

## SDM 이전을 위한 강원도 고성군 A/R CDM 사업의 현황과 향후과제

고영진\* · 송철호\*\* · 허민정\*\*\* · 노민우\* · 홍민아\* · 박호정\*\*\*\* · 손요환\*\*\*\*\* · 이우균\*\*\*\*\*†

\*고려대학교 환경생태공학과 박사과정학생, \*\*고려대학교 오정리질리언스연구원 연구교수, \*\*\*고려대학교 환경생태공학과 석사과정학생,  
\*\*\*\*고려대학교 식품자원경제학과 교수, \*\*\*\*\*고려대학교 환경생태공학부 교수

### Current State of the A/R CDM Project in Goseong-gun, Gangwon Province, South Korea for Transfer to SDM and Ongoing Challenges

Ko, YoungJin\* · Song, Cholho\*\* · Heo, Minjeong\*\*\* · Roh, Minwoo\* · Hong, Mina\*  
· Park, Hojeong\*\*\*\* · Son, Yowhan\*\*\*\*\* and Lee, Woo-Kyun\*\*\*\*\*†

\*Ph.D. Student, Dept. of Environmental Science and Ecological Engineering, Korea University, Seoul, Korea  
\*\*Research professor, OJong Resilience Institute (OJERI), Korea University, Seoul, Korea  
\*\*\*M.S. Student, Dept. of Environmental Science and Ecological Engineering, Korea University, Seoul, Korea  
\*\*\*\*Professor, Department of Food and Resource Economics, Korea University, Seoul, Korea  
\*\*\*\*\*Professor, Division of Environmental Science and Ecological Engineering, Korea University, Seoul, Korea

#### ABSTRACT

In this study, A/R CDM project registered with the UNFCCC in 2012 was reviewed for transfer to SDM. Additionally, economic analysis was performed. The amount of CO<sub>2</sub> stock for 2021 was 44.15 tCO<sub>2</sub>/yr at the project site. As a result of analysis, the total stock through field survey was higher than PDD. In the case of tree species, the stock of *Pinus koraiensis* was slightly lower than others. It means that growth of *Pinus koraiensis* is slow in the site. On the other hand, as *Pinus koraiensis* occupies the largest area of the project, it is necessary to improve the stock by preparing an optimal management plans. On economic analysis of the entire business period for securing carbon absorption reductions, the B/C ratio was less than 1, indicating that there was no business feasibility. However, considering the social environment contribution, improving image of the state and companies participating in social contribution activities such as afforestation, and educational effects, it can obtain investment feasibility of project, continuously. In order to maintain the project, transparency must be achieved through comparison with PDD. It was possible to confirm the difference between the planting period, the area, and the predicted amount of carbon absorption reduction. It appears possible to achieve transparency through PRC along with the SDM transition.

Key words: A/R CDM, MRV, SDM, CERs, Forest Management

### 1. 서론

국제적으로 기존 교토체제(Kyoto Protocol)가 2020년을 끝으로 종료되었으며, 2015년 UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change)의 제21차 당사국총회(21st session of the Conference of the Parties, COP21)에서 채택된 파리협정(Paris Agreement)의 영향력

이 점차 커지고 있다. 파리협정은 산업화 이전 대비 지구 평균기온 상승을 2℃보다 상당히 낮은 수준으로 유지하고, 1.5℃ 이하로 제한하기 위한 노력을 모든 당사국들에게 촉구하고 있다(UNFCCC, 2019). 이에 따라 국제사회는 이전보다 향상된 감축목표를 수립하였으며, 온실가스 배출이 많은 산업, 건물, 수송 등을 비롯하여 산림 등의 전 분야에서 온실가스 감축을 위한 노력을 강

†Corresponding author : [leewk@korea.ac.kr](mailto:leewk@korea.ac.kr) (145 Anam-ro, Seongbuk-gu, Seoul, 02841, Korea. Tel. +82-2-3290-3470)

ORCID 고영진 0000-0002-9345-3214  
송철호 0000-0002-8491-9545  
허민정 0000-0001-7166-4566  
노민우 0000-0003-0815-3469

홍민아 0000-0001-9177-309X  
박호정 0000-0003-2747-1905  
손요환 0000-0001-5621-9894  
이우균 0000-0002-2188-359X

화하고 있다.

지난 교토체제는 온실가스 감축의무가 있는 선진국이 개도국에 투자하여 시행한 사업에서 발생하는 감축량을 선진국의 감축실적으로 인정하는 제도를 마련하였으며, 이에 따라 선진국들은 온실가스 감축 목표를 달성하기 위해 청정개발체제(CDM, Clean Development Mechanism) 사업을 시행해 왔다(Kim et al., 2013; UNFCCC, 2021a). 산림 분야의 사업인 A/R (Afforestation and Reforestation) CDM은 산림으로 정의되지 않은 토지를 산림으로 전환하는 온실가스 감축사업으로, UNFCCC에 따르면 2021년 12월 기준, 24개국에서 총 67건이 시행되었다(UNFCCC, 2021b).

최근 2021년 11월 영국 글라스고에서 개최된 COP26에서는 글로벌 산림재원 서약과 파리협정 제6조 등을 포함한 파리협정의 세부이행규칙(Paris Rulebook)이 완성되었으며, 이를 통해 감축과 적응, 기후재원, 역량배양, 기술개발 및 이전, 투명성 체계와 시장 또는 비시장 접근법을 활용한 협력 등 다양한 분야에서 각국의 행동을 촉구하였다(MOE, Ministry of Environment, 2022). 세부적으로 파리협정 6.2조인 협력적 접근법은 당사국들간의 자발적 감축협력 활동을 통해 발생하는 감축실적(MO, Mitigation outcome)에 대해 이전(Transfer)을 허용하여 각국의 국가감축목표(NDC, National Determined Contributions)에 반영할 수 있도록 하였다. 또한, 6.4조 메커니즘(Mechanism)은 온실가스 감축 및 지속가능발전을 지원하는 시장적 접근법으로, 기존 CDM과 유사하게 당사국회의의 감독과 운영 및 관리가 되는 감축사업이다. 파리협정에서 이들 조항은 모두 온실가스 감축 사업을 증진하고, 감축 실적 등의 활용을 강화하기 위한 조치에 해당한다.

