



WWF

KOREA

# WWF 기후행동 서포터즈 5기 보고서 모음집

WWF CLIMATE ACTION SUPPORTERS



© WWF-Aus / Christian Miller

**WWF (World Wide Fund for Nature 세계자연기금)**

WWF는 1961년 설립된 세계 최대 비영리 국제 자연보전기관으로 전 세계 100여 개 국가에서 500만 명의 후원자와 3,000만 명의 서포터즈와 함께 활발히 활동하고 있습니다. WWF는 지구의 자연환경이 파괴되는 것을 막고, 사람과 자연이 조화를 이루며 살아가는 미래를 만들어가고자 합니다. 이를 위해 생물다양성을 보전하고, 재생 가능한 자연자원을 지속가능하게 사용할 수 있도록 이끌고 있습니다. 또한, 불필요한 소비와 환경오염을 줄이는 인식 개선 활동에도 힘쓰고 있습니다. WWF-Korea(세계자연기금 한국본부)는 2014년 공식 설립되었습니다. 자세한 내용은 [wwfkorea.or.kr](http://wwfkorea.or.kr) 에서 확인할 수 있습니다.

**보고서 정보**

본 보고서는 WWF 기후-에너지 프로그램 활동 중 2024 WWF 기후행동 서포터즈 5기 활동의 일환으로 발간되었습니다. 보고서에 담긴 내용은 서포터즈들의 개인 의견이며 WWF-Korea의 공식적인 의견과는 무관합니다.

**발간 정보**

**제목:** WWF 기후행동 서포터즈 5기 보고서 모음집  
**발행인:** 홍정욱  
**발행처:** WWF-Korea (세계자연기금 한국본부)  
**발행일:** 2024년 7월

**기후행동 서포터즈 5기 참여진**

- (1조-메콩) 소윤선, 김아란, 원준섭, 윤승애
- (2조-보르네오) 정혜빈, 이소은, 이지원, 최수임
- (3조-고비) 이정하, 이예빈, 이현지, 최수정
- (4조-아마존) 신도윤, 고경희, 김서현, 이민정
- (5조-콩고분지) 장재영, 강나형, 김보민, 홍지창
- (6조-SIDS) 권나희, 박은슬, 심예진, 진민지

**WWF-Korea 참여진**

조윤진 팀장, 박승효 오피서, 최정우 오피서, 김지현 오피서, 김서연 인턴/Project Assistant, 정혜빈 인턴/Program Support Assistant

**디자인 작업:** 베스트셀러바나나

**표지 사진:** © WWF-Malaysia / Raymond Alfred

본 보고서 전체 혹은 일부를 복제하거나 배포하는 경우, 아래 인용 표시를 참고하여 출처와 저작권을 표기하고 위에 열거된 당사자에게 저작권이 있음을 반드시 고지해야 합니다.

인용 표시: WWF 기후행동 서포터즈 5기 보고서 모음집 (WWF CLIMATE ACTION SUPPORTERS)  
 © Text and graphics 2024 WWF-Korea. All rights reserved.

**목차**

<b>1조</b>	<b>메콩강 맹그로브의 지속가능한 미래를 위한 SHINE전략</b>	2
	소윤선 (고려대학교 환경생태공학부) 김아란 (연세대학교 교육학과) 원준섭 (고려대학교 보건환경융합과학부) 윤승애 (한양대학교 건설환경공학과)	
<b>2조</b>	<b>보르네오 섬의 지속가능한 국영 팜오일 농업 프로젝트</b>	34
	정혜빈 (서울대학교 글로벌환경경영학과) 이소은 (고려대학교 보건환경융합과학부) 이지원 (숙명여자대학교 정치외교학과) 최수임 (서울과학기술대학교 환경공학과)	
<b>3조</b>	<b>대기질 오염과 고비사막의 사막화 상관관계 및 조림시스템 구축</b>	56
	이정하 (건국대학교 환경공학과) 이예빈 (경북대학교 조경학부) 이현지 (한경국립대학교 지역자원시스템공학과) 최수정 (고려대학교 노어노문학과)	
<b>4조</b>	<b>아바타 프로젝트: 아마존, 바이오차, 테라 프레타</b>	72
	신도윤(단국대학교 식량생명공학과) 고경희 (고려대학교 환경생태공학부) 김서현 (고려대학교 환경생태공학부) 이민정 (연세대학교 화학과)	
<b>5조</b>	<b>콩고 이탄습지 보호 및 보존을 위한 정책 프레임워크</b>	94
	장재영 (숭실대학교 국제법무학과) 강나형 (성균관대학교 화학과) 김보민 (연세대학교 비교문화과학과) 홍지창 (위털루대학교 Sustainability and Financial Management)	
<b>6조</b>	<b>몰디브 Ari Atoll과 Baa Atoll 산호 복원 프로젝트</b>	112
	권나희 (서강대학교 생명과학과) 박은슬 (한국의국어대학교 중국외교통상학과) 심예진 (이화여자대학교 환경공학과) 진민지 (건국대학교 사회환경공학부)	





# 메콩강 맹그로브의 지속가능한 미래를 위한 SHINE 전략

## IMTA(생태통합기술)의 확대를 통한 맹그로브 숲 보호

소윤선 (고려대학교 환경생태공학부)  
김아란 (연세대학교 교육학과)  
원준섭 (고려대학교 보건환경융합과학부)  
윤승애 (한양대학교 건설환경공학과)

© Thomas Cristofolletti / WWF-UK



# 초록

맹그로브는 생물다양성을 유지하고 탄소 저장, 기후 조절 등의 다차원적 생태계 서비스를 제공하는 생태계이다. 그러나 베트남에서는 기후변화로 인한 벼농사 지속의 어려움, 새우 양식에 적합한 맹그로브의 환경과 같은 이유로 맹그로브 숲에서 새우 양식을 주요 생계 수단으로 삼아 왔다. 전세계적인 새우 수요의 증가는 베트남 양식 산업 규모의 확장으로 이어졌고 이는 맹그로브 생태계 파괴, 생물다양성 감소, 수질 오염 등 다양한 문제를 초래하였다.

따라서 본 연구는 IMTA(Integrate Multi-Trophic Aquaculture, 생태통합양식)의 성공적인 정착을 통해 기존 새우 양식 산업의 확장을 저지하고 궁극적으로 맹그로브 숲 보호를 실현하는 SHINE(S: Sustainability, H: Harmonization, I: Integral, N: Nature-Based, E: Economical) 전략을 제안하는 바이다. 전략의 세부사항은 다음과 같다. 1) 연구 및 개발: R&D 기술전수, 역량강화개발 ODA 등을 통한 IMTA 기술 정착을 지원하고, 2) 정책적 지원: ASC 인증을 받은 그린양식 새우에 한해 VKFTA 항목 조정 및 맹그로브 숲의 VCS, CDM 진입을 통한 추가 자금 확보하며, 3) 민간 교육: IMTA 기술 이론 교육, 현장 실습 교육을 통한 프로젝트 이해도를 고취시킨다. 사업이 성공적으로 운영될 시, 다른 맹그로브 군집 지역으로 확장한다.

SHINE 전략은 지역사회 기반 NbS (Nature-based Solutions)를 실현하며, SDGs (Sustainable Development Goals) 달성에도 기여할 수 있을 것으로 기대된다. 또한 이 전략은 기후변화에 대응하며, 맹그로브 생태계와 지역 주민이 공존할 수 있는 지속가능한 사회를 만드는 데에 기여할 수 있다.



# 서론

맹그로브는 다양한 동식물종을 유지하고 연안 먹이 사슬을 지원하는 데 매우 생산적이다. 기후변화 문제가 대두되면서 맹그로브의 생태적 기능은 더욱 주목받고 있으며, 맹그로브는 해수면 상승을 완화하고 숲의 식생은 해일의 영향을 줄여주고 기후 조절, 생물 다양성 보전, 해안 보호, 탄소격리, 목재 생산, 수질 정화, 관광 등 다차원적 생태계 서비스를 제공한다(UNEP, 2023).

1940년대 베트남에는 40만ha 이상의 맹그로브 숲이 있었지만 2014년에는 숲 면적이 8.5만ha로, 생물 다양성과 바이오매스가 상당히 감소하였다(Truong et al., 2018). 산림에서 전환된 토지에서의 주활동은 새우 양식인데(Minh et al., 2001) 지금까지 새우 양식 운영을 위해 약 20만ha에 달하는 맹그로브가 사라졌다.

베트남의 새우 산업은 연간 40억 달러에 달하는 국가 전체 수산물 수출액의 약 45%를 차지하고 (Hai et al., 2023) 특히 삼각주는 주 양식 지역으로 양식 문화 면적의 90퍼센트 이상과 연간 생산량의 60퍼센트를 차지하고 있다 (Hai et al., 2015).

국제 양식규범이 강화되면서 신 양식기술에 대한 수요가 증대되고 있으며, 환경보호 및 생태계 보호 측면이 점차 강화되고 있고 이러한 양식업의 세계적 추세에 의해 친환경 양식 시스템인 생태통합양식 관련 연구가 활발히 진행되고 있다.

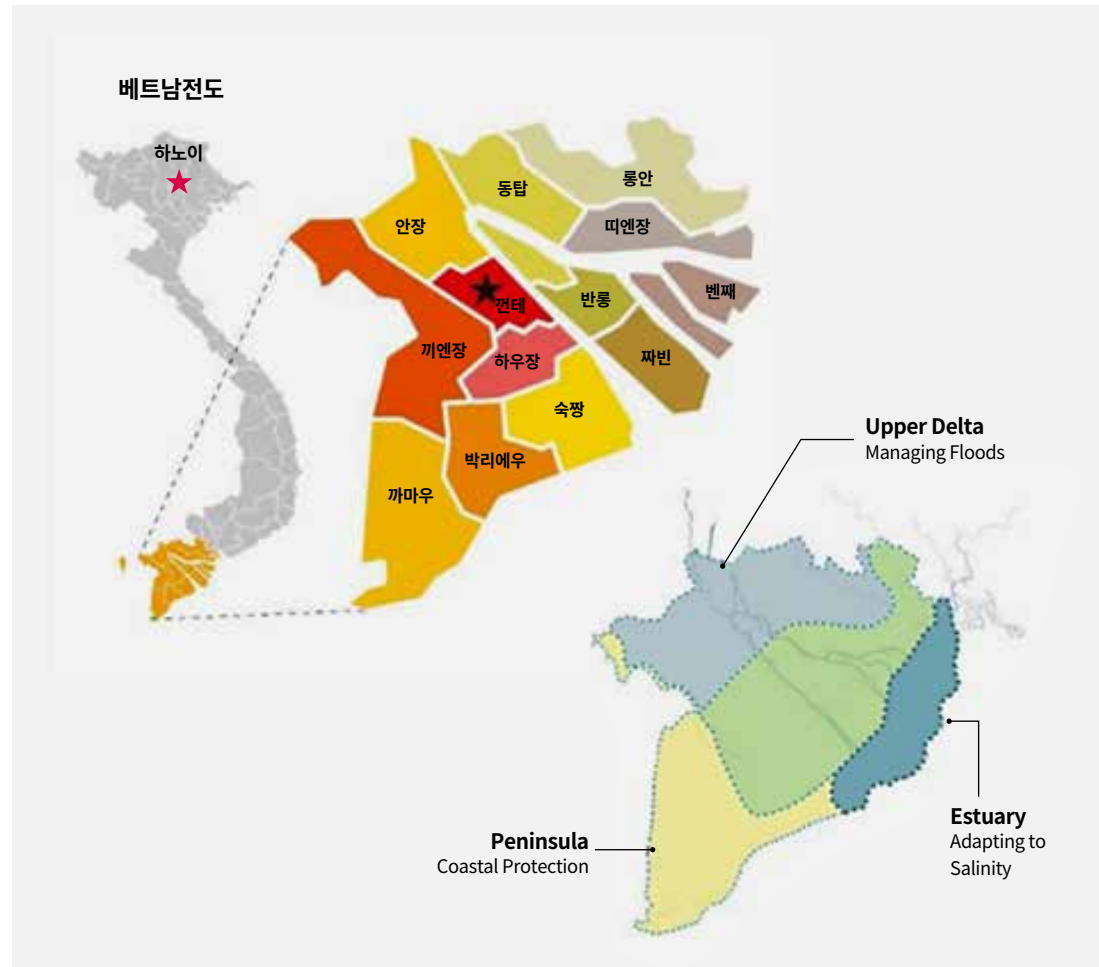
본 보고서에서는 베트남 메콩강 삼각주 맹그로브 생태계와 그 현황 및 맹그로브 파괴 원인인 고밀도 새우 양식의 문제점을 살펴보고, 이를 해결하기 위한 방안으로 IMTA 기술의 도입을 제안하고자 한다. IMTA<sup>1</sup> 기술의 가치를 알아보고 지역적 IMTA 양식이 활성화되기 위한 운영 방향을 제시하고자 한다.

1. IMTA<sup>1</sup>: Integrated Multitrophic Aquaculture System

# 메콩강 삼각주 맹그로브 숲의 현황과 문제점

베트남 메콩강 삼각주는 40,519 km<sup>2</sup>의 광대한 삼각형 평원으로 가장 풍부한 생물 다양성을 가지고 있는 지역 중 하나이다.

<그림 1> (좌)베트남 메콩델타 지역, (우)메콩델타 지역 생태학적 구분  
출처: 베트남 교통부 산하 교통전략개발연구소, 세계 은행



# 기후변화가 메콩강 삼각주 지역에 미치는 영향

베트남 농업부는 메콩 델타 지역의 침식으로 인해 매년 약 500ha의 땅을 잃고 있다고 추정한다. 급격한 기후변화로 인한 홍수 증가, 우기 및 건기 강수량 변화, 해수면 상승으로 인한 범람, 염수 침입이 지역의 생산성 위기로 이어졌다.

베트남 천연 자원 및 환경부<sup>2</sup>가 작성한 메콩 델타 지역 기후변화 및 해수면 상승시나리오에 따르면, (RCP2) 4.5일 경우 해수면은 2050년 23cm, 2100년 55cm 상승할 것으로 전망된다. 해수면 상승은 주요 하천 지류와 운하 시스템으로 염수가 침투하는 현상을 강화하여 물과 하층토의 염분화를 유발하고 자연 생태계의 특성을 변화시키며 일상생활, 농업 및 서비스를 위한 담수 공급에 악영향을 미칠 것이다.

그림 2 출처: 베트남 환경과학개발원

(Unit: cm)

Scenario	Timeline of the 21st Century							
	2030	2040	2050	2060	2070	2080	2090	2100
RCP 2.6	14	20	25	30	34	38	42	46
RCP 4.5	12	18	23	29	35	42	48	55
RCP 8.5	14	20	28	34	43	52	64	77

그림 3 출처: 베트남 환경과학개발원

13 Province in Delta	Inundation risk in percentage of land surface below mean sea level					
	50cm	60cm	70cm	80cm	90cm	100cm
Long An	0,61	1,36	2,85	7,12	12,89	27,21
Tien Giang	3,79	6,71	12,58	25,23	37,57	47,80
Ben Tre	6,74	10,19	15,11	21,46	27,83	35,11
Tra Vinh	2,29	4,95	11,51	22,22	32,79	43,88
Vinh Long	1,31	2,02	3,66	8,28	18,34	32,03
Dong Thap	0,36	0,69	0,96	1,28	1,94	4,64
An Giang	0,08	0,13	0,29	0,49	0,90	1,82
Kien Giang	36,82	48,85	57,18	66,16	71,69	75,68
Can Tho	0,99	2,88	9,97	26,69	44,89	55,82
Hau Giang	18,83	29,37	38,50	45,88	53,21	60,85
Soc Trang	11,32	14,97	20,25	26,91	33,13	55,41
Bac Lieu	20,08	27,78	36,84	46,31	54,38	61,87
Ca Mau	40,31	48,05	56,81	64,42	73,58	79,62
Average whole Region	14,86%	19,69%	27,94%	31,94%	38,80%	47,29%

2. MONRE; Ministry of Natural Resources and Environment



## 고밀도 새우 양식의 보급과 문제점

국제사회의 정책적 지원을 바탕으로 베트남은 1990년대 후반에 새우 양식업에 진입하였고, 또한 양식새우에 대한 전세계적 수요 증가로 인해 새우 양식은 주요 생계 수단이 되었다. 베트남은 지리적으로 양식에 유리한 조건을 갖추고 있고 베트남 양식 수출의 대부분은 메콩 삼각주에서 나온다. 급속한 기후변화와 맹그로브 숲의 파괴로 해수 유입이 더 심해짐에 따라 벼농사가 더욱 어려워지고 더 많은 사람들이 논밭과 맹그로브 숲은 새우 양식장으로 변화시키고 있다.

새우 양식 산업의 주요 문제는 기후 변화에 미치는 악영향이다. 바다와 가깝고 영양분이 풍부하다는 특성 때문에 수십 년간 새우 양식업자들은 맹그로브 숲을 벌목했다. 미국 오리건 대학 연구진은 동남아산 양식 새우 100g이 내뿜는 탄소발자국이 198kg에 이른다는 연구 결과를 지난 2012년에 내놓았다. 이 연구에 따르면, 맹그로브 숲 1ha는 연간 1472t의 이산화탄소를 흡수할 수 있는데, 맹그로브 숲 1ha를 없앤 자리에서 생산되는 새우는 0.5t에 불과하다.

베트남은 맹그로브 숲을 보유한 전 세계 108개국 중에서도 특히 손실 정도가 심각한 국가로 꼽힌다. 숲이 훼손되면서 해안 지역이 급속도로 침식하고, 바닷물도 전보다 더 빨리 내륙으로 침투하고 있다. 염해로 생산량이 줄어든 농민들은 결국 생계를 위해 논밭을 새우 양식장으로 바꾸거나 숲을 개간하는 악순환에 빠진다. 미국의 소리(VOA) 방송은 “메콩 지역에서 새우 양식에 사용되는 토지가 매년 3~5% 증가한다”고 전했다. 그 외에도 주변 지하수, 하천수 오염으로 인한 식수 부족 문제, 지역민 건강 문제, 양식업자 이해관계 문제 등 여러 문제점이 있다.

<그림 4> (좌) 메콩 델타 사진  
(출처: 한국일보 허경주 특파원)  
(우)메콩 델타 염수 침입 현황  
(출처: 한국일보 송정근 기자)



© Antonio Busiello / WWF-US

# 생태통합양식(IMTA)

## 생태통합양식이란

생태통합양식<sup>3</sup>이란 양식대상생물의 배설물이나 사료 등의 부산물을 이용하여 상업적으로 이용 가능한 패류 및 해조류 등이 부산물을 흡수함으로써 양식장 환경에 부정적 영향을 끼치는 영양염류를 제거하여 환경오염 부하 제로에 가까운 친환경 양식기술이다.(장한별, 2018) 이때 양식생물의 배설물과 부산물은 패류가 POM 형태의 용존 유기물을, 해조류는 무기 영양염류(DIN)를 섭취한다. 이를 통해 환경적 지속가능성, 품종의 다양성과 위험 감소를 통한 경제적 안정성, 사회적 수용성을 전부 달성하는 것이 가능하다.(Chopin et al., 2012)

IMTA는 바닷물이 흐르는 방향으로 양식생물의 양식장을 설치하고, 차례로 패류 양식장, 해조류 양식장을 설치하는 방식이다. 이는 바닷물의 흐름에 따라 유기물과 무기물이 이동하도록 하기 위해서이다. 바이오플락, 아쿠아포닉 등의 다른 친환경적 양식기술에 비해 단순한 기술이어서 과도한 기술로 인한 예상치 못한 환경적 부작용 우려를 덜고, 도입이 쉽다는 장점이 있기도 하다.

<표 1> 기존 새우 양식과 IMTA의 차별점

	고밀도 새우 양식	IMS (Integrated Mangrove-Shrimp)	IMTA (Integrated Multi Trophic Aquaculture)
맹그로브 숲 파괴	매년 3~5%의 맹그로브 숲이 새우 양식장으로 개간	맹그로브와의 공존을 추구하지만 이미 새우 양식장으로 개간된 숲의 50% 미만은 그대로 뒤도 된다는 허점 존재	해양에서 양식 진행하므로 X
수질오염	새우의 사료찌꺼기, 배설물, 항생제	새우의 배설물	해양생태계의 먹이사슬을 구현 했기에 거의 X
경제성	대량 폐사의 위험 큼	목재를 통한 수익 창출 기간 10년 이상 소요 이해관계 복잡하여 어민들에게 수입 직접 전달 X	생물의 생존율 및 성장률 높음 다양한 생물 양식으로 소득원 다양화 및 안정화
질병감염	↑	—	↓

3. IMTA, Integrated Multitrophic Aquaculture System

# IMTA의 경제성

케이스 스터디를 통해 IMTA의 경제성을 파악하였다.

<표2> 캐나다 해안의 IMTA시스템 사용 업체의 경제적 효과  
출처: 장한별, 부경대학교(2018)

구분	절감량	절감 가치(NTC)
질소	35.75mt	357,504~1,072,512\$
인	4.09mt	16,343\$

<표3> 동부 캐나다 해안에서 5% 할인율을 적용한 10년간 연어 단일양식과 IMTA의 NPV  
출처: 장한별, 부경대학교(2018)

구분	단일양식	IMTA
총수익	46,328,880	48,194,294
총고정비(감가상각비 제외)	1,073,636	1,185,269
총 변동비	38,331,363	38,479,545
NPV(5%)	2,264,450	2,801,631
매출 대비 총 고정비용	2.7	2.9
매출 대비 총 변동비용	97	94
매출 대비 총 비용	99.7	96.8
이익 마진	0.3	3.2



© WWF-Viet Nam / Cham Team



<표4> 국내외 IMTA 경제성 관련 연구 결과

지역	IMTA 양식의 경제성 관련 연구 결과
노르웨이	1) 사료에 의해 오염된 연어 양식장내 수질을 개선하는 방향으로 연구가 진행 2) 양식생물의 성장률, 생산량을 증가 효과 3) 해양환경오염 저감효과 (환경적 편익) 4) 사료비 감소 등에 따른 경제성
중국	1) 다품종 양식 2) 해삼, 굴, 해조류, 새우 등의 고부가가치 품종을 양식함으로써 수산업의 품질 향상에 기여 3) 지역 내 어업인들에게 IMTA 기술을 전수하여 어가소득향상에도 기여(Mao et al., 2009)
미국, 스페인	1) 생태통합양식 연구가 활발히 진행 중 2) 해양환경오염 저감 효과
남해안	1) 비용항목과 양식생산 판매금액을 이용한 편익비용비율(B/Cratio)은 3.35로 분석 2) 향후 15년간 양식업을 지속할 경우 순현재가치(NPV, Net Present Value)는 11,422백만원, 내부수익률(IRR, Internal Rate of Return)은 26.4%로 경제적 타당성이 있는 것으로 분석 3) 해역특화 IMTA 양식장을 다양한 친환경 수산물을 개발, 판매하는 고부가가치 산업으로 발전시켜 나갈 경우 그 경제적 가치는 더욱 높아질 것으로 판단
통영	1) 시험어장(0.5 ha) 경제성 분석 결과, IMTA의 양식이익은 약 6,800만원으로 분석되었으며, 이는 동일 규모 참돔 단일 양식의 양식이익 약 4,300만원보다 약 1,500만원 더 높은 것으로 추정 2) 참돔 단일 양식이 10.8%의 매출액 순이익률, IMTA는 12.5%로 나타나 IMTA가 단일 어류양식보다 우수한 것으로 평가 3) 환경편익을 고려하게 되면 IMTA의 경제성은 더 높아질 것으로 판단
캐나다 해안	1) Chopin et al.(2010)는 IMTA의 이점과 효과적 시행방법에 관하여 분석 2) IMTA 양식의 질소, 탄소, 인 등의 배출 절감 수준을 NTC(Nutrient Trading Credits), CTC(Carbon Trading Credits) 기준에 의한 화폐단위로 환산하여 배출량 절감에 관한 경제적 효과를 추정 3) 질소 절감량=35.75mt, 질소 절감 가치(NTC)=357504~1072512\$ 4) 인 절감량=4.09mt, 인 절감 가치(NTC)=16343\$
동부 캐나다 Fundy만	1) Ferreira et al.(2012)는 귀족도미(gilthead bream)의 단일양식과 IMTA에 대해 생산성과 환경적 효과를 분석 2) 단일 양식에 비해 IMTA방식이 환경적인 면과 경제성에 있어서 유리한 것으로 분석됨. 3) Fundy만의 기술 데이터를 이용하여 자본 예산 모델로 IMTA의 잠재적 수익성을 도출하였고, 이에 대한 결과로 IMTA가 기존 단일 양식보다 순현재가치(NPV)에서 우위를 보이는 것으로 나타남 4) 경제적 위험 측면에서 IMTA가 단일양식보다 더 안정성이 있는 것으로 평가됨

## 메콩 강 삼각주 맞춤형 IMTA 제안 및 활성화 계획

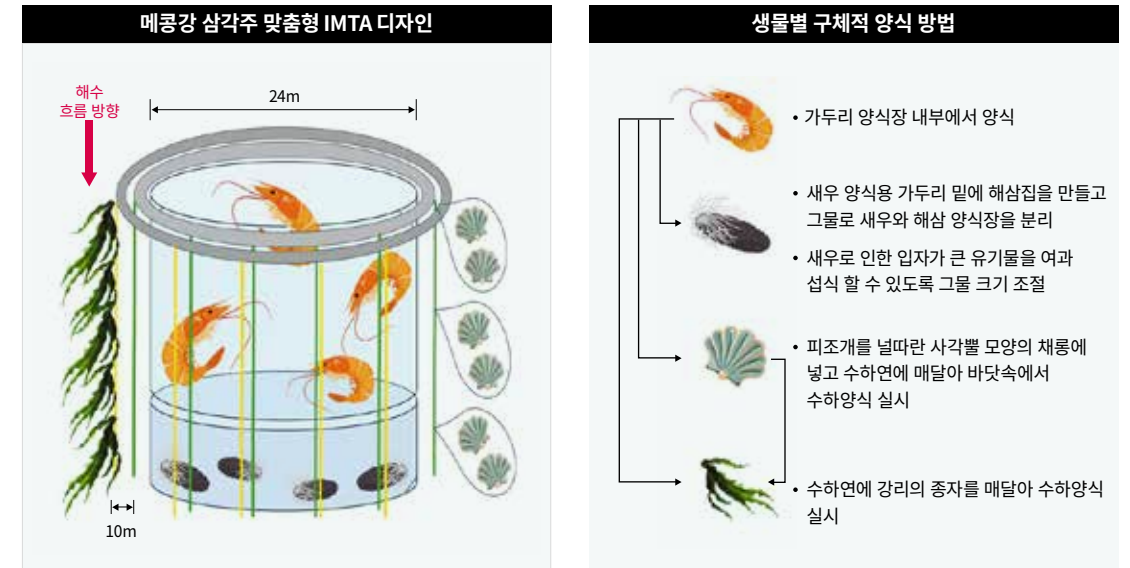
IMTA를 통해 양식할 생물은 다음과 같이 선정하였다.

<표5> 선정된 양식 생물

	생물	선정이유	특징
메인 양식 생물	홍다리얼룩새우	• 해당 지역의 환경에 적합전세계에서 식용으로 높은 수요 • 맹그로브 숲을 개간하여 만드는 새우 양식장에서 가장 활발히 양식	전 세계에서 식용으로 높은 수요
패류	피조개	• 해당 지역의 환경에 적합 • 수하양식이 가능하여 IMTA 적용 용이	베트남 자체에서 식용으로 높은 수요
해조류	강리	• 해당 지역의 환경에 적합 • 양식 난이도 쉬움	품질이 안정적이며 가격이 저렴하여 산업용으로 전세계에서 높은 수요
극피동물	해삼	• 해당 지역의 환경에 적합 • 여과 섭식이 가능하여 IMTA에서 핵심적인 역할을 수행	식용, 신약의 소재로 베트남, 중국 등에서 높은 수요

IMTA를 통해 양식할 생물은 다음과 같이 선정하였다.

<그림 5> IMTA 양식 디자인



위의 IMTA 모델을 대상으로 시범사업을 진행하여 구체적인 평가 결과를 도출, 어민들에게 알리고 기술 도입을 지원할 IMTA 모델을 고안한다. 시범사업 대상지는 Ca Mau로 선정했으며, 해당 지역의 맹그로브가 제공하는 4개의 생태계 서비스의 총 경제적 가치는 2010년에 약 6억 달러로 약 3,000 ha/year로 추정된다.



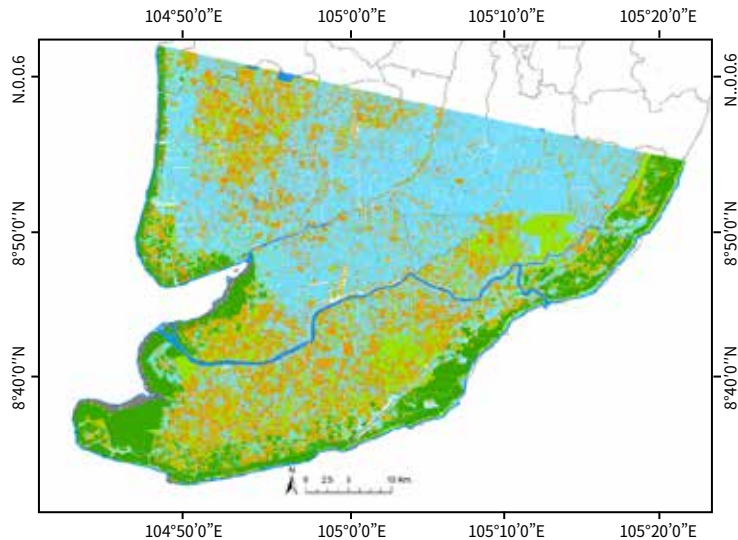
<표6> Summary of the total economic value of mangrove ecosystem services in Ca Mau Province in 2010 출처: Vo et al., 2015.

Ecosystem service	Based on		Mean value (US\$/ha/yr)	Value	Sum
Fisheries	Mangrove cover in ponds (%)	<30%	991	5913,297	17,720,222
		31-69	1,289	3,966,253	
		≥ 70%	3,248	7,840,672	
Erosion control	Distance to the coastline (m)	1,000	7,904	80,307,000	136,566,000
		3,000	1,651	40,185,000	
		4,000	450	16,074,000	
Carbon sequestration	Mangrove area (ha)	73,994	620	45,876,280	45,876,280
Timber	Mangrove area (ha)	73,994	5,700	421,770,246	421,770,246
<b>Total value of Ca Mau in 2010 (US\$)</b>					<b>621,932,748</b>
<b>Total area (ha)</b>					<b>187,533</b>
<b>Mean value/US\$/ha/year</b>					<b>3316</b>

<그림 6> Ecosystem service values in Ca Mau Province; an overview of direct-use values and indirect-use values 출처: Vo et al., 2015

범례(Legend US\$/ha/year)

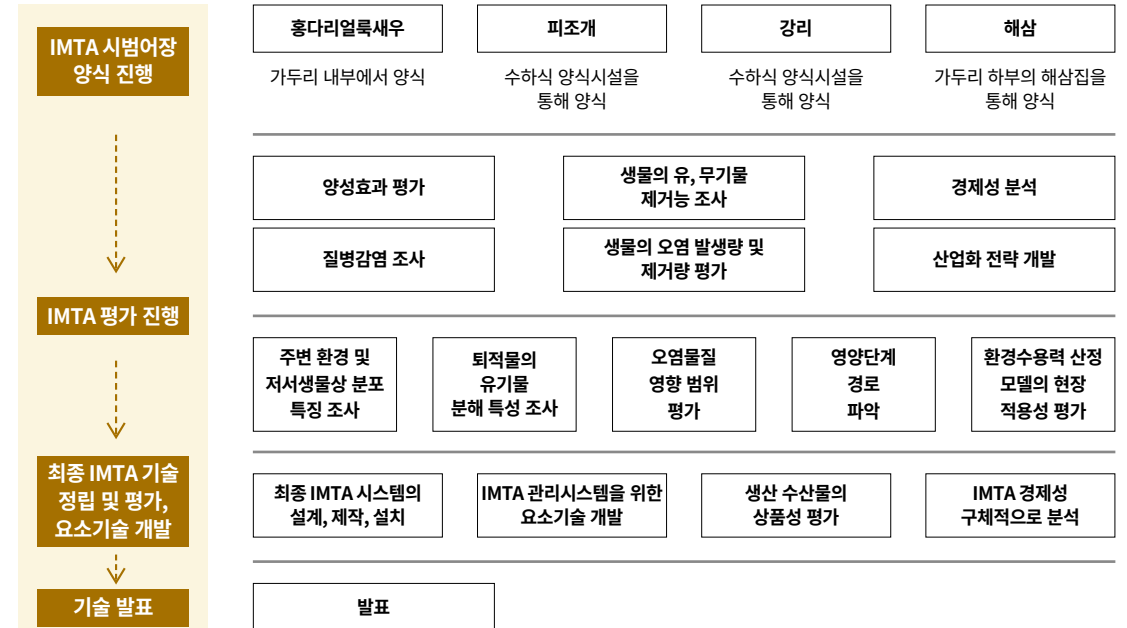
- <1,000
- Mudflat
- 1,000 - 2,000
- Coastline
- 2,001-4,000
- Commune border
- 4,001 - 10,000
- River-Canal



위 그림은 Ca Mau 주 맹그로브 생태계 서비스의 총 경제적 가치의 공간적 분포를 보여준다. 맹그로브 밀도와 해안까지의 거리에 의해 전달되는 생태계 서비스의 가치에는 상당한 변동성이 있는데 해안에 가까운 곳에 위치한 맹그로브가 가장 높은 값은 연간US\$4,001~10,000/ha정도를 제공하는 것으로 추정된다 (Vo et al., 2015). 이곳은 맹그로브 변화가 많은 지역으로, 해당 지역에서 시범사업을 진행하고 결과를 분석할 시 결과가 다양한 지역에서 범용성을 지닐 수 있을 것으로도 기대된다. Ca Mau 주 중에서도 다양한 수산생물의 서식 및 양식이 가능한 곳, 자연재해의 영향이 적은 곳 등의 IMTA 적지 선정 기준을 모두 통과하는 곳을 현지인과 연구원의 도움을 얻어 선정한다.

다음으로, 아래의 그림과 같이 IMTA 시범사업을 진행하고 구체적인 사항에 대한 평가를 실시한다. 요소 기술이란 IMTA 관리시스템 운영을 위한 것으로, 데이터를 수집해 먹이 공급량을 자동으로 조절할 수 있거나 수질오염 정도를 파악하는 알고리즘을 설계하고, 친환경 에너지를 통해 얻은 전력으로 이를 가동할 수 있도록 하는 기술을 만드는 것을 뜻한다 (국립수산과학원, 2019).

