

CDM 사업의 온실가스 한계감축비용 추정: 말레이시아

김수인

에너지경제연구원 전문연구원

Estimation of the Marginal Abatement Costs of Projects: Malaysia

Kim, Sooin

Researcher, Division of Climate Change Research, Korea Energy Economics Institute, Ulsan, Korea

ABSTRACT

National greenhouse gas emission reduction targets should be realized mainly through domestic efforts, but also through emission reductions abroad. Some countries plan to use international carbon market mechanisms to acquire the Certified Emission Reductions. Korea also plans to use voluntary cooperation under Article 6 of the Paris Agreement as a supplementary measure to achieve our NDC. Given the Korean government has decided to update its 2030 greenhouse gas emission reduction target to 40%, using the international carbon market is essential to achieve NDC. This study aims to identify a cost-effective way to acquire emission reductions abroad using the international carbon market. According to UNFCCC, the sustainable development mechanism under Article 6 of the Paris Agreement will be developed based on CDM under the Kyoto Protocol. This study reviews and analyzes the greenhouse gas mitigation cost of past CDM projects implemented under the Kyoto Protocol. CDMs allow to transfer emission reductions between countries. This study analyzes the cost-effectiveness of different CDM projects, especially those in Malaysia, by estimating marginal abatement cost. This study focuses on small-hydro, landfill gas, biomass energy, fuel switching, energy efficiency and methane avoidance CDM projects in Malaysia and estimates the marginal abatement cost (CER price). Methane avoidance projects had the lowest marginal abatement cost, indicating that they were the most cost-effective CDM projects in Malaysia.

Key words : CDM, Clean Development Mechanism, Marginal Abatement Costs, Carbon Price, Certified Emission Reductions

1. 서론

지난 2015년 세계 각국은 파리협정(Paris Agreement)을 채택하였고, 이후 2016년 우리나라는 파리협정을 비준하였다. 각 당사국들은 파리협정의 신기후체제 하에서 강화된 기후목표 수립을 위해 2030년 온실가스 감축목표를 담은 국가 결정기여(Nationally Determined Contribution, 이하 NDC)를 UNFCCC에 제출하고 있으며, 나아가 2050년까지의 탄소중립을 선언하고 있다. 당사국들이 제출한 NDC에서는 국내감축, 산림흡수, 국외감축 등의 감축수단을 통해 2030년 NDC

목표를 달성할 것을 제시하고 있다. 우리나라 역시, 2020년 12월 제출한 NDC에 따르면 온실가스 감축을 위해 국내감축 뿐만 아니라 국외감축실적인 파리협정 제6조(시장) 자발적 협력을 보조수단으로 활용할 것을 밝혔다. 2020년 말 제출한 NDC 목표를 달성하기 위해 우리나라가 필요한 국외감축 실적은 총 1,620만 tCO₂eq.이다. 지난 10월에는 탄소중립위원회에서 2030년 온실가스 감축목표를 2018년 대비 기존 26.3%에서 40%로 대폭 상향조정하였는데, 이러한 상향된 2030년 목표 달성과 나아가 2050년 탄소중립 달성을 위해서는 국외감축실적이 계속해서 필요할 것으로 판단된다.

국제사회는 1997년 채택된 교토의정서(Kyoto Protocol)

†Corresponding author : sooinkim@keei.re.kr (44543, Korea Energy Economics Institute, 405-11, Jongga-ro, Ulsan, Tel. +82-52-714-2108) ORCID 김수인 0000-0001-7244-5357

를 통해 국외감축활동을 통해 온실가스를 감축할 수 있는 방안을 도입해왔는데, 청정개발체제(Clean Development Mechanism, CDM)가 그것이다. CDM은 선진국과 개도국 간의 탄소 크레딧 거래 활동으로, 선진국이 개도국에서 수행한 감축사업을 통해 생산된 감축실적인 크레딧(Certified Emission Reduction, CER)을 선진국의 감축목표 달성에 활용할 수 있는 제도이다(Oh et al., 2017). 이후 2015년 파리협정을 통해 탄소 크레딧 거래 활동은 파리협정 제6조 국제탄소시장 메커니즘의 형태로 등장하게 되었다. 파리협정 제6조에는 협력적 접근법, 지속가능 메커니즘, 비시장(non-market) 접근법 등 3개의 접근법과 메커니즘이 정의되어 있다. 협력적 접근법은 자발적 참여를 기반으로 한 양자 또는 다자협력을 통해 감축결과를 NDC달성에 사용하는 제도이다. 지속가능 메커니즘은 교토의정서 체제의 청정개발체제(CDM)와 유사한 제도로, UNFCCC 하의 감축기구를 중심으로 중앙집권적 운영구조로 감축결과가 시장에서 거래되는 제도이다. 비시장 메커니즘은 지속가능 개발에 대한 기여 차원에서 사업이 추진되지만 온실가스 감축사업의 결과는 거래되지 않는 제도이다(Noh et al., 2021). 파리협정 제6조의 지속가능 메커니즘(Sustainable Development Mechanism, 이하 SDM)의 방법론은 교토의정서 하의 CDM 방법론을 기반으로 개발될 예정(UNFCCC, 2019)이며, 따라서 CDM사업은 파리협정 하에서도 SDM의 형태로 연계될 수 있을 것으로 예상된다.

한편, 국내기업 온실가스 감축량을 확보하기 위해 국외 온실가스 감축사업에 투자할 수 있다. 지난 2017년 배출권거래법 시행령을 개정하면서 배출권거래제 제2차 계획기간(2018~2020년)부터 해외 외부사업인 CDM사업에서 발생한 감축실적(CER)을 국내 배출권거래제의 감축실적(Korea Offset Credit, 이하 KOC)으로 전환할 수 있도록 하였다(Ministry of Environment, 2018). 이후 2021년 3월, 일부 개정된 시행령을 통해 외부사업을 통한 KOC 활용비율을 기존 5%에서 10%로 확대시켰다(Ministry of Environment, 2021)¹⁾.

KOC 활용비율 확대, 2030년 NDC 목표상향 및 2050년 탄소중립 목표 설정 등은 협력적 접근법 및 지속가능 메커니즘 등의 시장 메커니즘을 활용한 국외감축실적 확보가 필수적임을 보여준다. 따라서, 본 연구에서는 파리협정 하의 시장 메커니즘을 비용효과적으로 활용하기 위해, 과거 교토체제 하에서 이행되고 있는 CDM사업의 온실가스 감

축비용 분석을 살펴보고자 한다. 분석대상국(host country)으로는 말레이시아를 선정하였으며, 말레이시아의 CDM 사업별 한계감축비용을 도출해 비용효과적으로 국외감축 실적을 확보할 수 있는 사업이 무엇인지 추정하였다.

