농임업과 논-어류 시스템이 특징이며, 아프리카는 질소고정 수목을 활용해 옥수수·수수 수확을 크게 증대한다. 중남미는 커피·카카오 시스템에서 수목을 이용해 토양 보호와 수확 증대를 실현한다.

2. REDD+에서의 혼농임업과 도전과제

2.1. REDD+와 혼농임업

일반적인 혼농임업은 주로 농업 생산성 향상과 소득 증대에 초점을 맞추는데 REDD+ 메커니즘 내에서의 혼농임업은 탄소흡수원 기능이 강조된다는 점에서 근본적 차이가 있다. REDD+에서의 혼농임업은 생계형 압력을 해소하고 탄소 저장량을 증진하는 보조 수단을 넘어서서 REDD+ 사업의 구조적 효율 제고 전략 요소로 기능할 수 있다(Verchot et al., 2014). 이에 따라 REDD+에서의 혼농임업은 일반적 접근법과 달리 정책 지향적이며, 탄소 회계 중심적이고, 다층적 거버넌스 기반이라는 전략적 차이가 있다.

REDD+에서의 혼농임업은 탄소 감축 성과를 정량적으로 측정하고 검증

(Measurement, Reporting, and Verification: MRV)해야 하는 의무가 따르며, 이는 주로 산림 탄소축적량(forest carbon stocks) 증진 활동을 통해 구현된다. 이는 일반 혼농임업이 갖지 않는 중요한 특징으로, 사업 설계 단계부터 흡수량 계측을 위한 과학적인 방법론 적용이 필수적이다.

일반 혼농임업은 지역적 차원에서 농민들의 자발적인 참여로 이루어지는 경우가 많지만, REDD+ 혼농임업은 국가 또는 국제적 수준의 정책 목표와 연계되어 체계적인 거버넌스 구조와 재정 지원 시스템을 기반으로 추진해야 한다. 사업의 성공을 위해서는 지역공동체의 참여뿐만 아니라, 토지 소유권, 이익 분배, 환경 및 사회적 안전장치(Environmental and Social Safeguards)와 같은 제도적 요인들이 중요하게 다루어져야 한다(Larson et al., 2013).

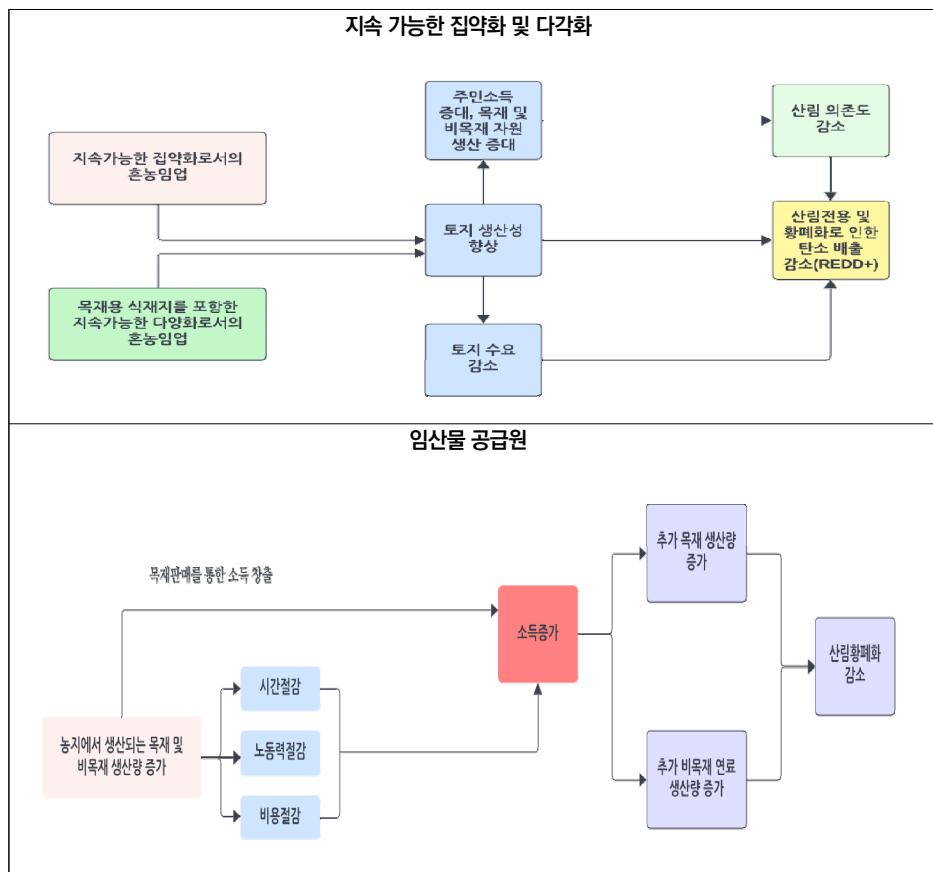
이러한 차이를 고려하면 REDD+에서의 혼농임업은 단순한 수목 식재나 농업 생산 활동으로 추진하는 것은 적절치 않으며, 적법성, 정당성, 참여적 거버넌스와 같은 REDD+의 다층적 프레임워크를 충족하는 통합적인 방식으로 재구성이 필요함을 시사한다. REDD+에서의 혼농임업은 성과기반 금융(Results-Based Payment: RBP)을 통해 재원을 조달하므로 초기 사업 단계에서부터 파트너 국가의 상당한 정치적 의지와 제도 개혁 의지가 필수적이다(UN-REDD, 2022). 따라서 REDD+ 프레임워크 내의 혼농임업은 정책 목표, 재정 구조, 그리고 책임성(Accountability) 기준이 확고해야 함을 알 수 있다.

〈표 3-2〉 일반 혼농임업과 REDD+에서의 혼농임업의 차이

구분	일반 혼농임업	REDD+에서의 혼농임업
목표 우선순위	농가 소득 증대, 지역 생산 효율 제고	탄소 감축 및 흡수원 증진, 국제 기후목표 기여
핵심 요구사항	지역 생태적 합성, 농업(재배) 기술	MRV, 환경 및 사회적 안전장치 준수
정책 연계성	주로 농림업 정책, 분산형	국가 정책(NDC 등)이나 국제 기후 협약 (UNFCCC 등)과 연계, 중앙집중형
재정 메커니즘	보조금, 선행적 개발원조, 농산물 수익	성과 기반 금융(RBP) 및 탄소 시장 크레딧 판매
책임성 기준	수목 생존율, 기술적 준수사항 (현지 공무원 현장 점검)	탄소 포집량 등 성과 회계, 제3자 검증 필수
제도적 기반	중앙 및 지역 정부 농림업 규정	바르사바 프레임워크 및 NDC 목표 연계
전략적 의미	산림전용 완화 수단	경제적 지속 가능성 확보를 위한 시스템 전환 전략

자료: 저자 작성.

〈그림 3-1〉 혼농임업이 REDD+ 메커니즘에 기여하는 두 가지 경로



- 1) 지속 가능한 집약화 및 다각화: 같은 땅에서 농업 생산성을 높이고 다양한 소득원을 창출해 산림전용을 줄이는 효과.
- 2) 임산물 공급원: 목재와 비목재 임산물을 농지에서 충족시켜 산림을 직접 훼손하지 않고도 필요한 자원을 얻는 효과.

자료: Minang et al.(2014)의 자료 저자 번역 및 재구성.

2.2. 해외 적용사례

2.2.1. 인도네시아 수라바야 맹그로브 복원 사례로 본 지속 가능한 혼농임업

① 케푸티(Keputih) 마을 사례: 주민들의 자발적 참여 유도

혼농임업 결합형 REDD+는 다중 현금흐름을 사업 설계에 포함시켜 연중 소득 리스크 분산을 가능케 하며, 관리·모니터링 같은 커뮤니티 활동을 공식 성과지표로 엮어 참여의 지속 가능성을 제도화하기 쉽다. 이러한 방향성은 현장에서도 확 인되었다. 인도네시아 수라바야 맹그로브 복원사업을 통해 지속 가능한 REDD+ 사업모델을 발굴하고자 한다.¹²⁾

케푸티(Keputih) 마을은 수라바야시 동해안에 위치하며, 총면적은 14.40km², 해발 고도는 약 4m이다. MARVEL 기초조사 보고서¹³⁾에 따르면, 해당 마을의 맹그로브 지역은 주로 양어지(977ha), 중밀도 맹그로브(134ha), 고밀도 맹그로브(1.19ha), 그리고 개방지(4.33ha)로 구성되어 있다. 이 지역은 토지전용의 결과로 맹그로브 숲의 단편화·축소가 진행된 지역이다. 해발 약 4m의 저지대라는 입지 특성과 함께, 양식장 중심 토지이용이 복원 가능한 공간과 수문·수질 관리 여건을 제약하여 황폐화 압력을 높여 왔다. 케푸티가 위치한 연안권(동부 자바)에서는 쓰레기 유입, 수질·염도, 토양 pH 변화, 무분별한 개발과 관리 역량 부족이 맹그로브 훼손을 가속해 왔다. 사회경제적으로는 생산가능인구가 다수이나 여성의 직접적 참여가 낮아 관리 인력·가치사슬 참여의 편중이 나타난다. 이는 장기적 관리와 수익 연결의 사슬을 약화시키는 잠재 리스크로 보인다.

케푸티 마을 맹그로브 복원사업은 2003년 11월에 시작되었고¹⁴⁾, 맹그로브 유묘(어린나무) 조림 사업을 시작하였다. 2025년 맹그로브 나무의 생존율은 70%를 상회하였다. 맹그로브 나무의 생존율 제고에 중요한 역할을 한 것은 주민들의 자

12) 해외 현지 출장 내용을 기반으로 작성됨.

13) 월드비전 내부자료.

14) 사업의 주체는 월드비전임.

발적 참여이다. 주민들은 정기 모니터링과 자발 관리를 통해 유묘 생존율을 높이고, 맹그로브 유모에 위협이 되는 염소의 접근 차단을 위한 올타리를 자발적으로 설치하는 등 실천적 대응을 이어가고 있다. ‘심기는 쉽지만 유지가 핵심’이라는 REDD+의 취약 지점을 주민 주도 관리로 보완하고 있는 사례이다.

케푸티 주민들이 인센티브 없이도 자발적인 참여가 가능했던 이유는 몇 가지 동인이 겹쳐 작동했기 때문으로 판단된다. 첫째, 염소가 유묘를 잡아 먹는 장면을 반복적으로 목격하면서 생착률 저하의 주원인이 염소의 접근임을 인지한 것이다. 이에 따라 올타리는 저비용·고효과의 즉시적 해결책이 제시되었다. REDD+의 핵심은 식재된 수목의 건전한 생착이 최우선이라는 점이다. 이를 위해 생착·성장 을 저해하는 요인을 명확히 구분하는 것이 필요하다. REDD+에서 혼농임업은 중장기적으로 공동 편익과 탄소 성과를 확대하는 유효한 보완 전략이지만, 산림의 생태적 기반(생존율·생장률·건강도)이 확보되지 않은 상태에서의 성급한 도입은 관리 복잡성만 높일 수 있다. 따라서 사업추진 식재 산림의 생착률·생장률·건강 확보가 최우선이다.

둘째, 대부분이 새우·밀크피시 양어지를 운영하는 주민들이라 맹그로브 복원 이 수질 개선·침식 완화·유생 서식처 제공 등 자신의 생계와 곧바로 연결된다는 사실을 체감해, 사적 인센티브가 공익과 자연스럽게 정렬되었다. 셋째, 커뮤니티 모니터링을 통해 생존율 개선을 눈으로 확인하면서 효능감이 축적되어 추가 행동으로 이어졌다. 넷째, 생태관광·가공품·해설 활동 등 추가 소득 경로가 구체적 기회로 제시·시범화되면서 ‘지금의 관리가 미래 수입으로 돌아온다’는 기대가 형성되어 자발적 협력의 내구성을 높였다.

〈그림 3-2〉 케푸티(Keputih) 맹그로브 생태복원 현장



자료: 저자 촬영.

② 워노레조 사례: 맹그로브 생태복원과 생태관광, 가공제품 생산

워노레조는 수라바야 도심에서 차량으로 30분 내 접근 가능한 저지대 해안으로, 풍부한 맹그로브 숲과 다양한 해양 생물이 서식하는 대표적 블루카본 생태계이다. 이 지역은 Wonorejo Mangrove Eco-Tourism Area로 알려져 관광 접근성이 좋으며, 맹그로브 조림·보식·모니터링이 수년간 지속되어 왔다(조림 대상지 약 70ha).

주민들은 Wonorejo Mangrove Education Center를 중심으로 소규모 관광객 유입이 있는 보트 투어 등 체험형 프로그램을 운영하고, 지역 청년단체가 보전과 생태관광에 참여하는 등 도시-농어촌 혼합형 마을의 장점을 살려 복원과 지역활동을 결합해 왔다. 그러나 관광 콘텐츠가 단편적인 편이라 지속적인 관광객 유입에는 제한이 나타나는 것으로 보인다.

현장 점검 결과 워노레조는 유묘 생육 환경이 전반적으로 양호하고, 커뮤니티 차원의 정기 모니터링과 공동관리 체계가 안정적으로 작동하고 있었다. 케푸티에서 관찰된 염소 섭식 피해는 이곳에서는 확인되지 않았으며, 복원지를 둘러싼 환경도 비교적 안정적이었다.

주민들은 “심는 일은 당장 소득이 되지 않더라도 장기적으로 어업자원 회복과 소득 증대, 탄소 저감에 기여한다”는 인식을 공유하고 있어 단기 인센티브 없이도 관리·모니터링에 지속적으로 참여하는 기반이 형성되어 있다. 이러한 주민 주도 거버넌스는 높은 생존율과 양호한 복원 상태를 뒷받침하고 있다. 이러한 지역 주민의 장기적인 관점에서의 인식 변화와 자발적 참여는 맹그로브 복원 사업의 성공에 있어 중요한 기반이 되고 있으며, 향후 타 지역의 모델로서 참고할 수 있는 사례로 평가된다.

다만 해결해야 할 제약도 분명히 나타나고 있다. 기후변화로 인한 해수면 상승과 쓰레기 유입, 수질·염도·토양 pH 변동은 유묘 생존율을 떨어뜨리는 핵심 리스크로 남아 있으며, 일부 지역에서 반복돼 온 ‘심고 사진으로 끝나는 이벤트성 식재’에 대한 불신은 참여 동력을 약화시킬 수 있다.

관광 측면에서는 체험프로그램이 존재하나 콘텐츠가 단편적이고 기반 시설이 부족해 지역경제 파급효과가 제한적이다. 맹그로브 열매 시럽 등 가공제품도 제조 시연과 판매 시도가 이어지지만, 시장접근·브랜딩·품질 인증·유통 채널이 미흡해 아직 실질 소득으로 이어지지 못하고 있다. 여성의 직접적 참여도 낮아 여성 소상공인 육성과 역할 다변화를 통한 포용성 제고가 필요하다. 또한 통장 계좌 개설 등 금융 시스템 이용에 어려움을 겪는 주민이 많아서 가공식품 판매 등 2차 소득이 가시화되기 위해서는 지역의 금융 문맹에 관련된 문제 해결이 시급하다.

성과와 한계를 종합하면 인도네시아 사례가 제시하는 REDD+ 지속 가능성의 핵심은 ‘식재→관리·활용’으로의 패러다임 전환과 혼농임업 결합형 설계이다. 첫째, 생존율·건강도 확보를 최우선으로 두고 유지관리·모니터링·폐기물 차단·해설 운영 등을 공식 성과지표로 삼아 결과기반보상(RBP)과 연동해야 한다. 둘째, 맹그로브 성숙 이전의 무수익 구간을 메우기 위해 혼농임업·가공·에코투어리즘을 결합한 다중 현금흐름을 사업 설계에 내재화하고, 여성·청년 중심의 소득 활동을 체계적으로 육성해야 한다. 셋째, 가공기술·위생·품질 인증·브랜딩·온·오프라인 유통을 뚜는 가치사슬 패키지를 도입해 가공품과 관광 수요를 실질 소득으로 전환해야 한다. 요컨대, 워노레조는 주민 주도 관리와 생태관광·가공을 결합해 복원성

과 참여의 내구성을 입증한 사례이며, 한국형 REDD+는 이와 같은 혼농임업+조림+관광+교육의 융합설계를 통해 NDC 기여와 지역발전을 동시에 달성하는 지속 가능 모델을 구축할 수 있을 것으로 보인다.

〈그림 3-3〉 워노레조 생태 관광체험 및 맹그로브 가공식품



자료: 저자 촬영.

2.2.2. REDD+ 혼농임업 통합 사례: 글로벌 국가

혼농임업을 REDD+ 또는 유사 산림 탄소 사업에 성공적으로 통합한 사례들은 다양한 지역에서 찾아볼 수 있으며, 이들 사례는 성공 요인과 함께 극복해야 할 장애 요인들을 보여준다.

① (아시아) 인도 편자브주 혼농임업 사업

인도 편자브주는 전통적으로 쌀과 밀의 이모작 중심의 농업 지역이었으나, 이러한 단일경작 시스템은 토양 영양 고갈, 지하수 수위 저하, 병해충 증가 등의 문제를 일으켰다(ClimateSeed, 2023). 이러한 문제를 해결하고 농가 소득을 다변화하기 위해 다양한 토착 수종과 외래종을 농경지에 도입하는 혼농임업 시스템이 대안

으로 제시되었다.

이에 따라 인도 편자브주 정부의 산림야생동물보존부와 에너지자원연구소 (TERI), Value Network Venture Advisory Services Pte. Ltd가 사업의 주요 이행 주체로 참여하는 ‘인도 편자브주 지속 가능한 혼농임업을 통한 농촌 생계 향상’ 사업이 추진되었다. 사업 기간은 2017년에서 2037년까지 총 20년에 걸쳐 진행되며, 크레딧 인증 기간은 2051년까지이다.

〈표 3-3〉 인도 편자브주 혼농임업 사업 개요

구분	정보
사업명	인도 편자브주 지속 가능한 혼농임업을 통한 농촌 생계 향상(Improving Rural Livelihoods through Sustainable Agroforestry in Punjab, India)
사업 주체	- 편자브 산림야생동물보존부(Dep. of Forests and Wildlife Preservation) - 에너지자원연구소(The Energy and Resources Institute: TERI) - Value Network Venture Advisory Services Pte. Ltd.
사업 목표	- 농지에서의 목재생산 - 온실가스 배출 완화를 통한 기후변화 대응 - 농촌 지역사회의 소득 향상과 생계 지원
사업 대상 지역	인도 편자브주 로파르(Ropar) 지역
사업 기간	2017~2037년(총 20년)
크레딧 인증 기간	2017~2051년
참여 농민 수	1,822명
사업지 면적	3,992.71ha
예상 탄소 크레딧	약 4,235만 톤 CO2
탄소 표준	VCS(Verified Carbon Standard)
탄소 풀 포함요소	지상부 바이오매스, 지하부 바이오매스, 토양 유기탄소
참조 기간	1999~2017년

자료: ID-RECCO(검색일: 2025. 5. 16.).

탄소 편의 목표 달성을 위해 이 사업은 농가 소득을 보충하기 위한 ‘탄소 수익 (carbon revenue)’ 메커니즘을 포함하고 있다. 약 1,822명의 농민이 참여하여 3,992ha의 관리 지역에서 프로젝트 기간에 약 4,235만 tCO₂eq의 탄소 감축을 목표로 한다(ClimateSeed, 2023). 이는 혼농임업을 통한 산림 탄소 축적 증진 활동에 해당한다. 탄소 회계와 인증을 위해 국제 인증 탄소 표준인 VCS(Verified Carbon

Standard)를 적용한다. 지상부 바이오매스, 지하부 바이오매스, 토양 유기탄소가 탄소 풀(pool)에 포함된다. 참조 기간은 1999~2017년으로 설정되어 있다. 비탄소 편익으로는 주민 생계 수단 향상, 기후변화 회복력 증진, 생물다양성 향상, 목재 및 기타 비목재임산물 수요 충족, 생태계 복원 관련 사업 활동을 통한 사회경제적, 환경적 편익이 포함되었다.

사업 성패는 다음 요인에 대한 고려와 효과적인 실행 여부로 결정될 수 있다. 기존 농업 시스템의 문제점 해결 필요성, 농가 소득 다변화 수요 기반의 사업 설계, 탄소 수익을 통한 직접적인 경제적 인센티브 제공이 효과적으로 이루어진다면 이 사업이 성공적으로 마무리될 가능성이 있다. 이 사업의 구체적인 장애요인은 상세히 보고되지 않았으나 대규모 조림·재조림(ARR) 사업의 일반적인 장애요인으로는 참여 농가 모집의 어려움(시간, 비용, 노동력 소요)이 지적되었다(ClimateSeed, 2023).

② 에티오피아와 가나의 혼농임업 시스템

아프리카 2개국 에티오피아와 가나의 혼농임업 시스템은 REDD+와 연계하여 높은 탄소 저장량과 다양한 생태계 서비스 가치를 증명한 사례라 할 수 있다. Wainaina et al.(2019)의 연구는 The Economics of Ecosystems and Biodiversity(TEEB) AgriFood 분석 틀을 적용하여 에티오피아의 커피와 가나의 코코아 혼농임업, 탄자니아의 옥수수-방목 순환 체계에서 나타난 혼농임업 시스템의 경제적, 생태적, 사회적 가치를 분석하였다. 이 프레임워크를 통해 생산 단계에서 다양한 생산 시스템 간의 영향과 혜택을 비교하고, 특히 에티오피아 커피와 가나의 코코아 혼농임업의 효과와 영향을 평가하였다. 본 소절에서는 Wainaina et al.(2019) 연구를 참조하여 각국의 다양한 혼농임업 사례에 포함된 생태계 서비스와 그 환산 가치를 식별해 보고자 한다.

〈표 3-4〉 에티오피아 커피와 가나 코코아 혼농임업 특징과 REDD+ 목표와의 연계

국가	혼농임업 시스템	REDD+ 목표 연관성	장벽
에티오피아 커피	다층 구조의 그늘 재배 커피 시스템	<ul style="list-style-type: none"> - 단일 옥수수 재배 대비 300% 이상 높은 탄소 저장량(49~150t/ha) - 연간 ha당 1,100~2,500달러의 커피, 식량, 연료재, 비목재임산물 등 제공 - 토양 비옥도 증진, 수분 조절, 생물다양성 보 전 등의 비탄소 편익 제공 	-
가나 코코아	다양한 그늘나무를 활용한 코코아 재배	<ul style="list-style-type: none"> - 완전 그늘(full-sun) 코코아 재배보다 33~100% 높은 탄소 저장량 - 식량, 연료재, 비목재임산물 등 부가 수입 제공 - 토양 비옥도, 생물다양성 등 유지 	- 완전 그늘 코코아 시스템 보다 순현재가치(NPV)가 낮아 경제적 유인이 부족 할 수 있음(탄소 및 생물 다양성 가치 미반영 시)

자료: Wainaina et al.(2019).

에티오피아의 커피 혼농임업 시스템은 상당한 탄소 저장능력을 나타내었다. 반
산림(semi-forest) 커피 시스템은 지상부 바이오매스에 평균 25tC/ha, 토양에
58tC/ha를 저장하여 총 83tC/ha의 탄소를 저장하며, 가든 커피 시스템(총 75tC/ha)
보다 높은 탄소 저장량을 보였다. 탄소의 경제적 가치를 고려할 때, 탄소 비용 기준
(US 41달러/tCO₂eq)으로 계산하면 에티오피아 반산림 커피 시스템은 ha당 최대 1
만 2,501달러, 가나 그늘 코코아 시스템은 ha당 최대 4만 5,533달러에 상당한 탄소
가치를 지니는 것으로 나타났다(Wainaina et al., 2019).

가나의 코코아 혼농임업 시스템 또한 상당한 탄소 저장능력을 갖는데, 그늘 코
코아 시스템의 경우, 지상부 바이오매스에 평균 22tC/ha, 토양에 95tC/ha를 저장
하여 총 117tC/ha의 탄소를 저장하였다. 전일조 코코아 시스템이 그늘 코코아 시
스템보다 높은 탄소 저장량(총 148tC/ha)을 보였다.

〈표 3-5〉 에티오피아와 가나의 혼농임업 시스템별 탄소저장량 비교

시스템 유형	지상부 탄소 (tC/ha)	토양 탄소 (tC/ha)	총 탄소 (tC/ha)	탄소 가치(USD/ha)*
에티오피아 가든 커피	22	53	75	1,789~11,288
에티오피아 반산림 커피	25	58	83	1,981~12,501
가나 전일조 코코아	25	123	148	6,728~42,414
가나 그늘 코코아	22	95	117	7,218~45,533

주: 시장 가격(6.5달러/tCO₂e)과 사회적 비용(41달러/tCO₂e).

자료: Wainaina et al.(2019).

혼농임업 시스템은 단일 작물 재배와 비교하여 다양한 소득원을 제공하여 농가의 생계 안정성을 향상하는 것으로 드러났다. 가나의 코코아 혼농임업 체계는 ha당 연간 8,139달러의 총 가치를 창출하여 전일조 시스템의 5,319달러보다 53% 높은 수익이 났다고 추정되었다. 이는 코코아(1,777달러) 외에도 플랜틴 바나나(3,130달러), 과실류(340달러), 목재(71달러), 기타 식품(2,822달러) 등 다양한 산림 부산물의 기여 때문이다(Wainaina et al., 2019).

에티오피아의 반산림(semi-forest) 커피 시스템이 ha당 801달러의 농림산물 가치를 창출해 플랜테이션 시스템의 476달러보다 68% 높은 수익을 보였다. 커피(221달러) 외에도 목재(312달러), 연료목(209달러), 꿀(54달러) 등이 중요한 소득원이 되고 있다.

〈표 3-6〉 혼농임업 시스템의 생산물별 경제적 가치 추정

단위: 달러/ha/년

생산물	에티오피아 반산림 커피	가나 그늘 코코아
주 작물(커피, 코코아)	221	1,777
식량작물	-	3,130(플랜틴 바나나)
목재	312	71
비목재임산물	267(연료목+꿀_기타)	3,162(과수+기타)
총 가치	801	8,139
비교군 총 가치	476(플랜테이션 가든)	5,319(전일조)
향상 효과	+68%	+53%

자료: Wainaina et al.(2019).

흔농임업 시스템 도입은 환경적 편의를 보장하지만, 단기적인 경제적 수익 면에서 기존의 집약적 단일재배 시스템에 뒤처지는 경우가 적지 않다. 에티오피아의 반산림 커피는 가든 커피보다 수익성이 높게 나타났으나, 가나 그늘 코코아의 수익은 기존의 집약적 단일재배 시스템에 미치지 못했다. 가나에서 전일조 코코아 시스템이 ha당 2,376달러의 수익을 창출했으나 흔농임업 모델인 그늘 코코아 시스템은 1,377달러에 불과해 단일재배 시스템보다 수익성이 42% 낮았다. 이러한 수익성 격차는 농민들이 환경친화적 흔농임업 시스템을 도입하고 유지할 경제적 동기를 약화하는 중대한 요인이 될 수 있다.

인증제도를 통한 가격 프리미엄도 이러한 단기 수익성 격차를 충분히 상쇄하지 못하고 있다. 가령 가나의 레인포레스트 얼라이언스(Rainforest Alliance) 인증 코코아는 톤당 15.25달러의 프리미엄만을 받고 있는데, 연구 결과에 따르면 이 프리미엄을 세 배로 증가시켜도 집약적 단일재배만큼의 수익성을 확보하기 어려운 실정이다(Wainaina et al., 2019).

〈표 3-7〉 생산 시스템별 수익성 비교

시스템	가나	에티오피아	단위: 달러/ha/년
흔농임업	1,377(그늘 코코아)	415(인증 반산림 커피)	
집약적 시스템	2,376(전일조 코코아)	390(가든 커피)	
수익성 격차	-42%	+6%	
인증 프리미엄	USD 15.25/톤	21%(정규가격 대비)	

자료: Wainaina et al.(2019).

이러한 수익성 격차를 해결하는 제도적 방안으로 흔농임업을 REDD+에 통합하는 안이 제시되었다. 흔농임업 시스템의 높은 탄소 저장능력을 고려하여 REDD+ 적용을 통한 탄소 크레딧 거래를 농민의 추가 소득원으로 확보하되 단위 면적당 발생할 수 있는 추가 수익을 사전 평가하여 주민들에게 충분한 경제적 유인을 제공하는지 분석할 필요가 있다. 에티오피아의 반산림 커피 재배 시스템의 수익성을 뒷받침한 인증 프리미엄의 수익 보완성 또한 따져보아야 한다. 인증받

은 반산림 커피는 제한적인 단기 탄소 크레딧 거래 수익을 보완할 만한 프리미엄 가격을 통해 토지수익률(415달러/ha, 390달러/ha)과 노동 수익률(7.72달러/일, 4.38달러/일)에서 기존 가든 커피 시스템을 웃돌았다(Wainaina et al., 2019).

끝으로, 정량화한 생태계 서비스 가치를 기반으로 한 지불제 도입이 단기 수익 성 격차의 해결 방안이 될 수 있다. 토양침식 방지(774달러/ha), 수분 서비스 (55~79달러/ha), 생물학적 해충 방제(44달러/ha), 수질 정화(83달러/ha) 등의 가치를 농민에게 보상하여 혼농임업 시스템을 유지할 경제적 동인을 마련할 수 있다.

〈표 3-8〉 혼농임업 시스템의 생태계 서비스 가치 추정

생태계 서비스	에티오피아 커피 혼농임업	가나 코코아 혼농임업	단위: 달러/ha/년
토양 침식 방지	774	-	
수분 서비스	55~79	665	
생물학적 해충 방제	44	216	
수질 정화	83	-	
토양 비옥도 개선	136(영양 순환)	(정량화 안 됨)	
총 생태계서비스 가치	1,092~1,116	881	

자료: Wainaina et al.(2019).

이들 사례는 전통적 혼농임업 시스템의 높은 탄소 저장 잠재력과 생계 기여 효과를 보여준다. 동시에 경제적 유인 부족과 경제적 부가가치 창출을 저해하는 각종 제도적, 환경적 요인들이 혼농임업의 지속성을 위협하는 요인이 될 수 있음을 시사한다. 따라서 혼농임업을 REDD+ 전략에 통합하여 탄소 가치의 소득화 지원, 인증제 구축을 통한 가격 프리미엄 보장, 생태계서비스지불제 도입과 더불어, 토지와 수목 소유권 보장, 시장 접근성 개선, 혼농임업과 환경관리 기술 지원을 포함한 종합적인 정책 지원 패키지가 요구된다(Wainaina et al., 2019).

③ 페루 아마존 브라질네트 채취권 지역 REDD+ 사업

페루 아마존 지역산림관리(Community Forest Management: CFM)는 전통적

보전에서 벗어나 지역 주민의 필요와 생물다양성 보전을 조화시키는 방식으로 주목받고 있다. 세계 9위의 천연림 보유국인 페루는 7,300만 ha의 산림을 보유하고 있으나, 연간 10만 ha 이상의 산림 손실과 불법 벌채 문제에 직면해 있다. 페루 아마존에 거주하는 370만 명의 지역 주민들이 참여하는 CFM은 REDD+ 사업의 효과성을 강화할 수 있는 핵심 전략으로 제시되었다.

1990년대 통합보전개발사업(ICDPs)의 등장과 함께 페루 아마존 지역에서도 전통적 목재 추출 관행의 대안으로서 지역산림관리가 주목받기 시작했다. 2000년 산림법 도입 이후 여러 원주민 공동체 사이에서 산림자원 관리 이니셔티브가 본격적으로 논의되었으며, 2005년 50개 이상의 CFM 이니셔티브가 현지 또는 해외 NGO의 지원을 받았다.

페루 아마존에 거주하는 원주민, 리베레뇨(riberenyos), 식민정착민들은 산림자원을 주요 생계 수단으로 활용하는 경우가 많았다. 이들은 수렵, 채집, 농림어업 등을 통한 자급자족형 산림 이용을 실천해 왔으며, 이러한 전통적인 관리기법이 현대적 지역산림관리의 기반이 되었다.

페루 아마존의 지역산림관리 시스템은 REDD+의 핵심 목표인 탄소 저장량 유지와 증진에 기여한 것으로 나타났다. 페루와 브라질에 걸쳐 있는 아마존 일대의 혼농임업 시스템은 아사이(açaí), 안디로바(Andiroba), 코파이바(copaiba), 쿠푸아수(cupuazú), 카카오, 바나나 등 다양한 수종을 옥수수, 카사바와 함께 재배하여 생물다양성 증진과 탄소저장을 동시에 달성하였다.

페루 마드레 데 디오스(Madre de Dios) 지역에서의 브라질너트 채취권지역 (concessions)은 REDD+ 사업을 통해 탄소 저장과 산림보전에서 주목할 만한 성과와 잠재력을 보여준다. 이 채취권 지역은 생태계에 최소한의 교란만을 가하면서 산림보전을 지원하는 지속 가능하고 공평한 산림자원 이용 거버넌스 모델을 제시하였다. 세계은행과 국제임업연구센터(CIFOR)의 보고서에 따르면, 이 사업은 Bosques Amazónicos(BAM)라는 페루 기업이 주도하며, 총 29만 1,566ha에 달하는 377개의 브라질너트 채취권 지역을 대상으로 한다.

폐쇄 수관을 지닌 이 지역의 산림은 브라질너트 군락을 포함한 고지대 테라스

숲(High terrace forests with brazil nut stands)이 전체의 57%를 차지하여 생태학적으로 중요한 가치를 지닌다(Garrish et al., 2014).

본 사업의 탄소 저장 잠재력은 다음과 같은 탄소량 측정을 통해 이루어졌다. 사업 계획에 따르면, 주요 탄소 저장고로 지상부 수목 바이오매스, 지하부 수목 바이오매스, 비수목 목본 바이오매스가 포함되어 있다. 탄소량은 58개의 고정 면적 표본구(각 10m×200m)에서 수집한 현장 데이터를 기반으로 산정했고, 나무, 야자수, 대나무 등을 대상으로 직경, 높이, 건강 상태 등을 측정하였다. 이 측정값을 기준 연구에서 발표한 상대생장식을 이용하여 바이오매스로 변환하였고, 지하부 바이오매스는 뿌리줄기 비율을 적용해 추정하였다(Garrish et al., 2014). 사업 미시행 시에는 이 지역에서 31년의 사업 기간에 총 8,921만 tCO₂ eq의 순 배출량이 발생할 것으로 예상되었다. 외부로부터의 농경지 개간, 목축지 확대, 불법 채굴 등으로 인한 산림전용이나 황폐화가 상당한 순 배출량을 초래해왔기 때문이다.

그러나 REDD+ 사업을 통해 배출을 방지하고 탄소를 저장하여 사업 기간에 총 6,466만 tCO₂의 순 온실가스 배출 감축량을 달성할 것으로 추정된다. 이를 연평균으로 환산하면 약 208만 tCO₂, ha당 연평균 7.15tCO₂의 감축 효과를 내는 것이다 (Garrish et al., 2014).

혼농임업과 REDD+를 융합한 이 사업은 산림보전 성과와 잠재력을 보였다. 페루의 인터오세아닉(Interoceanic) 고속도로 개통 및 보수로 산림 접근성이 향상되었고 그로 인한 무분별한 개발 압력 우려가 있었으나, 이 사업은 개발 압력으로부터 브라질너트 채취권 지역의 산림을 보호하는 것을 목표로 하였다. 사업 목표 실현을 위해 (1) 혼농임업과 FSC 인증 획득 지원, (2) 산림복원, (3) 산림 감시와 순찰 체계 강화, (4) 거버넌스 강화와 인식 제고라는 네 가지의 산림보전 활동이 주요하게 포함되었다.