<그림 7> IMTA 시범사업 개요





© WWF-Viet Nam / Cham Team

<표 7> 메콩강 삼각주 맞춤형 IMTA의 PDM

프로젝트 논리	지표	검증수단
<b>영향</b> 파일럿 지역의 신규 새우양식장 확장 저지	1. 신규 새우양식장의 수 2. 신규 새우양식장의 증가율	1. 프로젝트 시행 수 3-4년 후 추적관찰 보고서 2. 지자체 발행 새우양식장 수 통계 보고서 비교
<b>성과</b> 1. IMTA 양식장 선호 증가 2. IMTA 양식장의 경제적, 안정적인 운영에 대한 인식 제고	1. IMTA 양식에 대한 양식업자들의 선호도 2. a. IMTA 양식장 운영의 경제적 이점에 대한 생산업자들의 인식 2. b. 신규 새우 양식장보다 IMTA를 선호하는 생산업자들의 수	1. 사업 종료 후 n년 이내에 수행하는 종료평가시 사업관리자가 수행하는 설문조사 결과 2. a. 사업 종료 후 n년 이내에 수행하는 종료평가시 사업관리자가 수행하는 설문조사 결과 2. b. 사업 종료 후 n년 이내에 수행하는 종료평가시 사업관리자가 수행하는 설문조사 결과
<b>산출물</b> 1. IMTA 양식장 수 증가 2. 단일품종 양식장에 비한 IMTA 양식장의 수입 증가 3. 물질 배출 규모 절감	1. IMTA 기술사용 양식장 수 2. a. IMTA 양식장의 총 수입 2. b. IMTA 양식장의 NTV 3. a. IMTA 양식장의 NTC 3. b. IMTA 양식장의 CTC	1. 프로젝트 시행 수 3-4년 후 추적관찰 보고서 2-1. 프로젝트 수행 결과 보고서 2-2. 프로젝트 수행 결과 보고서 3-1. 프로젝트 수행 결과 보고서 3-2. 프로젝트 수행 결과 보고서

또한, 해당 기술이 발표된 후에도 지자체, 어민들과 협력하여 IMTA 양식장이 단순한 양식시설에서 나아가 현지 학생들의 창의성 및 환경 교육과 체험활동을 진행할 수 있는 교육프로그램을 실시하는 곳으로 활용될 수 있도록 연구를 지속한다. 최종적으로는 어민들이 기존의 고밀도 새우 양식에서 IMTA로 양식법을 변경하도록 유도, 지원하고, 버려진 고밀도 새우 양식장은 수질정화를 거친 후 맹그로브를 심어 맹그로브 숲의 복원을 진행하도록 한다. 그리고 IMTA 프로그램 후에도 향후 3~4년간 해당 지역을 관찰하며 기술 전수 과정과 활용 여부에 대해 평가한다.



# SHINE(지속가능한 IMTA 어업의 정착, 이를 통한 맹그로브 숲의 보전)

## 사업 아이디어 및 비전

<그림 8> SHINE 전략 개요



SHINE 전략은 한-베트남 MOU와 민간 및 국제 기관들과의 협력을 통해 거버넌스를 구축하고, 경제적이며 지속 가능한 IMTA 기술의 성공적인 정착과 기존 고밀도 새우양식장의 확장을 저지하는 데 초점을 맞추며, 궁극적으로는 맹그로브 숲을 보호하는 비전 실현을 목표로 한다. 이때, 포괄적 접근방식으로 (1) 연구 및 개발, (2) 정책 지원, (3) 세계시민교육을 채택하여, 사업의 안정성을 높이고 성공을 촉진한다.

### R&D 기술전수 역량강화개발 ODA

한국농어촌공사는 ODA 사업의 지속적인 성과 및 사업 관리를 강화하면서 농어업과 농어촌 종합개발 지원을 위한 관련 사업들의 융복합 연계 사업을 착수 중이다. 한국수산자원연구소는 이미 인천시와 협업하여 영흥화력발전소 배출 냉각수를 활용을 가정한 생태통합양식 시스템을 구축하고 양식장의 생산성 증대, 해삼·패류 및 해조류 양식에 의한 양식생물 배설물과 남은 사료의 유기물 및 무기영양염류 제거 효율, 해조류의 이산화탄소 흡수 능력 등을 확인하는 연구와 함께 블루카본을 연구한 바 있다. 한국농어촌공사의 ODA 프로젝트의 일환으로 한국수자원연구소를 통해 베트남 맹그로브 연안지역에서 IMTA 기술 전수 및 현장관리, 기술컨설팅을 지원한다.

<표 8> 농업 ODA DESK 주요 업무

구분	주요 업무
정책 분야	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 수원국 정부의 농업관련 정책 및 추진방향 등 파악</li> <li>• 농식품부 국제농업협력사업의 연계·협력체계 구축</li> </ul>
기술 분야	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 농식품부 국제농업협력사업 관리                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 신규사업 기획·발굴 - 계속사업 관리·점검(기성·중간·연도말)</li> <li>- 종료사업 모니터링, 사후관리 사업 지원</li> </ul> </li> <li>• PMC 파견 전문가 지도 점검</li> <li>• 기술 컨설팅(농업·농촌개발, 그린 뉴딜 등)</li> </ul>
기타	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 현지 공관 및 국제개발협력 유관기관 업무 협력</li> <li>• 농림 ODA 사업 국내 및 현지 홍보 강화</li> <li>• 국내 농산업 관련기업의 해외진출 여건 지원</li> </ul>

※수원국 정부와 합동으로 사업지구 현장관리 및 기술 컨설팅 지원 등

## 단기 및 장기적 자금 조달의 적합성 및 방향 검토

### 양자간 ODA

대외경제협력기금 (EDCF)를 통해 양허성차관을 발행하여 비구속적 성격으로 R&D ODA에 대한 자금을 수급하여 부담을 줄이는 동시에 상환의무를 통해 수혜국으로 하여금 책임감과 주인의식을 가지고 주도적으로 참여할 수 있도록 유도할 수 있다.

장기적으로는 혼합성차관을 수용할 수 있다. 혼합성차관은 민간기업 투자를 받음으로써, 양허성차관에 비해 구속적이지만 민간기업 투자로 수출을 촉진함으로써, IMTA를 통해 증가할 것으로 기대되는 어획량 처리에 용이하며 사업의 경제성과 수익성을 증가시켜 수혜국의 참여를 적극화 할 수 있다는 장점이 있다.

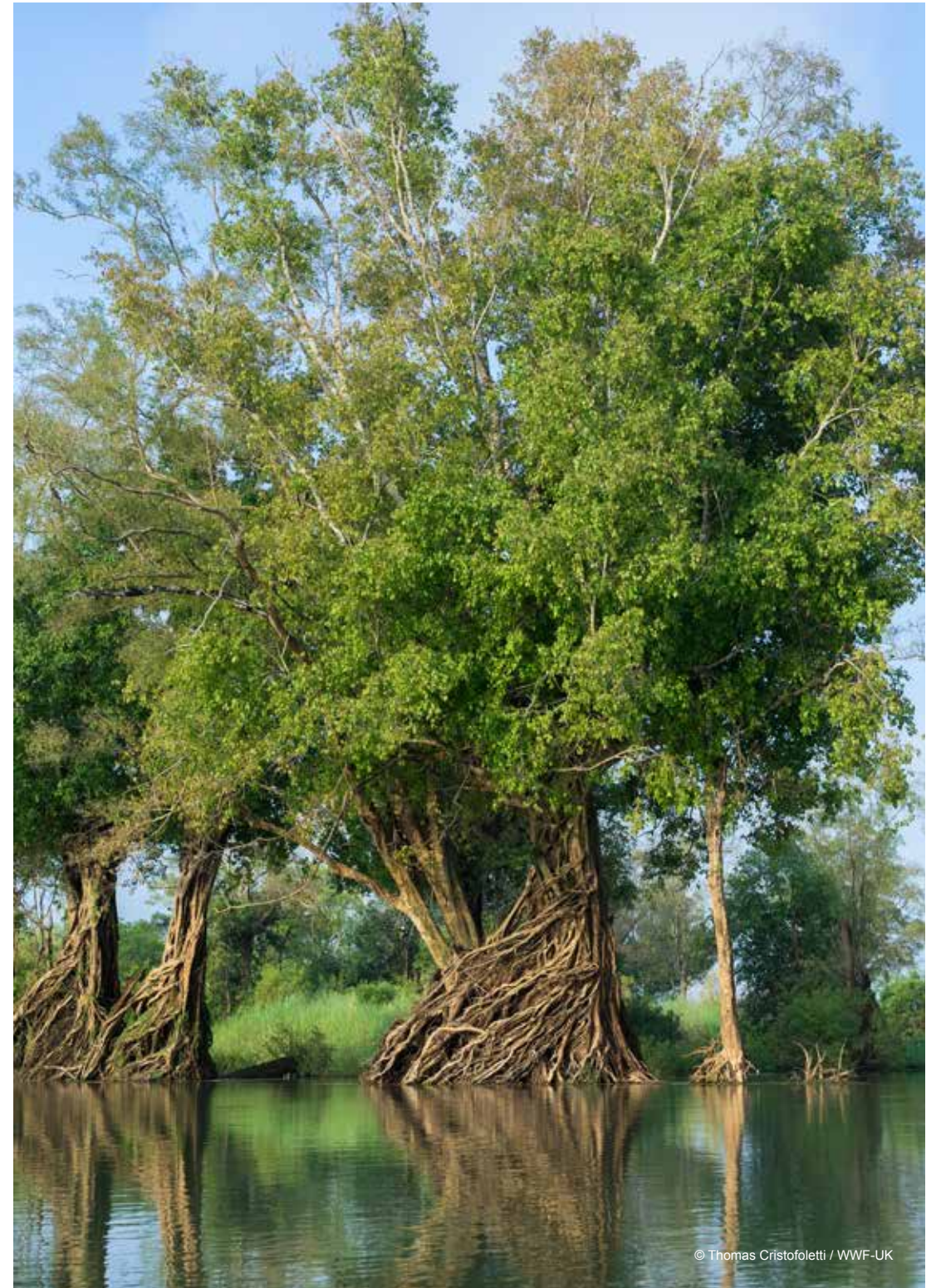
### 다자간 ODA

다자간 ODA는 셋 이상의 정부기관 및 민간, 국제기관이 참여하는 ODA의 형태를 일컫는다. 자금 출처의 다자화로 자금 수급의 안정성을 높이고, 자금 규모의 성장으로 대형 사업을 진행함으로써 더 효과적인 글로벌 결과물을 만들 수 있다.

UN 산하기구인 CDM 및 민간기구인 VCS의 인증을 통과함으로써, 맹그로브 군집 대상지역들의 자연보전 사업에 대하여 추가적인 원조금을 받을 수 있을 것으로 기대된다. 특히 국제기구를 포함한 여러 기관에게 결과를 보고하고 인증 받는 절차가 상당히 체계적이기에 보다 정확하고 내실 있는 결과물을 도출하는 활동으로 이루어질 수 있을 것으로 기대된다.

<표 9> 자금별 특징

자금	출처	성격	기간	상환여부
양허성차관	EDCF	비구속적	중장기	○
혼합성차관	EDCF+민간사업체	구속/비구속 양립	장기	○
CDM	UN	공조적	중장기	X
VSC	민간/국제기구	공조적	단~장기	X



© Thomas Cristofolletti / WWF-UK



# 포괄적 보전사업 세부사항

## R&D 기술전수 역량강화개발 ODA

### R&D 사업개요

IMTA 기술을 성공적으로 수행하기 위하여 기술이전 및 연구개발 사업을 수행하여 베트남의 IMTA 기술역량을 강화하고, 이후 자체 IMTA 기술의 활용 및 재창조가 가능하게끔 지속가능한 기술의 활용을 도모하고자 한다.

이를 통해 (1) 글로벌 문제 해결 기여; (2) 수해국(베트남) IMTA기술 자체 경쟁력 확보; (3) 글로벌 휴먼 네트워크 강화를 통한 전문인재 양성의 결과를 기대할 수 있다.

R&D 및 산하기관을 통해 민간 직업교육을 시행할 현지 교육기관으로는 호치민 시에 위치한 베트남 해양대\*를 선정하였다. 현지에서 수산과학기술이 가장 발달했으며, 해안과 근접하여 시뮬레이션에 용이한 환경이라는 점과 해양수산 연구를 진행한 경험이 있어 해양수산연구에 요구되는 일반적인 장비 및 시설이 상당수 갖춰져 있다는 점을 종합적으로 고려하였다.

4. Vietnam Maritime University: 해양공학기술분야 베트남 내 1위, 아시아 내 203위, 전세계 643등 (출처: EduRank)

<그림 9> R&D 사업개요



### 수행사항 세부사항

### PDM (Project Design Matrix)

아래의 절차를 통하여 예산선정, 공식적인 MoU의 체결 등 필요한 사전 준비 작업을 완수하며 R&D에 성공적으로 착수 및 매진할 수 있다.

<표 10> PDM 절차

단계	활동	담당자/부서	시작일 (미정)	종료일 (미정)
준비	프로젝트 범위 및 목표 설정	베트남-한국수산기술연구소	2024-03-01	2024-03-25
	프로젝트 팀 구성	한국수산기술연구소	2024-03-26	2024-04-10
	자원 할당 및 예산 결정	EDCF-한국수산기술연구소	2024-04-11	2024-04-26
계획 실행	프로젝트 일정 및 활동 계획 수립	한국수산기술연구소-UM	2024-04-27	2024-05-15
	리스크 관리 및 대응 전략 수립	한국수산기술연구소-UM	2024-05-16	2024-06-01
	베트남 해양대학 MoU 계획 수립	한국수산기술연구소-UM	2024-06-02	2024-06-10
	IMTA 전문가 방문 일정 조정 및 확정	한국수산기술연구소-UM	2024-06-11	2024-06-20
	IMTA 전문가 방문 및 교육 프로그램 개최	한국수산기술연구소-UM	2024-06-21	2024-09-21
	IMTA 시범사업 진행 계획 수립	한국수산기술연구소-UM	2024-09-22	2024-10-01
	IMTA 장비 및 자재 구매 및 배송 조정	한국수산기술연구소-UM	2024-10-02	2024-10-15
모니 터링	IMTA 시스템 설치 및 구축	한국수산기술연구소-UM	2024-10-16	2024-12-16
	IMTA 전문팀과 협력하여 시스템 모니터링	IMTA 전문팀-베트남 현지 팀	2024-12-17	2025-02-17
종료	시스템 운영 중 발생한 문제 해결	한국수산기술연구소-UM	2025-02-18	2025-05-18
	프로젝트 완료 보고서 작성 및 발표	한국수산기술연구소-UM	2025-05-19	2025-06-03
	평가 및 향후 계획 수립	한국수산기술연구소-UM	2025-06-04	2025-06-15
	최종 보고서 작성 및 제출	한국수산기술연구소-UM	2025-06-15	2025-06-30

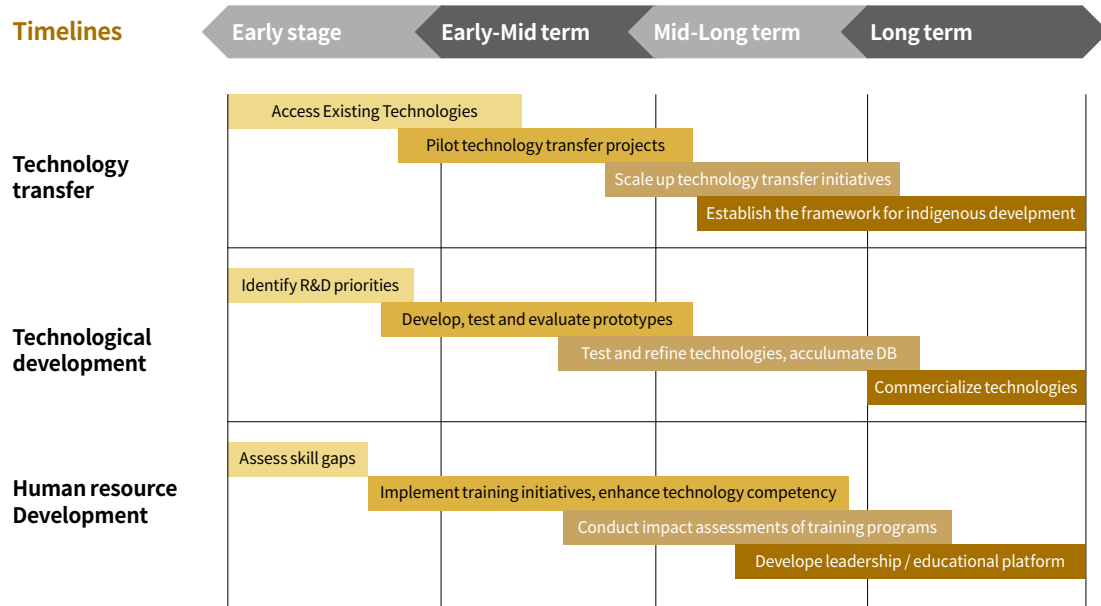
<표 11> R&D ODA 사업에 활용할 PDM의 대략적인 예시

프로젝트 논리	지표	검증수단
<b>영향</b> IMTA 기술이전 및 자체경쟁력 확보	IMTA 기술 경쟁력 QS 랭킹 및 논문 투고/발행 수, VCIS 등재 연구논문 수	연구기관의 향후 1-5년 연구보고서 및 연례과학기술평가 순위 보고서
<b>성과</b> 1. 베트남 해양수산업 분야에서의 IMTA 양식법의 실행 필요성 인식 제고 2. IMTA 양식업의 활성화	1. IMTA 양식의 이점 및 필요성에 대한 설문조사 결과에 대한 설문조사 결과 2. a. IMTA 양식업을 활용하는 것을 고려했거나 들어본 관련 분야 종사자의 수 2. b. 사업종료 후 추적관찰기간 동안 IMTA 양식업을 채택한 양식업장 수	1. 사업 종료 후 n년 이내에 수행하는 종료평가 시 사업 관리자가 수행하는 설문조사 결과 2. a. 사업 종료 후 n년 이내에 수행하는 종료평가 시 사업 관리자가 수행하는 설문조사 결과 2. b. 사업대상지 당국 분기별 IMTA 사용 양식업장 수 동향 보고 결과
<b>산출물</b> 1-1. 베트남 현지에 적합한 IMTA 기술 개발 2-1. 자체 IMTA 연구개발 역량 보수자 수 유 전 3-1. IMTA 연구 플랫폼 확립	1-1. IMTA 기술사용 양식장의 어획량 2-1. R&D 참여 교육 프로그램이 3-1. IMTA 유관분야 연구실적	1-1. 프로젝트 사업 수행 결과 보고서 2-1. 프로젝트 사업 수행 결과 보고서 3-1. 프로젝트 사업 수행 결과 보고서

### R&D 수행 로드맵

R&D는 크게 (1)기술이전 (2)기술개발 (3)인적자원개발 분야로 나누어서 진행할 수 있으며 이 세 분야의 수행 타임라인은 아래의 표와 같다.

<그림 10> R&D 수행 로드맵



### R&D 사업의 기대효과

IMTA 기술을 이전 및 역량강화프로젝트를 통해 (1) 베트남의 IMTA 기술 경쟁력 확보가 가능하다. 또한 (2) 연구개발을 통해 현지에 가장 적합한 어종 배합 및 기타 IMTA 기술발전을 도모할 수 있으며 (3) IMTA 양식업의 효과적이고 경제적인 정착을 가능케 한다. 장기적 관점으로는 (4) 연구 DB의 구축과 (5) IMTA 전문인력 양성을 바탕으로 지속가능한 IMTA 연구 및 개발역량을 갖추 수 있다.

## 정책적 지원

베트남정부, 국제기구, WWF 및 기타 민간기구의 협업을 통해 IMTA 사업의 효과성을 증대하고 장기적이고 국제적으로 활용될 수 있는 방안을 마련할 수 있다. 또한, 정책의 개정 및 설립/적용에 일조함으로써 IMTA 기술을 채택한 양식장에 인센티브를 제공하여 지자체와 개인의 참여에 동기 부여할 수 있으며, 맹그로브 수역의 보존 활동들에 포괄적 지원을 직간접적으로 할 수 있을 것으로 기대한다.

<그림 11> 정책적 지원 방향



### WWF와 ASC 인증제도

세계양식책임관리회<sup>5</sup>는 해양 생태계에 미치는 부정적인 영향을 최소화하고, 생물다양성을 보전하는 지속가능한 양식업 시장 활성화를 위해 설립되었다. ASC 표준은 양식장과 수산물의 생산, 가공, 유통업 전반에 걸쳐 관리한다. WWF는 신뢰할 만한 양식 새우 인증제도가 시장에 도입되도록 국내외로 지원하고 있다. WWF-Vietnam은 소규모 새우 양식 가구가 지속 가능한 새우 생산 방식을 채택하여 ASC 인증 획득이 가능하도록 지원하고 있다(WWF, 2017).

5. ASC: Aquaculture Stewardship Council



특히 ASC가 조사한 베트남 새우의 ASC 마크 취득 효용 연구 결과에서, ASC 인증을 받은 새우양식장의 경우 친환경 인증이 없거나, 비ASC 인증을 받은 새우양식장에 비해 1톤 당 약 72.6% 더 높은 가격을 받았고, 궁극적으로 더욱 증가한 순수입을 올리고 있음을 밝혔다.<sup>5</sup> 2021년 Xuan의 연구에 따르면, 베트남 시장에서 친환경 인증 로고가 표시된 양식 새우가 기존 새우보다 선호되었고, 인증 새우 4종<sup>6</sup> 가운데 소비자는 ASC 로고가 표시된 새우를 구매할 때 가장 큰 효용을 얻는다고 한다(Xuan et al., 2021).

<그림 12> WTP for different shrimp products (VND 1000/kg)

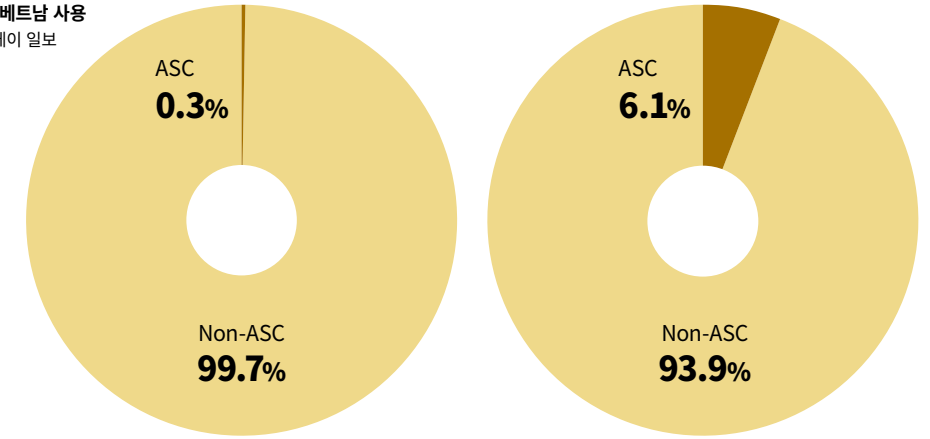
출처: Xuan et al., 2021

Labels	MNL with interaction		MIXL with interaction			
	Mean	95% Confidence Interval	Mean	Standard deviation	Quantile 2.5%	Quantile 97.5%
VietG.A.P	183***	[122; 244]	256***	281	35	792
GlobalG.A.P	209***	[145; 274]	325***	316	106	961
ASC	243***	[173; 312]	365***	343	138	1057
Naturland	208***	[141; 274]	303***	295	199	896
No label	231***	[160; 303]	242***	294	-25	821

Note: \*\*\*=1% significance level

6. The study identified that although ASC certified farms faced higher costs in electricity, production, and feed, farmers were able to secure better prices per tonne at the farmgate level (up to 76.4% higher), resulting in a more robust net income. This demonstrates the ASC scheme's potential to enhance the profitability of farms and offset increased operational costs.  
7. VietG.A.P, GlobalG.A.P, ASC, Naturland

<그림 13> ASC 표준의 베트남 사용 현황 분석 출처: ASC, 닷케이 일보



하지만 소비자 및 생산자들에게는 잘 인식되지 못하고 있다. 베트남에는 약 10만개의 크고 작은 새우양식장이 있고 연간 총 생산량은 1.2백만t이다. 이 중 ASC 인증 양식장은 총 300여개이며, 이곳에서 생산되는 ASC 인증 새우는 7만3천t이다. 이는 양식장의 0.3%, 새우생산의 단 6%에 불과하는 수치이다. 낮은 점유율을 개선하여 ASC 인증이 새우양식장 및 업자에게 가져가주는 혜택을 확대하기 위해서는 ASC 제도를 홍보하고 인식시킬 필요가 있다고 사료된다.

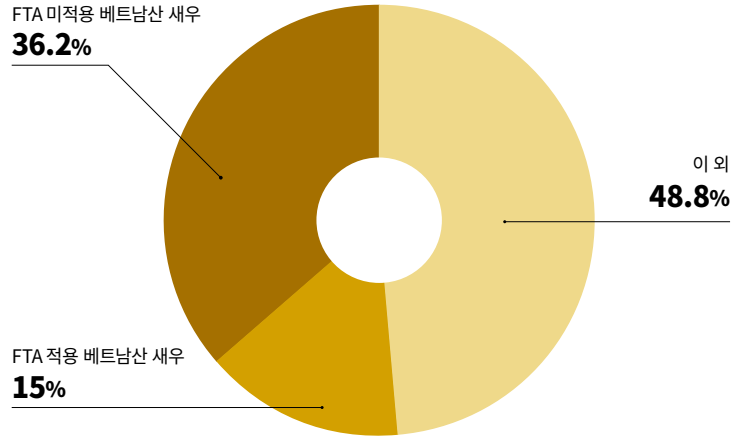
### ASC 인증 수산물에 한해 VKFTA 관세 조정 도입

베트남수산물수출생산자협회(VASEP)에 따르면 한국으로의 새우 수출 할당량은 연간 15,000톤에 불과하지만, 수입량은 이를 크게 초과했다.<sup>8</sup> 따라서 한국 수입업체들이 14~16%에 달하는 관세를 부담하는 실정이고, 이 때문에 베트남의 가격 경쟁력이 떨어지게 되었다. 해관총국에 따르면 2023년 한국 새우 수출은 전년대비 27% 감소한 3억 4300만 달러에 불과했다고 한다. VASEP은 수요 증가 잠재적 핵심 시장인 한국에서의 수산물 수출 경쟁력 확보를 위한 한국 정부 차원의 노력을 요청하였다. 즉, VKFTA의 확대에 대한 수출입자들의 염원의 목소리와 수요가 존재하며 이는 곧 그린 정책의 니치마켓이 될 수 있다는 것이다.

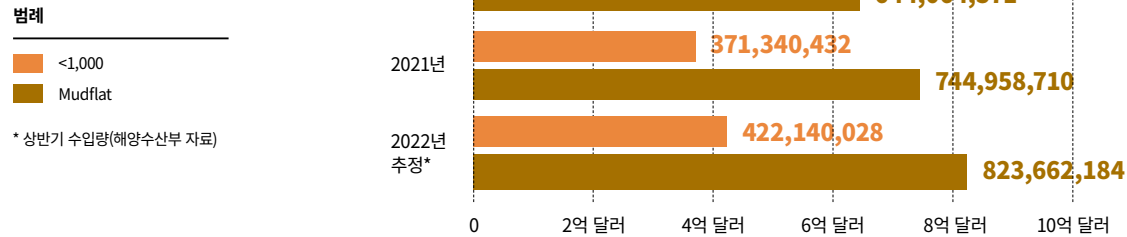
한국은 새우양식으로 인한 멧그로브 숲 파괴의 책임에서 자유롭지 않다. FAO에 따르면, 한국은 2022년에 9,410톤을 수입하였고 이는 21년도보다 9.40% 증가한 수치이며 전세계에서 5번째로 큰 규모이다(FAO, 2023).

8. 총 수입량의 약 70.7%에 달하는 베트남산 새우는 FTA의 혜택을 받지 못한다. (출처: 해양수산부의산업포털 통계치 활용)

<그림 14> 우리나라의 새우 수입 분석  
출처: 해양수산부의산업포털, 2018



<그림 15> 우리나라 전체 새우류 품종 수입량과 베트남산 수입량  
출처: 유엔식량농업기구



<표 12> World top importers of shrimp  
January-December (1 000 tonnes)  
출처: 유엔식량농업기구, 2023

	2020	2021	2022	% change 2022/21
China	613.10	658.1	949.30	44.30
European Union	660.10	741.20	835.90	12.80
United States of America	747.40	895.00	841.60	-6.00
Japan	211.90	219.30	222.20	1.30
Republic of Korea	77.90	86.10	94.10	9.40
United Kingdom	75.80	82.80	77.60	-6.30
Russian Federation	58.70	89.80	55.70	-38.00

Source: Author's own elaboration based on TDM. 2023. Trade Data Monitor. Cited 1 May 2023. www.tradedatamonitor.com

<그림 16> ASC 인증 제공 및 VKFTA 특별적용 기대효과

- 1 IMTA 양식법 홍보효과
- 2 ASC 인증제도의 홍보효과
- 3 관세저감으로 가격경쟁력 확보

따라서 우리는 IMTA 양식과 같은 방식으로 지속가능한 생산방식으로 ASC 인증을 받은 새우에 대한 VKFTA 항목 조정을 제안한다. 해당 인증이 있을 경우 지속가능한 정책의 일환으로 관세를 감해주거나 인센티브를 주는 방법이다. ASC 표준을 VKFTA 항목으로 도입할 시 다음과 같은 기대효과를 생각해볼 수 있다.

베트남 새우 양식업자들의 지속가능한 생산 형태로의 자발적인 참여를 이끌어낼 수 있다. 더불어 베트남 정부 차원에서도 수출 경쟁력 확보를 위해 지속가능한 방식으로의 양식 방식을 적극적으로 활성화시킬 유인책이 생긴다. 또한 높은 프리미엄을 가지지만 상대적으로 인식은 잘 되지 못하던 ASC 인증제도를 베트남 내에서 확대하는 원동력이 될 것으로 기대한다.

WWF는 신뢰할 수 있는 기준과 인증제도가 표준으로 자리하기 위해 지속적으로 공공 정책 입안에 참여하여 자발적 인증 작업을 지원하는 노력을 하고 있다(WWF-Korea, 2016). 지난 몇 년간 WWF가 인증제도를 통해 시장에 변화를 이뤄낸 만큼 ASC 인증을 확대하기 위해 위와 같은 정책을 구체화하여 입안에 참여하면 사회적으로 긍정적인 영향을 행사할 것으로 보인다.



# 민간교육사업

## 어민대상 IMTA 기술 교육

### IMTA 기술 이론 교육

아래는 이론교육에 사용할 교재의 예시이다. 이를 통하여 (1) 프로젝트에 대한 이해를 고취하는 동시에 (2) 참여도 및 수행 완성도 향상을 목표로 한다.

<그림 17> IMTA 기술 교재 예시

### IMTA 요소

붉은 물고기 (새우, 지느러미 물고기) + 추출된 유기종 (조개, 말미잘) + 추출 불가능한 유기종 (해조류, 해조류)

### 왜 IMTA가 다른 새우 양식장보다 나은가요?

비용 절감, 소득 증대  
맹그로브 숲을 보호하세요

### IMTA 기술 현장 실습 교육

IMTA 기술에 대한 이론 교육이 끝난 후에는 현장에서 답사 및 실습을 통하여 실천 감각을 익히고, 기술의 주도적인 활용이 가능하도록 한다. [현장답사] → [기술실습] → [프로젝트 투입]의 커리큘럼을 따르며, 궁극적으로 (1) 기술의 실천적 이해도를 높이고 (2) 숙련도를 최대한으로 끌어올리는 것을 목표로 한다.

### 교육 평가 관리 및 인증제도

학습지를 통해 P/F 형성평가<sup>9</sup>를 시행하여 이해 수준을 평가한다. 이를 통해 (1) 즉각적 피드백을 통한 수업 조정 (2) 용이한 이해도 파악 (3) 자연스러운 수업 복습 (4) 서술형으로서 학습효과 증대의 결과를 기대할 수 있다.

<그림 18> IMTA 기술 현장실습교육의 세 가지 과정



현장실습의 평가의 주체는 실습기관 및 실습지도자이다. 현장실습의 평가는 수행평가<sup>10</sup>의 방식을 취한다. 수행평가 특성 상 (1) 수업시간 중 높은 참여도와 집중도가 기대되며, (2) 기관 및 지도자와 교육생의 직접적인 상호작용을 통해 학생들의 배움에 용이하다는 장점이 있다. 또한 (3) 교육과정에 대한 즉각적 피드백이 가능하며 (4) 현지 상황에 맞는 커리큘럼 수정이 용이하다.

교육 코스를 완주한 수료생들에게 수료 인증서를 발급한다. 이를 통해 (1) 공식적으로 수료를 알리고 (2) 환경친화어업 활용 고용기회를 제공하며, 수료에 대한 (3) 자기만족, 자부심을 고취하며 (4) 지속적 학습, IMTA 사용을 동기부여 한다.

## 세계시민교육 및 지속적 홍보사업

해당사업이 진행되는 지역을 대상으로 세계시민교육<sup>11</sup>을 백일장, 팝업 행사 등 다양한 방식으로 재미있고 창의적으로 개최하여 다양한 연령대의 참여를 유도한다. 이 때 주제를 ‘탄소중립’ ‘환경보호’ ‘맹그로브의 중요성’ 등 프로젝트의 키 메세지로 설정하며 참가자들의 인식을 제고할 수 있다. 더불어 IMTA의 이점에 대한 내용을 포함하여, 잠재 양식업 종사자 및 유관분야 관련인들에게 IMTA와 그린양식, ASC인증제도 등 위에서 기술된 내용에 대한 홍보효과 또한 기대할 수 있다.

9. 형성평가(形成評價, Formative Assessment): 형성평가는 학습 과정에서 학습자의 이해도와 진행 상황을 진단하고 피드백을 제공하여 학습의 목표를 달성하는 것을 돕는 평가방식.  
10. 수행평가(遂行評價, performance assessment): 습득한 지식, 기능 및 기술을 인위적인 평가 상황에서 얼마나 잘 수행하는지 혹은 어떻게 수행하는지를 서술, 관찰, 면접 등의 방법을 통해 종합적으로 평가하는 방식. (대한민국 교육부)  
11. 세계시민교육(Global Citizenship Education, GCE): 학습자들이 더 포용적이고, 정의롭고, 평화로운 세상을 만드는 데 이바지할 수 있도록 필요한 지식, 기능, 가치, 태도를 길러주는 교육 (UNESCO)

# 결론 및 제언

급격한 기후 변화로 인해 기존의 벵농사 대신에 고밀도 새우 양식이 주요 소득원으로 전환되면서 베트남 메콩강 삼각주 맹그로브 숲은 점점 황폐해지고 있다. 현재 맹그로브 숲은 다양한 복원 활동이 전개되고 있지만, 전세계 5위의 새우 수출국인 베트남에서 주민들의 새우 양식을 제한하기에는 어려움이 따른다. 따라서 지역 사회와 맹그로브 숲의 공존을 고려한 지속가능한 체계 구축이 필요하다.

본 보고서에서는 NBS를 기반을 하여 IMTA 기술의 성공적인 정착을 통한 새우 양식장 확산 저지 및 맹그로브 보호를 실현하는 SHINE 전략을 제시하였다. 지속가능한 IMTA 기술을 새우 양식장인 지역에 한해 시범사업을 추진한다. 사업의 안정성을 위해 연구 및 개발, 정책 지원, 세계시민 교육을 목표로 설정한다. R&D ODA로 자금 공급의 안정성을 높이고, VCS, CDM 인증취득을 통해 자금을 추가로 확보한다. ASC 인증 수산물에 한해 VKFTA에 특별적용을 함으로써 IMTA 양식법이 지역사회에서 경쟁력을 가지도록 한다. 시범사업의 성공으로 SHINE 전략의 효과가 검증되면, 다른 맹그로브 군집 지역으로의 확장을 통해 전략의 잠재력을 최대한 발휘하고 이는 지속가능한 성장을 달성하는데 도움이 될 것이다.

SHINE 전략을 통한 순환경제 달성과 맹그로브 생태계 회복은 SDGs를 실현할 것으로 기대하며, 문화적, 사회적 가치를 반영하고 생태계 회복력을 증진하는 방향으로 사회의 개발 목표 달성을 지원하고자 하는 NBS의 목적에도 부합한다.

베트남은 이전에 REDD+ 시행경험이 있기에 본 보고서가 제시한 SHINE 전략을 기반으로 하여 맹그로브의 VCS, CDM 베트남 시장 적용 잠재력을 증가시킨다면 경제의 선순환 흐름과 탄소 시장 활성화를 기대해볼 수 있다. 따라서 차후 이와 관련한 연구가 활발히 이뤄질 바라는 바이다.