본 연구의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 CDM사업 투자분석 방법론과 CER가격의 추정방법을 살펴보고, 3장에서는 말레이시아 CDM사업의 분석대상을 살펴볼 것이다. 4장에서는 CDM사업별 분석을 통해 비용 및 수입구조와 온실가스 감축량을 살펴볼 것이다. 5장에서는 사업유형별 한계감축비용을 도출하고 상대적으로 비용효율적이라고 예상되는 사업을 파악해볼 것이다. 6장에서는 분석한 내용을 바탕으로 결론을 맺는다.

2. 방법론

2.1 CDM사업 투자분석 방법론

CDM사업의 투자분석 방법은 CDM사업의 온실가스 감축결과(Certified Emission Reductions, CER) 판매가 경제적 타당성이 있다는 것을 입증하는 방법이다. 즉, 사업별 경제적 추가성(additionality)이 발생하는지를 증명하는 방법이라 할 수 있다. 이를 분석하기 위한 투자분석 방법론으로는 단순비용분석(simple cost analysis), 투자비교분석법(investment comparison analysis), 기준 내부수익률 분석법(benchmark analysis)이 있다(Schneider, 2009).

단순비용분석법은 CER판매수입 외의 추가수입이 없는 사업에 적용되어, 제안된 CDM사업으로 인해 추가비용이 발생함을 입증하고 해당 경우 추가성이 있다고 평가하는 방법이다. 투자비교분석법은 CER판매수입 외 추가적인 수입이 발생하며 사업의 산출물이 다른 사업에서 생산되지 않을 때 적용되는 방법론으로, 해당 사업의 경제적 지표(IRR, NPV, B/C Ratio, LCOE 등)를 다른 사업과 비교했을 때, 경제적 지표가 더 나은 대안 사업이 존재하면 추가성이 있다고 평가된다. 마지막으로 기준내부수익률 분석법은 CER판매수입 외 추가수입이 존재하고, 사업의 산출물이 다른 사업에서도 생산될 때 적용되는 방법론이다. CER판매수입을 제외했을 때 해당 사업의 내부수익률(Internal rate of return, IRR)이 투자유치국(host country)의 벤치마크(benchmark) 내부수익률 혹은 할인율 보다 낮은 경우 추가성이 있다(Noh et al., 2021).

1) 온실가스 배출권의 할당 및 거래에 관한 법률 시행령(2021.3.23.) 제47조(상쇄) 3항: 법 제29조 3항 후단에 따른 상쇄배출권의 제출한도는 법 제27조제1항에 따라 해당 할당대상업체가 환경부장관에게 제출해야 하는 배출권의 100분의 10 이내의 범위에서 할당계획으로 정한다.

단순비용분석법은 CDM 사업 추진으로 인해 발생하는 추가비용(할인율을 적용한 투자비와 운영비의 순현재가치)을 사업 기간에 발생될 온실가스 감축량으로 나누어서 온실가스 감축비용을 추정한다.

투자비교분석법은 CER 판매수입이 없을 경우의 CDM 사업의 경제적 지표(IRR, NPV, B/C Ratio, LCOE 등)가 비교 대상이 되는 가장 양호한 사업의 경제적 지표를 충족할 수 있는 CER 판매수입을 추정하고, 이를 온실가스 감축량으로 나누어서 온실가스 감축비용을 추정한다.

기준 내부수익률 분석법은 CER 판매수입이 없다고 가정된 CDM 사업의 내부수익률이 투자유치국의 벤치마크 내부수익률로 상향 조정될 경우의 CER 판매수입을 추정하고 이를 온실가스 감축량으로 나누어서 감축비용을 추정한다(Noh, 2021).

단순비용분석법, 투자비교분석법, 기준 내부수익률분석법 외에 별도의 재무적인 분석이 없는 최초기술분석법(first of its kind)과 장애요인 분석법(barrier analysis) 등의 추가성 입증 방법론도 있다. 두 분석법 모두 별도의 투자분석 없이 추가성이 입증되어 사업을 진행할 수 있다(Schneider, 2009). 최초기술분석법(first of its kind)은 대상 CDM 사업이 해당 지역에 최초로 도입된 기술 또는 활동이면 추가성이 입증되며, 장애요인 분석법(barrier analysis)은 대상 사업이 CDM에 등록되지 않으면 사업 추진을 저해하는 장애요인이 존재한다는 것을 증명하는 방법으로, 장애요인이 증명되면 추가성이 있다고 평가된다(Noh et al., 2021).

2.2 CER가격 추정 방법

단순비용분석법은 단순히 총 비용의 순현재가치에 온실가스 감축량을 나누어 CER가격을 산정한다. 내부수익률(IRR) 분석법은 사업의 내부수익률이 분석대상국의 벤치마크 내부수익률과 동일하게 하는 CER가격이다. 투자비교 분석법의 CER 가격 추정 방법은 내부수익률(IRR) 방법과 비슷한데, 경제적 지표를 비교 대상 사업의 경제적 지표와 동일하도록 일치시키는 점이 다를 뿐이다. 본 연구의 분석대상 CDM사업 총 33건 중 기준 내부수익률 분석법이 27건이며, 6건은 단순비용분석법이다.

기준 내부수익률(IRR) 분석법에서 IRR은 각 사업의 총 비용과 총수입을 현재가치화 했을 때 그 값이 서로 동일하도록 하는 할인율의 개념이다. 따라서 내부수익률 분석법을 사용한 CDM 사업에서의 투자비, 연간운영비, 전력 판매수입 또는 기타 추가수입 등을 모두 순현재가치(net

present value, NPV)로 전환하여 그때의 순수익(net profit)이 0이 되도록 하는 예상 CER 판매수입을 추정하였다.

$$\begin{aligned} \text{순수익}_i(\text{net profit}) &= \\ \text{NPV}(\text{CER수입}_i + \text{추가수입}_i) - \text{NPV}(\text{투자비}_i + \text{운영비}_i) &= 0 \\ \Rightarrow \text{NPV}[\text{CER수입}_i - (\text{투자비}_i + \text{운영비}_i) - \text{추가수입}_i] & \\ = \text{CER가격}_i * \text{온실가스 감축량}_i & \\ \therefore \text{CER가격}_i = \text{NPV}(\text{CER수입}_i) / \text{온실가스 감축량}_i & \\ i = \text{CDM사업} & \\ \text{추가수입}_i = \text{전력판매수입}_i \text{ 또는 기타수입}_i & \end{aligned}$$

순수익이 0이 되는 시점의 CER가격은 사업의 총 비용을 모두 상쇄시키는 값이다. 따라서 추정된 CER가격은 온실가스 감축 1 tCO₂eq.당 소요되는 감축비용인 한계감축비용(marginal abatement costs)이라 할 수 있다. 한계감축비용 추정을 위해 사업별 투자비, 운영비, 추가수입 등의 자료가 필요하며, 해당 자료들을 비교하기 위해 말레이시아 화폐 링깃(MYR)은 2020년 미국달러로 환산하였고, 등록연도의 GDP디플레이터를 통해 2020년 물가로 환산하였다.