REDD+ 사업 참여와 동시에 지속 가능한 생산활동을 지원하기 위해 브라질너트 채취권자들에게 혼농임업, 기타 임산물 관리, 양어 등 지속 가능한 생산활동을 위한 기술교육과 지원을 제공하였다. 이로써 단일 임산물이나 산림자원에 대한 경제적 의존도를 낮추고 지역 주민의 산림보전 유인을 강화하고자 하였다. 또한,

브라질너트의 유기농 인증과 지속 가능한 산림경영을 위한 FSC 인증 획득을 지원해 상품 부가가치를 높이고 브라질너트 채취권자의 시장 접근성과 교섭력을 높이고자 했다(Garrish et al., 2014).

또한, 연간 10만여 본의 묘목을 생산할 수 있는 양묘장을 운영하고, 채취권자들의 고유 수종 식재를 통한 산림복원 활동을 지원하였다(Garrish et al., 2014). 6개의 주요 지점에 검문소를 설치하고, 채취권자들이 직접 참여하는 12명 규모의 지상 감시팀을 운영하여 불법 벌목과 이주민에 의한 농경지 잠식 등을 감시하고 통제했다(Garrish et al., 2014).

브라질너트 채취권자 연맹(FEPROCAMD)의 조직 역량을 강화하고, 환경 범죄에 대한 조기경보 시스템과 이해관계자 민원 처리 시스템을 구축해 참여적인 산림 관리를 추구했으며, 지역 주민 대상의 산림자원과 생태계 서비스 보전의 중요성에 관한 인식 개선 활동을 전개하였다(Garrish et al., 2014).

이러한 다각적인 목표에 관한 활동은 브라질너트 채취권 지역의 생태적 통합성을 유지하고, 생물다양성을 보전하며, 지역 주민들의 주 소득원인 브라질너트 생산의 지속 가능성을 보장하기 위한 것이었다. 사업성과는 VCS와 CCBA 등의 국제 기준에 의해 검증되었다. 2016년 2월에 45만 5,149tCO₂의 탄소배출권을 발행 받아 이 지역의 브라질너트 REDD+ 사업이 실질적인 탄소저장과 산림보전 효과를 실현하였다(SCS Global Services, 2014).

④ 지역산림관리(CFM)를 통한 혼농임업과 REDD+의 연계

네팔과 탄자니아의 지역사회 기반 산림관리(Community Forest Management: CFM) 사례는 혼농임업을 포함한 지역사회 기반 REDD+ 사업 설계에 중요한 시사점을 제공한다. 이들 국가의 REDD+ 관련 사업들은 지역산림관리(CFM)의 기존 강점을 활용하면서도, 지속 가능한 산림자원 이용과 지역 주민의 생계 개선을 위해 혼농임업 접근을 일부 포함하거나 고려하는 경향을 보였다.

네팔과 탄자니아의 지역산림관리(CFM) 및 REDD+ 시범 사업에서 혼농임업

요소가 어떻게 통합되었는지, 그리고 그 성과는 어떠했는지에 대한 구체적인 정보를 아래와 같이 제시할 수 있다(World Bank, 2024; Angelsen, 2008).

네팔에서 지역 주민 조직(Community Forest User Groups: CFUGs)를 중심으로 REDD+ 시범 사업이 추진되었다. 이들 사업은 주로 기존 지역사회의 숲 관리 계획을 확장하거나 개선하는 데 중점을 두었다. 지역산림관리와 REDD+를 연계한 이 사업에는 혼농임업 요소가 주요하게 포함되었는데, 네팔의 REDD+ 시범 사업 중 일부는 산림황폐화를 줄이고 지역 주민 소득을 높이는 방안으로 혼농임업 활동을 장려했다.

가령, 국제통합산림개발센터(International Centre for Integrated Mountain Development: ICIMOD)와 아시아지속 가능농업네트워크(Asia Network for Sustainable Agriculture and Bioresources: ANSAB)가 주도한 고디야리(Gaudiyari) 유역 REDD+ 시범 사업에서는 황폐지 복원, 사유지와 공용 토지에 수목(과수 및 사료용) 식재 등 혼농임업 활동을 지원했다(World Bank, 2024; Angelsen, 2008). 비목 재임산물의 지속 가능한 채취와 가공, 가치사슬 개발을 통한 지역 주민 소득 증대를 추구했는데, 이는 넓은 의미의 혼농임업과 연계되었다. 조리 스토브 보급과 대체 에너지원 개발 지원 등이 병행되어 임산자원 이용 압력을 줄이고자 하였다(World Bank, 2024; Angelsen, 2008).

일부 REDD+ 시범 사업 지역에서 산림 탄소 축적량 증가가 보고되었고, 특히 고디야리 사업에서는 4년에 걸쳐 약 10만 tCO₂ eq의 탄소 배출 감축과 흡수 증진 효과가 측정되기도 하였다. 이러한 탄소 편익은 산림 관리, 황폐지 복구, 혼농임업을 통한 식생 회복 등의 효과일 수 있다(World Bank, 2024; Angelsen, 2008).

혼농임업 요소를 포함한 REDD+ 사업을 통해 지역 주민들은 연료목, 사료, 비목재임산물 등 다양한 산림자원의 활용도와 접근성이 커졌다. 토지 생산성 향상과 수자원 확보와 같은 생태 편익도 보고되었다. 사업 이행 기간에 지역사회의 의사결정 거버넌스가 개선되었고, 여성과 취약계층의 참여도가 높아지면서 사회적 편익이 발생한 것으로 평가되었다(World Bank, 2024; Angelsen, 2008).

탄자니아에서는 참여적 산림관리(Participatory Forest Management: PFM) 제

도가 REDD+ 이행의 주요 기반이 되었다. PFM은 지역 주민들이 산림자원관리 주체가 되고 이로부터 발생하는 편익을 공유하는 방식이다. 탄자니아의 REDD+ 시범 사업의 일부는 산림보전과 지역 주민의 생계 수단 다변화를 위한 혼농임업 활동을 동시에 지원했다. 가령 탄자니아 전통에너지개발기구(Tanzania Traditional Energy Development Organisation: TaTEDO)가 수행한 사업에서 지역사회와의 협력을 통해 마을 단위의 토지 이용 계획을 수립하였고, 이를 바탕으로 연료목 공급, 토양 비옥도 증진, 소득원 창출 등을 위한 혼농임업 활동을 지원해 왔다. 이는 지속 가능한 에너지 확보와 산림보전을 연계한 접근법이라 할 수 있다.

생태적 영농방식 도입, 양봉, 벼섯 재배 등 산림 친화적 소득 활동을 장려하고 관련 농업기술 보급, 비목재임산물 가공, 소규모 친환경 사업 개발 등을 통해 지역 주민들의 생계 수단을 다변화하고 단일 산림자원 이용 압력을 줄이고자 했다 (World Bank, 2024; Angelsen, 2008). 이 사업을 통해 참여적 산림관리(PFM) 지역에서의 REDD+ 시범 사업을 통해 산림전용과 황폐화가 감소하고 궁극적으로 탄소 배출 감축 효과가 나타난 사례들이 보고되었다.

구체적인 탄소 감축량 데이터는 사업별로 다르지만, 지역사회의 적극적인 산림 보호 활동 참여를 촉진한 것이 탄소 저장량 유지와 향상에 기여한 요인으로 평가 받는다 (World Bank, 2024; Angelsen, 2008).

탄소 배출 감축 외에도 다음과 같은 비탄소 편익이 발생했다. 지역 주민들은 참여적 산림관리(PFM)와 REDD+ 관련 활동을 통해 산림자원 이용 권한을 확보하고, 여기서 발생하는 수익(목재 판매, 생태관광 등)을 배분받았다. 지역 주민의 혼농임업 활동을 지원함으로써 소득원 다변화, 연료목 접근성 향상 등 직접적인 생계 관련 경제적 편익을 제공했다. 또한, 지역 주민들의 산림 관리 역량 증진, 지역 사회조직 활성화, 주민 참여형 토지 이용 계획 수립 등 거버넌스의 긍정적 변화도 중요한 비탄소 편익이라 할 수 있다 (World Bank, 2024; Angelsen, 2008).

결론적으로 네팔과 탄자니아의 지역사회 산림관리와 REDD+ 관련 사업들은 명시적으로 ‘혼농임업’이라는 개념이나 명칭을 사용하지 않더라도 내용 면에서 산림보전과 지역사회 생계 개선을 동시에 추구하는 과정에서 혼농임업의 요소들

을 폭넓게 도입하거나 기존 혼농임업을 강화하는 방향으로 전개되었다. 이는 혼농임업이 REDD+의 효과성과 지속 가능성은 높이는 데 효과적인 전략일 수 있음을 시사한다.

2.3. 성공 요인과 도전과제

2.3.1. 성공 요인

혼농임업은 UNFCCC가 정의한 REDD+의 5대 활동(전용·황폐화 감축, 탄소 축적 보전·증진, 지속 가능 산림경영) 모두에 직·간접적으로 기여하는 전략으로, 산림전용 압력 완화와 탄소저장 확대에 효과적이다. 혼농임업 시스템은 지상부·지하부·토양 유기탄소를 동시에 늘려 단일 경작지 대비 훨씬 높은 탄소저장 잠재력을 보이며, 글로벌 연구에서도 대규모 감축 잠재량이 실증되고 있다. 동시에 식량·소득다각화·생태계 서비스·지역역량 강화 등 비탄소 편익을 제공하여 REDD+ 사업의 수용성과 지속 가능성을 높이고, 주민 참여와 생계 개선, 전통 지식 활용을 촉진한다. 특히 토양탄소 축적, 침식·황폐화 방지, 미기후 안정화 등을 통해 REDD+의 핵심 리스크인 누출(leakage)과 비영속성(permanence risk)을 완화하면서, 장기적인 탄소 감축 효과를 안정화한다.

따라서 혼농임업을 결합한 REDD+는 단순한 탄소량 극대화 전략을 넘어, 완화·적응·생계 목표를 동시에 달성하는 통합형 기후 솔루션으로 REDD+ 정책의 핵심 방향으로 자리매김할 수 있다.

앞서 논의하였던 해외 REDD+ 와 혼농임업 융합 사례들을 성공 요인 측면에서 살펴보면 공통적으로 ① 지역공동체 기반의 강한 거버넌스와 참여 구조, ② 혼농임업과 다중 현금흐름 구조를 통한 생계·소득 보완, ③ 탄소·생태계 서비스 가치의 내재화 등이 나타나는 것이 확인되었다.

첫 번째, 지역공동체 기반의 강한 거버넌스 참여 구조는 다양한 사례들에서 두

드러지게 나타난다. 수라바야 케푸티·워노레조의 맹그로브 복원에서는 CFUG에 상응하는 주민 조직이 식재·모니터링·울타리 설치·쓰레기 차단 등을 일상적인 활동으로 내재화하여 생존률을 70% 이상 유지하고 있다. 페루 브라질너트 채취권 지역과 네팔·탄자니아의 CFM 사례 역시 지역조직(채취권자 연맹, CFUG, PFM 마을조직)이 의사결정·감시·이익배분을 담당하는 구조를 통해 산림훼손 압력을 낮추고 탄소저장량 유지에 기여한다. 이는 SFA 모형에서 ‘주민 참여·사회적 자본’ 변수가 비효율성을 유의하게 감소시키는 요인으로 나타난 결과와 정합적이다. 프런티어에 근접한 프로젝트일수록 의사결정 권한과 책임이 현지 커뮤니티에 분산되어 있다는 점을 실증·사례 양측에서 동시에 확인할 수 있다.

두 번째, 혼농임업과 다중 현금흐름 구조를 통한 생계·소득 보완이 공통된 성공 메커니즘으로 나타난다. 인도 편자브 혼농임업 사업과 에티오피아·가나의 커피·코코아 시스템, 페루 브라질너트 REDD+ 사업 모두 목재+농작물+비목재임산물+관광/가공을 조합해 단일 산림상품에 대한 의존도를 줄이고, 농가 소득의 계절·가격 리스크를 분산한다. 이는 SFA 분석에서 혼농임업 변수가 탄소 효율성과 재정 효율성을 동시에 끌어올리는 요소로 작동하는 것과 직결된다. 효율성이 높은 프로젝트일수록 탄소 수익에만 의존하지 않고, 인증 프리미엄·생태관광·가공품 등을 결합하여 총수익과 위험 분산을 동시에 개선하는 구조를 가지고 있다.

세 번째, 탄소·생태계서비스 가치의 제도적 내재화도 중요한 성공 요인이다. 편자브 사업의 VCS 인증, 페루 브라질너트 사업의 VCS·CCBA 검증, 가나·에티오피아의 인증 프리미엄, 생태계서비스에 대한 지불제(PES) 논의 등은 탄소저장과 생태계 서비스를 ‘사회적 가치’에 그치지 않고 ‘현금흐름과 가격신호’로 전환하려는 시도이다. SFA 모형에서 제도·기부년스 지수가 높은 국가·프로젝트일수록 효율성이 높게 나타난 것처럼, 국제 인증·탄소 시장·PES 등 제도적 인센티브 장치가 구축된 사례일수록 프런티어에 더 가까운 성과를 보인다.

2.3.2. 도전과제

가. REDD+와 혼농임업을 둘러싼 주요 도전과제

REDD+ 사업의 효율성을 높이기 위해서는 혼농임업을 단순한 보완적 옵션이 아니라, 기존 REDD+의 비효율성을 유발하는 구조적 요인을 줄이는 핵심 전략으로 통합할 필요가 있다. SFA 분석에서 도출된 비효율성 요인들이 해외 사례에서도 반복되고 있음을 확인할 수 있다. 첫째, 단기 수익성과의 격차가 대표적이다. Wainaina et al.(2019)이 보여주듯, 그늘 코코아·친환경 혼농임업 시스템은 탄소·생태계 서비스 가치까지 합산하면 사회적으로는 우월하지만, 농가 입장에서는 전 일조·집약적 단작 보다 연간 현금수익이 40% 이상 낮을 수 있다. 이는 SFA 분석에서 나타난 ‘탄소·환경 성과는 높지만, 재정·생계 측면 비효율성이 남아 있는 프로젝트군’과 같은 맥락이다. 탄소 효율성이 높더라도 즉시 현금유입이 부족하면 실질 도입·확산은 제한된다.

둘째, 시장·제도 인프라의 부족이 혼농임업 지속성을 제약한다. 인도 펀자브와 페루, 가나 사례에서 공통적으로 등장하는 문제는 가공기술·위생·품질인증·브랜딩·유통망·금융접근(계좌 개설, 신용) 등의 부족이다. 인도네시아 수라바야 사례에서도 맹그로브 가공품·생태관광이 아이디어 수준에서 상업적 소득으로 충분히 확장되지 못하고 있다. 이는 SFA에서 ‘시장 접근성, 제도 역량, 행정 신뢰도’가 낮은 집단에서 비효율성이 유의하게 높게 나타난 결과와 직접적으로 연결된다. 제도·시장 변수가 취약할수록 같은 탄소·생태 성과를 내기 위해 더 많은 비용과 시간이 소요되고, 프런티어와의 격차(비효율성)가 커진다.

셋째, 권리·거버넌스 리스크도 여전히 큰 도전과제이다. 브라질너트 채취권 지역처럼 비교적 안정된 권리 체계가 있는 곳은 REDD+·혼농임업이 탄소 성과와 생계 개선을 동시에 달성하는 반면, 토지·수목 소유권이 불명확하거나, 참여적 산림 관리 제도가 제도화되지 않은 지역에서는 REDD+ 설계가 단순 보호·통제로 흐르기 쉽다. 이는 SFA 결과에서 토지 권리·정책 안정성이 낮은 국가·프로젝트 일수록

효율성 점수가 떨어지는 패턴과 동일하다. 권리 불안정 → 장기투자 유인 약화 → 혼농임업 도입 지연·단기 행태 강화라는 메커니즘이 재현된다.

넷째, MRV·성과기반지급(RBP) 체계의 미성숙도 한계로 지적된다. 해외 사례 상당수는 탄소저장량·감축량을 개략적으로 추정하지만, 플롯·샘플링·상대 생장식·위성 자료 등을 결합한 정교한 MRV 체계와 이를 기반으로 한 안정적인 RBP 재원 구조는 아직 제한적이다. SFA 분석에서도 평균 비효율의 개선을 위해서는 산림향상 활동의 표준화·내재화가 핵심 수단으로 확인되었던 것처럼 표준화된 성과 지급 체계의 부재는 탄소 성과의 충분한 수익화를 저해하여 이론적 효율성과 실현된 효율성 간의 간극을 초래한다.

종합하면 해외 혼농임업·REDD+ 사례들은 SFA 분석에서 통계적으로 확인된 효율성 결정요인(제도·거버넌스, 토지권, 주민 참여, 혼농임업 도입, 산림향상 활동의 표준화·내재화)이 현장에서의 성과 요인과 연관이 있음을 보여준다. 한국의 해외 REDD+ 전략은 단순히 ‘혼농임업이 좋다’는 선언을 넘어, 이러한 해외 사례와 SFA 결과를 결합해 ① 권리·거버넌스 정비, ② 혼농임업·비목재·관광을 둑은 다중 현금흐름 설계, ③ 인증·MRV·PES(Payment for Ecosystem Service)를 통한 탄소·생태 가치의 수익화, ④ 여성·청년·취약계층을 포함한 참여 구조 강화를 패키지로 둑는 방향으로 설계되어야 한다. 이것이 혼농임업이 REDD+의 구조적 비효율성을 줄이고, 한국 NDC 달성을 실질적으로 기여하는 ‘효율적 해외 산림 탄소 포트폴리오’로 기능하게 만드는 핵심 조건이라고 정리할 수 있다.

나. 국가 NDC 목표와의 연계: 혼농임업 기반 REDD+의 전략적 의미

혼농임업은 REDD+의 구조적 한계를 보완하는 동시에 국가 온실가스 감축목표(NDC) 달성을 위한 핵심 축으로 기능할 수 있다. 전 세계 개발도상국의 약 40%, 아프리카 국가의 70% 이상이 혼농임업을 NDC 이행 수단으로 명시하고 있다는 점은(Rosenstock et al., 2019) 혼농임업이 단순한 탄소흡수 수단을 넘어 완화·적응·생계를 동시에 강화하는 통합전략임을 방증한다.

한국의 맥락에서 REDD+·혼농임업 연계는 특히 중요하다. 정부가 목표한 500만 tCO₂의 REDD+를 통한 탄소 감축 목표를 실질적으로 달성하기 위해서는 REDD+ 단독형 모델만으로는 부족하며 혼농임업을 결합한 융합형 모델을 전략적으로 활용할 필요가 있다.

한국의 NDC 관점에서 혼농임업·REDD+ 연계는 두 가지 주요 경로를 통해 설명될 수 있다. 첫째는 직접 감축·흡수 성과의 NDC 계상 경로이다. 산림 정의(면적·수관 피복·수고 기준 등)를 충족하는 혼농임업지는 REDD+ 대상지로 포함될 수 있으며, 해당 지역에서 발생하는 탄소흡수·감축량은 국가 참조배출수준(FREL/FRL) 대비 추가성과로서 NDC에 계상될 수 있다. 이를 위해서는 파트너 국가와의 협력을 통해 관할권·준국가 수준의 MRV 역량을 공동 구축하고, REDD+·혼농임업 활동이 파리협정 제6조(ITMO, 상응조정, 이중계상 방지) 체계 안에서 공식적으로 인정받을 수 있도록 제도·회계 장치를 마련해야 한다.

둘째는 산림전용·황폐화 압력 완화를 통한 간접 감축 경로이다. 혼농임업은 농가가 연료재·사료·비목재임산물을 자가 공급하고, 농작물·가공·관광 등 복합 소득원을 확보하도록 지원함으로써 신규 개간이나 상업적 단작 확대에 따른 산림전용·황폐화를 억제한다. 동남아시아 패널 분석(Teo et al., 2025)에서 혼농임업 확산이 연간 수십만 ha의 전용 억제 효과를 보인 것은 이러한 구조를 뒷받침한다. 이처럼 혼농임업은 REDD+ 감축 성과의 양(量)뿐 아니라, 감축의 지속성과 영속성(permanence)을 뒷받침하는 역할을 한다. 국제적으로도 가나의 Cocoa Forest REDD+ Programme(GCFRP), 마ダ가스카르의 Atiala-Atsinanana REDD+ 프로그램 등은 혼농임업+REDD+ 융합 모델을 통해 수백만 tCO₂의 감축을 공식 검증 받고 성과기반지불을 수령한 대표 사례로 평가된다. 이들 프로그램은 탄소 감축 실적을 국가 REDD+ 전략 및 NDC 이행과 연계하는 동시에, 농가 소득·가치사슬 강화·제도 투명성(탄소권·이익 공유 규칙)까지 패키지로 개선했다는 점에서 한국형 모델 설계의 참고점이 된다.

한국이 혼농임업 기반 REDD+를 NDC 전략에 실질적으로 편입하기 위해서는 다음과 같은 방향이 요구된다. 첫째, 해외 파트너 국가와의 협력을 통해 관할권 수

준의 MRV·FREL/FRL을 공동 구축하고, 혼농임업 활동을 REDD+ 및 제6조 ITMO 체계에 정합적으로 통합해야 한다. 둘째, 수목권·탄소권·이익 공유에 관한 법적·제도적 틀을 사전에 조율하고, 관습권·공동체 권리 인정하는 방향으로 협력 프레임을 설계함으로써 사업의 사회적 정당성과 안정성을 확보해야 한다. 셋째, 혼농임업 기반의 지속 가능 가치사슬(커피·코코아·아사이·카카오 등)을 설계하여, 유럽연합(EU) 산림전용방지법(EUDR) 등 국제 규제에 대응하면서 동시에 REDD+ 크레딧과 지속 가능 상품 공급망을 연계한 ‘이중 수익 구조’를 구축해야 한다. 넷째, ODA·민간·국제기금을 연계한 혼합금융 구조를 통해 초기 제도·인프라 비효율을 선제적으로 해소하고, 중장기적으로 성과기반지불과 시장 수익으로 재정적 자립성을 달성하는 로드맵을 마련해야 한다.

결론적으로 혼농임업과 REDD+의 융합은 단지 기술의 결합이 아니라, 국가 NDC 이행을 위한 해외 산림 포트폴리오의 질적 전환을 의미한다. 정량적 감축량 뿐 아니라, 사업의 영속성, 사회적 정당성, 국제 규제 대응, 재무 지속성까지 동시에 고려하는 ‘질적 안정성 중심의 NDC 전략’으로 나아갈 때, 혼농임업 기반 REDD+는 한국의 2030 NDC와 2050 탄소중립을 뒷받침하는 실질적이고 실행 가능한 통합기후 솔루션으로 자리매김할 수 있을 것이다.

3. 요약 및 시사점

□ 혼농임업의 REDD+ 전략적 가치: 기능·효과·해외 사례의 공통점

혼농임업은 전 세계 10억 ha에서 운영되고 12억 명 이상이 종사하는 대표적 토지이용 시스템으로, 나무·농작물·가축을 결합해 탄소 저장, 생태계 서비스, 소득 다각화를 동시에 달성하는 체계적 모델이다. 순혼농임업, 혼목임업, 혼농축임업 뿐 아니라 맹그로브·양어, 논·어류 등 지역 생태에 맞춘 다양한 유형이 존재하며, 지상·지하·토양 탄소를 동시에 증가시키는 특성 덕분에 REDD+의 5대 활동(전

용·황폐화 방지, 보전, 지속 가능 경영, 탄소 축적 증진)에 모두 기여한다.

특히 에티오피아의 그늘 커피, 가나의 코코아, 페루의 브라질너트, 인도네시아 맹그로브 등 해외 사례는 혼농임업이 탄소 저장 잠재력과 생태적 편익(토양 비옥도, 침식 방지, 생물다양성 등)을 크게 높이며, 농가 소득 구조를 다변화하여 생계·리스크 관리 효과를 제공함을 보여준다. 이러한 효과는 단작 농업 대비 지속 가능성과 기후 적응성을 크게 높이며, REDD+ 성과의 영속성과 누출 리스크 완화에도 기여한다.

그러나 일반 혼농임업과 달리 REDD+ 혼농임업은 MRV, 탄소 회계, 국가 NDC 정합성, 성과기반지불(RBP), 세이프가드, 권리 체계 등 제도적 조건을 충족해야 한다는 점에서 정책·거버넌스·기술 기반이 더 복잡하고 엄격하다. 따라서 혼농임업은 REDD+의 보완적 기능을 넘어서 REDD+의 구조적 리스크(비영속성, 생계 문제, 참여부재)를 줄이는 전략적 장치라는 점이 확인된다.

□ REDD+·혼농임업 융합모델의 성공 메커니즘과 구조적 한계

해외 사례와 정량 분석(SFA)을 결합하면, REDD+와 혼농임업의 융합을 성공으로 이끄는 핵심 요인은 크게 세 가지이다. 첫째, 지역공동체 기반의 참여 거버넌스이다. 수라바야·페루·네팔·탄자니아 등 대부분 사례에서 주민 조직(CFUG, 채취권자 연맹, PFM 등)이 식재·감시·관리·이익 배분을 주도하여 생존율과 지속성을 높였다. SFA에서도 주민 참여 변수는 비효율성 감소에 유의한 영향을 미쳤다. 둘째, 다중 현금흐름 구조이다. 목재·비목재임산물·가공·관광·탄소 수익·인증 프리미엄 등이 결합된 소득 구조는 단작 대비 리스크를 낮추고 장기 참여 유인을 강화한다. 이는 REDD+ 성과의 영속성과도 직접적으로 연결된다. 셋째, 탄소·생태 가치의 제도적 내재화이다. VCS·CCBA 인증, PES, 가치사슬 강화 등은 탄소 저장과 생태계서비스를 실제 수익으로 연결시키는 장치로 작동한다. 제도 기반이 튼튼한 국가·프로젝트 일수록 SFA 비효율성(inefficiency)이 낮았다.

반면 주요 도전과제도 명확하다. 첫째, 단기 수익성 격차로 인해 농가의 도입·유

지 유인이 약할 수 있다. 가나·에티오피아 사례처럼 사회적 가치가 높아도 현금 소득은 단작보다 낮을 수 있다. 둘째, 제도·시장 인프라 부족은 가공·브랜딩·품질 인증·유통·금융 접근성을 제약해 혼농임업의 경제적 잠재력을 제한한다. 셋째, 토지 권·수목권·탄소권 불안정과 거버넌스 취약성은 장기투자 유인과 REDD+ 정당성을 약화시킨다. 넷째, MRV·RBP 체계 미성숙으로 탄소 성과가 농가 소득으로 안정적으로 전환되지 못하는 문제가 존재한다. 결론적으로 혼농임업은 REDD+의 기술적 보완책이 아니라 비효율성을 완화하고 리스크를 구조적으로 조정하는 전략적 레버리지라는 점이 확인된다.

□ 한국의 NDC·해외 산림전략에 대한 시사점: 혼농임업 기반 REDD+ 포트폴리오로의 전환

전 세계 개발도상국의 40%, 아프리카 국가의 70% 이상이 혼농임업을 NDC 이행 전략에 포함하는 것처럼 한국도 해외 REDD+ 감축목표(500만 tCO₂)를 달성하기 위해서는 단독형 REDD+만으로는 한계가 있으며 혼농임업 결합형 REDD+ 포트폴리오가 필수적이다.

혼농임업·REDD+ 연계는 다음의 두 가지 경로에서 NDC 달성을 기여한다. 첫째는 REDD+ 정의를 충족하는 혼농임업지를 통해 직접 감축·흡수 실적을 NDC에 계상할 수 있다. 둘째는 연료재·사료·가공·관광 등 농가의 생계 기반을 강화해 산림전용·황폐화 압력을 간접적으로 억제함으로써 REDD+의 영속성과 탄소 성과 안정성을 높인다.

한국형 해외 REDD+ 전략은 다음의 패키지형 접근으로 전환될 필요가 있다. 첫째는 권리·거버넌스 패키지 구축을 통해 토지·수목·탄소권, 이익 공유 규칙, 공동체 거버넌스(CFUG·PFM·채취권자 조직) 기반을 명확히 해야 한다. 둘째는 다중 현금흐름 기반의 혼농임업 모델 설계로 목재·비목재·가공·관광·지속 가능 공급망 (EUDR 대응)·탄소 크레딧을 결합한 포트폴리오 설계가 필요하다. 셋째로 탄소·생태계 서비스 수익화 체계 구축으로 VCS·CCBA 인증, PES, 지속 가능 상품 프리-

미엄, ITMO 기반 상응조정 등을 활용해 탄소·생태 가치를 수익화해야 한다. 넷째로 MRV·유통·금융 인프라 구축을 위한 혼합금융 모델을 도입하여 ODA·민간·국제기금 연계한 초기 인프라 조성 및 중장기 자립 기반 구축이 필요하다. 마지막으로 여성·청년·취약계층이 혼농임업·REDD+ 가치사슬 전 과정에 참여하도록 구조적 접근이 필요하다.

혼농임업은 REDD+의 양적 성과뿐 아니라 질적 안정성과 사회적 정당성을 강화하는 핵심 전략이며, 한국의 NDC 달성을 위한 해외 감축 포트폴리오에서 단일 기술이 아니라 통합적 기후 솔루션으로 자리 잡아야 한다. 한국은 기술·정책·재정·가치사슬을 포괄하는 융합형 REDD+ 모델을 구축함으로써 2030 NDC와 2050 탄소중립에 실질적으로 기여하는 해외 산림협력 체계를 마련할 수 있을 것이다.

제4장

혼농임업 기반 전략 시나리오 분석: 라오스 사례

혼농임업 기반 전략 시나리오 분석: 라오스 사례

1. 혼농임업 기반 REDD+ 시나리오 평가

본 연구는 REDD+ 사업의 지속 가능성은 높이고 경제적 효율성과 사회적 수용성을 동시에 확보하기 위한 전략적 전환 방안으로서 혼농임업의 정책 효과를 평가하고자 한다. 산림청은 캄보디아·미얀마·라오스 등지에서 REDD+ 시범사업을 추진해 왔으며, 특히 캄보디아 사업('15~'19)은 2020년에 65만 톤 CO₂의 감축 실적을 공식 인정받았다. 그간의 소규모 시범 중심 접근을 넘어 정부는 라오스·베트남 등에서 준국가 REDD+로의 확장을 추진 중이며, 향후 동남아에서 아프리카·중남미로 거점을 다변화한다는 방침이다. 이러한 확대 전략의 첫 사례로 2023년 라오스 풍살리(Phongsaly) 주에서 첫 번째 준국가 수준 REDD+ 사업을 착수하였다. 2023년부터 라오스 풍살리 주 150만 ha 전체를 대상으로 2032년까지 진행되며, 산림 보호와 지역 주민의 생계 개선을 목표로 하고 있다.

본 장의 시나리오 분석은 풍살리 사업을 대상으로, A: 신규조림단독, B: 상업 수종+일년생 작물(카사바 등), C: 혼농임업 연속 재배형의 세 가지 정책 대안을 설정하고, 사업의 순현재가치를 도출해 이를 통해 한국형 REDD+의 확장 가능한 표준 모델을 제시하는 것을 목적으로 한다.

1.1. 라오스 현황

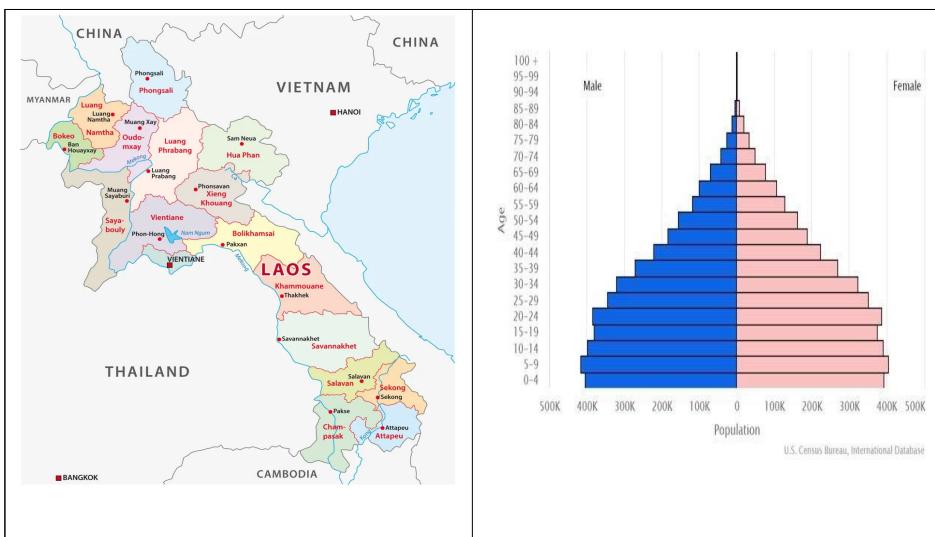
1.1.1. 일반현황

라오스는 동남아 유일의 내륙 국가로 동쪽 베트남(2,069km), 서쪽 태국(1,835km), 남쪽 캄보디아(435km), 북쪽 중국(505km) 및 북서쪽 미얀마(236km) 등 5개국과 접경하고 있다. 라오스는 아세안 국가 중 최초로 2016년 파리협정에 가입한 만큼 탄소 감축에 대한 정책적 의지가 크고, BAU 대비 60%를 감축하는 NDC를 제출하였다.

라오스의 행정구역은 17개의 주(Province, khoueng)와 수도 비엔티안을 포함하는 1개의 도(Prefecture, kampheng nakhon)로 이루어져 있으며 각 주 아래에는 군(District, mueang)과 마을(Village, baan)이 하위 행정구역으로 존재한다. 인구 분포는 5~9세가 가장 많고 그 이상부터 점점 인구가 줄어드는 피라미드형 분포가 나타나고 있다. 남녀 성비는 유사한 비율이다. 라오스는 인구사회학적 기초자료가 빈약해 행정구역별 인구 파악이 쉽지 않지만, 라오스 통계국(LSB)이 주별 마을·가구 통계를 제공하고 있다.

경제 측면에서 라오스의 GDP는 2012년까지 100억 달러 미만 수준이었으나 지속적으로 증가해 2020년 190억 달러를 돌파했으며, 이는 거시경제 관리, 치안과 정치·경제 안정, 역내·국제 통합 확대의 영향을 받은 것으로 보인다. 투자 환경은 헌법(제14, 15조)에 근거해 내·외국인 투자를 장려하고 자본·기술·현대적 경영방식 도입을 유도한다. 실제 민간투자는 에너지와 광산에 집중되고, 서비스와 농업이 그 뒤를 따른다.

〈그림 4-1〉 라오스 행정구역 및 인구 분포



자료: worldAtlas(검색일: 2025. 10. 10.).

라오스는 열대 몽순 기후로 5~10월 우기에 연강수의 약 90%가 집중되며(연 1,300~2,300mm, 지역편차 900~3,700mm+), 연평균 기온 26.5~27.5°C에서 5월이 가장 덥고 12~1월이 가장 춥고 고지대는 서리도 발생한다. 식생은 9개 육상 생태 지역으로 구분되며 ‘인도차이나 북부 아열대림’(약 706만 ha)이 최대, ‘루앙프라방 산악 열대우림’(약 510만 ha)이 그다음으로 넓다. 국토의 약 80%가 산지로 최고봉은 푸 비아(2,820m)이며 급경사·침식 취약성이 토지관리 리스크이다.

산림피복은 국가 정의 기준으로 1992년 70%(1,700만 ha)→2010년 40.3%(950만 ha)→2015년 47%로 변동했으며, FAO/위성 기준에선 2005~2015년 60.2%(1,430만 ha)→58%(1,370만 ha)로 소폭 감소하는 동안 경작지는 8.9%→10.1%로 확대되었다. 산림전용·황폐화 직접 요인은 무분별 벌채, 이동경작, 산업용 조림, 농업확장, 광산·수력발전, 인프라·도시화, 산불 등이다. 모든 토지는 헌법 제17조에 따라 국가 소유로 중앙집권적으로 관리되며, 지역·지목 구분과 투자 촉진 구역(1-3)에 따라 국유지 임대·양허료가 차등 적용된다.

