



농업분야 탄소인지예산제도 도입을 위한 국가연구개발사업의 탄소저감 기여도 평가 방안

Evaluation Methods of Carbon Reduction Contribution for Green Budget of National R&D Projects in Agricultural Sector

김솔희^a · 한승현^b · 강성수^c · 서교^{d†}

Kim, Solhee · Han, Seunghyun · Kang, Seong-Soo · Suh, Kyo

ABSTRACT

Carbon neutrality is emerging as a new paradigm for the international society by transiting from climate change to climate risk. This study proposes evaluation methods for the carbon reduction contribution of climate-related national R&D projects in order to introduce a green budget system in the agricultural sector. We considered the domestic and foreign green budget systems and classified national R&D projects into positive, negative, and neutral from the perspective of carbon reduction. The results of this study propose three methods to estimate the monetary costs and carbon benefits by adopting the framework for the economic evaluation of national R&D projects conducted by the Rural Development Administration. These methods support to evaluate the potential contribution to carbon reduction of national R&D projects in the agricultural sector. Finally, the proposed methods were tested and verified for the efficiency and validity of evaluating carbon reduction contribution. These evaluation methods of the carbon reduction contribution can be used as a basic methodology for the pre-budget calculations of national R&D projects and the contribution for the greenhouse gas reduction budget.

Keywords: Carbon reduction; green budget; carbon neutrality; R&D project; LCA

1. 서론

기후변화에서 기후위기로의 전환이 가시화되면서 (IPCC, 2022) 탄소중립은 국제사회의 새로운 패러다임으로 대두되고 있다 (UNFCCC, 2021; Michaelowa, 2021; Chen, 2021). 탄소중립이란 배출되는 탄소량과 흡수되는 탄소량을 같게 하여 실질적으로 순배출량이 발생하지 않도록 하는 것이다. 유럽과 미국을 비롯한 세계 주요국의 탄소중립 선언은 2015년 파리

기후변화협정 채택과 2019 기후정상회의를 거치면서 가속화되고 있다. 이러한 추세에 따라 국제사회에서는 탄소중립을 위해 ESG (환경, 사회 및 지배구조)를 고려하는 투자 활동이 늘고 탄소배출에 대한 조치를 마련하고 있다 (BlackRock, 2022). EU는 2019년 12월 기후변화 및 환경 분야의 청사진을 담은 ‘유럽 그린딜 (European Green Deal)’에서 탄소국경세 개념의 메커니즘을 도입하고 녹색투자에 대한 세부기준을 마련하였다 (Lee et al., 2021; KEA, 2021). 탄소국경세 도입 및 녹색투자와 관련된 후속 조치는 탄소배출과 관련하여 국제사회의 교역, 투자, 금융 등 다양한 분야에 걸쳐 우리나라에도 영향을 줄 수 있다 (Moon et al., 2020). 이에 정부는 국제적 변화에 대응하기 위해서 지속가능한 투자를 장려하고 탄소 정보에 대한 투명성을 강화하여 2050년까지 탄소중립을 달성하려는 목표를 수립하였다 (Moon et al., 2018; Moon et al., 2020).

세계적인 탄소중립 패러다임에 능동적으로 대응하기 위하여 정부는 ‘2050 탄소중립’ 계획을 세우고 관련된 추진전략들을 마련하고 있다. 문재인 대통령은 2020년 10월 국회 시정연설에서 탄소중립을 선언하였으며, 선언 이후 탄소중립 달성을 위한 이행방안인 ‘2050 탄소중립 추진전략’, ‘2050 장기 저탄소발전전략 (Long-term low-Emission Development Strategies,

^a Research Professor, Institute of Green Bio Science & Technology, Seoul National University

^b M.S. Student, Department of Green Eco Systems Engineering, Graduate School of International Agricultural Technology, Seoul National University

^c Researcher, National Institute of Agricultural Science, Rural Development Administration

^d Professor, Department of Green Eco Systems Engineering, Graduate School of International Agricultural Technology, Seoul National University, Institute of Green Bio Science & Technology, Seoul National University

† Corresponding author

Tel.: +82-33-339-5810, Fax: +82-33-339-5835

E-mail: kyosuh@snu.ac.kr

Received: July 05, 2022

Revised: September 01, 2022

Accepted: September 05, 2022

LEDS)’, ‘2030 국가온실가스감축목표 (Nationally Determined Contributions, NDC) 갱신안·상향안’, ‘2050 탄소중립 시나리오’가 마련되었다 (Ministry of Environment, 2020). 이 중에서 2050 장기저탄소발전전략 (LEDS)과 2050 탄소중립 시나리오의 부문별 전략에는 탄소저감을 위한 친환경 농축수산업 체계구축과 탄소흡수원 이용을 통한 내용이 포함되어 있다. 또한 2030 국가온실가스감축목표 갱신안·상향안 (2018년 대비 26.3%에서 40%로 상향)에서도 감축목표 달성을 위한 구체적인 이행 수단으로 탄소흡수원 활용 계획이 제시되었다 (Ministry concerned, 2021). 이에 농축수산 분야에서 2018년 2,470만 톤을 기준으로 21.6%에서 25.9%로 감축목표를 상향하였고, 저탄소 농축수산업을 통해 GHG (Green house gases)를 감축하고 흡수 및 제거 확대를 위해 여러 방안을 제시하였다. 2050 탄소중립 시나리오에서 농축수산 부문의 구체적인 저감 방안으로 논 물대기 관리방식 개선 및 질소질 비료 사용저감, 바이오차 보급 확대 등을 통해 약 2.5백만 톤 감축, 저배탄 사료 공급 확대, 분뇨 내 질소저감 등을 통해 약 3.3백만 톤 감축, 고효율 및 에너지 절감 시설·설비 보급과 같은 방법들로 0.9백만 톤 감축하는 방안이 제시되었다 (The Republic of Korea, 2021).

정부의 2050 탄소중립 실현 노력의 일환으로 정부의 예산이 탄소 감축이나 흡수원 확대 연구 및 사업에 활용될 수 있도록 탄소 감축이나 흡수 등에 미치는 영향을 평가, 재정계획 수립과정에 반영하는 제도인 탄소인지예산제도 (온실가스감축인지예산제도) 도입을 환경부, 기획재정부에서 검토하였다. 이에 「기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법 (약칭: 탄소중립기본법)」이 시행 (2022년 7월)이 되면서 의무화되어 2023년 예산안에 정성, 정량적으로 탄소저감 기여에 대한 설명을 세부사업 단위로 실시할 예정이다. 2050 탄소중립 추진전략의 일부인 ‘탄소의 가치를 고려한 재정제도 검토 방안’에 대응하기 위해서 탄소저감 기여도와 그에 따른 편익을 계산할 평가제 마련이 필요하다. 「탄소중립기본법」시행과 더불어 탄소중립 기술혁신 추진전략이 수립된 가운데, 향후 기술 및 사업에 대해서도 탄소저감 기여도 평가는 불가피할 전망이다. 농업분야 역시 기후변화 R&D 사업이 추진되고 있으나 신규사업 및 과제기획 단계와 개발된 기술에 대한 탄소배출량 및 감축 기여도에 대한 평가는 전무한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 정부에서 추진하고 있는 탄소인지예산제도의 농업분야 도입을 위해 기후변화 등과 관련된 다양한 농업분야 국가연구개발사업의 탄소배출량 및 탄소저감 기여도에 대한 평가 방안을 제안하고자 한다. 이를 위해 국내외의 탄소인지예산제도에 대하여 고찰하고 탄소 저감의 관점에서 국가연구개발사업을 감축, 배출, 중립 등으로 분류하였다.