특히, 6.4조 메커니즘은 크레딧 발급 기간의 변경과 6.4조 감축실적 발행 후 이전 시 적응기금용도의 차감 및 전지구적 전반적 감축 목적을 위한 취소 등이 이루어진다는 차이점이 있다. 또한, CDM 중 이전 대상에 해당하는 사업들은 6.4조 메커니즘으로 이전되어 관리될 예정이다. 이전 대상은 현재 UNFCCC에 등록되어있는 사업 중에서 2020년 말 이전에 등록되고, 2021년 이후 사업기간이 남아있는 CDM 사업에 해당한다. 해당 조건에 부합하는 사업들의 SDM 이전 요청은 2023년 12월 31

일까지 신청되어야 하며, 호스트국가(Host party)의 승인이 필요하다(UNFCCC, 2021c, Park, 2021, Lee, 2021). 따라서, A/R CDM을 포함한 기존에 진행되었던 CDM 사업들의 존속을 위해서는 파리협정 6.4조에 근거한 체계로 이전이 요구된다.

우리나라는 2012년부터 강원도 고성군 간성면 홀리를 대상으로 A/R CDM 사업을 추진하여 등록한 바 있다(Kim et al., 2013). 현재 해당 사업은 기존 CDM 관점에서 사업성과에 대한 중간모니터링이 필요하며, 파리협정 6.4조로의 이전 등 국제적 사업 환경변화에 따른 준비를 해야 하는 상황이다. 따라서, 연속적인 사업을 추진하기 위해서는 현재 사업지의 상황을 정확하게 파악하고, 사업추진 과정에서 발생한 변경사항이 있다면 변경신청(PCR, Post Registration Change)을 통한 투명성을 제고해야 하며, 면밀한 검토에 기반한 이전신청을 해야만 한다(UNFCCC, 2021c). 이를 통해 우리나라 최초로 등록된 A/R CDM 사업을 존속시켜야 하며, 향후 발생할 배출 실적에 대한 체계적인 관리를 수행해야 한다.

따라서, 본 연구에서는 첫째로 현재까지 추진되었던 고성 A/R CDM의 실적 등을 MRV (Measuring, Monitoring and Reporting) 체계에 따라 대상지의 온실가스 감축 실적에 해당하는 이산화탄소 흡수량과 경제성을 평가하여, 고성 A/R CDM 사업의 사업계획서(PDD, Project Design Document)와 비교하고, 이전을 통한 지속적인 사업 유지 방안을 제언하고자 한다.

## 2. 연구 범위 및 방법

### 2.1. 연구 대상지

연구대상지는 강원도 고성군 간성면 홀리 산 1-85 입, 산 1-86 입, 산 1-88 입, 산 1-92 입 등 4개의 필지로 총면적은 75ha로 구성되어 있다(Fig. 1). 2015년부터 2018년에 걸쳐 총 13개의 임소반에서 낙엽송(LK, *Larix kaempferi*), 잣나무(PK, *Pinus koraiensis*), 자작나무(BK, *Betula platyphylla*) 등 3개 수종으로 조림사업이 수행되었다(Table 1).

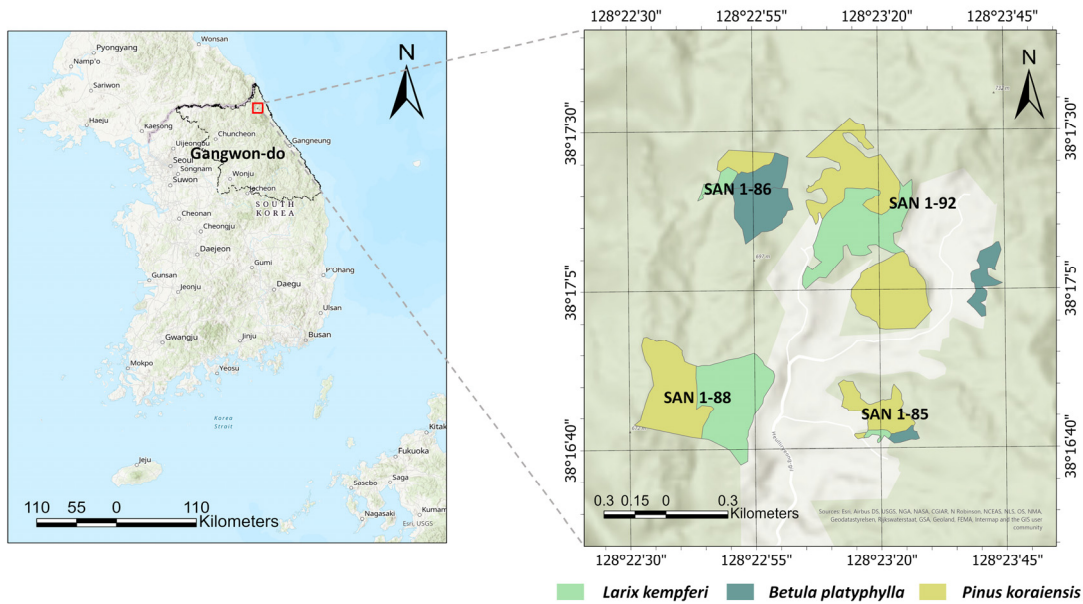


Fig. 1. Study area of A/R CDM project in Goseong-gun, Gangwon province

Table 1. Status of the study area

Parcel number	Compartment	Sub-compartment	Species	Area (ha)	Planting Year
San 1-85	268	1	PK	4.4	2015
San 1-85	268	1	LK	0.3	2015
San 1-85	268	1	BP	0.6	2015
San 1-86	266	8-2	LK	1.1	2017
San 1-86	266	8-2	PK	2.3	2017
San 1-86	266	8-2	BP	2.6	2017
San 1-88	267	7-1	LK	12.4	2017
San 1-88	267	7-1	PK	11.0	2017
San 1-92	266	8-3	BP	5.5	2018
San 1-92	267	5-2	PK	10.1	2018
San 1-92	267	5-3	BP	2.7	2018
San 1-92	267	5-1	LK	11.5	2018
San 1-92	266	7-1	PK	10.5	2016
Sum				75	-

LK : *Larix kaempferi*, PK : *Pinus koraiensis*, BP : *Betula platyphylla*

## 2.2. 연구 방법 및 자료

### 2.2.1. 탄소배출권사업지 입목측정을 통한 축적 파악

PDD에서는 해당 사업에 대한 모니터링 시 국가산림 자원조사(NFI, National Forest Inventory)의 방법론을 따른다고 언급하고 있다(UNFCCC, 2013). 우리나라 산림