토지·산림 분류는 현재산림(CF, 임관≥20%), 잠재산림(PF, 임관<20%), 기타

산림(OWA), 영구농지(PAL), 비산림(OFA)으로 구분해 LUCFC 평가에 활용한다. 관리 범주는 보호림(PFs: 전면·통제구역), 보전림(CFs: 전면·통제·회랑·완충), 국가생산림(NPFs: 수확·복구·보전 구역)으로 운영되고, 농림부(MAF) 산하 산림국(DOF)·임업점검국(DOFI)이 계획·집행·감시와 함께 REDD+ 국가 조정, MRV·이익 공유 체계를 총괄한다.

1.1.2. 라오스 REDD+ 이행 역량

라오스의 REDD+ 이행 역량은 ‘제도·MRV·재원·현장집행’의 네 축에서 비교적 탄탄한 준비 완료(ready) 단계에 있다. 제도 측면에서 천연자원환경부(MoNRE)가 기후 거버넌스를 총괄하고 기후변화국(DCC)이 UNFCCC 포커스를 맡으며, 산림 관리 주관은 농림부(MAF)·산림국(DOF)이다. 2008년 설치된 국가 REDD+ 임시조직(NRTF)과 6개 기술작업그룹(TWG)이 운영 중이고, 북부 6개 주(남부 1개 주 포함)로 준관할권에 준하는 집행체계가 구성되었다.

정책 프레임워크는 2차 NDC(2021), 기후변화 칙령(2020), 국가 REDD+ 전략(2018년 승인) 등으로 정비되었고, LUCF 부문 무조건적(연 1,100ktCO₂e)·조건부(연 4만 5,000ktCO₂e) 감축목표를 명시하고 있다. MRV에서는 FREL/FRL(배출 기준선/기준선) 제출·기술분석, 국가산림모니터링시스템(NFMS) 구축, 안전장치 정보시스템(SIS) 및 요약정보 제출, REDD+ 기술부속서 보고를 완료해 바르샤바 프레임워크의 핵심 요건을 충족했고, 위성자료 기반(2005/2010/2015년) 기준선과 2019년 분석 결과를 탑재했으며 2025년 추가 업데이트를 계획하고 있다. 재원 측면에선 FCPF 탄소기금 ERPD(2018년) 제출, 탄소배출권 구매 협정(ERPA) 체결 준비가 진행 중이고, GCF 연계 금융(GIZ 주도, JICA·ADB·FAO 협력)과 2011~2020년 약 6,500만 달러 규모의 준비자금으로 역량을 확충하였다.

현장 집행은 FCPF 대상지에서 REDD+ 행동계획, 마을 단위 산림관리·개발 활동이 가동 중이며, 자발적 시장에서도 VCS 등록 프로젝트 3건이 운영되고 있다. 다만 이익분배(BSP)·탄소권 명료화, NFMS 데이터의 최신성·지역 간 품질 편차,

성과기반지불(RBP) 수령 실적 미진이 남은 과제로, 등록·레지스트리 완결과 표준화된 QA/QC, 재원 집행과의 연계 강화가 필요하다.

〈표 4-1〉 UNFCCC에 제출된 라오스 기준선/배출기준선 정보

항목	개요
제출일	2018년 1월
대상지	국토 전체(2,400만 ha)
산림 정의	최소면적: 0.5ha, 최소흉고직경: 10cm, 최소수관율: 20%, A/R CDM 및 FAO 정의와 상이함
탄소저장고	지상부 바이오매스, 지하부 바이오매스
GHG	이산화탄소
대상	산림전용 및 산림황폐화 방지, 산림회복, 재조림
설정 방법	참조기간의 배출 및 흡수량의 평균치
참조 기간	2005~2015년(11년)
기준선/배출기준선	FRL(기준선): -750만 tCO ₂ /년, FREL(배출기준선): 3,410만 tCO ₂ /년
데이터	위성: SPOT(2005년), RapidEye(2010, 2015년), 시점: 2005, 2010, 2015년
계수	국가산림 인벤토리, 베트남의 데이터 및 IPCC 배출계수 데이터베이스값 사용

자료: 미쓰비시UFJ리서치&컨설팅(2021: 45).

결론적으로 라오스의 REDD+ 이행 역량은 제도·MRV·재원·현장집행의 네 축에서 전반적으로 ‘준비 완료(ready)’ 단계에 올라와 있다. 동시에 뚜렷한 한계도 존재하는데 이는 다음과 같다. 첫째, 국가산림모니터링시스템의 최신성·지역 간 데이터 품질 편차가 남아 관할권 단위의 신뢰와 대규모 RBP/ITMO 거래의 확장성에 제약이 된다. 둘째, 토지·수목·탄소권 귀속과 이중계상 방지, 상응조정(파리 협정 제6.2조) 절차 같은 법·권리 체계가 충분히 명문화되지 않아 민관 투자와 계약 설계의 불확실성을 높인다. 셋째, 이익 공유(BSP) 규칙의 구체성·형평성이 미흡해 지역 수용성과 장기 참여 유인에 리스크가 남는다. 마지막으로 준비에서 성과기반지불(RBP)로 넘어가는 마지막 단계에서 검증·등록·정산 병목이 반복되고, 자발적 시장의 규모는 국가 NDC 요구량에 비해 작다.

1.2. 사업대상지 현황: 퐁살리 주¹⁵⁾

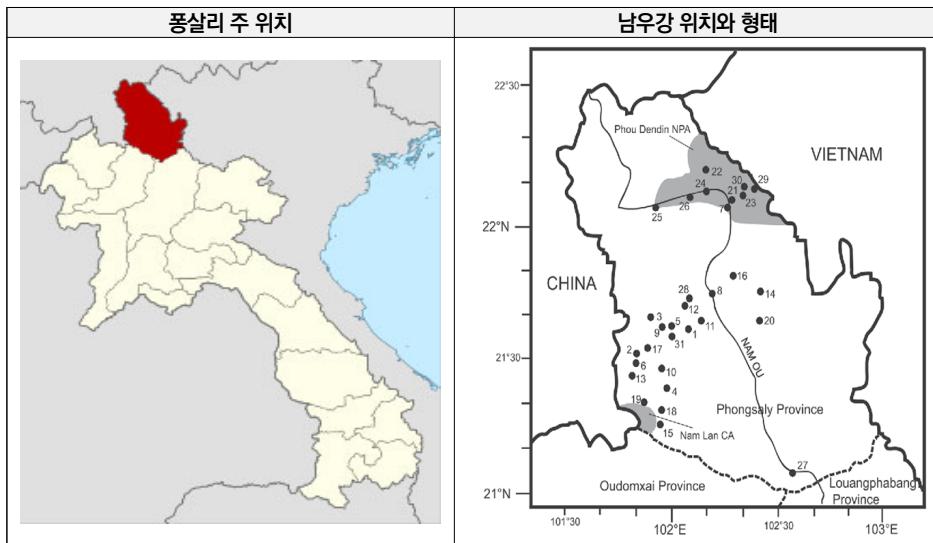
1.2.1. 산림면적 및 토지이용 변화

라오스 최북단의 퐁살리 주는 북·서쪽은 중국, 동쪽은 베트남, 남쪽은 루앙프라방, 남서쪽은 우돔싸이와 접하며, 해발 450~1,800m의 산악지대에 자리한 주도 퐁살리 시를 중심으로 한다. 2020년 인구는 약 19만 3,000명으로 13개 소수민족이 다수를 이루고 생계는 주로 농업에 의존한다. 주요 작물은 벼, 옥수수, 카사바, 차(고산차) 등이다.

지난 10년간 마을 수는 540개(2012년)에서 511개(2021년)로 줄었지만, 가구 수는 3만 446가구에서 3만 6,003가구로 늘어 토지이용 압력이 구조적으로 변화해 왔다. 생태적으로는 ‘인도차이나 북부 아열대림’에 속하며, 600~2,000m에 상록 활엽수림과 낙엽흔효림·침활흔효림이 모자이크를 이루는 삼단 수관의 산지림이 우세하다. 주 북부에서 발원해 메콩으로 유입되는 남우강(약 448km, 유역 약 2만 6,000km²)은 수자원·토사 조절의 핵심축이자 유역기반 REDD+와의 시너지가 있다.

15) 라오스 퐁살리 주 REDD 사업타당성 조사(한국레드플러스협회, 2023) 내부자료를 이용하여 정리.

〈그림 4-2〉 풍살리 주 지도



자료: 한국레드플러스협회(2023).

산림 현황을 살펴보면 2010년 산림면적은 약 139만 ha(피복 91%)였으나 2021년에만 2.28만 ha가 손실되어 약 1,160만 tCO₂ 배출이 추정된다. 2001~2021년 누적 손실은 26만 ha(당시 대비 약 18%)로 약 1억 3,300만 tCO₂에 해당한다. 직접 동인은 영구농지·플랜테이션 확장, 통제 곤란한 화전(이동경작), 수력·도로·광산 등 인프라 개발, 불법벌채이다. 배경에는 부처 간 정책 일관성 부족과 법집행·법제 미비, 저생산성의 전통농업, 고지대 빈곤과 생계 대안 부족, 미완의 토지할당·계획이 있다.

퐁살리의 MRV·기준선 맥락에서 라오스는 산림을 DBH 10cm 이상, 수관율 20% 이상, 면적 0.5ha 이상으로 정의하고, 국가산림모니터링시스템(NFMS)은 EG·MD·CF·MCB·P·B·RV·UC 등 세부 분류를 운용한다<표 4-3 참조>. 라오스 FREL(배출기준선)/FRL(기준선)에서 토지 및 산림 피복 유형은 크게 2개의 수준 (Level 1, Level 2)으로 나누어져 있으며, 상위레벨(level 1)은 총 7개 유형, 하위레벨(Level 2)는 EG부터 W까지 영문코드로 표현되는 총 20개 유형으로 구성된다. 화전에 따른 토지 천이는 UC→RV→MD 순으로 진행되며 RV는 Forest Land, UC

는 Cropland으로 분류하고 벌채·화전 후 8년 임계값으로 RV→MD 전환을 판정한다(원격탐사 보정 포함).

〈표 4-2〉 라오스 토지 및 산림 피복의 상위 레벨(Level 1) 구분 및 속성

구분(영문명)	한글명	포함하는 하위 레벨
Current Forest	현 산림	EG, MD, CF, MCB, DD, P
Potential Forest	잠재적 산림	B, RV
Other Vegetated Areas	기타 식생지역	SA, SR, G
Cropland	농경지	UC, RP, OA, AP
Settlement	건축물	U
Other Land	기타 토지	BR, O
Above-ground Water Source	지상 수원지	SW, W

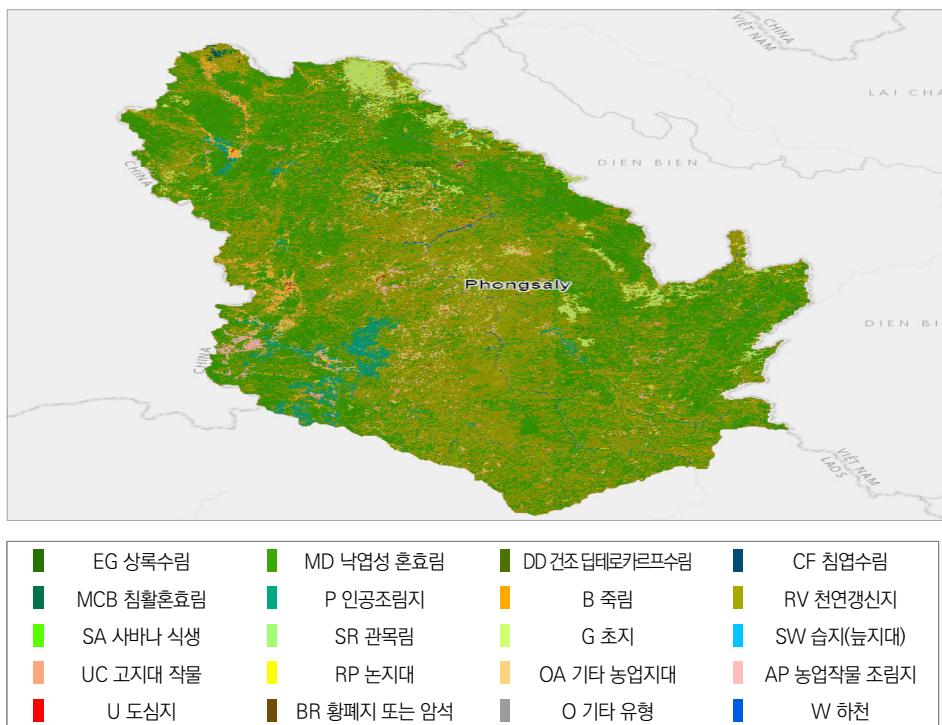
자료: 한국레드플러스협회(2023).

〈표 4-3〉 라오스 토지 및 산림 피복 하위 레벨(level 2) 구분

지도 색상	구분 코드	영문 코드(영문명)	한글명
	11	EG(Evergreen Forest)	상록수림
	12	MD(Mixed Deciduous Forest)	낙엽성 혼효림
	13	DD(Dry Dipterocarp Forest)	건조 딥테로카르프수림
	14	CF(Coniferous Forest)	침엽수림
	15	MCB(Mixed Coniferous and Broadleaved Forest)	침활혼효림
	16	P(Forest Plantation)	인공조림지
	21	B(Bamboo)	죽림
	22	RV(Regenerating Vegetation)	천연갱생지
	31	SA(Savannah)	사바나 식생
	32	SR(Scrub)	관목림
	41	G(Grassland)	초지
	42	SW(Wetland(Swamp))	습지(늪지대)
	51	UC(Upland Crop)	고지대 작물
	61	RP(Rice Paddy)	논지대
	62	OA(Other Agriculture)	기타 농업지대
	63	AP(Agriculture Plantation)	농업작물 조림지
	71	U(Urban Areas)	도심지
	72	BR(Barren Land and Rock)	황폐지 또는 암석
	80	O(Other Land)	기타 유형
	81	W(River(Water))	하천

자료: 한국레드플러스협회(2023).

〈그림 4-3〉 라오스 풍살리 주 임상도



자료: 한국레드플러스협회(2023).

2019년 기준, 풍살리 주의 토지 구성은 Current Forest가 46.3%(71만 8,453ha), Potential Forest가 45.9%(71만 1,915ha)이며 그 뒤로 농경지 4.4%(6만 8,104ha), 기타 식생 2.8%(4만 3,581ha) 순으로 이어진다. 산림 내에서는 RV가 49.5%(70만 7,936ha), MD가 47.5%(67만 9,348ha), 기타가 2%(4만 3,084ha)를 차지하며, 기타 유형 내에서는 P가 79.3%(3만 4,165ha), EG가 9.3%(3,988ha), B가 9.2%(3,979ha)를 차지한다. 라오스 FEEL/FRL 문서를 기준으로 할 경우¹⁶⁾, 풍살리 주의 산림면적은 2019년 기준 718,453ha이며 주의 전체 면적인 155만 1,189ha의 46.3%로 나타났다. 그러나 IPCC 기준(죽림·천연갱신지 포함)으로 보면 풍살리 주의 산림은 143만 369ha(92.2%)로 산정되었다.

16) DBH 10cm 이상, 수관율 20% 이상, 면적 0.5ha 이상.

〈표 4-4〉 라오스 풍살리 주 연도별 계층별 산림면적 변화(2000~2019)

토지 및 산림 분류		Strata	연도 변화				
Level 1	Level 2		2000	2005	2010	2015	2019
Current Forest	EG	1	4,007.1	4,005.5	4,003.2	4,003.2	3,987.6
	MD	2	741,155.7	710,107.8	703,935.1	687,054.4	679,348.0
	CF	2	747.9	747.9	755.5	755.5	753.6
	MCB	2	199.0	199.0	199.0	199.0	199.0
	DD	3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	P	4	2,805.5	2,824.0	2,941.5	2,939.1	34,165.2
Potential Forest	B	4	970.0	9.7	4,308.7	4,300.9	3,978.8
	RV	4	687,894.9	714,048.3	704,935.9	731,221.2	707,936.3
Other Vegetated Areas	SA	5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	SR	5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	G	5	44,868.6	43,801.2	43,896.2	43,888.1	43,581.5
Cropland	UC	5	20,730.9	16,252.1	17,281.3	10,093.2	6,866.9
	RP	5	7,583.2	7,621.5	7,875.1	7,075.2	53,951.8
	OA	5	31,915.3	42,887.2	49,572.2	48,957.3	
	AP	5	1,169.4	1,424.9	3,886.4	3,019.7	7,285.0
Settlement	U	5	913.7	960.9	1,195.0	1,183.2	1,605.9
Other Land	BR	5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	O	5	846.3	856.1	932.3	1,068.7	1,098.8
Above-ground Water Source	SW	5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	W	5	5,381.4	5,443.0	5,471.6	5,430.1	6,430.5
전체 합계(ha)			1,551,189	1,551,189	1,551,189	1,551,189	1,551,189

자료: 한국레드플러스협회(2023).

퐁살리 주 주요 피복은 MD(낙엽성 혼효림)와 RV(천연갱신지)로 구성된다. 2000~2019년 사이 MD 면적은 약 8.3% 감소, RV는 증감이 반복되는 변동성을 보인다. DD·SA·SR·BR·SW 유형 토지는 관측되지 않았다(해당 생태·지형 조건의 부재 또는 미미). 비산림 중 AP·U·O·W 면적이 완만히 늘었으나 전체 비중은 작아 주 단위 총량 영향은 제한적이다. 다만 이는 정주·농업 중심의 점진적 토지 전용을 시사하므로, MD 보전과 RV의 자연 복원(ANR) 유도, 정주권 토지이용 관리 강화가 필요하다.

퐁살리 주의 산림면적은 2000년 이래로 매년 약 1,603ha(여의도 면적의 약 5.5 배)씩 감소해 왔으며, 토지 및 산림 유형 변화 방법론으로 분석한 결과 매년 deforestation 및 degradation으로 분류되는 토지 이용변화로 약 매년 78만 8,489tCO₂e의 온실가스가 배출되고 있는 것으로 확인되었다(한국레드플러스협회, 2023).

〈표 4-5〉 퐁살리 주의 4개 분기별 배출활동에 따른 배출량 산정

구분	period 1	period 2	period 3	period 4
산정 기간	2000~2005	2005~2010	2010~2015	2015~2019
Deforestation	2,578,651	1,873,938	1,649,159	688,302
Degradation	7,251,805	1,892,448	4,213,978	2,665,524
Restoration	-567,475	-1,068,433	-797,373	-1,667,125
Reforestation	-940,337	-868,031	-1,075,769	-847,962
Emissions	9,830,456	3,766,386	5,863,137	3,353,826
Removals	-1,507,812	-1,936,464	-1,873,142	-2,515,087
Net Emission	8,322,644	1,829,922	3,989,994	838,739

자료: 한국레드플러스협회(2023).

1.2.2. 사회·경제

퐁살리 주는 아래와 같이 7개 군으로 구성되어 있다. 퐁살리 주는 2020년 기준 인구 약 19만 3,000명으로 13개 소수민족이 거주하며, 다수가 농업에 종사한다. 2012~2021년 사이 마을 수는 540→511개로 줄었지만 가구 수는 3만 446→3만 6,003가구로 증가하였다.

〈표 4-6〉 풍살리 주의 행정지도

풍살리 주 행정지도	코드	군(district, mueang)
	02-01	퐁살리(Pongsaly) 군
	02-02	메이(May) 군
	02-03	쿠아(Khous) 군
	02-04	삼판(Samphanh) 군
	02-05	보운느야(Boun Neua) 군
	02-06	욧오우(Yot Ou) 군
	02-07	분따이(Boun Tay) 군

자료: 한국레드플러스협회(2023).

2023년 5월 실시한 주민 설문(5개 군에서 고르게 표집, 총 501명)과 현장 답사를 통해 파악된 풍살리 주 사회·경제 상황은 다음과 같다.¹⁷⁾ 지역의 연소득은 116~15 만 달러로 편차가 크지만 중앙값은 약 1,600달러로 나타나 저·중소득 농촌 구조가 뚜렷하다. 생계는 농업이 절대적(84.0%)이며 임업(7.2%)과 축산(2.0%)은 보조적이다. 농업 방식에서는 이동·화전농업(shifting cultivation)이 가장 큰 비중(46.4%)을 차지하고, 고정농지·가정텃밭 등 정착형 농업은 합계 약 12% 수준에 그친다.

재배 작물은 ‘기타’가 82.1%로 다양성이 크고, 쌀이 15.3%로 뒤를 잇고 있다. 임업 소득은 전원이 비목재임산물(NTFP: 벼섯, 꿀, 대나무, 약초 등)에서 발생하며 합법 벌채 소득 응답은 없다. 생활 만족도는 식수·생활용수와 에너지 공급에서 높게 나타났고, 식생활은 보통 이상이지만 소득 만족도는 상대적으로 낮은 응답이 많은 편이다. 일반적으로 도로 여건이 열악하다는 평판과 달리 도로 만족도는 비교적 높게 응답되었다.

산림관리 인식은 생계 목적의 농지 전용(산림→농지)에 대한 동의가 높으면서도, 산림보전·관리의 필요성에도 동의하는 실용적·양가적 태도가 관찰되었다. 관리 주체로는 정부·기관 역할과 더불어 주민 협동의 중요성을 특히 강조하였다. 현장 조사에서는 화전 흔적이 확인되었고, 최근 20년간 약 61ha 산림 소실과 연계된

17) 한국레드플러스협회(2023) 라오스 준국가 수준 REDD+ 사업 타당성 현지 조사 내용.

화재·이동경작 위험이 관찰되었다.

2. 정책 시나리오 분석

2.1. 대상 지역 및 기본 가정

주 전역은 보호·보전·생산림 체계로 관리되며, 유역 상류 보호구역과의 완충·회랑 관리가 누출 방지와 영속성 확보의 관건이다. 산악지형과 계절성 강우, 생계형 이동경작 의존, 자료의 최신성·공간 편차는 집행·MRV 비용을 높이는 제약으로 작용한다. 이러한 전제에서 본 연구는 남우강 유역·보호구역 완충지대를 우선 공간으로 삼아 UC(고지대 작물) 지대에 혼농임업을 도입해 천이 기간을 단축하고 탄소·소득을 동시에 높이는 전략의 경제성·리스크를 A(혼농임업 단독), B(상업수종+카사바:초기 3년 재배), C(상업수종+카사바 연속재배) 시나리오 별로 NPV를 구하도록 한다.

〈표 4-7〉 UC(고지대 작물) 사진

지상 사진	위성 사진
UC 고지대 작물	쌀과 그 밖의 농작물을 일시적으로 경작하기 위하여 산림을 벌채하여 불태운 지역으로 정의한다. 2년 이상 방치된 지역은 천연갱신지로 분류해야 한다.

자료: 한국레드플러스협회(2023).

라오스의 세부 행정구역 통계는 제공되지 않은 경우가 많기 때문에 본 연구에서는 풍살리 주 전체의 통계적 흐름을 이용하여 시업 대상지로 선정한 풍살리 군(province) 내 남우강 유역·보호구역 완충지대 내 UC(고지대 작물) 지대의 적정 시업 면적을 대략 200ha로 추정하였다.¹⁸⁾ 풍살리 주 전체 UC 면적(2019년)<표 4-4 참조> 6,867ha 중 풍살리 군 둑을 인구비중(약 16.5%)으로 추정하면 약 1,100~1,200ha이며 이 중 남우강 유역·보호구역 완충지대에 위치한 UC를 보수적으로 60%로 가정하면¹⁹⁾ 약 650~700ha로 추정된다.

완충지대 UC의 약 30%인 200ha를 시범지역으로 최종 선정하였다. 이는 군 전체 UC의 약 18% 규모로, 효과 검증에 충분히 크되(대표성) 현장 집행이 가능한 크기이다. 10~15개 마을에 블록당 10~20ha로 배치 시 마을당 20~40가구(가구당 0.5~1ha) 참여 구조가 가능하기 때문이다. 기존 현지 5개 팀(군청 AFO 라인) 운영 역량으로 연 150~250ha 조성·관리가 현실적(식재·생울타리·토양보전·모니터링 루틴 기준)이다.

2.1.1. 기본 시나리오

200ha의 UC 지역에 풍살리 주 수목인 티크, 유칼립투스²⁰⁾ 등 활엽수를 신규 조림한다고 가정하며, 본 연구에서는 식재 수종을 티크로 가정하였다. 티크는 라오스 북부 소농 중심으로 이미 널리 도입되어 있고 북부 고지대(600~1,000m 전후)

-
- 18) 이의 값은 인구비례 배분을 쓴 1차 추정치이며 실제 면적은 이와 다를 수 있다. 정확한 면적을 추정하기 위해서는 최신 토지 피복 격자를 풍살리 군 행정 경계와 오버레이하여 군 단위 피복 면적 비율을 뽑아야 한다.
- 19) 라오스 풍살리 주 REDD 사업타당성 조사(한국레드플러스협회, 2023)에 따르면 보호구역 완충지대는 군 경계부에 광범위하게 걸쳐 있고, 전통적으로 촌락 경작지가 보호구역 외곽·유역 사면에 분포하는 패턴이 관찰된다(현장 답사·설문에서도 이에 대한 내용 확인). 따라서, 군내 UC의 50~70%가 유역·완충지대에 포진해 있음을 전제로 중간값 60%를 보수적 추정한다. 그러나 이 비율은 향후 GIS 중첩으로 최종 검증이 필요하다.
- 20) 제1차 국외 산림 탄소 축적증진 5개년 종합계획(산림청, 2024)의 한-라오스 REDD+ 국제 감축사업 개요서 참조. 사업 개요서에 따르면 풍살리 주 혼농임업 시스템을 구축하기 위해 상업목(티크, 유칼립투스) 및 일년생 작물(카사바, 카르다뮴) 대량 생산을 위한 대규모 양묘장 설치 내용이 포함된다.

에서도 사례와 기술지침이 풍부하다. Australian Centre for International Agriculture Research(Midgley et al., 2017)의 북라오스 소농 티크 보고서는 소농 수익 극대화 관점에서 초기 식재밀도 약 600주/ha도 권고한다(혼농임업·저투입 관리에 유리). 티크-카사바는 ‘줄 간격을 넓히는’ 전형적인 타운야/앨리 모델로 문헌가이드가 명확하다(초기 1~3년 카사바 수확, 이후 수목우세 간별)(Pramono et al., 2011).

유칼립투스는 빠른 생장과 높은 증산·수분 요구 때문에 초기 몇 년 카사바와 혼식하면 수광·수분 경쟁이 쉽게 발생한다(특히 배치·간격이 좁고 건기 길면 악화). 이는 카사바가 그늘·경합에 민감하다는 작물 생리 특성과 맞물려 수량 저하 위험으로 이어질 수 있다(Nwokoro et al., 2022). 또한 유칼립투스 조림이 유량(water yield)를 전 세계적으로 감소시킨다는 메타분석 결과가 있다(Farley et al., 2005). 시나리오별 ha당 권장 식재밀도는 다음 <표 4-8>과 같이 가정하였다.²¹⁾

<표 4-8> 시나리오별 권장 식재밀도

단위: 주/ha, steams/ha

시나리오	티크(<i>Tectona grandis</i>)	근거
A. 조립단독(단순조림)	1,100~1,600주/ha (예: 3×3m=1,111, 2.5×2.5m=1,600, 4×4m=625)	티크 단순조림의 표준 간격·밀도(2.5×2.5 , 3×3 등)는 실무·매뉴얼 모두에서 제시
B. 상업나무+카사바 (혼농임업, 줄·꼴 사이 작물) →초기 3년 재배	500~600주/ha (예: 6×3m=556, 8×3m=417 → 500 내외로 설정) 카사바 식재는 10m(alley)+ 카사바 1×1m = 약 8,000주/ha	카사바 같은 1년생과의 ‘타운야/앨리 크로핑’은 나무줄 간격을 넓히고, 줄 내 간격은 다소 촘촘 하게 두는 배치가 표준. 티크-작물 혼농임업 지 침서가 명시적으로 권장(카사바 등 계절작물과 혼식)
C. 상업나무+카사바(연속재배)	티크는 200~400주/ha 카사바 1×1m=약 8,000주/ha	초기 카사바 수익을 확보하면서도 목재 종착기 가치를 해치지 않는 절충치

자료: Pramono et al.(2011)의 가이드를 참고하여 저자 정리.

분석 기간은 30년으로 설정하였다. REDD+ MRV 체계는 IPCC 지침에 기반하여 장기 평균(5~20년) 계산을 권장하며, 국제 REDD+(FCPF, GCF) 등은 대부분 5~20년 단위 성과기반을 전제한다(IPCC, 2006). 별채하지 않는 REDD+ 전제에

21) Pramono et al.(2011), Managing smallholder teak plantations: Field guide for farmer의 가이드에 따라 설정한 수치이다.

서도 탄소 축적이 30년 내 실현되므로 사업 기간은 30년 기간이 적합하다고 판단하였다. 혼농임업의 현금흐름 구조는 카사바 등 단기작물 수익이 초기 3~5년에 집중되고 이후 수목 캐노피가 달하면서 작물 수익이 감소하는 반면, 탄소 수익은 중기(5~20년)에 가팔라쳤다가 후기(20~30년)에 완만해지므로 이 세 구간을 모두 담기 위해서도 30년 분석이 필요하다.

나무 한 그루(본)당 탄소흡수를 측정하는 기본 식은 다음과 같다(IPCC, 2006).

$$C_{tree}(tC) = V_{tree}(m^3) \times \rho \times BEF \times (1+R) \times CF \quad (\text{식1})$$

$C_{tree}(tC)$: 나무(본)당 탄소흡수량

$V_{tree}(m^3)$: 임목 생장량

ρ (목재기본밀도, 티크): $0.60^{22}) \text{ t/m}^3$

BEF(바이오매스 팩터): 1.4

CF(탄소함량계수): 0.47

tCO₂e로 바꾸기: $tCO_2e = tC \times 44/12$

대상 지역의 산림 탄소흡수량을 도출하기 위해서는 한 그루(본)당 줄기 재직 m³의 계산이 필요하다. 줄기 재직은 현장에서 계측한 흉고 직경(DBH), 수고(H)에 형상계수 f를 곱하여 아래의 식과 같이 근사한다. 티크의 f는 일반적으로 0.45 가정하였다.²³⁾ 본 연구는 실측치가 존재하지 않으므로 티크 나무의 연령별 평균 흉고 직경과 수고를 활용하여 대략적인 근사치를 다음의 공식을 이용하여 도출하였다.

$$V_{tree}(m^3) \approx \pi(DBH/2)^2 \times H \times f \quad (\text{식2})$$

티크의 연령별 DBH와 H는 Saxena et al.(1997)이 제시한 “Teak Growth Table”을 참고하였다. 원자료는 연령 10, 15, 20, 25, 30의 평균치이며 위 연도의 사잇값

22) Global wood density database(Hammock, 2024).

23) 티크의 전형적 형상계수는 0.40~0.50 범위(줄기 형태가 원기둥 1.0과 원추 0.333 사이)에서 쓰임.

은 선형보간을 활용한다. 10년 이전은 원표에 직접값이 없으므로 10년 점을 향한 보수적 동분 외삽으로 제시하였다.²⁴⁾ 라오스 북부의 생태 및 강우는 본 참고 자료의 ‘Slightly moist’ 사이트와 유사하다고 판단하여 이의 수치를 인용하였다. 이는 열대우림지에 비해 티크의 생장 속도가 비교적 느리게 나타나는 특징을 지닌다.

REDD+에서 탄소 크레딧은 ER(Emission Reduction/Removal)에 따라 지급되며 이는 사업 때문에 추가로 저장, 흡수된 탄소량을 의미한다. 기준식은 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$ER = \Delta C_{\text{project}} - \Delta C_{\text{baseline}} \quad (\text{식3})$$

이때 ΔC 는 연간 성장·유입된 흡수량·벌채·고사·화재 등으로 나타난 유출(손실)의 합이다. $\Delta C_{\text{project}}$ 는 조림, 혼농임업 등 사업 활동이 있는 경우의 탄소 저장량 변화이며 $\Delta C_{\text{baseline}}$ 은 사업이 없을 때의 예상 변화이다.²⁵⁾ 이의 내용에 따라 도출한 티크 1그루의 연령별 ER은 다음과 같다.

〈표 4-9〉 티크 1그루당 연령별 ER

연령	DBH(cm)	H(m)	줄기 재적 Vtree(m ³)	탄소흡수 누적(CO ₂ e)	ER
1년	0.65	0.46	6.87E-06	5.14E-11	5.14E-11
2년	1.3	0.92	5.5E-05	9.86E-05	9.86E-05
3년	1.95	1.38	0.000185	0.000333	0.000234
4년	2.6	1.84	0.00044	0.000789	0.000456
5년	3.25	2.3	0.000859	0.001541	0.000752
6년	3.9	2.76	0.001484	0.002663	0.001122
7년	4.55	3.22	0.002356	0.004229	0.001566
8년	5.2	3.68	0.003517	0.006313	0.002084
9년	5.85	4.14	0.005007	0.008988	0.002676
10년	6.5	4.6	0.006869	0.01233	0.003341

24) 실제 조림지에서는 생장이 더 빠르거나 느릴 수 있으므로 향후 현지 실측값 보정이 필요함.

25) 본 연구에서는 사업대상지의 베이스라인 상태를 고지대 작물로(〈표 4-7〉 참조) 가정하였으므로 베이스라인 상태의 탄소 저장량은 0으로 가정함.

(계속)

연령	DBH(cm)	H(m)	줄기 재적 Vtree(m ³)	탄소흡수 누적(CO ₂ e)	ER
11년	7.1	5.02	0.008944	0.016054	0.003724
12년	7.7	5.44	0.011399	0.020462	0.004408
13년	8.3	5.86	0.014268	0.025611	0.005149
14년	8.9	6.28	0.017581	0.031558	0.005947
15년	9.5	6.7	0.021371	0.038361	0.006803
16년	10.2	7.06	0.02596	0.046598	0.008238
17년	10.9	7.42	0.031157	0.055927	0.009329
18년	11.6	7.78	0.037	0.066414	0.010487
19년	12.3	8.14	0.043525	0.078127	0.011713
20년	13	8.6	0.051367	0.092204	0.014077
21년	13.6	8.96	0.058572	0.105136	0.012932
22년	14.2	9.32	0.066419	0.119223	0.014087
23년	14.8	9.68	0.074938	0.134513	0.015291
24년	15.4	10.04	0.084155	0.151057	0.016544
25년	16	10.4	0.094097	0.168904	0.017847
26년	16.7	10.72	0.105665	0.189668	0.020764
27년	17.4	11.04	0.118133	0.212048	0.02238
28년	18.1	11.36	0.131534	0.236103	0.024055
29년	18.8	11.68	0.145902	0.261894	0.02579
30년	19.5	12	0.16127	0.289479	0.027585

주: DBH, H는 O.P Saxena et al.(1997)을, 줄기 재적, 누적탄소흡수, ER은 산식을 이용 직접 도출.

자료: 저자 작성.

각각의 시나리오에 소요되는 비용은 다음과 같다. 비용의 근거는 Smith et al.(2017), Pramono et al.(2011), Rajapakshe et al.(2024) 등에서 도출한 합리적 범위의 가정치이다. 시나리오 A는 ha 당 1,111본의 묘목을 단독으로 식재하는 것을 가정하며 초기에 조림으로 인한 고비용 소요 후 5년 차까지의 중간 강도의 관리, 6년 차 이후 저강도 관리 비용이 소요된다.

〈표 4-10〉 시나리오 A: 조림단독

연도	Capital Cost (자본적 지출) (달러/ha)	Operating Cost 운영비 (달러/ha)	합계 (달러/ha)	포함 항목
1	1,100	0	1,100	부지 정리, 묘목 구입, 식재 인건비 등
2	-	100	100	
3	-	100	100	
4	-	100	100	제초, 넝쿨 제거, 소량 보식 등
5	-	100	100	
6~30	-	70/연	70/연	방화 순찰, 넝쿨 제거 등
30년 누계		1,100+(100×4)+(70×25)=3,250달러/ha		

자료: 저자 작성.