3. 분석 대상

3.1 분석대상 사업

UNFCCC에 등록된 말레이시아의 CDM 사업은 2021년 기준 총 143건이다. 특히, 등록된 전체 사업 중 122건이 메탄회피 사업(81건)과 바이오매스에너지 사업(41건)으로, 전체의 85%를 차지하는 것으로 나타났다. 다음으로는 매립가스 9건, 수력발전 5건, 에너지효율 4건, 그리고 연료전환, 지열 및 수송사업은 각각 1건씩만 등록되어있다.

이 중 분석대상으로는 총 33건의 CDM사업을 선정하

Table 1. CDM projects by type in Malaysia

	Total CDM projects (UNFCCC)	CDM projects (of this study)
Smal-hydro	5	4
Landfill gas	9	4
Biomass energy	41	8
Fuel switch	1	1
Energy efficiency	4	1
Methane avoidance	81	15
Geothermal	1	-
Transport	1	-
Total	143	33

였다. 분석에서 제외된 나머지 사업들은 환경파괴에 대한 우려로 인해 UNFCCC에서 CDM 온실가스 감축사업 유형에서 제외한 대수력발전(Large scale hydro power) 사업과 경제적 추가성이 자동으로 입증되어 별도의 타당성 평가 방법론 적용이 필요하지 않은 Positive list(추가성 자동 입증 기술목록)에 포함된 기술 사업 등이 있다. 또한 사업의 타당성 분석에 장애요인 분석(barrier analysis)만을 적용한 사업의 경우 투자비나 수입 등의 재무정보를 파악하기 어려워 분석대상에서 제외하였다. 마지막으로 사업의 기술유형이 first of its kind(최초로 도입되는 기술사업)인 경우, 별도의 분석절차 없이도 CDM사업으로 등록이 가능하기 때문에 분석대상에서 제외하였다. 이러한 기준에 따라 최종적으로 본 연구에서는 말레이시아의 CDM 사업 중 소수력, 매립가스, 바이오매스 에너지, 연료전환, 효율개선, 메탄회피 사업을 분석대상으로 선정하였다.

3.2 자료 수집

본 연구의 목적인 CDM사업의 온실가스 한계감축비용 도출을 위해서는 사업별 총 비용 및 총 수입과 관련한 데이터가 필요하다. 데이터 수집을 위해 사업개발자가 UNFCCC에 제출한 사업설계문서(project design documents, PDD) 및 사업재무정보문서(Financial sheet)를 활용해 사업의 투자비, 운영비, 벤치마크 IRR, 전력판매수입, 잔존가치(salvage value) 등의 자료를 수집하였다. 또한 CDM 사업은 크게 전력판매사업의 경우 발전 사업의 특징을 알아보기 위해 설비 용량, 전력생산량 등의 정보도 역시 사업설계문서를 통해 수집하였다.

4. 말레이시아 CDM 사업별 분석

4.1. CDM사업 구분: 전력판매사업과 비 전력판매사업

CDM사업은 크게 전력 판매사업과 비(非)전력판매 사업으로 분류할 수 있다. 두 사업유형은 기본 수입유형인 CER 수입 외의 수입이 어디서 기인하느냐에 따라 구분된다. ‘전력판매 사업’은 전력을 생산하는 사업으로, 생산된 전력을 판매해 CER판매수입 외의 추가적인 수익을 발생시킨다. 반면, ‘비(非) 전력판매 사업’은 전력을 아예 생산하지 않는 사업이거나, 전력을 생산한다면 전량을 자체 소비로 사용하는 사업이다. 즉, 전력판매 이외의 수입원으로부터 CER판매수입 외의 부수적인 수입을 발생시키는 사업을 의미한다.

Table 2. Electricity sales and non-electricity sales CDM projects in Malaysia

	CDM projects	Electricity sales	Non-Electricity sales
Small-hydro	4	4	0
Landfill gas	4	1	2
Biomass energy	8	4	4
Fuel switch	1	1	0
Energy efficiency	1	1	0
Methane avoidance	15	5	11
Total	33	16	17

본 연구의 분석대상 사업 33건 중 16건의 사업이 전력 판매 사업, 나머지 17건은 비(非) 전력판매 사업이다. 비 전력판매 사업의 대부분은 메탄회수 사업의 폐기물 사업으로, 생산된 전력을 자체 소비함에 따른 부수적인 수입(경유절약으로 인한 비용회피)이 발생하는 사업이다. 수입에 관한 자세한 내용은 4.3장에서 다루고 있다.

먼저, 말레이시아 CDM사업 중 발전사업의 특징인 사업별 설비용량과 전력생산량을 살펴보았다. 사업의 기술유형별로 설비용량과 전력생산량을 비교한 Fig. 1에서는, 연료전환과 효율개선 사업의 경우 그 값이 너무 커서 그 래프에 함께 포함시키지 못하였다. 연료전환과 효율개선 사업 모두 복합화력발전(combined cycle power) 사업으로, 해당 사업의 특성상 그 규모가 매우 클 수밖에 없기 때문이다. 해당 두 사업을 제외하면, 바이오매스 사업의 설비용량과 전력생산량이 대상 사업 중 비교적 큰 값을 지닌다. 이는 바이오매스로 활용되는 팜유 폐기물(Palm Oil (solid) waste) 사업이 말레이시아의 주요 사업으로서 폐기물 공급이 풍부하여 사업규모가 대형화된 것으로 판단된다. 1970~1980년 사이에 말레이시아는 정부 정책에 따라 그 생산량을 크게 확대하며 전 세계 팜유 생산지의 중심을 동남아시아로 이전시키기도 했다(Eom, 2017).