청(KFS, Korea Forest Service)은 NFI에 따라 전국의 산림을 대상으로 4,500개의 표본점을 설정하고, 매년 20% 씩, 5년간 조사 및 평가하여 산림기본통계를 확보하고, 산림자원의 변화 동태를 주기적으로 파악하고 있다. 이는 지속가능한 산림경영 실천을 위한 산림기본계획 및 산림정책수립의 기본자료 제공을 목적으로 하고 있으며,

인벤토리 보고서 작성 시에 사용되는 신뢰성이 높은 현장조사 방법이다(KFS, 2017). 해당 지침에 따르면 인공조림지 내 조림년도 및 동일 수종일 경우 표준지 면적은 조림대상지의 1% 이상으로 설정할 것을 명시하고 있다(KFS, 2017). 본 연구에서는 현장조사를 위해 대상지의 경사, 방위, 표고 등 지리적 특성을 고려하고, 정사항공사진을 활용하여 표준지를 선정하였다. 표준지 개소 수는 사업지 전체 면적의 1%를 고려하여 36개를 선정하였으며, 표준지 면적은 반지름 11.3 m의 원형 표준지를 사용하여 0.04 ha로 설정하였다. 낙엽송, 잣나무, 자작나무 등 3개 조림수종을 대상으로 임목의 성장량 예측을 위해 수고, 흉고직경을 조사하였다. 또한, 조림시기와 각 임소반의 조림 시 묘목연령 등을 고려하여 수령을 파악하였고, 흉고직경 측정이 불가능한 경우 근원경을 측정하였다. 추가적으로 식 (1)과 같이 2021년 기준 사업지별 활착율을 파악하였다.

$$\begin{aligned} \text{Ratio of survival}_{2021} (\%) \\ = \text{Survival Numbers}_{2021} / \text{Planting Numbers}_{2021} \end{aligned} \quad (1)$$

Table 2. Numbers and area of sample plots in project area

Species	LK	BP	PK	Sum
Number of plots	13	6	17	36
Area (ha)	25.3	11.4	38.3	75

LK : *Larix kaempferi*, PK : *Pinus koraiensis*, BP : *Betula platyphylla*

흉고직경과 수고는 조사한 자료를 기반으로 국립산림과학원(NIFoS, National Institute of Forest Science)에서 제공하는 임목자원평가프로그램을 통해 개체목 단위의 재적인 단재적을 산출하였다(NIFoS, 2015). 임목자원평가 프로그램은 개체목의 재적 및 중량 계산, 영림계획, 임목매각, 산림조사시 표준지 조사에 대한 임분재적, 수고곡선도 등의 자료를 제공한다(NIFoS, 2015). 이를 활용하여 조림대상지의 수종별 축적 확인을 위해 식 (2)와 같이 ha당 축적을 파악하였다. 한편, 우리나라의 산림자원통계는 전체 산림을 I ~ VI영급으로 구분하여 산림면적 및 임목축적을 제공하고 있으나, I 영급의 경우 유령림으로 분류하여 임목축적에 대해 미산출하고 있다(Moon et al., 2020). 본 연구에서는 대상지의 이산화탄소 흡수량을 보다 정확

하게 산출하기 위해 수고가 낮아 흉고직경 측정이 어려운 I 영급의 경우 근원경과 묘고를 활용하여 식 (3)과 같이 유령림 재적을 파악하였다(Pinto et al., 2011, Moon et al., 2020).

$$\begin{aligned} \text{Volume}_{ij} (m^3/ha) \\ = \text{Single Volume}_{ij} (m^3) \times \text{Numbers}_{ij} \times 25 \end{aligned} \quad (2)$$

$i$  (plots) : 1, 2, 3, ...36

$j$  : species

$$V (m^3) = \Pi \times RCD \times H / 6 \quad (3)$$

$V (m^3)$  : Stem volume

RCD : Root collar diameter

H : Tree height

### 2.2.2. 탄소배출권사업지 탄소흡수량 현황 파악

이산화탄소 흡수량 파악을 위해 국립산림과학원에서 제공하고 있는 수종별 탄소배출계수를 사용하였다(Table 3). PDD에 사용되었던 계수의 경우 당시 개발된 계수를 사용하였으나, 2014년 수종별 계수에 대한 보완이 이루어졌다(Kim et al., 2013; NIFoS, 2014). 특히, PDD 작성 시 자작나무에 대한 계수가 개발되지 않아 상수리나무에 대한 계수를 활용하였으나, 자작나무의 탄소배출계수가 개발됨에 따라 이를 활용하여 신뢰성을 제고할 필요가 있다(Kim et al., 2013). 따라서, 본 연구에서는 새로 보완 및 개발된 계수를 활용하여 식 (4)와 같이 이산화탄소 흡수량을 산정하였으며, 2056년까지의 탄소흡수량을 예측하기 위해 선행연구에서 개발한 임목 성장 회귀식을 활용하였다(NIFoS, 2014, Kim et al., 2013).

Table 3. Carbon absorption factor for Each species (NIFoS, 2014)

Species	LK	PK	BP
Wood Density (WD)	0.453	0.408	0.558
Biomass expansion factor (BEF)	1.335	1.812	1.388
Root ratio (R)	0.291	0.283	0.349
Conversion factor (CF)	0.5	0.5	0.5

LK : *Larix kaempferi*, PK : *Pinus koraiensis*, BP : *Betula platyphylla*

$$tCO_2 = V_{i,t} \times WD_i \times BEF_i \times (1 + R_i) \times CF \times 44/12 \quad (4)$$

$tCO_2$  : CO<sub>2</sub> absorption

$V_i$  : Volume of tree species; (m<sup>3</sup>/ha)

$WD_i$  : Wood Density of tree species; (td·m<sup>3</sup>/ m<sup>3</sup>)

$BEF_i$  : Biomass Emission Factors of tree species;

$R_i$  : Root ratio of tree species;

$CF$  : Conversion Factor (tC/td·m)