시나리오 B는 ha당 묘목 식재 본수를 줄이고 초기 2~3년까지 카사바를 재배 이후 카사바 재배를 종료한다. 초기에만 카사바를 재배하는 것은 티크가 자라면서 빛·수분·영양 등을 추가 흡수하므로 같은 구획에서 계속 심으면 수량이 급격히 떨어지고 토양이 빨리 지치며 훼손 및 침식 리스크가 커진다. 이와 같은 이유로 현실 수익 극대화 구간은 초기 2~3년이며, 이후에는 카사바 단위 수익은 감소하고 관리 비가 높아져 총 NPV가 감소하는 경우가 많다.

〈표 4-11〉 시나리오 B: 혼농임업(티크+카사바 3년 단작)

연도	Capital Cost (자본적 지출)(달러/ha)	Operating Cost 운영비(달러/ha)	합계 (달러/ha)	포함 항목
1	900	250	1,150	식재·말뚝·구덩이·묘목+카사바 종근 /비료 등
2	-	340	340	카사바 투입(재배)+유지관리
3	-	340	340	카사바 투입(재배)+유지관리
4	-	110	110	카사바 종료, 조림 관리
5	-	110	110	유지관리
6~30	-	80/연	80/연	저강도 유지관리
30년 누계		1,150+340+340+110+110+(80×25) = 4,050달러/ha		

자료: 저자 작성.

시나리오 C는 카사바 연속재배 시나리오로 티크의 줄 간격을 더 넓혀 카사바를 윤작으로 재배하는 시나리오이다. 널찍한 알래이와 낮은 수목밀도, 전정/피복비

료 강화로 카사바의 수량 저하를 늦추는 것으로, 비용·노동이 늘고 나무 밀도는 낮아져 탄소흡수량이 줄 수 있다는 단점이 있다.

〈표 4-12〉 시나리오 C: 혼농임업(티크+카사바 10년 혼농임업 유지)

연도	Capital Cost (자본적 지출) (달러/ha)	Operating Cost 운영비 (달러/ha)	합계 (달러/ha)	포함 항목
1	934	535	1,469	부지 정리, 티크 묘목확보, 식재, 카사바 초기 투입 등
2	-	535	535	제초·비료(저투입), 보식(생존율 보완), 카사바 재투입·김매기
3	-	535	535	제초·가지치기, 토양보전(소구획 배수·멸칭), 카사바 재투입
4	-	545	545	카사바 계속 재배, 줄기 가지치기·간벌(경미), 생울타리 보수
5	-	545	545	카사바 재배+수목 관리(제초·가지치기)
6	-	545	545	카사바 재배+수목 관리
7	-	545	545	카사바 재배+수목 관리
8	-	545	545	카사바 재배+수목 관리
9	-	515	515	카사바 재배(수량 감소)+수목 관리
10	-	515	515	카사바 재배(수량 감소)+수목 관리
11~30	-	170/연	170/연	조림 유지 관리
30년 누계				$1,469+535+535+545\times 5+515\times 2+170\times 20= 9,694$ 달러/ha

자료: 저자 작성.

혼농임업(B·C) 구역에서 카사바 재배가 끝난 뒤에도 순수 티크 조림(A)보다 유지비가 더 크게 가정된 이유는 현장 관리의 복잡성이 오래 남기 때문이다(Murcia, 1995). 알레이 구조로 조성된 혼농임업지는 블록형 단순조림보다 경계(엣지) 길이가 훨씬 길어 잡초·덩굴 유입과 인화물 축적, 야생동물 교란이 더 많이 발생한다. 이 때문에 제초, 방화선 정비, 순찰의 필요 빈도가 높다. 또 카사바를 심고 수확 하던 알레이이는 경운과 수확으로 토양이 느슨해져 침식·유실이 잔존하므로 소수로·멸칭·퇴비화 같은 침식 저감 구조를 몇 해 동안 보수해야 한다.

혼농임업은 초기 식재밀도를 낮추고 줄 간격을 넓히는 설계를 쓰기 때문에 수관 폐쇄 시점이 순수조림보다 늦어져 잡초 억제가 더디고, 그만큼 전정·제초를 오래 유지해야 한다. 게다가 작물 이력이 남은 필지는 자기파종 카사바나 잡초성 단

명 다년초가 재발생하기 쉬워 추가 관리가 필요하고, 구획이 세분되어 작업 동선과 이동비가 늘어 단위면적당 인건비가 커진다. 시나리오별 식재량과 연간 비용을 요약하면 다음의 <표 4-13>과 같다.

<표 4-13> 시나리오별 비용 및 식재 본수: 기본 시나리오

시나리오 A	연도	비용(달러/ha·yr)	티크 식재 본수	카사바 식재 본수
단일조림	Y1	1,100(초기 비용)	1,111	0
	Y2	100	0	0
	Y3	100	0	0
	Y4	100	0	0
	Y5	100	0	0
	Y6~Y30	70/년	0	0
	30년 누계	3,250	1,111	0
시나리오 B	연도	비용(달러/ha·yr)	티크 식재 본수	카사바 식재 본수
티크+카사바 (3년 혼농임업 유지)	Y1	1,150(초기 비용)	556	8,000
	Y2	340	0	8,000(재식)
	Y3	340	0	8,000(재식)
	Y4	110	0	0(종료)
	Y5	110	0	0
	Y6~30	80/년	0	0
	30년 누계	4,050	556	24,000(Y1~Y3 합)
시나리오 C	연도	비용(달러/ha·yr)	티크 식재 본수	카사바 식재 본수
티크+카사바 (10년 혼농임업 유지)	Y1	1,469(초기 비용)	278	8,330
	Y2	535	0	8,330
	Y3	535	0	8,330
	Y4	545	0	8,330
	Y5	545	0	8,330
	Y6	545	0	8,330
	Y7	545	0	8,330
	Y8	545	0	8,330
	Y9	515	0	6,830(-30달러/ha → -1,500본/ha)
	Y10	515	0	6,830
	Y11~Y30	170/년	0	0
	30년 누계	9,634	278	80,303

주: 카사바 생산량은 2.5kg/본으로 가정. 이는 국제 가이드에서 제시한 카사바 권장 밀도(1만 주/ha(1m X 1m))(Hauser, 2014), FAO가 제시한(FAO, 2013) 25~30t/ha(신선근)을 달성목표치 근거로 대략 환산 한 수치임.

자료: 저자 작성.

2.1.2. 산림전용률을 고려한 확장 시나리오

REDD+ 사업의 성과는 단순한 흡수량(조림·재조림·관리 개선)만으로 설명되지 않는다. 실제 현장에서는 농지 확대, 인프라 개발, 불법·합법 벌채 등 산림전용(deforestation) 압력이 지속적으로 작동하며 이는 장기 흡수 효과를 상쇄하거나 불확실성을 증폭시킨다. 따라서 정책·재정 의사결정에 유의미한 시나리오를 설계 하려면 기준선(BAU) 전용률과 개입에 따른 전용률 변화를 함께 추정·비교해야 한다. 특히 라오스 및 인접국(베트남·캄보디아)처럼 고탄소림이 넓고 농업 확대 압력이 공존하는 지역에서는 전용률과 REDD+ 수익성, 탄소 계정, 사회·생태적 지속 가능성에 직결된다.

라오스는 숲의 경제·생태적 중요성이 큰 국가로 최근 원격탐사 기반 집계에 따르면 2001~2024년 사이 나무 피복의 약 27%가 손실되었으며 이는 장기적으로 뚜렷한 산림전용 압력이 존재함을 보여준다(World Bank, 2020). 따라서 라오스의 혼농임업 시나리오 설계 시 전용률 내재화를 전제로 해야 한다. 현시점에서 라오스의 기준선과 혼농임업 채택을 비교하여 산림전용률 변화를 정량적으로 제시한 신뢰할 만한 공개 연구자료는 찾아보기 어렵다. 따라서 비슷한 기후 및 농업구조의 주변 국가(베트남, 캄보디아 등)의 혼농임업 적용 전용률 차이 연구자료를 대체로 인용하는 것이 현실적이라 판단된다.

Teo et al.(2025)이 동남아 10개국 38개 하위지역(라오스 포함)을 대상으로 2015~2023년 패널을 사용해 인과 추정(PoS매칭·사후 회귀/랜덤포레스트)을 수행한 다지역 연구는 혼농임업 도입 지역의 연평균 산림전용이 순감함을 보였다. 효과 크기는 지역별 이질성이 존재하나, 라오스·북베트남·보르네오 일부 고탄소림에서는 감소 효과가 통계적으로 유의하였다. 구체적인 결과로는 혼농임업이 도입된 지역에서 중앙값 약 1.08% 전용률 감소가 나타났다.

본 절에서는 이러한 기존 연구 결과를 활용하여 전용률을 내재화한 두 확장 시나리오를 통해 REDD+ 사업의 경제성과 탄소흡수 성과를 비교한다. 확장 시나리오는 다음과 같다. 먼저 시나리오 A(조림단독)를 확장한 A2 시나리오이다. 본 시

나리오에서는 시나리오 A에서처럼 조림을 중심으로 한 REDD+ 사업을 수행한다. 그러나 라오스의 평균 산림전용률을 고려하여 사업지의 산림이 매년 감소함을 가정하였다. World Bank(2020)의 통계에 라오스는 2001~2024년 사이 나무 피복의 약 27%가 손실되었으며 이를 연간 손실률 환산하면 약 1.31%로 추정된다. 이 외의 다른 문헌에서는 라오스의 산림전용률을 지역별로 1~3%/연 수준으로 제시하는 사례가 있다(FAO, 2020). 일반적으로 정책 모형 시나리오에서는 시나리오 간 차이를 살펴보기 위해 보수적으로 단기 고위험 사업지 기준선을 설정하는 경우가 많으므로 본 연구에서는 산림전용 기준선을 2.9%/연 수준으로 가정하였다. 즉 본 연구에서 가정한 2.9%/연 수준은 라오스 전체의 평균치가 아니고 사업지의 연간 전용률을 대표하는 시나리오 가정값이다. 이러한 가정에 따라 시나리오 A2에서는 연간 사업지의 산림이 2.9% 감소함을 가정하였다.

시나리오 C2는 기본 혼농임업 모델(C)을 확장한 것으로, 장기적인 산림전용 억제 효과를 검증하기 위해 설계되었다. 우선 카사바가 단기간 재배되면 초기에는 토지이용 안정화 효과가 나타나지만, 재배 종료 후 소득 공백이 생기면 다시 신규 개간 압력이 높아져 장기적으로는 혼농임업을 하지 않은 경우와 유사한 전용률이 재발할 수 있다. 이를 방지하고 혼농임업의 지속 가능성을 평가하기 위해 본 연구는 3년 재배+2년 휴경의 순환 구조를 30년 반복하는 방식으로 설정하였다.

카사바의 강한 광 요구성(shade-intolerant) 특성 때문에 기존 시나리오 B처럼 티크 556본과 병행해 30년 연작하는 것은 비현실적이다. 국제 연구(Khasanah et al., 2015)에 따르면 카사바는 연작 시 토양 비옥도와 구조가 급격히 악화되므로 장기 혼농임업을 위해서는 티크 밀도를 낮춘 278본 체계가 적합하다. 마지막으로 Teo et al.(2025)의 다지역 연구를 근거로 혼농임업 도입 시 산림전용률이 약 1.08% 감소한다고 보고되어 C2에서는 전용률 1.82%를 적용하였다. 이는 현장 상황에 따른 변동 가능성을 고려한 1차 근사값이며 혼농임업의 전용 억제 효과를 반영한 시나리오이다.

확장 시나리오 A2와 C2의 산림관리 비용은 산림전용률(Deforestation Rate)을 내재화한 ‘동적 관리비(Dynamic cost)’ 방식으로 산정되었다. 기본 시나리오에서

는 면적이 고정된 상태에서 관리비가 ha 단가에 따라 일정하게 부과되지만, 확장 시나리오에서는 매년 산림면적이 실제로 감소한다고 가정한다. A2의 경우 연 2.9%의 전용률을, C2는 혼농임업의 전용억제 효과를 반영해 연 1.82%의 전용률을 적용하였다. 즉, 연도 t의 관리비는 ‘관리단가×(1 - 전용률)^t’로 계산되며, 연차 가 늘수록 관리해야 할 실제 산림면적이 줄어들기 때문에 비용도 자연스럽게 감소 한다. 또한 C2는 카사바 3년 재배+2년 휴경의 순환 구조를 적용하여 카사바가 존 재하는 해에는 제초·잡초 제거·토양관리 등 추가적인 관리비가 포함되며, 휴경기에는 카사바 관련 관리비가 제외되어 비용이 낮아진다. 반면 A2는 조림단독 모델 이기 때문에 관리비는 티크 관리에 국한되지만, 면적 축소 효과로 인해 시간이 지 날수록 비용이 줄어드는 동일한 구조를 가진다.

〈표 4-14〉 시나리오별 비용 및 식재 본수: 확장 시나리오

시나리오 A2	연도	비용(달러/ha·yr)		티크 식재 본수	카사바 식재 본수
		산림	카사바		
단일조림	Y1	1,100(초기 비용)		1,111	0
	Y2	97.12	-	1079	0
	Y3	94.24	-	1048	0
	Y4	91.54	-	1017	0
	Y5	88.93	-	988	0
.....					
티크+카사바 (30년 혼농임업 유지)	Y30	29.82		473	0
	Y1	1,000(초기비용)		278	6000
	Y2	58.92	300	273	6000
	Y3	57.84	300	268	6000
	Y4	56.76	-	263	0
	Y5	55.68	-	258	0
	Y6	54.82	294	254	5880
	Y7	53.74	294	249	5880
	Y8	52.66	294	244	5880
	Y9	51.8	-	240	0
	Y10	50.94	-	236	0
	Y11	49.86	288.12	231	5762
	Y12	48.99	288.12	227	5762
	Y13	48.13	288.12	223	5762
	Y14	47.27	-	219	0
	Y15	46.4	-	215	0
	Y16	45.54	282.36	211	5647
	Y17	44.68	282.36	207	5647

(계속)

시나리오 A2	연도	비용(달러/ha·yr)		티크 식재 본수	카사바 식재 본수
		산림	카사바		
	Y18	43.81	282.36	203	5647
	Y19	43.17	-	200	0
	Y20	42.3	-	196	0
	Y21	41.64	276.71	193	5534
	Y22	40.86	276.71	189	5534
	Y23	40.21	276.71	186	5534
	Y24	39.35	-	182	0
	Y25	38.7	-	179	0
	Y26	38.03	271.18	176	5424
	Y27	37.17	271.18	172	5424
	Y28	36.51	271.18	169	5424
	Y29	35.86	-	166	0
	Y30	35.2	-	163	0

주: 본문에서 언급한 산림전용률에 따라 시나리오 A2는 연간 2.9% 전용률, C2는 연간 1.82%의 전용률로 식재된 티크가 감소한다고 가정함. 전용된 산림에 대한 재조림은 가정하지 않음. 산림 감소에 따라 산림관리 비용도 감소함을 가정. 카사바의 경우 기존 연구(Khasanah et al., 2015)의 권고에 따라 3년 연작 후 2년의 휴경기간을 설정하였고, 휴경 후 지력 저하를 고려하여 카사바 재식재 시에는 이전 본 수보다 적은 본수를 식재하였음.

자료: 저자 작성.

2.2. 시나리오별 NPV 평가 결과

2.2.1. 기본 시나리오

각 정책 시나리오(티크 단독, 티크+카사바 혼농임업 등)의 NPV(순현재가치)를 이용하여 평가하였다. NPV를 이용하면 조림·준비비 같은 초기 고정비와 탄소·작물 수익처럼 나중에 유입되는 현금을 모두 현재가치로 환산해 동일 기준에서 비교 가능하다. 다른 지표와 비교한 NPV의 장점은 의사결정이 단순·직관적이라는 점이다. NPV가 0을 넘으면 경제성이 있다는 뜻이므로, 시나리오 A/B/C를 공통 화폐 단위(달러/ha)로 바로 서열화할 수 있다.

REDD+ 사업에서는 단순히 NPV(순현재가치)가 높다고 해서 그 전략이 무조건 우월하다고 볼 수는 없다. NPV는 경제적 관점에서 순편익을 측정하는 유용한 도

구이지만, REDD+는 단기 수익이 아닌 탄소흡수의 안정성(permanence)과 누출(leakage) 최소화, 사회적 공정성을 함께 달성해야 하는 국제 협약적 성격의 제도이기 때문이다.

그럼에도 불구하고, NPV 분석이 가지는 시사점은 존재한다. 첫째, NPV는 탄소수익과 작물 수익이 결합될 때 사업의 재정적 지속 가능성을 정량적으로 보여주는 지표이다. REDD+가 단순한 산림보전 사업을 넘어 혼농임업 등과 결합할 때 NPV가 개선되는 것은, 탄소흡수라는 공익적 효과와 농가 소득이라는 사익적 효과가 동시에 강화될 수 있음을 시사한다. 즉, NPV의 상승은 단순한 수익성 증가가 아니라, 지역 주민의 참여 유인과 유지관리 동기 강화, 그리고 사업의 자립적 지속성 확보를 의미한다.

둘째, 탄소와 작물에서 발생하는 수익의 존재는 REDD+ 사업의 리스크 분산 구조를 반영한다. 탄소 가격 변동이나 인증 지연 등 외부 불확실성이 존재할 때, 작물 수익이 보완재 역할을 하며 전체 현금흐름을 안정화한다. 이런 복합 수익 구조는 NPV의 절대적 크기보다는 현금흐름의 안정성(robustness)과 리스크 완화 효과 측면에서 정책적 의미가 크다.

따라서 REDD+ 전략에서 NPV가 높다는 것은 단순한 ‘경제적 우위’를 의미하는 것이 아니라, 재정적 자립 가능성과 주민 수용성, 그리고 탄소 감축의 지속 가능성을 함께 달성할 수 있는 구조적 강점을 시사한다. 즉, NPV 분석은 REDD+의 다차원적 목표 중 ‘경제적 지속성’을 정량적으로 뒷받침하는 기초 지표의 역할을 할 수 있다.

시나리오별 NPV 분석 결과는 다음과 같다. 결과를 보면 세 가지 REDD+ 정책 시나리오(A: 조림단독, B: 카사바 3년 단작, C: 카사바 10년 연작)는 경제성과 현금흐름 구조에서 뚜렷한 차이를 보인다. 시나리오 A는 NPV가 -1,631달러/ha로 음수이며, 시나리오 B는 154달러/ha, 시나리오 C는 2,342달러/ha로 양의 값이 나타난다.

〈표 4-15〉 시나리오별 현금 흐름 및 NPV 비교: 기본 시나리오

연도	시나리오 A(조림단독)			시나리오 B(카사바 3년 단작)			시나리오 C(카사바 10년 연작)		
	수익	탄소 수익 (달러)1)	카사바 수익(달러)	현금흐름 (수익- 운영비용 ²⁾)	탄소 수익 (달러)	카사바 수익(달러)	현금흐름 (수익- 운영비용)	탄소 수익 (달러)	카사바 수익(달러)
1	0.00	-	0	0.00	1100	1100.00	0.00	1145.38	1145.38
2	0.66	-	-99.34	0.33	1100	760.33	0.16	1145.38	805.54
3	1.56	-	-98.44	0.78	1100	760.78	0.39	1145.38	805.77
4	3.04	-	-96.96	1.52	-	-108.48	0.76	1145.38	1036.14
5	5.01	-	-94.99	2.51	-	-107.49	1.25	1145.38	1036.63
6	7.48	-	-62.52	3.74	-	-76.26	1.87	1145.38	1067.25
7	10.44	-	-59.56	5.22	-	-74.78	2.61	1145.38	1067.99
8	13.89	-	-56.11	6.95	-	-73.05	3.48	1145.38	1068.85
9	17.84	-	-52.16	8.93	-	-71.07	4.46	939.13	863.59
10	22.27	-	-47.73	11.15	-	-68.85	5.57	939.13	864.70
11	24.83	-	-45.17	12.42	-	-67.58	6.21	-	-73.79
12	29.38	-	-40.62	14.70	-	-65.30	7.35	-	-72.65
13	34.32	-	-35.68	17.18	-	-62.82	8.59	-	-71.41
14	39.64	-	-30.36	19.84	-	-60.16	9.92	-	-70.08
15	45.35	-	-24.65	22.70	-	-57.30	11.35	-	-68.65
16	54.91	-	-15.09	27.48	-	-52.52	13.74	-	-66.26
17	62.19	-	-7.81	31.12	-	-48.88	15.56	-	-64.44
18	69.91	-	-0.09	34.99	-	-45.01	17.49	-	-62.51
19	78.08	-	8.08	39.07	-	-40.93	19.54	-	-60.46
20	93.84	-	23.84	46.96	-	-33.04	23.48	-	-56.52
21	86.20	-	16.20	43.14	-	-36.86	21.57	-	-58.43
22	93.90	-	23.90	46.99	-	-33.01	23.50	-	-56.50
23	101.93	-	31.93	51.01	-	-28.99	25.50	-	-54.50
24	110.28	-	40.28	55.19	-	-24.81	27.60	-	-52.40
25	118.97	-	48.97	59.54	-	-20.46	29.77	-	-50.23
26	138.41	-	68.41	69.27	-	-10.73	34.63	-	-45.37
27	149.18	-	79.18	74.66	-	-5.34	37.33	-	-42.67
28	160.35	-	90.35	80.25	-	0.25	40.12	-	-39.88
29	171.92	-	101.92	86.04	-	6.04	43.02	-	-36.98
30	183.88	-	113.88	92.02	-	12.02	46.01	-	-33.99
NPV	-1,631달러 ³⁾ /ha			154달러/ha			2,342달러/ha		

초기자본비용	1,100달러/ha	1,150달러/ha	1,469달러/ha
REDD+ 탄소 크레딧 가격		6달러 ⁴⁾ /tCO ₂ e	
카사바 가격		0.055 ⁵⁾ 달러/kg	
할인율		4%	

주 1) 탄소 수익은 비용을 차감하지 않은 값임.

2) 할인율을 반영하지 않은 수익 흐름임(최종에는 반영).

3) 탄소 수익과 카사바 수익의 현금흐름의 합의 현재가치에서 초기 자본비용을 차감. 운영비용은 〈표 4-13〉 참고.

4) Average price: The average price for REDD+ credits is around \$5-\$7 per tonne of CO₂ equivalent(tCO₂e), though this can vary significantly(sylvera, 검색일: 2025. 9. 3.).

5) 라오스 현지 생 카사바 가격 900 LAK -1170 LAK(The Location Times, 검색일: 2025. 9. 3. 기준
달러로 환산).

자료: 저자 작성.

이러한 결과는 REDD+ 조림 사업이 단독으로 수행될 경우 초기 고정비용이 크고 수익 실현까지의 시간이 길어 할인 효과에 의해 순현재가치가 낮아지는 구조적 한계를 반영한다. 반면 카사바를 병행하는 혼농임업 시나리오는 초기 현금흐름이 크게 개선되어 투자 회수 기간을 단축하고 전체 사업의 재정적 지속 가능성을 높이는 효과를 보인다.

시나리오 A(조림단독)의 NPV가 가장 낮은 이유는, 초기 조림비용이 1,100달러/ha로 상대적으로 높지만 유일한 수익인 탄소크레딧은 초반에는 미미하고, 후기(20~30년 차)에야 발생하기 때문이다. 초반 탄소흡수 속도가 완만하고 수익 실현 시점이 멀리 있기 때문에, 4% 할인율을 적용할 경우 후반부의 수익이 현재가치로 크게 축소된다. 유지관리·운영비가 초기 100달러/yr 수준으로 지속되면서 초기 10년간 현금흐름이 지속적으로 음수로 누적되는 구조이다. 이를 보완하려면 △ 초기 3~5년간 보조적 현금흐름을 창출할 수 있는 혼농임업 도입 △ 탄소 가격 상향 또는 프리미엄 크레딧(생물다양성·사회적 가치 부여형) 발급 △ 조림 비용 절감(공동생산, 인센티브 제도 등)이 필요하다. 특히 REDD+ 조림형 모델은 탄소흡수 단가를 낮추는 것보다 MRV 기반의 확실한 크레딧 발급 구조를 확보하는 것이 장기적으로 NPV 개선에 더 효과적이다.

시나리오 B(카사바 3년 단작)는 초기 3년간 카사바 생산으로 초기 현금흐름을 확보하며, 조림·운영비를 상쇄한다. 그러나 이후 카사바 수익이 종료되면 다시 음의 현금흐름이 나타나 전체 NPV가 154달러/ha 수준에 머물게 된다. 즉, 단기적인 유동성은 확보되지만 장기적 재정자립성은 제한적이다. 정책 설계자는 이 구조를 활용해 조림 초기 부담 완화형 혼농임업(transition agroforestry) 모델로 도입할 수 있다. 즉, 3년 단작형은 초기 비용회수·생계보전형 REDD+로서 농가 유인을 확보하는 데 효과적이지만, 카사바 종료 이후 유지관리 동기를 유지할 수 있는 보상체계가 병행되어야 한다.

시나리오 C(카사바 10년 연작)는 세 시나리오 중 가장 높은 NPV(2,342달러/ha)를 기록한다. 카사바의 장기적 연작으로 인해 10년 동안 안정적 현금유입이 지속된다. 다만 연작에 따른 토양비옥도 저하, 병충해 누적, 수분 경쟁 심화 등의 리스

크기 있으므로 정책 담당자는 휴경(4~5년 주기), 윤작(콩과·피복식물), 유기물 환원 등을 포함한 지속 가능한 연작 관리 지침을 고려할 수 있다. 시나리오 C는 카사바 연작이 끝난 뒤(약 10년 이후) 연간 현금흐름이 음수로 전환된다. 이는 탄소 수익 자체가 발생하지 않는 것이 아니고, 상대적으로 높은 운영비용으로 순수익이 음의 값을 가지기 때문이다. 카사바를 중단하고 산림으로 전환해도 초기 10년간의 토양유실·양분고갈·잔존 경운 흔적 때문에 순탄소 흡수 증가 속도가 느려질 수 있고 이에 따라 운영비용이 증가할 수 있다. 이것은 REDD+의 핵심 성능지표인 영속성(permanence) 관점에서 ‘취약 신호’로 보여질 수 있다. 즉, 산림 상태가 안정적 흡수원으로 정착되기까지 장기간의 관리비 지출이 필요하고, 그 기간 동안 크레딧만으로 비용을 커버하지 못할 위험이 있음을 시사한다. 그러나 시나리오 C가 REDD+ 측면에서 부적절한 전략이라는 의미는 아니다. 초기 10년간의 크고 안정적인 카사바 현금유입은 재정적 지속 가능성(초기·중기 유지관리 동기)을 강화하는 장점이다. 결론적으로 시나리오 C는 재정적 관점에서 가장 강하지만, 카사바 종료 이후 탄소 순수익이 음수로 나타나는 기간이 길어질 수 있고 이는 영속성·관리비 지속 부담 측면에서 부정적인 효과가 나타날 수 있다. C(장기 현금흐름)+엄격한 전환기 생태·재무 장치가 존재한다면 지속 가능성 측면에서 가장 뛰어날 것으로 보인다. B는 초기 유동성·참여 유인에 적합하나 역시 장기 탄소 성능을 따로 보강해야 하고, A는 공공재정 또는 높은 탄소 가격 전제가 있어야만 유효하다. NPV 결과는 각 시나리오의 재정 구조와 정책적 역할을 구분하는 지표로 활용될 수 있다. A형은 공공지원 중심의 장기 보전형, B형은 초기 생계지원형, C형은 자립형 지속 가능 혼농임업 모델로 설계될 수 있을 것으로 보인다.

2.2.2. 산림전용률을 고려한 확장 시나리오

확장 시나리오 A2와 C2는 앞선 기본 시나리오(A·B·C)의 재정 구조와 산림전용률(Deforestation rate)을 내재화한 확장 결과이다. 기본 시나리오에서는 조림 면적이 고정된 상태에서 조림·혼농임업 설계에 따른 NPV의 상대적 차이를 비교했

다면 확장 시나리오에서는 실제 REDD+ 사업지에서 불가피하게 발생하는 연차별 산림 손실, 2.9%(단독조림), 1.82%(혼농임업)를 반영해 REDD+ 사업의 수익성을 평가하였다.

기본 시나리오 A에서 나타났던 문제(초기 고비용·늦은 수익 실현·탄소흡수 증가 속도 지연)는 산림전용률 2.9%가 반영되면서 더욱 심화된다. 면적 감소는 곧 탄소흡수량의 연차별 감소를 의미하므로 탄소 수익 흐름이 기본 시나리오보다 더 약하게 나타나고 그 결과 순현금흐름은 대부분의 연도에서 음수로 유지된다. NPV 또한 기본 시나리오 A의 -1,631달러/ha보다 더 낮아진 -1,656달러/ha로 나타나는데 이는 조림형 REDD+가 전용률이 높은 지역에서 단독으로 운영될 경우 재정적 지속성 확보가 쉽지 않음을 구조적으로 확인시켜 준다. 산림전용률을 고려하였음에도 불구하고 A와 A2의 NPV 차이가 크지 않은 이유는 산림 감소에 따라 조림지 면적이 줄어들면서 운영비용(제초·넝쿨 제거 등) 또한 함께 감소하기 때문이다. 즉, 전용으로 인한 탄소흡수량 감소(수익 감소)와 면적 축소에 따른 유지관리비 절감(비용 감소)이 서로 상쇄되는 구조가 나타나는 것이다. 그러나 운영비 절감은 단기적 회계 효과일 뿐, 장기적으로는 조림지 축소 → 탄소흡수 잠재력 상실 → REDD+ 성과 하락 → 보상·크레딧 발급 감소로 이어지기 때문이다.

확장 시나리오 C2에서는 티크 식재 본수를 시나리오 C와 동일하게 유지하지만 3년 재배+2년 휴경을 반복하는 구조로 균형을 맞추며 혼농임업의 전용 억제 효과를 적용해 전용률을 1.82%로 조정하였다. 이 조건에서 NPV는 3,737달러/ha로 나타나는데, 시나리오 C 2,342달러/ha보다 높다. 티크 수확의 연장으로 지속적인 재정적 확보가 나타나기 때문이다. 결론적으로 조림단독형(A2)은 전용률이 반영될 수록 재정적 취약성이 커지는 반면, 혼농임업 기반의 C2는 전용 억제 효과와 안정적 소득 구조를 바탕으로 동적 환경에서도 가장 높은 재정적 성과를 보이는 것으로 나타났다.

〈표 4-16〉 시나리오별 현금 흐름 및 NPV 비교: 확장 시나리오

연도	시나리오 A2(조림단독, 산림전용 고려)			시나리오 C2(카사바 30년 연작, 산림전용 고려)			
	수익	탄소 수익 (달러)1)	카사바 수익(달러)	현금흐름 (수익- 운영비용 ²⁾)	탄소 수익 (달러)	카사바 수익 (달러)	현금흐름 (수익- 운영비용)
1	0.00	-	-	-100.00	0.00	825.00	465.00
2	0.64	-	-	-96.48	0.16	825.00	466.24
3	1.47	-	-	-92.77	0.38	825.00	467.54
4	2.78	-	-	-88.76	0.72	0.00	-56.04
5	4.46	-	-	-84.47	1.16	0.00	-54.52
6	6.46	-	-	-53.96	1.71	808.50	461.39
7	8.75	-	-	-49.91	2.34	808.50	463.10
8	11.30	-	-	-45.66	3.05	808.50	464.89
9	14.09	-	-	-41.23	3.85	0.00	-47.95
10	17.09	-	-	-36.59	4.73	0.00	-46.21
11	18.50	-	-	-33.64	5.16	792.28	459.46
12	21.26	-	-	-29.33	6.00	792.28	461.17
13	24.11	-	-	-24.94	6.89	792.28	462.91
14	27.04	-	-	-20.73	7.81	0.00	-39.46
15	30.04	-	-	-16.34	8.78	0.00	-37.62
16	35.31	-	-	-9.76	10.43	776.46	458.99
17	38.83	-	-	-4.91	11.59	776.46	461.01
18	42.39	-	-	-0.14	12.77	776.46	463.07
19	45.97	-	-	4.71	14.06	0.00	-29.11
20	53.65	-	-	13.64	16.56	0.00	-25.74
21	47.85	-	-	8.98	14.98	760.93	457.55
22	50.61	-	-	12.87	15.97	760.93	459.33
23	53.35	-	-	16.74	17.06	760.93	461.07
24	56.05	-	-	20.46	18.07	0.00	-21.28
25	58.71	-	-	24.20	19.17	0.00	-19.53
26	66.32	-	-	32.83	21.93	745.80	458.52
27	69.41	-	-	36.83	23.10	745.80	460.55
28	72.44	-	-	40.79	24.39	745.80	462.50
29	75.42	-	-	44.70	25.69	0.00	-10.17
30	78.32	-	-	48.50	26.98	0.00	-8.22
NPV	-1,656달러 ³⁾ /ha			3,737달러/ha			
초기자본비용	1,100달러/ha			1,000달러/ha			
REDD+ 탄소 크레딧 가격	6달러 ⁴⁾ /CO2e						
카사바 가격 할인율	0.055 ⁵⁾ 달러/kg 4%						

주 1) 탄소 수익은 비용을 차감하지 않은 값임.

2) 할인율을 반영하지 않은 수익 흐름임(최종에는 반영).

3) 탄소 수익과 카사바수익의 현금흐름의 합의 현재가치에서 초기 자본비용을 차감.

4) verage price: The average price for REDD+ credits is around \$5-\$7 per tonne of CO2 equivalent(tCO₂e), though this can vary significantly(sylvera, 검색일: 2025. 9. 3.).

5) 라オス 현지 생 카사바 가격 900 LAK -1170 LAK(The Location Times, 검색일: 2025. 9. 3. 기준 달러로 환산).

자료: 저자 작성.

3. 확률적 지배(Stochastic Dominance)를 적용한 우월 시나리오 도출

3.1. 확률적 지배이론의 이론적 배경²⁶⁾

3.1.1. 확률적 지배의 정의 및 주요 개념

불확실성이 내포된 대안의 평가에 있어 단순한 NPV 분석만으로는 정책적 또는 실천적 의사결정을 충분히 뒷받침하기 어렵다. 특히 REDD+ 시나리오와 같이 탄소 감축 효과와 경제적 수익성 간의 균형을 요구하는 환경 정책에서는 위험에 대한 태도와 선호를 반영한 보다 정교한 분석 접근이 요구된다. 이러한 맥락에서 확률적 지배(Stochastic Dominance) 이론은 효용 기반의 위험 평가를 수학적으로 정립한 유용한 분석 도구로 평가된다.

정책이나 투자 대안의 성과를 평가할 때 확률적 지배 개념을 이용하면 결과 분포 전체를 비교하여 어떤 대안이 보다 우월한지를 판단할 수 있다. 이는 한 대안의 확률분포가 다른 대안의 분포를 전 영역에서 능가하는 경우를 말하며 모든 넓은 범위의 의사결정자 선호에 대해 더 나은 선택으로 간주 될 수 있다. 구체적으로, 대안 A가 대안 B를 확률적으로 지배한다는 것은 어떤 결과 수준 x 에 대해서도 A가 그 이상의 성과를 낼 확률이 B의 경우보다 높거나 같고, 적어도 한 지점에서는 더 높음을 의미한다. 이를 누적분포함수(CDF)로 표현하면 대안 A의 CDF가 전 구간에서 대안 B의 CDF보다 아래에 위치(우측에 위치)하는 상황이다. 즉 항상 더 좋은 결과를 줄 수 있는 분포가 존재하면 확률적 지배 관계가 성립한다. 그러나 이러한 확률적 지배는 두 대안을 항상 완전히 서열화하지는 못한다. 한 쪽이 다른 쪽을 지배하지 않는 경우도 발생할 수 있으며 이는 두 분포가 교차하여 각기 다른 위험 선

26) Hardaker et al.(2004)의 내용을 기반으로 작성.

호를 지닌 의사결정자에 따라 선호가 달라질 수 있음을 뜻한다.