# 참고문헌

1. 국립수산물연구원 (2018), Development of the regional specialized integrated multi-trophic aquaculture technology, Southeast Sea Fisheries Research.
2. 국립수산물연구원 (2019). 해양특화 생태통합양식(IMTA) 기술 개발. 부산: 국립수산물연구원.
3. 아주경제 (2022). "베트남, 메콩델타 '2030 마스터플랜' 구체화한다", 2022년 7월 9일. <https://www.ajunews.com/view/20220706042607717>
4. 장한별 (2018), An analysis on environmental and economic values of integrated multi-trophic aquaculture (IMTA) in Korea, 부경대학교.
5. 굿모닝베트남 (2024). "한국으로 베트남 새우 수출 쿼터 폐지를 제안", 2024년 2월 7일. <http://www.goodmorningvietnam.co.kr/news/article.html?no=70967>
6. 한국해양수산개발원(2005), 해양수산동향 Vol.1194
7. 해양수산부 (2022), 제2차 친환경어업 육성계획[2020~2024].
8. ADB (2013), Climate Risks in the Mekong Delta Ca Mau and Kien Giang Provinces of Viet Nam.
9. BENOÏT BOSQUET & CAROLYN TURK. (2022). How is Vietnam's Mekong Delta adapting to a changing climate? World Bank Blogs. <https://blogs.worldbank.org/eastasiapacific/how-vietnams-mekong-delta-adapting-changing-climate>
10. Centre for the Promotion of Imports from Developing Countries (2022), Exporting certified sustainable seafood to Europe. <https://www.cbi.eu/market-information/fish-seafood/certified-sustainable-seafood#what-makes-europe-an-interesting-market-for-certified-sustainable-seafood>
11. Center for International Forestry Research (2023), The blue carbon market in Vietnam.
12. Food and Agriculture Organization of the United Nations (2023), Globefish Highlights.
13. Global Center on Adaptation(2021), Living with water: climate adaptation in the world's deltas.
14. Hai, Tran & Pham Minh, Duc & Son, Vo & Minh, Truong & Phuong, Nguyen, (2015). INNOVATION OF MARINE SHRIMP SEED PRODUCTION AND FARMING IN VIETNAM. World Aquaculture.
15. International Finance Cooperation (2023). Deep Blue: Opportunities for Blue Carbon Finance in Coastal Ecosystems. Report. <https://www.ifc.org/en/insights-reports/2023/blue-carbon-finance-in-coastal-ecosystems>
16. Institute For Environmental Science and Development (2024). <http://vesdec.com/vn/>
17. Ministry of Agriculture and Rural Development (2016), REGIONAL ENVIRONMENTAL ASSESSMENT REPORT ON MEKONG DELTA INTEGRATED CLIMATE RESILIENCE AND SUSTAINABLE LIVELIHOODS PROJECT by MINISTRY OF AGRICULTURE AND RURAL DEVELOPMENT.
18. Minh, Truong & Yakupitiyage, Amaratne & Macintosh, Donald. (2001). Management of the Integrated Mangrove- Aquaculture Farming Systems in the Mekong Delta of Vietnam.
19. Marine Stewardship Council (2022), Changing food choices - MSC GlobeScan webinar slides Europe 2022.
20. Pongthanapanich, T., Thi Nguyen, K.A.T., and Jolly, C.M. (2019). Risk management practices of small intensive shrimp farmers in the Mekong Delta of Viet Nam. FAO Fisheries and Aquaculture Circular No. 1194. Rome, FAO.
21. Statista (2023), Fishery and aquaculture in Vietnam - statistics & facts- <https://biz.heraldcorp.com/view.php?ud=20221118000279>
22. Thanh Hai, Tan Thai (2023), "Forum discusses measures to reduce costs for shrimp industry", Saigon News, 2023년 7월 22일, <https://en.sggp.org.vn/forum-discusses-measures-to-reduce-costs-for-shrimp-industry-post103753.html>
23. Thuy Dang Truong, Luat Huu Do, Mangrove forests and aquaculture in the Mekong river delta (2018), Land Use Policy, Volume 73, Pages 20-28, ISSN 0264-8377, <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.01.029>.
24. United Nations Environment Programme (2023). Decades of Mangrove Forest Change: What Does it Mean for Nature, People and the2 Climate?. <https://wedocs.unep.org/20.500.11822/42254.24>.
25. Vo, Tuan & Kuenzer, Claudia & Oppelt, Natascha. (2015). Vo et al Ecosystem services.
26. Wetlands International. (2024). Home - Wetlands International. <https://www.wetlands.org/>
27. World Bank (2022), International Bank for Reconstruction and Development.
28. World Bank Group. (2021, October 21). For Mekong Delta Farmers, Diversification is the Key to Climate Resilience. World Bank. <https://www.worldbank.org/en/news/feature/2021/10/21/for-mekong-delta-farmers-diversification-is-the-key-to-climate-resilience>
29. WWF (2017), Connecting European Consumers and Small Scale Farmers in Vietnam Through a Cost-sharing Model. [https://wwf.panda.org/wwf\\_news/?304114/Connecting-European-Consumers-and-Small-Scale-Farmers-in-Vietnam-Through-a-Cost-sharing-Model](https://wwf.panda.org/wwf_news/?304114/Connecting-European-Consumers-and-Small-Scale-Farmers-in-Vietnam-Through-a-Cost-sharing-Model)
30. WWF-Korea (2016), 지속가능한 미래를 위한 인증제도.
31. Xuan, B. B. (2021). Consumer preference for eco-labelled aquaculture products in Vietnam. Aquaculture, 532, 736111. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.736111>





## 보르네오 섬의 지속가능한 국영 팜오일 농업 프로젝트

정혜빈 (서울대학교 글로벌환경경영학과)  
이소은 (고려대학교 보건환경융합과학부)  
이지원 (숙명여자대학교 정치외교학과)  
최수임 (서울과학기술대학교 환경공학과)

© Chris J Ratcliffe / WWF-UK



# 초록

보르네오 섬의 산림은 2000년부터 2018년 사이 630만 ha 가량 소실되었으며, 그 중 39%는 팜오일 회사의 활동에 의한 것으로 추정된다. 팜오일 산업은 산림 및 이탄지 파괴, 탄소 배출량 증가, 토양 및 수질 오염, 생물다양성 손실, 노동문제 등과 연관된다. 본 연구는 긍정적인 환경-사회경제적 효과를 낳는 지속가능한 팜오일 플랜테이션의 프로토타입을 제시한다. 프로젝트는 서부 칼리만탄 주 폰티아낙 마을 인근의 2000ha 규모의 부지에서, 300명의 소규모 독립농을 대상으로 진행된다. 프로젝트 하에서 참여자는 농민협동조합(Koperasi)을 결성하여 혼농임업 방식으로 팜오일을 재배하고, 팜 폐기물을 축산 사료화 및 대체 설탕을 제조하는 방식으로 자원화하며, RSPO 인증을 취득하고, 팜농장 내부 산림 보호구역의 조림 및 보존을 통해 산림 탄소 크레딧을 지급받는다. 본 연구에서 제시한 혼농임업 기반 순환경제 팜오일 플랜테이션 모델을 통해, 국제사회의 지속가능한 팜농장 담론에 참여하고, 나아가 우수사례 공유 및 확산에 기여할 수 있기를 희망한다.

### Keywords

지속가능  
팜오일  
플랜테이션

팜오일  
혼농임업

팜오일  
순환경제

산림  
패치

인도네시아  
팜오일

소농  
역량강화

산림탄소  
크레딧



© Aaron Gekoski / WWF-US

# 서론

## 연구의 배경 및 목적

팜오일은 식품 제조, 산업 응용 분야 및 소비재, 바이오 연료 등 다양한 곳에 쓰인다. 팜오일의 단위 면적당 생산량은 대두유의 10배, 해바라기유의 7배 정도로, 다른 식물성 기름 대비 단위면적 당 수확량이 높으면서 생산 단가가 낮기 때문에 효율적인 원료라 평가받는다(류근영, 2023). 또한, 한 번 식재하는 것으로 20년 이상 장기 수확이 가능하고, 상대적으로 적은 땅과 물을 요하기에 각광받고 있다(류근영, 2023).

그러나, 팜오일 농지 확대를 위해 이루어지는 불법 벌채는 열대우림을 파괴하고, 화재를 발생시킨다(Lawson, 2014). 보르네오는 2000년부터 2018년 사이에 630만 헥타르의 산림 면적을 잃었으며, 팜오일 회사는 이 중 39%인 약 240만 헥타르의 손실을 차지했다(Ananthalakshmi, 2019).

이와 같은 농장 확장은 보르네오 섬에 위치한 오랑우탄, 코뿔소 등의 서식지를 파괴하며, 지역의 생물 다양성을 감소시키고, 나무와 토양에 포획되었던 탄소를 방출시킨다(최유정, 2015). 특히 보존 가치가 높은 산림(HCV) 및 이탄지가 파괴될 경우 탄소 배출량은 증가한다(공익법센터 어필 & 기후솔루션, 2023).

팜나무 재배 방식 또한 환경 파괴의 주범으로 지목된다. 플랜테이션의 단일 재배 방식은 병충해와 토질 악화에 취약하며, 이에 따라 살충제, 농약, 비료가 과도하게 사용된다(안정화, 2021).

팜유 생산 공정에서 발생하는 폐기물 또한 문제를 초래한다. 일례로 폐수인 POME(Palm Oil Mill Effluent)이 적절히 처리되지 않고 방류될 경우 폐수 자체에서 온실가스가 발생하고, 이로 인해 오염된 땅과 하천은 인근 지역 주민들이 자연으로부터 식량과 식수를 취득하는 것을 방해한다(Hosseini & Abdul Wahid, 2015).

하지만 팜오일 생산을 대폭 감축하는 것은 요원해 보인다. 앞서 언급된 원료로서의 장점 뿐만 아니라, 팜 오일 세계 생산량의 약 61.2%를 인도네시아가 차지하는 국가 주요 산업으로 자리매김하고 있기 때문이다(고창현, 2023). 그렇지만 팜오일 재배가 필수적으로 파괴적이어야 하지는 않다. 이에 본 프로젝트를 통해 긍정적인 환경-사회경제적 영향을 낳는 지속가능한 팜오일 농장의 기획을 제시하고자 한다.



## 프로젝트 개요

### 사업대상지역

#### 요약

본 프로젝트는 보르네오 섬 서부 칼리만탄 주 폰티아낙 마을 인근 2000ha의 황폐화된 부지에서 300명 이상의 소농을 대상으로 혼농임업 기반 팜오일 재배를 하며, RSPO 인증을 보조하고, 폐기물 자원화 농장을 운영하는 것을 골자로 한다.

#### 사업대상지역 위치

사업대상지역은 보르네오 섬 칼리만탄 바랏(Kalimantan Barat) 주 폰티아낙 마을 인근 2000ha의 황폐화된 부지가 된다.

#### 선정 이유

지속가능한 팜농장 실험의 사업부지 선정에 있어서 다음과 같은 기준이 적용되었다. a) 팜오일을 재배하는 소농이 밀집하여 분포하여야 하며, b) 인근에 제휴할 수 있는 팜오일 정유공장 및 자원화 공장이 위치해 있어야 하고, c) 이미 팜오일 재배지로 활용되고 있거나, 황폐화된 토지여야 한다. 특히 규정 c의 경우, 프로젝트로 인해 신규 팜 플랜테이션이 조성되며 추가적 산림 파괴가 발생하는 것을 막기 위해 제정되었고, 본 프로젝트에서는 현 기계적 방식의 팜 플랜테이션에 접근해 농장을 지속가능한 방식으로 전환하는 것을 보조하는 것을 목표로 한다.

아래의 인도네시아 지역별 팜오일 생산 크기를 나타낸 지도(그림 1)를 참조하여 칼리만탄 서부, 중부가 팜오일 생산 비중이 높다는 것을 유추할 수 있다. 인도네시아 지역별 소농의 수를 나타낸 표(그림 2 & 3)에 따르면 칼리만탄 서부에 소농이 가장 많이 분포하여 있다. 이때 (그림 4)에 따르면, 칼리만탄 서부의 경우 해안가에 소농 팜오일 플랜테이션이 집중되어 있음을 알 수 있는데, 보르네오 섬의 산림 피복도 지도(그림 5)와 인근 제휴 가능한 공장의 위치(그림 6)를 고려하였을 때, 폰티아낙 마을 우측의 황폐화된(지도 상 non-forest/degradation on process) 부지 2000ha가 사업대상지역으로 적합하다 판단되었다.

<그림 1> 인도네시아 지역별 팜오일 생산 비중 지도 (Palm Oil Explorer, USDA, <https://ipad.fas.usda.gov/cropeplorer/cropview/commodityView.aspx?cropid=4243000>)

범례(Production by Province 3-year average 2019-21,000 metric tons)

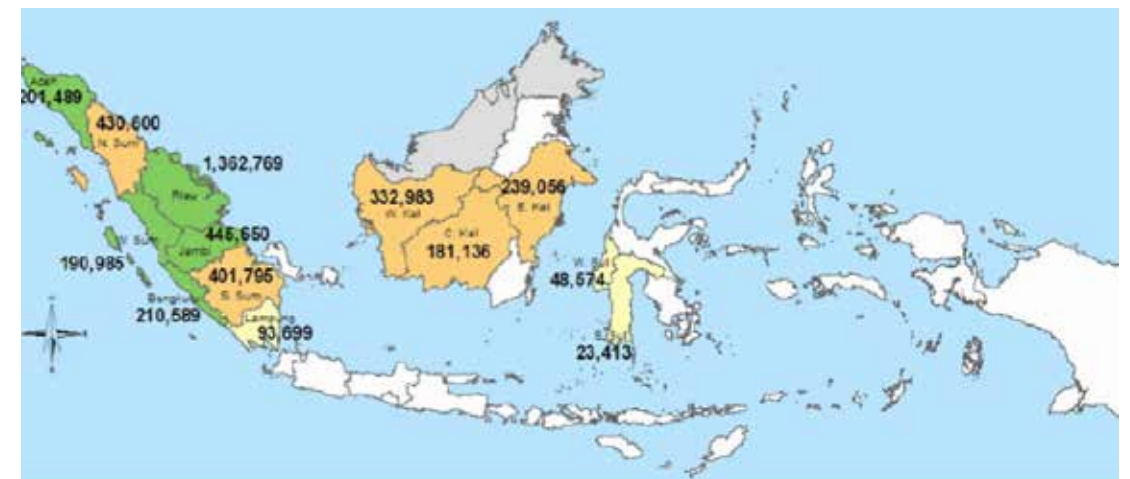
1-1,000 1,000-5,000 5,000-9,375 Palm oil mill  
Percentages indicate percent of national production



<그림 2> 인도네시아 지역별 소농 분포 지도(Skye Glenday & Gary Paoli, 2015, p3)

범례(Provinces Identified for Priority Action)

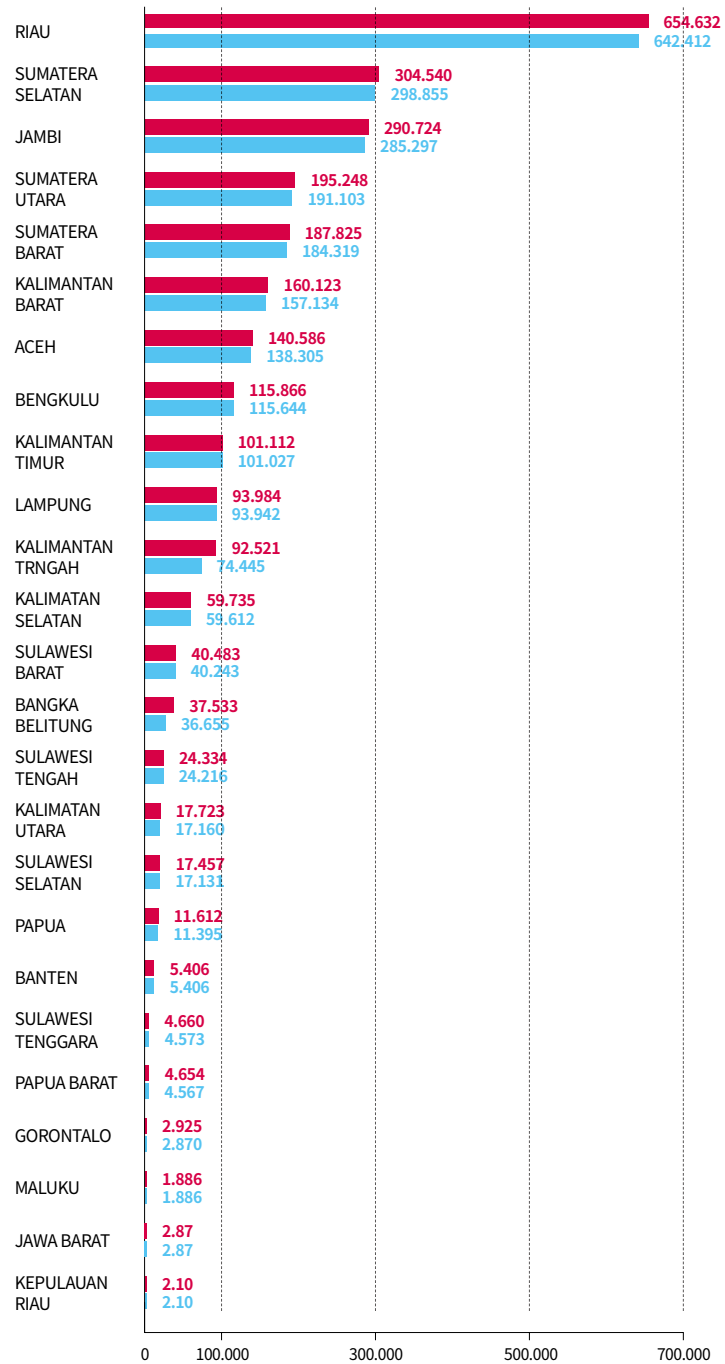
Very High High Medium Not a Priority



<그림 3> 인도네시아 소농의 수에 따른 지역별 정렬 표 (Mulyasari G, Djarot IN, Sasongko NA, Putra AS. 2023: Ministry of Agriculture Indonesia, 2022에서 재인용)

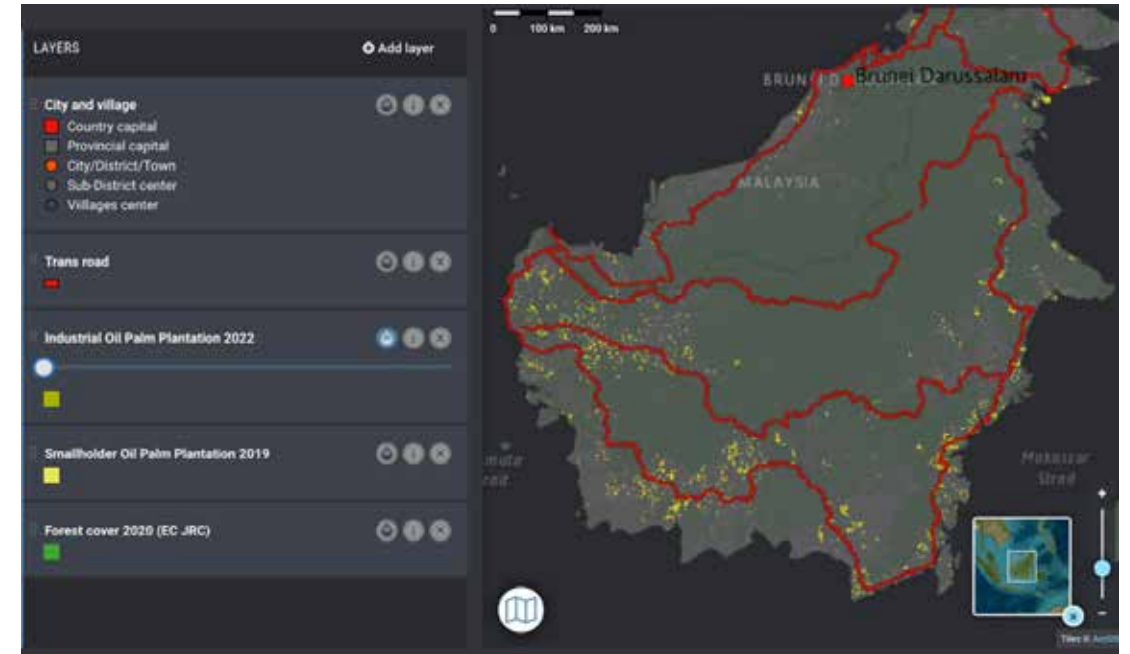
범례

- 2020
- 2019



<그림 4> 보르네오 섬 소농 팜 플랜테이션 분포 지도

(Atlas of Deforestation and Industrial Plantations in Indonesia, Nusantara Atlas, <https://map.nusantara-atlas.org>)





<그림 5> 보르네오 섬 산림 피복도 지도  
(Borneo Forest Cover, 2021)

범례

- Intact Forest
- Logged Forest
- Deforestation Since 1973
- National Park or Reserve



<그림 6> (지도상 방점 좌) 축산사료제조공장 PT Sinar Tayan Inli Malya,  
(지도 상방점 우) LX 인터내셔널 소유 팜 오일 정유공장 PT. Grand Utama Mandiri (GUM) (출처: 저자 제작, Google Maps 이용)



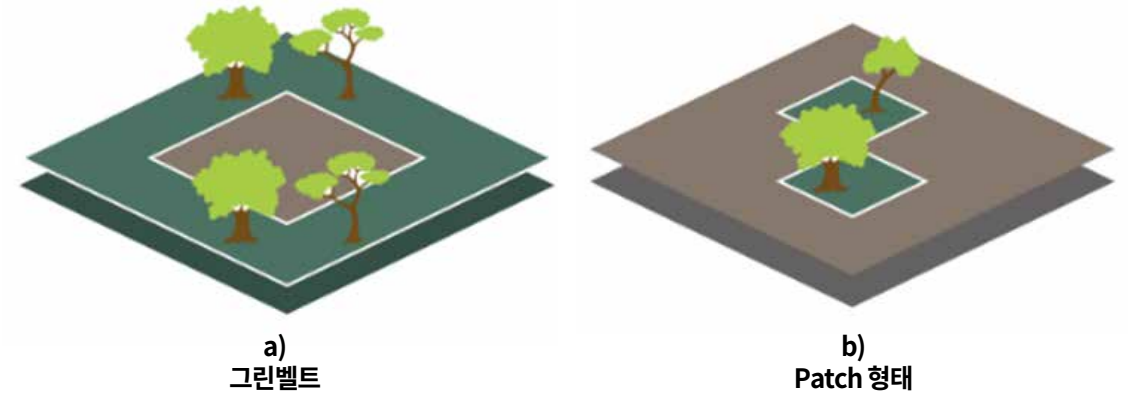
토지구획계획

팜농장 토지구획계획

팜농장의 불법 확장을 저지할 수 있는 혁신적 방식의 토지구획법을 제안하고자 한다. 기존의 플랜테이션 방식은 허가지(Plantation Concession)가 할당되어 기업이 내부에서 경작지를 확대해 나가는 확산적 방식으로, 농지 확장을 위한 플랜테이션 경계에서의 불법 벌목과 화재가 문제된 바 있다(Lawson, 2014, 앞의 책). 본 프로젝트는 2000ha 규모의 팜 농장을 설립할 시, 부지의 25%를 ‘보호구역(Forest Patch)’으로 지정해 조림 및 재조림하고, 어떠한 개간도 이뤄지지 않을 것을 규정한다. 농장의 추가 확장 시, 확장되는 구역의 최소 50% 이상은 혼농임업 방식으로 재배하며, 토지의 추가적 25%를 보호구역으로 지정하도록 한다.

‘산림 보호구역’의 경우 (그림 7의) a) 그린벨트와 같이 농장을 둘러싸는 형태로 조성하거나, b) 섬 형태(Patch)로 조성한다. 이같은 팜 농장 내부의 개간되지 않은 산림은 생물 서식지와 서식지 통로로서 핵심적인 역할을 한다. IUCN에 따르면, 보르네오 섬의 경우 핵심면적 200ha 이상인 산림패치에서 유사한 산림의 수목 종의 60~70%가 발견된다.

<그림 7> 산림 보호구역 유형 a) 그린벨트, b) 산림패치 형태 (자료 출처: 저자 제작)



## 산림보호구역 (재)조림 계획

### 조림 및 재조림 계획

본 단락은 위 명시된 산림보호구역의 조림 및 재조림 계획에 대해 기술하고, 팜오일 플랫폼이션 조성 프로젝트가 어떻게 자연기반해법과 연계되는지 보충한다.

프로젝트 실행에 앞서 사업 부지 설정을 위해 산림 피복률을 면밀하게 조사한다. 세계은행의 '황폐화' 정의에 따라, 산림 피복률이 0~40%인 '심각하게 황폐화된 지역' 및 산림 피복률 40~60%인 '중간정도 황폐화된 지역'에서 혼농임업을 진행한다. 산림 비율이 60~75%인 지대는 쉽게 재생될 수 있기에 추가적 식재와 보존 활동을 진행하는 것이 효율적이다. 보호구역 지정을 위한 산림지대를 충분히 확보하지 못한 경우, 황폐화된 토지에 복원 및 재조림 활동 후 보호구역으로 설정한다. 이때 농장의 팜수가 생산 설비의 일한인 그린하우스에서 재배한 묘목을 재조림에 활용한다. 보르네오 섬의 토착종인 무화과나무, 사라수 등이 후보군으로 사용될 수 있다.<sup>1</sup>

1. Mike Shanahan. (2024). How fig trees could revolutionise reforestation in Borneo. China Dialogue. How fig trees could revolutionise reforestation in Borneo (chinadialogue.net)



© Rob Webster / WWF

## 산림보호구역 탄소 크레딧 발행

### 산림 운영 계획

500ha (2000ha\*0.25)의 산림지대는 혼농임업 기반 탄소 크레딧을 발행하는 Rabobank Acron 플랫폼에 가입한다(2000ha 농장 전역으로 확대 가능). Acron 플랫폼은 경계 구역 내의 부지에서 포집된 탄소에 대해 탄소감축유닛(Carbon Removal Unit, CRU)을 발행, 이를 자발적 탄소시장(VCM)에서 거래해 수익을 창출한다. 산림 보존을 통해 발생한 수익은 농가로 환원되며, 그래서 산림을 벌채하지 않고 보존할 경제적 동기가 발생한다.

Acron의 1CRU는 1톤의 CO2 제거량과 같으며, 2023년 10월 기준 1CRU 당 €35 가격에 거래되었다. Rabobank Acron 측은 2023년 20,000ha의 콜롬비아 혼농임업 커피 농장 사업에서 25,000 유닛을 탄소 감축량으로 인정, 발행하였다. 대략적 추산으로, 2,000ha의 혼농임업 팜농장에서 2,500t의 이산화탄소 제거량이 인정되어 2,500CRU가 발행될 경우 연간 약 1억 2천만원의 추가 수익이 확보될 것으로 예상된다.

<그림 8> Acorn Rabobank 콜롬비아 혼농 임업 커피농장 프로젝트 (CRU courtesy of Rosa Ines, Acorn Rabobank)

Risaralda, Colombia

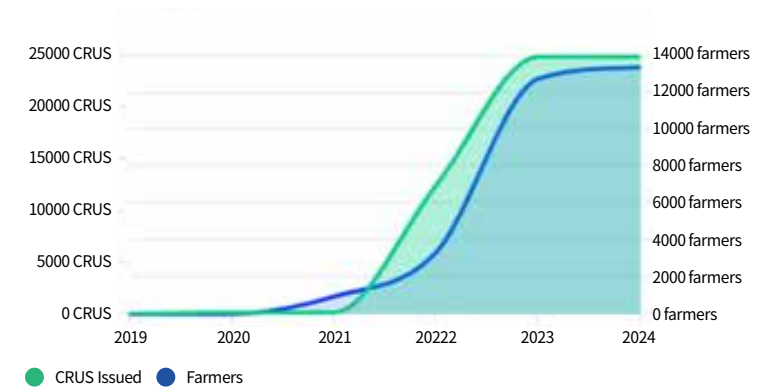
## Colombia-Solidaridad Latin America (Coffee)

Coffee plantations with shade trees and medicinal trees, supporting farmers, flora, and fauna alike. Solidaridad and Acorn helped to make it happen.

### Project data

<b>13,327</b> farmers helped	<b>24,811t</b> CO <sub>2</sub> , captured	<b>20,933 ha</b> land covered	<b>24,811</b> CRUS issued
---------------------------------	--	----------------------------------	------------------------------

### Project progress



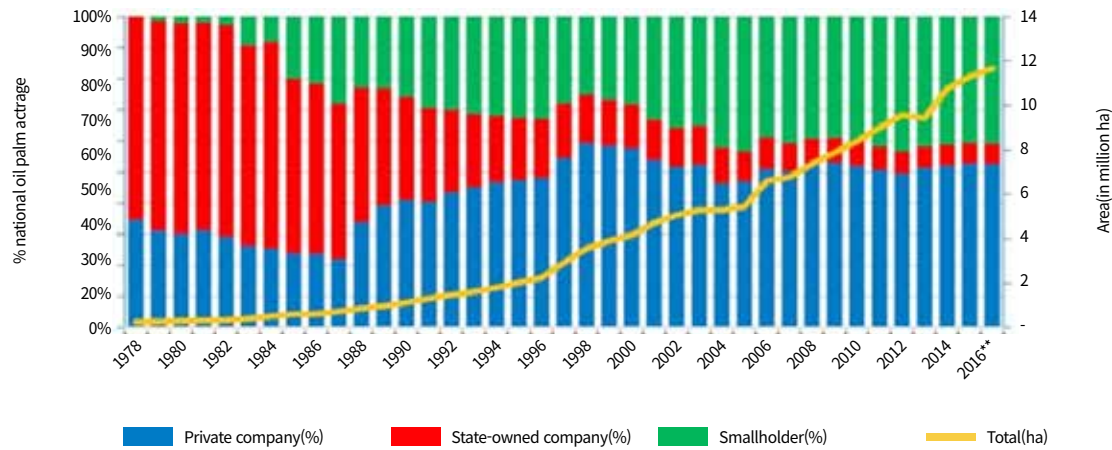


## 사업대상자

본 프로젝트는 소농을 지원함으로써 소농을 산림보호 및 지속가능한 농업의 주체로 만들고자 한다. 소농은 인도네시아 전체 팜오일 생산의 40%를 차지하기에, 이들의 변화가 팜오일 재배를 지속가능한 방식으로 전환하는 데 있어 중추적인 역할을 할 것이다.

<그림 9> 인도네시아 팜오일 생산 주체 비중 변화

(JELSM, I., SCHONEVELD, G. C., ZOOMERS, A., & VAN WESTEN, A. C. M., 2017)



## 농민협동조합 운영안 및 교육 방법

### 농민협동조합 운영계획

프로젝트에 참여하는 300명의 농민들은 하나의 농민협동조합(Koperasi)을 결성하여 가입한다. 농민들은 조합으로서 a) 환경 친화적 방식의 팜오일 재배법을 습득하고, b) 단계적 RSPO 인증을 받을 수 있도록 교육받으며 c) RSPO 협의체와의 보고 방식 및 탄소 플랫폼 사용 방식을 학습한다.

### 농민 참여증진안

인도네시아에서 소농은 5가지 유형이 존재하는데, Small Scale Independent, Large Scale Independent, Farmer Groups, Smallholder Farmer-managed Plasma, Company-managed SHF-plasma 가 그 예이다. 본 프로젝트는 구체적으로 '소규모 독립농(Small Scale Independent)'을 타겟팅하여 모집하고자 한다. (Skye Glenday & Gary Paoli, 2015)에 따르면 소규모 독립농의 경우 1인 2ha 미만의 토지를 경작하며, 중개인을 통하여 거래하고, 금융 접근성이 떨어지며, 토지 소유권이 불명확하여 RSPO 인증 취득이 불가능하다. 이들이 농부조합(Koperasi)을 결성하면 인당 약 5-10ha(2000\*0.75/300)를 경작할 수 있으며, 양질의 묘목, 비료, 기계장비, 대출 및 신용에의 접근성과 협상력이 향상된다.

또한, 인증제를 통해 개척된 판로와 유통망을 이용할 수 있다. 본 프로젝트는 해당 팜농장이 RSPO 인증을 취득한다는 것을 전제로, 팜농장과 현지 진출 한국기업인 LX 인터내셔널 정유공장(PT. GUM)의 공정한 거래 계약 체결을 돕는다. 중개인을 통하지 않은 직거래 및 공정거래 체결을 통해 생산자는 더 공정한 1차원료의 가격을 기대할 수 있다.

서부 칼리만탄의 경우 소농은 1인당 평균 2.8ha의 토지만을 경작한다.<sup>2</sup> 이 점에 주목한다면, 프로젝트의 핵심 대상이 소규모 독립농이기에 소농이 프로젝트에 참여할 메리트가 발생한다고 볼 수 있다.

가장 중요한 것은, 최초의 프로젝트 참여 농부들이 탄소거래를 통해 수익을 창출하고 그것이 성공사례로 지역 공동체 내부에서 공유되었을 때, 추가적 농부들의 참여를 기대할 수 있다는 것이다.

### 추가적 참여증진 계획

산림 재생 및 생물 다양성 실태 조사, 현장 견학 등 쉽게 이해할 수 있는 체험 형식의 수업을 제공한다. EU CAP Network 등의 선례를 참고하여, 현지 NGO, 인도네시아 환경부와의 협업을 통해 교육 커리큘럼을 구성하고 현지인들이 친숙한 언어로 교육을 제공한다. 이를 통해 기후변화와 자신의 상관성을 인식하고, 대응행동을 취할 동기를 고취, 세계시민 의식을 높여 금전적 동기 외에도 자발적으로 지속가능 농법을 실천해 나갈 수 있도록 한다.

2. Mkye Glenday & Gary Paoli, 2015, 앞의 책, p.2



© Aaron Gekoski / WWF-US

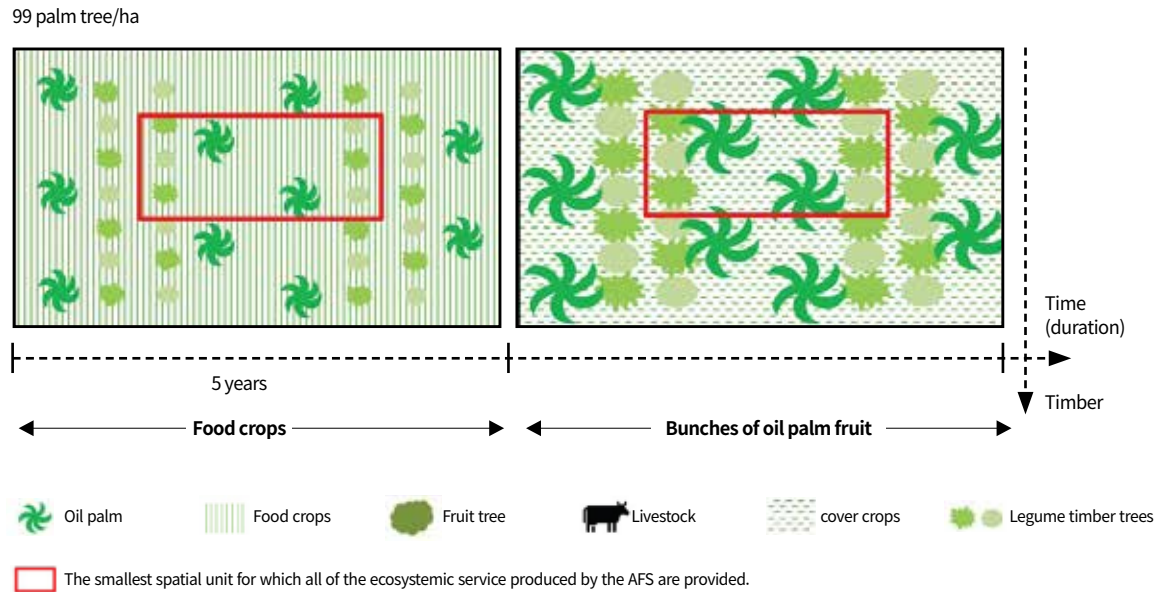
## 지속가능한 팜농장

### 혼농임업 기반 팜오일

단일재배의 단점을 해결하기 위해 혼농임업 유형 중 나무와 작물을 함께 재배하는 순 혼농임업(agrisilviculture) 방식을 채택했다 (Shin et al., 2020). 팜나무와 목재용 나무를 double twin rows 형태로 함께 심고(그림 11 참고), 나무가 성숙하기 전 초기 5년 까지 수익성 있는 상품작물을 함께 심을 것이며, 이후 뿔개작물을 함께 재배할 것이다 (Masure et al., 2023).