$t$  : Tree age

44/12 : Stoichiometric ratio of CO<sub>2</sub> and C

### 2.2.3. 탄소흡수량 예측치 기반 경제성 분석

앞서 파악한 이산화탄소 흡수량을 사용하여 고성 A/R CDM 사업의 경제성을 파악하였다. 해당 분석을 위해 사업관리 주체인 동부지방산림청 및 양양국유림관리소의 사업기간 내 투입된 비용자료를 활용하였다(Table 4). 사업을 추진하는데 필요한 비용은 산림조성과 관리를 포함하는 산림경영 관련 활동비용과 CDM 사업으로 발전시키기 위한 사전 사업 준비 비용, 배출권 등록과 관련된 CDM 행정비용으로 나누어, 이를 초기, 거래, 관리 비용으로 분류하였다(Han and Youn, 2007; Noh, 2021) (Table 4). 초기 및 거래비용은 산림조성과 사업계획서 작성 및 등록, 전지구적 배출 감축(OMGE, Overall Mitigation in Global Emissions) 목적으로 6.4조 감축실적 발행량의

2% 취소와 적응기금융도로 발행량의 5%를 차감하는 등 총 7%의 감축결과 차감 등을 포함하고 있다(Park, 2021). 관리비용은 탄소배출권사업지 내 조림목의 관리에 따른 비용을 포함하였으며, 이는 사업관리 주체에서 사용한 관리비용과 지속가능한 산림경영 관리지침(2020.6.15. 산림청 훈령 제1244호)에 따라 각 생육단계별 시업기준을 고려하여 비용을 산정하였다. 수익의 경우 탄소수익과 임목 매각에 의한 수익을 포함하였다(KFS, 2020b). 배출권가격은 조림 시점인 2015년부터 2020년까지는 각 연도 말 배출권시장의 할당배출권(KAU, Korea Allowance Units) 증가를 적용하였으며, 2021년부터 2056년까지는 선행연구에 따라 배출권가격의 연평균증가율(2.61%)을 가정하였다. 이후 사업 시작시점을 기준으로 매 5년마다 배출권을 행사하는 것으로 가정하였다(EPFS, 2021; KRX, 2021). 할인율은 현금흐름을 순현재가치로 환산할 경우 투자 유치국 정부가 제공하는 할인율을 적용하는 것이 바람직하다(Noh, 2021). 본 연구에서는 한국개발연구원(2016)에서 추정된 민간투자사업의 적정할인율인 4.44%를 적용하여 현재가치를 고려한 탄소수익을 파악하였다(EPFS, 2021). 또한, 임목매각은 선행연구에 따라 국유림 평균 임목판매가를 참고하여 1 ha당 약 270만 원으로 가정하였다(Min, 2019). 사업기간의 경우 파리협정 6.4조 변경사항에 따라 사업 시작시점인 2012년을 기준으로 15년씩 2회 갱신을 가정하고, 최대 45년이 되는 해인 2056년까지로 설정하여 해당 A/R CDM 사업의 경제성을 분석하였다.

Table 4. Cost list of A/R CDM for economic feasibility

		(Unit: Thousand won)
Classification		Cost
Initial	Area to be planted	-
	Afforestation	-
	PDD	43,358
	Feasibility report	34,230
	Registration <sup>†</sup>	-
Transaction	Monitoring report	3,423 * 8
	Verification and certification report	7,987 * 8
	climate adaptation finance (5%)	
	Mandatory partial cancellation of overall mitigation (2%)	
Management	Weeding	Actual expense
	Tending of young tree	122,925 won (1,639 won/ha)
	Pruning	27,150 won (362 won/ha)
	Thinning	114,975 won (1,533 won/ha)
	Harvest	174,525 won (2,327 won/ha)

<sup>†</sup>No registration fee for below 15,000 tCO<sub>2</sub> equivalent

Table 5. Volume and survival rate of Parcel number

Parcel number	Species	Planting Year	Area (ha)	Volume (m <sup>3</sup> /ha)	Survival Rate (%)
San 1-85	LK	2015	0.3	5.21	0.54
San 1-85	BP	2015	0.6	34.72	0.49
San 1-85	PK	2015	4.4	0.27	0.45
San 1-86	LK	2017	1.1	0.64	0.69
San 1-86	BP	2017	2.6	5.14	0.64
San 1-86	PK	2017	2.3	0.31	0.56
San 1-88	LK	2017	12.5	2.10	0.76
San 1-88	PK	2017	11.0	0.43	0.60
San 1-92	PK	2016	10.5	1.18	0.58
San 1-92	LK	2018	11.5	1.32	0.67
San 1-92	BP	2018	5.5	0.84	0.56
San 1-92	PK	2018	10.1	0.08	0.48
San 1-92	BP	2018	2.7	2.17	0.63

LK : *Larix kaempferi*, PK : *Pinus koraiensis*, BP : *Betula platyphylla*

### 3. 결과

#### 3.1. 탄소배출권사업지 축적

2021년 기준 탄소배출권사업지 내 임소반별 낙엽송, 잣나무, 자작나무의 재적(m<sup>3</sup>/ha)은 각각 2.32, 0.45, 10.72, 활착율(%)은 0.67, 0.53, 0.58로 나타났으며, 낙엽송과 자작나무를 비교했을 때 잣나무의 평균 재적과 활착율이 낮은 것으로 확인되었다(Table 5, Fig. 2). 이를 PDD의 예측 재적(m<sup>3</sup>/ha)은 1.84, 1.07, 1.18으로 나타났으며, 실측치(Obs, Observation)와 비교하였을 경우 낙엽송과 자작나무의 평균 재적은 0.48, 0.54 m<sup>3</sup>/ha 큰 것으로 나타났으나, 잣나무의 경우는 0.62 m<sup>3</sup>/ha 작은 것으로 나타났다. 한편, 지속가능한 산림자원 관리지침에 따르면 활착율이 0.8 미만일 경우 조림 수종 또는 다른 수종으로 대체하여 보식하고, 0.5 미만일 경우 재조림을 시행한다고 명시하고 있다. 해당 사업지의 경우 지침에 의한 기준보다 활착율이 낮으나, 이를 각 수종의 재적과 비교했을 때 낙엽송과 자작나무의 재적은 상대적으로 크게 나타난 것을 확인할 수 있었으며, 잣나무의 재적은 크지 않은 것으로 나타났다.