가. 1차 확률적 지배(First-Order Stochastic Dominance: FSD)

1차 확률적 지배(FSD)는 의사 결정자가 ‘수익이 더 많을수록 좋다’는 가장 기본적인 선호만 가정한 경우의 지배 개념이다. 이는 의사결정자의 효용함수에 대해 단조 증가(한계효용 양수) 이외에는 어떤 가정도 두지 않으므로 매우 포괄적인 기준이다. 임의의 로터리(lotteries) A와 B에 대해 A가 B를 1차 확률적으로 지배한다 함은 $x \leq z$ 를 만족하는 모든 점에 대하여 각각의 CDF가 다음의 관계를 성립함을 의미한다.

$$F_A(x) \leq F_B(x)$$

한 투자자의 투자 포트폴리오의 수익률 분포 사이에 1차 확률적 지배 관계가 존재할 경우, 즉 A가 B를 1차 적으로 지배할 경우 투자자는 A 포트폴리오에 투자하는 것이 B 포트폴리오에 투자하는 것 보다 평균적으로 더 큰 수익률을 기대할 수 있다. 그로 인해 모든 의사 결정자는 A를 선호하게 된다. 그러나 2차 확률적 지배에서는 두 CDF 그래프가 교차하게 되므로 이러한 설명이 성립되지 않는다. 한 대안이 다른 대안을 1차 확률적으로 지배한다면 위험회피 성향과 무관하게 모든 의사결정자가 그 대안을 더 선호하게 된다.

나. 2차 확률적 지배(Second-Order Stochastic Dominance: SSD)

$x \leq z$ 를 만족하는 모든 점 x 에 대하여 아래의 부등식이 만족 될 경우 A가 B를 2차 확률적으로 지배한다.

$$\int_{-\infty}^x F_A(t)dt \leq \int_{-\infty}^x F_B(t)dt \quad \forall x \in R$$

2차 확률적 지배(SSD)는 위험을 추구하지 않는다는 조건을 추가로 가정한다. 위험회피적 의사결정자는 단순히 결과가 많을수록 좋은 것뿐 아니라, 평균이 높고 변동성과 하방 위험이 낮은 분포를 선호한다. SSD 하에서 대안 A가 B를 지배한다는 것은 두 분포의 누적곡선이 교차할 수도 있지만, 통합된 면적(누적분포의 적분) 관점에서 A가 B보다 항상 유리함을 의미한다. 이는 어떠한 위험회피적 효용함수(대체로 우하향 곡선)를 가진 의사결정자에게도 A의 기대효용이 더 크다는 것을 뜻한다.

3.1.2. SERF(Stochastic Efficiency with Respect to a Function) model

SERF는 ‘함수에 대한 확률적 효율성’이라는 의미로, 확률적 지배 개념을 한층 발전시킨 의사결정 지원 기법이다. SERF는 위험에 대한 효용함수를 명시적으로 활용하여 여러 대안을 한 번에 비교하고 순위를 정하며, 핵심은 각 대안의 확실성 등가(Certainty Equivalent: CE)를 계산하는 데 있다. 확실성 등가란 주어진 위험 한 대안과 동일한 효용을 제공하는 확실한 금액이다. 즉 어떤 불확실한 시나리오의 결과 분포를 동일한 효용으로 대체할 수 있는 확실한 가치가 얼마인가를 구하는 것이다. 예를 들어, 시나리오 A가 평균적으로 100만 달러의 기금을 마련할 수 있지만 변동성이 있을 때, 위험회피적인 입장에서 그것과 동등하게 만족스러운 고정 금액(확실성 등가)이 90만 달라라면, $CE(A)=90$ 만 달러로 표현한다. SERF 방법에서는 각 대안에 대해 의사결정자의 위험회피 수준별로 CE를 계산한다.

음의 지수형 효용함수나 멱함수 등 위험회피 계수를 매개변수로 갖는 효용함수를 가정하고, 위험회피 계수 r 를 0(위험증립)부터 어떤 상한까지 변화시키며 각 대안의 $CE(r)$ 를 산출한다. SERF는 이 CE 곡선들을 한데 비교하여 어떤 대안이 어느 구간에서 가장 높은 CE를 제공하는지 식별한다. 장 CE가 큰 대안이 해당 위험회피 수준에서 최적의 선택으로 간주되므로, 위험회피 계수 범위 전체에 걸쳐 각 구간의 우월 대안을 알 수 있다.

다른 모든 대안을 모든 고려된 위험수준에서 압도하는 대안이 존재한다면, 해

당 대안이 전 구간에서 지배적인 대안이며, 대안들의 CE 곡선이 교차한다면, SERF 결과로는 둘 이상의 대안이 효율적 집합에 포함된다.

SERF의 장점은 첫째, 모든 대안을 한꺼번에 비교하므로 분석 효율성이 높고 결과 해석이 명확하다. 둘째 SERF는 정책입안자나 이해관계자가 결과를 직관적으로 해석할 수 있다. CE 값은 성과의 동일 가치 화폐나 성과 단위로 표현되므로, 각 시나리오의 가치를 ‘위험 조정된 수치’로 직접 비교할 수 있다. 이렇듯 SERF는 기존 확률적 지배 분석의 유용성을 유지하면서도 실용적 의사결정에 맞게 발전된 도구라고 평가할 수 있다.

REDD+와 같은 정책 시나리오 분석에서는 미래 산출의 불확실성과 다양한 이해관계자의 위험 선호 차이가 나타날 수 있다. 예를 들어, 본 연구에서 가정한 혼농 임업 REDD+ 정책의 시나리오 A, B, C는 각각 산림 감축량, 비용, 지역사회 편익 등에 대한 불확실한 결과 분포를 가질 수 있다. 또한 중앙정부, 지방공동체, 국제 기금 제공자 등 이해관계자마다 위험을 받아들이는 정도가 다르다. 이런 맥락에서 SERF 기법은 시나리오별 전체 확률분포를 활용하여 위험을 조정한 확실성 등 가로 비교하므로, 어떤 시나리오가 ‘안정적으로’ 좋은지를 평가할 수 있다.

또한 SERF는 이해관계자의 다양한 위험 성향을 직접 반영한다. REDD+에는 다양한 입장이 존재할 수 있다. 예를 들어 현지 주민이나 지역 정부는 상대적으로 위험회피적인 경향이 있고, 일부 투자자나 중앙 정부는 더 큰 리스크도 감수하는 입장일 수 있다. SERF는 위험회피 계수를 변화시키며 시나리오 선호를 분석하기 때문에 어떤 수준의 위험회피를 가진 의사결정자가 어떤 시나리오를 선택할지 명시적으로 보여줄 수 있다. 이는 동일한 REDD+ 시나리오라도 이해관계자에 따라 평가가 달라질 수 있음을 정량적으로 제시해 주므로, 정책 결정 시 균형점을 찾거나 보완책을 마련하는데 도움을 준다. 이와 같은 이유로 REDD+ 시나리오 평가에 매우 유용하고 적절한 도구가 될 수 있다. 결론적으로 확률적 지배 이론의 체계 안에서, 1차/2차 지배는 기본 개념으로써 대략적인 우열을 가릴 수 있고, SDRF는 위험선호 범위를 고려한 세밀한 분석을 가능케 하며, SERF는 한 걸음 더 나아가 실제 의사결정에 직접 활용할 수 있는 순위 정보와 통찰을 제공한다.

3.2. 분석 프레임워크 및 방법론

3.2.1. 확률적 지배 모델을 활용한 시나리오 우월 시나리오 평가

본 연구에서는 앞 장에서 제시한 REDD+를 활용한 해외 산림 탄소 감축 전략의 세 가지 정책 시나리오(A: 티크 조림, B: 티크+카사바 혼농임업 3년 연작, C: 티크 +카사바 혼농임업 10년 연작)를 대상으로 몬테카를로 시뮬레이션을 통해 30년간 순현재가치(NPV)의 불확실성 분포를 추정하였다. 시나리오별로 도출된 NPV 확률분포를 비교하여 우월한 시나리오를 식별하는 것이 목적이다. 비교 기준으로는 시뮬레이션 된 NPV 분포 자체를 활용하며 우월성 판단은 1차 확률지배(FSD)와 2차 확률지배(SSD) 원칙에 따른다. 추가적으로 위험회피형 의사결정자를 고려하기 위해 확실성 등가(Certainty Equivalent: CE)를 산출하여 시나리오별 위험 조정 가치도 비교한다.

가. 몬테카를로 시뮬레이션과 NPV 경험적 누적 분포함수 산출

앞 장에서 도출한 30년 기간의 각 시나리오별 NPV에 불확실성 요인을 반영한 몬테카를로 시뮬레이션을 수행하였다. 본 연구에서 NPV에 영향을 미치는 주요 불확실 변수는 탄소 가격으로 설정하였다. 탄소 가격은 향후 탄소 시장의 변동성을 반영하기 위해 로그 정규분포를 따르는 확률변수로 모형화하였다. 분포의 모수는 해당 시장의 시세와 변동성에 대한 추정을 기반으로 설정하며, 탄소 가격의 평균은 현재 가격인 6달러/tCO₂를 사용하였다. 표준편차는 역사적 가격 변동성을 토대로 한 적절한 추정치로 설정하였다.²⁷⁾ 한편 카사바 가격은 앞선 장에서와 같이 0.055달러/kg로 고정하여 분석하였다. 이는 카사바 수익 변동성보다 탄소 가격의 변동성이 NPV에 미치는 영향이 크다고 판단하여 불확실성 요인을 탄소 가격

27) REDD+에서 발생하는 탄소 수익 가격은 역사적 데이터가 많지 않기 때문에 국제 탄소 가격의 변동성을 대리 변수로 이용함.

하나로 집중시킨 설정이다. 이러한 가정하에 몬테카를로 시뮬레이션을 통해 NPV 분포를 도출하였다. 시뮬레이션 절차는 다음과 같다.

1. 확률분포 샘플링: 각 시나리오에 대해 탄소 가격을 로그 정규분포로부터 무작위 추출한다. 1회 시뮬레이션에서는 하나의 탄소 가격 시나리오가 선택되며, 이는 분석의 단순화를 위해 프로젝트 기간 전체에 걸쳐 일정한 탄소 가격으로 적용한다(즉, 해당 시뮬레이션에서는 30년간 탄소 가격이 특정 값으로 유지된다고 가정). 이렇게 함으로써 복잡한 가격 경로 대신 평균적인 가격 수준의 불확실성을 반영하였다. 필요에 따라 연도별 가격변동을 모사할 수도 있으나, 본 연구에서는 장기간 평균 가격의 불확실성에 초점을 맞추었다.

2. NPV 계산: 추출된 탄소 가격 값을 이용해 각 시나리오의 30년 현금흐름을 계산하고 NPV를 산출한다. 연도별 탄소 수익은 샘플링된 탄소 가격과 해당 시나리오의 연간 탄소흡수량의 곱으로 결정되며 카사바 수익은 앞 장에서 도출한 것과 같이 고정된 가격과 해당 연도의 수확량으로 계산한다. 모든 수익에서 비용을 차감한 후 해당 시나리오 해당 샘플에 대한 NPV가 산출된다.

3. 반복 시뮬레이션: 위 과정을 $N=1$ 만 회 반복하여 충분한 표본의 NPV 결과를 얻는다. 이렇게 얻어진 $\{NPV_{i=1}^N\}$ 표본집합으로부터 각 시나리오의 경험적 누적 분포함수(eCDF)를 추정할 수 있다. eCDF $F_n(x)$ 은 x 이하의 NPV가 나올 확률을 나타내며 몬테카를로 표본에서는 다음과 같이 계산된다.

$$F_n(x) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N I(NPV_i < x)^{28}$$

나. NPV 분포 비교 기준: 확률지배 및 확실성 등가

몬테카를로 시뮬레이션을 통해 각 시나리오별 NPV 분포 표본을 얻은 후 확률지배(Stochastic Dominance) 이론에 기반하여 시나리오 우열을 분석한다. 본 연

28) I 는 지시함수.

구에서는 1차 확률지배(First-Order Stochastic Dominance: FSD)와 2차 확률지배(Second-Order Stochastic Dominance: SSD) 개념을 적용하였다. FSD와 SSD는 각각 ‘더 큰 것이 항상 더 낫다’는 단순한 선호와 ‘위험회피적 선호’를 반영한 기준으로, 두 시나리오의 NPV 분포를 전 구간에 걸쳐 비교하였다.

FSD 판단을 위해 각 시나리오의 경험적 누적분포함수(eCDF)를 비교한다. 시나리오 X가 시나리오 Y를 FSD 지배한다고 말하려면 모든 NPV 수준 x 에서 $F_x(x) \leq F_Y(x)$ 가 성립해야 하며 어느 한 구간이라도 엄격이 작아야 한다. 이는 임의의 임계값 x 에 대해 시나리오 X의 NPV가 그 값 이상일 확률이 Y의 경우보다 크거나 같아야 함을 의미한다. 시나리오 X의 eCDF 곡선이 전 구간에서 Y의 eCDF보다 아래에 위치하면 X가 Y를 1차 확률지배한다. 이러한 FSD 관계가 성립하면 모든 의사결정자(위험선호에 관계없이)가 X 시나리오를 Y보다 선호하게 된다.

FSD가 성립하지 않는 경우 2차 확률지배(SSD) 관계를 검토한다. SSD는 두 분포의 교차로 인해 FSD 우열이 불분명한 상황에서 위험회피적 의사결정자의 선호 방향을 파악하는 기준이다. 시나리오 X가 Y를 SSD 지배한다는 것은 모든 증가(concave) 효용함수를 가진 위험회피 의사 결정자에게 X가 Y보다 높은 기대효용을 준다는 뜻이다. 직관적으로는 SSD 지배는 두 시나리오의 CDF 곡선이 교차할 수는 있으나 면적 관점에서 볼 때 Y보다 X가 전반적으로 우세하여, 모든 위험회피형(효용함수가 오목한) 의사결정자가 X를 선호하는 관계를 뜻한다. 1차 지배가 성립하면 자동적으로 2차 지배도 성립하지만, 1차 지배가 아니어도 2차 지배 관계는 성립할 수 있다. 본 연구에서는 각 시나리오의 경험적 분포를 이용해 FSD 여부를 우선 판단하고, 교차가 존재하면 SSD 조건을 검증함으로써 어느 시나리오가 ‘우월’한 분포인지 분석하였다. 이러한 확률지배 분석은 불확실성 하에서 최소한의 선호 가정만으로 정책 대안을 평가하는 객관적 방법론을 제공한다.

3.2.2. SERF를 활용한 위험 조정 효율성 평가

정책결정자 등 사업 주체가 명시적인 위험회피 성향(risk preference)을 가지고 있는 경우 자신에게 맞는 대안을 선택하기 위해 보다 정량적인 위험 조정 지표를 고려할 수 있다. 이를 위해 본 연구에서는 확실성 등가(CE) 개념을 적용하였다. 위험회피형 의사결정자는 각 대안의 CE 값을 비교하여 가장 높은 CE를 갖는 시나리오를 선호하게 된다.

CE의 계산은 선택한 효용함수에 따라 달라진다. 본 연구에서는(Hardaker et al., 2004)의 방법을 적용하여 지수형 효용함수를 기반으로 각 시나리오에서 도출된 NPV를 위험 대안 w로 간주하고, 절대적 위험회피계수($r_a(w)$)를 가정하였다. 이에 따라 다음의 공식을 이용하여 각 시나리오의 CE를 도출하였다.

$$CE(w, r_a(w)) = \ln \left(\frac{1}{n} \sum_i^n \exp(-r_a(w)w_i) \right)^{-1/r_a(w)}$$

CE를 계산하기 위해서는 절대적 위험회피 계수($r_a(w)$)가 필요하다. $r_a(w)$ 는 상대적 위험회피 계수 $rr(w)$ 와의 관계를 통해 다음과 같이 도출될 수 있다.

$$r_a(w) = \frac{r_r(w)}{w}$$

여기서 w는 포트폴리오를 통해 얻을 수 있는 부(wealth)를 의미한다. 위의 식에 따르면 특정 수준의 상대적 위험 회피도를 가진 사람은 자산이 많아질수록 절대적 위험 회피도는 낮아진다는 것을 의미한다. Anderson & Dillion(1992)은 $rr(w)$ 가 0.5에 가까우면 거의 위험을 회피하지 않는 수준으로 분류하고 $rr(w)$ 가 4에 가까우면 매우 위험을 회피하는 수준으로 분류하였다. 본 연구의 시나리오 A, B, C에서 확보할 수 있는 부(NPV)의 평균 수준은 -1209.73에서 2477.9 사이에 있으며 평

균은 287.64이다. 따라서 본 연구를 위해 도출한 $ra(w)$ 는 0.0017에서 0.014 사이에 존재한다.

$$r_a(w) \approx \frac{0.5}{287.64}, \frac{4}{287.64} = 0.0017, 0.014$$

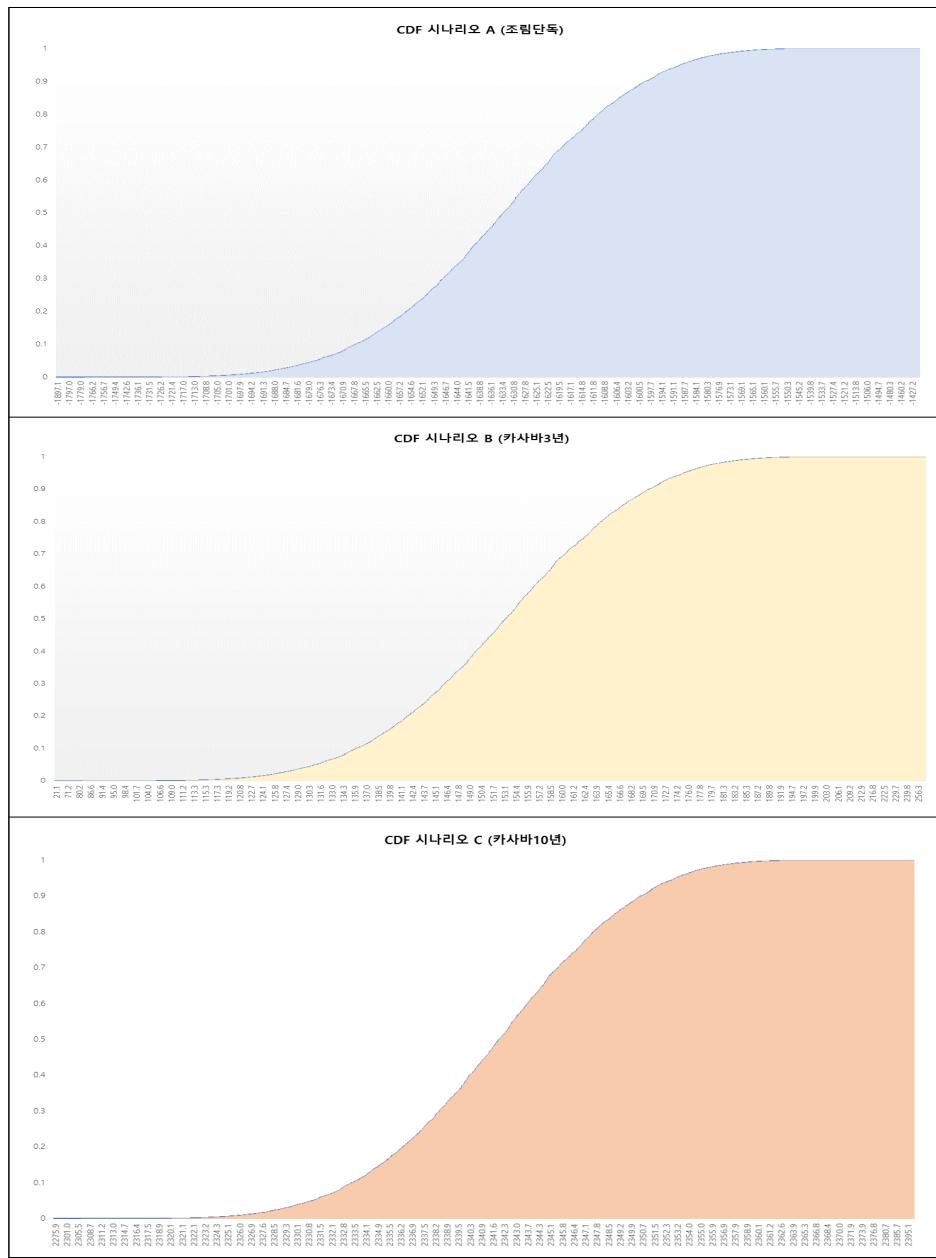
3.3. 결과 해석 및 시사점

3.3.1. 확률적 지배 모델 결과: 기본 시나리오

다음의 <그림 4-4>는 시나리오 A(단독조림), 시나리오 B(카사바 3년 혼농임업), 시나리오 C(카사바 10년 혼농임업)의 누적 분포함수(CDF) 도출 결과를 나타낸다. 이때 x 축은 NPV이며, y 축은 누적 확률을 의미한다. CDF 함수의 곡선이 왼쪽으로 이동할수록 손실확률이 높고, 오른쪽으로 이동할수록 더 높은 수의 실현 확률이 크다. 본 결과를 FSD의 관점으로 살펴보면 시나리오 C의 CDF는 시나리오 A와 시나리오 B에 비해 오른쪽에 위치하며, 이는 동일한 누적 확률에서 더 높은 NPV 값을 가짐을 의미한다. 즉 전체 구간에서 $FC \leq FB \leq FA$ 의 관계가 성립함을 알 수 있다. 즉 시나리오 C는 시나리오 B와 A를 FSD로 지배한다. 이는 어떤 효용함수를 가정하더라도 항상 더 높은 기대성과를 나타냄을 의미한다.

시나리오 A는 전체 곡선이 왼쪽에 위치하며 상승이 빠르다. 이는 낮은 NPV 구간에서 누적 확률이 급격히 증가함을 의미하며 손실 발생 확률이 높다. 즉 리스크는 크고 수익분포는 낮은 수준에 몰리기 때문에 가장 불리한 분포로 나타난다.

〈그림 4-4〉 시나리오별 CDF 도출 결과: 기본 시나리오



자료: 저자 작성.

분석 결과 시나리오 C는 A 및 B를 1차 확률적으로 지배하며(FSD) 전 구간에서 더 높은 기대성과와 낮은 위험을 보였다. 따라서 장기 혼농임업은 이산화탄소 가격의 불안정성을 고려하였을 경우 최적 정책 대안으로 평가될 수 있다.

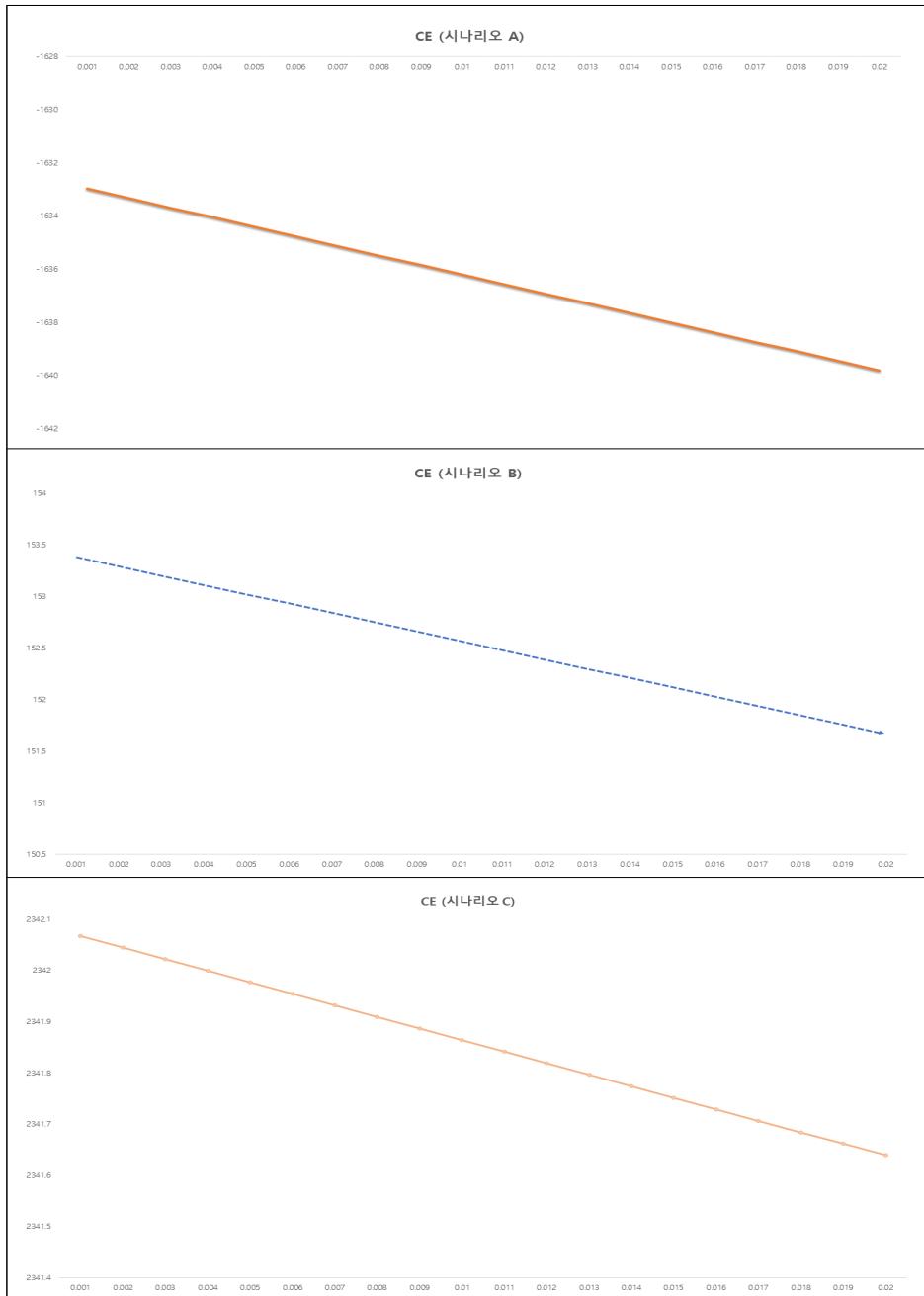
3.2.2. SERF 결과: 기본 시나리오

위험회피계수 $ra(w)$ (0.0017~0.02)에 따른 시나리오별 CE 변화는 아래의 <그림 4-5>와 같다. 본 연구에서 $ra(w)$ 값은 0.0017에서 0.014 사이에 존재하나 분석의 범위를 넓히기 위해 0.02 수준까지 확장하였다. 그래프의 가로축은 위험회피계수 $ra(w)$ 이며, 숫자가 커질수록 위험회피 성향이 증가한다. 세로축은 위험을 고려한 확실한 체감가치 CE(Certainty equivalent)이며, 높을수록 위험 조정 후에도 큰 가치를 지닌다. 그래프는 위험회피도가 커질수록 불확실한 대안의 CE는 떨어지며 이는 리스크가 큰 사업일수록 체감가치가 더 많이 깎임을 의미한다.

시나리오 A의 경우 CE가 전 구간에서 음수이며 경제적 손실이 예상된다. 위험회피도가 커져도 CE 감소폭은 일정하다. 즉 위험 수준이 높아도 변동성 완화 효과가 거의 나타나지 않음을 알 수 있다. 단독조림만을 수행하는 시나리오 A는 안정성·수익성이 모두 낮아 위험을 회피하고자 하는 투자자에게 불리한 시나리오임을 알 수 있다.

카사바 3년 단기 혼농임업인 시나리오 B의 경우 CE는 약 153에서 151 수준으로 양의 기대 가치를 유지한다. 그러나 위험회피도 상승에 따른 감소 기울기가 크며 이는 단기 혼농임업이 단독조림보다 단기 시장 변동성에 더 민감함을 알 수 있다. 단기적인 현금흐름이 있으나 위험에 민감하여 보수적 투자자에게는 제한적 매력으로 여겨질 수 있다.

〈그림 4-5〉 시나리오별 CE 도출 결과: 기본 시나리오



자료: 저자 작성.

카사바 10년 혼농임업은 CE 수준이 높고 안정적이며 기울기가 매우 완만하여 위험회피도가 커져도 가치 하락이 미미함을 알 수 있다. 즉 모든 위험선호자에게 가장 안정적인 효용을 제공한다. 시나리오 C는 위험회피계수 0.001~0.02 사이의 모든 의사 결정자에게 CE가 가장 높고 안정적이며, 1차 확률적 지배(FSD)와 위험 조종 효용 우위(SERF 상의 우세)를 동시에 보여준다. 따라서 정책적으로 장기 혼농임업을 해외 REDD+ 기반의 안정적 감축 모델로 고려할 수 있다.

확장 시나리오 A2와 C2는 본 절의 CDF·SERF 분석에서 별도로 비교하지 않았다. 그 이유는 두 시나리오의 분포 특성이 이미 전적으로 분리되어 있어 통계적 비교를 수행해도 추가적인 해석적 가치가 거의 없기 때문이다. A2는 전 기간 동안 순현금흐름이 대부분 음수이며 NPV 또한 -1,656달러/ha로 명확한 손실구조를 가진 반면, C2는 전 기간 양의 현금흐름과 3,737달러/ha의 NPV를 기록하여 수익·위험 측면 모두에서 우월하다. 이런 상황에서는 두 분포가 서로 겹치는 구간이 거의 없어, A2의 CDF는 전 구간에서 C2보다 왼쪽에 위치하고 SERF에서도 CE가 음수·양수로 완전히 분리되기 때문에 비교 결과가 ‘C2가 A2를 압도적으로 지배한다’는 자명한 결론만 반복된다. 다시 말해 확장 시나리오에서는 CDF·SERF 같은 확률적 분석을 수행해도 새로운 정책 정보가 추가되지 않는다. 이러한 이유로 본 절에서는 전략 간 실제 의사결정 차이를 식별할 필요성이 있는 기본 시나리오 (A·B·C)에 분석을 집중하고, 결과가 명백한 A2 및 C2 비교는 생략하였다.

3.2.3. 탄소흡수만을 고려한 전략 비교

가. 탄소 수익 NPV 변화: 30년 시업 기간

혼농임업 시나리오는 카사바 등 농작물 수익으로 인해 NPV가 조림단독형보다 높게 나타나기 쉽지만 대한민국 정부의 해외 REDD+ 추진 목적은 어디까지나 해외 산림 탄소흡수 확대이며 농가 소득 증대는 그 목표의 지속 가능성을 뒷받침하는 수단이다. 총수익만으로 전략을 비교하면 ‘농업만 하는 것이 낫다’는 결론이 도출될 수 있으므로 탄소흡수만을 분리한 비교가 필요하다. 이는 REDD+의 핵심 성

과지표가 tCO₂ 감축량이고 작물 수익이 토지이용 압력을 높여 탄소 추가성과 영속성에 영향을 줄 수 있기 때문이다.

본 절은 이러한 이유로 기본 시나리오(A·B·C)가 아닌 확장 시나리오 A2와 C2만을 대상으로 탄소 전용 수익을 비교한다. 기본 시나리오에서는 산림면적이 고정되어 티크 본수 차이(1,111→556→278)가 절대적인 탄소량 차이를 만들어 회계적으로 A가 당연히 유리해 보인다. 그러나 실제 REDD+ 사업지는 전용압력이 존재하며 확장 시나리오 A2·C2는 각각 전용률 2.9%·1.82%를 반영해 전략 간 실질적 탄소 성과를 평가하기 위해서는 현실적 전용률을 반영한 A2와 C2 비교가 가장 타당한 접근이다.

다음의 <표 4-17>은 시나리오 A2(조림단독형)과 C2(혼농임업형)의 탄소 수익만을 고려한 NPV이다. 두 시나리오 모두 NPV가 음수로 나타나 탄소 수익만으로는 조림·혼농임업 사업의 모든 비용을 회수하기 어렵다는 점을 확인할 수 있다. 그러나 C2의 NPV는 -1,407달러/ha로 30년 기간을 가정하면 A2(-1,656달러/ha)보다 탄소 수익 조건에서도 손실 규모가 더 작다는 점에서 구조적 우위를 가진다. 이는 전용률 억제 효과(2.9% → 1.82%)와 장기 관리비 절감 효과가 결합된 결과이다.

A2는 초기 식재량은 많지만 높은 전용률로 인해 시간이 지날수록 산림면적과 티크 본수가 빠르게 감소하고 그에 따라 탄소흡수량 증가 속도도 급격히 둔화된다. 반면 C2는 티크 식재밀도는 낮지만 혼농임업 도입으로 전용률이 완화되어 산림면적 감소 속도가 느린다. REDD+에서 보상은 기존 저장량이 아니라 추가적인 탄소흡수량(Additionality)에 대해 지급되므로 30년 사업 기간을 가정하면 A2보다 C2에서 높은 NPV가 나타난다.

〈표 4-17〉 시나리오별 현금 흐름 및 NPV 비교: 확장 시나리오, 탄소 수익만 고려

연도	시나리오 A2(조림단독, 산림전용 고려)			시나리오 C2(카사바 30년 연작, 산림전용 고려)					
수익	탄소 수익 (달러) ¹⁾	산림관리 비용 (달러)	현금흐름 (수익- 운영비용 ²⁾	탄소 수익	산림관리 비용 (달러)	현금흐름 (수익- 운영비용)			
1	0.00	100	-100.00	0.00	60	-60.00			
2	0.64	97.12	-96.48	0.16	58.92	-58.76			
3	1.47	94.24	-92.77	0.38	57.84	-57.46			
4	2.78	91.54	-88.76	0.72	56.76	-56.04			
5	4.46	88.93	-84.47	1.16	55.68	-54.52			
6	6.46	60.42	-53.96	1.71	54.82	-53.11			
7	8.75	58.66	-49.91	2.34	53.74	-51.40			
8	11.30	56.96	-45.66	3.05	52.66	-49.61			
9	14.09	55.32	-41.23	3.85	51.8	-47.95			
10	17.09	53.68	-36.59	4.73	50.94	-46.21			
11	18.50	52.14	-33.64	5.16	49.86	-44.70			
12	21.26	50.59	-29.33	6.00	48.99	-42.99			
13	24.11	49.05	-24.94	6.89	48.13	-41.24			
14	27.04	47.77	-20.73	7.81	47.27	-39.46			
15	30.04	46.38	-16.34	8.78	46.4	-37.62			
16	35.31	45.07	-9.76	10.43	45.54	-35.11			
17	38.83	43.74	-4.91	11.59	44.68	-33.09			
18	42.39	42.53	-0.14	12.77	43.81	-31.04			
19	45.97	41.26	4.71	14.06	43.17	-29.11			
20	53.65	40.01	13.64	16.56	42.3	-25.74			
21	47.85	38.87	8.98	14.98	41.64	-26.66			
22	50.61	37.74	12.87	15.97	40.86	-24.89			
23	53.35	36.61	16.74	17.06	40.21	-23.15			
24	56.05	35.59	20.46	18.07	39.35	-21.28			
25	58.71	34.51	24.20	19.17	38.7	-19.53			
26	66.32	33.49	32.83	21.93	38.03	-16.10			
27	69.41	32.58	36.83	23.10	37.17	-14.07			
28	72.44	31.65	40.79	24.39	36.51	-12.12			
29	75.42	30.72	44.70	25.69	35.86	-10.17			
30	78.32	29.82	48.50	26.98	35.2	-8.22			
NPV(탄소)	-1,656 달러 ³⁾ /ha			-1407달러/ha					
초기자본비용	1100달러/ha			700달러/ha					
REDD+ 탄소 크레딧 가격	6달러 ⁴⁾ /CO ₂ e								
할인율	4%								

주 1) 탄소 수익은 비용을 차감하지 않은 값임.

2) 할인율을 반영하지 않은 수익 흐름임(최종에는 반영).