혼농임업은 수입원 다각화 및 안정화, 팜오일 생산성 향상이라는 경제적 장점, 생물 다양성 증대, 토착 동물의 서식지 제공, 상호이익이 되는 작물 재배로 비료 및 살충제 사용 최소화라는 환경적 장점을 제공한다 (Hoffner, 2021).

<그림 10> 혼농임업 계획 이미지. Livestock와 Fruit tree의 경우 해당 방식에 포함되지 않으며, Legume timber trees는 목재용 나무(timber trees)로 변경하여 적용한다. (Masure et al., 2023, p.6)



### 플랜 A

초기에 바나나, 파인애플, 타로, 양과 같은 상품작물을 심어 부가적 수익을 창출한다. 해당 작물들은 혼농임업에 자주 이용되며, 혼합 재배로 인한 양분 경쟁이 거의 없다 (Ecological Trends Alliance [ETA] & Tropenbos International [TBI], 2021). 타로, 양은 보르네오 토착종이 존재하고, 해당 지역의 주식 작물이기에 유통 단계 축소 혹은 식량 자급이 가능하다 (Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO], 2020). 초기 이후 뿔개작물로 *Mucuna bracteata*를 이용한다. 이 작물은 기존 콩과 뿔개식물보다 두껍게 땅을 덮어 잡초를 방지하고, 해충(Rhinoceros beetle)으로부터 93%의 피해를 예방하며, 매우 효과적인 질소고정 능력이 있다 (Chee, 2007). 목재용 나무로는 Meranti 나무를 심는다. Meranti는 인도네시아 토착종이며 불법 벌목으로 IUCN red list에 올랐는데, 혼농임업으로 생물다양성 증대와 함께 준위협종을 보호할 수 있다 (“Light Red Meranti”, 2017). 단일 재배와 메란티 혼농임업의 BCR(benefit cost ratio) 값이 각각 2.7과 3.1으로, 혼농임업이 더 경제적인 것이라 예상 가능하다 (Takaweian et al., 2015).

### 플랜 B

작물의 특성이나 농민들의 선호 등에 따라 활용할 수 있는 플랜 B도 제시한다. 초기의 상품작물로 카사바, 고구마 등을, 뿔개작물로 *Calopogonium caeruleum*, *Calopogonium mucunoides* 등을 채택할 수 있다 (ETA & TBI, 2021; Al Manar et al., 2023). 이 작물들도 혼농임업에 자주 이용된다. 두 뿔개작물 모두 질소고정 식물이며, 전자는 그들에 대한 저항력이 매우 크다. 목재보다 상품작물 재배를 선호한다면 혼농임업이 자주 이루어지는 카카오 나무나 후추나무를 채택할 수 있다 (ETA & TBI, 2021). 단일재배에 비해 카카오 또는 후추 혼농임업은 각각 24%, 48% 더 높은 순현재 가치(25년 기준)를 가져 경제적 이점이 있으며, 카카오 혼농임업의 BCR은 단일재배보다 높고, 후추 혼농임업은 팜오일 가격변동을 보상할 수 있다. (Khasanah et al., 2020; Slingerland et al., 2019,).



## 폐기물 자원화 팜농장

### 팜핵추출 잔여물(PKE) 활용 축산사료

팜 열매에서 팜오일 추출 시 팜핵추출 잔여물(Palm Kernel Expeller)이 발생하고, 이는 팜오일 가공 업자가 처리하는데, 부담이 된다. 이를 인근의 PKE 활용 축산 사료 제조 업체 PT Sinar Jaya Inti Mulya(SJIM)의 가공 공장에 전달해 사료화한다.

PKE는 대두박에 비해 값이 저렴하고 내구성이 높기 때문에, 쉽게 손상되지 않아 장기간 보관이 가능해 유통이 용이하다. PKE의 풍부한 단백질은 가축의 생산성과 수율을 높이는데 도움이 된다. 말레이시아에서 염소 50마리를 대상으로 진행한 연구에 따르면, 팜부산물 사료 사용시 일반 사료보다 사육 비용을 연간 약 1760달러 절감할 수 있는 것으로 나타났다<sup>3</sup>(Azman, N., et al., 2023).

### 팜나무 수액 활용 팜슈가 상품 가치사슬 개발

(팜슈가 사업) 전통적으로 가정 등 소규모로 생산되던 팜 슈가를, 생산자 조합을 통해 공정을 단일화하고, 체계적이고 통제되는 시설에서 생산되도록 하여 품질을 보장한다. KOICA와 꽃피는 아침마을, HESED가 진행했던 캄보디아 팜 슈가 프로젝트를 바탕으로 분석한 결과,<sup>4</sup> 시설 및 유통망 구축에 필요한 초기 사업비는 대략 45억원정도로 예상된다. KOICA의 IBS 프로그램, KDI 국제개발협력센터와 협력 시 사업비의 약 70% 가량의 지원금을 확보할 수 있다. 팜슈가는 건기에만 생산 가능하기 때문에, 설치된 태양광 발전 온실 및 생산 설비는 인도네시아의 건기인 5-10월에는 팜슈가 사업에, 우기에는 기타 작물 재배 혹은 tree nursery 묘목 재배에 사용한다. 한국 유통 업체는 주변국에서 생산된 팜 슈가를 유통 중인 꽃피는 아침마을, 자연드림과 이마트,마켓컬리 등으로 선정했다.

### 브랜딩 전략

생물다양성 보전을 상징하는, 보르네오의 숲에 서식하는 오랑우탄으로 지역특산물 팜슈가 상품개발 프로젝트 로고를 디자인했다.

<그림 11> 보르네오 섬 팜농장 지역특산물 팜슈가 상품개발 로고 디자인 시안



3. Azman, N., et al., (2023). Sustainable oil palm biomass waste utilization in Southeast Asia: Cascade recycling for mushroom growing, animal feedstock production, and composting animal excrement as fertilizer. Cleaner and Circular Bioeconomy, 6, 100058.  
4. 세계한인연륜협회. (2022). 캄보디아 특산물 팜슈가, 농촌지역 소득증대 효과 노릇 톡톡. 세계한인연륜협회.

## 모니터링 방법

### 농민 대상 프로그램 및 생산품 유통 모니터링

세계공정무역기구(World Fair Trade Organization)와 국제공정무역기구(Fairtrade International)의 모니터링 방법을 참고하여 농업 프로그램 및 생산품 유통 과정 모니터링 방법을 구상했다. 농업 프로그램의 경우 자기 평가서 작성, 외부 기관 감사와 지역 거래 파트너, 현지 NGO 직원 등으로 이루어진 Peer visit의 삼중 감독을 시행한다. 프로젝트의 초기 단계이기에 WFTO의 평가 기준 중 '취약' 등급의 감독 기준을 적용해 2년 주기의 모니터링을 시행한다.<sup>5</sup>

유통 과정의 경우 협상력과 투명성 증진을 위해 기업과 농민 협동조합 사이 중간 감시자가 필요하다. 이 자리에 현재 국제 공정무역기구의 제도 내에서 유통 과정 감시 역할을 맡고 있는 독립적인 국제 기구인 Flocert를 투입한다. 생산자들이 위치한 나라에 기반을 두어 현지 문화, 언어, 법률 시스템에 대해 잘 알고 있고, Whatsapp 등 누구나 위반 사항을 신고할 수 있는 창구가 존재한다는 장점이 있다.

팜슈가의 경우 한국 등의 수출업체와 선 계약 체결 후 생산을 진행해 불필요한 중간 계약 및 유통 과정을 최소화한다.

### 산림 벌채 모니터링

500ha의 팜 농장 내 산림 보존 구역에서의 벌채 행위 및 농경지 확대를 모니터링 하기 위해 인도네시아 산림부의 NFMS 시스템을 이용한다.<sup>6</sup> 현행 NFMS는 위성 기반 산림 매핑, 국가 산림 인벤토리, 산불 및 토지 화재 등으로 구성된 산림자원에 대한 종합적인 데이터를 정기적으로 업데이트하여 제공한다. NFMS를 이용해 기업과 관련 없는, FAO 등 제3의 기관이 현황을 확인할 수 있도록 하여 산림 벌채에 대한 규제 및 관리를 확고히 한다.

5. WFTO. (2019). Guarantee System Handbook

6. MoEF, (2022). INDONESIA REDD+ NATIONAL STRATEGY 2021-2030

## 자금 조달 구조 및 비즈니스 모델

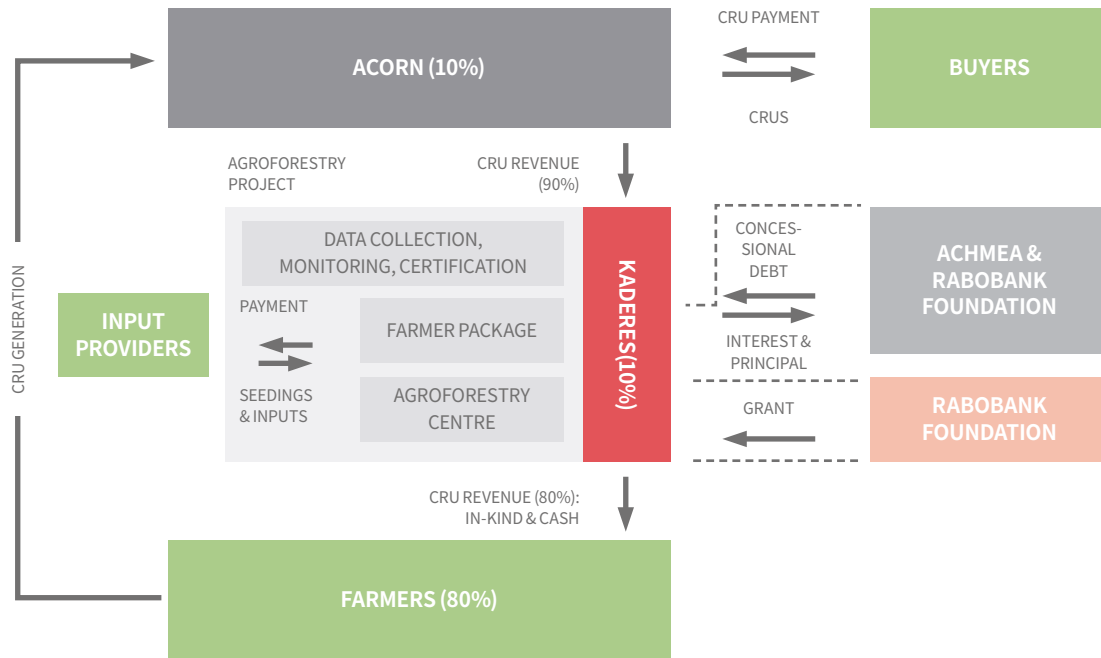
### 자금조달

개발은행에서 사업자금을 융자받는다. 융자의 경우, 증여(grant)와 양허성 차관(concessional loan)으로 혼합하여 구성한다. 양허성 차관의 경우, 8년 기간에 2년 유예기간을 가진 1% 이자율의 차관, 혹은 10-12년 기간의, 2-3년 유예 기간을 가진, 3-8% 이자율 차관으로 구성할 수 있다.

### 비즈니스 모델

농부의 경우, 팜오일이 주 수입원이 되며, 혼농임업 산물의 수익으로 팜오일 가격 변동에 따른 재정적 불확실성을 완충한다. Acorn 플랫폼을 통해 발생하는 탄소 크레딧 판매 수익의 80-90%는 농부에게 지급된다. 거래 수익의 10%는 Acorn 측이 취득한다. 대출금 상환을 위해 초기에는 농부에게 지급되는 탄소 크레딧 수익 80%의 50%를 회수한다. 대출금 상환이 완료된 후 농부들은 원래 수익 80%를 회복한다.

<그림 12> Rabobank 자금 조달 구조 (Iris Visser et al., 2023)



## 결론

### 사업 기대 효과

#### 단기적 기대효과

본 프로젝트를 통해 다음과 같은 효과를 얻을 수 있다.

- 산림 재조림 및 보존 활동을 통해 탄소 크레딧을 확보할 수 있으며, 이는 농가의 수입원으로 활용될 수 있다.
- 300명 이상의 팜오일 경작 소농들이 프로젝트에 참여하며 역량을 강화하고, 생계를 개선한다.
- 2000ha 이상의 팜오일 플랜테이션이 지속가능한 방식의 혼농임업 팜농장으로 전환된다.
- RSPO 인증을 받음으로써 생산자는 더 높은 1차원료 가격을 받는다.

일례로, 서부 칼리만탄주에서 팜열매다발(FFB)는 대략 1,766Rp/t~ 2,370Rp/t로 거래되는데, RSPO 인증을 받은 FFB는 약 20%의 가격상승을 기대할 수 있다.<sup>7</sup>

- 혼농임업을 통해 팜나무의 생산성이 향상된다. 혼농임업 재배 후 팜나무의 나무당 팜열매다발(FFB) 수확량이 139kg → 180kg으로 증가 (Hoffner, 2021), 토양의 탄소 저장 능력이 46.7t/ha → 63.1t/ha로 증진되었다는 보고가 존재한다 (Rosaprana et al., 2023).
- 지역특산물 팜슈가 사업을 통해 일자리 106개를 창출할 수 있으며, 조합원 80명 기준 소득 254% 증대를 기대할 수 있다.

### 장기적 기대효과

장기적으로, 정부 차원에서는 지속가능한 재배 공법의 도입을 통해 국가 온실가스 감축 목표(NDC)에 기여할 수 있다.

기업은 RSPO 인증 취득된 팜농장과의 거래를 통해 유통 과정에서의 투명성을 증진, 원자재 추적과 공급망 관리가 용이해진다. 지속가능한 생산&소비망 구축을 통해 기업 이미지를 증진할 수 있다. 이는 최근의 기업의 사회환경적 책임을 강조하는 ESG 경영의 부상 및 상품 생산 유통에 있어 산림 별채를 규제하는 EUDR의 입법화라는 맥락 속에서 기업에게 요구되는 자질이다.

환경적 측면에서는, 기존 팜 플랜테이션 농법의 문제점으로 지적되었던 토양의 질적 저하, 폐기물의 방류 및 소각에 따른 환경 영향을 최소화하며, 보존 가치가 높은 산림과 이탄지의 소실에서 발생하는 탄소 배출을 감소시킨다.

가장 중요하게, 본 프로젝트는 국제사회적 차원에서 긍정적인 사회 환경적 영향을 낳는 지속가능한 팜농장에 대한 이야기의 장을 조성하고, 참여국 사이 우수 사례를 공유하고 확산하는 데에 기여할 것이다.

7. WWF, 2022, Business Case for Certified Sustainable Palm Oil, p.7



# 참고문헌

1. 고태형 (2023). 글로벌 팜유 시장의 큰손 인도네시아. KOTRA. [https://dream.kotra.or.kr/kotranews/cms/news/actionKotraBoardDetail.do?SITE\\_NO=3&MENU\\_ID=80&CONTENTS\\_NO=2&bbsGbn=242&bbsSn=242&pNttSn=209383](https://dream.kotra.or.kr/kotranews/cms/news/actionKotraBoardDetail.do?SITE_NO=3&MENU_ID=80&CONTENTS_NO=2&bbsGbn=242&bbsSn=242&pNttSn=209383)
2. 정신영, 송한새 (2023). 미션실패: 친환경 팜유 인증으로 가릴 수 없는 산림파괴. 공익법센터 어필 & 기후솔루션. <https://forourclimate.org/sub/data/%EB%AF%B8%EC%85%98%EC%8B%A4%ED%8C%A8-%EC%B9%9C%ED%99%98%EA%B2%BD-%ED%8C%9C%EC%9C%A0-%EC%9D%B8%EC%A6%9D%EC%9C%BC%EB%A1%9C-%EA%B0%80%EB%A6%B4-%EC%88%98-%EC%97%86%EB%8A%94-%EC%82%B0%EB%A6%BC%ED%8C%8C%EA%B4%B4>
3. 류근영 (2023). 포스코인터내셔널 GS칼텍스와 팜유 정제사업 추진, 연 50만 톤 규모. Business Post. [https://www.businesspost.co.kr/BP?command=article\\_view&num=329683](https://www.businesspost.co.kr/BP?command=article_view&num=329683)
4. 신창균 (2013). CSR과 CSV(Creating Shared Value:공유가치 창출)
5. 안정화 (2021). [청년 D집다] 농경사회에 대한 짧은 고찰. 농민신문. <https://www.nongmin.com/article/20210806342865>
6. 최유정 (2015). 인도네시아 오일 팜 플랜테이션 독립노조의 등장과 노동운동 [석사학위, 서강대학교]. RISS.
7. Al Manar, P., Hikmat, A., & Zuhud, E. A. M. (2023). The role of Leguminosae plants for soil fertility in oil palm plantations. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 1243, No. 1, p. 012016). IOP Publishing.
8. Ananthalakshmi, A. (2019). Palm oil to blame for 39% of forest loss in Borneo since 2000 : study. REUTERS. <https://www.reuters.com/article/idUSKBN1W41H5/>
9. Atlas of Deforestation and Industrial Plantations in Indonesia, Nusantara Atlas, <https://map.nusantara-atlas.org>
10. Azman, N. F., Katahira, T., Nakanishi, Y., Chisyaki, N., Uemura, S., Yamada, M., ... & Yamauchi, M. (2023). Sustainable oil palm biomass waste utilization in Southeast Asia: Cascade recycling for mushroom growing, animal feedstock production, and composting animal excrement as fertilizer. Cleaner and Circular Bioeconomy, 6, 100058.
11. Borneo Forest Cover (2021). The Nature Conservancy, <https://geospatial.tnc.org/documents/TNC::borneo-forest-cover/about>
12. Chee, K. (2007). Mucuna Bracteata -a cover crop and living green manure. Agroworld, (188). 30-34. <https://aarsb.com.my/mucuna-article>
13. CRU courtesy of Rosa Ines, Acorn Rabobank, <https://acorn.rabobank.com/en/cru/CRU-20243/>
14. Ecological Trends Alliance & Tropenbos International. (2021). Intercropping in oil palm plantations: A technical guide. Ecological Trends Alliance, Kampala, Uganda, and Tropenbos International, Ede, p.52.
15. Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2020). Crop Diversity Conservation for Sustainable Use in Indonesia (GEF ID 10511). <https://www.fao.org/3/cb8971en/cb8971en.pdf>
16. Gawankar, M. S., Haldankar, P. M., Salvi, B. R., Haldavanekar, P. C., Malshe, K. V., & Maheswarappa, H. P. (2018). Intercropping in young oil palm plantation under Konkan Region of Maharashtra, India. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences, 7(12), p.2752-2761.
17. Hoffner, E. (2021). Can palm oil be grown sustainably? Agroforestry research suggests it can, and without chemicals. MONGABAY. <https://news.mongabay.com/2021/03/in-brazil-palm-oil-is-being-grown-sustainably-via-agroforestry/>
18. Hosseini, S. E. & Abdul Wahid, M. (2015). Pollutant in palm oil production process. Journal of the Air & Waste Management Association, 65(7), p.773-781.
19. Iris Visser, Eli Morrel, Daan Groot (2023). Catalysing Finance and Insurance for Nature-based Solutions. GIZ.
20. Jelsma, I., Schoneveld, G. C., Zoomers, A., & Van Westen, A. C. M. (2017). Unpacking Indonesia's independent oil palm smallholders: an actor-disaggregated approach to identifying environmental and social performance challenges. Land use policy, 69, p.281-297.
21. Khasanah, N., van Noordwijk, M., Slingerland, M., Sofiyudin, M., Stomph, D., Migeon, A. F., & Hairiah, K. (2020). Oil palm agroforestry can achieve economic and environmental gains as indicated by multifunctional land equivalent ratios. Frontiers in Sustainable Food Systems, 3, Article 122.
22. Lawson, S. (2014). Consumer goods and deforestation: An analysis of the extent and nature of illegality in forest conversion for agriculture and timber plantations. Forest Trends.
23. Light Red Meranti (2017). IUCN RED LIST. <https://www.iucnredlist.org/species/33123/2833148>
24. Masure, A., Martin, P., Lacan, X., & Rafflegeau, S. (2023). Promoting oil palm-based agroforestry systems: an asset for the sustainability of the sector. Cahiers Agricultures, 32:16, p.9
25. Meijaard, E., Garcia-Ulloa, J., Sheil, D., Wich, S.A., Carlson, K.M., Juffe-Bignoli, D., and Brooks, T.M. (2018). Oil palm and biodiversity. A situation analysis by the IUCN Oil Palm Task Force. IUCN Oil Palm Task Force Gland, Switzerland: IUCN. xiii + p.116.
26. Palm Oil Explorer, USDA. <https://ipad.fas.usda.gov/cropexplorer/cropview/commodityView.aspx?cropid=4243000>
27. Rosaprana, W., Kuncahyo, B., & Puspaningsih, N. (2023). Carbon Stock Estimation on Oil Palm Plantations and Oil Palm-Based Agroforestry in Gunung Mas Regency. Media Konservasi, 28(3), p.253-261.
28. Shin, S., Soe, K. T., Lee, H., Kim, T. H., Lee, S., & Park, M. S. (2020). A systematic map of agroforestry research focusing on ecosystem services in the Asia-Pacific Region. Forests, 11(4), p.368.
29. Skye Glenday & Gary Paoli, (2015). Overview of Indonesian Oil Palm Smallholder Farmers, Daemeter Consulting.
30. Slingerland, M. A., Khasanah, N. M., van Noordwijk, M., Susanti, A., & Meilantina, M. (2019). Improving smallholder inclusivity through integrating oil palm with crops. In Exploring inclusive palm oil production (No. 59, p. 147-154). ETFRN and Tropenbos International, Wageningen.
31. Sustainable Oil Palm Farming / Establishing a ground cover. (2018). akvopedia. [https://akvopedia.org/wiki/Sustainable\\_Oil\\_Palm\\_Farming\\_-\\_Establishing\\_a\\_ground\\_cover](https://akvopedia.org/wiki/Sustainable_Oil_Palm_Farming_-_Establishing_a_ground_cover)
32. Takaweian, R., Syahza, A., Pato, U., & Mubarak, M. (2015). Economic Analysis of Agroforestry of Meranti (Shorea leprosula Miq) Planted Among Oil Palm Trees as a Model for Development of Environmentally Friendly Oil Palm Plantation in The Riau Province, Indonesia. International Journal of Research and Science (4), p. 136-140.
33. TNFD (2023). Taskforce on Nature-related Financial Disclosures (TNFD) Recommendations
34. WWF (2022), Business Case for Certified Sustainable Palm Oil.







## 대기질 오염과 고비사막의 사막화 상관관계 및 조림시스템 구축

이정하 (건국대학교 환경공학과)  
이예빈 (경북대학교 조경학부)  
이현지 (한경국립대학교 지역자원시스템공학과)  
최수정 (고려대학교 노어노문학과)

© Staffan Widstrand / Wild Wonders of China / WWF



# 초록

최근 몽골은 세계 최악 수준의 대기질 수치를 기록하고 있다. 특히 겨울철이 되면 고비 사막의 대기질 지수와 사막화가 더욱 악화된다. 이 현상의 주요 원인으로서는 울란바토르를 중심으로 난방 및 저품질 연료로 밝혀졌다. 고비사막은 매년 3,370 km<sup>2</sup>씩 확대되고 있다. 게다가 사막화와 토양 화폐화가 반복되어 사막화를 가속시키는 악순환이 발생한다. 악순환이 2050년까지 이어진다면 한국을 포함한 동북아시아 지역은 큰 위기를 맞게 될 것이다.

우리는 몽골의 사막화 악순환을 완화, 사막화 가속 방지를 목적으로 몽골의 지속 가능한 난방 시스템을 고비사막 연료림으로 전환하고자 한다. 이에 울란바토르의 대기질 현황을 살펴보고, 옴노고비 달란자드가드 지역 채택의 근거를 검토한다. 최종적으로 포플의 생존 가능성과 목재 이용가능성을 확인하며 제안을 마친다. 즉, 우리는 몽골 내의 독자적인 연료림 시스템 구축이라는 NBS 접근적 관점을 활용하여 솔루션을 제안하고자 한다.

본 프로젝트를 실행할 시 얻을 수 있는 기대효과로는 대기오염물질 방출 감소, 사막화 지연, 일자리 창출, 산업 성장 등 사회, 경제적 이점 등이 있을 것으로 예측된다. 그러나 연료림이라는 산림 특성으로 인해 병충해로 인한 잠재 피해가 클 것으로 예측되며 이로 인한 사후 관리의 필요성과 관리인력 구성을 위해 몽골 정부나 지자체의 협력이 필요할 것으로 고찰된다.



© Frans Schepers / WWF-Netherlands

# 문제현황

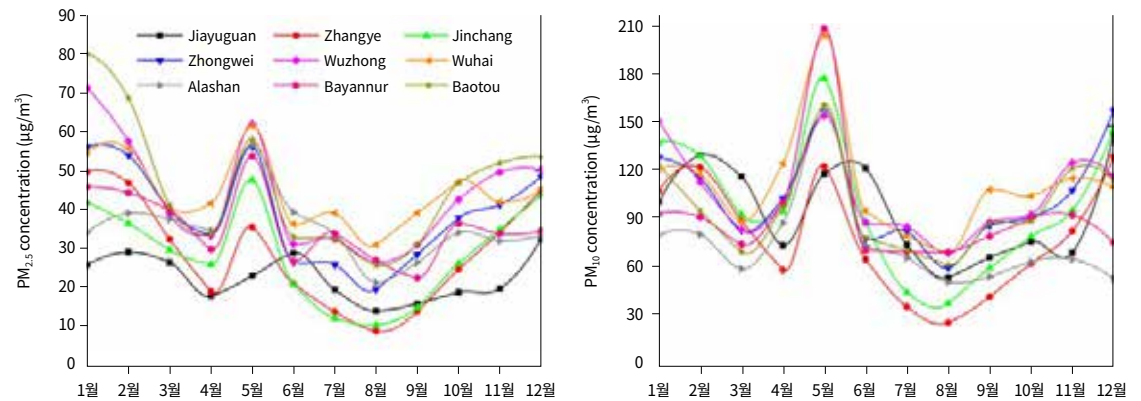
## 고비사막의 지형적, 기후특성의 사막화 연관성

고비사막 분지는 몽골의 알타이 산맥과 킵차이 산맥, 히말라야 고원 사이에 있다. 이 지역은 대륙성기후를 띄고 있어 평균 기온은 1월 최저 -40°C, 7월 최고 45°C이다. 특히 알타이 산맥은 습기 많은 구름이 고비 산맥에 도달하기 전에 가로막아 사막의 건조한 기후에 영향을 미친다. 이러한 기후변화로 지표기온이 올라가면서 농업용수 사용이 증가하고 지하수위가 내려간다. 고비사막 주위의 제한된 농경지 개발로 토양은 건조하게 노출된다.

## 울란바토르와 고비사막의 대기질 오염현황

울란바토르의 거리에서 70 만명 이상 거주하며 전통난방에 저급연료를 사용하여 대기 오염물질을 배출한다. 더불어 분지지형으로 대기확산이 잘 일어나지 않아 초미세먼지는 64 µg/m<sup>3</sup>~136 µg/m<sup>3</sup>, 미세먼지는 128 µg/m<sup>3</sup>~290 µg/m<sup>3</sup>으로 연 평균 기준을 초과하는 농도를 보이고 있다. 고비사막의 초미세먼지는 12.5 µg/m<sup>3</sup>~59.9 µg/m<sup>3</sup> 및 미세먼지 13.2 µg/m<sup>3</sup>~181.8 µg/m<sup>3</sup> 농도가 겨울철 농도가 증가하는 점을 통해 울란바토르의 영향을 받는다는 것을 알 수 있다.

<그림1> 2017년 고비사막 지역 도시의 월평균 PM2.5 및 PM10 농도 (출처: Mikalai Filonchyk, Michael Peterson, Volha Hurynovich)



## 사막화가 전세계로 끼치는 악영향

고비사막에서 발원한 황사는 5.5km 이상 고도의 편서풍 기류를 타고 한반도와 일본을 지난다. 20 µm보다 작은 입자는 상층으로 부유하여 미국 하와이주까지 장거리 이동해 다양한 피해를 입힌다. 황사와 함께 고미세먼지가 증가해 호흡기 질환, 안구질환, 뇌졸중 등 노약자의 경우 사망을 일으키며 국가 경제적으로 영향을 미친다. 또한 사막화는 식물의 성장을 방해하여 이산화탄소 양의 증가, 극심한 식량난을 야기해 지구온난화의 원인이 된다. 즉, 사막화는 단순히 환경적 문제에만 영향을 끼치는 것이 아니라 경제, 보건, 산업 다양한 면에 영향을 주는 환경재해이다.

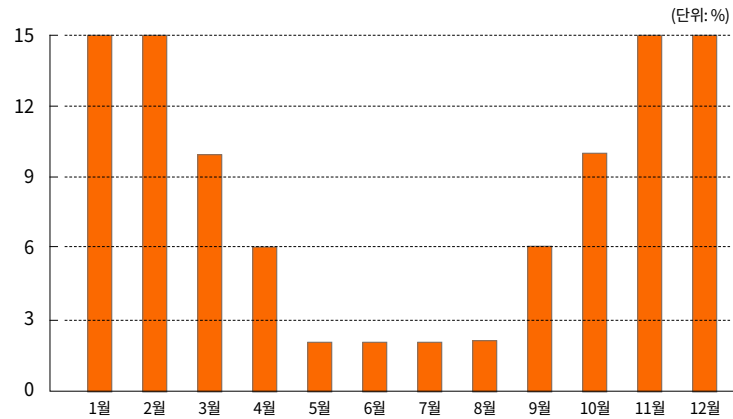
# 주제 선정 원인

## 울란바토르의 대기질 오염으로 인한 고비사막 사막화 가속

고비사막 9개 지역의 도시 대기오염물질을 조사해 보았을 때 미세먼지의 농도가 각각 봄과 겨울에 오염물질의 농도가 높다. 겨울철에는 전통 난방으로 사용되는 석탄이, 봄철엔 바람에 의해 먼지가 국내 주요 배출원이라는 점을 알 수 있다.

겨울철 고비사막의 사막화를 가속화시키는 대표요인으로 울란바토르 게르 지역의 가정용 난로인 것을 오른쪽 표로 알 수 있다. 고정오염원과 이동오염원 중 가장 많은 대기오염물질을 방출한다는 것을 알 수 있다. 또한 전통난방을 사용하는 가정용 난로 수가 열전용 보일러보다 대략 9 만 7 천여 개가 많은 것을 보아 울란바토르의 전통 가정용 난로에 사용되는 연료의 심각성을 알 수 있다.

<그림 2> 게르 지역의 월별 석탄 소비량



Source: Urban Air Pollution Analysis in Ulaanbaatar (2007)

<표 1> 울란바토르시의 오염원별 대기오염물질 배출량 (2011년)

출처: JICA. 연구보고서, 2013

(단위: 톤/년)

		TSP	PM10	SOx	NOx	CO
고정 오염원	열병합 발전소	20,108	13,070	10,667	14,275	8,484
	일전용 보일러	1,607	1,044	830	146	5,944
	소규모 열전용 보일러	246	148	354	116	524
	게르 지역의 가정용 난로	7,466	4,853	4,627	657	59,070
이동 오염원	도로	212	212	257	3,303	16,462
합계		29,639	19,327	16,735	18,497	90,484

<표 2> 울란바토르 시 대기오염물질의 고정오염원 통계 (2014년)

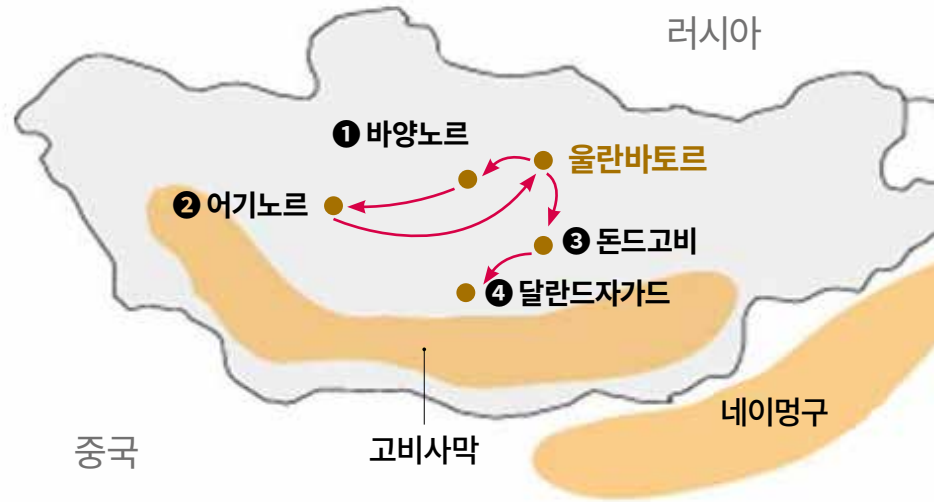
출처: Ulaanbaatar Air Quality Office <http://agaar.mn/>

열병합 발전소	4			
열전용 보일러 수 (구 별로)	329	양골구	10	3%
		성긴하이르항구	63	19.1%
		바양주르호구	116	35.3%
		수흐바타르구	29	8.8%
		항을구	58	17.6%
		칭길테구	53	16.1%
소규모 열전용 보일러 수 (구 별로)	3,017	바양골구	354	11.7%
		성긴하이르항구	675	22.4%
		바양주르호구	698	23.1%
		수흐바타르구	390	12.9%
		항을구	395	13.1%
		칭길테구	505	16.7%
게르 지역의 가정용 난로 수	111,404	게르	59,412	53%
		개인주택	51,992	47%



또한, 몽골 내 황사 동선을 통해 울란바토르의 겨울철 대기오염물질이 고비사막 지역으로 이동하는 경로를 알 수 있다. 울란바토르의 오염원별 대기오염 물질 배출량을 보았을 때 난로, 화력발전소와 저압보일러가 대부분을 차지한다. 현 몽골은 화력발전소와 450여개의 저압보일러, 약 19만 개르 난로에서 연간 500만 톤의 석탄이 연소되고 있다. 이와 같은 오염원으로 인해 SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>의 농도가 기준치를 넘는 오염 농도를 나타내게 된다. 더불어 SO<sub>2</sub>와 NO<sub>2</sub>는 대기 중에서 바람과 기류에 의해 운반될 때, 산성오염 물질로 형성될 수 있다. 산성비는 양분 유실, 인산흡수 감소, 뿌리활력 저하, 토양 미생물 활동 둔화 등의 고사 현상을 발생시키고 결국 토양 황폐화를 야기한다. 즉, 울란바토르에서 배출된 대기오염 물질은 고비사막까지 영향을 미칠 정도로 광역 대기오염 문제이며, 이는 사막화의 주요 원인인 산성비와 같은 2차 문제로 이어져 토양 황폐화, 사막화의 가속을 일으킨다.

