

통계자료를 활용한 국내 과수 농산물의 전과정평가 연구

이지선*† · 정순철** · 노훈*** · 최종화* · 전미령**** · 최은정*****

*에코네트워크(주) 컨설팅부문 선임연구원, **에코네트워크(주) 컨설팅부문 부문장, ***에코네트워크(주) 컨설팅부문 팀장,

****에코네트워크(주) 컨설팅부문 주임연구원, *****국립농업과학원 농업환경부 기후변화평가과 연구사

Study on the Life Cycle Assessment of Domestic Agricultural Products (fruits) Using the Statistics Data

Lee, Ji Seon*† · Jung, Soon Chul** · Noh, Hun*** · Choi, Jong Hwa* · Jeon, Mi Ryeong**** and Choi, Eun Jeong*****

*Consultant, Consulting Division, Econetwork., Ltd, Sunnam, Korea

**General Manager, Consulting Division, Econetwork., Ltd, Sunnam, Korea

***Team Leader, Consulting Division, Econetwork., Ltd, Sunnam, Korea

****Consultant, Consulting Division, Econetwork., Ltd, Sunnam, Korea

*****Researcher, Department of Agricultural Environment, RDA, Wanju, Korea

ABSTRACT

Purpose the main object of this study is to analysis of domestic agricultural product cultivation through the LCA (life cycle assessment). The subject of study of study is 16 kinds of fruit agricultural products, which is the group with the highest number of certified acquisitions in the 'low-carbon agriculture certification system'. The functional unit is defined as 'Agricultural products (fruit) cultivation area (10 a, 1,000 m²)' and statistics data from Rural Development Administration's 'Agricultural and livestock income data book' were collected for LCA study. The results of Greenhouse Gas emission for 17 kinds of agricultural products (fruits) are as follow, tangerine (open field) 417 kgCO₂eq./10a, tangerine (rain shelter) 1,027 kgCO₂eq./10a, japanese apricon (open field) 344 kgCO₂eq./10a etc. Using the results of this study, a comparative analysis was conducted between the standards for certified emissions by agricultural products(national average carbon emissions) used in the 'low-carbon agriculture certification system'. As a result, it was confirmed that the rate of change from about 3 to 101% compared to the existing value was shown by fluctuation of agricultural materials such as fertilizer and energy and using the latest LCI database. Accordingly, the incompleteness of the LCA due to the absence of related statistics and research data was confirmed, along with the need to secure the representativeness of the sample and the update of the applied LCI database. In line with the international trend of the need for supply chain management for carbon neutrality and product production, continuous research is needed to improve the methodology for calculating the environment of the agricultural sector, which is the basis of the national industry.

Key words: Agriculture, Greenhouse Gas, Global Warming, Life Cycle Assessment

1. 서론

산업혁명 이후로 전 세계는 화석연료의 무분별한 사용에 따른 기후변화(Climate Change) 및 지구온난화(Global Warming)의 위기에 당면해 있다. 최근 세계기상기구(WMO; World Meteorological Organization)에서 발표한 「2021 글로벌

기후 현황 보고서」에 따르면 2020년 기후변화의 심각성을 보여주는 글로벌 기후 지표(Global Climate Indicator) 중에서 온실가스 농도, 해수면 상승, 해수 온도, 해양 산성도가 작년 기준으로 역대 최고치를 기록하였다(WMO, 2022). 환경부에서 발간한 「한국 기후변화 평가보고서 2020 - 기후변화 영향 및 적응」에 따르면, 기후변화에 따라 침엽수림이 특히 취약할 것이

†Corresponding author : jslee@econetwork.com (660, Daewangpangyo-ro, Bundang-gu, Seongnam-si, Gyeonggi-do, Korea. Tel. +82-70-8822-0247)

ORCID 이지선 0000-0003-4429-8788
정순철 0000-0002-0666-7178
노 훈 0000-0002-5688-9940

최종화 0000-0001-5907-4643
전미령 0000-0002-8737-0420
최은정 0000-0001-9535-612X

며, 65세 이상 노인이나 만성질환자, 사회경제적 상태가 낮은 인구 집단에서 폭염으로 인한 사망자 증가와 기상재해 발생에 대해 더 취약하다는 결론에 견고한 수준의 동의를 나타냈다(The Ministry of Environment, 2020).