이를 바탕으로 농업분야 국가연구개발사업의 탄소저감 기여도 평가 방법을 경제성 평가 등에 이용된 기존의 평가기법들을 준용하여 비용과 편익을 산정하는 방법을 제안하고 농촌진흥청에서 수행하는 연구개발사업에 대해 탄소저감 기여도 평가법을 적용하여 효율성 및 타당성을 검토하였다.

II. 국내외 탄소저감 기여도 평가 현황 조사 및 분석 방법

1. 국내외 농업분야 탄소저감 기여도 평가 현황 조사

국내 농업분야에서 탄소저감 기여도 평가를 통해 시행되는 제도는 ‘저탄소 농축산물 인증제’가 대표적이다. 저탄소 농축산물 인증제는 저탄소농업기술을 활용하여 생산 전과정에서 GHG 배출을 줄인 농축산물에 저탄소인증을 부여하는 제도이다. 이 제도는 전과정평가 (Life cycle assessment, LCA)를 이용하여 농산물 생산 전과정에서 투입되는 모든 자원 (농약, 비료, 에너지 등) 사용량을 정량적으로 수집하여 생산과정에서 발생하는 환경부하를 평가한다. 저탄소 농축산물 인증받기 위해서는 해당 품목의 생산에서 배출되는 GHG가 품목별 평균 GHG 발생량보다 적어야 한다. 2012년 60농가 92 ha의 면적이 인증받는 것으로 시작되어 2020년 기준 4,700농가 5,657 ha의 면적이 인증을 받아 77.8천톤 CO₂eq를 감축한 것으로 평가되고 있다 (Choi et al., 2021).

국외 농업분야에서 GHG 배출량을 평가할 수 있는 대표적인 도구는 ‘COMET Farm’이 있다. 미국 농무부 (USDA)는 COMET Farm 개발을 통해 농가 운영의 전체 혹은 일부에 대한 ‘탄소발자국’을 추정할 수 있도록 농림축산업의 운영자들에게 온라인서비스로 제공하고 있다. COMET Farm의 온실가스 배출량 평가 모델은 USDA의 기후 및 토양 조건 데이터베이스, 공간정보, 농장 운영과 관리 방식, IPCC 방법론과 같은 자료들을 종합하여 GHG 배출량을 추정한다. 이에 농가 혹은 서비스 이용자는 농장 운영 및 관리 방식을 다양한 시나리오로 구성하여 잠재적인 GHG 배출원 및 배출량을 추정할 수 있으며 최소의 GHG 발생 시나리오를 마련할 수 있다.

유엔식량농업기구 (FAO)는 파리협정 이후 GHG 배출에 대한 정량적인 평가가 사업의 투자에 중요한 요소로 인식됨에 따라 EX-ACT (The EX-Ante Carbon-balance Tool)를 개발하였다. EX-ACT는 농업, 임업 및 기타 토지이용 부문의 사업 및 정책에 대한 탄소배출량, 생물다양성 영향을 사업 전후로 평가할 수 있는 도구이다. EX-ACT는 농업활동에서 투입된 에너지와 토양에서 배출되는 GHG를 평가하는 EX-ACT, 생물다양성과 생태적 가치를 포함한 B-INTACT, 저탄소 가치사

슬을 통해 사회경제적 이익을 계산하여 정책적 지원을 할 수 있는 EX-ACT VC와 같은 3가지 종류가 있다. 이 평가도구는 기후변화 완화, 지속가능한 토지관리, 유역 개발, 생산 강화, 식량 안보, 가축, 산림 관리 또는 토지 사용 변경에 대한 여러 사업을 포함하여 모든 농림분야에 적용될 수 있는 장점이 있다. EX-ACT를 이용하여 코스타리카는 대체 바나나 가치사슬 배열의 탄소발자국 비교, 에티오피아는 농업 성장 프로젝트 등을 수행하였다.

2. 국가연구개발사업의 탄소인지예산 분류 방법

가. 탄소인지예산제도

우리나라의 정부연구개발사업의 예산편성은 하향식 (Top-down)에서 상향식 (Bottom-up) 방식 및 혼합식 (Hybrid)으로 국가 R&D 전략이 전환되고 있는 추세이다 (Hong, 2020). R&D사업의 예산편성 과정을 살펴보면 (Park and Han, 2022), 각 부처는 매년 국가재정운용계획에 의거하여 기획재정부 (이하 기재부)와 과학기술정보통신부 (이하 과기부)에 ‘중기사업계획서’를 제출하고, 기재부와 과기부는 사업계획서를 심의하여 부처별 지출한도를 설정하여 통보한다. 이를 바탕으로 각 부처에서는 지출한도 금액 범위 안에서 차년도 예산요구서를 작성하여 기재부와 과기부에 제출한다. 예산요구서를 바탕으로 과기부에서 주요 국가연구개발사업 예산 배분·조정 단계를 거쳐 기재부의 내부 예산심의를 통과하면 국회심의·의결 등의 과정을 거쳐서 예산이 최종적으로 확정된다.

국가연구개발사업의 탄소인지예산은 기후변화 대응을 위하여 R&D사업이 환경에 미치는 영향을 평가하여, 그 결과를 정부의 예산 편성 및 집행에 반영하는 제도이다 (World Bank, 2021). 탄소인지예산제도는 목적에 따라 기후예산제도, 녹색예산 (친환경인지예산제도), 탄소인지예산제도 등과 같이 다

양한 용어로 사용되며, 우리나라의 경우 온실가스감축인지예·결산제도로 명명하고 있다 (Heo, 2021).

탄소인지예산의 접근 방식은 크게 상향식 (Bottom-up)과 하향식 (Top-down)으로 나눌 수 있다 (Table 1). 상향식 접근 방법은 기후영향평가 예산 (Green budget tagging, GBT)의 방식으로써 정부의 예산사업에 관해 온실가스 감축 및 기후목표와의 부합성 등을 평가하여 기후에 영향을 미치는 사업인지 확인 후 기후정책 및 예산 결정에 반영한다. 이러한 방식은 정부의 탄소인지예산을 효율적으로 모니터링할 뿐만 아니라 정부 정책과 연계한 예산 개발, 지출의 우선순위 파악, 온실가스 저감에 대한 정부 부처의 역량강화 및 인식제고 등 정책적 기능을 향상시킬 수 있는 장점이 있다. 이러한 효율적인 수단임에도 불구하고 상향식 방법은 모든 예산에 대해 탄소저감 기여도를 평가해야 하므로 과도한 행정비용이 수반되고 탄소인지예산의 분류과정에서 주관적인 견해가 포함될 수 있다. 이러한 예산의 기후영향평가는 UNDP 기후예산 분류 (Climate budget tagging)이나 프랑스·아일랜드의 녹색예산제 (Green budgeting)에서 도입하여 사용하고 있다 (France Government, 2019; France Government, 2020; OECD, 2020; UNDP, 2019; UNDP, 2021). 하향식 접근방법은 기후예산 혹은 온실가스 배출 허용량 (Carbon budget)을 미리 정하고, 그 목표를 달성하기 위한 구체적인 실행예산을 편성하는 방법이다. 이러한 방식은 주로 EU의 다년도재정 계획, 노르웨이 오슬로시의 기후예산제 (Oslo, 2019) 등에서 사용하는 방법으로 탄소저감을 위한 핵심 사업에 대해 예산을 집중적으로 편성하고 관리할 수 있다는 장점이 있다.