<그림3> 몽골 사막화 가속 현황  
(출처: 경향신문 김기범 기자)



## 고비사막의 사막화 가속으로 사회적, 자연적 끼치는 영향

### 사회적 영향

#### 기후 난민 발생

사막화로 유목민의 거주지가 파괴되어 울란바토르로 이동해 낮은 산지와 언덕에 주로 기후 난민들이 모여 사는 게르촌을 형성했다. 울란바토르의 인구 밀도가 높아지고, 게르촌 빈민들이 겨울철 추위를 버티기 위해 석탄을 게르 안에서 피우면서 대기 오염이 가속화되는 악순환이 발생한다.

#### 캐시미어 산업의 경제적 손실

캐시미어 관련 산업은 몽골인구의 1/3에게 소득을 제공하고, 노동인구의 16% 이상에 일자리를 제공하는 빈곤층의 주 소득원이다. 캐시미어 생산을 위해 방목되는 염소수의 증가는 사막화를 가속화했고, 토지 황폐화로 염소가 먹을 풀 역시 줄어들었다. 식물이 없어진 초원은 사막화로 인한 자연재해에 더 취약하였고, 염소를 비롯한 가축들의 집단 폐사는 캐시미어 수익산업에도 피해를 준다. 이처럼 사막화가 지속된다면 주민들의 생업에 큰 타격이 예상된다.

### 자연적 영향

#### 조드 피해

사막화가 진행될수록 조드는 해마다 더욱 심각해지고 고비 사막 일대의 식생과 가축들은 큰 피해를 입고 있다. 가뭄으로 가축들이 물을 먹지 못해 일어나는 조드를 '하르 조드'라고 부르는데, 2010년 봄철 이상 한파로 인해 하르 조드가 발생하여 600만여 마리의 가축들이 몰사하였다. 가장 최근에 발생한 조드는 2024년 2월 발생한 차강 조드로, 1975년 이후 몽골에서 가장 많은 눈이 내리는 이상 기후 현상으로 기록되었다. 몽골의 약 70%가 이의 영향을 받았다. 몽골 국가비상대책위원회와 몽골 사막화방지연구소에 따르면 조드 피해로 올 겨울 동안 몽골 전역에서 최소 61만 1924마리의 가축이 폐사하였고 조드의 간격은 점점 짧아지고 있다고 주장하였다. 지금과 같이 고비사막의 사막화와 토지 황폐화가 계속된다면 조드 피해는 매해 더 심각해질 것이다.

# 해결 목표 설정 및 방향

## 경제림 조성 실제 사례

한-몽 그린벨트 협력 사업은 고비사막 내의 달란자드가드, 바양작 지역과 울란바토르 인근 룬 지역에서 실시되었다. 본 사업은 비술나무, 포플러류, 싹사울 등을 활용한 인공림을 조성하여 사막화 되었던 옴노고비 일대 3,046 ha를 녹화하는 성과를 얻은 사례가 있다.

산불과 병해충 피해로 사막화 되었던 몽골의 셸렝게토진나르스 지역은 2003년부터 12년간의 유한킴벌리 숲 복원 프로젝트를 통해 현재는 3250ha에서 1013 그루의 구주적송이 자라고 있다. 이 프로젝트는 몽골의 자생종인 구주적송을 복원했다는 점에서 역사, 생태적으로 의미가 있다.

## 지역선정과 원인

본 프로젝트에서 울란바토르의 난방 시스템 전환을 목적으로 한 연료림 조성 선정된 지역은 돈드고비 아이막의 생차강숨 지역이다. 생차강숨은 만달고비 시의 남부에 속하며, 울란바토르에서 남동쪽으로 260 km 떨어진 고비사막의 가장자리에 위치해 있다.

울란바토르로부터 비교적 가까운 위치로 이동거리가 길지 않아 목재 생산물의 운송 과정에서의 탄소 배출량을 줄이는 데 용이하며, 관련 산업들을 이용하는 데도 유리하다. 또한 이 지역은 고비사막의 가장자리에 있어 고비사막으로부터 발생하여 울란바토르까지 이동하는 먼지와 모래폭풍의 확산을 방지하는 방풍림의 역할을 수행할 수 있다.

생차강숨 부근에는 자연 하천이 없기 때문에 지하 110m 관정에서 지하수를 펌프로 끌어올려 조림지 용수로 이용해야 한다. 따라서 이용 가능한, 즉 검증된 지하수의 존재 확인이 필요한데, 이를 해당 지역에서 '고양의 숲'이라는 이름으로 진행된 산림 조성 장기 프로젝트의 지하수 설비를 포함한 누적데이터를 활용하여 확인할 수 있다.



© WWF-Mongolia



## 수종 선정 및 선정원인

몽골의 돈드고비 지역에 경제림을 조성하여 연료 목재를 사용 용도로 조림 하려한다.

생장이 신속하고 무성증식이 잘되며 다양한 생태적 환경에 대한 적응성이 풍부한 포플러를 조림 수종으로 사용할 계획이다.

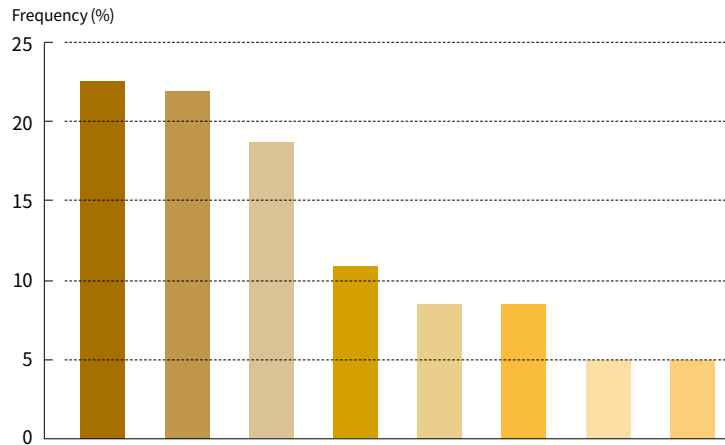
포플러의 종류에는 시베리아 포플러, 사시나무, 은사시나무, 황철나무, 양버들나무, 미루나무 등이 있다.

그 중 건조하고, 바람이 많은 몽골지역에서 잘 성장할 수 있으며 밀식 재배 시 생산 잠재력이 뛰어나다는 이점을 가진 “시베리아 포플러 종”을 연료림으로 사용하려 한다.

<그림 4> Frequency of tree species recommended by residents for agroforestry

범례

- Populus sibirica
- Ulmus pumila
- Hippophae rhamnoides
- Salix spp.
- Pinus sylvestris
- Larix sibirica
- Picea obovata
- Others\*



농축업 및 전문직에 종사하는 몽골 현지인 대상으로 산림농업 추천 조림수종을 조사한 결과 시베리아 포플러가 1 위를 차지하였다. 이는 사막지대 몽골의 주요 자생수종에 해당하기 때문인 것으로 판단된다.

시베리아포플러는 수고 및 흉고직경 각각 최대 30m, 100cm까지 성장하는 낙엽활엽 교목으로서 몽골 북부 전역 과 고비 사막에 자생하며, 내건성 및 내풍성이 강해 몽골에서 조림은 물론 조경용, 연료 및 건축재 등으로 활용된다. 사막화 방지연구센터, 한-몽 그린벨트 사업지에 식재한 주요 수종이었으며 결과 또한 성장상태가 양호했던 사례가 있다.

수종의 연료적 가치를 위해 포플러 수종을 원료로 사용한 수종 고밀화를 통해 환경 친화적인 고밀화 연료를 얻을 수 있다.

목재 펠릿은 나무를 압축하여 만든 목재연료로 온실가스 배출이 적어 저비용 고효율 연료가 가능하다는 이점이 있다.

목재의 가연성 물질 대부분은 화석연료와 유사한 탄소와, 수소로 구성되어 있다. 목재가 연소되면 탄소동화작용을 통해 대기 중의 이산화탄소를 흡수하여 탄소를 나무 내부에 저장하며 성장하여 탄소가 순환하게 된다.

따라서 목질계 연료는 온실가스인 이산화탄소를 배출하지 않는 것으로 기후변화협약에서 인정되고 있다.

보일러와 같은 연소장치에 연료를 공급하기 위해서 균일화가 필요한데 여기서 목재를 펠릿으로 압축 가공하게 되면 가장 균일한 효과뿐만 아니라 원목에 비해 약 1/3로 부피를 줄인 수가 있어서 운송이나 보관이 용이하게 된다.

<그림 5> 시베리아 포플러



# 기대효과

## 대기오염물질 방출 감소

현 몽골의 주요 연료인 석탄을 연료를 활용한 목재 생산물로 대체할 시에 얻을 수 있는 이점으로, 먼지 배출량 감소, 황산화물 저감, 질소산화물 감소 등이 있다. IPCC 산정 방법에 따르면 목재 펠릿 1톤을 사용하면 석탄 604.65kg을 대체하여 이산화탄소를 1.48톤을 감축할 수 있으며 대기질 완화에도 효과적인 것을 기대할 수 있다. 목재 펠릿을 연료를 활용하였을 시 GHG 즉 온실가스가 BC Oil 와 등유를 사용했을 때보다 500~10,000(CO2/y)정도 감축할 수 있다는 것을 알 수 있다.

<표3> 배출시설의 대기오염물질 발생량

### 목재펠릿의 친환경성

- IPCC 산정방법에 따르면 목재펠릿 1톤을 사용하면 유연탄(석탄) 604.65kg을 대체하여 이산화탄소 1.48톤 감축 가능함
- 환경부의 「대기환경보전법」에 따른 대기오염물질 배출계수에 따라 목재펠릿은 유연탄 대비 대기오염물질 발생량이 1/20 수준임

연료명	합계	먼지			황산화물			질소산화물		
		난방	산업	발전	난방	산업	발전	난방	산업	발전
유연탄(석탄)	67kg/t	50		50	9.5			4.55	5.55	7.5
목재펠릿	3.35kg/t	0.93			-			242		

\* (근거) 「대기환경보전법」 시행규칙 제43조 배출시설의 시간당 대기오염물질 발생량 산정방법 [별표10], 배출시설의 대기오염물질 배출계수 고시(국립환경과학원 고시 제2021-41호) [별표3]

<표4> GHG reduction effectiveness in fuel switching from Bunker-C oil to wood biomass

GHG reduction project(Boiler fuel switching)	No. of projects(EA)	Investment cost (Million Won)	Annual GHG reductions (tCO2/y)	Annual GHG reduction effect (tCO2/million Won, y)
B-C oil → Pellet	10	7,579	6,702	0.88
B-C oil ← Wood chip	12	10,777	10,604	0.98
Sum	22	18356	17,306	0.94

<표5> GHG reduction effectiveness in fuel switching from Bunker-C oil to wood biomass

GHG reduction project(Boiler fuel switching)	No. of projects(EA)	Investment cost (Million Won)	Annual GHG reductions (tCO2/y)	Annual GHG reduction effect (tCO2/million Won, y)
Kerosene → Pellet	4	1,319	595	0.45
Kerosene ← Wood chip	9	15,532	7,071	0.46
Sum	13	16,851	7,666	0.45

## 사막화 지연

시베리아 포플러는 방풍림으로 활용되는 사례도 적지 않은데, 잎자루의 너비가 넓어 강풍을 보다 잘 막아줄 수 있기 때문이다. 이와 같은 특성이 몽골 내 황사 또는 모래 폭풍의 확산을 늦춰 사막화 가속을 방지하는데 도움이 될 수 있다. 또한 사막 지역에 숲을 조성하는 것만으로도 토양 유실, 토양의 수분 손실 등을 막을 수 있다.

## 수종 경제림 조성으로 경제적, 사회적 긍정적 측면

경제림 조성 실행 시에 얻을 수 있는 사회적 이점으로는 일자리 창출, 산업 성장 등이 있다. 경제림을 조성 시 사후관리 또는 모니터링 관리자 등 현지 인력이 필요하다. 이를 통해 지역주민들이 직접 조림지를 관리하면서 생활 환경 개선은 물론 지역 경제 활성화에도 큰 도움을 줄 수 있는 긍정적인 효과를 일으킬 수 있다.

경제림을 조성한 뒤 생성된 목재 생산물을 가공, 전환하는 과정에서 관련 산업들이 성장할 수 있으며 해당 연료 시스템이 몽골 내부에서 원활히 정착하게 될 시 지속가능한 난방 시스템을 통해 몽골 국민들의 보건 측면에서도 이점이 있을 것이라고 예측된다.



# 한계 및 고찰

## 사후 관리 필요성

수목 생존율이 사후 관리에 영향을 많이 받는다. 사후관리 인력을 구하기 위해서는 몽골 정부와 지자체의 협력이 필요하다. 현지 인력들에게 체계적인 수목 관리를 위한 인센티브가 필요하며, 이 밖의 조림지 관리를 위해서도 여러 자원들이 필요할 가능성이 있기 때문이다.

사후 관리 자체의 어려움이다. 본 프로젝트에서 조림하고자 하는 시베리아 포플러 수종은 내건성, 내한성, 내염성 모두 강한 속성수로 사막 지역에서 자라기 적합하다. 하지만 해충에 취약한 특성을 가지고 있다. 선정 지역에서 피해를 입을 수 있을 해충으로 짚시나방, 버들재주나방 등이 있다. 수목 하나가 해충 피해를 입는다면 조림지 전체가 위협해지기 때문에 병해충에 대한 각별한 주의가 필요하다고 판단된다.

# 참고문헌

1. 김경립 (2013), 「COVER STORY」, 한국방재협회, p.42-52. [https://innovationlab.co.kr/project/ktng2018\\_3/](https://innovationlab.co.kr/project/ktng2018_3/)
2. 김종진 (2016). "목재펠릿 연료 및 목재펠릿 보일러." The Magazine of the Society of Air-Conditioning and Refrigerating Engineers of Korea 45.8: p.22-31.
3. 국제적심자연맹 및 적신월사 (2024), 「Mongolia Cold Wave (Dzud) response-2024」, DREF Operation.
4. 이혜민, 「목재펠릿이란?」, 산림청, <https://www.forest.go.kr>
5. 조현길 (2014), 주민의식을 반영한 반건조지역의 산림농업 전략 - 몽골 엘센타사라이 지역을 중심으로, 한국환경생태학회, p.266.
6. 볼러에르덴 (2015). "몽골 울란바토르 시의 대기오염 문제에 대한 연구." 국내석사학위논문 강원대학교, 2015. 강원도, 23-24.
7. M Filonchik (2020), Atmospheric pollution assessment near potential source of natural aerosols in the South Gobi Desert region.
8. 정환도 (2012), 「대기오염과 식물생태에 관한 기초연구」, 대전세종연구원.
9. 「몽골 대기질개선 마스터플랜 최종보고서」, 한국환경산업기술원, 2021.7
10. Dr.Janchivdorj L. (2012), 「Ground water governance in Mongolia」, International Regional Consultation.
11. BAYARSAIKHAN ZUCHI (2018). "몽골의 대기오염 문제 개선방안에 대한 연구 - 울란바토르를 중심으로." 국내석사학위논문 광운대학교, 서울 Air pollution in the Gobi Desert region: Analysis of dust-storm events.
12. 한국양묘협회지 (2006), 사막에서 자라는 초고속 생장 포플러나무 개발-국내 유일한 형사.
13. 조창현 (2014). 황사의 발원지를 찾아서- 초원 사라지는 몽골의 희망 '고양의 숲' 동아일보.
14. 고양신문(2020). 고양시, 몽골 '고양의 숲' 백서 발간.
15. 조성식 (2015). 몽골사막화 방지 조림 수종의 형태적 생리적 특성과 수분 이용효율에 관한 연구. 서울대학교 대학원.
16. 조원우 (2018). "몽골 건조지역 사막화 방지를 위한 포플러 클론의 적응성, 삼목증식, 내한성에 관한 연구." 국내박사학위논문 동국대학교



© Frans Schepers / WWF-Netherlands





## 아바타 프로젝트: 아마존, 바이오차, 테라 프레타

신도윤(단국대학교 식량생명공학과)  
고경희(고려대학교 환경생태공학부)  
김서현(고려대학교 환경생태공학부)  
이민정(연세대학교 화학과)

© naturepl.com / Karine Aigner / WWF



# 초록

2023년 10월 아마존에 D4등급의 예외적인 가뭄이 찾아와 아마존 주민들은 큰 피해를 입었다. 지속적인 화석 연료의 사용과 삼림 벌채로 인한 지구온난화는 가뭄으로 인한 피해의 주 원인이었다. 이에 따라 NbS 기반의 해결방안으로 ‘아바타 프로젝트’를 제안하게 되었다. 바이오차와 바이오 에너지를 동시에 생성하여 가뭄으로 인한 식량 문제와 에너지 문제를 해결하고자 했다. 바이오차를 사용하면 토양의 공극률, 수분 보유량, 미생물 다양성 등의 개선을 유도하여 재배 가능한 작물의 선택지가 넓어지고, 보다 많은 양질의 작물을 얻을 수 있다. 또한 재발 가능한 가뭄과 같은 기후위기에 있어 저항성을 기를 수 있다. 바이오차 생성 시 바이오매스의 열분해 발열과정 초기 에너지만 공급하면 이후 열에너지의 형태로 다시 회수하여 전기, 연료 등의 형태로 변환할 수 있어 에너지 문제가 완화된다. 이때 산업 폐기물인 레드머드를 바이오차와 함께 사용하여 토양의 산성도를 개량하고, 효율적인 에너지원인 폐목재를 바이오매스로 활용함으로써 자원의 순환도 꾀할 수 있다. 레드머드를 적용할 경우, 기존 연구에 따라 대략 “아마존 토양: 레드머드: 바이오차 = 1: 0.01: 0.02”를 기준으로 하는데, 토질 특성과 작물 중에 따라 이 비율은 조정될 수 있다. 추가로 쿨베지 프로젝트는 탄소인증위원회에서 발급한 탄소인증을 기업들에게 판매함으로써, 지불한 금액의 일정량이 농민들에게 돌아가게 한다. 그리고 농민들이 생산한 농작물을 기업이 판매하여 수익을 창출하면서 기업의 친환경적인 이미지 재고가 동시에 가능하여 생성되는 경제 순환 시스템을 통해 각 주체의 자발적인 참여를 기대할 수 있다.



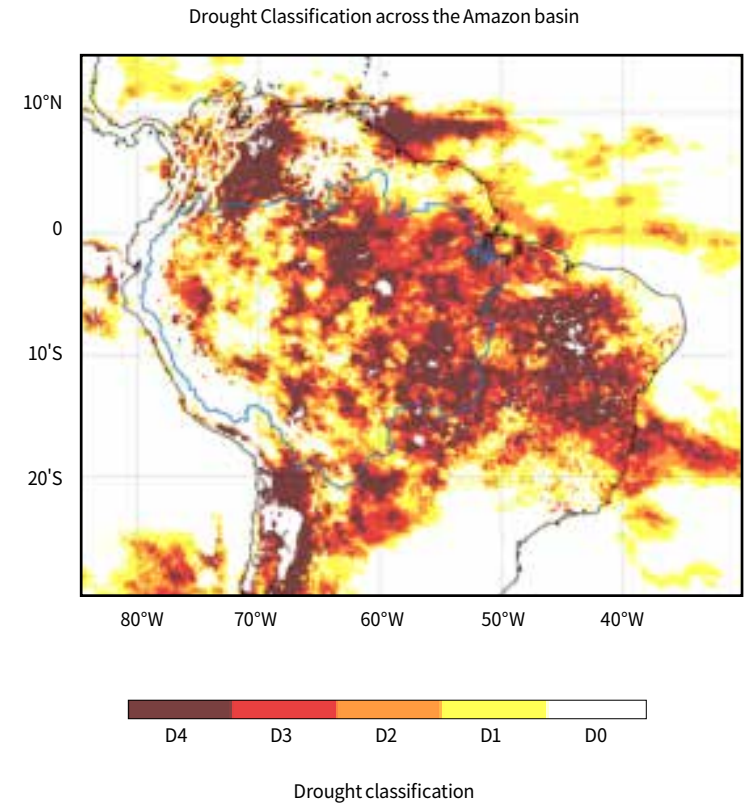
© Day's Edge Productions / WWF-US

# 서론

## 기후 변화로 인한 2023년 아마존의 가뭄 피해

현재 아마존은 역사상 가장 심각한 가뭄으로 분류되는데, 이는 가뭄 모니터링 분류 시스템에 의해 예외적 가뭄(D4)으로 분류됐다. 그러나 세계기상특성(WWA)에 따르면, 화석 연료 연소나 삼림 벌채로 인한 영향이 없었다면 이는 심각한 가뭄(D2)에 그쳤을 것으로 보인다고 한다.<sup>1</sup> 실제로 엘니뇨 현상보다는 기후 변화로 인한 기온 상승이 아마존 가뭄의 주요 원인으로 지목되고 있다. 이러한 기후 변화의 양성 피드백 작용으로 인해 아마존은 더 큰 피해를 입고 있다.

<그림 1> 2023년 6월~11월 아마존 강 유역(파란색 강조 표시)의 가뭄 분류



1. Climate change, not El Niño, main driver of exceptional drought in highly vulnerable Amazon River Basin. World Weather Attribution.

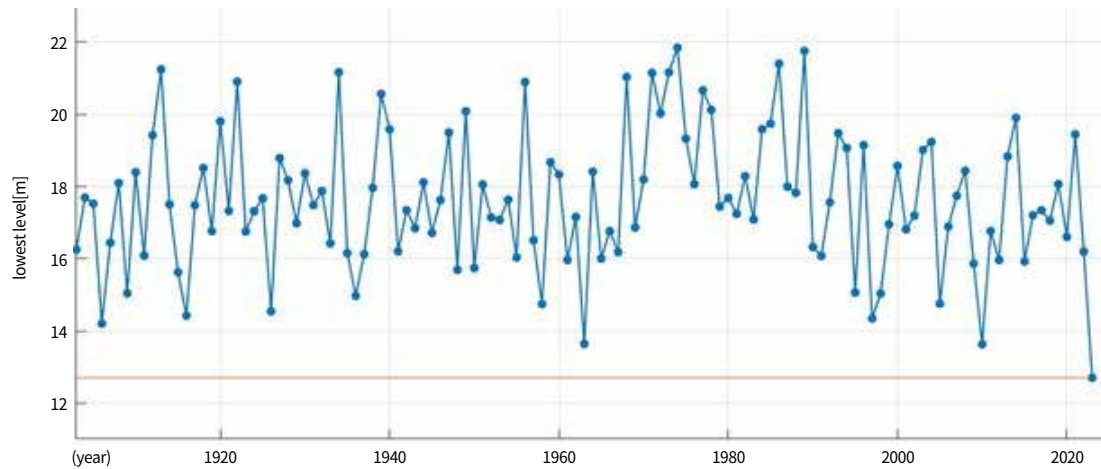
## 식량 및 에너지 공급 문제

2023년에는 심각한 가뭄으로 네그루 강(아마존 강의 주요 지류 중 하나)의 수위가 1902년 이래 최저치인 12.7m에 달했다.<sup>2</sup> 이런 가뭄은 아마존 강을 필요로 하는 주변 지역의 주민들에게 막대한 영향을 미쳤다. 실제로, 아마존 강에 의존하는 주민들 중 60만 명이 넘는 사람이 이러한 상황으로 인해 식량과 에너지 등 다양한 측면에서 심각한 어려움을 겪고 있다.<sup>3</sup>

농작물 판매에 의존하여 의식주를 해결하는 아마존 주민들은 가뭄과 그로 인한 화재로 인해 심각한 식량 문제를 겪고 있다. 브라질 Pará 주 Curralinho의 한 원주민은 가뭄으로 인해 오렌지, 코코넛, 레몬, 바나나 나무가 황폐화되었고, 카사바는 먹을 수 없는 크기로 자랐다고 전했다.<sup>4</sup> 유니세프가 실시한 아마조나스 주 대상 설문조사 역시 가뭄으로 인한 식량 문제의 심각성을 알려준다. 원주민 지도자의 77%가 지역사회의 수확에 가뭄이 영향을 미쳤다고 지적했다.<sup>5</sup>

가뭄은 이들 지역의 에너지 생산량에 상당한 영향을 미치고 있다. 브라질은 전력생산의 80%, 콜롬비아는 79%, 베네수엘라 68%를 수력 발전에 의존하고 있는데,<sup>6</sup> 가뭄으로 인해 2023년 6월부터는 이들 지역에서 정전 사태가 잇따라 발생하였다.<sup>7</sup>

<그림 2> 1902년 ~ 2023년 네그루 강의 저수위(lowest level) 통계 자료 (Lindsey, R., 2023)



2. Lindsey, R. (2023). Drought parches the central amazon in October 2023. NOAA Climate.gov.  
 3. Brazil Humanitarian Situation Report no. 2 (Amazon Drought), 22 November 2023. UNICEF.  
 4. Hughes, E. (2023). "Everything is dead": How record drought is wreaking havoc on the Amazon. Al Jazeera.  
 5. Ibid (UNICEF).  
 6. Climate risk profile: Amazon basin. Global Climate Change. (2018, December 13).  
 7. Ibid (World Weather Attribution)

## 아마존 유역 바이오매스 관련 현황

### 바이오차(Biochar)

바이오차는 무산소 환경에서 바이오매스가 고온 열 분해되어 제조된 탄화 고형물이다.<sup>8</sup> 2000년대부터 브라질의 여러 공공기관과 연구 단체는 바이오차의 생산과 활용을 위한 움직임에 동참했다.<sup>9</sup> 2019년 한 연구에서는 브라질의 황폐한 목초지를 대상으로 바이오차를 적용한 뒤, 환경적, 사회경제적 측면을 모두 고려하여 비용-이익 분석을 하였다.<sup>10</sup> 그 결과 작물의 생산량이 증가하고, land-sparing effect와 토양의 이산화탄소 저장 기능 향상으로 인해 이산화탄소가 절감됐다. 1헥타르 당 104톤 가량의 CO2가 절감됐고, 이를 달러로 환산하면 \$455였다. 중·대규모 농장에서는 비용보다 이익이 컸으며, 소규모 농장에서도 이미 생산된 바이오차를 공급받아 사용하거나 환경 인센티브로서 국가로부터 바이오차를 지원받는다면 비용을 크게 줄일 수 있다.

8. 한경화 외. (2014) 왕겨 바이오차 및 음식물쓰레기 바이오차가 밭 사양토에서 상추밭 아 및 수용성 유기탄소 용출에 미치는 영향 평가. Korean Journal of Agricultural Science, 41(4), 369-374.  
 9. Rittl et al. (2015). Biochar: An emerging policy arrangement in Brazil?. Environmental Science & Policy 51. 45-55  
 10. Latawiec et al. (2019). Biochar amendment improves degraded pasturelands in Brazil: environmental and cost-benefit analysis. Scientific Reports 9, 11993, 1-12



© Jacqueline Lisboa / WWF-Brasil



## 바이오 에너지

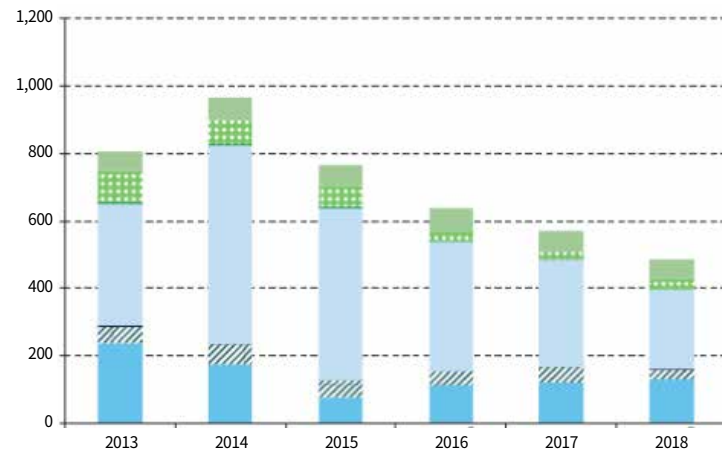
브라질과 콜롬비아에서는 약 2015년부터 에너지 소스로서 바이오매스를 활발히 사용하기 시작하였으며, 바이오매스 원료, 기술, 지역별 에너지 수요에 관한 연구는 지속적으로 진행되고 있다.<sup>11</sup> 주요 바이오 에너지 기술로는 direct combustion, gasification, anaerobic digestion이 있는데, 이 중 산소를 차단시킨 상태에서 바이오매스에 열을 가하는 anaerobic digestion 시설을 적극 활용한다면 바이오차 에너지를 동시에 생산할 수 있으리라 기대할 수 있다. 브라질의 National Biomass Reference Center-CENBIO에서 진행한 PUREFA 프로젝트에서 작은 규모의 anaerobic digestion 시설들을 성공적으로 설치한 바 있고 브라질 정부는 다른 재생 에너지보다도 특히 바이오 연료 부문에서의 연구와 시범 공장 운영을 더욱 적극적으로 지원하고 있다.<sup>12</sup>

<그림 3> 브라질 공공부문의 재생에너지 종류별 RD&D 투자 (2018)

범례( Legend US\$/ha/year)

- Other technologies
- Hydroelectricity
- Geothermal
- Biofuels
- Oceans
- Wind
- Solar
- Unallocated

Amount of public and publicly-oriented investments in renewable energy RD&D (Millions of constant reais (2018))



Source: CGEE A big push for sustainability in Brazil's energy sector Figure II.11

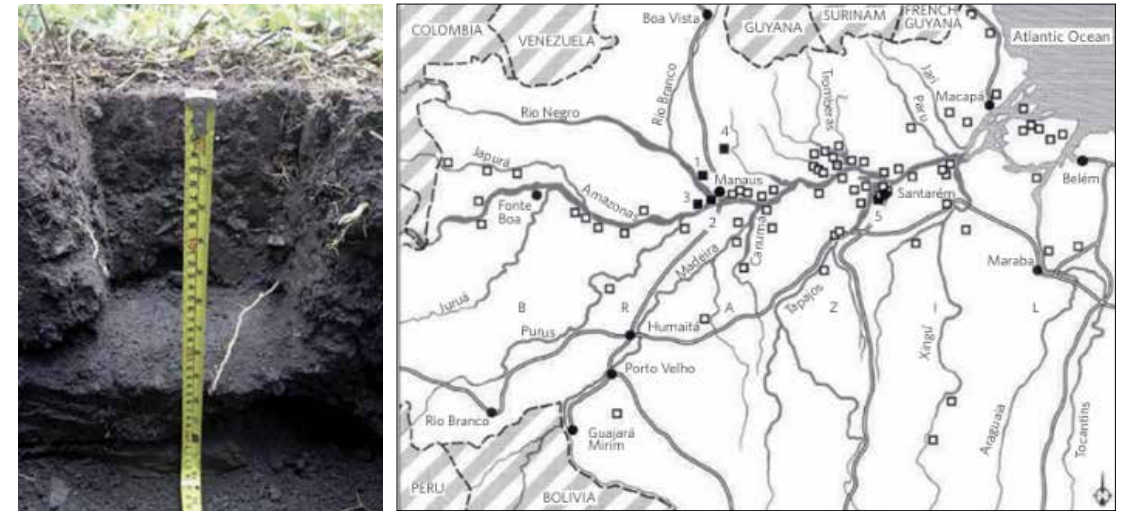
11. GNEED. (2015). Biomass Residues as Energy Source to Improve Energy Access and Local Economic Activity in Low HDI Regions of Brazil and Colombia (BREA).  
 12. IEA Bioenergy. (2021). Implementation of bioenergy in Brazil – 2021 update. Country Reports.

# 아마존 테라 프레타(TERRA PRETA)와 바이오차(BIOCHAR)

## 테라 프레타의 유래

테라 프레타란 과거 1879년 원주민이 기르는 사탕수수의 성장률이 눈에 띄게 높은 원인을 그 지역 아마존의 검은 빛을 띠는 흙 때문이라고 보고한 아마존 일부 지역에서 특이적으로 발견되는 흙이다.<sup>13</sup> 높은 활성도를 보이기 때문에 높은 생산력을 띄며, 자연적으로 생겨난 것이 아닌 약 500~2500년 전 원주민들이 척박한 조건을 개선하기 위해 넣었던 숯으로 인해 인공적으로 만들어진 것이다.<sup>14, 15, 16</sup>

<그림 4> (좌)테라 프레타 사진, (우)테라 프레타가 발견되는 곳 출처: Jorio, A., de Sá Barreto, F., de Sampaio, J. et al (2010)

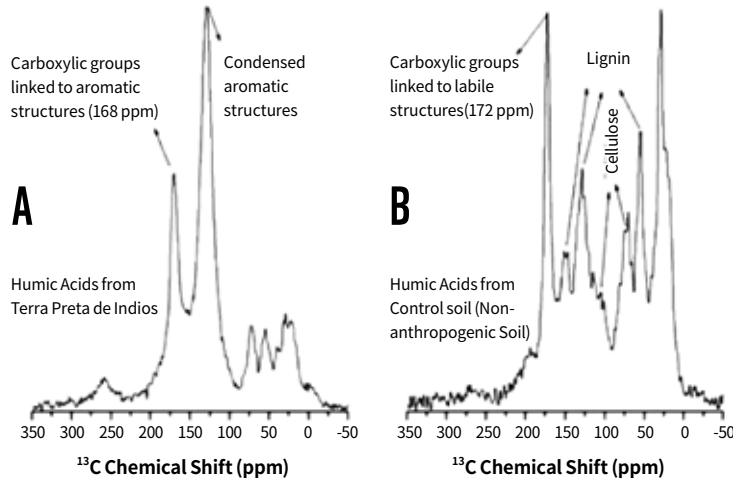


13. 우승한, 2021. 세계농업2021.3월호, 바이오차(Biochar)를 이용한 농림업부문 기후변화 대응 적용사례. 1-16.  
 14. Ibid (우승한).  
 15. Marris, E. 2006. Black is the New Green. Nature. 442, 624-626.  
 16. Teixeira, Wenceslau & Woods, William. (2014). Modeling the Formation and Evolution of Some Characteristics of Anthrosols: Studies of Amazonian Dark Earths (Terra Preta de Índio), Shell Mounds (Sambaquis) and Earthworks (Geoglifos) in Brazil.

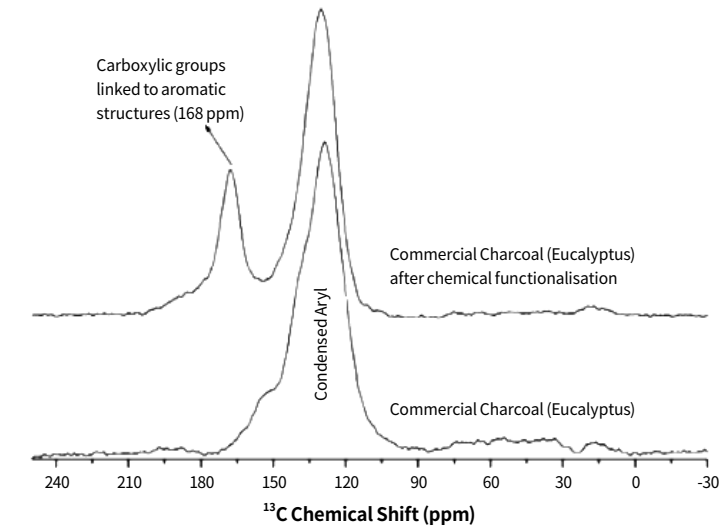
# 테라 프레타와 바이오차의 화학적 유사성

토양을 비옥화하고 땅의 탄소 포집 기능을 강화하는 데 테라 프레타가 효과적이라는 사실이 밝혀지면서, 이와 화학적으로 유사한 성분을 가진 바이오차가 주목받았다. 토양을 이루는 물질의 분자구조를 분석하였을 때, 테라 프레타와 산화시킨 숲은 비슷한 결과를 나타낸다.<sup>17</sup> 현재 개발된 기술들은 주로 열처리를 통해 탄소를 산화시켜 바이오차를 생산한다.