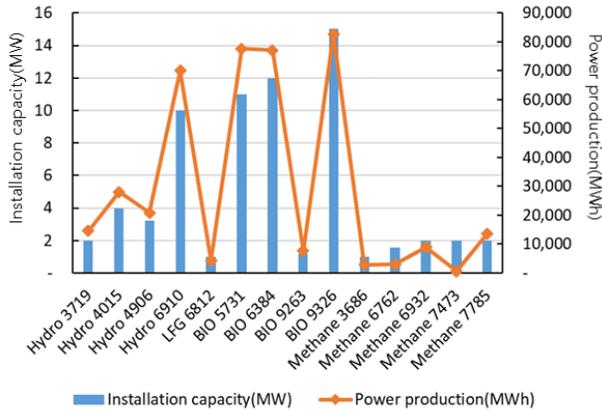


Fig. 1. Installation capacity and power production of CDM projects in Malaysia

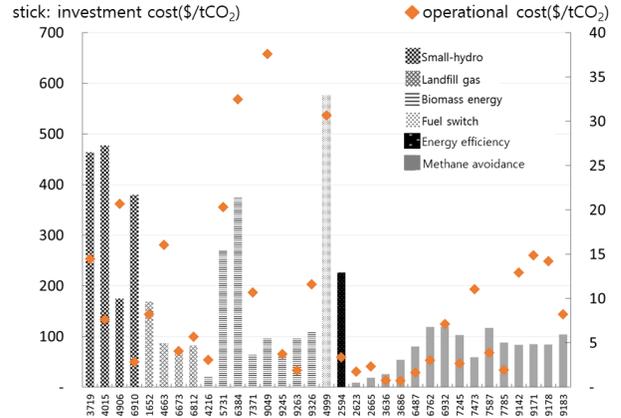


Fig. 2. Investment and operational cost per emission reductions by Malaysia CDM project

Table 3. Average facility capacity and power production of Malaysia CDM projects

	Capacity (MW)	Electricity generation (MWh)
Small-hydro	4.8	33,376
Landfill gas	1.0	4,363
Biomass energy	9.8	61,268
Fuel switch	190.0	1,329,856
Energy efficiency	330.0	712,011
Methane avoidance	1.7	7,142

4.2 CDM 사업의 비용구조

CDM사업의 비용구조는 크게 투자비와 운영비로 구분된다. 투자비는 사업을 진행하기 위해 고정으로 소요되는 비용이며, 운영비는 투자비 외에 사업의 운영에 사용되는 O&M (Operation&Maintenance) 비용, 세금 및 이자 등의 비용이다. 사업별 투자비와 운영비를 합산한 총 비용을 활용해 온실가스 감축의 한계비용을 추정할 수 있다.

투자비(investment cost)는 사업 활동이 본격적으로 시행되기 전에 소요되는 공사비용, 설비 구축비용 등의 비용이다. 분석 대상의 사업별 투자비간의 비교는 사업 규모별로 비교가 용이하도록 단위 용량(MW) 당 투자비로 도출해주고자 하였으나, 비 전력생산 사업의 경우 설비용량 단위로 비교가 불가능하여 연간 온실가스 감축결과 당 비용으로 사업별 투자비를 비교하였다.

연료전환 사업의 단위당 투자비는 다른 사업들과 비교해 압도적으로 큰 것으로 나타났으며, 온실가스 감축량 당 운영비 역시 다른 사업들과 비교해 큰 것으로 나타났다. 해당 연료전환 사업은 연료전환을 위해 복합발전(combined cycle)을 위한 가스터빈 발전기 두 대와 열회수증기발전기(heat recovery steam generator) 두 대, 증기터빈발전기(steam turbine generator) 한 대를 설치해야하기 때문에 초기투자비용과 해당 설비들을 유지하기 위한 운영비가 높은 것으로 예상된다. 그 외에 소수력발전사업 역시 단위당 투자비가 비교적 높은 편이었으며, 매립가스 및 메탄회피 사업은 비교적 낮은 편으로 나타났다. 단위당 운영비는 매립가스, 에너지효율, 메탄회피 사업의 평균들이 다른 사업들과 비교했을 때 낮은 편으로 나타났다. 특히나 에너지효율사업은 330 MW의 대규모의 설비용량에도 불구하고, 기존 발전기 개조(retrofit)를 통해 에너지효율을 개선하는 사업이기 때문에 투자비와 운영비가 연료전환사업 만큼은 높지 않다고 판단된다. 하지만, 연료전환과 에너지효율 사업은 분석대상이 각각 한 건씩만 존재한다는 점을 고려하면, 해당 두 사업이 연료전환과 에너지효율 전체사업의 특성을 대표한다고 간주할 수는 없다.

Table 4. Average unit cost by CDM projects

		(unit: USD, 2020)
		cost per emission reductions (\$/tCO ₂)
Investment Cost	Small-hydro	\$374
	Landfill gas	\$103
	Biomass energy	\$138
	Fuel switch	\$576
	Energy efficiency	\$226
	Methane avoidance	\$77
Operational cost	Small-hydro	\$11.42
	Landfill gas	\$8.51
	Biomass energy	\$15.18
	Fuel switch	\$30.64
	Energy efficiency	\$3.37
	Methane avoidance	\$5.82

4.3 CDM 사업의 수입구조

4.3.1 수입구조: 전력판매사업

CDM사업의 주요 수입원은 CDM사업의 목적인 온실가스 감축을 통해 발행된 CER을 판매함으로써 얻는 수입이다. 하지만 앞서 4.1장에서 서술한 바와 같이 CER 판매 외의 활동을 통해 추가적인 수입원을 확보할 수도 있다. 전력판매사업의 추가적인 수입은 전력판매로부터 발생하며, 비(非) 전력판매사업은 전력판매가 아닌 기타 활동을 통해 추가적인 수입을 발생시킨다. 다시 말해, 발전사업의 수입원은 CER 판매수입+전력판매수입이며, 비 전력판매사업의 수입원은 CER판매수입+기타수입이다. 추가수입 산정에서 말레이시아 정부가 2011년부터 도입해 운영 중인 발전차액지원제도(Feed-in Tariff, 이하 FIT)의 수입은 고려하지 않았다. CDM집행위원회는 FIT와 같은 E-형태 정책²⁾이 마라케쉬합의문 채택(2002.11.11.) 이후에 도입되었다면, 베이스라인 시나리오를 설정할 때 이를 고려하지 않을 수 있음을 결정하였다. 말레이시아의 FIT제도는 마라케쉬합의문 이후에 시행되었기 때문에 해당 사업의 경제성을 고려할 때 정부지원금은 제외하고 산정할 수 있다(UNFCCC, 2016; Korea Energy Agency, 2021b).