이와 같이 기후 및 환경문제에 대한 인식은 점차 높아지고 있으며 기후변화에 관한 유엔 기후협약(UNFCCC; United Nations Framework Convention on Climate Change)을 중심으로 기후변화 위기 극복을 위해 전 세계가 함께 노력하고 있다. 우리나라에서도 국가 온실가스 감축목표(NDC; Nationally Determined Contribution)를 현행 2018년 대비 26.3% 감축에서 40%(’30년 배출량 436.6 백만톤) 감축으로 대폭 상향한 NDC를 2021년 12월 유엔기후변화 사무국에 제출하였다. 이를 위해 지난 2022년 3월 26일 「탄소중립 녹색성장기본법」이 제정되어 산업, 전환, 폐기물, 건물 등 각 부처별로 탄소중립을 위한 대응 마련이 활발히 이뤄지고 있다.

이에, 실질적인 탄소중립 실현을 위하여 기존의 사업장 중심의 탄소배출량 관리에서 제품 중심의 탄소배출량 관리가 주목받고 있으며 이에선 전과정평가(LCA; Life Cycle Assessment) 방법론이 있다. 전과정평가는 제품 또는 시스템의 원료취득, 제품제조, 수송, 사용, 폐기단계 모든 과정에 걸쳐 원료(resource) 및 에너지(energy) 사용과 이로 인한 대기, 수계, 토양으로의 환경 부하량을 정량화하고 환경에 미치는 영향을 평가하는 기법이다.

이러한 전과정 관점(Life cycle perspective) 및 전과정평가 방법론을 활용한 인증제도로 국내에는 산업, 임업, 농업부문 별로 관련 제도가 운영되고 있으며, 현재 농업부문에서는 자발적인 온실가스 감축의 노력이 반영되어 있다고 볼 수 있다. 산업부문에서는 의료기기 및 의약품, 1차 농축수산물 및 임산물 등을 제외한 일반 산업부문에서는 환경부의 ‘환경성적표지제도’가 운영중에 있으며, 임업 부문에서는 목재 자체에서 가지고 있는 이산화탄소 저장량에 제품 생산 시의 온실가스 배출량을 뺀 실제 순(純) 탄소저장량을 인증하는 ‘탄소저장량 표시제도’가 있다. 농업부문에서는 대표적으로 ‘저탄소 농축산물 인증제도’가 있으며 이는 저탄소 농업기술을 적용하여 농축산물 생산 전과정에서 필요한 에너지 및 농자재 투입량을 줄이고, 온실가스 배출을 감축한 농산물에 인증을 부여하는 제도이다. 2012년부터 2016년까지의 시범사업을 거쳐 2017년 본사업을 실시된 이후 2022년 1월 기준 5,753농가(798건), 6,751ha가 인증을 취득하였다(KOAT¹⁾, 2022).

본 연구에서 다루고자 하는 농업부문의 탄소배출량 산정은

‘저탄소 농축산물 인증제’의 산정방법론을 활용하였다. 이는 전과정평가 방법론에 기반한 제도로써, 과수, 채소, 식량, 특용약용, 임산물 부문 61개의 농산물의 국가 평균 온실가스 배출량보다 인증을 신청하는 품목의 온실가스 배출량이 적을 경우 인증마크가 부여된다. 현재 활용하고 있는 농산물의 국가 평균 온실가스 배출량은 2009년부터 2012년까지의 통계 데이터를 기반으로 한 농촌진흥청의 연구개발 결과로 제정되었다. 그러나 이는 10여 년 이상 된 통계자료를 활용하고 있기에 현재 시점의 재배 기술 및 현황이 반영되어 있지 않다.

이 때문에 ‘저탄소 농축산물 인증제’ 및 농산물의 국가 탄소배출량에 대한 신뢰도 및 정확도 향상을 위해 주요 농산물의 탄소배출량 재산정이 필요한 실정이다. 이에 본 연구에서는 최신의 통계 및 방법론을 활용하여 국내의 과수 농산물에 대한 탄소배출량을 재평가하였다.

2. 본론

2.1. 산정방법론

전과정평가(LCA; Life Cycle Assessment)는 제품 전과정에 걸쳐 제품 시스템의 투입물, 산출물 그리고 제품시스템의 잠재적 환경 영향을 집계하고 평가하는 기법으로(ISO, 2006b), 국제표준(International Standard)에 규격화되어있다. LCA 연구 수행절차는 다음과 같이 4단계로 구성되어 있다(ISO, 2006a).