<그림 5> 아마존 지역 토양의 C-NMR 스펙트럼(A) 테라 프레타 (B) 일반 토양  
출처: Maia, C. M. B. F. et al. (2011)



<그림 6> 산화 전후 숲의 C-NMR 스펙트럼



17. Maia, C. M. B. F. et al. (2011). Advances in Biochar Research in Brazil. Global Science Books: Dynamic Soil, Dynamic Plant 5 (Special Issue 1), 53-58.

# 바이오차의 장단점

## 장점

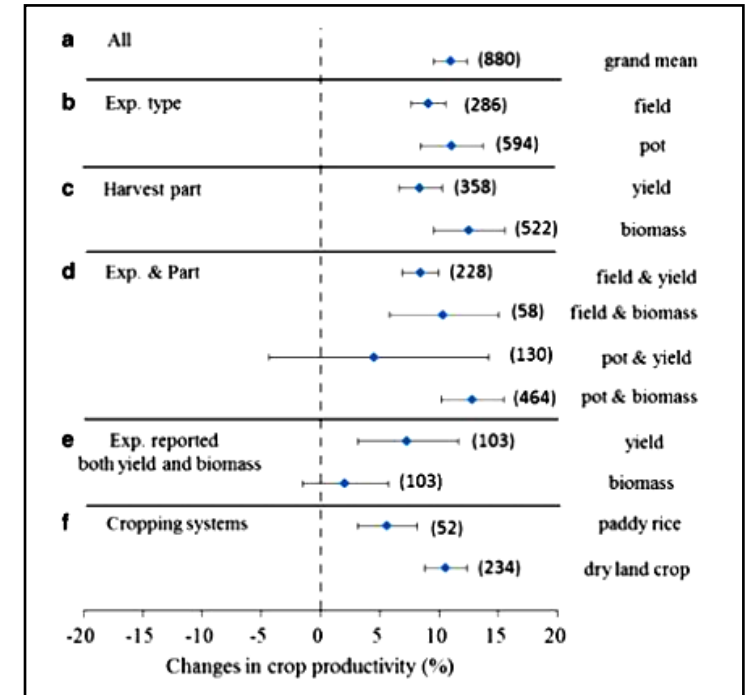
### ① 작물 생산량 증가

바이오차를 적용했을 때 작물 생산량이 감소하는 경우는 거의 없고, 평균적으로 약 11% 증가했다. 바이오차는 물 보유능이 뛰어나고 보통 알칼리성을 띄기 때문에 반대의 성질을 가지는 건조한 산성토양에 특히 큰 효과를 보였다.<sup>18</sup> 이 결과는 아마존의 가뭄으로 인한 마른 농지에 적용했을 때의 효과를 기대하게 한다.

### ② 바이오매스 순환 시스템을 통한 탄소 네거티브(Carbon Negative) 달성

바이오차를 첨가한 토양은 다른 토양에 비해 탄소 함유량은 약 70배, 질소와 인 함량은 3배 높다.<sup>19</sup> 1hectare x 1m의 테라 프레타는 일반 토양에 비해 150t 많은 250t의 탄소를 저장할 수 있고, 1세기 동안 진행된다면 약 950만t의 탄소를 토양에 격리시킬 수 있으며, 바이오 연료와 달리 바이오차는 탄소를 저장하기 때문에 bio refinery를 이용하는 방법들 중 유일한 탄소중립(Carbon neutral) 달성 방법으로 꼽힌다.<sup>20</sup>

<그림 7> 메타 분석을 통한 농작물 생산성에 대한 바이오차의 영향  
자료: Liu et al., Plant Soil (2013)



18. Liu, X. et al. 2013. Biochar's effect on crop productivity and the dependence on experimental conditions- a meta-analysis of literature data. Plant Soil. 373. 583-594.

19. Ibid (Jorio, A., de Sá Barreto, F., de Sampaio, J. et al.).

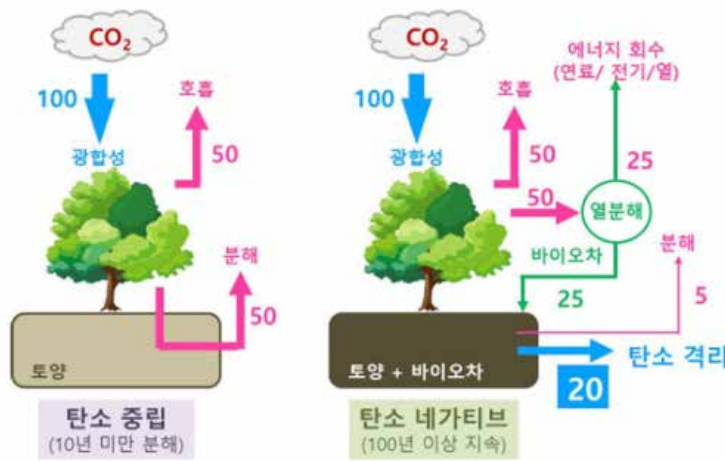
20. Ibid (Marris, E.).



바이오차의 탄소 네거티브 원리는 다음과 같다. 식물이 대기로부터 흡수하는 이산화탄소 중 일부는 식물의 호흡에 의해 다시 대기로 돌아가고 나머지는 식물 생장에 의해 바이오매스의 형태로 고정되는데, 이는 식물이 죽은 뒤 분해되며 10년 이내로 전부 대기 중으로 방출된다.

반면 바이오차는 그것을 만들 때 바이오매스를 열분해해서 만들어지는 탄소가 바이오차의 형태로 토양으로 돌아가서 100년 이상 유지된다. 이것이 일부 분해되더라도 전체 탄소의 20% 정도는 토양에 장기간 머무르며 탄소를 토양속에 격리시킴으로써 80%만의 탄소를 대기중으로 돌려보내 탄소 네거티브를 이룬다.<sup>21</sup> 물론, 탄소의 열분해과정에는 외부 에너지가 필요하지만, 바이오매스의 열분해는 발열과정이기때 초기 에너지만 공급하면 이후 과정부터는 열에너지의 형태로 다시 회수 가능하다. 이 열에너지를 전기, 연료 등의 형태로 바꿔 회수할 수도 있다.<sup>22</sup>

<그림 8> 바이오차의 기후변화 저감 원리  
 자료: J. Lehmann, Nature(2007), 그림을 재구성함  
 (우승환, 바이오차(2015), p.77)



21. Lehmann, J. 2007. A Handful of Carbon. Nature. 447. 143-144.  
 22. Ibid (Jorio, et al.).

### ③ 오염물질과 무기 오염물질 제거

바이오차 농약, 염료, 중금속, 휘발성 유기 화합물(VOCs)의 흡착에 뛰어난 효율을 보이며 특히 염료의 제거능을 제외한 모든 부분에서 목재를 원료로 한 바이오차의 효율이 매우 높게 나타났다.<sup>23</sup>

### ④ 경제성

바이오차의 생산 비용은 톤당 246달러로, 그와 일부 비슷한 기능을 하는 활성탄 생산 비용인 1500달러의 1/6 수준이다.<sup>24</sup> 옥수수 농사에서의 바이오차 사용시 비용적 측면에서의 경제성을 측정할 결과, 바이오차를 0.2, 1, 2%로 토양에 적용하였을 때 나타나는 효과들로 인한 이익은 한국 이산화탄소 시장 거래가로 각각 \$35.6, \$115.3, \$428.2로 나타났다.<sup>25</sup>

## 바이오차의 단점

### ① 토양 산성도 개량을 위해선 대량의 바이오차 필요

알칼리성을 띠는 바이오차는 토양의 산성도를 개량하기 위해 사용될 수 있다는 장점을 갖고 있다. 하지만 토양의 산성도라는 토질 특성 중 한가지만을 위해서 사용하기에는 대량의 바이오차가 필요하기 때문에 추가적인 개량제의 활용이 필요하다고 판단된다.<sup>26</sup>

### ② 영양염류가 침출되기 쉬움

많은 강우량으로 인해 영양염류의 침출이 많은 아마존 토양은 탄소와 영양분을 표토층에 붙잡고 있기 어려우므로 이를 보완해 줄 물질이 필요하다.<sup>27</sup>

### ③ 문명의 문화적 관행 유지 필요

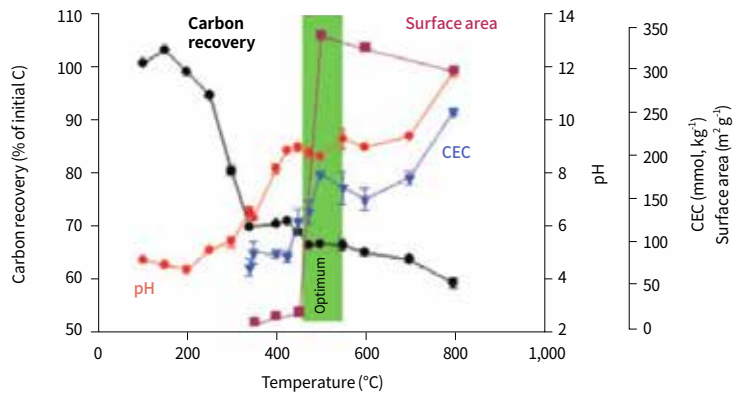
바이오차의 현대적 생산법의 보급으로 인한 원주민의 테라 프레타 전통 제작 방식 유실에 유의해야 한다.<sup>28</sup> 단점 ①, ②에서 언급했듯이, 바이오차만으로는 토양의 산성도를 적절한 수준으로 조절하고 영양염류 보유 기능을 향상시키는 데 한계가 존재한다. 이를 극복할 수 있게 해주는 토양 개량제로서 ‘레드머드’가 여러 연구에서 다뤄지고 있다.<sup>29</sup>

23. Park Yoon, Jung Suyeon, Jung Eunseo, Shin Yoon-Jung, Lee Eun-ju, Lee Jae-Won. Adsorption of Water Pollution by Biochar Produced from Biomass. Trends in Agriculture & Life Sciences 2022; 60:39-49.  
 24. Ibid (Park Yoon, et al.).  
 25. Shin, JoungDu, Choi, YoungSu, & Lee, Sunil. (2016). Estimation of Carbon Sequestration and Its Profit Analysis with Different Application Rates of Biochar during Corn Cultivation Periods. Journal of the Korea Organic Resources Recycling Association, 24(3), 83-90.  
 26. 신동. "레드머드 및 바이오차를 적용한 산성토양의 개량." 국내석사학위논문 전남대학교, 2020.  
 27. Ibid (Teixeira, et al.).  
 28. Ibid (Teixeira, et al.).  
 29. 레드머드에 대한 연구는 3장 해결 방안 중 '산업 폐기물의 재활용'에서 더 자세히 소개되어 있다.

## 바이오차와 바이오 에너지의 생산

바이오차는 바이오매스가 산소가 희박하거나 없는 환경에서 화학적 공정없이 300~800°C로 열분해 될 때 생산된다. 이 과정에서 바이오 연료(biofuel)도 생산이 되는데, 그것의 생산 비율은 바이오차의 기능과 물리화학적 특성과 함께 가열 온도와 바이오매스 원료에 따라 달라진다.

<그림 9> 열분해 조건 중 온도 조건에 따른 탄소 비율, 표면적, pH, CEC  
 자료: J. Lehmann, Front Ecol Environ(2007)



<표 1> 열분해 공정 조건과 생성물 비율  
 F. Amalina, et. Al. (2022)

Technique	Temperature (°C)	Residence time(s)	Heating rate(°C/s)	Biochar (%)	Bio-oil (%)	Syngas (%)	Ref.
Slow pyrolysis	300-550	hours to days	1-10	35	30	35	(Shahbaz et al., 2020)
Intermediate pyrolysis	450-550	10-20s	10-1000	25	50	25	(Daful and Chandraratne, 2018)
Fast pyrolysis	450-600	<2s	10-1000	12	75	13	(Thomas et al., 2019)
Flash Pyrolysis	750-1000	0.5s	<1	-	-	-	
Microwave-Assisted Pyrolysis	400-800	-	>1000	-	-	-	(Zaker et al., 2019)
Gasification	> 800	10-20s	1-0.8	10	5	85	(Zaied et al., 2020)
Torrefaction	450-550	<2h	-	75	20	5	(Amalina et al., 2022)
Hydrothermal Carbonization	< 200	1-16 h	<1	35	30	35	(Brown et al., 2020)

30. 우승한, 2021. 세계농업2021.3월호, 바이오차(Biochar)를 이용한 농업부문 기후변화 대응 적용사례. 1-16.  
 31. Ibid (Lehmann J.).

열분해 온도가 증가할수록 pH, 입자의 표면적, 양이온 치환능이 증가하고, 잔존 탄소 양은 작아진다.<sup>30</sup> 저온에서 장시간 열분해 시 20~50%정도의 수율을 보이고 온도를 높일수록 감소한다. 너무 낮은 온도에서 만들면 열분해 되지 않은 유기물로 인해 토양에서 분해가 많이 일어나게 되기 때문에 적절 온도인 450~550°C를 맞추는 것이 중요하다.<sup>31</sup> 이 온도대에서는 바이오 오일과 합성 가스의 비율도 높아지기 때문에 식량 문제와 더불어 에너지 문제도 효과적으로 다룰 수 있다.



© Andre Dib / WWF-Brazil



# 산업 폐기물의 재활용

## 레드머드(Red Mud)를 통한 토양 산성도 개량

브라질은 알루미늄의 원석인 보크사이트(Bauxite)를 세계에서 세 번째로 많이 생산한다.<sup>32</sup> 이 보크사이트를 정제하는 과정에서 알루미늄 1톤 당 레드머드 0.3~1.5톤이 산업 부산물로 생성되며,<sup>33</sup> 대부분은 폐기되거나 시멘트와 벽돌 등을 생산하는 데 이용된다. 브라질의 알루미늄 정제 공장 인근 매립지에는 상당한 양의 레드머드가 축적되어 있다. 레드머드는 강알칼리성으로 인체에 매우 해롭기 때문에 과학자들은 레드머드가 안전하게 폐기되거나 새로운 용도로 활용될 수 있어야 한다고 말한다.<sup>34</sup> 최근 자원순환의 필요성이 강조되면서, 토양 개량에 레드머드가 활용되고 있으며 한 연구에서는 <표 3-2>, <표 3-3>의 특성을 가진 바이오차와 레드머드를 각각 산성 토양에 적용한 뒤, pH, 전기전도도(EC), 양이온교환용량(CEC)을 비교했다.<sup>35</sup>

<표 2> 제조된 바이오차의 이·화학적 분석 결과

반응 조건		pH	EC (dS/m)	OM (g/kg)	Avail. P2Os	Exch. cations (cmol/kg)			
온도 (°C)	시간 (min)					Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>
400	30	7.65	2.03	122.3	877.5	23.31	203.8	21.59	53.77

<표 3> 실험에 사용된 레드머드의 이·화학적 분석 결과

pH	EC (dS/m)	OM (g/kg)	Exch. cations (cmol/kg)			
			Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>
11.54	23.51	1.7	21.62	21.62	293.11	1528.0

<표 3-4>와 같이 레드머드는 약염기성인 바이오차보다 더 강한 알칼리성을 띄기 때문에 소량으로도 토양의 산성도를 효과적으로 낮출 수 있었다. 나트륨이온 함량이 매우 높아 EC를 증가시켰는데, 높은 EC는 토양 속 염류 농도가 높다는 것을 의미한다. 또한, 레드머드는 토양 입자의 양이온 흡착 능력을 나타내는 양이온교환용량(CEC)을 바이오차보다 크게 상승시킬 수 있었다. CEC가 큰 토양은 비료가 첨가되었을 때 영양분을 잘 흡수할 수 있기 때문에 비옥도를 유지하기 용이하다.

32. Government of Brazil. (2022). Brazil is one of the main exporters of bauxite and aluminum.  
 33. Lima M.S.S, Thives L.P. (2020). Evaluation of red mud as filter in Brazilian dense graded asphalt mixtures. Construction and Building Materials. Vol.260, 119894, 1-9.  
 34. Ibid (Lima M.S.S.).  
 35. Ibid (신동). 아래 표 참고.

<표 4> 레드머드 또는 바이오차로 처리된 토양의 pH 및 EC 결과

시료	pH	EC(dS/m)
대조구	4.84 d*	0.20 e
레드머드 1%	6.99 c	0.98 d
레드머드 2%	7.31 b	1.41 c
레드머드 3%	7.43 b	1.95 b
레드머드 5%	8.21 a	2.89 a
대조구	4.84 c	0.20 d
바이오차 1%	5.18 b	0.23 cd
바이오차 2%	5.23 ab	0.25 c
바이오차 3%	5.29 ab	0.30 b
바이오차 5%	5.35 ab	0.35 a

\* a, b: 동일한 문자는 통계적으로 유의한 차이가 없음(p<0.05).

<표 5> 레드머드 또는 바이오차로 처리된 토양의 CEC와 시환성양이온 분석결과

시료	CEC	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>
대조구	7.56 e*	2.00 a	0.15 c	0.69 e	0.04 e
레드머드 1%	9.21 d	1.91 ab	0.16 c	2.54 d	2.03 d
레드머드 2%	11.56 c	1.90 ab	0.17 c	4.71 c	4.12 c
레드머드 3%	14.54 b	1.90 ab	0.21 b	6.38 b	6.05 b
레드머드 5%	20.70 a	1.88 b	0.24 a	9.96 a	8.62 a
대조구	7.56 e	2.00 a	0.15 e	0.69 c	0.04 a
바이오차 1%	7.80 d	2.01 a	0.22 d	0.76 b	0.04 a
바이오차 2%	7.97 c	2.01 a	0.29 c	0.79 ab	0.04 a
바이오차 3%	8.16 b	2.02 a	0.38 b	0.80 ab	0.05 a
바이오차 5%	8.35 a	1.99 a	0.49 a	0.83 a	0.05 a
적정범위 <sup>33)</sup>	10-15	1.5~2.0	0.3~0.8	5.0-6.0	-

\* 동일한 문자는 통계적으로 유의한 차이가 없음(p<0.05).

이와 더불어, 레드머드 단독으로 구성한 사료(1<sub>soil</sub> : 0.01<sub>RM</sub>)보다 레드머드와 바이오차를 혼합한 사료(1<sub>soil</sub> : 0.01<sub>RM</sub> : 0.02<sub>BC</sub>)를 사용했을 때 pH와 CEC가 더 높게 나타났다. 식물 종에 따라 적정 CEC 요구량이 다르며, 지역에 따라 토양의 이·화학적 특성도 다르기 때문에 다양한 여건을 고려하여 적절한 사용량을 산정할 필요가 있다.<sup>36</sup>

36. Ibid (신동).

**폐목재(Wood Waste)를  
이용한 친환경적  
바이오 에너지 생산**

바이오차의 원료로서 효율이 높은 폐목재를 에너지원으로 활용한다면 바이오차의 장점을 활용할 수 있고 브라질의 공공 산림 벌목의 결과로 예상되는 연간 3,400만 톤의 폐기물로 인해 발생하는 문제를 해결할 수 있다.<sup>37</sup>

브라질 아마조나스 주 Itacoatiara에서 ‘Precious Woods’ 회사의 제재소에서 나오는 폐목재를 이용하는 발전소가 있다. 이 발전소를 통해 8만 명이 사는 Itacoatiara의 에너지 수요의 약 40%를 공급한다. 발전소는 옆에 위치한 제재소에서 나오는 폐목재와 톱밥을 전달받아 연간 최대 45,000MWh를 생산할 수 있다. 이는 연간 약 1,000~1,500만 리터의 디젤 연료를 절약하는 효과를 가져온다. 발전소가 가동되기 전 폐목재가 쌓여 썩어가며 온실 가스인 메탄을 발생시켰다. 하지만 폐기물의 지속 가능한 사용을 통해 연간 47,029 톤의 CO2를 감축할 수 있었다.<sup>38</sup>

<그림 10> 제재소(좌)와 폐목재를 이용하는 발전소(우) 사진제공: myclimate / Savio



37. Lima, M. D., et al. (2021). Colorimetry as a criterion for segregation of logging wastes from sustainable forest management in the Brazilian amazon for Bioenergy. Renewable Energy, 163, 792-806.  
38. Myclimate (2022). Electricity from FSC Wood Waste in the Amazon.

**지역사회 참여 유도 방안**

**사례 분석: 일본 교토의  
쿨베지(COOL VEGE)  
프로젝트 (2008)**

일본 교토 농촌이 채소 재배에 바이오차를 적극적으로 활용하도록 유도하는 데 성공시킨 프로젝트로, 2008년부터 현재까지 이어져 오고 있다. 지자체에서 설립한 탄소인증 위원회가 바이오차를 이용해 재배된 채소에 탄소인증을 발급하면, 기업이 탄소인증을 구매하여 자신의 친환경적 이미지를 제고하는 동시에 농민을 후원하는 구조이다. 2013년 후원기업이 탄소인증 라벨을 개당 20엔에 구매함으로써 농민은 약 5-10%의 추가 수익을 올릴 수 있었다.<sup>39</sup>

**아마존 COOL VEGE  
프로젝트 도입 및  
구체적 실현 방안**

아마존 유역의 지방자치단체 및 아마존 원주민 단체들이 주도하여, COOL VEGE와 같이 바이오차를 농사에 적극적으로 사용하도록 하는 유인책을 도입하기를 제안한다. 아마존 유역에는 전통적인 생활 양식과 문화를 보존하며 살아가는 원주민 공동체들이 존재하며, 대다수는 농사를 지어 생계를 유지한다. Coordinator of Indigenous Organizations of the Amazon River Basin(COICA) 및 그 산하의 토착민 단체들<sup>40</sup>과 지방자치단체와 연계하여 관련 제도를 운영한다면, 아마존 원주민들도 작물 생산량을 효과적으로 늘리고 더욱 풍족한 생활을 영위할 수 있을 것이다.

열대 지역의 폐기물을 원료로 한 바이오차를 통한 장기 탄소 포집 전문 프랑스 회사인 NetZero는 2023년 4월 브라질의 Minas Gerais의 Lajinha 시에 남미 최초의 바이오차 단지를 건설했다.<sup>41</sup> 이 단지의 연간 생산 능력은 바이오차 4,500톤 이상이다. 이 공장은 지역 협동조합의 커피 농가 1만 명에게 바이오차로 변환되는 작물의 잔류물을 제공받고 있다. 이 공장은 “농업 폐기물에서 바이오 숯을 생산하는 세계 최대 규모의 공장”이 될 것으로 예상된다. 이 지역은 프로젝트 시행 대상 지역인 마나우스와 비행기로 5시간 정도 거리에 떨어져 있다.

39. Ibid (우승환).  
40. COICA는 AIDSESP, APA, CIDOB, COIAB, CONFENIAE, ORPIA, FOAG, OIS, Organization of the Indigenous Towns of the Colombian Amazonia 총 9개의 아마존 원주민 조직으로 구성된다.  
41. Netzero production sites.



# 결론 및 기대효과

NetZero의 바이오차 단지과 더불어, 브라질과 콜롬비아 각 지역에서 바이오 에너지를 생산하던 anaerobic digestion<sup>42</sup> 시설을 적극적으로 활용하여 에너지와 바이오차를 동시에 생산하기를 제안한다. 바이오매스 열분해 과정에서 온도는 450-550°C로 맞추어야 좋은 성능의 바이오차를 생산하고 높은 수율의 바이오 연료를 얻을 수 있다. 이를 활용하면 수력 발전에 대한 의존도를 줄이고, 토양의 비옥도와 수분 보유량을 높여 식량 문제 해결에 도움을 줄 수 있을 것이다.

레드머드와 폐목재를 활용한다면 현재 아마존이 겪고 있는 식량 문제와 에너지 공급 문제를 완화할 수 있을 것이다. 바이오 차와 레드머드를 혼용했을 경우 토양의 CEC, 공극률, 수분 보유량, 토양의 산성도 등과 같은 토질의 개선을 유도하여 지금보다 기를 수 있는 작물의 폭이 넓어질 것이다. 그렇게 개선된 토질에 따라 작물 및 식물의 뿌리가 개선되어 토양 침식을 방지할 수 있고 다시 발생할 가능성이 높은 가뭄에 대해 적응력 및 저항성을 가질 수 있다. 또한, 폐목재를 활용한 전력 생산은 앞서 언급된 재생 에너지 생산, 디젤 절감, 유기 폐기물 처리를 통한 온실가스 생성 방지 이외에 일자리 창출, 재생 가능한 바이오매스 이용을 통한 육상 생태계 보호 등 SDGs 중 5개를 이행할 수 있다. 마지막으로, 다음의 표를 통해 '아바타 프로젝트'는 IUCN의 NbS 기준<sup>43</sup>에 부합함을 확인할 수 있다.

42. Anaerobic digestion은 산소가 차단된 환경에서 바이오매스에 열을 가하는 방식이다.  
43. IUCN's Global Standard for Nature-based Solutions. First edition (2020).

<표6> 아바타 프로젝트의 NbS 적합성

Criterion	역량	프로젝트 내용
1	사회문제 해결	· 아마존 열대우림 내 마나우스 지역에 적용. · 식량문제와 에너지 문제라는 세부적 문제에 집중.
2	기술-경제-자연의 상호작용	· 아마존 전체의 문제인 식량, 에너지 문제를 다룸. · 학자, 주민, 기업, 정부가 프로젝트를 함께 주도.
3	생태계다양성 고취	· 토질 개선으로 인한 식물 서식 환경 개선. · 다양한 작물 생산 가능.
4	경제성	· 기업의 경제적 참여동기, 환경적 이득, 시민의 경제적 이득이 명확. · 프로젝트 구상단계에서 예상 비용과 이득 요소를 세부적으로 파악.
5	포용성	· 프로젝트의 경제 순환 시스템과 바이오차의 생산과 유통, 작물 생산 등 모든 과정이 주민-기업-지자체의 적극적인 협력을 기반으로 함.
6	장기적 이득과 궁극적 목표 사이의 균형	· 장기적 이득과 궁극적 목표가 식량문제와 에너지 문제 개선으로 일치.
8	지속가능하고 주류를 이루며 적절한 범위내에서 실현	· 5개의 SDG를 만족하며, 프로젝트의 내용이 적법하거나 시대를 거스르지 않음.



© Greg Armfield / WWF-UK



# 참고문헌

1. 신동 (2020), "레드머드 및 바이오차를 적용한 산성토양의 개량." 국내석사학위논문 전남대학교.
2. 신동, 조영태, 박성재, 박정훈 (2019), "산성토양 개량을 위한 레드머드 및 바이오차의 적용과 이화학적 특성 연구." 대한환경공학회지 41.9 (2019): 483-493.
3. 우승한 (2021), 세계농업2021.3월호, 바이오차(Biochar)를 이용한 농업부문 기후변화 대응 적용사례, p.1-16.
4. 최윤국 (2000). 페루의 쌀산업 동향. 세계농업 4(0), p.28-36.
5. 한경화 외 (2014), 왕겨 바이오차 및 음식물쓰레기 바이오차가 밭 사양토에서 상추밭 아 및 수용성 유기탄소 용출에 미치는 영향 평가. Korean Journal of Agricultural Science, 41(4), p.369-374.
6. Archanjo, B. S., Araujo, J. R., Silva, A. M., Capaz, R. B., Martins-Ferreira, E. H., Baptista, D. L., Falcao, N. P. S., Soares, J. R., Cancado, L. G., Jorio, A., & Achete, C. A. (2014). Nanoscale Chemical Analyses of Biochar from Ancient Amazonian Anthrosoils. In Soils Embrace Life and Universe: Proceedings of the 20th World Congress of Soil Science, June 8-13, 2014.
7. Boechar et al. (2023), Amazon drought affects everything from agriculture to power supply. International Valor.
8. Brazil Humanitarian Situation Report no. 2 (Amazon Drought) (2023), UNICEF. <https://www.unicef.org/documents/brazil-humanitarian-situation-report-no-2-amazon-drought-22-november-2023>
9. Brown, A. (2018), Amazonian drying. Nature Clim Change 8, 1033. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0362-z>
10. Climate change, not El Niño, main driver of exceptional drought in highly vulnerable Amazon River Basin. World Weather Attribution header (2024). <https://www.worldweatherattribution.org/climate-change-not-el-nino-main-driver-of-exceptional-drought-in-highly-vulnerable-amazon-river-basin/>
11. Climate risk profile: Amazon basin. Global Climate Change (2018). <https://www.climatelinks.org/resources/climate-risk-profile-amazon-basin>
12. Electricity from FSC Wood Waste in the Amazon. myclimate (2022). <https://www.myclimate.org/en/get-active/climate-protection-projects/detail-climate-protection-projects/brazil-biomass-7123/>
13. Emergen Research. (2022). By technology (pyrolysis, gasification, others), by use (agriculture, power generation, others), and by region bio-vehicle market forecast by 2030. ER\_001033 <https://www.emergenresearch.com/ko/industry-report/%EB%B0%94%EC%9D%B4%EC%98%A4%ED%83%84-%EC%8B%9C%EC%9E%A5>
14. F. Amalina, A.S.A. Razak, S. Krishnan et al. (2022), Biochar production techniques utilizing biomass waste-derived materials and environmental applications – A review. Journal of Hazardous Materials Advances 7, 100134, p.1-12.
15. Fortune Business Insight (2023). Biochar Market Size, Share and COVID-19 Impact Analysis, By Technology (Territation and Gasification), By Application (Agriculture, Livestock, Power Generation, and Others) and Regional Forecast (2023-2030), FBI100750 <https://www.fortunebusinessinsights.com/ko/industry-reports/biochar-market-100750>
16. GNESD (2015). Biomass Residues as Energy Source to Improve Energy Access and Local Economic Activity in Low HDI Regions of Brazil and Colombia (BREA).
17. Government of Brazil (2022). Brazil is one of the main exporters of bauxite and aluminum. <https://www.gov.br/en/government-of-brazil/latest-news/2022/brazil-is-one-of-the-main-exporters-of-bauxite-and-aluminum>
18. Hughes, E. (2023). "Everything is dead": How record drought is wreaking havoc on the Amazon. Al Jazeera. <https://www.aljazeera.com/news/2023/12/20/everything-is-dead-how-record-drought-is-wreaking-havoc-on-the-amazon>
19. IEA Bioenergy (2021). Implementation of bioenergy in Brazil. Country Reports.
20. IUCN (2020). Global Standard for Nature-based Solutions. A user-friendly framework for the verification, design and scaling up of Nbs. First edition. Gland, Switzerland: IUCN.
21. Jorio, A., de Sá Barreto, F., de Sampaio, J. et al. (2010), Brazilian science towards a phase transition. Nature Mater 9, p.528-531. <https://doi.org/10.1038/nmat2790>
22. Latawiec et al. (2019). Biochar amendment improves degraded pasturelands in Brazil: environmental and cost-benefit analysis. Scientific Reports 9, 11993, p.1-12.
23. Lehmann, J. (2007). A Handful of Carbon. Nature. 447, p.143-144.
24. Lehmann, J. (2007). Bio-energy in the black. Front. Ecol. Environ. 5(7), p.381-387.
25. Lima, M. D., Patrício, E. P., Barros Junior, U. de, Silva, R. de, Bufalino, L., Numazawa, S., Hein, P. R., & Protásio, T. de. (2021). Colorimetry as a criterion for segregation of logging wastes from sustainable forest management in the Brazilian amazon for Bioenergy. Renewable Energy, 163, p.792-806.
26. Lima M.S.S, Thives L.P. (2020). Evaluation of red mud as filter in Brazilian dense graded asphalt mixtures. Construction and Building Materials. Vol.260, p.1-9.
27. Lindsey, R. (2023). Drought parches the central amazon in October 2023. NOAA Climate.gov. <https://www.climate.gov/news-features/event-tracker/drought-parches-central-amazon-october-2023>
28. Liu, X. et. al. (2013), Biochar's effect on crop productivity and the dependence on experimental conditions- a meta-analysis of literature data. Plant Soil, p.583-594.
29. Maia, C. M. B. F. et al. (2011). Advances in Biochar Research in Brazil. Global Science Books: Dynamic Soil, Dynamic Plant 5 (Special Issue 1), p.53-58.
30. Marris, E. (2006). Black is the New Green. Nature. 442, p.624-626.
31. Mordor Intelligence Research & Advisory. (2024). Biochar Market Size & Share Analysis - Growth Trends & Forecasts (2024 - 2029). Mordor Intelligence. <https://www.mordorintelligence.kr/industry-reports/biochar-market>
32. Netzero. (n.d.) Our production sites. <https://netzero.green/en/production-sites/>
33. Park Yoon, Jung Suyeon, Jung Eunseo, Shin Yoon-Jung, Lee Eun-ju, Lee Jae-Won (2022). Adsorption of Water Pollution by Biochar Produced from Biomass. Trends in Agriculture & Life Sciences 2022; 60. p.39-49.
34. Precedence Research. (2022). Market value of biofuels worldwide from 2020 to 2022, with a forecast until 2030 (in billion U.S. dollars) [Graph]. In Statista. Retrieved February 25, 2024, from <https://www.statista.com/statistics/217179/global-biofuels-market-size/>
35. Rittl et al. (2015). Biochar: An emerging policy arrangement in Brazil?. Environmental Science & Policy 51, p.45-55.
36. Shin, JoungDu, Choi, YoungSu, & Lee, Sunll (2016). Estimation of Carbon Sequestration and Its Profit Analysis with Different Application Rates of Biochar during Corn Cultivation Periods. Journal of the Korea Organic Resources Recycling Association, 24(3), p.83-90. <https://doi.org/10.17137/KORRAE.2016.24.3.83>
37. Teixeira, Wenceslau & Woods, William (2014). Modeling the Formation and Evolution of Some Characteristics of Anthrosoles: Studies of Amazonian Dark Earths (Terra Preta de Indio), Shell Mounds (Sambaquis) and Earthworks (Geoglifos) in Brazil.
38. Tollefson, Jeff (2013). Amazon ecology: Footprints in the forest. Nature. 502, p.160-162.
39. Woods, W., Falcão, N. & Teixeira, W. (2006), Biochar trials aim to enrich soil for smallholders. Nature 443, p.144. <https://doi.org/10.1038/443144b>







## 콩고 이탄습지 보호 및 보존을 위한 정책 프레임워크

장재영 (송실대학교 국제법무학과)  
강나형 (성균관대학교 화학과)  
김보민 (연세대학교 비교문화과문학과)  
홍지창 (워털루대학교 Sustainability and  
Financial Management)

© Andy Isaacson / WWF-US



# 초록

콩고 분지 중앙의 광대한 습지 지역인 큐벳 상트랄(Cuvette Centrale)은 세계 최대 이탄지대로, 지구의 지속 가능성에 중요한 부분을 차지한다. 콩고 분지 내 이탄습지에는 300억 톤의 탄소가 매장되어 있으며 이는 전세계 탄소 배출 3년치 양에 해당하는 만큼 기후 재앙을 피하기 위한 절대적 보호 요소로 간주되고 있다. 그러나 채굴, 개발, 화전식 농업 등 인간 활동의 결과로 인해 이탄지가 직면한 여러 위협으로 인해 이탄지의 기능이 손상되고 있으며 지구온난화로 인한 분지 지대 건기가 장기화되고 있는 문제가 발생하고 있다. 이탄지의 중요성과 위협에 대한 인식으로 인해 전 세계 많은 국가에서는 이탄지와 생태계의 상태를 개선하기 위한 노력을 강화하고 있는 실정이다.