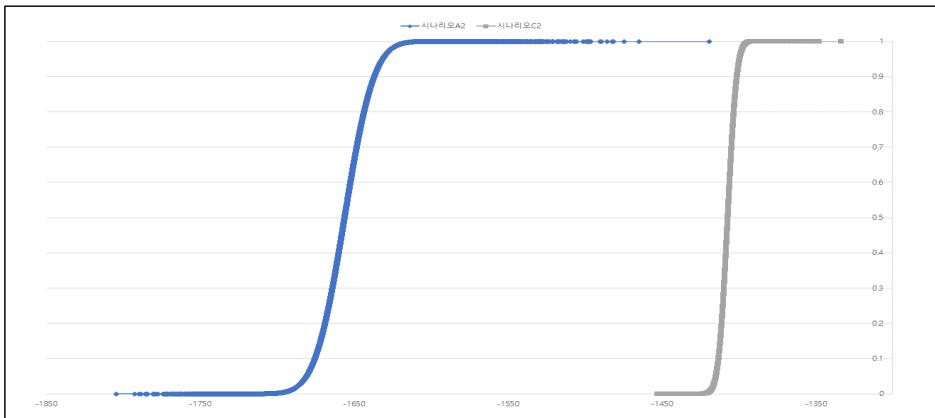
3) 탄소 수익과 카사바수익의 현금흐름의 합의 현재가치에서 초기 자본비용을 차감.

4) verage price: The average price for REDD+ credits is around \$5-\$7 per tonne of CO₂ equivalent(tCO₂e), though this can vary significantly(sylvera, 검색일: 2025. 9. 3.).

5) 라오스 현지 생 카사바 가격 900 LAK -1170 LAK(The Location Times, 검색일: 2025. 9. 3. 기준 달러로 환산).

자료: 저자 작성.

〈그림 4-6〉 시나리오별 CDF 도출 결과: 확장 시나리오

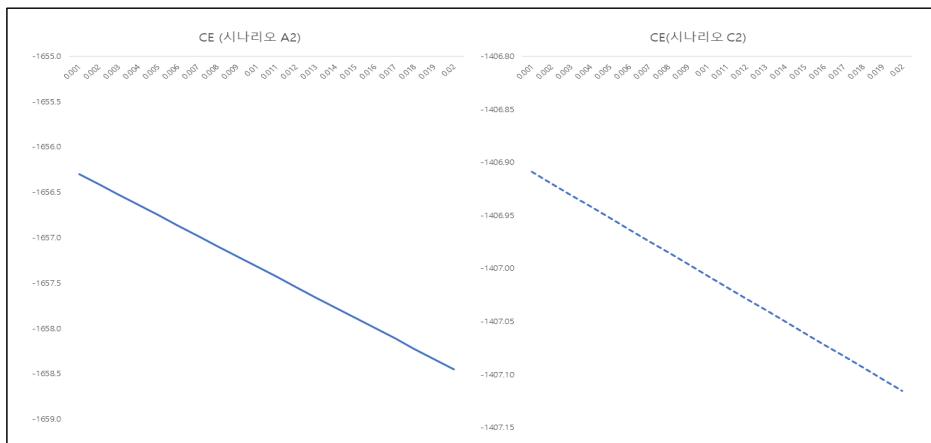


자료: 저자 작성.

〈그림 4-6〉은 시나리오 A2와 C2의 누적 분포함수(CDF) 도출 결과를 나타낸다. 확장 시나리오 A2(조림단독)와 C2(흔농임업)에 대한 누적분포함수(CDF)를 비교한 결과 C2의 CDF는 전 구간에서 A2의 CDF보다 일관되게 오른쪽에 위치하였다. 이는 모든 x 에 대해 $FC2(x) \leq FA2(x)$ 를 만족하며 C2가 A2를 1차적 확률지배(FSD)함을 의미한다. 또한 두 시나리오의 CDF 곡선이 전 영역에서 분리되고, C2의 분포 폭이 더 좁아 위험이 낮으므로 2차적 확률지배(SSD)도 성립한다. 결론적으로 탄소 수익만 고려한 확장 시나리오에서도 30년 사업 기간을 가정했을 경우 C2가 A2 대비 낮은 손실확률과 더 적은 변동성을 보이며 C2가 명백한 우위 전략임을 알 수 있다.

〈그림 4-7〉은 두 시나리오의 CE를 도출한 결과이다. 두 시나리오 모두 탄소 수익만으로는 관리비를 충당하지 못해 CE 값이 음수로 나타났다. 그러나 C2의 CE는 -1,406.9~ -1,407.1 수준으로 A2(-1,656.4~-1,658.9)보다 약 250달러/ha 덜 손실을 보이며 우위를 가진다. 위험회피도가 증가하더라도 두 시나리오 모두 CE 감소 폭은 완만하지만, C2는 전 구간에서 A2보다 높은 CE 값을 보여 위험 조정 기대 가치에서도 더 우수하다.

〈그림 4-7〉 시나리오별 CE: 확장 시나리오



자료: 저자 작성.

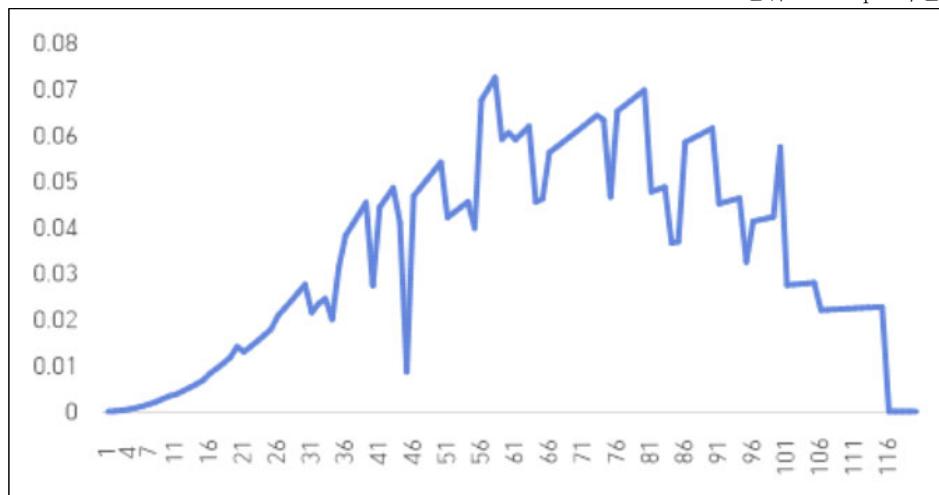
나. 탄소 수익 NPV 변화: 장기시업 기간

산림의 탄소흡수량은 시간에 따라 선형적으로 증가하지 않고 특정 임령 구간에서 정점을 찍은 뒤 감소하는 비선형 구조를 갖는다. 따라서 임령의 탄소흡수량이 최정점에 이르는 시기를 포함하지 않는다면 REDD+ 시나리오 간의 진정한 탄소 흡수 효과를 파악할 수 없다.

<그림 4-8>은 티크(Teak) 수목의 임령에 따라 매년 새롭게 흡수하는 CO₂ 양 (ton CO₂eq/tree)의 변화를 나타낸다. 초기(임령 1~10년)에는 생장 속도가 완만하여 추가 흡수량이 미미하지만, 임령 20~40년 사이에 줄기 직경(DBH)과 수고가 급격히 증가하면서 탄소흡수량도 늘어난다. 임령 50~70년 구간에서는 연간 추가 흡수량이 최대치에 도달하며, 이 시기가 티크의 생장 및 탄소흡수 능력이 가장 활발한 시기임을 보여준다. 그러나 70년 이후에는 생장이 둔화되면서 추가 탄소흡수량이 점차 감소하고, 임령 110년 이후에는 증가량이 거의 0에 수렴한다. 이는 노령 목으로 갈수록 순생장이 감소하기 때문이며, 산림 탄소학적으로는 ‘흡수원(young sink)’에서 ‘저장원(mature stock)’으로 전환되는 과정으로 해석될 수 있다.

〈그림 4-8〉 티크의 임령별 산림 탄소 추가 흡수량 변화

단위: CO₂eq ton/본



자료: 저자 작성.

〈표 4-18〉 사업 기간별 탄소 수익 변화: 확장 시나리오

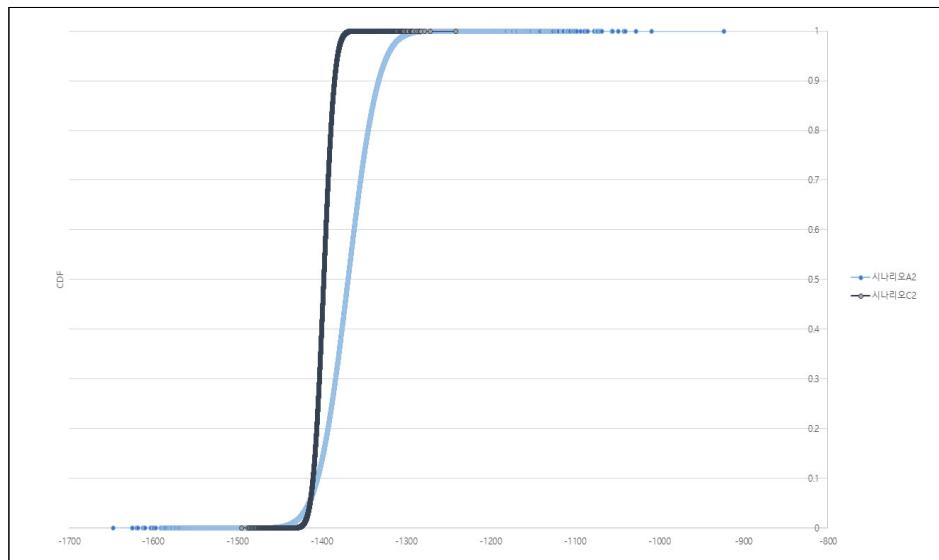
사업 기간	시나리오 A2	시나리오 C2
30년	-1,656달러/ha	-1,407달러/ha
40년	-1,535달러/ha	-1,419달러/ha
50년	-1,434달러/ha	-1,409달러/ha
60년	-1,368달러/ha	-1,397달러/ha
70년	-1,332달러/ha	-1,389달러/ha
80년	-1,311달러/ha	-1,383달러/ha

자료: 저자 작성.

시나리오 A2(조림단독형)과 C2(혼농임업형)의 탄소 수익 기반 NPV를 사업 기간별로 비교한 결과 30~50년에는 C2가 더 유리하지만 장기(60년 이후)로 갈수록 A2가 점차 우위를 회복하는 구조가 확인된다. 30~50년 구간에서는 C2가 낮은 관리비와 전용률(1.82%) 덕분에 손실폭이 더 작아 NPV가 우위에 서며, 이는 동일한 탄소 수익 조건에서 혼농임업이 초기·중기 자원 투입 측면에서 상대적으로 효율적임을 보여준다.

그러나 60년 이후로 사업 기간을 확장하면 결과가 달라진다. 이는 티크의 연간 추가 탄소흡수량이 임령 60~70년 사이 최고조에 도달하기 때문이며 이 구간에서 식재밀도가 높은 A2는 훨씬 더 많은 나무가 생존해 있어 전체 탄소흡수량이 높다. 반대로 C2는 혼농임업 특성상 티크 식재 본수가 278본에 불과하여, 전용률이 낮아도 절대적인 탄소흡수 잠재력이 제한된다. 이에 따라 장기에서는 단위당 탄소 추가 흡수량의 규모 차이가 NPV에 더 큰 영향을 미치게 되고, 그 결과 60~80년 구간에서는 A2의 탄소 수익 NPV가 C2를 추월한다. 이러한 분석은 혼농임업이 초기·중기에는 비용 절감과 전용억제로 유리하지만, 장기적 탄소흡수 잠재력에서는 고밀도 조림형 시나리오(A2)가 더 뛰어날 수 있음을 시사한다. 즉, REDD+ 전략을 설계할 때는 분석 기간에 따라 시나리오 우위가 달라질 수 있으며, 단기 재정지 속성(C2)과 장기 탄소흡수 극대화(A2) 간의 균형적 접근이 필요함을 의미한다.

〈그림 4-9〉 시나리오별 CDF 도출 결과: 확장 시나리오, 60년 사업 기간

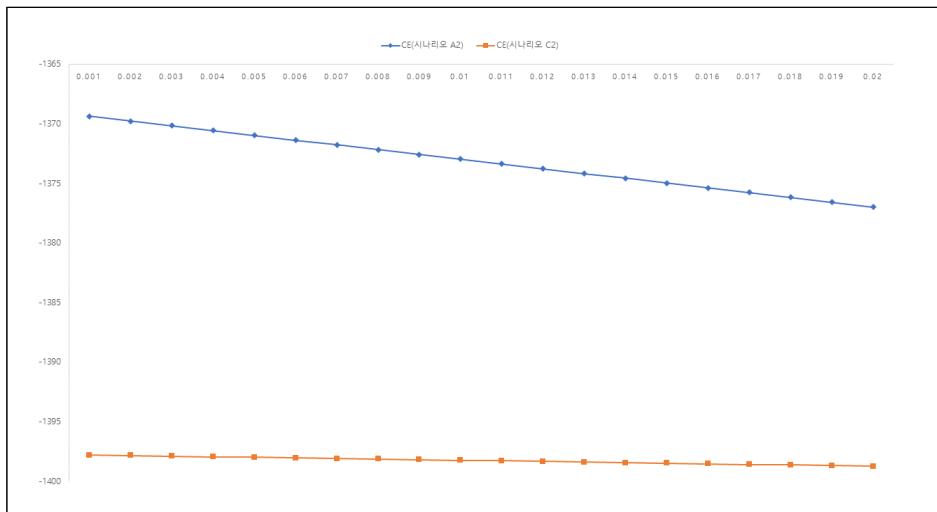


자료: 저자 작성.

<그림 4-9>는 사업 기간을 60년으로 확장한 시나리오 A2와 C2의 누적 분포함수(CDF) 도출 결과를 나타낸다. 시나리오 A2의 CDF가 C2보다 전반적으로 오른 쪽에 치우쳐 있으나 NPV $-1,500 \sim -1,400$ 구간에서 교차한다. 전 구간에서 $FA_2(x) \leq FC_2(x)$ 가 성립하지 않으므로 A2와 C2 중 어느 쪽도 FSD는 성립하지 않는다. $x \approx -1,500 \sim -1,400$ 에서는 C2가 우위이며 이 구간에서는 C2가 더 위험이 낮고 성과가 좋은 분포이다. 그러나 $-1,400$ 이상의 거의 모든 구간에서 A2가 더 좋은 성과를 낸다.

SSD의 경우 CDF 전체 면적 기준으로 한 시나리오가 더 좌측(손실 쪽)에 집중되어 있으면 열위, 더 우측(손실이 적게) 몰려 있으면 우위이다. A2는 C2에 비해 전반적으로 우측으로 $-1,400$ 이후 전체 구간에서는 A2가 더 우위를 차지하므로 전체적 면적 기준으로는 A2가 C2를 SSD(2차 확률적 지배) 하는 형태에 가깝다. 즉 C2는 특정 구간에서는 유리하지만, A2의 수익분포가 넓은 범위에서 안정적이므로 단지 기대수익이 아니라 위험까지 고려하면 A2가 더 나은 대안이 될 수 있다.

〈그림 4-10〉 시나리오별 CE: 확장 시나리오, 60년 사업 기간



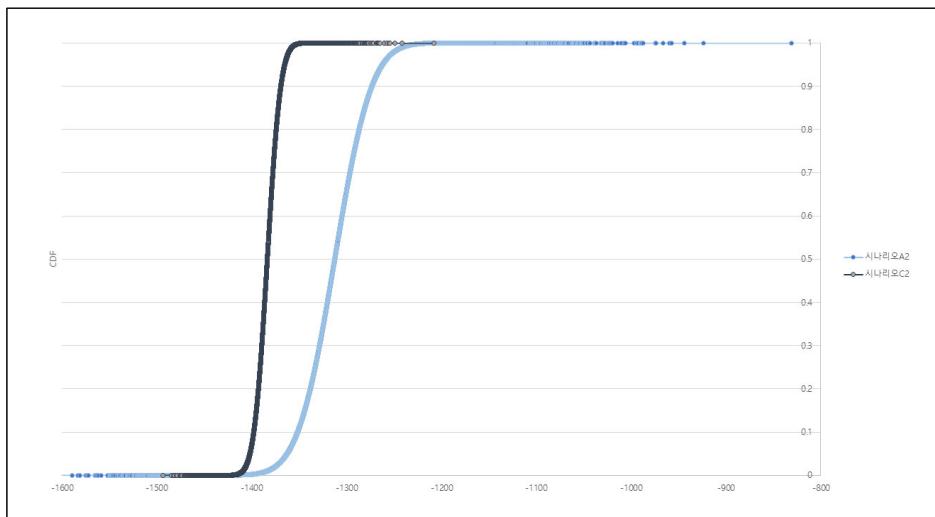
자료: 저자 작성.

60년 사업 기간의 시나리오별 CE는 <그림 4-10>에 나타난다. 도표에서는 A2의 CE가 C2보다 항상 위에 있다. 즉 어떤 수준의 위험회피 정도를 가진 결정자도 A2를 더 높은 가치로 평가한다는 의미이다. 그러나 CE의 기울기가 A2보다 C2가 더 완만한 것은 위험회피도가 증가해도 C2의 CE는 크게 감소하지 않으며 변동성과 불확실성이 A2에 비해 작다는 것을 의미한다. 즉 절대 가치는 A2가 크지만 안정성(리스크 민감도)은 C2가 더 우수하다는 이중적 결과가 나타난다. 이는 REDD+ 전략 선택에서 기대성과와 리스크 완화를 어떻게 균형시킬 것인지에 따라 정책 판단이 달라질 수 있음을 시사한다.

사업 기간을 80년으로 연장하면 다음과 같은 결과가 도출된다. <그림 4-11>은 80년으로 확장한 시나리오 A2와 C2의 누적 분포함수(CDF) 도출 결과를 나타낸다. 분석 결과 A2와 C2의 CDF는 왼쪽 손실 구간(-1,600 ~ -1,400)에서 교차한다. 예를 들어 초반 누적 확률 0.01%에서는 A2의 손실액이 -1,426, C2의 손실액이 -1,425로 C2가 우위지만²⁹⁾ 누적 확률 0.017%부터는 A2의 손실액이 -1,422, C2의 손실액이 -1,423으로 A2가 C2 보다 우위로 나타난다. 초기 구간에는 C2가 우위이나 -1,423 이후에는 A2가 전반적으로 우측으로 이후 전체 구간에서는 A2가 더 우위를 차지하므로 전체적 면적 기준으로는 A2가 C2를 SSD(2차 확률적 지배) 하는 형태에 가깝다. 80년 사업 기간의 시나리오별 CE도 60년 사업 기간과 유사한 결과가 나타났다. <그림 4-12>에서 A2의 CE가 C2보다 항상 위에 있다. 그러나 CE의 기울기가 A2보다 C2가 더 완만한 것은 변동성과 불확실성이 A2에 비해 작다는 것을 의미한다.

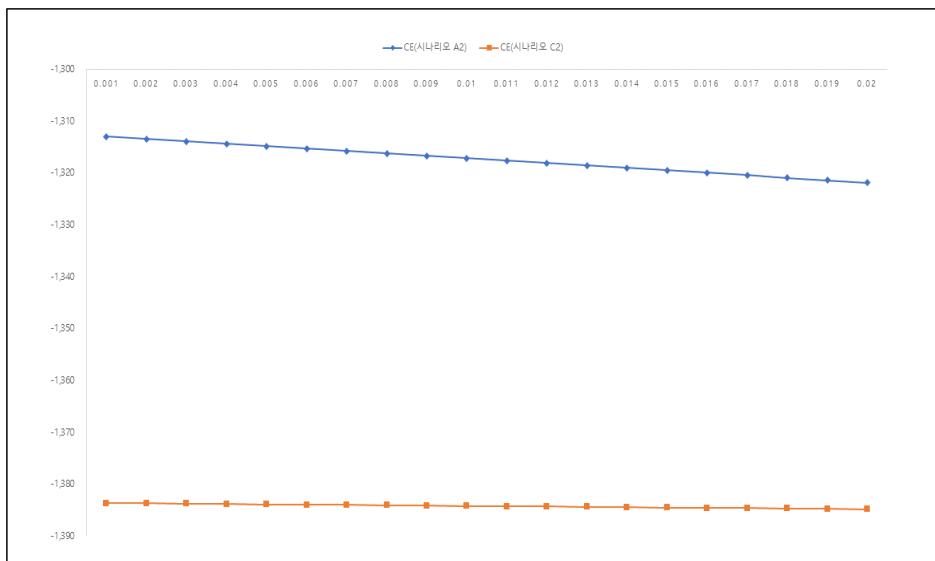
29) 시나리오 A2에서 손실이 -1,426보다 클 확률이 0.01%, 시나리오 C2에서 손실이 -1,425보다 클 확률이 0.01%.

〈그림 4-11〉 시나리오별 CDF 도출 결과: 확장 시나리오, 80년 사업 기간



자료: 저자 작성.

〈그림 4-12〉 시나리오별 CE: 확장 시나리오, 80년 사업 기간



자료: 저자 작성.

〈표 4-19〉 확장 시나리오 SD 결과 요약

사업 기간	FSD	SSD
30년	시나리오 C2	시나리오 C2
60년	없음	시나리오 A2
80년	없음	시나리오 A2

자료: 저자 작성.

<표 4-19>는 탄소 수익만을 고려한 확장 시나리오의 SD 결과를 요약한 값이다. 30년 기준에서는 C2가 A2를 FSD와 SSD 모두에서 지배하므로, 기대값(NPV) 측면에서도 위험(변동성·꼬리 위험)을 고려한 효용 측면에서도 어떤 유형의 의사 결정자라도 C2를 선택하는 것이 합리적이다. 이는 단·중기(약 30년)의 REDD+ 사업에서는 탄소흡수의 측면에서도 혼농임업(C2)이 가장 우월한 전략임을 의미한다. 반면 사업 기간이 60년과 80년으로 길어진다면 두 시나리오의 CDF가 교차해 FSD는 성립하지 않지만 SSD 기준에서는 A2가 우위를 보인다. 이는 위험회피적 의사결정자일수록 장기 탄소 수익 기준에서는 고밀도 조림형(A2)을 더 선호하게 된다는 뜻이며 시간이 길어질수록 A2의 장기적 탄소흡수 잠재력이 C2를 추월함을 시사한다.

이 결과는 탄소 측면에서 혼농임업이 항상 우월한 것이 아니라 분석 기간에 따라 전략적 역할이 달라질 수 있음을 시사한다. 30년 이내의 단·중기 목표(NDC 이행 등)에서는 혼농임업(C2)이 재정성과 위험 조정 성과 모두에서 유리하지만, 60~80년의 장기 탄소 전략에서는 고밀도 조림형(A2)이 안정적 장기흡수원으로 더 적합하다. FSD·SSD 분석은 절대적 우열을 판정하는 도구가 아니라, 시간 평과 위험선호에 따라 REDD+ 전략을 어떻게 설계할지를 판단하는 기준으로 활용될 수 있다. 이러한 결과는 한국 정부의 해외 REDD+ 포트폴리오가 단기에는 혼농임업형(C2), 장기에는 조림형(A2)을 결합하는 시간 분할·역할 분담형 전략으로 구성되는 것이 가장 합리적임을 보여준다.

4. 요약 및 시사점

□ 혼농임업 기반 REDD+ 전략 시나리오 분석 결과

본 연구는 라오스 풍살리 지역을 대상으로, 조림 중심의 전통적 REDD+ 방식과 혼농임업(Agroforestry)을 결합한 대안을 비교·평가함으로써 해외 산림 탄소 감축 전략의 현실적·정책적 방향을 도출하고자 하였다. 이를 위해 먼저 라오스 국가 차원의 REDD+ 이행기반과 제도적 성숙도를 검토하고, 풍살리 주의 산림·토지이용 변화, 사회·경제적 구조, 이동·화전농업 의존도, 전용 압력 등을 분석하였다. 이 지역은 2000~2019년 동안 MD 산림의 약 8%가 감소하고, 연평균 70만 tCO₂ 이상의 산림전용 배출이 발생하는 등 구조적인 전용 압력이 존재한다. 주민 생계는 농업 의존도가 매우 높고, 농지 전환은 생활 안정을 위한 필수 전략으로 기능하고 있어 단순조림형 REDD+ 만으로는 지속적 참여와 장기적 성과를 확보하기 어려운 여건이다.

이러한 배경에서 본 연구는 세 가지 기본 시나리오(A·B·C)와 두 개의 확장 시나리오(A2·C2)를 설계하였다. A는 티크 단일조림, B는 티크·카사바 혼농임업(3년 단작), C는 티크·카사바 혼농임업(10년 연작) 모델이며, 확장 시나리오는 현실적 전용률을 반영하기 위해 조림형에는 연 2.9%의 전용률을, 혼농임업형에는 혼농임업 도입에 따른 전용률 감소효과(2.9→1.82%)를 각각 적용하였다. 각 시나리오에 대해 티크의 성장(연령별 DBH·수고)을 기반으로 탄소흡수량을 산정하고, 조림비·관리비·카사바 재배비·판매수익 등으로 구성된 30년간의 현금흐름을 분석하였으며, 이어서 탄소 가격 불확실성을 고려한 몬테카를로 시뮬레이션(1만 회)과 확률적 지배(FSD·SSD), SERF(확실성 등가) 분석을 수행하여 위험 조정 관점에서의 우월 전략을 도출하였다. 또한 티크의 장기 탄소흡수 특성을 고려해 사업기간을 60년·80년으로 확장한 장기 탄소 전략까지 비교하였다.

분석 결과 30년 기준에서 혼농임업 기반 시나리오 C는 순현재가치(NPV) 2,342 달러/ha로 가장 높은 성과를 보였고, B는 소폭 양수, A는 큰 폭의 음수로 나타났

다. C는 10년 동안 안정적인 카사바 수익을 확보해 조림 비용과 초기 관리비를 완전 상쇄하며, 중기 이후 탄소 수익까지 누적되면서 가장 높은 재정성과와 참여 유인을 동시에 보였다. 반면 티크 단일조림인 A는 초기 10년 이상 지속적인 적자 구조가 누적되어 재정적 지속 가능성이 낮고, 주민 참여 유인도 제한적이다. B는 단기 유동성 개선 효과는 있으나 장기적 REDD+ 전략으로는 불충분한 것으로 나타났다.

확장 시나리오에서는 전용률을 내재화하고 수익 전체(탄소+카사바)의 NPV와 탄소 수익만을 고려한 NPV를 구분하여 결과를 도출하였다. 수익 전체를 살펴보면 A2는 -1,656달러/ha로 기본 시나리오보다 손실이 증가한 반면 C2는 3,737달러/ha로 C보다도 높은 성장을 보였다. 이는 조림형 REDD+가 현실적 전용압력 속에서 구조적으로 취약한 반면, 혼농임업은 전용을 억제하고 현금 수익 흐름을 유지하여 고위험 환경에서도 성능이 오히려 강화되는 특성을 보여준다. 탄소 수익만을 분리해 비교하더라도 C2의 탄소 기반 NPV 손실은 -1,407달러/ha로 A2의 -1,656달러/ha보다 작아 혼농임업의 전용억제 효과가 장기적인 탄소 성과에도 긍정적 영향을 미치는 것으로 나타났다.

탄소 가격 불확실성을 반영한 확률지배 분석에서도 혼농임업 모델의 우위가 뚜렷했다. 기본 시나리오(A·B·C) 비교에서 C는 A와 B를 전 구간에서 1차 확률적으로 지배하여 모든 탄소 가격 경로에서 더 나은 성과를 보였고, 위험회피적 선호를 반영한 2차 확률적 지배에서도 C가 가장 우월했다. 확실성 등가(CE) 분석에서도 A는 전 구간 음수, B는 양수, C는 가장 높은 CE를 유지해 위험 조정 성과에서도 확실한 우위를 기록했다.

확장 시나리오에서도 탄소 수익 측면에서 C2는 A2를 안정적으로 지배하며 고위험 상황에서 가장 매력적인 전략으로 평가되었다. 다만 기간을 60년·80년으로 확장해 탄소만을 비교했을 경우, 고밀도 조림형 A2가 혼농임업형 C2보다 높은 장기 탄소 잠재력을 가지며 SSD와 CE에서 우위를 보였다. 이는 티크 생장이 60~70년 사이에 정점을 찍는 생물학적 특성 때문이며, 단기와 장기에서 ‘우월 전략’이 서로 달라지는 시간적 전환점’이 존재함을 의미한다.

□ 시사점

이러한 분석은 한국의 해외 REDD+ 전략이 단순히 조림 중심으로 구성되어서는 단기·중기 성과를 확보하기 어렵고, 혼농임업을 중심으로 한 다층적 전략이 필요함을 보여준다. 특히 2030 NDC 달성을 요구되는 단·중기 감축 실적은 혼농임업 기반 REDD+가 훨씬 효율적으로 제공할 수 있다. 반면 60~80년의 장기 탄소흡수원 육성은 고밀도 조림형 REDD+가 상대적으로 더 큰 역할을 수행할 수 있으므로, 한국의 해외 산림정책은 ‘단기에는 혼농임업 중심, 장기에는 조림형 보완’이라는 시간 분할형 포트폴리오 전략이 필요하다.

또한 전용률·누출·황폐화와 같은 리스크를 계정에 포함하지 않으면 조림형 REDD+의 성과가 과대 평가되는 문제가 발생할 수 있다. 본 연구에서 수행한 것처럼 전용률을 내재화한 동적 회계 방식은 실질적인 정책평가와 MRV 설계에서 매우 중요하며, 특히 혼농임업의 전용억제 효과는 탄소흡수량 증가 못지않게 정책적 가치가 크다. REDD+의 영속성은 산림 보호의 기술적 문제뿐 아니라 주민 생계와 직접적으로 연결되어 있으며, 혼농임업은 초기 수익을 제공해 참여를 유지하는 가장 유익한 수단이다.

확률적 지배와 SERF 분석은 기존 REDD+ 평가가 갖고 있던 한계를 보완하는 중요한 의사결정 도구로서, 다양한 위험 선호를 가진 정부·지역사회·투자자 모두에게 최적 전략을 제시하는 데 유용하다. 향후 해외 REDD+ 사업의 타당성 조사·정책 연구·투자 심의 과정에서 이러한 위험 조정 접근을 도입한다면 한국의 해외 산림 탄소 전략은 재정 효율성·탄소 효과·위험관리·지역 수용성을 균형 있게 달성하는 고도화된 체계로 발전할 수 있을 것이다.

제5장

REDD+ 혼농임업 융합모델 구축 방향

REDD+혼농임업 융합모델 구축 방향

1. 기본 방향

본 장은 “REDD+를 활용한 해외 산림 탄소 감축 전략”이라는 본 과제의 제목에 부합하도록, 앞선 제2~4장에서 도출된 분석 결과를 종합하여 REDD+와 혼농임업을 결합한 해외 산림 탄소 감축 전략의 기본 방향과 핵심 과제 및 세부 전략을 제시하는 데 목적을 둔다. 특히 본 연구가 서론에서 제시한 네 가지 핵심 연구 질문, 즉 ① REDD+의 제도적·경제적·사회적 비효율 구조, ② 혼농임업의 보완 가능성, ③ 혼농임업 결합형 REDD+의 효율성·위험·경제성 측면의 우위 여부, ④ 이러한 성과를 국가 온실가스 회계 및 NDC 목표와 어떻게 연계할 수 있는가에 대한 답변을 통해 정책 제안을 도출하고자 한다.

앞선 장들의 분석을 통해 본 연구는 다음과 같은 핵심 인식을 공유하게 되었다. 첫째, REDD+는 지난 20여 년간 국제협상과 다양한 시범사업을 통해 제도적 기반이 상당 수준 성숙되었음에도, 다수의 개도국에서는 아직 ‘불완전한 제도화 (incomplete institutionalization)’ 상태에 머물러 있다는 점이 확인되었다. 이는 REDD+가 더 이상 ‘개념적으로 부족해서’ 성과가 낮은 것이 아니라, 제도·거버넌스·재정·사회 구조의 취약성 때문에 ‘현장에 뿌리내리지 못하고 있는’ 단계에 머

물러 있음을 의미한다. 즉, REDD+의 문제는 설계의 부재가 아니라 이행의 부재, 또는 불완전한 이행에 가깝다.

둘째, REDD+의 비효율성은 단순한 사업 설계의 문제가 아니라 토지권, 부패, 거버넌스, 생계 구조 등 구조적 요인에서 비롯되는 경향이 강하며, 이는 전통적인 조림·보전 중심 REDD+만으로는 해결이 어렵다. 예컨대 아무리 나무를 많이 심고 보호하더라도 토지권이 불안정하고, 산림으로부터의 생계 대안이 부재하며, 부패 수준이 높다면, 주민과 지방정부는 언제든 다른 토지이용 선택으로 이동할 유인이 존재한다. 이러한 구조적 요인이 REDD+의 장기 영속성과 감축량의 신뢰성을 잠식한다.

셋째, 혼농임업은 탄소흡수 확대뿐 아니라 산림전용 압력 완화, 농가 소득 안정, 프로젝트 성과의 변동성 완화라는 측면에서 REDD+의 구조적 한계를 보완하는 전략적 수단으로 기능할 수 있다. 혼농임업은 단순한 ‘나무+작물’의 결합을 넘어, 토지의 다기능적 활용을 통해 주민 생계와 산림보전을 동시에 달성하는 시스템이며, 이 때문에 REDD+의 핵심 리스크인 전용, 누출, 비영속성, 낮은 참여를 완화하는 데 유리하다.

넷째, 라오스 풍살리 지역을 대상으로 한 전략 시나리오 분석 결과 혼농임업 결합형 REDD+는 단기·중기(30년 기준)에는 재정성과와 위험 조정 성과에서 단독형 REDD+를 우월하게 지배하는 반면, 장기(60~80년 기준)에는 고밀도 조림형 REDD+가 추가적인 탄소 잠재력 측면에서 보완적 역할을 수행함이 확인되었다. 즉, ‘언제 어느 시점에 어떤 모델이 우월한가’가 시간에 따라 달라지며, 단일한 최적 해법이 아니라 시간 분할형 포트폴리오가 필요하다는 점이 정량적으로 드러났다.

이러한 분석 결과를 토대로 본 연구가 제시하는 정책 방향은 다음과 같이 요약될 수 있다. 첫째, REDD+의 구조적 한계를 전제로 한 현실적인 정책과제를 명확히 정리하고, 단순한 ‘숲을 지키자’ 수준을 넘어 토지권·거버넌스·생계·부패 등 구조 변수까지 포괄하는 종합 접근을 설정한다.

둘째, 혼농임업을 결합한 해외 산림 탄소 감축 전략의 단·중기 및 장기 방향을 구분하여 제시함으로써, 2030 NDC와 2050 탄소중립이라는 서로 다른 시간 지평

에 적합한 전략 조합을 구체화한다.

셋째, 한국의 NDC 달성과 파리협정 제6조(ITMO)를 연계한 제도·재정·거버넌스 체계를 설계하여, 해외 REDD+ 성과가 실제 국가 온실가스 회계와 정책 목표 달성을 기여할 수 있는 경로를 확보한다.

궁극적으로 본 장에서 제시하는 정책 방향은 “단기에는 혼농임업 기반 REDD+를 중심으로, 장기에는 조림형 REDD+를 보완적으로 결합하는 시간 분할형 포트폴리오”를 통해 한국형 해외 산림 탄소 감축 전략의 실질적 실행 로드맵을 마련하는 데 있다. 여기서 포트폴리오란 단순히 여러 프로젝트를 병렬적으로 나열하는 의미가 아니라, 시간·공간·리스크를 고려하여 역할과 우선순위가 분명히 차별화된 전략 조합을 의미한다.

□ REDD+·혼농임업 결합형 포트폴리오의 전략적 의미

연구 질문 1과 2에 대해 분석 결과는 REDD+ 비효율성이 제도·경제·사회 구조에 뿌리를 두고 있으며, 혼농임업이 이를 완화하는 현실적인 보완 장치라는 점을 보여주었다. REDD+의 문제는 단순히 ‘수목이 충분히 심어지지 않아서’가 아니라, 그 수목이 장기적으로 유지되도록 하는 제도·경제·사회적 조건이 취약하다는 데 있다. 이때 혼농임업은 그 조건들을 동시에 개선할 수 있는 몇 안 되는 수단 중 하나로 부상한다. 혼농임업은 REDD+의 다섯 가지 활동(전용·황폐화 방지, 보전, 지속 가능한 경영, 탄소 축적 증진)에 모두 기여하는 토지이용 시스템으로서, 나무·농작물·가축·수산을 결합한 다양한 유형을 통해 지상·지하·토양 탄소를 동시에 증가시킬 수 있다. 동시에 다중 현금흐름 구조를 통해 농가 소득 안정과 전용 압력 완화에 기여함으로써 REDD+ 성과의 ‘신뢰성·예측 가능성·사회적 정당성’을 높이는 역할을 수행한다.