#### 3.2. 탄소배출권사업지 탄소흡수량

PDD에 따르면 전체 조림수종의 임령은 11년으로 동령림이어야 하지만, 조림시기의 지연 등으로 인해 수종별 임령이 다소 상이하다. 2021년 기준 탄소배출권사업지 내 임

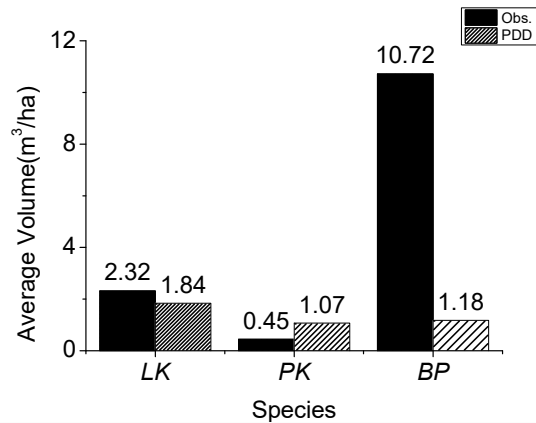


Fig. 2. Comparison for Average Volume between Observation (Obs.) and PDD about Each Species in 2021 (LK : *Larix kaempferi*, PK : *Pinus koraiensis*, BP : *Betula platyphylla*)

소반별 식재 수종의 임령을 파악하여 PDD와 비교를 통해 해당 사업의 이행상태를 확인하였다. 각 임소반의 수종별 식재연도를 고려하여 낙엽송과 잣나무는 6년생, 자작나무는 5년생으로 이산화탄소 흡수량을 추정하였다. 그 결과, ha당 연간 평균 이산화탄소 흡수량은 자작나무가 1.70 tCO<sub>2</sub>/ha/yr으로 가장 높았으며, 낙엽송 0.68 tCO<sub>2</sub>/ha/yr, 잣나무 0.20 tCO<sub>2</sub>/ha/yr 순으로 나타났다(Table 6). 연간 평균 이산화탄소 흡수량의 경우 낙엽송은 17.20 tCO<sub>2</sub>/yr, 잣나무는 7.48 tCO<sub>2</sub>/yr, 자작나무는 19.47 tCO<sub>2</sub>/yr으로, 2021년 기준 탄소배출권사업지의 이산화탄소 흡수량은 약 44.15

Table 6. Comparison for Annual Average Carbon dioxide Absorption between Observation (Obs.) and PDD about Each Species in 2021

Species		Obs. (5, 6 years)	PDD (5, 6 years)	Obs. (11 years)	PDD (11 years)
LK	(tCO <sub>2</sub> /ha/yr)	0.68	0.29	5.54	4.61
	(tCO <sub>2</sub> /yr)	17.20	6.67	140.57	106.68
PK	(tCO <sub>2</sub> /ha/yr)	0.20	0.49	0.94	3.52
	(tCO <sub>2</sub> /yr)	7.48	19.60	35.95	141.41
BP	(tCO <sub>2</sub> /ha/yr)	1.70	0.69	12.55	6.31
	(tCO <sub>2</sub> /yr)	19.47	8.11	143.53	73.85

LK : *Larix kaempferi*, PK : *Pinus koraiensis*, BP : *Betula platyphylla*

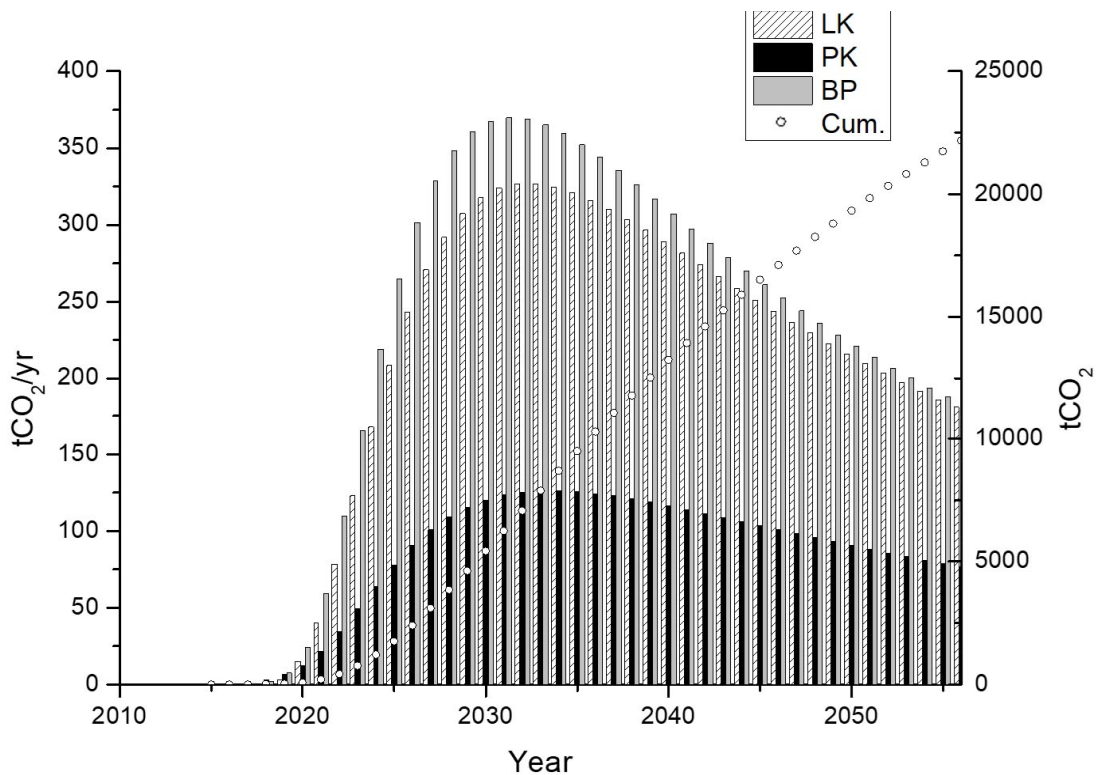


Fig. 3. Annual and accumulated carbon absorption

tCO<sub>2</sub>/yr으로 나타냈다(Fig. 3). 이를 활용하여 PDD의 이산화탄소 흡수량과 비교를 통한 사업의 이행수준을 파악하기 위해 PDD에 따른 임령을 각 수종별 평균 임령과 비교하여 연간 평균 이산화탄소 흡수량을 확인하였다. 낙엽송과 자작나무의 경우 현장조사를 통한 이산화탄소 흡수량이 PDD보다 약 2배 높게 나타난 것을 확인할 수 있었으며, 잣나무는 약 0.3배에 불과한 것으로 나타났다.