나. 국가연구개발사업의 탄소인지예산 분류 방법

탄소인지예산의 분류는 정부의 예산 사업 중에서 기후변화와 관련된 예산을 별도로 표시하여 기후관련성을 식별하고

Table 1 Features of climate budget type

Method	Green budget tagging	Carbon Reduction Budget	Carbon budget
Approach	Bottom-up	Top-down	Top-down
Process	Climate budget tagging ↓ Climate effects evaluation	Level of investment ↓ Climate set aside budget ↓ Policy measures and budget allocation	Carbon budget by year ↓ Reduction measures ↓ Budget allocation
Example	UNDP Climate Budget Tagging (GBT) / Green Budgeting in France and Ireland	EU multi-annual financial framework (MFF)	Climate budget in Oslo city

Source: Seoul, 2021. Type of climate budget.

그 추이를 모니터링하는 과정이다 (OECD, 2021). 탄소인지예산 분류는 환경 목표 설정, 적용 예산범위 설정, 환경 영향 평가 및 분류시스템 개발, 평가방법 결정 순으로 진행된다 (Heo, 2021). 탄소인지예산을 분류하는 방법은 대표적으로 OECD 리우마커 (Rio Markers), EU 기후지출모니터링, 다자개발은행 (Multilateral Development Banks, MDBs)의 온실가스 감축재원 추적 방법론, UNFCCC 보고체계, UN 환경영향 회계체계 등이 있다 (World Bank, 2021).

국가연구개발사업에 탄소인지예산을 도입하기 위해서 탄소저감의 관점에서 사업을 분류 (tagging)한 후 탄소저감 기여도를 평가하는 것이 타당하다. 즉 국가연구개발사업의 온실가스 감축 정책의 주류화 (mainstreaming) 과정을 통해 사업별 탄소저감 영향을 평가하여 이를 예산에 반영하는 과정이 필요하다 (The Seoul Institute, 2021). 이를 위해 프랑스의 기후예산 분류 (Green budget tagging) 기준에 따라 국가연구개발사업을 온실가스 배출영향을 기준으로 온실가스 감축 사업 (직접 및 간접), 온실가스 배출 사업, 잠재적 영향 사업, 중립사업 등 크게 5가지 형태로 분류할 수 있다 (OCED, 2021; Garnik & Merle, 2020) (Fig. 1).

‘온실가스 감축사업’은 사업을 통해 직·간접적으로 온실가스 감축 효과를 기대할 수 있는 사업이다. 그 중에서 ‘직접 온실가스 감축사업’은 기후변화대응 종합기본계획, 그린뉴딜 등과 같이 기후변화 완화를 위해 직접적으로 온실가스 감축 목표를 달성하기 위한 사업이다. ‘간접 온실가스 감축사업’은 사업의 목적이 온실가스를 감축하려는 목표는 아니지만, 기술의 단위요소 개발을 통해 간접적으로 탄소저감효과를 기대할 수 있는 사업이다. ‘온실가스 배출사업’은 화석연료 사용, 보조, 건물, 도로 교통 인프라 건설, 토지이용, 지역개발 등의 활동으로 인해 온실가스 배출이 예상되는 사업이다.

‘미래가치 영향 사업’은 시장규모는 작지만 구체적인 기술 적용과 사업 방향 등에 따라 온실가스 감축 혹은 배출 영향이 잠재적으로 존재하는 사업을 의미한다. ‘중립사업’은 데이터의 부재 등으로 탄소배출량에 대한 평가가 어렵거나 온실가스 감축 및 배출의 영향이 없는 사업으로써, 주로 기획조정, 복지, 교육, 관광, 시설유지 등 사회·문화 분야를 의미한다.

이에 농업부문을 예로 들면 직접 탄소감축 효과를 기대할 수 있는 분야는 시장규모가 비교적 큰 연구 분야이거나, 농업 분야 탄소저감을 위한 생산기술, 관리기술, 개선기술과 같이 직접적으로 탄소저감을 목표로 할 수 있는 분야이다. 간접 탄소감축 효과를 기대할 수 있는 분야는 고품질 다용도 신제품 개발과 같은 연구과제를 통해 해당 신제품 작물의 가뭄 저항성, 병해충 저항성, 생산량 증가 등 목적을 달성함에 따라 이차적으로 관개용수 절감, 에너지사용 절감, 농약사용 절감 등

간접적인 기대효과를 모색할 수 있는 분야를 예로 들 수 있다. 미래가치에 대한 기대에 해당하는 잠재적 영향 사업 분야는 탄소저감에 기여할 수 있는 가능성이 있거나, 유기농업의 탄소저감 효과 평가 및 강화기술, 유기농업의 환경 공익가치 평가체계 구축 등과 같이 탄소저감을 실현할 수 있는 정책과 관련한 사업 등이 해당된다.

3. 농업분야 국가연구개발사업의 탄소저감 기여도 평가법 제안

연구개발사업의 탄소저감 기여도 평가는 아직 이루어지지 않은 연구목표와 연구예산 등을 바탕으로 탄소저감에 대한 기여를 평가해야 하므로 실질적인 탄소저감 값을 추정하기가 쉽지 않다. 이에 기존의 연구개발사업의 예산과 연구성과를 통한 편익을 바탕으로 사업의 경제성과 타당성을 평가하는 사전경제성 분석 체계를 준용할 수 있다.

가. 탄소저감 기여도 평가를 통한 예산(비용) 산정법

탄소저감 기여도 평가를 바탕으로 하는 예산(비용) 산정은 평가의 주체 및 방식에 따라 하향식 (Top-down), 상향식 (Bottom-up), 혼합식 (Hybrid) 등 3가지로 제시할 수 있다. 먼저 하향식의 탄소저감 기여도 평가의 비용 산정은 사전에 결정된 농업 부문의 탄소저감 목표치에 따라 연구개발사업의 분야별로 저감 목표의 한도 (ceiling)를 설정하고 세부 사업별로 저감 목표를 배분하는 형태이다. 하향식 예산 산정법은 총 탄소 저감량을 미리 결정하여 세부 사업별로 탄소저감에 대한 기능수준으로 예산을 하향 할당한다. 그러므로 하향식 방법은 세부 사업이 개략적일 때 효과적이며 비교적 소요시간이 짧은 장점이 있다. 그러나 해당 사업에 유사 사업을 연관시키고 예산을 하향하여 할당하는 전문적인 능력이 요구된다는 단점도 존재한다.

상향식의 탄소저감 기여도 평가의 비용 산정은 각 세부 연구부서에서 연구과제에 따른 저감 목표를 수립하여 배출량 감축에 대한 편익과 연구예산을 제시하는 방법이다. 연구과제 수행을 위해 필요한 예산은 기존의 인건비, 재료비 등을 바탕으로 수립한 후, 예상되는 탄소저감 편익을 고려하여 내부적으로 사전 평가를 진행한다. 각 연구부서에서 작성한 내용을 바탕으로 기관은 온실가스 배출량 감축에 대한 편익을 산정하여 적정 수준의 연구예산을 반영 혹은 조정하는 방식이다. 이러한 상향식 방법은 사업 주체별로 탄소저감 기여 추정의 세부적인 근거를 확보하는 데 유리하지만, 추정 주체의 선입견이 작용할 수 있으며 모든 세부 사업별로 탄소저감 기여도를 평가해야 하는 노동집약적인 산정 단계가 필요하다.

혼합식 탄소저감 기여도 평가는 상향식과 하향식 분석방법

을 혼합한 방식이다. 기관에서 해당 분야의 온실가스 저감 목표를 수립하고 이를 달성하기 위한 핵심분야를 설정한다. 이후 각 세부 연구부서에서 연구과제에 따른 저감목표를 수립하여 온실가스 배출량 감축에 대한 편익을 산정하여 목표 달성을 위한 예산을 수립하는 방식이다.