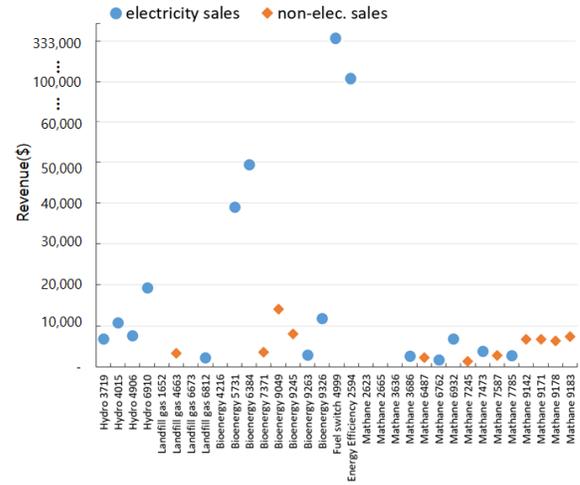


Fig. 3. Revenue from electricity and non-electricity sales in Malaysia CDM project

발전 사업에서 생산되는 전력의 판매수입은 각 전력망에 따른 전력단가(MYR/kWh)에 전력판매량의 곱으로 도출하였다. 전력단가는 전력을 공급하는 기업에 따라서 다르지만, 대부분은 반도 내 독점적인 전력망을 운영하고 있는 국영기업인 말레이시아 전력공사(Tenaga National Berhad, TNB)의 전력망을 사용한다(Gang and Lee, 2018). 본 연구의 대상사업 중 대부분의 전력판매사업 역시 말레이 반도의 전력망을 담당하는 TNB를 통해 전력을 판매하고 있으며, 바이오매스 에너지 사업과 효율개선 사업 일부는 SESB (Sabah Electricity Sdn Bhd)에 전력을 판매하고 있다. 사업별 전력 판매단가는 소수력 사업이 0.17 MYR/kWh, 매립가스 사업 0.22 MYR, 바이오매스 에너지 사업에서는 0.21 MYR 및 0.33 MYR, 메탄회피 사업은 0.4 MYR 및 0.34 MYR으로 사업기술별 및 전력망별로 상이한 것으로 나타났다.

사업별로 전력판매사업과 비전력판매사업에서 발생하는 추가수입은 Fig. 3과 같다. 전력판매사업의 연료전환과 에너지효율사업에서 전력수입이 가장 크게 발생하는 것으로 나타났다. 이는 앞서 기술한 바와 같이 두 사업의 전력생산량이 압도적으로 큰 규모이기 때문인 것으로 추정된다. 다만, 두 사업은 각각 1건씩만 분석대상이기 때문에 그 값이 해당 사업유형에 대한 대표성을 지니지는 못한다는 한계점이 존재한다. 한편 매립가스와 메탄회피 사업에서와 같이 오직 CER판매수입만이 유일한 수입원인, 추가수입이 발생하지 않는 사업도 존재하였다.

2) E-형태 정책이란 온실가스 저배출기술 및 연료에 상대적 이점을 제공하는 정책으로 신재생에너지 보급을 위한 FIT 및 RPS 제도 등이 있다(UNFCCC, 2016).

4.3.2 수입구조: 비(非) 전력판매사업

분석대상 사업 중 비 전력판매사업은 매립가스(2건), 바이오매스 에너지(4건), 메탄회피(11건) 사업으로, 총 17건의 사업에서 비 전력판매수입(revenue from non-electricity sales)이 추가수입으로 발생한다. 특히나 대부분의 기타수입은 팜유공장(palm oil mill)의 활동을 통해 발생하는 것으로 나타났다. 팜유공장에서 발생하는 기타수입으로는 퇴비판매수입, 경유 절약으로 인한 비용회피 수입, 비료, 펠렛, 셸 판매수입, 열 판매수입 및 Dobe 매립비용 회피 수입 등이 있다(Table 5).

Table 5. Revenue from non-electricity sales in Malaysia CDM project

	CDM number	Revenue information from non-elec. sales
Landfill gas	4663	Steam revenue, Dobe removal tipping fee
Biomass energy	7371	Fertilizer revenue
Biomass energy	9049	Sales of pellet
Biomass energy	9245	Shell saving from the mill, Avoided diesel purchase
Methane avoidance	6487	Diesel savings
Methane avoidance	7245	Diesel savings
Methane avoidance	7587	Diesel savings
Methane avoidance	9142	Compost sales
Methane avoidance	9171	Compost sales
Methane avoidance	9178	Compost sales
Methane avoidance	9183	Compost sales

data: PDD of each CDM project (cdm.unfccc.int)

각 사업별 PDD에 따르면, 팜유원유(CPO) 및 팜커널(palm kernel)을 가공하는 과정에서 EFB (empty fruit bunches), PKS (palm kernel shell), POME (palm oil mill effluent) 등의 폐기물이 발생하게 된다. 특히나 고체바이오매스 폐기물인 EFB는 고체폐기물처리장에 퇴적되는데, CDM사업 활동을 통해 호기성 퇴비화 시스템을 설치하여 폐기물을 퇴비화 시킬 수 있다. 여기서 생산된 퇴비(compost)는 외부로 판매되어 기타수입을 발생시킨다(Compost sales). 또한 팜유공장의 폐수 처리시스템에서 발생하는 메탄가스를 회수해 전력을 생산할 수 있으며, 이는 디젤발전기를 대체하여 수입(경유절약으로 인한 비용회피)을 발생시킬 수 있다(Diesel savings). 그 외 바이오매스 사업에서 발생하는 비료(fertilizer), 펠렛(pellet), 셸(shell) 모두 팜유공장의 폐기

물로 인한 기타수입이다(Fertilizer revenue, Sales of pellet, Shell saving from the mill). 또한 열 판매수입이 발생하는 매립가스 사업은 비전기용광로(non-electric furnace) 공정에 필요한 열을 생산하기 위한 연료로 Dobe (De-oiled bleached earth)를 사용하는데, 용광로에 열을 내보낼 필요가 없어 열 판매수입이 발생하고, Dobe를 매립할 필요가 없어 Dobe 매립비용 회피로 인한 수입이 발생한다(Steam revenue, Dobe removal tipping fees). 이렇게 CER수입 외에 부수적으로 발생하는 추가수입은 사업활동에 소요되는 총 비용을 상쇄시켜, 결과적으로 한계감축비용을 감소시키는데 기여한다.

4.4 CDM 사업 온실가스 감축량

각 사업별로 발행될 것으로 예상되는 CER을 파악하기 위해 사업별 CER 발행기간(crediting period)에 대한 총 온실가스 감축량과 연간 온실가스 감축량을 살펴보았다. CER 발행기간이란 CDM 사업 활동을 통해 발생된 온실가스 감축량을 CER로 발행할 수 있는 기간이다(Korea Energy Agency, 2021a). CER 발행기간은 갱신형(renewable)과 고정형(fixed) 기간이 있으며, 갱신형은 7년씩 최대 두 번 갱신이 가능해 발행기간이 총 21년이며, 고정형 사업은 10년 동안 발행이 가능하다.