선행 연구의 임목 생장 회귀식과 상기 이산화탄소 흡수

량을 통해 2015년부터 2056년까지의 전체 사업기간을 고려한 결과, 45년간 고성 탄소배출권사업지의 ha당 이산화탄소 흡수량은 1,296 tCO<sub>2</sub>/ha, 전체 이산화탄소 흡수량은 약 22,170 tCO<sub>2</sub>으로 추정되었다(Kim et al., 2013).

### 3.3. 탄소흡수량 예측치 기반 경제성

사업기간 동안의 총 이산화탄소 흡수량과 투입된 비용 등을 고려하여 경제성을 분석하였다. 해당 사업의 시작시

Table 7. Present value with Carbon credit outcome, revenue

(Unit: Thousand won)

Year	Carbon Credit Outcome (tCO <sub>2</sub> /yr)	Carbon Revenue	PV of Carbon Revenue	PV of Monitoring time
2012 ~ 2023	759.20	31,424	25,289	1,314,638
2024 ~ 2028	3086.25	145,308	94,106	122,167
2029 ~ 2033	4044.29	216,595	112,887	93,917
2034 ~ 2038	3912.63	238,354	9,973	27,342
2039 ~ 2043	3464.09	240,044	81,025	55,774
2044 ~ 2048	2985.81	235,349	63,930	12,932
2049 ~ 2053	2959.59	229,493	50,168	21,815
2054 ~ 2056	1359.07	131,646	25,262	42,220

\*탄소인증량의 경우 OMGE를 고려한 2% 감축실적 취소를 반영하였고, 비용의 경우 개도국 기후변화 적응비용 5%를 반영한 값임

Table 8. Total carbon credit outcome and economic feasibility

(Unit: Thousand won)

Species	Area (ha)	All Carbon Credit Outcome (tCO <sub>2</sub> ) (2012 ~ 2056)	NPV (Benefit - Cost)	B/C ratio (Benefit / Cost)
LK/ PK/ BP	75	22,170	-1,061,235	0.39

LK : *Larix kaempferi*, PK : *Pinus koraiensis*, BP : *Betula platyphylla*

점을 기준으로 매 5년마다 배출권 인증 및 판매를 하였을 경우 탄소 수익과 비용을 평가하였다(Table 7). 탄소인증량의 경우 2034 ~ 2038년에 약 3.9천 tCO<sub>2</sub>/yr가 발생하는 것으로 나타났으며, 직전 배출권 인증 및 판매량보다 약 1백 tCO<sub>2</sub>/yr 감소하였다. 이는 산림의 성장 특성상 조림 후 점진적으로 성장을 하다가 2032년 이후에는 성장량이 감소하는 것으로 확인할 수 있다. 배출권 가격이 연 2.61%씩 증가하는 것으로 가정하여 2039 ~ 2043년의 탄소수익이 가장 큰 것으로 나타났다. 탄소배출권사업지 대상 전체 사업기간을 고려했을 때 총 이산화탄소 흡수량과 순현재가치(NPV, Net Present Value)에서 약 -10억 수준으로 나타났으며, B/C ratio는 0.39로 나타났다(Table 8).

#### 4. 고찰

2021년 기준 본 A/R CDM 대상지의 이산화탄소 흡수량은 약 44.15 tCO<sub>2</sub>/yr이며, ha당 평균 이산화탄소 흡수량은 약 2.57 tCO<sub>2</sub>/ha/yr로 나타났다. 이는 조림 후 비교적 짧은 시간이 경과하였으며, 임목의 생장이 왕성하지 않아 대상지 내 전체 흡수량이 다소 낮은 것으로 보인다. 선행 연구에 따르면 낙엽송과 자작나무의 경우 PDD 작성 시 적지적수 판정표 및 토양지도에 따른 토양환경인자를 고려하여 대상지의 지위를 각각 20과 16으로 하여 재적을

추정하였으나, 재적이 예상치보다 크게 나타난 것으로 보아 실제 조림지의 지위는 예상했던 것보다 높은 것으로 보인다(Kim et al., 2013). 반면, 잣나무의 생장은 예상치보다 낮은 것으로 확인되었다. 잣나무는 초기생장에 있어 강풍에 취약하며, 천근성 수목으로 능선부와 같은 강풍이 잦은 지역에서 고사 발생이 빈번하여 물리적, 생리적 피해를 입기도 한다(National Institute of Ecology, 2016). 또한, 관리 측면에서 잡초 등과의 경쟁은 조림 수종의 활착 및 초기생장을 억제하는 등 조림지의 환경조건에 큰 영향을 미치므로, 적절한 풀베기 작업을 통해 양분, 수분, 광량의 경쟁을 완화시켜 성장을 촉진할 필요가 있을 것으로 보인다(NIFoS, 2012). 잣나무의 면적은 38.3 ha로 해당 조림사업의 절반 이상을 차지하고 있으므로 잣나무의 적절한 생육관리가 시급하다. 따라서, 지속가능한 산림자원 관리지침에 따른 수종별 시업기준을 참고하여 탄소배출권 대상지 환경에 적합한 수종별 시업방법을 선정하고, 잣나무에 대한 임목 성장량 증진을 위한 최적의 관리방안 모색이 필요하다.

또한, 해당 사업의 전체적인 이산화탄소 흡수량 증진을 위해 MRV 체계에 따른 추가적인 흡수량 산정이 필요할 것으로 보인다. 고성 A/R CDM 사업에 적용된 방법론(AR-AMS007)에서는 선택적으로 고사목, 낙엽층, 토양유기탄소에 대한 탄소흡수량을 산정하도록 하고 있으며, 이



를 통해 추가적인 감축결과물의 확보가 가능할 것이다 (UNFCCC, 2020). 현재 우리나라에서는 전국 규모의 현장조사와 모형 개발 연구가 수행되었으며, 임상 및 임령에 따른 고사목, 낙엽층, 토양유기탄소에 의한 연간 감축량 정보가 다량 축적되어 있다(Lee et al., 2017, GIR, 2022). 이와 더불어 국립산림과학원은 온실가스 인벤토리 보고를 목적으로 임상별 고사목, 낙엽층, 토양유기탄소 등의 탄소저장량 계수를 개발하였으며, 이러한 계수들은 IPCC 가이드라인에 제시된 방법에 따라 연간 감축량 산정에 활용될 수 있을 것이다(GIR, 2022). 한편, 해당 사업의 수익성에 큰 영향을 미치는 요인으로 임목 및 CER 가격과 임목 성장량 등으로 볼 수 있다. 임목 및 CER 가격은 사업자의 개입이 불가한 부분이지만, 임목 성장량의 경우 효과적인 성장 관리를 통하여 수익성을 높일 수 있는 요인이 될 수 있을 것이다(Park et al., 2007). 따라서, 생장이 저조한 경우 해당 수종과 환경에 적합한 관리방안을 택하여 관리할 필요가 있으며, 추가적으로 고사목 등의 탄소흡수량 산정을 통한 이산화탄소 흡수량을 증진시킬 필요가 있다.