나. 탄소저감 기여도 평가를 위한 편익 산정법

국가연구개발사업의 사전경제성 평가는 한국과학기술기획평가원의 「국가연구개발사업 예비타당성조사 수행 세부지침」의 ‘경제적 타당성 분석’을 바탕으로 생산자 중심의 편익 계산 방법을 연구자 중심의 연구과제 성과에 대한 편익 계산 방법으로 수정하여 적용하고 있다.

국가연구개발사업의 예비타당성조사에서 편익 (benefit)은 시장수요접근법 (market demand approach)을 적용하여 시장 수요의 추정에 의한 생산자 중심의 편익을 추정하여 계산하고 있다 (Eq. 1). 이러한 시장수요접근법은 연구개발사업 중 시장가치 창출을 목표로 하는 사전경제성 분석에서 대표적으로 활용하고 있다. 이에 탄소저감 기여도 평가가 가능한 기술 정책 과제 중에서 연구개발사업의 탄소저감 기여도는 시장수요접근법 방법론을 이용할 수 있다. 연구개발사업의 탄소저감에 대한 가치는 직접 탄소저감 효과, 간접 탄소저감 효과

및 미래가치 기대 등 사업의 성격에 따라 탄소저감 기여에 대한 편익으로 산정한다. 시장이 형성된 경우 시장을 기반으로 한 탄소저감 효과를 직접적으로 산정하고 다른 제품이나 서비스와 연계된 경우 간접적인 산정이 가능하다. 그러나 실제 제품이나 서비스 등으로 이용되고 있지 않은 기술은 미래의 효용가치를 바탕으로 추정한다.

$$B = FMS \times BC \times CR_{RD} \times SR_{RD} \times VA \quad \text{Eq. (1)}$$

where, B =benefit; FMS =future market share; BC =business contribution rate (%); CR_{RD} =R&D contribution rate (%); SR_{RD} =R&D commercialization success rate (%); VA =value-added rate (%).

탄소저감 기여도를 평가하기 위해서는 온실가스 배출량 산정이 우선되어야 한다. 농업 부문에 대한 시스템의 일부 혹은 전체 과정에 대한 평가를 위해서 전과정평가 기반의 생애 전주기 (Life cycle) 관점에서 시스템 경계에 대한 고려가 필요하다. 농산물의 생애 전주기는 육묘, 재배 및 생산, 저장, 수송, 가공, 폐기 단계로 구성할 수 있다. 국립농업과학원에서 영농 형태별로 탄소성적을 산정하고 농자재에 대한 전과정 인벤토

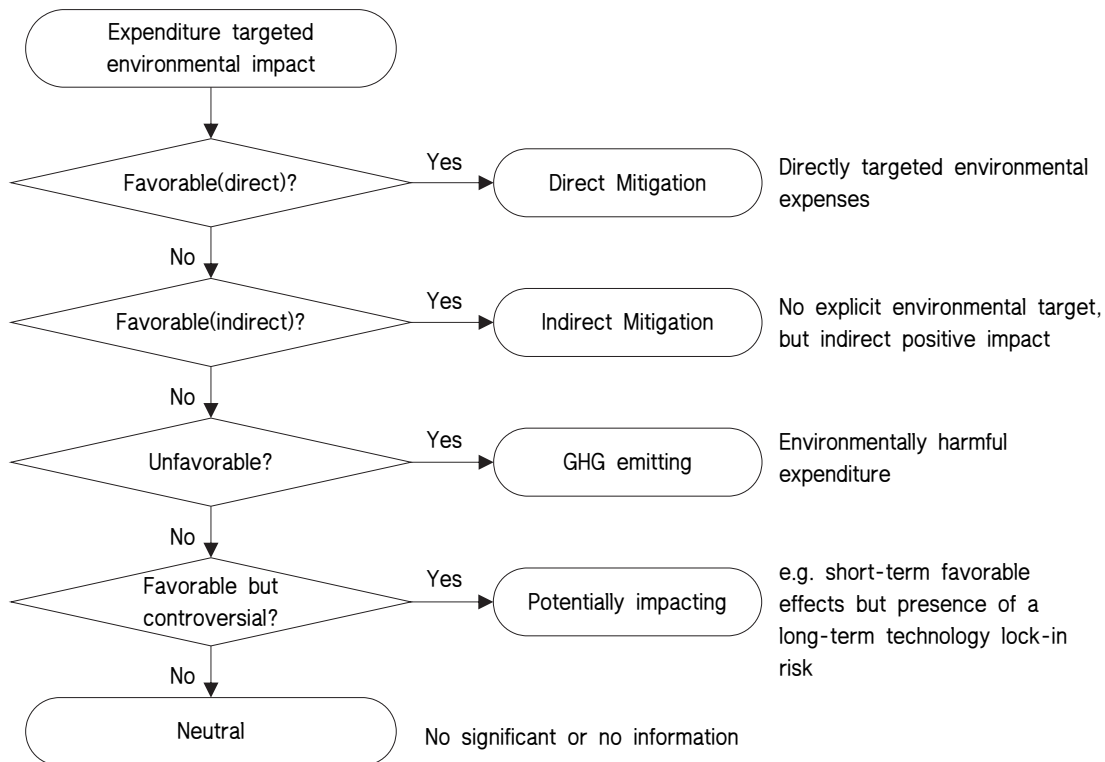


Fig. 1 Green Budget tagging process

리 (Life cycle inventory, LCI) 데이터베이스 구축하고 탄소원 단위를 산정한 바 있다 (NIAS, 2017; NIAS, 2020). 그러나 여전히 농업분야의 국가 LCI DB가 부족하여 대부분의 연구에서는 재배 및 생산단계를 시스템경계로 설정하여 온실가스 배출량을 산정하고 있으며 특히 농업에 특화된 저온저장, 수송, 포장재 등의 LCI가 부재한 현실이다.

III. 농촌진흥청 연구개발사업의 탄소저감 기여도 평가법 적용

1. 농촌진흥청 연구개발사업의 탄소인지예산 분류

농촌진흥청의 2021년도 예산 개요를 바탕으로 농촌진흥청에서 수행하는 연구개발사업의 탄소인지예산을 분류하였다 (Fig. 2). 농촌진흥청의 2021년도 총 세출예산 규모는 약 1조 961억 원이며, 크게 7개 분야에서 사용되며, 기관운영 및 사업 지원, 전문인력양성, 농가경영능력향상, 지역농업특성화, 농업신기술 보급, 농축산물 경쟁력 제고 기술개발, 그리고 농업기초기반 및 실용화 기술개발로 구분된다. 세출예산을 기능별로 분류하면 기본경비 (228억 원, 2%)와 인건비 (1,639억 원, 15%)를 제외한 약 83% (9,094억 원)가 연구개발, 기술보급, 실용화재단, 정보화, 기타사업으로 운용되는 사업비이다. 이를 회계별로 나뉘보면 일반회계가 89% (9,760억 원)를 차지하며, 농특회계 3% (357억 원) 및 균특회계 8% (844억 원)으

로 구성되어 있다.