본 프로젝트에서는 이탄지 보존과 복원을 위해 자본, 법률 그리고 과학기술의 세 가지 요소가 융합하여 통합적인 하나의 정책솔루션을 제안한다. 세 가지 요소의 융합은 보다 종합적이고 지속가능한 이탄지 환경을 조성하며, 복합적인 콩고 자국 내 이탄습지 문제에 대한 균형을 유지하는데 필수적이다. 단기적으로 지역사회와의 자연기반해법 일부인 PIREDD+와 콩고 자국 내 법률 개정을 진행하고 장기적으로는 Green Bond의 자금조달을 통해 과학기술을 활용하여 이탄습지 복원을 추진하고자 한다. 이를 통해 지속가능한 생태계 보전과 지역사회 발전을 동시에 추구하는 효과적인 NbS 방향을 제시할 것으로 기대된다. 이러한 노력으로 국제적으로 보호되어야 하는 이탄습지가 콩고가 가진 자연을 보존하면서 지역사회의 지속가능한 발전에 기여할 것으로 기대한다.



# 서론

## 콩고 이탄습지의 중요성

콩고의 이탄습지는 최근 COP27에서 기후 정의의 핵심 이슈로 언급되며 세간의 관심을 받고 있다. 이탄은 나뭇가지 등 식물 잔해가 물기가 많은 곳에서 완전히 분해되지 않은 채로 수백 년 동안 쌓이면서 만들어진 퇴적물이다. 이탄습지는 일반 토양보다 탄소를 10배 이상 저장할 수 있어서 기후변화를 억제하는데 핵심과제이다. 콩고 열대우림의 이탄습지에는 300억 톤(t)의 탄소가 매장되어 있다. 이는 전세계 화석연료로 인해 배출되는 탄소의 3년치에 해당한다. 만약 이탄습지가 파괴되어 매장되어 있던 공기가 배출되면 기후변화 속도의 큰 타격을 가져오게 된다.

네이처 지오사이언스가 발표한 연구에 따르면, 콩고 분지의 이탄지대는 이탄습지 중에서도 가장 많은 양의 탄소를 함유하고 있어 기후 변화 대응에서 필수적인 방호벽이다. 세계 열대 이탄지 면적의 약 36%를 차지하며 세계 열대 이탄지 탄소의 약 28%를 저장하기에 그 중요성이 강조되고 있다.





## 문제인식

이와 같은 중요성에도 불구하고 이탄지는 계속해서 파괴되고 있는 상황이다.

### 콩고 이탄지 현황 (CIFOR, 2023)

콩고민주공화국은 콩고 분지의 가장 많은 부분을 차지하고 있는 국가이다. 대략적으로 1억 5200만 헥타르(ha)의 숲이 위치하고 있으며, 이는 아프리카 전체 삼림지역의 62%를 차지한다 (DRC 2021a).

콩고민주공화국에서 위치한 Cuvette Centrale 습지 243,743.53km<sup>2</sup> 중, 이탄지의 면적은 115,232.03km<sup>2</sup> 정도로 추정된다 (CIFOR, 2023). 해당 이탄지는 콩고민주공화국 정부 산하 환경 및 지속가능개발부처(MEDD)의 지속가능개발부서(DDD) 내 이탄지 관리팀(PMU) 주최로 관리되고 있다.

### 기후변화로 인한 이탄지 내 물 부족

콩고 분지 내 이탄지는 저장되어 있는 물의 양을 유지하는 것이 굉장히 중요한데, 이는 크게 강수량에 의존한다 (Dargie et al. 2019). 강수량이 적어지면, 이탄지 내 물이 부족해지며 결과적으로 이탄지 내 가뭄을 초래한다. 콩고민주공화국의 평균 기온이 매년 올라가고 있는 실정은 강수량의 감소로 이어진다는 점에서 지구온난화로 인한 이탄지의 파괴, 그리고 이로 인해 증가하는 온실가스 배출이라는 악의 고리가 형성되는 것이 문제점 중 하나이다.

### 산림 및 생물 다양성 파괴

현재 콩고민주공화국의 Cuvette Centrale 지역에는 대략 77개의 벌목계약이 이루어져 있는 상황이다. 이로 인해 이탄지의 전체 면적 중 약 20%는 현재 산림 벌채를 위해 사용되고 있는 현황이며, 이 중 53%의 계약이 과도한 벌채 및 자원 착취로 이어지고 있다 (Miles et al. 2017). 뿐만 아니라 광산 채굴 계약 및 팜유 생산을 위한 토지 사용으로 인해 Cuvette Centrale 내 여러 지대가 이미 파괴되었으며 이로 인해 이탄지 건조 현상이 가속화되고 있다.

### 토착민 서식지 파괴 및 이탄지 내 거주 인구 감소

9000만명이 살고 있는 콩고 민주 공화국에서, 총 1171만 3000명 정도의 인구는 Cuvette Centrale 지역에 거주 중이며, 이는 전체 인구의 약 12%이다. 해당 인구는 정착형 농업 보다는 수렵-채집에 의존하는 생활 양식을 유지 중이다. 따라서 이탄지의 환경 파괴는 이들의 생존을 위협하고 있으며, 이에 따라 도시로 유입되는 인구가 증가하는 현상은 이탄지 내 보존해야 할 전통과 문화의 훼손으로까지 이어진다.

## 본론

### 단기적 솔루션(PIREDD+)

#### 공공 이니셔티브 및 기금을 위한 자금조달

해당 위험요소들로부터 이탄지를 보호하기 위해서는 체계적인 프로그램의 도입이 필요하다. 일회성의 보존 프로젝트가 아닌 모든 솔루션을 통합한 프로그램 단위의 정책 프레임워크가 따라서 요구된다. 이에 따라 국가단위에서의 이탄지 정책은 REDD+와 같은 국제 프레임워크를 지원하기 위한 CFI 등의 이니셔티브와 병행되어야 그 실효성을 가진다.

#### REDD+

REDD+(Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation and Plus)는 유엔기후변화협약(UNFCCC)에서 개발된 국제 프레임워크로 개발도상국을 대상으로 산림을 보존하고 더 나아가 황폐화를 방지하고 탄소축적능력을 향상시키는 것을 목표로 한다. 이를 위해 농업, 거주, 기반시설 등에서 발생하는 산림 훼손을 방지하고, 보호구역을 확대, 지속가능한 산림 경영 및 농업을 확장과 재조립 등을 프로젝트로 한다. 이후 언급한 지역 거버넌스 조성을 통한 비탄소 편익의 추구는 모두 콩고민주공화국의 상황을 고려하여 개발된 REDD+ 프로그램의 일환으로, 생물다양성을 보호하고 지역주민 삶의 질적 개선을 목표로 한다.

UN-REDD 프로그램에서 발표한 바르샤바 프레임워크 결정문에 따라, 콩고민주공화국에 해당 REDD+ 프로그램이 도입될 경우, 프로그램의 도입 및 시행 이후 온실가스 배출량이 산림배출기준선을 만족하는지 측정 이후, 감축실적이 인정되면 결과기반의 보상을 받는 형태로 이루어지게 된다.

REDD+는 프로그램의 이행 역량이 부족한 국가의 경우 단계적 접근을 가능케 한다는 점과 콩고민주공화국 전체가 아닌 이탄지 내에서의 탄소저감 및 황폐화 감소를 평가한다는 점에서 본 팀이 개발하고자 하는 프로그램의 타겟팅에 적합하다고 판단하였다.



## 지역 거버넌스 조성

### CAFI

결과기반보상을 통해 자금 조달이 이루어진다는 REDD+의 한계점을 보완하기 위해 본프로그램에서는 중앙아프리카산림이니셔티브 (CAFI)를 지원 솔루션으로서 병행하고자 한다. CAFI는 개발도상국의 환경 개선을 위해 조성된 신탁기금이라는 점, 또한 중앙아프리카 전반에 걸쳐진 콩고분지를 보호하기 위해 이미 타겟팅이 명확한 이니셔티브라는 점에서 콩고민주공화국 내 이탄지 보존을 위한 프로그램 자금과도 같은 방향성을 지닌다. 해당 CAFI를 프로그램 내 도입할 경우, 이후 나올 지역 거버넌스 조성을 통한 이탄지 내 거주민의 생활 지원 및 이탄지 파괴활동 방지를 위한 솔루션 이행에 필요한 즉각적인 자금 조달이 가능해질 것으로 기대한다.

REDD+ 프로그램의 이행에 관한 연구에 따르면 지역 단위에서 이루어지는 REDD+ 프로그램은 지역 주민들 간의 관계역학이 파악되고 사회적 불평등이 해소되지 않는 이상 효율적으로 이루어지기 어렵다 (Samndong, 2018). 따라서 효율적인 REDD+ 프로그램의 이행을 위해서는 지역 거버넌스를 조성하고 이를 강화하는 단계가 필요하다. 지역 거버넌스의 조성에는 지역 단위에서 이루어지는 이익이 필수적이기에, 해당 REDD+ 프로그램에서는 지자체 단위로 확실한 수익 및 일자리 창출을 위한 솔루션을 제공하고자 한다.

### 간작 (intercropping)

화전식 농업이 주로 이루어지고 있는 분지 내에서 간작을 통해 목재를 대체할 수 있는 식재와 평소 식량으로 사용할 수 있는 작물을 함께 재배할 경우, 농경을 위해 파괴되는 산림의 면적을 줄이고 안정적인 농업생산량을 유지할 수 있다. 또한, 적절한 식재의 조합으로 간작을 할 경우, 토질의 향상을 통한 산림 황폐화 방지 효과 또한 있다.

대표적인 간작 조합으로는 아카시아와 카사바를 들 수 있다. 매우 밝은 빛에 자라는 능력을 가지고 있는 아카시아는 척박한 토양에서도 유기물과 질소를 풍부하게 하면서 빠르게 자라는 능력이 있다. 대기 질소를 자연적으로 고정시키는 아카시아의 두 품종인 auriculiformis와 mangium은 목재로 사용되는 동시 카사바와 함께 재배될 수 있다. 또한, 아카시아는 현지 토양에서도 잘 자랄 수 있으므로 10년 후에는 지역 산림종이 간작지 사이에 자리잡을 수 있다는 점에서 혼합림을 형성하는 데에도 좋은 조건을 가진다.

### 이탄지 내 주민 일자리 창출 및 관광상품 개발

이탄지 내 주민들이 도시로 이주할 경우 다시 이탄지 파괴 활동 중 하나인 채굴 및 벌채에 필요한 노동력으로 전환될 가능성이 있다. 따라서 단기적으로 이탄지 내 토착민들의 문화 보존을 위해서는 도시로 유출되는 인구를 줄이는 작업이 필요하다. 이를 위해서는 이탄지 내 주민들은 콩고 분지 내 존재하는 국립공원의 관리 인력으로 채용하는 방식과 토착민들의 공예품을 하나의 관광상품으로서 판매하는 방법이 존재한다.

## 콩고 분지 보호 관련 법 제정 및 개정

현시점에서 기후변화에 대응하기 위한 다양한 시도와 논의가 이루어지고 있지만 제대로 실행되고 있지 않는 것이 현실이다. WWF 보고서에 따르면 2021년 유엔 기후변화협약에서 합의한 ‘2030 산림벌채종식’은 전혀 지켜지지 않고 있다고 발표하기도 했다. 이에 구체적으로 실행 가능한 정책을 고안하고자 콩고 국내법을 분석해 이를 기반으로 해당 솔루션이 실행가능 하도록 법적, 제도적 메커니즘을 형성하고자 한다.

### 습지보호계획

#### ① 2002년 8월 29일 임업법에 관한 법률 제011/202호 개정

이탄지대는 특정지형의 숲이므로 2002년 8월 29일 임업법에 관한 법률 011/2002의 적용을 받는다. 그러나 이탄지는 다른 열대우림 숲과 달리 탄소 저장의 큰 의미를 갖는 산림 유형임에도 불구하고 구체적인 관련 조항이 없다. 최근 탄소저장, 생물다양성, 생태계 및 수문학적 기능, 이탄지의 중요성에 대한 인식을 고려할 때 이탄지 숲에 대한 구체적인 조항이 임업법 개정안에 포함되어야 한다.

따라서, 해당 REDD+의 시행 틀에 따라 CAFI를 바탕으로 생물다양성 보전과 지속가능한 관리에 중점을 둔 법 개정안을 마련해야 한다.

#### ② 2014년 2월 11일 자연보호에 관한 법률 제14/003호

해당 콩고의 국내법은 풍부한 생물이 살고 있는 이탄지의 생태계에 적용된다. 해당 법에는 ‘국가와 지방은 각자의 권한의 범위 내에서 생태계, 서식지, 습지, 수로 및 종을 위협할 수 있는 외래종의 유입 위험을 방지하기 위해 필요한 조치를 취해야 한다.’고 열거 되어있다. 이를 지속 가능한 산림관리 프로그램을 활용해 이탄습지를 보호할 수 있도록 개정해야 하며 람사르 협약의 내용을 준수하도록 해당 내용을 포함시켜 이탄습지를 법적으로 보호하도록 해야 한다.

### 습지 관리 계획 및 습지관리에 대한 지역 사회와 원주민의 참여 확립 및 강화를 위한 지침

① 콩고 환경청 공공기관 법령 2014년 11월 18일 제14/030호해당 법령에는 콩고의 환경청 (MEDD)의 역할을 열거하고 있다. “이 기관은 환경에 영향을 미칠 수 있는 산업, 상업, 입, 광업, 통신 또는 기타 활동의 개발, 인프라 또는 운영을 위한 프로젝트 실행 시 환경 보호가 고려되도록 보장하는 업무를 담당한다.” (제 3조) 해당 법을 개정하여 환경청의 권한을 강화하고자 한다. 우리가 시행하고자 하는 정책의 총괄 부서를 콩고 환경청의 이탄지 관리 부서가 담당하여 지역 사회와 원주민 참여 확립 및 강화에 관한 권한을 위임하고 해당 부서를 지역별로 설치하여 지속적인 모니터링이 가능하도록 법적 메커니즘은 형성하도록 추가 개정하도록 한다. 이와 같은 방식으로 법을 개정, 제정하여 실질적으로 이행가능한 솔루션의 기반을 형성하고자 한다.



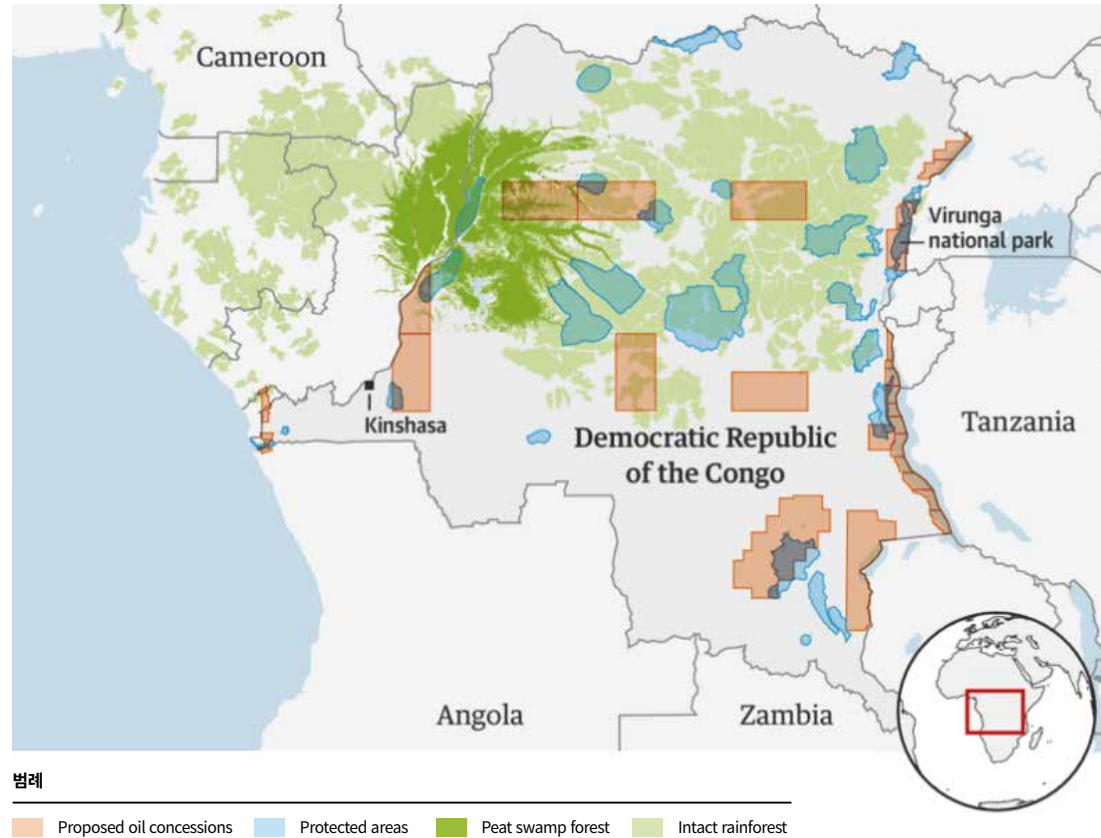
## 2. 장기적 솔루션

### Green Bond를 통한 자금 조달

많은 기업들이 환경을 고려하고, 기후변화를 해결하기 위한 다양한 노력들을 시작했음에도 불구하고 많은 전문가들은 환경 문제를 더 효과적으로 해결하기 위해선 민간 분야의 더욱 공격적인 투자가 필요하다고 이야기하며 공공 재정의 부족을 호소한다.

콩고 민주공화국과 같은 개발도상국들에서는 이러한 문제가 더욱 심각하다. 대부분의 이런 국가들은 경제난과 불안정한 정세에 고통받고 있으며, 연 국민 평균소득이 700 달러 미만인 콩고 민주공화국과 같은 나라들에게 환경을 개발하지 않고, 보존하거나 복원할 동기는 희박하다. 실제로 2023년, 콩고정부는 가난과 불행에 시달리고 있는 자국민들의 생활수준을 개선시킨다는 명목으로 세계에서 가장 큰 열대 이탄습지인 Cuvette Centrale 30개 구역의 가스, 석유 추출사업권을 경매에 붙였다. (Greenpeace, 2023).

<그림 1> 용도별 콩고 분지 토지

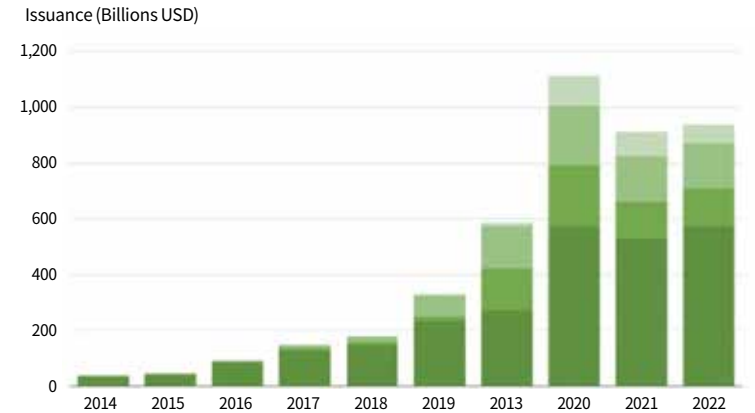
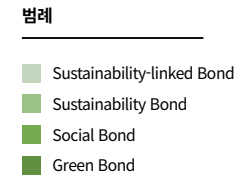


Guardian graphic. Sources: CongoPeat Project, University of Leeds. Crezee et al. (2022). Global Land Analysis & Discovery, Global Forest Watch

현재 콩고에서 진행되고 있는 많은 공공 프로젝트들이 있음에도 이탄지를 복원하고 보존하는 것에 필요한 재정에 비해서는 턱없이 부족한 것이 실정이다. UN환경계획(UNEP)에 따르면 콩고 지역의 파괴된 이탄지에서 방출되는 이산화탄소를 반으로 줄이기 위해서는 2050년까지 약 65조 이상의 재정이 필요하다고 한다(UNEP, 2023). 이러한 천문학적인 금액과는 대조되게 COP 27에서 실제론 약 1500억 정도의 재정적 지원만 결의가 되었다고 한다(UNDP, 2022). 이처럼 공공분야에서의 지원만으로는 콩고 이탄지를 보호하고 복원하는 것에 분명한 한계가 존재하기에 Green Bonds와 같은 민간부분의 지원도 필수적이라 사료된다.

녹색 채권이란 채권의 한 종류로서, 발행 목적이 단순히 수익을 얻기 위함이 아닌 사회적, 환경적 가치 향상을 도모하기 위함일 때 기업, 정부, 국제기구 등 다양한 주체들이 녹색채권을 발행할 수 있다. 점점 더 많은 기업들과 투자자들이 환경에 관심을 가지며 환경과 지속가능성, 그리고 사회적, 환경적 가치를 높게 평가하기에 녹색채권을 포함한 관련 채권 시장의 규모는 지속적으로 증가하는 추세이다.

<표 1> 녹색 채권 발행 규모 (Bloomberg, 2024)



Note: Data shows yearly supply of impact bonds

세계은행 산하 기관 중 하나인 국제부흥개발은행(IBRD, International Bank for Reconstruction and Development)는 세계은행 목표인 'Strategic Framework for Development and Climate Change'의 일환으로 환경적, 사회적 가치 향상을 위해 2008년부터 녹색채권을 발행하기 시작하였고, 액면가 30조 이상의 채권발행, 126개가 넘는 프로젝트 등을 성공적으로 완료했다고 한다(World Bank, 2022). 민간 자금의 조달통로로 World Bank의 녹색채권 프로그램을 제안하는 이유는 크게 두 가지이다. 첫번째는 World Bank의 신용도이다. 채권은 자유경쟁시장에서 거래되는 자산인 만큼, 발행하는 주체의 신용도가 낮거나 이자율이 낮은 채권은 시장에서 선호

되지 않는다. 채권이 많이 팔리지 않으면 자연스레 채권을 통해 조달할 수 있는 자금도 줄어들게 되고, 이탄습지의 복원, 보호를 위해 많은 재정이 필요한 만큼 이는 문제가 될 수 있다. 하지만 World Bank의 신용도를 빌려 발행하는 녹색채권은 투자자들에게 안정적이기에 매력적일 뿐만 아니라 높은 신용도를 가지고 있기에 낮은 이율로 채권 발행이 가능하여 콩고의 입장에서도 매력적인 선택지라고 사료된다.

두번째는 풍부한 선행사례이다. World Bank는 콩고와 같은 세계의 다양한 개발도상국들의 환경 보존, 보호, 그리고 사회적 가치 향상을 위한 채권을 발행해왔다. 대표적인 예시로 Turkey Resilient Landscape Integration Project가 있다. 점점 심화되는 기후변화로 인해 터키의 강 하류 지역은 자연 오염, 기후와 자연재해에 대한 취약성 증가 등 다양한 문제를 겪었다. 이런 다양한 문제들을 해결하기 위해 터키는 NbS와 회복력 있는 인프라를 결합한 접근법을 사용하여 지속가능한 농업 관행, 가치사슬 향상, 지속가능한 인프라 등을 도모하고자 하였고, 이를 위해 World Bank의 Green Bond를 발행하고 이를 통해 프로젝트에 필요한 자금을 조달했다. 약 135M 달러가 모였고, 23000명이 넘는 사람들이 산사태나 홍수에 대비할 수 있는 기반, 18000명 이상의 사람들에게 깨끗한 물을 공급하는 등 다양한 효과를 기대한다고 한다. 단순히 터키 사례뿐만이 아닌 다른 다양한 사례들을 통해 World Bank는 도움이 필요로 하는 국가들에게 Green Bond를 발행해주고, 이를 통해 사회적, 환경적 가치를 재고한다. 따라서 민간 자금의 조달통로로 World Bank의 녹색채권 프로젝트를 이용하는 것은 적절하다고 보인다.

하지만 녹색채권을 발행하기 위해서는 World Bank 내부 심사과정을 거쳐야 하는데, 이는 크게 4가지 단계로 나누어진다. World Bank 자체 심의기준에 프로젝트가 부합하는지 심사하는 1단계, 승인이 난 후 채권시장에 채권을 판매하는 2단계, 채권 판매 수익을 IBRD가 관리하는 Special Cash Account에 예치한 후 이탄습지 복원이나 보존을 위한 자금이 필요한 경우에 지급하는 3단계, 마지막으로 모든 이해관계자들이 절차를 투명하게 추적하고 평가할 수 있는 4단계로 이루어진다. IBRD에서 발행한 Green Bond Process에 따른 세부 평가절차에는 아래의 과정들을 포함한다.

이번 프로젝트의 목적이 위의 표에 언급된 것과 같이 단순한 이탄습지 복원, 보존을 통한 이산화탄소, 온실가스 감소뿐만이 아닌 공동체의 지속가능한 발전 도모, 벌목 방지와 지속가능한 산림업 관행, 자연 재해에 대한 취약성 감소 등이 있기에 이번 프로젝트는 World Bank의 Green Bonds 프로젝트의 심사과정을 통과하는 것에 문제가 없다고 사료되며, 더 실현가능한 현실적인 방안이라 보인다.

<그림 2> Green Bonds 프로젝트 심사과정 (IBRD, 2022)

**Examples of climate-mitigation projects include, without limitation:**

- Rehabilitation of power plants and transmission facilities to reduce GHG emissions
- Solar and wind installations
- Funding for new technologies that permit significant reductions in GHG emissions
- Greater efficiency in transportation, including fuel switching and mass transport
- Waste management (methane emission) and construction of energy-efficient buildings
- Carbon reduction through reforestation and avoided deforestation

**Examples of climate adaptation projects include, without limitation:**

- Protection against flooding (including reforestation and watershed management)
- Food security improvement and stress-resilient agricultural systems that slow deforestation
- Sustainable forest management and avoided deforestation

이 프로젝트를 진행함으로써 얻고자 하는 것은 크게 5가지가 있다. 첫번째는 과학기술을 통한 이탄습지의 보존과 복원이다. 대부분의 개발도상국들은 환경을 보존하거나 보호할 충분한 기술이 존재함에도 재정적인 문제로 도입을 제대로 하지 못하였다. Green Bonds 프로젝트를 통해 과학기술에 자금을 투자한다면 이끼를 심고, 관리하며 이탄습지 생태계를 복원하고 홍수와 같은 자연재해로부터 보호할 수 있을 뿐만 아니라 친환경 댐을 건설함으로써 물을 더 효율적으로 관리하고 자연재해 취약성을 높일 수 있다. 두번째로는 태양광과 같은 신재생 에너지의 도입이다. 친환경 에너지를 이용한 발전은 발전단가가 매우 높을 뿐만 아니라 그 초기비용도 많이 들어 개발도상국이나 후진국에서는 도입하기에 애로사항이 많이 발생한다. 녹색채권을 발행한 후 이 자금으로 콩고 분지의 마을에 태양광 발전소를 건설한다면 마을주민의 에너지 자립도를 높여줄 뿐만 아니라, 남은 전력을 전력시장에 판매함으로써 추가적인 수입도 얻을 수 있으므로 경제적 자립이 가능하다. 세번째는 이탄습지의 복원 그 자체이다. 이탄습지를 복원하면 콩고는 REDD+나 CFI와 같은 후보상제 기반의 프로그램의 수혜대상으로 선정될 수 있다. 뿐만 더 깨끗한 식수원 확보, 파괴된 생태계가 복원됨으로써 생물 다양성 증진 등의 효과를 기대할 수 있다. 네번째는 교육이다. 원주민들이 이탄습지의 중요성과 의의를 이해하지 못한다면 지속가능한 이탄습지의 보호, 관리는 불가능할 것이다. 따라서 원주민들에게 이탄습지의 중요성에 대해 교육시키는 동시에 이끼 관리 교육, 태양광 발전소 유지 보수 등을 교육시키며 녹색 일자리를 만들고, 더 나아가 지역경제를 활성화시킬 수 있다.



**과학기술 이탄습지  
친환경 복원 기술**

람사르 협약은 습지 보존과 현명한 이용을 목적으로 하는 국제협약으로 전 세계 습지를 42개 유형으로 분류하며, 콩고는 19번에 해당하는 내륙 습지로 분류된다. 콩고의 습지는 계절에 따라 변하는 특성을 가지며 우기에는 습지 토양에 물을 저장하고 건기에 주변에 공급하는 현상을 보인다. 그러나 콩고 이탄습지는 우기에 습지 내부에 저장되어야 할 물들이 외각부로 배출되어 홍수피해로 흘러가는 문제가 있다. 이는 지형적 고도 차이로 인해 고수위의 이탄습지에서 저수위의 주변 외곽지역으로 물이 빠져나가는 현상으로 습지의 건조화와 외곽지역의 홍수피해를 초래하고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 본 연구에서는 고도계 데이터와 강수량 데이터를 분석하여 문제가 심각한 지역을 선정하고 해당 지역에 적합한 과학기술 솔루션을 개발함으로써 지형관리를 통한 효과적인 습지 복원 대응 방안을 제시한다.

**과학기술 적용 시 고려사항: 콩고의 지형적 특성 및 강수량**

좌측의 표와 우측 그래프 분석을 통해 Middle CBR 지역이 콩고 내에서 최저고도와 최고고도의 차이가 크며 우기와 홍수기간이 일치하는 대표적인 이탄습지 지역으로 확인되었다. 이는 기상현상과 지형 특성 간 상호작용으로 인한 특수한 수문학적 현상을 가지고 있음을 나타내며 이 지역의 문제를 과학기술을 통해 해결하려는 시도를 시사한다.

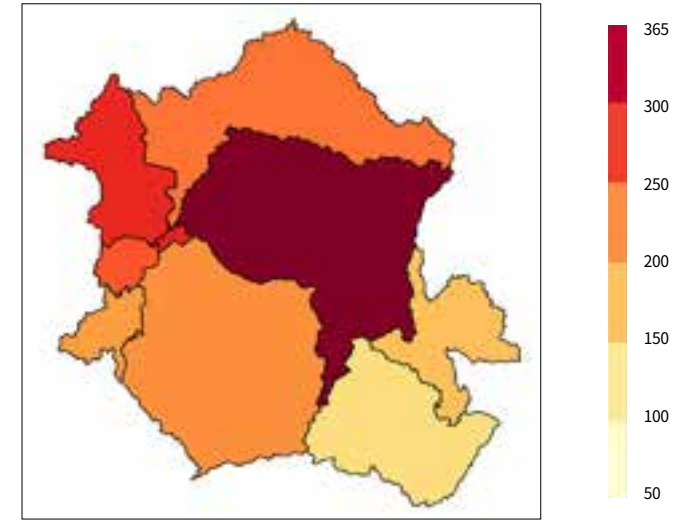
<그림 3> 콩고 지역별 고도 분석 표

Subbasin name	Surface area(km <sup>2</sup> )	Min altitude (m)	Max altitude (m)	Mean altitude (m)	Forest (%)	Ground and sparse vegetation(%)	Mean slope (°)	STD slope (°)
Upper CRB	453,078	548	1,967	1,135	77.00	18.40	2.16	3.07
Tanganyika	266,511	551	3,071	1,164	52.97	33.03	3.28	5.15
Middle CRB	973,778	295	3,183	603	85.60	13.60	3.33	3.83
Ubangui	648,276	295	1,719	611	84.95	14.57	2.19	1.84
Tumba	14,083	289	404	323	80.35	7.95	1.31	1.36
Sangha	285,043	287	1,956	522	89.87	9.79	2.88	2.52
Lower CRB	67,658	272	831	465	54.92	42.65	3.96	4.27
Kasai	894,489	272	1,492	745	83.42	15.83	3.47	3.58
Kinshasa	102,307	1	1,319	520	43.49	54.19	4.86	4.56

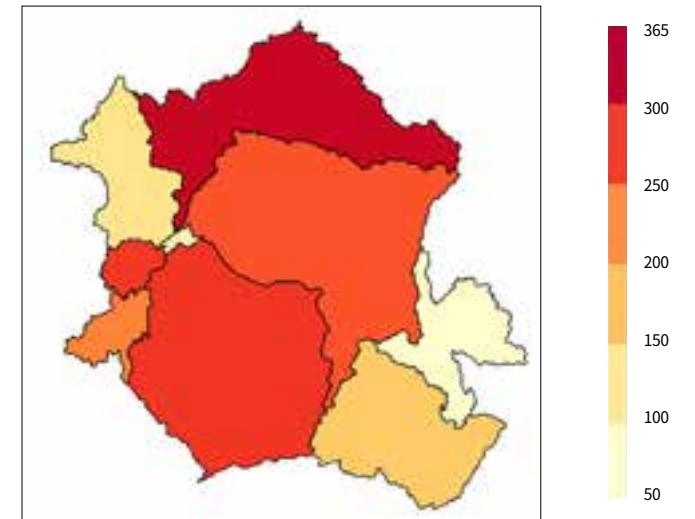
The forest land cover and the ground and sparse vegetation land cover are extracted from the European Space Agency-Climate Change Initiative land cover product (see Section 3.3.3 for product description). Mean and STD of the slopes were calculated from SRTM data.

<그림 4> (a) 우기기간(days)  
(b) 홍수기간(days)

(C) Rainy season length(days)



(d) Flood season length(days)



좌측의 표와 우측 그래프 분석을 통해 Middle CBR 지역이 콩고 내에서 최저고도와 최고고도의 차이가 크며 우기와 홍수기간이 일치하는 대표적인 이탄습지 지역으로 확인되었다. 이는 기상현상과 지형 특성 간 상호작용으로 인한 특수한 수문학적 현상을 가지고 있음을 나타내며 이 지역의 문제를 과학기술을 통해 해결하려는 시도를 시사한다.