경제성 분석의 경우 B/C ratio가 1보다 작은 값을 보여 본 사업의 타당성이 낮아 유사 연구에서와 동일하게 A/R CDM 사업의 투자에 대한 타당성이 없는 것으로 나타났다(Park et al., 2007). 반면, 해당 사업을 통한 산림생태계 서비스와 사회공헌, 그린이미지 제고 등의 환경·사회·지배구조(ESG, Environmental, Social, and Governance)경영을 포함한 사업의 지속가능성이 고려되므로 본 사업은 투자 타당성을 확보할 수 있다(Jang and Park, 2009; Cha et al., 2011). 특히, 산림생태계 기능 및 서비스를 고려한 생태적 가치를 반영할 수 있을 것이다(MOE, 2015). 선행연구에서는 산림자원을 통한 생태계 서비스의 가치를 사용가치와 비사용가치로 나누어 분석하고, 산림자원이 제공하는 가치는 연간 약 3,500원/m<sup>2</sup>로 분석하였으며, 이를 고려하여 지속적인 관점에서 투자여부를 재검토할 필요가 있을 것으로 보인다(MOE, 2015).

또한, 지속적으로 고성 A/R CDM 사업을 유지하기 위해서는 현재까지 진행된 사업을 전체적으로 검토하고 기존 제출한 PDD와의 비교를 통해 발생한 변경사항에 대한 PRC 제출과 이전 신청이 필요하다. 현재 해당 사업의 진행 결과와 PDD 상 기술된 내용과의 차이는 묘목 연령 및 조림연도, 사업경계, 수종별 조림면적, 수종별 적용계수와 그에 따른 이산화탄소 흡수량 변경 등이 있다. 해당 변경사항은 PRC를 통해 수정이 가능하며, 이러한 것은

사업의 정확한 MRV가 가능하도록 한다. PRC는 모니터링 보고서에 포함되어 있으며, 모니터링 보고서 제출시 사업수행기간 중에 발생한 변경사항을 함께 보고하여 투명성을 유지하도록 하고 있다(UNFCCC, 2018). 한편, UNFCCC는 별도의 PRC 양식을 제공하여 사업운영기구(DOE, Designated Operational Entities)에 의해 작성 및 제출하도록 하고 있으며, 신청시기, 변경 유형, 추가문서 제출 유무 등에 대한 내용을 포함하여 해당 양식을 참고하면 PRC 작성 시 필요한 사항을 자세하게 파악할 수 있다.

끝으로 COP26 이후 SDM 전환의 대상과 사업참여자들의 역할은 명시되었으나, 아직 감독기구 설립과 신규 베이스라인과 모니터링 방법론 개발 및 승인 등의 세부 기준 마련이 되지 않아 절차 등에 대한 모니터링이 필요할 것으로 보인다(Park, 2021). 또한, 파리협정 6.4조에 따라 tCER과 ICER의 경우 NDC에 사용이 불가능하며, 2013년 1월 1일 이전 등록된 사업의 경우 NDC 기여사업으로 전환이 불가능하므로, 해당 사업의 감축결과물을 어떻게 활용하는 것이 유리할 것인지에 대한 논의가 필요할 것으로 보인다(Park, 2021). 특히, 기존 A/R CDM의 경우 신규조림 및 재조림 유형만 존재하여 온실가스 감축실적 인정에 있어 제한이 따르므로 다양한 자연기반해결방안(NBS, Natural Based Solution) 활동을 사업유형으로 추가하는 등의 후속 협상에 대한 준비가 필요할 것으로 보인다(Kim, 2021). 따라서, 산림부문 온실가스 감축실적의 인정형태와 모니터링 방법론 등과 관련 협상에 관련 부처의 적극적인 자세가 필요할 것으로 보인다(KFS, 2020b).

## 5. 결론

본 연구는 SDM으로 이전을 위해 강원도 고성군 내 조림 CDM 사업의 현황 파악을 통한 이산화탄소 흡수량과 경제성 분석을 수행하였다. 탄소배출권사업지 75 ha 내 낙엽송, 잣나무, 자작나무를 대상으로 한 2021년 기준 이산화탄소 흡수량은 약 44.15 tCO<sub>2</sub>/yr이며, ha당 평균 이산화탄소 흡수량은 약 2.57 tCO<sub>2</sub>/ha/yr로, 총 사업기간 동안의 경우 22,170 tCO<sub>2</sub>, 1,296 tCO<sub>2</sub>/ha으로 나타났다. 이는 조림 시기의 지연을 고려하였을 경우 현시점의 전체 이산화탄소 흡수량은 PDD보다 많이 흡수하는 것으로 나타났으나, 잣나무의 경우 생장이 저조한 것으로 나타나 관리의 필요성을 시사하였다. 또한, 낮은 B/C ratio로 인해 본 사업의 경제성이 낮은 것으로 나타났으나, 산림생태계 서비스와 ESG 등의 지속가능성 고려를 통한 투자 타당성 확보에

대해 언급하였다. 끝으로 투명한 사업 유지를 위해 PDD와 실적 등을 비교하여 PRC 작성 시 참고할 수 있는 변경사항을 제시하였다.

본 연구는 산림부문의 온실가스 감축사업의 진행 과정 파악과 향후 A/R CDM의 원활한 SDM 이전 방안을 제시하여 관련된 사업 활성화에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

## 사사

본 연구는 동부지방산림청 “강원도 고성군 탄소배출권조림(A/R CDM)사업 중간 모니터링(2021041035F-00)”과 산림청 임업진흥원의 한국형 산림 뉴딜 정책과 연계된 스마트산림경영 시스템 개발 연구(2021363A00-2123-BD01), 고려대학교 오정리질리언스연구원의 지원으로 수행되었습니다.