농촌진흥청의 사업비 중 R&D사업을 대상으로 기후예산 분류 (Green Budget Tagging) 기준에 따라 사업의 목적이 탄소저감이면 직접감축, 그 외에 사업의 목적에 따라 부가적으로 간접적인 탄소저감을 기대할 수 있으면 간접감축, 사업을 통해 탄소가 발생하는 사업은 배출사업으로 분류하였다. 농촌진흥청에서 진행하는 R&D 사업에 대하여 탄소인지예산을 분류한 결과 기후관련 예산 (직·간접 감축, 배출, 미래가치 영향 사업)은 전체 R&D 예산 (6,617억 원)의 약 85%인 5,624억 원으로 추산되었다. 온실가스 감축사업의 예산은 2,637억 원으로 전체 R&D 예산 중에서 약 39.4%를 차지하며, 이 중에서 직접감축사업은 292억 원 (11%) 및 간접감축사업은 2,346억 원 (89%)으로 구성되어 있다. 온실가스 배출사업의 예산은 2,060억 원 (31.2%)이며, 미래가치 영향사업은 927억 원 (14%), 중립 사업은 978억 원 (14.8%)으로 추산되었다.

2021년도 농촌진흥청에서 수행한 연구개발사업 중에서 직접 탄소저감을 위한 사업은 지속가능한농업 연구분야의 신농업기후변화 대응체계 구축 (254억 원)과 그린수소기반 농업시설 에너지 공급시스템 개발 및 실증 (38억 원)이다. 간접적으로 탄소저감을 모색할 수 있는 사업 중 지원 규모가 큰 사업은 농업과학기술기초기술연구 (817억 원), 작물시험연구 (624억 원), 신품종 지역적응연구 (211억 원), 농업정책지원기술개발 (181억 원) 등이 대표적이며 전체 온실가스 감축사업의 총 예산의 약 70%를 차지한다.

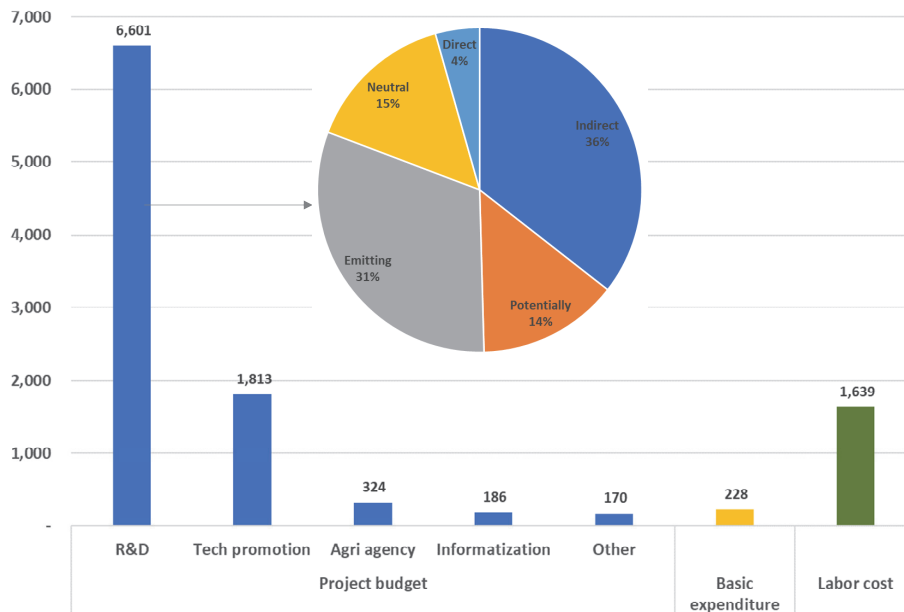


Fig. 2 2021 total budget of Rural Development Administration (RDA) in Korea (bar graph) and proportion of climate budget among R&D project (pie graph) (unit: hundred million KRW)

농촌진흥청의 주요 사업 중에서 신기후체제에 대응한 저탄소 농업기술 개발과 농업기후 변화에 따른 품종 및 재배기술 개발을 강화하는 사업의 규모가 2021년 910억 원에서 2022년 996억 원으로 약 86억 원 정도 증액되었다. 그 중에서 특히 환경보전형 탄소저감 기술 개발을 위해 ‘탄소저감 환경보전형 유기농업 및 유기자원 재순환기술 개발’과 같이 신규사업이 53억 원 규모로 지원되며, ‘저탄소 그린라이프 생산기술 개발’이 신규로 40억 원 지원된다. 이렇듯 점차 농업분야에서의 농경지 토양 탄소저감 및 감축과 더불어 유기자원의 재순환 기술 개발 등을 통해 농업현장에서 온실가스 감축으로 탄소중립을 실현하고자 하는 사업규모는 2021년 280억 원에서 2022년 386억 원으로 증가하였다. 향후 농업분야의 탄소저감 기여를 위하여 점차 지원규모가 증가할 것으로 예상된다. 따라서 국가연구개발사업의 특성 (직간접 감축, 배출, 미래가치, 중립)을 고려하여 사업별로 탄소저감 기여도를 정량적으로 평가하여 지원규모의 적절성을 평가할 수 있는 방안이 필요하다.

2. 농업부문 연구개발사업의 탄소저감 기여도 평가 적용

가. 직접 탄소저감 효과 R&D사업의 편익 산정

실질적으로 직접 탄소 감축효과를 기대할 수 있는 제품이나 기술에 대한 분야의 탄소저감 기여도는 제품의 시장과 시장점유율 등을 바탕으로 탄소저감량을 추정하고 이를 탄소배출권 가격으로 환산한 가치로 편익을 산정한다. 연구개발사업이 직접적으로 탄소저감에 기여하는 경우 탄소저감량 산정은 해당 분야가 사업화에 성공하여 총 GHG 배출량 중에서 해당 기술이 점유하게 될 비율을 기반으로 ‘탄소저감 목표율’과 ‘목표달성기간 할인율’을 고려한다. 여기서 ‘탄소저감 목표율’은 평가제도 적용에 있어 연구의 특성을 반영할 수 있도록 연구자가 예측하여 제시하는 값을 사용한다. ‘목표달성기간 할인율’은 연구과제 종료 이후 실제로 탄소저감이 이루어지는 데까지 걸리는 기간을 의미한다. 그러나 개발된 기술 적

용을 통해 실질적인 탄소저감이 늦게 이행될수록 탄소중립 달성이 어려워지는 측면을 고려하여 목표달성기간에 할인율을 적용하였다. 산출된 탄소저감량 추정치를 편익으로 산정하기 위해 탄소배출권 가격을 곱하여 탄소저감 효과 편익을 산정한다. 이를 연구비 대비 편익으로 계산하여 연구개발사업의 탄소저감 기여도에 대한 적정성을 판단하는 기준으로 사용한다.

예를 들어 농업부문에서 직접 탄소 감축효과를 위해 ‘탄소저감형 살충제 개발 (가제)’라는 연구개발사업을 지원한다고 할 때, 탄소저감 기여도 및 그에 따른 편익은 다음과 같이 산정할 수 있다 (Table 2). 살충제의 경우 2020년 농림축산식품 통계연보에 따르면 (MAFRA, 2020) 2019년 전체 살충제 생산을 위한 유효성분량은 약 4,869톤 정도이다. 해당 살충제 생산에 대한 총 GHG 배출량을 산정하기 위하여 Son et al. (2019)의 연구에서 살충제 (Insecticide)의 온실가스 배출계수인 1.74kg CO₂e/kg을 적용하면 살충제 시장의 GHG 배출량은 약 8,472 tonCO₂e 정도이다. 해당 시장의 총 GHG 배출량을 산정한 이후 연구진의 기대 혹은 예상되는 시장점유율 (30%), 탄소저감 목표율 (Son et al., 2019)의 온실가스 배출계수 1.74 kgCO₂e/kg의 약 10% 저감, 할인율 1, R&D 성공률 39.5%를 적용한다고 가정한다. 이후 탄소배출권 가격 (약 2.8만원 /tonCO₂e)을 적용할 경우 ‘탄소저감형 살충제 개발 (가제)’라는 연구개발사업을 통해 매년 약 281만 원의 탄소저감 편익을 기대한다고 추정할 수 있다.