## 공고 특성을 고려한 과학기술 제안

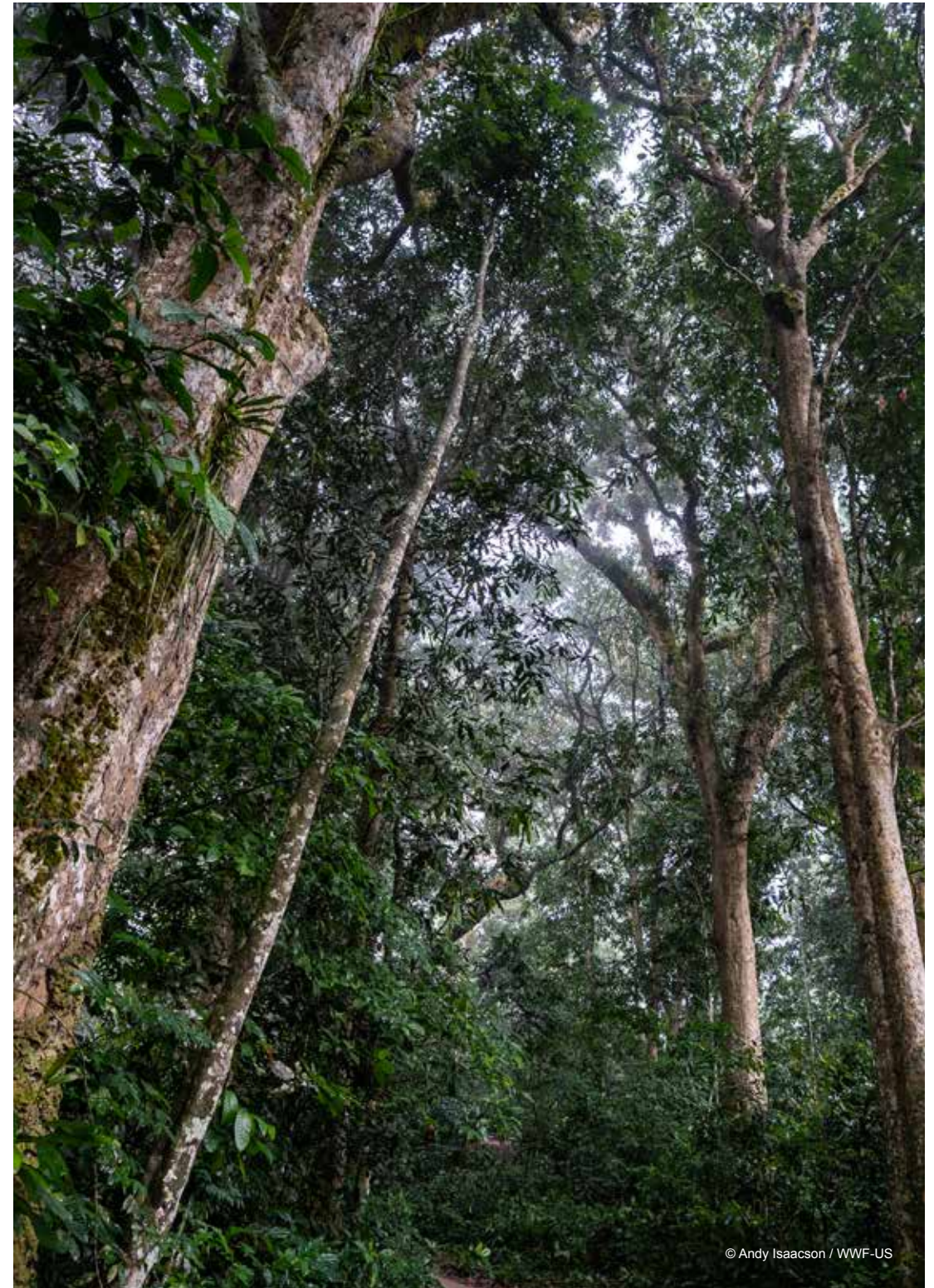
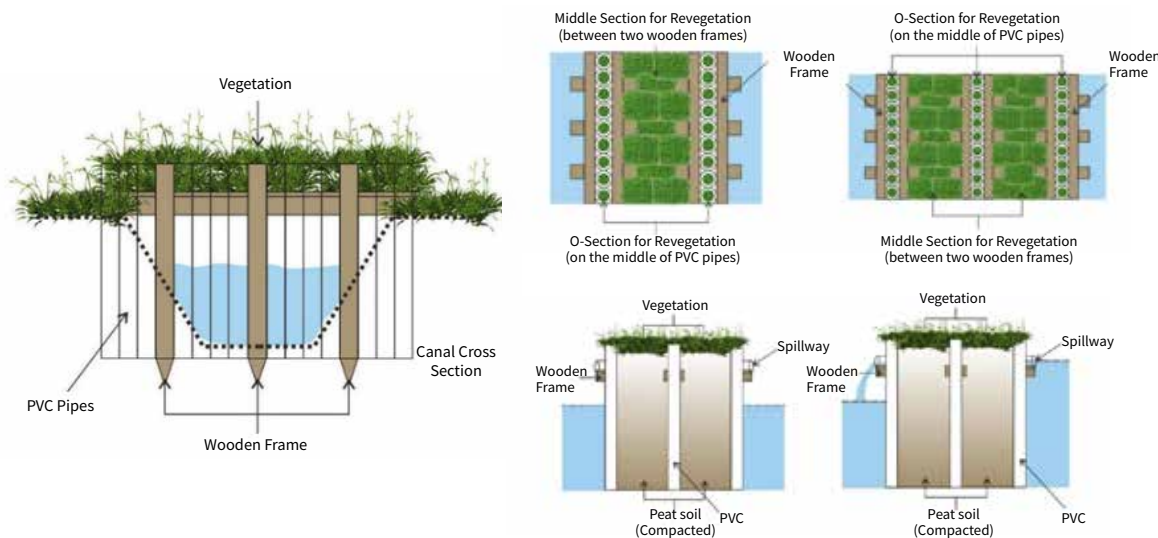
### 습윤 설계 솔루션

이탄습지 복원 프로젝트는 생태계 기능 유지를 핵심 목표로 하며, 생물 다양성에 부정적 영향을 미치는 비생분해성 자재 대신 친환경적인 솔루션을 개발하였다. PVC 파이프와 이탄토 충전재를 활용하여 수로를 차단함으로써 환경에 미치는 영향을 최소화하고 물의 유속을 조절할 수 있다. PVC 파이프와 나무 프레임 지지대로 사용하고 이탄 토양을 충전재로 사용하여 강도와 내구성을 높인다. 이 방법은 추가 재료 없이도 운하 차단 공사의 강도를 높이며 재녹화를 위한 매개체로 활용될 수 있다. 또한, 물넘이(Spillway) 설치로 홍수량을 조절하고 물이끼 조경을 통해 생태적 복원을 계획하고 있다. 이러한 접근 방식은 이탄습지의 생태계 보호와 지속가능한 복원을 목표로 한다.

### 물이끼 복원 솔루션

자연 이탄지대는 acrotelm(상층)과 catotelm(기본층)의 두 층으로 구성되어 있다. 자연 이탄지대를 모방한 기술인 2탄 축적 시스템인 'Clymo 이탄 성장 모델'을 활용하여 자연적인 생태계를 재현하고자 한다. 흔히 알려진 물이끼는 acrotelm에 해당하는 Sphagnum fuscum종이다. 그러나 이러한 물이끼를 성공적으로 이식하기 위해서는 이식 전에 catotelm(기본층)에 해당하는 이끼를 심어 지하수면을 낮춰 번식력을 강화시켜야 한다. 이를 위해 콩고 사바나 지역에서 서식하는 *Fabronia pilifera* Hornsch는 두꺼우면서 무산소 특징을 가지는 기본층(catotelm) 식물과 일치하여 기본층 이식에 적합한 이끼로 확인되었다. 이에 따라 콩고 지형과 기본층의 특성에 부합하는 *Fabronia pilifera* 이끼를 이식하고 이 위에 fuscum 이끼를 번식시켜 습지를 효과적으로 복원하는 방안을 제안하고자 한다.

<그림3> 수로 설계 계략도



© Andy Isaacson / WWF-US



# 결론

콩고의 이탄지대는 지구의 지속가능성에 중요한 역할을 하며 인간 활동으로 인한 위협으로 인해 기능이 저하되었다. 전 세계적으로 이탄지와 생태계를 개선하기 위한 노력이 강화되고 있으며 이를 위해 금융, 정책, 그리고 과학기술의 통합적 협력이 필요하다. 콩고의 이탄습지는 전 세계적으로 중요한 탄소 저장고로 습지 보존은 온실가스 감축에 기여하여 지구환경을 지속 가능하게 유지하는 역할을 수행한다. 생물다양성 측면에서 콩고 이탄지대는 숲코끼리, 서부 고릴라 등 중앙아프리카의 가장 상징적인 종의 서식지이며 생물 다양성, 탄소저장역할을 넘어 이탄지의 생태학적 가치를 이해해야 할 필요성은 이탄지가 지역 생계와 문화를 어떻게 지원하는지 이해하는 것까지 확장될 것이다.

이탄지는 지역사회의 농업과 관련하여 생계 역할을 하며, 특히 홍수와 산불과 같은 자연재해로 인한 이탄지대에 대한 논의는 이탄토의 수분을 회복하고 이탄토의 건조로 인한 화재를 예방하기 위해 진행되었다. 지역사회와 이탄지의 조화로운 공존은 지속가능한 생태계 보전과 지역사회 발전을 동시에 추구하는 효과적인 방향을 제시할 것으로 기대된다. 이러한 노력으로 국제적으로 보호되어야 하는 이탄습지가 콩고가 가진 자연자원을 보전하면서 지역사회의 지속가능발전을 도모하는 데 기여하기를 기대한다.



© Brent Stirton / Getty Images / WWF-UK

# 참고문헌

- C., C. (2023). Governing Peatlands in the Democratic Republic of Congo: Context, Agents of Change and Policy Making. <https://doi.org/10.17528/cifor-icraf/008975>
- Dargie, G. C., Lawson, I. T., Rayden, T. J., Miles, L., Mitchard, E. T., Page, S. E., Bocko, Y. E., Ifo, S. A., & Lewis, S. L. (2018). Congo basin peatlands: Threats and conservation priorities. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 24(4), 669–686. <https://doi.org/10.1007/s11027-017-9774-8>
- Enongene, K. E., & Fobissie, K. (2016). The potential of REDD+ in supporting the transition to a green economy in the Congo Basin. *International Forestry Review*, 18(1), 29–43. <https://doi.org/10.1505/146554816818206104>
- Hund, K., Schure, J., & van der Goes, A. (2017). Extractive Industries in forest landscapes: Options for synergy with REDD+ and development of standards in the Democratic Republic of Congo. *Resources Policy*, 54, 97–108. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2017.09.011>
- MALU-MALU, M. D. (2023, April 18). Congo. La spf2b Mise sur l'acacia sur le plateau de Mbé. <https://www.makanisi.org/congo-la-spf2b-mise-sur-lacacia-sur-le-plateau-de-mbe/>
- Mapenzi, N., Katayi, A. L., Bauters, M., Masimane, J., Schure, J., Kweyu, R., & Nabahungu, N. L. (2023). Improved crop productivity and soil properties under varying planting densities of *Pentaclethra macrophylla* benth. and *acacia auriculiformis* A. Cunn. in Congo Basin. *Agroforestry Systems*, 98(2), 295–307. <https://doi.org/10.1007/s10457-023-00908-1>
- Morgan, E. A., Bush, G., Manda, J. Z., & Maraseni, T. (2023). Community evaluation of forest and REDD+ Governance Quality in the Democratic Republic of the Congo. *Journal of Environmental Management*, 328, 116891. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116891>
- Sufo Kankeu, R., Tsayem Demaze, M., Krott, M., Sonwa, D. J., & Ongolo, S. (2020). Governing knowledge transfer for deforestation monitoring: Insights from REDD+ projects in the Congo Basin region. *Forest Policy and Economics*, 111, 102081. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2019.102081>
- Igamba, J. (2023, November 17). How DRC's land auction to Big Oil threatens Africa's biggest Carbon Sink. <https://www.greenpeace.org/africa/en/blogs/53683/how-drcs-land-auction-to-big-oil-threatens-africas-biggest-carbon-sink/>
- Peatlands and climate change - IUCN. (n.d.). [https://www.iucn.org/sites/default/files/202204/iucn\\_issues\\_brief\\_peatlands\\_and\\_clmate\\_change\\_final\\_nov21.pdf](https://www.iucn.org/sites/default/files/202204/iucn_issues_brief_peatlands_and_clmate_change_final_nov21.pdf)
- Critical ecosystems: Congo Basin peatlands. UNEP. (n.d.). <https://www.unep.org/news-and-stories/story/critical-ecosystems-congo-basin-peatlands>
- Cafi and Green commit 120 million USD to deliver on Congo Basin pledge: MPTF Office. CAFI and Green Commit 120 million USD to deliver on Congo Basin Pledge | MPTF Office. (n.d.). <https://mpmf.undp.org/news/cafi-and-green-commit-120-million-usd-deliver-congo-basin-pledge>
- Bloomberg. (2024, February 27). Green bonds reached new heights in 2023 | insights | bloomberg professional services. [Bloomberg.com. https://www.bloomberg.com/professional/blog/green-bonds-reached-new-heights-in-2023/](https://www.bloomberg.com/professional/blog/green-bonds-reached-new-heights-in-2023/)
- IBRD-information-statement-FY22.pdf. (n.d.-a). <https://thedocs.worldbank.org/en/doc/f3508084cc8eae0e08c432b2427b6946-0340022022/original/IBRD-Information-Statement-FY22.pdf>
- Biddulph, G. E., Bocko, Y. E., Bola, P., Crezee, B., Dargie, G. C., Emba, O., ... & Tyrell, G. (2021). Current knowledge on the Cuvette Centrale peatland complex and future research directions. *Bois et Forêts des Tropiques*, 350, 3-14.
- Mozafari, B., Bruen, M., Donohue, S., Renou-Wilson, F., & O'Loughlin, F. (2023). Peatland dynamics: A review of process-based models and approaches. *Science of The Total Environment*, 877, 162890.
- Schliewen, N. S., & Toham, A. K. (2008). Inventaire rapide des zones humides représentatives en République démocratique du Congo.
- Yu, Z., Campbell, I. D., Vitt, D. H., & Apps, M. J. (2001). Modelling long-term peatland dynamics. I. Concepts, review, and proposed design. *Ecological Modelling*, 145(2-3), 197-210.
- Hasanah, A., & Setiawan, M. F. (2020). Rewetting design for tropical peatland restoration. *Sociae Polites*, 21(2), 111-125.
- Dargie, G. C., Lawson, I. T., Rayden, T. J., Miles, L., Mitchard, E. T., Page, S. E., ... & Lewis, S. L. (2019). Congo Basin peatlands: threats and conservation priorities. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 24, 669-686.
- Reed, M., Harris, L., Kumar, R., Lång, K., Page, S., Parish, F., ... & Zhang, X. (2022). Policy and Governance Options for Peatlands Conservation, Restoration and Sustainable Management.





# 몰디브 ARI ATOLL과 BAA ATOLL 산호 복원 프로젝트

## Integrated Coral Restoration Project

권나희 (서강대학교 생명과학과)  
박은슬 (한국외국어대학교 중국외교통상학과)  
심예진 (이화여자대학교 환경공학과)  
진민지 (건국대학교 사회환경공학부)

© Troy Mayne



# 초록

기후 변화는 지구의 생태계를 크게 위협하고 있으며, 기후변화로 인한 해수면 상승은 SIDS의 존속 여부를 결정하는 중요한 사안임과 동시에 산호초 파괴와 밀접하게 연관되어 있다. 산호초 파괴는 SIDS에게 생태계뿐만 아니라 경제적, 사회적 문제를 일으키며 생존을 위협하게 된다.

현재 몰디브에서 시행되고 있는 산호초 복원 프로그램들은 모두 리조트에서 진행 중인 프로그램으로 리조트마다 제 각각의 프로그램을 운영하고 있어 일관성이 부족하며 복원 사업이 리조트 주변에만 집중되고 있다는 문제가 있다. 본 프로젝트에서는 이러한 문제들을 고려하여 몰디브 정부, 리조트 관계자, 그리고 지역 주민들 간의 협력을 통한 체계적인 프로젝트를 구축하고자 한다.

우선 몰디브 정부, 리조트 관계자 그리고 지역 주민들의 협력 체계를 구축한 후 산호초 복원이 결정되면 산호초 성장에 적합한 장소를 선정한다. 이후 프로그램 참여자들이 산호 조각을 구매하면 조각들을 산호 프레임에 생분해성 플라스틱을 사용하여 고정하고, 25~30개 정도가 모여면 바다에 프레임을 설치한다. 구매자는 홈페이지와 SNS를 통해 입양된 산호 조각의 성장 과정을 확인할 수 있다. 설치된 산호 프레임은 지속적인 모니터링과 관리를 통해 프레임의 설치로 인한 추가적인 피해가 없도록 노력한다.

이러한 일련의 과정을 통해 손상된 산호초 생태계를 회복시킴으로써 산호초의 성장과 번식을 촉진하고, 생태계 다양성이 향상됨에 따라 몰디브의 산업 경제와 환경에 긍정적인 영향을 미칠 것으로 기대된다.



© Troy Mayne

# 프로젝트 개요

## 배경

기후 변화는 지구의 생태계를 크게 위협하고 있으며, 이 중에서도 SIDS(Small Island Developing States)는 그 영향을 가장 강하게 받고 있다. SIDS는 작은 섬 나라들로 구성된 그룹으로 현재 공식적으로 합의된 정의가 존재하지 않는다. 하지만 일반적으로 대륙과 동떨어져 있으며, 작은 면적과 150만 명 이하의 적은 인구를 가진 섬 국가로 규정한다.1) 이들 국가들은 기후변화로 인한 해수면 상승과 같은 글로벌한 문제의 가장 직접적인 피해자임에도 불구하고 자발적으로 대처할 수 있는 능력이 부족한 현실이다.2) 이러한 문제들을 인지한 SIDS는 국제 사회에 그들의 위기를 알리기 위해 노력하고 있다. 이 중 하나가 COP 26에서의 수중 연설이었다. COP 26에서 사이먼 코페 외교부 장관은 정상 차림으로 물속에 무릎까지 잠긴 채 기후변화로 잠길 위험에 처한 섬나라들의 현실을 보여주며 수중 연설을 진행하였다.

기후변화로 인한 해수면 상승은 SIDS에서 특히 심각한 문제이다. IPCC의 제3차 평가 보고서에 따르면, 21세기 말까지 전 세계 해수면은 최대 88cm 상승할 것으로 예측되었다.3) 그러나 최근 NASA의 '투발루 해수면 상승 보고서'에 따르면 해수면 상승이 최대 2m까지 이를 수 있다고 예상하고 있다. 이는 키리바시, 몰디브, 마셜 제도, 투발루 등 SIDS에 속하는 다수의 나라들이 거주하기 어려운 상태가 될 수 있음을 의미한다. 특히 해수면 상승은 산호초 파괴와 밀접하게 연관되어 있는데, 해수면 상승은 해수 온도 상승과 더불어 산호초에 부정적인 영향을 미친다. 산호초의 최적 성장 깊이는 종류에 따라 다르지만, 일반적으로 30m 이하의 얕은 수심에서 가장 잘 성장한다. 산호초는 자외선, 영양분 공급, 적절한 수온 등 여러 요인에 의존하여 성장하기 때문에 특정 깊이 범위에서 최적의 조건을 갖추어야 한다. 해수면 상승으로 인해 바다 수면이 상승하면 산호초는 자외선 부족, 영양분 공급의 제한, 수온이 낮아지는 등의 문제에 직면한다. 이는 산호초의 성장에 불리한 영향을 준다. 산호초는 바다 생태계의 핵심이며, 많은 수의 해양 생물들이 살아가는 공간이다. 그러나 해수면 상승으로 인해 산호초 파괴가 가속화되면서 SIDS에게 생태계 뿐만 아니라 경제적, 사회적 문제를 일으키며 그들의 생존을 위협하게 된다.

<그림 1> 사이먼 코페 장관의 수중 연설



## 목적

산호초 파괴가 SIDS에게 큰 문제점이 되는 이유는 크게 경제적 영향, 바다 생태계 파괴, 그리고 해안 보호 기능의 감소 세 가지로 나눌 수 있다. 첫번째로, 산호초 파괴는 SIDS의 경제에 큰 영향을 준다. 예를 들어, SIDS에게 관광업은 매우 중요한 업종으로 많은 관광객들이 SIDS의 아름다운 해변, 투명한 바다, 풍부한 해양 생물을 즐기기 위해 방문하기에, 대부분 SIDS국가들은 관광 산업에 크게 의존하고 있다. 산호초 파괴는 이러한 관광 산업에 직접적인 타격을 주게 된다.

다음으로, 산호초의 파괴는 바다 생태계에 파괴적인 영향을 미친다. 산호초는 바다 생태계의 핵심인 동시에, 수많은 해양 생물의 서식지이자 번식지로 기능한다. 산호초는 다양한 해양 생물들에게 음식을 제공하고, 숨을 쉴 수 있는 공간을 마련해준다. 이러한 산호초의 파괴는 생태계의 균형을 깨뜨리게 되며 해양 생물의 감소로 이어진다. 또, 이로 인해 수산업 또한 타격을 얻게 되며 이는 식량 보안 문제로도 이어진다.

마지막으로, 산호초의 파괴로 인해 해안 보호 기능이 감소된다. 산호초는 자연적인 방파제 역할을 하여, 해안선을 파도와 해양에서 발생하는 기타 자연재해로부터 보호한다. 산호초가 파괴되면서 이러한 보호기능이 감소하게 되어, SIDS는 태풍, 홍수 등의 자연재해로부터 더욱 취약해진다. 본 프로젝트에서는 산호초 파괴가 SIDS에게 주는 이러한 다양한 문제들의 심각성을 고려하여 SIDS의 산호초 복원을 목적으로 연구를 진행하였다.

## 프로젝트 범위

본 프로젝트는 몰디브의 Baa Atoll과 Ari Atoll을 프로젝트의 대상으로 정한다. 프로젝트의 범위로 Ari Atoll과 Baa Atoll을 선택한 이유는 다음과 같다. Ari Atoll과 Baa Atoll은 몰디브에서 가장 큰 환초로 알려져 있으며, 이 지역은 다양한 해양 생물의 서식지로서 중요한 역할을 한다. Baa Atoll의 경우 유네스코 세계유산으로 등재되어 있으며 국제적으로 인정받는 보호 지역이다. 또한, Ari Atoll과 Baa Atoll은 몰디브에서 인기 있는 관광지로 알려져 있으며, 많은 관광객들이 다이빙과 스노클링을 즐긴다. 이 지역의 산호초 복원은 관광 산업의 지속 가능성과 경제적 이익을 충족시킬 수 있다. 또한, Ari Atoll과 Baa Atoll은 지역 사회가 산호초 복원 프로젝트에 참여할 수 있는 환경을 갖추고 있다. Ari Atoll과 Baa Atoll의 리조트들은 현재 리조트 별로 상이한 산호초 복원 프로그램을 진행하고 있다. 마지막으로, Ari Atoll과 Baa Atoll은 몰디브에서 상대적으로 발전된 인프라와 연구 시설을 갖추고 있는 지역이다. 이러한 인프라를 통해 장기적인 모니터링 및 관리를 실시할 수 있다.

# 프로젝트 소개 및 차별점

본 프로젝트의 대상인 Ari Atoll과 Baa Atoll에서는 이미 다양한 산호초 복원 프로그램들이 진행중이다. 그러나 기존의 산호초 복원 프로그램에는 두가지 문제점이 있다고 판단하였다. 첫째, 현재 시행되고 있는 산호초 복원 프로그램들은 모두 리조트에서 진행중인 프로그램으로 리조트 마다 제 각각의 프로그램을 운영하고 있다. 이는 효율적이지 않을 뿐만 아니라, 산호초 생태계의 전체적인 회복에 있어서도 일관성이 부족한 결과를 초래할 수 있다. 둘째, 현재 시행되고 있는 산호초 복원 프로그램들은 리조트에서 주관하는 만큼 리조트가 위치한 섬 위주로만 집중되고 있다. 현재 산호초 생태계의 회복에는 다양한 지역의 보전이 필요하며, 리조트가 위치한 섬 외의 지역에도 복원 프로젝트를 확대하는 것이 중요하다. 따라서, 본 프로젝트는 이러한 문제점들을 토대로 몰디브 정부, 리조트 관계자, 그리고 지역 주민들 간의 협력을 통한 체계적인 프로젝트를 구축하고자 한다.



© Nick Riley / WWF-Madagascar



# 프로젝트 방법 및 절차



<그림 2> ICR (Integrated Coral Restoration) (출처: 자체 제작)

## 협력 체계 구축

본 프로젝트를 시행하기 위해서는 몰디브 정부, 리조트 관계자 그리고 지역 주민들의 협력 구축이 선행되어야 한다. 이해관계자들과의 회의 및 협의를 통해 프로젝트의 목표와 계획을 공유하고 협력할 의사를 확인한다. 체계 구축 시, 역할과 책임을 명확히 하도록 한다.

## 산호초 성장에 적합한 장소 식별

복원 시도가 시작되기 전에 후보 지역에 대한 철저한 평가 이루어져야 한다. 근위부 및 장기적 손상 원인을 파악하고 현재 심각도를 평가해야 한다. 개입하기 전에 파괴 원인을 완화하는 것이 이상적이다. 예를 들어, 산호초 파괴의 원인이 육지 오염이나 퇴적물로 인한 수질 저하와 관련된 경우 이러한 문제를 먼저 해결해야 한다. 마찬가지로, 유해한 어업 관행으로 인해 피해가 발생하는 경우 이를 통제하거나 제거해야 한다. 복원 후보 지역에 대한 추가 평가에서는 온도, 염분 농도, 빛의 양 등과 같은 일반적인 환경 조건을 고려해야 한다.

수온 측정을 통해 온도를 조사한다. 일반적으로 산호는 따뜻한 해수 환경을 선호하며 복원을 위한 장소가 산호의 최적 성장 온도 범위인 22°C에서 29°C 범위 내에 위치하는지 확인한다.4) 또, 염도계나 염분 측정 장비를 사용하여 해수의 염분 농도를 정량화 한다. 산호의 최적 염분 농도인 3~40 ppt(parts per thousand) 사이에 위치하는 점을 확인한다. 이 밖에도 빛의 양, 염도 및 영양도 수준 등과 같은 일반적인 환경 조건에 대해 조사한 후 최종적으로 산호초 성장에 적합한 장소를 식별한다.

## 홈페이지 및 SNS 개설

홈페이지와 SNS는 프로젝트를 널리 알리고 홍보하는데 중요한 역할을 한다. 프로젝트의 목적과 가치를 전달하고 참여자를 모집하는데 도움을 줄 수 있다. 프로젝트에 대한 상세한 정보와 진행 상황을 제공하고, 참여자들이 프로젝트의 일정, 활동 내용 등을 파악할 수 있도록 한다.

홈페이지와 SNS에는 1) 산호 입양 프로그램 사진 2) 이벤트 및 캠페인 정보 3) 참여자 소식 및 피드백 세 가지 정보를 꾸준히 업로드 한다. 이를 통해, 프로젝트에서 진행하는 산호 입양 프로그램의 사진을 꾸준히 업로드하여 참여자들에게 실질적인 결과물을 시각적으로 보여주고 참여 동기를 유발할 수 있고, 프로젝트와 관련된 이벤트, 캠페인, 기부 모금 등의 정보를 공유한다. 또한 사람들이 프로젝트에 직간접으로 참여하고 지원할 수 있는 방법을 제공하고 참여자들의 소식과 피드백을 게시하고 공유한다. 이를 통해 참여자들과 상호 작용을 촉진하고, 프로젝트 참여자들 간에 소통과 협력을 유도할 수 있다.

## 산호 입양 프로그램 진행

산호 입양 프로그램은 참여자들이 산호 조각을 구매하고, 그 조각들이 바다에 설치되어 산호의 자연 복원을 돕는 프로그램이다. 이 프로그램은 산호의 보전과 해양 생태계의 회복을 목표로 한다. 참여자들은 산호 조각을 구매함으로써 프로그램에 참여할 수 있다. 구매한 조각은 산호 프레임에 묶여 일정 수량 (25~30)개가 모이면 프레임을 바다에 설치한다. 참여자들은 산호 입양을 통해 산호초 복원에 직접적으로 기여할 수 있으며 관광객들은 지속 가능한 관광 체험을 할 수 있다. 참여자들은 홈페이지 및 SNS를 통해 입양된 산호 조각의 성장 과정을 지속적으로 볼 수 있다.



이미지 출처: (REEFSCAPERS)



### 산호 프레임 설치

기존의 산호초 프레임은 강철로 뼈대를 만들고 그 위에 산호가 자랄 수 있는 모래 층을 부착한다. 그리고 수집된 산호 조각을 케이블 타이로 프레임에 고정한다.

본 프로젝트에서는 환경에 미치는 영향을 최소화하기 위해 생분해 가능한 폴리머인 PLA를 사용한다. PLA로 만든 뼈대에 산호가 자랄 수 있는 모래층을 부착하여 산호 프레임을 제작한다. 산호 조각을 고정하는 케이블 타이 또한 생분해성으로 교체한다. PLA는 생분해성 폴리머 중에서 가장 널리 사용되는 종류 중 하나로 옥수수, 카사바, 사탕수수 전분을 원료로 한 생분해성 폴리머이다.5) PLA는 특정 조건 하에서 미생물의 작용을 통해 자연적으로 분해되어 폭풍, 해일 등의 영향으로 유실될 경우 해양 생태계에 부정적인 영향을 최소화할 수 있다. 제작된 산호초 프레임은 환경 분석 결과 적합한 장소로 선정된 곳에 설치한다. 산호가 어느 정도 성장하면 산호를 해저 옮겨 심고 케이블 타이와 프레임을 회수한다.

### 주기적인 모니터링 및 성장 분석

산호의 성장은 느린 편이라 기후 변화와 인위적인 요인으로 인한 산호의 파괴 속도를 산호의 자연적인 복구 및 성장 속도가 따라가지 못한다. 따라서 인위적인 도움이 필수적이다. 지속적인 모니터링과 관리를 통해 추가적인 피해가 없도록 사전에 방지하고 최소화할 필요가 있다. 모니터링 시 플랑크톤 바이오매스와 다양성, 어류 및 각종 조류의 다양성 등의 생물학적 측면과 탄소, 용존 산소 등의 화학적 측면을 모두 고려하고, 설치 전과 비교하여 산호초 프레임이 해양생태에 미치는 영향을 분석한다. 또한 여러 가지 산호 종 중 해당 구역에 가장 적합한 종이 무엇인지 성장 분석을 통해 선정하고 향후 연구에 참고하도록 한다.



© Alexis Rosenfeld



# 결과

## 예상 결과 및 영향

산호초는 ‘바다의 열대우림’으로 언급될 만큼 종 다양성 측면에서 가장 풍부한 해양 서식지 중 하나이다. 산호초는 해저의 0.1%만을 차지하지만 모든 해양 생물종의 25%를 지원한다.(7) 산호초의 복잡한 3차원 구조는 다양한 유기체가 거주할 수 있는 풍부한 공간을 제공하며 해양 먹이사슬의 기초가 된다. 산호초 복원 프로젝트를 통해 손상된 산호초 생태계를 회복시킴으로써 산호초의 성장과 번식을 촉진하고, 이로 인한 생태계의 다양성과 안정성 향상을 기대할 수 있다.

또한 산호초 복원 프로젝트는 지역 경제 발전에 긍정적인 영향을 미칠 것으로 기대된다. 수산업과 관광업은 SIDS 국가 경제의 바탕이 되는 만큼 매우 중요한 산업이다.

산호초와 관련이 있는 것으로 알려진 어류는 4,000종이 넘는다. 산호초를 통한 전 세계 어업 생산량은 연간 50억 달러로 추산될 만큼 산호초가 수산업에 미치는 영향이 크다(8). 건강한 산호초의 증가에 따른 어류 다양성의 향상은 물디브와 같이 수산업이 중요한 산업 요소인 국가의 생계와 식량 안보 문제에 도움이 될 수 있다. 이처럼 산호초의 회복은 해양 생물 자원의 보존과 지속 가능한 이용에 기여한다. 이를 통해 지역 사회의 수산업과 해양 생물 자원 소비자들에게 장기적인 혜택을 제공할 수 있다.

산호초 복원은 관광 사업에도 도움이 된다. 물디브는 다이빙 투어, 각종 레크리에이션, 낚시 여행, 호텔, 레스토랑 및 산호초 생태계 근처에 기반을 둔 여러 사업을 통해 수익을 얻고 있기 때문에 산호초에 서식하는 물고기, 식물, 동물의 수가 감소하면 관광지로서의 가치도 상실된다. 산호초 복원 프로젝트를 통해 관광지로서의 가치를 향상시킴으로써 더 많은 관광객들의 방문을 기대할 수 있고 스노클링, 다이빙 등의 해양 관광 활동을 통한 수입 증대에도 기여할 수 있다.

수산업과 관광업으로 인한 경제적 효과 외에 지역 주민들에게 새로운 일자리를 제공할 수 있다. 본 프로젝트가 진행됨에 따라 구조물 제작 및 설치, 모니터링, 홈페이지 관리 등의 전 과정에 걸친 다양한 분야의 일자리가 추가적으로 제공된다. 이는 지역 주민들의 소득과 생계 개선에 도움이 될 수 있다.

마지막으로, 산호초 보전과 복원 기술에 대한 교육이 진행됨에 따라 지역 주민들의 전문성과 역량을 향상시킬 수 있다. 이는 그들의 또 다른 일자리 창출에도 도움이 될 수 있으며 장기적으로 기후 위기 극복을 위한 인식 향상에 기여할 것으로 기대된다.

산호초의 회복과 성장은 이처럼 다방면에서 중요하다. 본 프로젝트가 성공적인 결과를 얻는다면 물디브 뿐만 아니라 쿠바, 몰타, 투발루 등 산호초가 중요한 자산이 되는 SIDS에서도 적용이 가능할 것이다. 나아가 전 세계적으로 겪고 있는 산호 감소 문제를 해결할 수 있는 하나의 방안으로서 중요한 역할을 할 수 있을 것이라 기대된다.

## NbS 적합도

IUCN에서 제시한 자연 기반 해법 기준에 따라 프로젝트의 NbS 적합도를 평가해 보고자 한다. 우리의 프로젝트는 산호초 복원을 통한 생물 다양성 증가와 교란된 생태계의 회복을 목적으로 하고 있다. 산호 프레임이 설치되고 난 이후의 영향에 대해서는 지속적인 관리와 모니터링을 통한 환경 영향 분석이 필요하지만, 복원 프로젝트를 통해 생물 다양성이 개선될 것이라는 기대효과는 분명하다. (NbS기준 3)

또한 프로젝트가 진행됨에 따라 산호초 파괴가 물디브의 관광업 및 수산업에 미칠 것이라 예상되는 영향을 최소화할 수 있다. 산호초 후원 홍보에 따른 관광객 유치와 생물 다양성 회복을 통한 어획량 증가 등의 효과를 거둬으로써 물디브의 사회적, 경제적 문제를 해결할 수 있다. 추가적으로, 프로젝트 전 과정에서 일자리 창출이 가능하므로 지역 주민들의 일자리 확대에 인한 경제적 이익을 얻을 수 있을 것으로 예상된다. (NbS기준 1, 기준 4) 이러한 NbS 기준들에 부합하므로 산호초 복원 프로젝트가 자연 기반 해법으로서 역할을 수행하기에 충분할 것으로 기대된다.



© Jürgen Freund / WWF



# 참고문헌

1. 권영승, 김성수 (2023), 코로나19 이후 아프리카 SIDS의 관광산업 회복과 시사점, 한국아프리카 학회지, p.5.
2. 장학봉, 백인기 외 5명 (2010), 소도서국가 (SIDS)와의 해양협력 방안 연구, 한국해양수산개발원, p.164.
3. 임재규 (2004), 기후변화협약 제3차 국가보고서 작성을 위한 기반구축연구 (제1차년도), 에너지경제연구원, p.93.
4. Denis Allemand (2017), Coral Reefs and Climate Change, Ocean&Climate platform, p.74.
5. Encyclopedia of Sustainability Science and Technology (2012), Coral reef ecosystems, p.2489-2509.
6. Ezri Tarazi et al (2019), Nature-Centered Design: How design can support science to explore ways to restore coral reefs, The Design Journal 22, p.1623.
7. Munday et al. (2008), Climate change and the future for coral reef fishes.
8. Plaisance et al. (2011), The Diversity of Coral Reefs: What Are We Missing?



© Shutterstock / Debra James / WWF





# OUR MISSION IS TO STOP THE DEGRADATION OF THE PLANET'S NATURAL ENVIRONMENT AND TO BUILD A FUTURE IN WHICH HUMANS LIVE IN HARMONY WITH NATURE

© WWF-Malaysia / Eric Madeja

본 보고서는 씨티재단과 한국씨티은행의 기후행동 파트너십 '내일을 위한 변화 (Change Now for Tomorrow) 프로그램'의 후원으로 제작되었습니다. 한국씨티은행은 200년이 넘는 역사와 160여 개국의 세계적인 영업기반을 가진 글로벌 씨티의 노하우를 바탕으로 다양한 금융 서비스를 제공하고 있습니다. 씨티재단(Citi Foundation)은 경제적 진보를 도모하고, 전 세계 저소득 중 삶의 질을 개선하기 위해 노력합니다.



WWF는 자연환경 파괴를 막고  
자연과 인간이 조화롭게 공존하는 미래를 위해  
일하는 세계 최대 규모의 자연보전기관입니다.

together possible. [wwf.korea.or.kr](http://wwf.korea.or.kr)

© 2024

© 1986 판다 도형 WWF - World Wide Fund for Nature 세계자연기금 (전 World Wildlife Fund 세계야생동물기금)

® 'WWF'는 WWF의 등록상표입니다.