## References

- Cha J, Park D, Lee J. H, Youn Y.C, Choi J. S. 2011. Feasibility Study on Small-scale A/R CDM Pilot Project in Mongolia. *Journal of Korean Society of Forest Science* 100(4): 698-707.
- Eastern Province Forest Service. 2021. Monitoring of Carbon emission reductions through afforestation and reforestation in Goseong-gun, Gangwon-do.
- Greenhouse Gas Inventory and Research Center. 2022. National Greenhouse Gas Inventory Report of Korea.
- Han K, Youn Y. 2007. An Economic Feasibility Study of AR CDM project in North Korea. *Journal of Korean Forest Society of Forest Science* 96(3): 235-244.
- Jang H, Park H. 2009. Optimal forestry Management Under CER Price Uncertainty. *Journal of Energy & Climate Change* 4(2): 99-105.
- Kim JY, Lee SK, Noh NJ, Yoon TK, Han SR, Cui G, Lee WK, Son YH. 2013. A Study on Greenhouse Gas Removals Estimation of a Small Scale Afforestation/reforestation CDM Pilot Project in Goseong, Gangwon Province. *J Korean Soc For Sci.* 102(3): 398-406.
- Kim RH. 2021.11.18. “Results of Forest negotiation in COP 26”, 2021 4th International Climate Change Legislation Forum, Korea Legislation Research Institute.
- Korea Development Institute. 2016. A Study on the Calculation of Social Discount Rate Greenhouse Gas Inventory and Research Center. 2020. National Greenhouse Gas Inventory Report of Korea.
- Korea Forest Service. 2017. Manual of the 7th National Forest Inventory in Korea.
- Korea Forest Service. 2020a. Guidelines for Sustainable Forest Management.
- Korea Forest Service. 2020b. Preparation of a plan to secure overseas forest carbon credit using the international carbon market mechanism in the forest sector. Daejeon: Climate Change Research Institute of Korea. New Climate Regime Response Research Report.
- KRX. 2021. KRX ETS Market Information Platform.: [accessed 2021 Oct 11]. <https://ets.krx.co.kr/contents/ETS/03/03010000/ETS03010000.jsp>
- Lee SJ, Kim RH, Son YM, Lim JS. 2017. Estimating Litter Carbon Stock and Change on Forest in Gangwon Province from the National Forestry Inventory Data. *Journal of Climate Change Research* 8(4): 385-391. doi:10.15531/KSCCR.2017.8.4.385
- Lee C-K. 2021.11.19. “Strategies for promoting overseas business based on Article 6 of the Paris Agreement”, Seminar on sharing results and response strategies for COP 26, Korea Research Institute on Climate Change.
- Min K. 2019. Forestry Profitability in Korea with Evaluating Stumpage Prices. *Journal of Korean Forest Society of Forest Science* 108(3): 405-417.
- Ministry of Environment. 2015. Development of Natural Resources Valuation Assessment for Decision-Making Process.
- Ministry of Environment. 2022. View the Paris Agreement together.
- Moon G, Moon N, Yim J, Kang J. 2020. Methodological Consideration for Estimating Growing Stock of Young Forests based on Early Growth Characteristics of Standing Trees in Korea. *J Korean Soc For Sci.* 109(3):300-312. doi:10.14578/jkfs.2020.109.3.300
- National Institute of Ecology. 2016. NIE Issue Report.
- National Institute of Forest Science. 2012. Economic

- Species 3. *Pinus koraiensis*.
- National Institute of Forest Science. 2014. Carbon Emission Factors and Biomass Allometric Equations by Species in Korea.
- National Institute of Forest Science. 2015. Manual of Forest resource valuation programmer ver 3.0.
- Noh D-W. 2021. Complementing of the Methodology of Estimating Greenhouse Gases Emission Abatement Costs of Clean Development Mechanism Projects Using Investment Analysis Information. *Journal of Climate Change Research* 12(5-2): 537-557. doi:10.15531/kscrcr.2021.12.5.537
- Park C, Kwon K, Kim S. 2007. An Economic Analysis of Industrial Forest Plantation and A/R CDM Project in Indonesia. *J Korean Soc For Sci.* 96(3): 348-356.
- Park SC. 2021.11. Results of negotiations on Article 6 of the Paris Agreement. Seminar sharing Results and Response of COP 26, Seoul.
- Pinto JR, Marshall JD, Dumroese RK, Davis AS, Cobos DR. 2011. Establishment and growth of container seedlings for reforestation: A function of stocktype and edaphic conditions. *Forest Ecology and Management* 261(11): 1876-1884.
- UNFCCC. 2013. Project 8730 : Reforestation of Abandoned Dairy Cattle Grazing Grasslands in Korea [accessed 2022 Feb 11]. [https://cdm.unfccc.int/filestorage/r/6/UD12PLTZQS4N8WBHXI9MEK00J5F7YV.pdf/SSC-AR-PDD\\_Goseonggun\\_Korea\\_v4\\_final.pdf?t=VXp8cjpgzdnh2fDBCpZu6tQbRT-sdk4r\\_9X7X](https://cdm.unfccc.int/filestorage/r/6/UD12PLTZQS4N8WBHXI9MEK00J5F7YV.pdf/SSC-AR-PDD_Goseonggun_Korea_v4_final.pdf?t=VXp8cjpgzdnh2fDBCpZu6tQbRT-sdk4r_9X7X)
- UNFCCC. 2018. Design changes – Post Registratrion Changes to the Registered PDD: [accessed 2021 Sep 01]. [https://unfccc.int/sites/default/files/resource/Post%20Registration%20Change\\_UNFCCC.pdf](https://unfccc.int/sites/default/files/resource/Post%20Registration%20Change_UNFCCC.pdf)
- UNFCCC. 2019. What is the Paris Agreement?: [accessed 2021 Mar 11]. <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement>
- UNFCCC. 2020. CDM Methodology Booklet Twelfth edition. [accessed 2021 Mar 15]. [https://cdm.unfccc.int/methodologies/documentation/meth\\_booklet.pdf](https://cdm.unfccc.int/methodologies/documentation/meth_booklet.pdf)
- UNFCCC. 2021a. CDM Project Activities: [accessed 2021 Sep 01]. <https://cdm.unfccc.int/sunsetcms/Statistics/Public/CDMinsights/index.html#reg>
- UNFCCC. 2021b. CDM Project Search: [accessed 2021 Feb 27]. <https://cdm.unfccc.int/Projects/projsearch.html>
- UNFCCC. 2021c. Rules, modalities and procedures for the mechanism established by Article 6, paragraph 4, of the Paris Agreement.