나. 간접 탄소저감 효과 R&D사업의 편익 산정

연구개발사업이 간접적으로 탄소저감에 영향을 미치는 경우엔 해당 연구과제가 간접적으로 기여하는 정도를 감안하여 산출한다. 즉 제품이나 기술의 요소단위 연구를 통해 간접적으로 탄소감축 효과를 기대할 수 있는 분야의 탄소저감 기여도는 탄소감축효과에 대한 탄소저감 기여율 등을 바탕으로 탄소저감량을 추정하고 이를 탄소배출권 가격으로 환산한 가

Table 2 Example of a benefit of directly targeted environmental expenses “Development of carbon-reducing pesticides”

Total GHGs ^a	Market share ^b	Reduction target ^c	Discount rate ^d	Success rate ^e	Carbon credit ^f	Carbon reduction benefits ^g
7264.58,472	530	10	1	39.5	0.022.8	286.95281.1

^a Total GHGs in pesticide sector (kgtonCO₂e)

^b Expecting market share of the carbon-reducing pesticide (%)

^c Carbon reduction target of the carbon-reducing pesticide than existing pesticide (%)

^d Discount rate of time to achieve the goal (%)

^e Success rate of the R&D (%)

^f Carbon credit price (million10 thousand KRW/kgtonCO₂e)

^g Carbon reduction benefits by multiply (a×b×c×d×e×f) (million10 thousand KRW)

치로 편익을 산정한다. 다른 요소들은 직접 탄소저감 효과 연구개발사업과 동일한 방식으로 산출에 이용되어 과제의 대상이 되는 제품 혹은 기술의 총 탄소배출량, 간접기여율, 탄소저감기여율, 목표달성시간, 과제 성공률 등을 바탕으로 연구과제를 통한 탄소저감량을 산정하고 탄소배출권 가격을 이용하여 편익으로 환산한다.

예를 들어 농업부문에서 ‘병해충 저항성 맥주보리 개발(가제)’라는 연구개발사업을 지원한다고 할 때, 맥주보리의 병해충 저항성을 통해 살충제 사용을 절감할 수 있으므로 간접적인 탄소저감 기여도 및 그에 따른 편익은 다음과 같이 산정할 수 있다 (Table 3). 2021년 맥류생산량(조곡)을 살펴보면, 맥주보리의 생산면적은 약 7,175ha이며 생산량은 28,913톤이다. So et al. (2010)의 연구에 따르면 맥주보리 1kg 생산 시 1.09kgCO₂e의 온실가스가 배출되므로 국내의 맥주보리 생산에 따른 총 온실가스 발생량에 대한 규모를 계산할 수 있다 (31.52×10⁹kgCO₂e). 또한 간접적인 탄소저감량을 산정하기 위하여 맥주보리 1kg 생산시 발생하는 GHG 발생량 중에서 병해충 저항성(살충제)과 관련한 투입재의 GHG 배출비중(0.0004%)을 적용하고, 신제품 맥주보리 개발에 따른 살충제 사용 저감 예상율(20%)을 기대한다고 가정한다. 또한 신제품을 개발하여 보급하는데에 걸리는 시간을 할인율 개념으로 적용하고 R&D 성공률 39.5%를 적용한다고 가정한다. 이후 탄소배출권 가격(약 2.8만원/tonCO₂e)을 적용할 경우 ‘병해충 저항성 맥주보리 개발(가제)’라는 연구개발사업은 매년 약 27.9만원의 탄소저감 편익을 기대한다고 추정할 수 있다.

다. 미래가치 영향 R&D사업의 편익 산정

연구개발사업 중에서 탄소 배출 혹은 탄소저감 효과를 가지지만 시장이 형성되어있지 않아 분야별 GHG 배출량을 이용하기 어려운 경우 미래가치 기대 연구개발 사업으로 분류하여 계산한다. 잠재적 미래가치를 고려해야 하는 잠재적 영향분야의 탄소저감 기여도는 연구 수행기관에서 수행한 사업

의 분야별 총 연구비를 통해 감축한 탄소저감량 총량(비용) 대비 해당 연구개발사업을 통해 예상되는 탄소저감량(편익)으로 산정한다. 즉 미래가치 기대 연구개발 사업의 경우 연구비 기존의 연구과제를 참조하여 과제 관련분야의 연구비 탄소감축 실적을 기준으로 평가를 진행하는 방식이다. 연구개발사업을 통해 예상되는 ‘탄소저감 기대량’은 R&D 과제 성공률을 이용하거나 전문가들의 의견을 바탕으로 결정한다. 또한 기존의 연구과제를 참조하여 과제 관련분야의 ‘연구비 탄소감축 실적’을 기준으로 평가를 진행한다. 사업을 통해 예상되는 탄소저감 기대량에 대한 전문가의 의견을 바탕으로 ‘예상 탄소감축량’을 결정하고 이를 바탕으로 연구비 대비 예상 탄소감축량을 산정한다.

IV. 탄소저감 기여도 평가법의 효율성 및 타당성 검토

탄소저감 기여도 평가제도 마련을 위한 근거법안으로는 저탄소 녹색성장 기본법과 농업·농촌 및 식품산업 기본법이 있다. 『저탄소 녹색성장 기본법』에 따라 농림수산업은 탄소 흡수원 기능을 가진 산업으로 중요성이 강조되며 해당 산업의 기후변화 완화 및 온실가스 감축에 기여도를 반영하여 이에 필요한 정책이 시행되어야 한다고 명시하고 있다. 동법에서 “국가와 지방자치단체는 녹색기술·녹색산업이 국제표준에 부합되도록 표준화 기반을 구축하고 녹색기술·녹색산업의 국제표준화 활동 등에 필요한 지원을 할 수 있음”도 명시되어 있어 파리협약 등에서 세워진 국제협약과 탄소 국경세에 대한 대응방안 마련이 가능하다. 이 외에도 농업농촌 및 식품산업 기본법 47조에서는 “국가와 지방자치단체는 지구 온실가스 감축 등에 필요한 정책을 세우고 시행해야 함”을 명시하여 탄소저감 기여에 국가와 지방자치단체의 역할을 강조하고 있다. 2021년 5월 통과된 국가재정법 개정안에는 “온실가스 감축에 미칠 영향을 미리 분석한 온실가스감축인지

Table 3 Example of a benefit of no explicit environmental target, but indirect positive impact “Development of barley with pest resistance”

Total GHGs ^a	Indirect Contribution ^b	Reduction target ^c	Discount rate ^d	Success rate ^e	Carbon credit ^f	Carbon reduction benefits ^g
31.52×10 ⁹	0.0004	20	1	39.5	0.022.8	199.5127.86

^a Total GHGs in barley production (kgtonCO₂e)
^b Indirect contribution rate of pesticide reduction in barley production (%)
^c Reduction target of the pesticide use by developing new barley (%)
^d Discount rate of time to achieve the goal (%)
^e Success rate of the R&D (%)
^f Carbon credit price (million10 thousand wonKRW/kgtonCO₂e)
^g Carbon reduction benefits by multiply (a×b×c×d×e×f) (million10 thousand KRW)

보고서 (온실가스감축인지 예산서)와 “예산이 온실가스를 감축하는 방향으로 집행되었는지를 평가하는 보고서 (온실가스감축인지 결산서)”를 제출해야 함을 명시하고 있다. 그러나 2021년 5월 통과된 국가재정법 개정안에는 구체적인 적용방법과 운용계획이 공개되지 않아 구체적인 대응안 마련이 어렵다는 문제점이 있다. 하지만 해당 법안에서 온실가스감축인지 예산서에 포함되어야 할 요소들 (온실가스 감축에 대한 기대효과, 성과목표, 감축효과분석 등이, 온실가스감축인지 결산서에는 집행실적, 온실가스 감축 효과분석 및 평가 등)은 분명히 언급하고 있어 해당 항목들에 대한 탄소저감 평가 도구의 필요성은 충분히 나타나 있다.