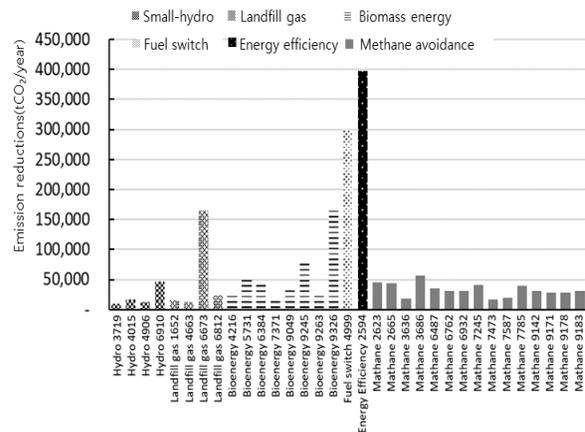


Fig. 4. Annual emission reductions by project

사업별 CER 발행기간은 서로 상이하기 때문에 사업별 온실가스 감축량을 비교하기 위해서는 사업별 연간 온실가스 감축량(tCO₂/year)이 필요하다. 비교결과, 연료전환과 에너지효율 사업의 연간 온실가스 감축량이 가장 크게

나타났는데, 이는 앞서 기술한 바와 같이 사업의 규모 자체가 다른 사업들과 비교해 대규모이기 때문이다. 나머지 사업들은 대부분 연간 100,000 tCO₂ 이하의 온실가스 감축량이 발생하는 것으로 나타났다.

5. 한계감축비용 추정

5.1 사업별 한계감축비용 추정

본 연구에서는 사업별 총 비용(투자비+운영비)과 총 수입(CER수입+추가수입)이 동일한, 즉 순수익(net profit)이 0이 되는 것을 가정하였다. 4장에서 CDM 사업들의 총 비용, 수입, 온실가스 감축량을 파악하였고, 이를 토대로 순수익이 0이 되는 CER수입을 추정할 수 있다. CER수입은 CER가격과 발행된 CER수의 곱으로 산정할 수 있는데, 본 연구에서는 각 사업별로 발생한 온실가스 감축량 모두 CER 크레딧으로 발행되어 판매될 수 있다는 강한 가정을 설정하였다. 해당 가정하에서 추정된 CER수입에서 예상 CER가격을 도출할 수 있다.

순수익이 0이 되는 CER가격은 사업별 총 비용과 총 수입이 동일해지는 CER가격으로 사업이 경제적 이익을 확보할 수 있도록 하는 “최소” CER가격(reservation price)이라 할 수 있다. 사업 투자자들은 추정된 최소 CER가격 이상을 확보할 수 있을 것이라 예상될 때 투자유치국(host country)에 사업을 착수하려 할 것이다.

이렇게 추정된 CER가격은 총 비용에서 추가수입을 제외한 금액을 총 온실가스 감축량으로 나누어 도출해준 결과로, 한계감축비용(marginal abatement costs)이라고 해석할 수 있다. 다시 말해 본 연구에서는 사업별 온실가스 감축 1 tCO₂eq.당 감축비용을 추정하였다(Fig. 5). 또한 본 연구에서는 추가수입을 반영한 CER기준의 한계감축비용뿐만 아니라 총 비용만을 고려한 비용기준의 감축비용도 추정하였다. Fig. 5에 따르면, 거의 모든 사업에서 비용기준의 감축비용보다 CER기준의 감축비용이 훨씬 더 낮게 추정되었다. 이는 전력판매수입 및 기타수입(퇴비 수입, 경유절약 수입 등)의 추가적인 수입 발생이 사업별 총 비용을 상쇄시켜 결과적으로 CER가격을 낮출 수 있음을 보여준다.

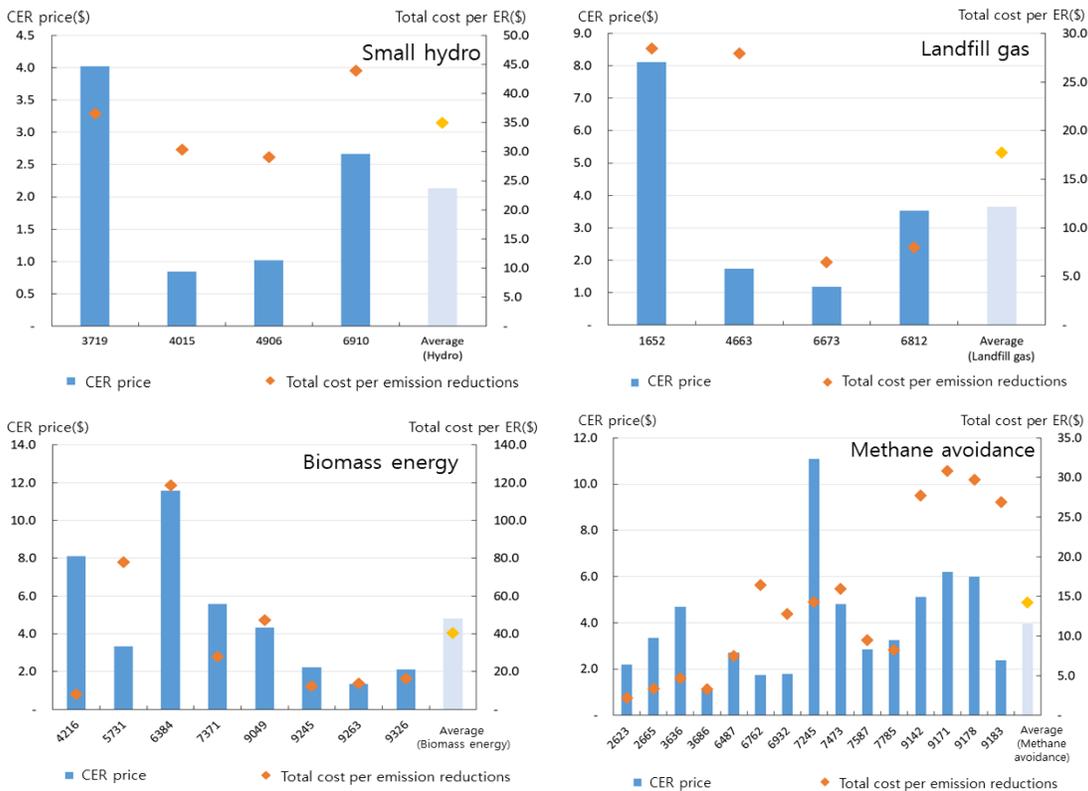


Fig. 5. Marginal abatement costs (CER price) and total cost per emission reductions by CDM project

5.2 규모의 경제 효과

CDM사업별로 발생한 연간 온실가스 감축량과 CER 발행 기준의 한계감축비용의 상관계수는 -0.17 로 추정되었다. 온실가스 감축량이 증가할수록 감축비용이 감소하는 규모의 경제 효과를 확인하고자 하였으나, 약한 음의 상관관계가 추정되어 규모의 경제 효과는 매우 미미하게 나타나는 것으로 파악되었다.