연구 질문 3과 관련하여, 라오스 풍살리 시나리오 분석은 혼농임업 결합형 REDD+가 30년 시계에서 순현재가치(NPV), 확률적 지배(FSD·SSD), 확실성 등 가(CE) 측면에서 단독형 REDD+보다 뚜렷한 우위를 지님을 보여주었다. 이는 단·

중기 해외 감축 전략에서 혼농임업 기반 REDD+가 ‘기대값이 높은 전략’일 뿐 아니라 ‘위험 조정 후에도 최적 전략’이라는 점을 의미한다. 반면 60~80년 장기 시계에서는 고밀도 조림형 REDD+가 티크 생장 특성에 기반한 높은 탄소잠재력을 통해 보완적 역할을 수행하는 것으로 나타났다. 따라서 한국의 해외 산림 전략은 단일 모델이 아니라 시간과 공간을 고려한 포트폴리오 전략으로 구성될 필요가 있다. 2030 NDC 달성을 위한 단·중기에는 혼농임업 기반 REDD+를 중심에 두되, 2050 탄소중립 및 그 이후를 대비한 장기 탄소흡수원 확보를 위해 조림형 REDD+를 병행·축적하는 이원적 전략이 요구된다.

□ 연구 질문에 대한 종합적 답변과 정책 방향의 연계

본 연구가 설정한 네 가지 핵심 연구 질문에 대한 종합적 답변은 다음과 같은 정책 방향으로 수렴된다.

연구 질문 1(REDD+ 비효율 구조)에 대해서는 REDD+는 기술·단기 개입만으로는 한계가 있으며 토지권, 부패, 거버넌스, 생계 구조 등 제도·경제·사회 기반을 함께 개선해야 장기적 효과성을 확보할 수 있다는 점이 도출되었다. 이는 ‘탄소 프로젝트’로서 REDD+만 바라볼 것이 아니라, 토지·행정·사회정책과 결합된 복합 정책 패키지로 설계해야 한다는 의미이다. 한국의 해외 REDD+ 전략은 단순한 조림·보전 지원사업에서 상대국의 토지제도 개혁·부패 억제·분권형 산림 거버넌스 강화 등 구조적 개혁과 결합된 중장기 협력으로 방향을 전환해야 한다.

연구 질문 2(혼농임업의 REDD+ 보완 가능성)에 대해서는 혼농임업이 평균 감축량을 극적으로 높이는 효율성 장치라기보다 성과 변동성을 줄이고 실패 위험을 완화하는 리스크 완충 장치이자 전용 압력을 구조적으로 완화하는 전략임이 확인되었다. 이는 REDD+ 프로젝트를 설계할 때 “얼마나 많은 탄소를 추가로 줄일 수 있을까?”뿐 아니라 “이 감축 성과가 얼마나 안정적이고, 얼마나 지속 가능할까?”라는 질문을 같이 던져야 한다는 점을 의미한다. 혼농임업은 이 두 번째 질문에 대한 답을 제공하는 수단이다.

연구 질문 3(효율성·위험·경제성 비교)에 대해서는, 단·중기(30년 기준)에는 혼농임업 결합형 REDD+가 효율성(확률프론티어), 위험(확률지배·확실성 등가), 경제성(NPV) 측면에서 단독형 REDD+를 우월하게 지배하나, 장기(60~80년 기준)에는 고밀도 조림형 REDD+가 추가 탄소 잠재력 측면에서 보완적 우위가 있음을 확인하였다. 따라서 한국은 ‘2030을 향한 단·중기 전략’과 ‘2050 이후를 향한 장기 전략’을 명시적으로 구분하고, 각각에 맞는 REDD+·혼농임업 조합을 설계해야 한다.

연구 질문 4(NDC 연계)에 대해서는, 혼농임업형 REDD+ 성과를 NDC 및 파리 협정 제6조 체계와 연계하기 위해서는 관할권형 REDD+와의 연계, MRV·전용률·회계체계의 정교화, 상응조정과 이중계상 방지 규칙의 설계, 커뮤니티 기반의 공유 및 혼합금융 구조 구축이 필수적이라는 결론에 이르렀다. 즉, 혼농임업 기반 REDD+는 단순히 ‘좋은 프로젝트’에서 그치는 것이 아니라, 국가 간 감축량이 전과 회계를 수반하는 국제 협력 메커니즘 속으로 편입되어야 하며, 이를 위해 제도·재정·통계 인프라를 함께 구축해야 한다.

이러한 방향성을 바탕으로, 다음에서는 보다 구체적인 ‘핵심과제 및 세부 실행 전략’을 체계적으로 제시한다. 지금까지는 “무엇이 문제인가?”, “무엇이 대안인가?”, “어떤 전략 조합이 유리한가?”라는 질문에 답했다면, 다음은 “그렇다면 한국은 무엇을, 어떤 순서로, 어떤 방식으로 해야 하는가?”라는 질문에 답하는 절이라고 할 수 있다.

2. 핵심과제 및 세부 실행전략

2.1. REDD+ 구조적 한계와 제도 개선 과제

제2장의 사례 분석과 화률프론티어(SFA) 결과는 REDD+ 비효율성이 주로 제도적 기반의 미성숙, 경제적 인센티브의 불충분, 사회적 수용성 부족이라는 세 축에서 발생함을 보여주었다. 이 세 축은 서로 분리된 것이 아니라, 상호작용하며 REDD+의 성과를 제약하는 복합 리스크 구조를 형성한다.

제도적 측면에서 REDD+는 문서상으로는 잘 설계된 메커니즘이지만, 국가·지방 수준에서 필요한 인력·예산·권한·조정 구조가 충분히 뿌리내리지 못한 상태에서 시범 사업과 제한적 결과기반보상이 병존하는, 전형적인 ‘준완성 제도’의 모습을 보인다.

경제적 측면에서는 REDD+의 성과기반 보상이 실제 현장에서 농가와 지역사회가 직면하는 기회비용과 위험을 충분히 보상하지 못하는 문제가 반복해서 확인되었다. 농경지 확대, 플랜테이션 개발, 불법 벌채 등 경쟁 토지이용과 비교했을 때 REDD+가 제공하는 탄소 크레딧 수익은 종종 낮은 수준이며, 특히 초기 수년간의 현금흐름이 부족해 농가의 참여·유지 유인을 약화시킨다. 외부 재원에 대한 높은 의존도와 프로젝트 단위 지원의 단기성은 REDD+의 재정적 지속 가능성을 구조적으로 취약하게 만든다.

사회적 측면에서는 포용적 참여 부족, 혜택 분배의 불공정성, 생계 대안의 부재가 핵심 제약으로 작용한다. 토지·산림에 대한 관습적 권리가 인정되지 않거나, 혜택이 특정 엘리트 집단에 집중될 경우 주민들은 REDD+를 외부 주체의 사업으로 인식하고 자발적 협조를 꺼리게 된다. 이는 장기적으로 REDD+의 영속성(permanence)을 위협하며, 누출(leakage)과 비준수(non-compliance)의 위험을 높인다.

이와 같은 결과는 REDD+ ‘기술적·단기적 개입’ 차원을 넘어서는 제도·경제·사

회 구조 개선 없이는 장기적 효과성을 확보하기 어렵다는 점을 명확히 보여준다. 따라서 한국의 해외 REDD+ 전략 역시 단순한 조림·보전 프로젝트 지원을 넘어, 토지권·거버넌스·생계·부패 억제 등 구조적 기반을 함께 다루는 포괄적 정책 패키지로 전환되어야 한다는 과제를 제기한다. 이는 향후 한국형 REDD+ 협력이 ‘감축량(tCO₂)’만을 지표로 하는 사업 위주의 접근에서, ‘제도·생계·참여’를 동시에 목표로 하는 프로그램 기반 접근으로 발전해야 함을 의미한다.

2.2. 혼농임업이 제공하는 전략적 기회와 실행전략

2.2.1. 단·중기 실행전략

연구 질문 2는 “혼농임업은 어떻게 REDD+의 한계를 보완할 수 있는가?”라는 문제의식에서 출발한다. 즉, 혼농임업이 단순히 탄소흡수량을 늘리는지 여부를 넘어, 제2장에서 규명된 REDD+ 비효율 구조(제도·경제·사회)의 어떤 지점을, 어떤 메커니즘을 통해 완화하는지를 묻는 질문이다. 정량 분석과 해외 사례 검토 결과, 혼농임업은 REDD+의 ‘부속 기술’이 아니라, 제도·경제·사회적 리스크를 조정하는 전략적 장치로 기능할 수 있음이 확인되었다.

핵심 메커니즘은 세 가지로 요약된다. 첫째, 혼농임업은 산림 내부뿐 아니라 산림-농지-정착지 사이의 전이지대를 관리함으로써, 농지 확장을 위한 신규 개간 수요를 줄이고 산림전용·누출·비영속성을 구조적으로 완화한다. 둘째, 목재·비목재 임산물(NTFP)·가공품·탄소 수익 등으로 구성된 다중 현금흐름은 REDD+가 직면한 ‘초기 현금흐름 부족’과 ‘불안정한 탄소 가격’ 문제를 완충하여, 농가 입장에서 REDD+ 참여를 ‘장기간 불확실한 보상을 기다리는 제약’이 아니라 ‘단기 현금작물과 장기 탄소·목재 수익을 결합한 투자전략’으로 인식하게 만든다. 셋째, 혼농임업은 대체로 공동체 단위(CFUG, 협동조합, 사용자 그룹 등)로 설계·운영되기 때문에, 참여와 이익 공유, 세이프가드 준수를 제도화하는 플랫폼으로 활용될 수

있으며, 이는 REDD+의 저참여·불공정 분배 문제를 완화하는 기반이 된다.

라오스 풍살리 지역을 대상으로 한 30년 전략 시나리오 분석은 이러한 메커니즘이 실제 단·중기 성과에 어떻게 반영되는지를 보여준다. 티크 단일조림(A), 단기 혼농임업(B), 장기 혼농임업(C)을 비교한 결과, 장기 혼농임업(C)은 순현재가치(NPV), 확률적 지배(FSD·SSD), 확실성 등가(CE) 측면에서 A와 B를 모두 상회하였다. 초기 10년 동안 카사바 수익이 조림·관리 비용을 상쇄함으로써 재정적 적자 구간을 크게 줄였고, 이후 티크 성장과 탄소 수익이 결합되면서 경제성과 감축 성과를 동시에 확보하였다. 반면 A는 장기간의 초기 적자로 인해 농가 참여 유인과 정책 지속 가능성 측면에서 구조적 한계를 보였고, B는 단기 유동성 개선 효과는 있으나 중·장기 REDD+ 전략으로는 미흡한 것으로 나타났다. 탄소 가격 변동을 반영한 몬테카를로 시뮬레이션에서도 C는 A·B에 대해 1차·2차 확률적 지배를 모두 충족하여, 기대값뿐 아니라 위험 조정 후에도 최적 전략으로 평가되었다.

이러한 결과는 단·중기 해외 감축 전략에서 혼농임업 기반 REDD+를 ‘핵심 축’으로 두어야 한다는 정책적 함의를 제시한다. 2030 NDC 달성을 위한 시간 제약을 고려할 때, 신규 조림만으로 의미 있는 탄소흡수량을 확보하기는 어렵고, 고밀도 조림형 REDD+의 긴 적자 기간은 농가의 참여·유지 유인을 약화시킨다. 반면 혼농임업 결합형 REDD+는 사업 초기부터 가시적인 소득 개선과 동시에 탄소 성과를 제공할 수 있어 정책 목표(감축)와 현장 유인(생계 개선)을 동시에 충족시키는 수단으로 기능한다.

따라서 단·중기 실행전략은 다음과 같은 방향으로 구체화될 필요가 있다.

첫째, 해외 산림협력 포트폴리오를 재편하여 혼농임업 기반 REDD+를 중심으로 한 30년 기준 프로젝트·프로그램 포트폴리오를 구축한다. 초기 단계에서는 소수의 파일럿 사업을 선정하되, 중기적으로는 국가·지역 단위 프로그램으로 확장하는 로드맵을 병행 설계해야 한다.

둘째, 라오스 풍살리 사례와 유사하게 카사바·코코아·커피·열대 과수 등 지역 특화 작물과 결합한 혼농임업 모델을 체계적으로 발굴·표준화한다. 이는 단지 수종·작물 조합의 선택을 넘어, 전용 압력·시장 접근성·가공·인증·유통 구조를 통합

적으로 고려한 ‘모델 패키지’로 설계되어야 한다.

셋째, 사업 선정·평가·스케일업 의사결정 과정에 확률지배·SERF 등 위험 조정 분석을 제도화한다. 단순 NPV 비교에 그치지 않고, 정부·농가·투자자의 서로 다른 위험 선호를 반영하여 전략을 평가하는 절차를 도입함으로써, 재정 효율성과 정책 신뢰성을 동시에 높일 수 있다. 즉 단·중기에서는 “혼농임업이 REDD+의 구조적 리스크를 완화하는 장치이며, 2030 NDC 달성을 위한 해외 감축 전략에서 혼농임업 결합형 REDD+를 핵심 플랫폼으로 삼아야 한다”는 방향으로 정리될 수 있다. 이를 위해서는 혼농임업 모델 설계, 위험 조정 분석, 포트폴리오 재편이 결합된 단·중기 실행전략 패키지가 함께 추진되어야 한다.

2.2.2. 장기 실행전략

연구 질문 3을 장기(60~80년)로 확장해 보면 결과는 상이한 함의를 제공한다. 티크의 생장 곡선을 고려한 60년·80년 시나리오 비교에서, 전용률을 내재화하더라도 고밀도 조림형 A2는 탄소 수량만을 기준으로 할 때 혼농임업형 C2보다 높은 장기 탄소잠재력을 보여주었다. 2차 확률적 지배와 확실성 등가 분석에서도 장기 탄소흡수만을 지표로 삼을 경우, A2가 C2를 우월하게 지배하는 구간이 존재하였다.

이는 장기적인 산림 탄소 전략에서 조림형 REDD+가 여전히 중요한 역할을 수행함을 시사한다. 혼농임업은 초기 30년 동안 높은 경제성과 위험 조정 성과를 제공하지만, 티크 수고와 흥고 직경(DBH) 성장의 정점을 고려하면 60~70년 이후 고밀도 조림지가 탄소흡수 측면에서 보다 큰 기여를 할 수 있다는 것이 생물학적 현실이다. 다시 말해, 혼농임업은 ‘빠른 안정성과 중기 성과’에 강점을 가지는 반면, 조림형 REDD+는 ‘느리지만 큰 장기 탄소저장고’를 제공하는 역할에 강점을 가진다고 볼 수 있다.

정책적으로 이는 2030 NDC와 같은 비교적 짧은 목표 연도에는 혼농임업 기반 REDD+를 중심으로 한 단·중기 포트폴리오를 우선 구축하되, 2050 탄소중립과 이후를 염두에 둔 조림형 REDD+ 후보지를 발굴·저축하는 전략이 필요함을 의미

한다. 즉, ‘지금 당장 감축 실적을 확보하기 위한 전략’과 ‘멀리 내다본 장기 탄소은행(carbon bank)을 축적하는 전략’을 병행해야 한다는 뜻이다.

이를 위해 조림형 REDD+는 초기 비용과 전용 위험을 감당하기 위한 재정·제도적 뒷받침이 필수적이며, 혼농임업이 제공하는 전용 억제·소득 기여 효과와의 조합을 통해 장기적인 탄소흡수원을 육성할 필요가 있다. 예를 들어 동일한 관할권 내에서 혼농임업 구역을 전용억제 ‘완충지대’로 설정하고, 그 뒤편에 장기 조림 구역을 배치함으로써, 장기 조림형 REDD+의 전용·침입 위험을 혼농임업이 완충하는 구조를 설계할 수 있다.

또한 장기 전략에서는 단순한 탄소량뿐 아니라 산불, 병해충, 기후변화, 시장 변화 등 외생적 충격에 대한 취약성과 회복탄력성을 함께 고려해야 한다. 고밀도 단일 수종 조림은 장기적으로 탄소량이 크지만, 동시에 산불·병해충·가격충격에 취약할 수 있다. 반면 혼농임업은 탄소량 측면에서 다소 불리하더라도, 종 다양성과 소득원 다변화 덕분에 외생 충격에 대한 회복력이 상대적으로 높은 구조를 가진다. 따라서 60~80년 기간에서 전략 비교는 단순 탄소량만이 아니라, 리스크와 회복탄력성을 함께 포함하는 다차원 평가 체계로 확장될 필요가 있다.

2.3. REDD+·혼농임업 결합형 추진체계 설계

연구 질문 4는 “혼농임업형 REDD+ 성과를 국가 온실가스 회계(NDC)와 어떻게 연계할 수 있는가?”라는 과제를 제시한다. 이는 개별 프로젝트의 성공 여부를 넘어, 혼농임업 결합형 REDD+가 국가 전략 차원의 감축 체계와 연결되려면 어떤 제도·거버넌스·재정·기술 인프라가 필요한지에 관한 질문이다.

우선 파트너국 차원에서는 REDD+ 전략과 혼농임업 정책이 모두 NDC에 반영되어 있거나, 최소한 관련 전략 문서(산림·농업·기후계획)에서 상호보완적 방향을 제시하는 국가를 우선 대상으로 선정하는 것이 중요하다. 이런 국가에서는 혼농임업 기반 REDD+가 산림·농업·기후정책의 공통분모 전략으로 기능할 수 있

다. 라오스와 같이 산림·농업 의존도가 높고, 이동·화전농업이 전용 압력의 주요 원인인 국가들은 대표적인 우선 대상이다.

사업 단위에서는 프로젝트형(project-based)과 관할권형(jurisdictional) REDD+를 혼합한 ‘다중 규모(multi-level) 추진체계’를 도입하는 것이 바람직하다. 혼농임업 기반 REDD+는 마을·CFUG·코뮌 등 소규모 단위에서 설계·집행되는 것이 현실적이다. 주민 참여, 토지 이용 계획, 이익 공유 합의는 모두 지역 단위에서 이뤄질 수밖에 없기 때문이다. 따라서 실행력·참여 측면에서는 프로젝트형 접근이 유리하다.

그러나 ITMO 거래와 NDC 회계를 위해서는 주·도·국가 단위의 관할권형 REDD+ 체계와 연계되어야 한다. 관할권형 REDD+는 국가 기준선, 감축 목표, MRV 체계를 통합하는 상위 구조를 의미하며, 혼농임업 기반 프로젝트들은 이 관할권형 프로그램 내부의 ‘구성단위’로 편입되는 형태가 적절하다. 이렇게 할 경우, 개별 프로젝트에서 발생한 감축 실적은 관할권 단위 성과에 집계되고, 다시 국가 NDC와 한국의 해외 감축분으로 연결되는 회계 경로를 확보할 수 있다.

한국 측 추진체계는 산림·기후·개발협력을 아우르는 통합 플랫폼으로 구성될 필요가 있다. 해외 REDD+ 사업의 기획·평가·회계를 담당하는 전담 조직을 중심으로, 산림청, 기후·환경 관련 부처, 개발 협력 기관(KOICA 등), 연구기관, 민간 투자자들이 역할을 분담하는 구조를 구상할 수 있다. 연구기관은 SFA·시나리오·확률지배 분석을 통해 정책 대안의 효과성과 위험 구조를 평가하고, 정부는 NDC 및 ITMO 회계체계를 구축하며, 개발협력 기관과 민간 부문은 재원 조달과 프로젝트 집행, 가치사슬 구축을 담당하는 형태다.

이러한 추진체계를 통해 혼농임업형 REDD+ 성과는 단일 프로젝트의 산출(output)에 머물지 않고, 국가 REDD+ 전략의 집합적 성과(outcome)로 집계되며, 최종적으로는 한국의 NDC 이행에 기여하는 해외 감축분으로 귀속될 수 있는 제도적 경로를 갖추게 된다. 이는 REDD+·혼농임업 결합형 전략이 ‘원조 사업’을 넘어 ‘국가 기후정책의 한 축’으로 편입되는 것을 의미한다.

2.3.1. MRV·전용률·회계체계 개선

혼농임업 결합형 REDD+ 성과를 NDC에 반영하기 위해서는 MRV와 회계체계의 정교화가 필수적이다. 특히 본 연구에서 강조한 바와 같이, 전용률과 전용억제 효과를 동적으로 내재화한 회계 방식이 요구된다. 이는 REDD+가 실제로 얼마나 산림전용을 막았는지, 혼농임업이 어느 정도의 전용 압력을 완화했는지를 탄소 인벤토리와 연결 가능한 수치로 보여주는 과정이다.

첫째, 기준선·추가성 설정에서 단순 면적 기준(ha 감소량)이나 고정된 연간 전용률 가정에서 벗어나, 지역별 역사적 전용률, 미래 전용 압력, 정책 변화 등을 반영한 ‘시간·공간 차별적 기준선’이 필요하다. 라오스 사례에서처럼 혼농임업 도입 전후 전용률 변화를 명시적으로 모델링하고, 이를 기준선과 비교함으로써 전용 억제 효과를 정량화해야 한다. 이는 혼농임업의 간접적 감축 기여를 회계상 실질적인 성과로 인정하는 데 필수적이다. 단지 ‘숲이 유지되었다’는 서술적 표현으로는 NDC 회계체계에 반영될 수 없기 때문이다.

둘째, MRV 체계는 탄소량 변화뿐 아니라 혼농임업의 토지 이용 안정화, 토양 탄소 변화, 생계 개선, 사회적 포용성과 같은 지표를 함께 모니터링하는 ‘다차원 MRV’로 전환될 필요가 있다. 예를 들어 전용률 감소, 혼농임업 면적 증가, 혼농임업 참여 가구 수, 농가 소득 변동성 감소, 토지 갈등 건수 감소 등 비탄소 지표를 탄소 지표와 함께 관리하는 방식이 가능하다. 이러한 다차원 MRV는 REDD+ 성과를 단순한 탄소 수치로 축소하지 않고, 혼농임업이 제공하는 공공재·공동 편익(공동체 강화, 빈곤 감소, 성평등 등)을 정책 평가에 반영할 수 있게 해준다.

셋째, 파리협정 제6조에 따라 ITMO 거래와 NDC 회계의 일관성을 확보하기 위해 상응조정(corresponding adjustment) 원칙, 이중 계상 방지, 승인 절차를 명시한 양자·프로그램 협정이 필요하다. 혼농임업 기반 REDD+에서 발생하는 감축 실적이 파트너국과 한국의 NDC 모두에 동시에 계상되지 않도록 회계 규칙을 사전에 설계해야 한다. 이를 위해 혼농임업을 통한 전용 억제 효과와 탄소흡수 증가분을 구분하여 보고하는 세부 가이드라인이 마련되어야 하며, 국가 인벤토리와 프로젝

트/프로그램 회계 간 연결 방식도 명확히 해야 한다. 이와 같이 MRV·전용률·회계 체계를 정비할 경우, 혼농임업 결합형 REDD+는 단지 ‘개념적으로 바람직한 전략’에서 벗어나, 국가 온실가스 인벤토리와 NDC에 연계되는 실질적 감축 전략으로 자리 잡을 수 있다.

2.3.2. 이익 공유 및 커뮤니티 기반 거버넌스

REDD+의 사회적 비효율성과 혼농임업의 보완 가능성을 고려할 때, 이익 공유와 커뮤니티 기반 거버넌스는 정책 설계에서 중심 축을 차지한다. 혼농임업 기반 REDD+는 본질적으로 ‘주민 참여형 산림·농업 시스템’이므로, 이익의 배분 구조와 의사결정 방식이 프로젝트의 성공 여부를 좌우한다.

우선 이익 공유 체계는 탄소 수익뿐 아니라 비목재·가공·관광 등 혼농임업 가치 사슬 전체에서 발생하는 수익을 포괄하는 방향으로 설계될 필요가 있다. 탄소 수익에만 의존할 경우, 가격 변동성과 인증 불확실성에 따라 농가 소득이 크게 요동칠 수 있으며, 이는 REDD+ 참여 유지에 부정적으로 작용할 수 있다. 따라서 혼농임업으로부터 발생하는 다양한 수익을 일정한 규칙에 따라 공동체·개별 농가·지방정부·프로젝트 운영 주체 간에 배분하는 구조를 설계해야 한다. 이때 소득 분배 비율, 재투자 몫(예: 공동기금), 사회 인프라 지원(학교, 보건, 도로 등) 등 세부 항목을 사전에 합의·문서화하고, 투명한 집행·보고 절차를 마련하는 것이 중요하다.

커뮤니티 기반 거버넌스는 CFUG, 협동조합, 사용자 그룹 등 기존 조직을 REDD+·혼농임업 거버넌스 플랫폼으로 활용하는 것이 효율적이다. 이러한 조직은 이미 사회적 자본과 운영 경험을 축적한 경우가 많기 때문에, REDD+ 규칙 설정, 혼농임업 설계, 감시·관리, 이익 분배, 분쟁 조정 등 다양한 역할을 수행할 수 있다. 네팔과 일부 아프리카 국가 사례에서 확인되듯, 공동체 기반 거버넌스는 REDD+ 성과의 영속성과 규칙 준수에 긍정적인 영향을 미치며, 외부 행위자 중심 모델에 비해 장기 지속 가능성성이 높다.

또한 혼농임업 기반 REDD+는 여성·청년·취약계층의 참여 확대를 위한 중요한

기회가 될 수 있다. 혼농임업은 식재·관리·수확·가공·마케팅 등 다양한 작업 단계를 포함하기 때문에, 각 단계에서 다양한 인구 집단의 참여를 설계할 수 있다. 예를 들어 여성은 가공·마케팅, 청년은 모니터링·디지털 데이터 수집, 취약계층은 공동체 기금 지원 대상 등으로 포섭하는 방안이 가능하다. 이를 위해 프로젝트 설계 단계에서부터 성(gender)·세대별 영향 평가를 수행하고, 이익 공유 체계에 참여 퀴터나 우선 권리를 부여하는 제도적 장치를 마련할 필요가 있다.

이러한 이익 공유 및 커뮤니티 기반 거버넌스 설계는 REDD+를 단순한 환경·탄소 프로젝트에서 포용적 농촌발전·지역사회 강화 전략으로 확장하는 역할을 한다. 이는 혼농임업 기반 REDD+가 기후·환경과 개발·복지와 연결하는 교차 지점에서 있다는 점을 정책적으로 재확인하는 것이기도 하다.

2.3.3. 재원 조달과 혼합 금융모델

혼농임업 결합형 REDD+가 제시하는 전략이 실제 현장에서 작동하기 위해서는 안정적인 재원 조달과 적절한 위험 분담 구조가 필수적이다. 특히 혼농임업 기반 REDD+는 초기 조립·혼농임업 전환 비용, MRV 및 제도 구축 비용, 기간 중 현금흐름 공백을 메우기 위한 자금 등을 필요로 한다.

재원 조달 측면에서, 공적개발원조(ODA), 다자기후기금(GCF, GEF 등), 자발적 탄소 시장, 민간 투자 자금 등을 결합한 혼합금융(blended finance) 모델을 구축하는 것이 효과적이다. 초기 설계·제도 구축·역량강화·인프라 투자는 공적 재원을 활용한 보조금 또는 저리 차관을 통해 지원하고, 혼농임업 전환과 운영 비용은 성과기반 보상, 탄소 크레딧 판매, 지속 가능 상품 프리미엄 등을 통해 점진적으로 민간 자본을 끌어들이는 단계적 구조를 설계할 수 있다.

혼합금융 구조에서 중요한 것은 위험 분담이다. 프로젝트 초기 단계에는 정책·제도·시장 위험이 상대적으로 크므로, 공공부문이 이러한 고위험 구간의 손실을 우선 흡수하는 구조(예: first-loss tranche)를 설계하고, 프로젝트의 수익성과 리스크 프로파일이 개선되는 이후 단계에서 민간 투자자가 참여하도록 해야 한다. 보

증, 위험분담기금, 성과기반 인센티브, 기후위험 보험·해지 상품 등은 이러한 목적을 위해 활용할 수 있는 주요 수단이다.

또한 혼농임업 기반 REDD+는 탄소 감축뿐 아니라 농산물·목재·가공품 등 실물 재화를 생산하기 때문에, 기후탄력적 가치사슬 구축과 연계된 임팩트 투자, 녹색 채권, 지속 가능 금융 상품과도 결합이 가능하다. 예를 들어 혼농임업으로 생산되는 커피·코코아·카카오를 대상으로 한 지속 가능 인증(예: Fairtrade, Rainforest Alliance)과 프리미엄 시장 진출을 통해, 탄소 사업과 농산물 가치사슬 투자가 결합된 복합 수익 구조를 설계할 수 있다. 이는 투자자 입장에서 ‘탄소+농업+개발’ 효과를 동시에 추구할 수 있는 패키지 투자 기회를 의미한다.

한국의 관점에서 이는 해외 REDD+·혼농임업 사업이 단순한 공적 원조사업에 머물지 않고, 장기적으로는 민간 자본과 국제 기후금융을 레버리지하는 촉매(catalyst) 역할을 수행하도록 설계해야 함을 의미한다. 이를 위해 한국 내에서도 녹색채권, 기후·산림 관련 펀드, 공공-민간 파트너십(Public-Private Partnership: PPP) 등 금융 인프라를 정비하고, 해외 산림·농업·기후 분야에서 활동하는 민간 기업·금융기관과의 연계를 강화할 필요가 있다.

3. 정책 로드맵과 향후 과제

앞선 논의를 종합하면, ‘REDD+·혼농임업 결합형 해외 산림 탄소 감축 전략’의 정책 로드맵은 크게 단기(정책 리셋 단계), 중기(제도·시장 정착 단계), 장기(포트폴리오 완성 단계)라는 시간 구분에 따라 정리할 수 있다. 이 로드맵은 동시에 본 연구가 설정한 네 가지 연구 질문에 대한 종합적 답변을 시간 축 위에서 재배치한 것이라고도 할 수 있다.

단기(정책 리셋 단계)에는 REDD+ 비효율성을 진단하고 혼농임업의 보완 기능을 입증한 본 연구 결과를 바탕으로, 해외 산림협력 포트폴리오를 재구성하는 작업이 필요하다. 이는 기존에 조림·보전 중심으로 설계되었던 사업 구조를 혼농임

업 기반 REDD+ 중심으로 재조정하고, 국가·지역·사업 유형별 우선순위를 새롭게 설정하는 작업을 포함한다. 이 과정에서 혼농임업 기반 REDD+ 파일럿 사업을 선정하여 30년 시나리오 분석과 확률지배·SERF와 같은 위험 조정 방법론을 정책·투자 의사결정 체계에 시범 도입해야 한다. 동시에 토지권, 거버넌스, 이익 공유 규칙 등 핵심 제도 요소를 선제적으로 정비하는 것이 중요하다.

중기(제도·시장 정착 단계)에는 혼농임업 기반 REDD+를 국가 NDC와 파리협정 제6조 체계에 연계하는 제도적 기반을 구축해야 한다. 이를 위해 파트너국과의 양자·프로그램 협정을 통해 ITMO 거래 구조, 상응조정 원칙, 이중 계상 방지 규칙을 명시하고, MRV·전용률·탄소·비탄소 지표를 포괄하는 통합 회계체계를 마련해야 한다. 한국 내부적으로는 해외 REDD+·혼농임업 사업의 기획·평가·회계를 담당할 전담 조직을 정비하고, 산림·기후·ODA·민간 부문이 참여하는 거버넌스 구조를 제도화해야 한다.

장기(포트폴리오 완성 단계)에는 혼농임업 중심 단·중기 전략과 조립형 REDD+ 중심 장기 전략을 통합한 포트폴리오를 완성한다. 혼농임업은 2030 NDC 달성을 위한 단·중기 탄소 성과, 산림전용 억제, 농가 소득 안정, 사회적 정당성을 제공하는 핵심 수단으로 기능하고, 고밀도 조립형 REDD+는 2050 탄소중립 이후 장기적 탄소흡수원을 제공하는 보완 수단으로 자리 잡게 된다. 이 과정에서 산불, 기후 위험, 시장 변화 등 외생 변수에 대한 리스크 분석과 회복탄력성 전략을 병행하여 포트폴리오의 안정성을 강화해야 한다.

향후 연구 과제로는 첫째, 라オス 외 다양한 파트너국·산림 유형·혼농임업 모델에 대한 시나리오·확률지배 분석을 확대하여, 한국형 포트폴리오 설계에 필요한 경험적 기반을 축적하는 작업이 필요하다. 둘째, 혼농임업 기반 REDD+의 사회·경제·성별 효과에 대한 정밀한 영향 평가를 수행함으로써, 포용적 개발과 기후 정의 관점에서의 정책 설계를 구체화해야 한다. 셋째, ITMO·탄소 시장·혼합금융 구조에 대한 정량적 모델링을 통해 재원 조달과 위험 분담 체계를 보다 정교화할 필요가 있다. 넷째, 산불·병해충·기후변동성 등 기후 리스크가 장기 탄소 포트폴리오에 미치는 영향을 분석하고, 이에 대응하는 적응·완화 통합 전략을 모색하는 연구가 요구된다.

〈표 5-1〉 REDD+·혼농임업 결합형 해외 산림 탄소 감축 전략: 정책 제안 요약

구분	정책 과제(핵심 내용)
I . REDD+ 구조적 한계 대응	<ul style="list-style-type: none"> • 토지권·거버넌스 정비: 토지권 명확화, 지방정부·공동체 권한 강화, 반부패 체계 구축 • 생계·소득 기반 패키지 도입: REDD+ 참여의 기회비용을 보전하는 생계·시장 접근 패키지 구축 • 프로그램 기반 REDD+로 전환: 사업 중심→국가·관할권 중심 프로그램 접근으로 확대
II . 혼농임업 기반 단·중기 전략	<ul style="list-style-type: none"> • 2030 NDC 핵심 전략으로 혼농임업 지정: 혼농임업 중심 30년 포트폴리오 구축 • 지역 특화 혼농임업 모델 표준화: 카사바·코코아·커피 등 작물·시장·가공 패키지 설계 • 위험 조정 분석 제도화: FSD/SSD/SERF를 사업 선정·평가·스케일업의 공식 절차로 도입
III . 장기 탄소 전략(조림형 REDD+ 연계)	<ul style="list-style-type: none"> • 장기 단소은행 구축: 조림형 REDD+를 2050 이후 장기 탄소잠재력 확보 전략으로 병행 • 리스크·회복탄력성 통합 평가: 산불·병해충·기후·시장 충격을 고려한 다차원 장기 평가 체계 구축
IV . 추진체계·회계체계 정비	<ul style="list-style-type: none"> • 다중 규모 추진체계: 프로젝트형(마을·CFUG)+관할권형(주·국가) REDD+ 통합 • MRV·전용률·회계체계 정교화: 동적 기준선, 다차원 MRV, ITMO 상응조정·이중계상 방지 규칙 마련
V . 커뮤니티 기반 거버넌스·포용성	<ul style="list-style-type: none"> • 가치사슬 기반 이익 공유 체계: 탄소+NTFP+가공+관광 등 복합 이익 공유 구조 설계 • 기존 공동체 조직 활용: CFUG 협동조합 등 지역 조직을 REDD+ 운영 플랫폼으로 공식화 • 여성·청년·취약계층 참여 강화: 참여 쿼터·역량강화 프로그램 우선권 부여
VI . 재원 조달·혼합금융 전략	<ul style="list-style-type: none"> • 공공·민간·국제기금 혼합금융 구성: 초기 위험은 공공·후기 단계는 민간 투자 유치 구조 • 복합 투자 모델 구축: 탄소+지속 가능 인증(커피·코코아)+녹색채권·임팩트 투자 결합

자료: 저자 작성.