Jeong et al. (2017)은 매년 국가단위에서 산정하는 농업부문의 온실가스 산정방법에 따라 GHG를 산정하여 산정방법에 따라 배출량의 편차가 발생하는 것으로 나타나는 결과를 통해, 방법론의 개선의 측면에서 불확도를 저감할 수 있는 효과 외에 개선 전에 산정된 결과의 신뢰성 결여 등에 대한 부정적인 효과를 고려하여야 한다고 지적하였다. 이에 국가연구개발사업의 탄소저감효과를 평가할 수 있는 확실한 방안은 LCI를 통한 전과정평가이지만, 도입까지의 기간을 고려했을 때 오랜 기간이 투여되어야 하는 LCI 구축 및 이용의 즉각적인 활용은 어려울 수 있다. 이에 국내 한국생산기술연구원의 국가 LCI, 국립농업과학원의 농업 부문 LCI 등과 국외의 Federal LCA Commons, Ecoinvent 등 이미 구축된 국내외 LCI DB를 선제적으로 활용할 수 있다. 또한 새로운 제품 혹은 프로세스, 요소에 대한 LCI 데이터가 없을 경우에 해당 원료의 대표협회나 연구소에서 제시하고 있는 탄소배출계수 등을 이용하여 간접적으로 대략의 탄소배출량을 추정할 수 있다. 필요에 따라 전문가들의 의견을 바탕으로 하는 미래가치 기대사업법의 평가 방식을 이용할 수 있다. 향후 국내 사정에 맞는 LCI DB를 점진적으로 구축하기 위하여 국가연구개발사업에서 자주 사용하는 항목 DB에 대해 우선순위를 정해 LCI를 구축함으로써 국내 LCI로 교체해나가는 방식을 고려해볼 수 있다. 또한 농업부문의 탄소배출량에 대한 변화를 반영할 수 있도록 지속적으로 LCI DB에 대해 신규 데이터를 업데이트 하고 유지·관리할 필요가 있다. 이와 같이 우선적으로 해외 LCI를 이용한 탄소저감 평가 및 탄소저감 비용편익 분석의 도입하고 LCI 사용정보가 축적됨에 따라 자주 이용되는 LCI 항목의 국내화, 탄소저감 비용편익 분석 요소 및 변수값 조정 등을 고려해 볼 수 있다.

본 연구에서 제시한 탄소저감 기여도 평가법은 국가연구개발사업 예비타당성조사를 참고하여 개발함에 따라 추후 필요에 따라 일부 항목의 변경이 필요하다. 예비타당성 결과는 사업 시행여부와 사업비의 적절성 등에 대한 의사결정을 위해

유용하게 이용될 수 있도록 사업계획의 충실성, 우수성, 타당성 등에 대한 정보와 판단근거를 담을 수 있어야 한다 (KISTEP, 2020). 이에 맞게 탄소저감 기여도 평가법 역시 탄소저감에 따른 비용과 편익을 정량적으로 반영할 수 있도록 구성하였다. 평가에 이용되는 변인은 데이터의 부족으로 현실의 정확한 반영이 어려울 수 있으므로, 향후 관련 데이터가 축적됨에 따라 탄소저감의 편익을 정확히 산정할 수 있도록 수정될 여지가 있다.

V. 결론

본 연구에서는 농업분야의 탄소인지예산제도 도입을 위해 국내외의 탄소인지예산제도에 대하여 고찰하고 탄소저감 관점에서 국가연구개발사업을 분류하였으며, 농촌진흥청에서 수행하는 연구개발사업의 탄소저감 기여도 평가법을 적용하여 기여도 평가법의 효율성 및 타당성을 검토하고자 하였다.

연구개발사업의 탄소저감 기여도 평가는 아직 이루어지지 않은 연구목표와 연구예산 등을 바탕으로 탄소저감에 대한 기여를 평가해야 하므로 실질적인 탄소저감 값을 추정하기가 쉽지 않으므로 기존의 연구개발사업의 예산과 연구성과를 통한 편익을 바탕으로 사업의 사전경제성 분석 체계를 준용하였다. 농업분야 국가연구개발사업 중에서 직접 탄소저감 효과 사업과 간접 탄소저감 효과 사업, 그리고 미래가치 영향 사업에 대한 예시를 통해 탄소저감 기여도 평가법을 제안하였다.

탄소저감 기여도 평가법을 통해 산정된 비용과 편익 및 각종 수치들은 연구자의 주장으로 이해하는 것이 타당하다. 그럼에도 불구하고 농촌진흥청 농업과학기술 연구개발 운영규정에 따라 과제기획위원회의 운영 단계에서 기대효과, 성과목표 등을 검토하므로, 이 과정에서 감축효과분석 검토를 위해 탄소저감 기여도에 대한 평가 수행이 가능하다. 따라서 본 탄소저감 기여도 평가법은 연구기관 내에서 연구개발사업의 사전경제성 뿐만 아니라 온실가스 감축인지예산을 위한 탄소저감 기여도에 대한 기초 방법론으로 활용할 수 있을 것이라 사료된다.

감사의 글

본 연구는 2021년 농촌진흥청 국립농업과학원의 연구비 지원에 의해 수행한 연구결과입니다 (과제명: 농업분야 탄소저감 기여도 평가제도 도입 타당성 조사).