이러한 분석은 한계감축비용이 연간 온실가스 감축량 외에 CDM사업별 연간 투자비 및 운영비 등의 다양한 요인에 의해 영향을 받을 수 있다는 것을 보여준다. 연간 감축량 당 투자비 및 운영비와 한계감축비용과의 상관계수는 각각 0.031 , 0.308 로 특히나 연간 감축량당 운영비가 영향을 미칠만한 크기의 양의 상관관계를 갖는 것으로 나타났다. 이는 연간 감축량 당 소요되는 운영비가 클수록 비용을 회수하기 위한 CER판매수입을 증가시켜야하기 때문일 것으로 추정된다.

5.3 시간경제효과

사업의 CER 발행기간이 긴 사업인 갱신형(renewable) 사업일수록 고정형(fixed) 사업과 비교해 한계감축비용이 낮게 나타나는 시간경제효과(economies of time)를 살펴 보았다. 일반적으로 고정형 사업은 갱신형과 비교해 한계감축비용이 높게 나타난다(Rahman and Kirkman, 2015; Rahman et al, 2015). 이는 고정형이 갱신형 보다 단기간에 비용을 회수해야 하기 때문이다. 이를 확인하기 위해 본 연구에서는 고정형과 갱신형 사업의 수가 비슷하게 분포하는 메탄회피 사업 15건(고정형 7건, 갱신형 8건)을 대상으로 시간경제효과를 살펴보았다. 분석 결과, 메탄회피 사업에서 시간경제효과가 나타나는 것으로 확인되었으며 메탄회피 사업전체의 한계감축비용(Average)과 비교하더라도 고정형은 전체 평균보다 높았고, 갱신형은 전체 평균보다 낮게 나타났다.

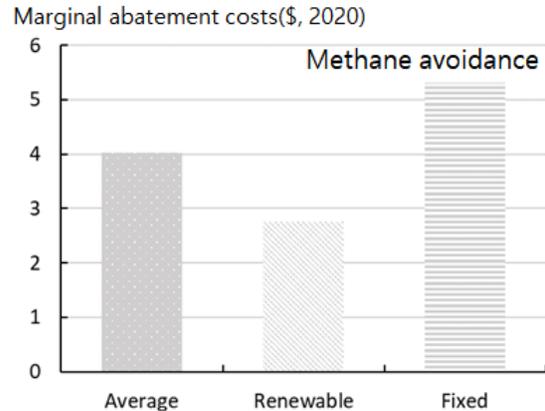


Fig. 6. Marginal abatement costs of renewable and fixed methane avoidance projects

소수력(고정형 1건, 갱신형 3건), 매립가스(고정형 2건, 갱신형 2건), 바이오에너지(고정형 7건, 갱신형 1건) 나머지 사업들의 건수는 시간경제효과를 살펴보기에 표본의 수가 적었으나, 모두 고정형의 평균 한계감축비용이 갱신형보다 높게 나타났다.

5.4 온실가스 누적감축량과 한계감축비용

지금까지 사업별 확보할 수 있는 온실가스 감축량과 한계감축비용(marginal abatement costs)을 추정하였다. 이를 토대로 본 연구에서는 사업유형별 온실가스 누적감축량별 한계감축비용을 추정하였다. CER판매시장에서는 CER가격(즉, 본 연구에서는 한계감축비용)이 낮은 사업부터 거래가 이루어질 것이다. 다시 말해 시장에서 형성된 CER가격이 A라면, 한계감축비용이 A가격 이하인 모든 CDM사업들이 경제적 타당성이 있다고 여겨져 CDM 사업 투자자들은 해당 사업들에 투자하려 할 것이다. 이러한 논리로 본 연구에서는 사업별로 추정된 CER가격이 낮은 사업부터 시장에서 거래되면서 발생하는 온실가스 감축량의 누적량(cumulative emission reductions)을 추정하였다. 최종적으로 누적 온실가스 감축량별 한계감축비용을 추정할 수 있었다(Fig. 7).

각 사업유형별로 추정된 누적감축량에 대한 감축비용을 통해 온실가스 감축분의 필요량을 확보하는데 경제적으로 유리한 사업이 무엇인지를 파악할 수 있다. 즉, CDM사업 투자자는 CER시장에서 형성된 CER가격 하에서 온실가스 감축량이 가장 큰 기술이 경제적으로 유리하다고 판단할 수 있을 것이다.

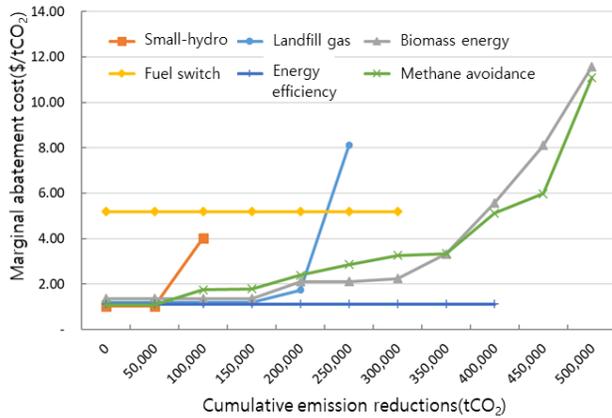


Fig. 7. Marginal abatement costs of cumulative emission reductions by CDM project

Fig. 7을 살펴보면 한계감축비용이 \$2~\$4/tCO₂까지는 효율개선 기술이 동일비용에서의 온실가스 감축량이 가장 크기 때문에 CDM투자자들에게 다른 기술사업과 비교해 상대적으로 우선순위가 가장 높을 것으로 예상된다. \$6~\$12/tCO₂까지는 메탄회피 사업의 누적 온실가스 감축량이 가장 크게 나타나 우선순위가 가장 높을 것으로 예상되었다. 연료전환과 효율개선 사업은 각각 한 건씩만 존재하기 때문에 누적 감축량별 한계감축비용의 그래프가 직선으로 나타나 다른 사업유형들과 비교하는데 한계가 있었다. 때문에 두 사업유형을 제외한다면 말레이시아는 메탄회피와 바이오매스 에너지 사업이 동일 비용에서 온실가스 감축량이 가장 높을 것으로 추정할 수 있다. 즉, 말레이시아의 분석대상 CDM사업 내에서는 메탄회피와 바이오매스 에너지사업이 다른 사업들과 비교해 가장 먼저 시장에 도입되는 것이 유리한 것으로 나타났다. 그 다음으로는 매립가스과 소수력 발전 순으로 동일비용 대비 온실가스 감축량이 높은 것으로 나타났다. 다만, 이러한 해석은 CDM사업유형에 대한 일반적인 기술이 아닌 말레이시아의 분석대상 내에 국한된 것이다.