제6장

요약 및 결론

요약 및 결론

본 연구는 REDD+의 구조적 한계를 진단하고, 혼농임업 결합 전략을 통해 한국의 NDC 달성을 기여할 수 있는 실행 가능한 해외 산림 탄소 감축 전략을 제시하고자 하였다. 이를 위해 ① REDD+의 제도적·경제적·사회적 비효율 구조와 발생 경로를 규명하고, ② 혼농임업이 이 한계를 어떠한 메커니즘을 통해 보완할 수 있는지 분석했으며, ③ 혼농임업 결합형 REDD+가 효율성·위험·경제성 측면에서 단독형 REDD+보다 우월한지 정량적으로 검증하고, ④ 그 성과를 파리협정 제6조 (ITMO) 및 국가 온실가스 회계(NDC)와 연계하는 제도·재정·거버넌스 방안을 모색하였다.

표면적으로 REDD+는 빨리 행동계획, 칸쿤 합의, 바르샤바 프레임워크, 파리협정 제5·6조에 이르는 제도적 진화를 거치며 가장 정교하게 설계된 국제 감축 메커니즘 중 하나로 평가받는다. 국가전략, 기준선, MRV, 세이프가드 정보시스템, 결과기반지불(RBP) 체계 등 이론상으로 필요한 요소는 대부분 갖춰졌다. 그럼에도 실제 현장에서는 산림전용 억제와 탄소 감축 성과가 기대에 미치지 못하고, 프로젝트의 영속성과 주민 수용성도 취약한 사례가 반복된다. 이 간극을 해소하기 위해 본 연구는 REDD+의 제도·경제·사회 구조를 동시에 조망하고, 혼농임업 (Agroforestry)을 결합한 새로운 전략 포트폴리오를 모색함으로써, 궁극적으로 한국의 NDC 달성을 기여할 수 있는 해외 산림 탄소 감축 전략을 제시하고자 하였다.

이를 위해 연구는 네 가지 핵심 질문을 설정하였다. 첫째, REDD+의 제도적·경제적·사회적 비효율은 무엇이며, 어떤 구조적 요인에서 비롯되는가. 둘째, 혼농임

업은 이러한 REDD+의 한계를 어떻게, 어떤 메커니즘을 통해 보완할 수 있는가. 셋째, 혼농임업 결합형 REDD+는 효율성(화률프론티어), 위험(화률지배·화실성 등), 경제성(NPV) 측면에서 단독형 REDD+보다 실제로 우월한가. 넷째, 이렇게 도출된 혼농임업형 REDD+ 성과를 파리협정 제6조(ITMO)와 국가 온실가스 회계(NDC)에 어떻게 연결하여, 한국의 감축 목표 달성을 체계 속에 편입할 수 있는가. 이 네 가지 질문을 각각 REDD+의 문제 진단·대안 설계·전략 비교·제도화 경로로 확장하고자 하였다.

먼저 2장에서 수행한 REDD+ 현황 및 한계 분석은 REDD+가 설계의 미비라기보다 이행의 불완전성에 더 가깝다는 점을 보여주었다. 네팔, 인도네시아, 캄보디아, 잠비아 등 다양한 국가 사례를 검토한 결과, REDD+ 비효율성은 크게 제도·경제·사회 세 축에서 공통적으로 확인되었다. 제도적으로는 토지·산림 권리의 불명확성, 부처 간 조정 실패, 지방정부 역량 부족, 중앙집권적 설계와 지역 맥락의 고리가 반복되었다. REDD+ 관련 핵심 기관이 정권 변화나 행정 개편으로 쉽게 해체되거나 축소되는 사례는, 제도의 안정성이 얼마나 취약한지를 단적으로 보여준다. 경제적으로는 REDD+가 제공하는 탄소 크레딧 수익이 농경지 확대, 플랜테이션, 불법 벌채 등 경쟁 토지이용이 가져다주는 단기·중기 소득에 비해 매력적이지 못한 경우가 많았고, 심지어 참여에 따른 추가 비용과 리스크를 상쇄하지 못하는 경우도 적지 않았다. 사회적으로는 포용적 참여의 부족, 혜택 배분의 불공정성, 생계 제약 해결 실패로 인해 주민들이 REDD+를 ‘외부 프로젝트’로 인식하고 규칙 준수에 소극적인 양상이 관찰되었다.

이러한 정성적 분석을 보완하기 위해 수행된 SFA 분석은 REDD+의 비효율 구조를 정량적으로 확인하는 데 중요한 근거를 제공하였다. 프로젝트 규모, 크레디팅 기간, 산림향상 유형, 교육·기술 지원 여부, 부패 수준 등 다양한 변수를 투입한 결과, 장기적 운영과 산림향상 활동, 역량강화 투자가 효율성을 높이는 반면, 부패 수준이 높을수록 평균 비효율성이 유의하게 증가하는 것으로 나타났다. 이는 REDD+ 성과가 단지 기술적 설계나 조림 면적의 크기에 의해 좌우되는 것이 아니라, 해당 국가·지역의 제도와 거버넌스, 사회경제 환경에 깊이 의존하고 있음을 의

미한다. 특히 혼농임업 관련 변수는 평균 감축량을 비약적으로 끌어올리기보다는 프로젝트 간 성과 변동성을 줄이고, 감축 실적의 일관성과 예측 가능성을 높이는 역할을 하는 것으로 분석되었다. 이 결과는 혼농임업이 REDD+의 ‘고효율 장치’라기보다 ‘리스크 완충 장치’로 기능한다는 본 연구의 가설과도 부합한다.

3장은 이러한 분석틀을 바탕으로, 혼농임업이 REDD+ 전략에서 어떤 기능을 수행할 수 있는지 해외 사례를 통해 구체적으로 검토하였다. 혼농임업은 전 세계 약 10억 ha에서 운영되고 10억 명 이상의 인구가 관여하는 대표적 토지이용 시스템으로, 나무·농작물·가축·수산을 결합하여 탄소저장, 생태계 서비스, 소득 다각화를 동시에 추구하는 체계적 모델이다. 에티오피아 그늘 커피, 가나 코코아·쉐어, 페루 브라질너트, 인도네시아 맹그로브·양어 결합모델 등 다양한 사례에서, 혼농임업은 단작 농업에 비해 토양 비옥도와 생물다양성을 증진시키고, 기후와 가격 변동에 대한 완충 능력을 높이며, 농가의 소득 구조를 다변화하는 효과를 보여왔다. REDD+ 관점에서는 산림전용·황폐화 방지, 보전, 지속 가능 경영, 탄소 축적 증진 등 다섯 가지 활동에 모두 기여할 수 있다는 점에서 혼농임업은 다기능형 토지이용 시스템으로 자리 잡는다.

다만 REDD+와 결합된 혼농임업, 즉 REDD+·혼농임업(Agroforestry) 모델은 일반적인 혼농임업보다 훨씬 복잡한 제도·거버넌스·기술 조건을 필요로 한다. 탄소 MRV와 기준선·추가성, 세이프가드, 권리·이익 공유 체계, 성과기반지불, VCS·CCBA와 같은 인증 등, REDD+ 고유의 요구사항을 동시에 충족해야 하기 때문이다. 해외 사례를 종합하면, REDD+·혼농임업 융합 모델이 성공하기 위한 핵심 요인은 크게 세 가지로 정리된다. 첫째, CFUG, 협동조합, 사용자 그룹 등 지역공동체 기반 거버넌스가 식재·관리·감시·이익 분배를 주도할 것. 둘째, 목재·비목재임산물, 가공·관광, 탄소 수익, 인증 프리미엄 등이 결합된 다중 현금흐름 구조를 구축해 농가의 참여 유인을 장기적으로 유지할 것. 셋째, 탄소·생태 가치가 PES, 인증, RBP 등 제도적 수단을 통해 실제 수익으로 연결되도록 설계할 것이다. 반대로 토지권·탄소권의 불안정, 시장·가공 인프라 부족, MRV·RBP 체계 미성숙은 REDD+·혼농임업 모델이 지닌 잠재력을 제약하는 대표적 장애요인으로 확인

되었다.

4장은 이러한 이론·사례 분석 위에서, 라오스 풍살리 지역을 대상으로 혼농임업 기반 REDD+ 전략 시나리오를 설정하고 정량적으로 평가하였다. 풍살리는 산림 의존도가 높고, 이동·화전농업과 농지 확대가 주요 전용 요인으로 작용하는 지역으로, 전형적인 REDD+ 대상지 특성을 지닌다. 2000~2019년 사이 MD 산림의 약 8%가 감소하고, 연평균 78만 tCO₂ 이상의 산림전용 배출이 발생하는 등 구조적 전용 압력이 강하게 존재한다. 이러한 조건에서 단순조림형 REDD+만으로 주민 참여와 장기 성과를 확보하기 어렵다는 점은 충분히 예상할 수 있다.

이에 본 연구는 티크 단일조림(A), 단기 혼농임업(B: 3년 카사바), 장기 혼농임업(C: 10년 카사바)이라는 세 가지 기본 시나리오와, 현실적인 산림전용률을 내재화한 A2·C2라는 확장 시나리오를 설계하였다. 혼농임업 시나리오에서는 티크 성장(연령별 DBH·수고)을 기반으로 탄소흡수량을 산정하고, 조림·관리비, 카사바 재배비·수익, 탄소 가격(톤당 9달러, 변동성 포함) 등을 반영하여 30년간 현금흐름을 구성하였다. 이후 탄소 가격 불확실성을 고려한 1만 회 몬테카를로 시뮬레이션, 1·2차 확률적 지배 분석, SERF 기반 확실성 등가 계산을 통해, 각각의 시나리오가 위험 조정 관점에서 어떤 순위를 갖는지 평가하였다.

결과는 일관되었다. 30년 기준에서 장기 혼농임업 C는 NPV, FSD·SSD, CE 모든 측면에서 A와 B를 우월하게 지배하였다. 카사바 수익은 초기 10년 동안 조림·관리비를 상쇄하며 재정적 적자 구간을 획기적으로 줄였고, 이후 티크와 탄소 수익이 더해지면서 전체 수익 분포가 우측으로 이동하였다. 반면 티크 단일조림 A는 초기 10년 이상 상당한 적자가 누적되어 농가·지역사회·정부 입장에서 경제적 손실 구조를 보였고, B는 단기 유동성은 개선하지만 장기 REDD+ 전략으로 보기에는 경제 성과가 부족하였다. 전용률을 도입한 A2·C2 시나리오에서도 전용률 2.9%를 반영한 조림형 A2는 손실이 악화된 반면, 혼농임업으로 전용률을 1.82% 수준까지 낮춘 C2는 오히려 전체 NPV가 상승하는 결과를 보였다. 탄소 수익만 분리해 비교하더라도, 혼농임업형 C2의 NPV 손실은 조림형 A2보다 작아, 혼농임업이 전용 억제라는 간접 경로를 통해 탄소 성과에도 긍정적으로 기여함을 확인할

수 있었다.

다만 사업 기간을 60년, 80년으로 확장해 탄소흡수만을 지표로 놓고 보면, 티크 생장 정점(60~70년)을 반영한 고밀도 조림형 A2가 장기 탄소 잠재력에서 혼농임업형 C2를 상회하는 구간이 나타났다. SSD와 CE 분석에서도, 장기 탄소흡수만을 평가 기준으로 삼을 경우 A2가 C2를 우위에서 지배하는 결과가 도출되었다. 이는 혼농임업형 REDD+가 단·중기에는 최적 전략이지만, 장기 탄소저장고로써의 역할에서는 조림형 REDD+가 여전히 중요한 보완 수단이라는 점을 의미한다. 다시 말해, “어떤 전략이 절대적으로 우월한가”가 아니라, “어떤 시간 지평에서 어떤 목표를 중시할 때 어떤 전략 조합이 최적인가”를 고민해야 한다는 것이다.

이러한 분석을 토대로, 본 연구는 한국형 해외 산림 탄소 전략이 단일 모델이 아닌 시간 분할형 포트폴리오로 설계되어야 한다는 결론에 도달하였다. 2030 NDC 달성을 위한 비교적 짧은 시간 지평에서는 혼농임업 기반 REDD+가 산림전용 억제, 농가 소득 안정, 탄소 성과의 안정성 측면에서 훨씬 효율적이다. 반면 2050 탄소중립과 그 이후를 염두에 둔 장기 전략에서는, 혼농임업이 제공하는 완충·보완 기능을 유지하면서도, 고밀도 조림형 REDD+를 ‘탄소은행’으로 축적해 나가야 한다. 예를 들어 동일한 관할권 내에서 혼농임업 구역을 전용억제·완충지대로 설정하고, 그 뒤편에 장기 조림구역을 배치하는 공간적·시간적 설계를 통해, 혼농임업이 조림형 REDD+의 전용·침입 위험을 줄이는 방식이 가능하다.

또한 연구는 혼농임업형 REDD+가 단순히 ‘좋은 프로젝트’에 그치지 않고, 실제로 국가 온실가스 인벤토리와 NDC에 계상되기 위해 필요한 제도·거버넌스·회계 인프라를 함께 제시하였다. 기준선·추가성 설정에서는 단순 면적 감소나 고정 전용률 가정에서 벗어나, 지역별 역사적 전용률, 미래 전용압력, 정책 변화 등을 반영한 시간·공간 차별적 기준선을 도입해야 한다. MRV 체계는 탄소량 변화뿐 아니라 전용률, 혼농임업 면적, 토양 탄소, 농가 소득, 참여 가구 수, 토지 갈등 등 비탄소 지표를 포함하는 다차원 구조로 전환할 필요가 있다. 파리협정 제6조와의 연계를 위해서는 상응조정, 이중 계상 방지, 승인 절차를 명시한 양자·프로그램 협정이 필요하며, 혼농임업을 통한 전용 억제 효과와 탄소흡수 증가분을 구분해 보

고하는 세부 가이드라인이 마련되어야 한다.

이와 더불어 이익 공유와 커뮤니티 기반 거버넌스, 혼합금융 모델은 REDD+·혼농임업 결합 전략의 지속 가능성을 좌우하는 핵심 요소로 제시되었다. 혼농임업 기반 REDD+는 본질적으로 주민 참여형 산림·농업 시스템이므로, 탄소 수익뿐 아니라 비목재임산물, 가공·관광, 지속 가능 인증 프리미엄 등에서 발생하는 수익을 어떻게 공동체·개별 농가·지방정부·운영 주체 간에 배분할 것인지에 대한 명확한 규칙이 필요하다. CFUG, 협동조합, 사용자 그룹 등 이미 존재하는 지역 조직을 REDD+·혼농임업 거버넌스 플랫폼으로 활용하면, 규칙 설정, 혼농임업 설계, 감시·관리, 이의 분배, 분쟁 조정 등 다양한 역할을 효율적으로 수행할 수 있다. 여성·청년·취약계층을 혼농임업 가치사슬 전 과정에 포괄하는 성·세대별 전략을 도입 할 경우 REDD+는 단순 환경 프로젝트를 넘어 포용적 농촌발전 전략으로 확장될 수 있다.

재원 조달 측면에서는 ODA, GCF·GEF 등 다자기후기금, 자발적 탄소 시장, 민간 투자 자본을 결합한 혼합금융 구조가 제안되었다. 초기 단계의 제도 설계·역량 강화·인프라 구축은 공공 재원이 감당하고, 프로젝트의 수익성과 리스크 프로파일이 개선되는 중·후기에는 민간 자본을 단계적으로 유치하는 구조가 바람직하다. 이를 위해서는 보증, first-loss 구조, 성과기반 인센티브, 기후위험 보험·헤지 상품 등 다양한 금융 수단을 조합할 필요가 있다. 혼농임업이 실물 농산물·가공품을 생산한다는 점을 활용해 지속 가능 인증과 프리미엄 시장, 가치사슬 투자 등과 결합하는 복합 수익 구조도 모색할 수 있다.

마지막으로 본 연구는 이러한 분석을 바탕으로 단기(정책 리셋), 중기(제도·시장 정착), 장기(포트폴리오 완성)라는 시간 구분에 따른 정책 로드맵을 제시하였다. 단기에는 REDD+ 비효율성을 진단하고 혼농임업의 보완 기능을 입증한 결과를 토대로 기존 조림·보전 중심 해외 산림협력 포트폴리오를 혼농임업 기반 REDD+ 중심으로 재편하는 작업이 필요하다. 중기에는 혼농임업 기반 REDD+를 NDC와 제6조 체계에 연계하는 제도·회계 인프라를 구축하고, 전담 조직과 거버넌스 구조를 제도화해야 한다. 장기에는 혼농임업 중심 단·중기 전략과 조림형

REDD+ 중심 장기 전략을 통합해 포트폴리오를 완성하고, 산불·기후·시장 리스크에 대비한 회복탄력성 전략을 함께 설계해야 한다.

이러한 로드맵과 분석을 통해 본 연구는 REDD+를 단순한 조림·보전 사업에서 벗어나, 혼농임업을 결합한 다기능 토지이용·위험관리·생계전략으로 재설계할 필요성을 제기하였다. 동시에 한국의 NDC 달성을 위한 해외 감축 전략이 양적 목표 달성을 넘어, 제도·생계·참여·재정·거버넌스를 포괄하는 통합전략으로 진화해야 한다는 방향성을 제시하였다. 학술적으로는 REDD+ 비효율성에 대한 정성·정량 분석과 혼농임업 결합형 REDD+의 위험 조정 우위를 계량적으로 입증한 점, 정책적으로는 시간 분할형 포트폴리오와 NDC 연계 추진체계를 제시한 점이 주요 기여라 할 수 있다. 다만 분석 대상 국가와 시나리오가 제한적이라는 점, 탄소 가격·정책 환경의 급변 가능성은 충분히 반영하지 못한 한계는 남는다. 향후에는 보다 다양한 국가·산림 유형·혼농임업 모델에 대한 시나리오·확률지배 분석, 사회·성별·경제효과에 대한 정밀 평가, ITMO·혼합금융 구조에 대한 동태적 모형화를 통해 본 연구가 제시한 한국형 REDD+·혼농임업 포트폴리오를 보다 정교한 실행 전략으로 구체화해 나갈 필요가 있다.

혼농임업 작물과 수종

〈부표 1-1〉 혼농임업 작물 및 수종

구분	주요 종	기후·지역	혼농임업 활용 방식
곡물·식량 작물	쌀	아시아: 인도·중국·동남아(열대/아열대) / 아프리카: 서아프리카·마다가스카르 / 남미: 아마존 범람원(바르지아)	논-어류(벼-어류) 시스템, 수로·파난 흙 설계, 양식수 비료화(물-영양 재순환), 해충·집초 억제로 투입재 절감
	옥수수	아시아: 인도·네팔·중국 / 아프리카: 동·남부 사바나 / 남미: 안데스·메소아메리카	넓은 간격 임목(고무·아카시아·그레빌레이) 사이 혼식, 밀파(옥수수+콩+호박) 변형, 사료·식량 겸용
	카사바	아시아: 동남아(건기 지대) / 아프리카: 나이지리아·콩고(DRC)·탄자니아 / 남미: 브라질·아마존	황폐·한계지 복원, 초기 현금·식량 공급원, 유류지·조림 전 전환작물
	콩류	아시아: 남아시아 / 아프리카: 카우피·비자(사헬~사바나) / 남미: 커먼빈 (<i>Phaseolus</i>)	질소고정·운작, 밭두렁·과수원 혼식, 토양 비옥도·탄소 증가
과수·채소	바나나	아시아: 동남아 / 아프리카: 동아프리카 고지대(커피·바나나) / 남미: 안데스 북부·아마존 주변	코코넛·고무·커피 그늘 아래 혼식, 연중 식량·그늘 제공, 토양 수분 유지
	망고	아시아: 인도·방글라데시·파키스탄 / 아프리카: 서·동아프리카 / 남미: 브라질 동북부	농가 보면 과수, 경계수·방풍수, 과수 열간 작물·사료 혼식
	감귤·파파야·파인 애플·채소류	아열대~열대 전역 (아시아·아프리카·남미)	가정정원·밭 사이 혼식, 다수확·영양 다변화, 벌·천적 유인 식생으로 해충 관리 생태화
	아사이·쿠푸아수·구아바·아보카도	남미: 아마존·브라질·안데스 / 아프리카: 열대·아열대 도입 확대	아마존형 다층 정원(상층 그늘수+중층 과수+하층 채소), 지역 특산 과실 기능성 수익

(계속)

구분	주요 종	기후·지역	혼농임업 활용 방식
다년생 수종·관목 (임목·음지수·사료수)	코코넛	아시아: 인도·스리랑카·인도네시아·필리핀 / 아프리카: 동아프리카 연안 / 남미: 브라질 해안	바나나·향신료·파인애플 혼식, 낙엽·과실 부산물로 영양순환·사료화
	기름야자	아프리카: 서아프리카 원산·플랜테이션 / 아시아: 말레이시아·인도네시아 / 남미: 아마존·콜롬비아	초기 소농 혼식(과수·채소), 수로·완충림으로 수질관리, 벌·어업 통합 연계
	고무나무	아시아: 인도네시아·태국·베트남 / 아프리카: 나이지리아·라이베리아 / 남미: 아마존 원산	넓은 간격 식재+카사바·옥수수 혼식, 초기 식량·현금흐름, 라텍스+목재
	유칼립투스	아시아: 방글라데시·남/동남아 / 아프리카: 에티오피아·케냐 / 남미: 브라질·우루과이	목재·펄프·전주, 방풍림·경계림, 초기 간벌재·연료, 밭두렁 식재
	아카시아	아시아: 태국·베트남 / 아프리카: 동아프리카(사료수) / 남미: 멕시코·중미	질소고정 사료수·땔감·멀칭, 방목·쿠다(절단급여) 체계
	<i>Faidherbia albida</i>	아프리카: 사헬~사바나	역상 낙엽성(우기에 잎 나지 않음)으로 우기 작물(수수·기장·땅콩) 일조 확보, 토양비옥 수분 보전
	<i>Grevillea robusta</i>	아프리카: 동부 고지 / 남미·아시아: 도입	커피·차 그늘·방풍·목재, 경계·열간 식재, 꿀원 제공
	<i>Inga spp.</i> · <i>Erythrina spp.</i>	남미: 아마존·안데스 / 아시아·아프리카: 도입	질소고정 그늘수(커피·카카오), 잎·가지로 녹비·멀칭, 열대 다층 정원 핵심
	봉나무	아시아: 중국·네팔 원산 / 남미: 남브라질(소규모) / 아프리카: 일부 도입	누에 사육·과실·사료, 강전정 후 녹비
	티크	아시아: 인도·동남아 / 아프리카: 가나·토고 / 남미: 브라질·코스타리카	2층 시스템(티크 상층+계피·커피·카카오 하층), 간벌목 수익
	님나무	아시아: 인도 / 아프리카: 사헬~사바나 / 남미: 일부 도입	울타리·그늘·자연 농약(추출물), 방제·어업 보조(유해어종 제거용 전통 활용)
	대나무	아시아: 전역 / 남미: 콜롬비아·에콰도르/ 아프리카: 에티오피아, 사헬	빠른 바이오매스·토양 고정·사료(잎), 건축·가공재·완충림

자료: 저자 작성.

참고문헌

- 국립산림과학원(2025), 파리협정 제6조와 산림 이해하기, 국립산림과학원.
- 미쓰비시UFJ리서치&컨설팅(2021), 개발도상국 산림보전 프로젝트 체제강화사업 최종 보고서(번역본), 산림청.
- 박미선·윤여창(2012), “산림 탄소배출권 확보를 위한 REDD+ 사업전략 개발”, 환경정책, 제20권 제2호: 19-48, 한국환경정책학회.
- 산림청(2021), 알고보면 쓸모있는 REDD+ 이모저모(알기쉬운 REDD+ 설명집).
- _____ (2024), 2025~2029 제1차 국외산림탄소축적증진 5개년 종합계획.
- 송민경·홍민아·김래현(2024), “민간부문의 REDD+ 국제감축사업 참여 활성화를 위한 인식 현황 분석 연구”, 한국기후변화학회지, 15(6): 1221-1232, 한국기후변화학회.
- 윤평화(2015), “REDD+ 체제 구축과 이행: UNFCCC REDD+ 협상 분석을 중심으로”, 세계농업, 제180호, 한국농촌경제연구원.
- 이상민·민경택·구자춘·이소영·권지혜(2015), 임업분야 국제개발협력 전략 연구, R763, 한국농촌경제연구원.
- 장은혜(2022), REDD+ 활성화 및 체계적 이행을 위한 법제 연구, 한국법제연구원.
- 정유진·김준순(2024), “국외산림탄소축적증진사업 대상국 선정을 위한 유형화 연구”, 한국기후변화학회지, vol. 15, no. 5: 747-756, 한국기후변화학회.
- 최지선(2020), “유럽 혼농임업 현황과 정책”, e-세계농업, 제6호, 한국농촌경제연구원.
- 한국레드플러스협회(2023), 라오스 풍산리주 사업 타당성 조사(내부자료).
- Aigner, D., C. A. K. Lovell & P. Schmid(1977), “Formulation and estimation of stochastic frontier production function models”, Journal of Econometrics, 6(1): 21–37.
- Anderson, J. R. & J. L. Dillon(1992), “Risk Analysis in Dryland Farming Systems”, Farming Systems Management Series, No. 2, FAO.
- Angelsen, A.(2008), “Moving Ahead with REDD+: Issues, Options and Implications”,

- Center for International Forestry Research (CIFOR), Bogor, Indonesia.
- Battese, G. E. & T. J. Coelli(1995), “A Model for Technical Inefficiency Effects in a Stochastic Frontier Production Function for Panel Data”, *Empirical Economics* 20 (2): 325-32.
- ClimateSeed(2023), What are Afforestation, Reforestation & Revegetation (ARR) projects?.
- Coalition for Rainforest Nations(2023), REDD+ under the UNFCCC Primer Report.
- Ekawati, S., K. Subarudi, Budiningsih, G. K. Sari & M. Z. Muttaqin(2019), “Policies Affecting the Implementation of REDD+ in Indonesia (Cases in Papua, Riau and Central Kalimantan)”, *Forest Policy and Economics*, Assessing policies to reduce emissions from land use change in Indonesia, vol. 108 (November), 101939.
- FAO(2013), Save and Grow Cassava: A guide to sustainable production intensification.
_____ (2020), Global Forest Resources Assessment 2020 Main Report.
- Farley, K. A., E. G. Jobbágé & R. B. Jackson(2005), “Effects of afforestation on water yield: a global synthesis with implications for policy”, *Global Change Biology*, 11(10): 1565–1576.
- Garrish, V., E. Perales, A. E. Duchelle & P. Cronkleton(2014), “The REDD Project in Brazil Nut Concessions in Madre de Dios, Peru”, In: *REDD+ on the ground: A case book of subnational initiatives across the globe*, Bogor, Indonesia: CIFOR.
- Gumbo, D. & O. Mfune(2013), “The forest governance challenge in REDD+: Core governance issues that must be addressed for REDD+ success in Zambia”, *Nature and Faune*, 27(2): 49–53.
- Hammock, Jen(2024), Global Wood Density Database, Zenodo, August 14.
- Hardaker, J. B., J. W. Richardson, G. Lien & K. D. Schumann(2004), “Stochastic efficiency analysis with risk aversion bounds: A simplified approach”, *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics*, 48(2), 253–270.
- Hauser, S., L. Wairegi, C. L. A. Asadu, D.O. Asawalam, G. Jokthan & U. Ugbe(2014), Cassava System Cropping Guide, Africa Soil Health Consortium.
- IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)(2006), 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (Agriculture, Forestry and Other Land

Use).

- Khasanah, N., A. Perdana, A. Rahmanullah, G. Manurung, J. M. Roshetko & M. van Noordwijk(2015), “Intercropping Teak (*Tectona Grandis*) and Maize (*Zea Mays*): Bioeconomic Trade-off Analysis of Agroforestry Management Practices in Gunungkidul, West Java”, *Agroforestry Systems*, 89: 1019–1033.
- Kim H. L.(2021), “Large-Scale Deforestation at Korea Forest Service’s REDD+ Site in Cambodia”, *Voices from FoE Asia Pacific*, August 30.
- Larson, A. M. et al.(2013), Tenure and REDD+: The politics of tenure security and carbon rights in Brazil, Ecuador, and Peru, Center for International Forestry Research(CIFOR).
- Lestari, N.(2019), “Factors Causing Failure of the REDD+ Program Implementation in Central Kalimantan”, *Jurnal Manajemen Hutan Tropika*, 25(1): 28.
- Meeusen, W. & J. van den Broeck(1977), “Efficiency estimation from Cobb–Douglas production functions with composed error”, *International Economic Review*, 18(2): 435–444.
- Midgley, S. J., P. R. Stevens & R. J. Arnold(2017), “Hidden Assets: Asia’s Smallholder Wood Resources and Their Contribution to Supply Chains of Commercial Wood”, *Australian Forestry*, 80(1): 10–25.
- Minang, P. A., F. Bernard, M. van Noordwijk & E. Kahurani(2011), Agroforestry in REDD+: Opportunities and Challenges, ASB Policy Brief 26, Nairobi, Kenya: ASB Partnership for the Tropical Forest Margins
- Minang, P. A., L. A. Duguma, F. Bernard, L. Metz & M. van Noordwijk(2014), The Role of Agroforestry in REDD+ Implementation. *Current Opinion in Environmental Sustainability*.
- Murcia, Carolina(1995), “Edge Effects in Fragmented Forests: Implications for Conservation”, *Trends in Ecology & Evolution*, 10(2): 58–62.
- Nwokoro, C. C. et al.(2022), “Cassava–maize intercropping systems in southern Nigeria: Radiation use efficiency, soil moisture dynamics, and yields of component crops”, *Field Crops Research*, 283, 108550.
- Pramono, A. A., M. A. Fauzi, N. Widyan, I. Heriansyah & J. M. Roshetko(2011),

- Managing Smallholder Teak Plantations: Field Guide for Farmers, Jan. 1, 2011: 59-62, Center for International Forestry Research.
- Rajapakshe, R., J. Karthigesu, S. Thavanathan, S. Sivachandiran, V. Navaneetham & S. Sinnamani(2024), “Restoring a dry tropical forest through assisted natural regeneration: Enhancing tree diversity, structure, and carbon stock”, *Trees, Forests and People*, 17, 100616.
- Reang, D., A. Hazarika, G. W. Sileshi, R. Pandey, A. K. Das & A. J. Nath(2021), “Assessing tree diversity and carbon storage during land use transitioning from shifting cultivation to indigenous agroforestry systems: Implications for REDD+ initiatives”, *Journal of Environmental Management*, 298, 113470.
- Rosenstock, Todd S. et al.(2019), “Making Trees Count: Measurement and Reporting of Agroforestry in UNFCCC National Communications of Non-Annex I Countries”, *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 284(November), 106569.
- Saxena, O. P., K. C. Joshi & G. P. Date(1997), Teak: Growth table for different ecological forest types in Madhya Pradesh (Reprint), State Forest Research Institute, Extension and Consultancy Division.
- SCS Global Services(2014), Final CCBA Project Validation Report: REDD+ Project in Brazil Nut Concessions in Madre de Dios.
- Shrestha, S., B. S. Karky & S. Karki(2014), “Case Study Report: REDD+ Pilot Project in Community Forests in Three Watersheds of Nepal”, *Forests*, 5(10): 2425–2439.
- Smith, H. F., S. Ling & K. Boer(2017), “Teak Plantation Smallholders in Lao PDR: What Influences Compliance with Plantation Regulations?”, *Australian Forestry* 80(3): 178–87.
- Teo, H. C., A. Lamba, S. J. W. Ng, A. T. Nguyen, A. Dwiputra, A. J. Y. Lim, M. N. Nguyen, P. Tor-ngern, Y. Zeng, S. Dewi & L. P. Koh(2025), “Reduction of Deforestation by Agroforestry in High Carbon Stock Forests of Southeast Asia”, *Nature Sustainability*, 8(4): 358–62.
- United Nations Development Programme(UNDP)(2019), Pathway for Increasing Nature-Based Solutions in Nationally Determined Contributions: A Seven-Step Approach for Enhancing NDCs, UNDP.

- _____ (2021), Nationally Determined Contributions (NDC) Global Outlook Report 2021: The State of Climate Ambition, UNDP.
- UN-REDD(2014), REDD+ and Adaptation: Policy Brief.
- _____ (2021), Tenure and REDD+: Policy Brief #06.
- _____ (2022), Financing REDD+.
- USAID & WINROCK(2019), YANMAR'S SPECIALTY COFFEE.
- Verchot, L. V., R. Zomer, O. van Straaten & M. Livet(2014), Implications of REDD+ for agroforestry, Carbon forestry: who will benefit?, CIFOR.
- Wainaina, P., P. Minang & L. Duguma(2019), Application of the TEEB for Agriculture and Food (TEEBAgriFood) Framework; Case of cocoa and coffee agroforestry value chains in Ghana and Ethiopia, TEEB for Agriculture and Food, UNEP.
- Wang, H. J. & P. Schmidt(2002), “One-step and two-step estimation of the effects of exogenous variables on technical efficiency levels”, Journal of Productivity Analysis, 18(2): 129–144.
- World Bank(2020), Lao PDR Forest Note: Toward Sustainable Forest Landscapes for Green Growth, Jobs, and Resilience.
- _____ (2024), Community Forestry and REDD+, PROFOR(Program on Forests).

<온라인자료>

- 산림청(https://www.forest.go.kr/kfsweb/kfi/kfs/cms/cmsView.do?cmsId=FC_003547&mn=AR05_02_06), 해외온실가스 감축사업(REDD+), 검색일: 2025. 3. 25.
- 탄소중립녹색성장위원회(<https://www.2050cnc.go.kr/base/board/read?boardManagerNo=65&boardNo=3400&searchCategory=&page=1&searchType=&searchWord=&menuLevel=3&menuNo=15>), 탄소중립을 향한 첫걸음 NDC, 어디까지 알고 있니?, 검색일: 2025. 3. 24.
- ID-RECCO(<https://www.reddprojectsdatabase.org>), International Database on REDD+ Projects and Programs, Linking Economic, Carbon and Communities Data, version 5.0, 검색일: 2025. 10. 10.
- MSCI Carbon Market 2024(https://www.msci.com/research-and-insights/blog-post/japan-5.8.-goes-for-growth-to-support-nature-based-projects?utm_source=chatgpt.com),

검색일: 2025. 5. 8.

MSCI(https://www.msci.com/research-and-insights/blog-post/japan-goes-for-growth-to-support-nature-based-projects?utm_source=chatgpt.com), Japan Goes for growth to support Nature Based Proect, 검색일: 2025. 5. 8.

REDD+ Web Platform(https://redd.unfccc.int/submissions/by-country.html?utm_source=chatgpt.com), 검색일: 2025. 3. 7.

sylvera([https://www.sylvera.com/blog/carbon-offset-price#:~:text=ARR%20projects:%20Short%20for%20afforestation,carbon%20credits%20is%20over%20\\$500.](https://www.sylvera.com/blog/carbon-offset-price#:~:text=ARR%20projects:%20Short%20for%20afforestation,carbon%20credits%20is%20over%20$500.)), 검색일: 2025. 9. 3.

The Laotian Times(https://laotiantimes.com/2025/01/08/xayaboury-produces-1-56-million-tonnes-of-cassava-in-2024-boasts-exports-to-thailand/?utm_source=chatgpt.com), 검색일: 2025. 9. 3.

WorldAtlas(https://www.worldatlas.com/maps/lao-people-s-democratic-republic?utm_source=chatgpt.com), Lao People's Democratic Republic Maps & Facts, 검색일: 2025. 10. 10.

<보도자료>

Mongabay(2009. 8. 24.), “Unique acacia tree could play vital role in turning around Africa’s food crisis”.



www.krei.re.kr

한국농촌경제연구원

전라남도 나주시 빛가람로 601
T.1833-5500 F.061) 820-2211