REFERENCES

1. Axel Michaelowa, 2021. The Glasgow Climate Pact: A Robust Basis for the International Climate Regime in the 2020s, *Intereconomics*, 56(6): 302-303. doi:10.1007/s10272-021-1004-7.
2. Chen, J. M., 2021. Carbon neutrality: toward a sustainable future. *The Innovation* 2(3). doi:10.1016/j.xinn.2021.100127.
3. Choi, M. H., E. J. Choi, S. L. Lee, H. S. Gwon, H. S. Lee, J. M. Lee, Y. K. Lee, J. S. Lee, and S. S. Kang, 2021. The performance of low-carbon agricultural and livestock product certification system in 2020. In *Pro. Korean Society of Soil Science and Fertilizer Conference*. Available at: <https://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE10674328>. (in Korean).
4. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), "EX-ACT". Available at: <https://www.fao.org/in-action/epic/ex-act-tool/suite-of-tools/ex-act/en/>
5. France Government, 2019. Green Budgeting: proposition de methode pour une budgetisation environnementale. 2019.9. Available at: <https://cgedd.documentation.developpement-durable.gouv.fr/notice?id=Affaires-0011438>
6. France Government, 2020. Report on the Environmental Impact of the Central Government Budget. 2020.9. Available at: <https://www.budget.gouv.fr/>
7. Garnik Gondjian and Cédric Merle, 2020. France maps green and brown expenses over 2021 budget proposal – auspicious developments for climate change mainstreaming and sustainable finance. NATIX, Oct 2020. Available at: <https://gsh.cib.natixis.com/our-center-of-expertise/articles/france-maps-green-and-brown-expenses-over-2021-budget-proposal-auspicious-developments-for-climate-change-mainstreaming-and-sustainable-finance>
8. Heo, K. S., 2021. Introduction and Application of the GHG Budget System, Monthly Public Finance Forum, June_Vol.300, Korea Institute of Public Finance. Available at: <https://repository.kipf.re.kr/handle/201201/7571> (in Korean).
9. Hong, S. K., 2020. A Comparative Study on Top-down and Bottom-up R&D. Korea Institute of Science and Technology Evaluation and Planning. Available at: https://kistep.re.kr/reportDownload.es?rpt_no=RES0220200182&seq=res_0026P@2 (in Korean).
10. IPCC, 2022. Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Cambridge University Press. In Press. Available at: <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-working-group-ii/>
11. Jeong, H. C., E. J. Choi, J. S. Lee, G. Y. Kim, and S. I. Lee, 2017. The analysis of differences by improving GHG emission estimation methodology for agricultural sector in recent 5 years. *Journal of Climate Change Research* 8(4): 347-355. doi:10.15531/KSCCR.2017.8.4. 347. (in Korean).
12. Korea Energy Agency (KEA), 2021. The introduction of the 'carbon border tax' between the EU and the United States is being promoted. KEA Energy Issue Briefing No. 157. Available at: http://www.energy.or.kr/web/kem_home_new/energy_issue/mail_vol157/pdf/issue_260_02_02.pdf (in Korean).
13. Korea Institute of Science and Technology Evaluation and Planning (KISTEP), 2020. Detailed guidelines for conducting preliminary feasibility studies on national R&D projects. Available at: https://www.kistep.re.kr/reportDetail.es?mid=a10305040000&rpt_no=RES0220220053 (in Korean).
14. BlackRock, 2022. BlackRock's 2030 net zero statement, Sustainability At BlackRock. Available at: <https://www.blackrock.com/corporate/about-us/our-2021-sustainability-update/2030-net-zero-statement>
15. Lee, C. K., J. H. Park, and H. R. Park, 2021. Trade law analysis and implications for Korean industry on the EU carbon border adjustment mechanism. *World Economy Today*, 21(15). Available at: https://www.kiep.go.kr/gallery.es?mid=a10102020000&bid=0003&act=view&list_no=9664 (in Korean).
16. Ministry Concerned, 2021. 2030 NDC(Nationally Determined Contribution). 2021.10.18. Available at: https://www.2050cnc.go.kr/flexer/view/BOARD_ATTACH?storageNo=174 (in Korean).
17. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA), 2020. Agriculture, Food and Rural Affairs Statistics Yearbook. No. 11-1543000-000261-10. (In Korean)
18. Ministry of Environment, 2020. Future blueprint for climate crisis response, 2050 carbon neutral vision confirmed, press release. 2020.12.15 (in Korean).
19. Moon, J. Y., Na, S. K., Lee, S. H., and Y. M. Kim, 2018. Investment in International Infrastructure for Climate Change and Policy Issues in Korea 18(7). Korea Institute for International Economic Policy. Available at: https://www.kiep.go.kr/gallery.es?mid=a10101010000&bid=0001&act=view&list_no=2352&cg_code=C03 (in Korean).

20. Moon, J. Y., Na, S. K., Oh, T. H., Lee, S. H., and Y. M. Kim. 2020. Major issues and implications of the international community on the green deal in Europe. *World Economy Today* 20(8). Korea Institute for International Economic Policy. 2020.3.5. Available at: https://www.kiep.go.kr/gallery.es?mid=a10102020000&bid=0003&act=view&list_no=3446&cg_code= (in Korean).
21. National Institute of Agricultural Sciences (NIAS), 2017. Assessment of Carbon Basic Unit and DB Development with Agro-materials. Rural Development Administration (RDA), doi:10.23000/TRKO201700006320. (in Korean).
22. National Institute of Agricultural Sciences (NIAS), 2020. Assessment of Carbon Emission and LCI DB Development. Rural Development Administration (RDA). Available at: <https://atis.rda.go.kr/rdais/rsrchReportInfo/rsrchReportInfoDetail.vw> (in Korean).
23. OECD, 2020. OECD Green Budgeting Framework, Available at: <http://www.oecd.org/environment/green-budgeting/OECD-Green-Budgeting-Framework-Highlights.pdf>
24. OECD, 2021. Green Budget Tagging: Introductory Guidance & Principles, OECD Publishing, Paris. p16. doi:10.1787/fe7bfcc4-en. Available at: <https://www.oecd.org/gov/budgeting/green-budget-tagging-fe7bfcc4-en.htm>
25. Oslo, 2019. Climate Budget: Chapter 2. Oslo City Government's budget proposal 2020 with appendices. Available at: <https://www.klimaoslo.no/wp-content/uploads/sites/88/2019/12/Climate-Budget-2020-Oslo.pdf>
26. Park, C. D. and S. Y. Han, 2022. Government Research and Development (R&D) Budget : FY 2022. Korea Institute of Science and Technology Evaluation and Planning. Available at: https://www.kistep.re.kr/board.es?mid=a10305080000&bid=0002&act=view&list_no=42679&tag=&nPage=1 (in Korean).
27. Rural Development Administration (RDA), 2021. 'Discussion on the Establishment of Action Plan for Major Tasks in Agriculture for Carbon Neutrality, (Rural Development Administration: 2021)
28. So, K. H., Park, J. A., Lee, G. Z., Ryu, J. H., Shim, K. M., and Roh, K. A. 2010. Estimation of carbon emission and application of LCA (Life Cycle Assessment) from barely (*Hordeum vulgare* L.) production system. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*, 43(5): 722-727.
29. Son, W. L., J. S. Lee, S. H. Seol, S. C. Jung, J. S. Lee, and S. T. Lim, 2019. Analysis of greenhouse gas emissions for domestic pesticide product based on life cycle assessment. *Journal of Climate Change Research* 10(4): 361-370. doi:10.15531/kscsr.2019.10.4.361. (in Korean).
30. Statistics Korea, 2022. Crop Production Survey. Available at: https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT_1ET0232
31. The Republic of Korea, 2021. Policy Briefing Report: 2050 Establishing Milestones for Carbon Neutrality, (Ministry of Environment: 2021) Available at: <http://me.go.kr/home/web/board/read.do?boardMasterId=1&boardId=1483250&menuId=10525> (in Korean)
32. The Seoul Institute, 2021. A Study on the Introduction of the Climate Budget System in Seoul. Seoul. Available at: <https://opengov.seoul.go.kr/scholarship/23877183> (in Korean).
33. UNDP, 2019. Knowing What You Spend: A guidance note for governments to track climate change finance in their budgets. Climate Change Financing Framework Technical Note Series. Available at: <https://www.undp.org/publications/knowing-what-you-spend-guidance-note-governments-track-climate-change-finance-their>
34. UNDP, 2021. A Methodological Guidebook: Climate Public Expenditure and Institutional Review(CPEIR). Available at: <https://www.climatefinance-developmenteffectiveness.org/topic/climate-public-expenditure-and-institutional-review-cpeir>
35. UNFCCC, 2021. Climate Neutral Now: Guidelines for Participation. Available at: <https://unfccc.int/climate-action/climate-neutral-now>
36. United States Department of Agriculture (USDA), "COMET Farm", Available at: <https://comet-farm.com>
37. World Bank, 2021. Climate Change Budget Tagging: A Review of International Experience. 2021.2. doi: 10.1596/35174.