6. 결론

CDM사업 투자자들은 필요한 온실가스 감축량을 확보하기 위해 가장 낮은 한계감축비용의 사업유형에 투자할 것으로 예상된다. 본 연구에서 추정한 한계감축비용은 CER수입 기준의 감축비용으로 CER가격과도 동일하게 해석할 수 있다. 추정된 CER가격은 “최소”가격으로, 사업활동을 통해 받

생하는 순수익이 0이 되는 시점의 CER가격을 뜻한다. 본 연구에서는 이러한 사업 경제성 측면에서 매우 보수적인 가정을 바탕으로, 한계감축비용을 도출하였다. 한계감축비용은 사업의 순수익이 0이 될 수 있도록 총 비용에서 전력판매수입이나 기타수입인 추가수입을 제외해 추정한 CER수입을 통해 추정할 수 있었다. 또한 본 연구에서는 추가수입을 반영하지 않고 오직 소요된 비용만을 고려한 총 비용 기준의 감축비용도 추정하였다. 분석 결과, 대부분의 사업에서 비용 기준의 감축비용보다 추가수입을 반영한 CER수입 기준의 감축비용이 낮게 나타났다(Fig. 5). 말레이시아의 CDM 사업에서 대부분의 추가수입은 전력판매수입이나 팜유 공정 폐기물 처리과정에서 발생하는 부산물인 퇴비, 비료, 펠릿 등의 판매로부터 발생하는 수입이다. 따라서 사업 투자자들은 낮은 한계감축비용을 확보하기 위해서 CER수입뿐만 아니라 그 외에 추가적인 수입이 발생할 수 있는 사업을 설계하고 투자하는 것이 경제성 확보에 유리할 것으로 나타났다.

본 연구는 추정한 사업별 한계감축비용 하에서 온실가스 감축량이 가장 큰 사업, 즉 다른 기술들과 비교해 상대적으로 비용효율적이라고 판단되는 사업을 추정하였다. 이를 위해 사업유형별 누적 감축량에서의 한계감축비용을 보여주는 그래프를 제시하였다. 분석결과, 메탄회피 사업과 바이오매스 사업이 동일한 한계감축비용 하에서 온실가스 감축량이 가장 큰 것으로 추정되어 상대적으로 가장 비용효율적인 사업으로 추정되었다. 다만, 본 연구에서 비용효율적이라고 추정한 기술들은 본 연구의 분석대상 내에서의 비교를 통한 상대적인 해석이라는 점을 강조한다. 또한 본 연구에서는 사업유형별 그 표본의 개수가 많지 않아 분석결과로 도출된 한계감축비용의 평균이 해당 사업유형의 대표성을 갖는다고 간주하기 어렵다. 이러한 한계점에도 불구하고, 본 연구는 말레이시아 CDM사업별 한계감축비용 추정 방법론 및 누적감축량에 대한 한계감축비용을 도출했다는 점에서 지속가능개발 메커니즘(SDM) 하의 새로운 국외감축 사업 분석에서 유의미하게 활용될 수 있을 것으로 기대된다. 또한 본 연구에서는 PDD의 예상 감축량을 온실가스 감축량으로 설정했는데 향후 연구에서는 실제 감축량(CER 발행량)을 기준으로 감축비용을 추정하고, 그 결과를 본 연구와 비교하면 매우 유의한 결과를 가져다줄 것으로 예상된다.

사사

본 논문은 국무조정실의 지원을 받았습니다.

References

- Eom EH. 2017. Political Ecology of Palm Oil: Focusing the Role of the States in Southeast Asia Region. *Space & Environment* 59(0): 244-277.
- Gang SI, Lee SJ. 2018. Malaysia's Smart Grid Trend and Entry Conditions. *The Korean Institute of Electrical Engineers* 67.4: 27-34.
- Korea Energy Agency. 2021a. <http://www.koreacdm.com/cdm/program;jsessionid=D1C3FFF7832041CE72A5ECBC4C9F0FEB>. Accessed on July 29, 2021.
- Korea Energy Agency. 2021b. <http://www.koreacdm.com/cdm/rogram;jsessionid=4FE949B43E7444CCDD5D11F67DDFEB12>. Accessed on Oct 5, 2021.
- Ministry of Environment. 2018. CDM projects implemented by domestic companies in foreign countries.
- Ministry of Environment. 2021. ENFORCEMENT DECREE OF THE ACT ON ALLOCATION AND TRADE OF GREENHOUSE-GAS EMISSION PERMITS. (revised on March 23, 2021.)
- Noh DW, Son IS, Lim JM, Kim SI. 2021. GHG emission abatement cost of small scale hydro CDM projects-Chile, Peru, Vietnam, Sri Lanka, Korea Energy Economics Institute, Energy Focus, Spring, 2021.
- Noh DW. 2021(Scheduled to be published). Estimation of GHG Emission Abatement Cost of CDM activities in Chile. *Journal of Climate Change Research*.
- Oh CW, Moon SS, Lee HY, Choi KR, Yang SY. 2017. The Direction of Response on Cooperational Approach Under a New Climate Regime: the Case of Japan's Experience. *Green Technology Center*. 46-47.
- Schneider, L. 2009. Assessing the additionality of CDM projects: practical experiences and lessons learned, *climate policy*, 9, 242-254.
- Rahman S.M and Kirkman G.A. 2015. Costs of certified emission reductions under the Clean Development Mechanism of the Kyoto Protocol. *Energy Economics*, 47, 129-141.
- Rahman S.M, Larson D.F and Dinar A. 2015. Costs of greenhouse gas emissions abatement under the clean development mechanism. *Climate Change Economics*, 47, 129-141.
- UNFCCC. 2016. Application of E-policy in investment analysis for additionality demonstration and selection of baseline scenario.
- UNFCCC. 2019. Matters relating to Article 6 of the Paris Agreement: Rules, modalities and procedures for the mechanism established by Article 6, paragraph 4, of the Paris Agreement. Proposal by the President (Draft negotiating texts at COP25). <https://unfccc.int/documents/204686>