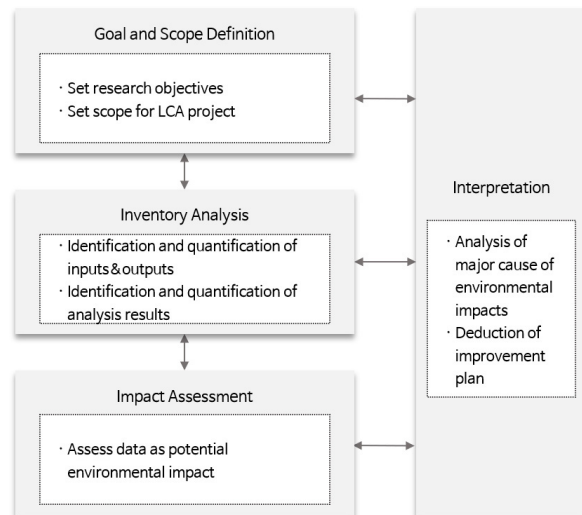


Fig. 1. Life cycle assessment framework

1) KOAT : Korea Agriculture Technology Promotion Agency

2.1.1. 목적 및 범위 정의(Goal and Scope Definition)

- 연구의 시스템 경계 및 상세 수준을 포함하는 적용 범위는 연구의 목적과 의도된 활용에 따라 달라질 수 있으므로, 연구의 수행 목적 및 산정 범위를 정의하는 절차를 의미한다.
- 제품 시스템을 정의함으로써 데이터 수집범위를 지정하는 절차이다.

2.1.2. 전과정 목록분석(Life Cycle Inventory Analysis)

- LCA의 두 번째 단계로써, 전과정에 걸친 제품 시스템의 투입·산출물을 정량화하여 기능단위 기준으로 모든 데이터를 계산하는 절차이다.
- 연구에 필요한 데이터 수집과 검증, 기능단위 기준으로의 데이터 환산과정과 함께, 이를 토대로 전과정 목록 및 영향평가 결과 도출 과정을 포함한다.

2.1.3. 전과정 영향평가(Life Cycle Impact Assessment)

- 전과정 목록분석 결과를 활용하여 잠재적인 환경영향을 평가하는 단계로써, 환경에 미치는 영향 정도를 정량적으로 추산하여 시스템이 환경에 미치는 영향을 종합적으로 평가하는 절차이다.
- 전과정 영향평가는 목록분석 결과에 대하여 분류화(Classification), 특성화(Characterization), 정규화(Normalization), 가중치 부여(Weighting)의 단계를 걸쳐 수행된다.
- 분류화는 목록분석 결과로 도출된 투입물, 산출물들을 해당 영향범주에 연결시키는 과정이다. 분류화 결

과는 LCA 방법론별, 영향범주별 출처로 하는 근거 자료에 따라 상이할 수 있다.

- 특성화는 각 영향범주별로 이전 단계의 결과에 따라 분류된 목록(inventory)이 야기하는 환경영향을 정량화한다. 이에는 목록항목별 기여도를 특성화시켜주는 특성화 인자(characterization factor)를 정량화하는 수단으로 사용한다.
- 정규화는 제품 시스템의 영향범주별 도출된 특성화 값을 동일한 정규화 기준값으로 표현하는 과정이다.
- 가중치 부여는 영향범주별 상대적 중요도를 부여하고 평가하는 과정이다.
- 다만 특성화 이후의 정규화 및 가중치 부여 시의 ‘정규화 기준값’과 ‘영향범주별 상대적 중요도 가중치’는 주관성이 반영되는 절차이기에 선택적으로 수행된다.

2.1.4. 전과정 해석(Life Cycle Interpretation)

- 전과정 영향평가의 결과에 대하여 완전성, 민감도, 일관성 검사로 주요 이슈를 도출하는 절차이다.
- 위의 분석들을 토대로, 제품환경 개선 가능성 또는 이해관계자와 의사소통하기 위한 주요 환경성 정보를 제안함으로써 전과정평가 수행 목적에 맞는 결론을 도출한다.

전과정평가 4가지 단계는 Fig. 1에서 확인할 수 있듯 각 단계별 절차 진행이 양방향으로 연결되어 있다. 이는 각 단계는 상호보완적 관계를 가지며, 전과정평가의 수행에 따라 서로 영향을 미치며 보완되기도 함을 의미한다.

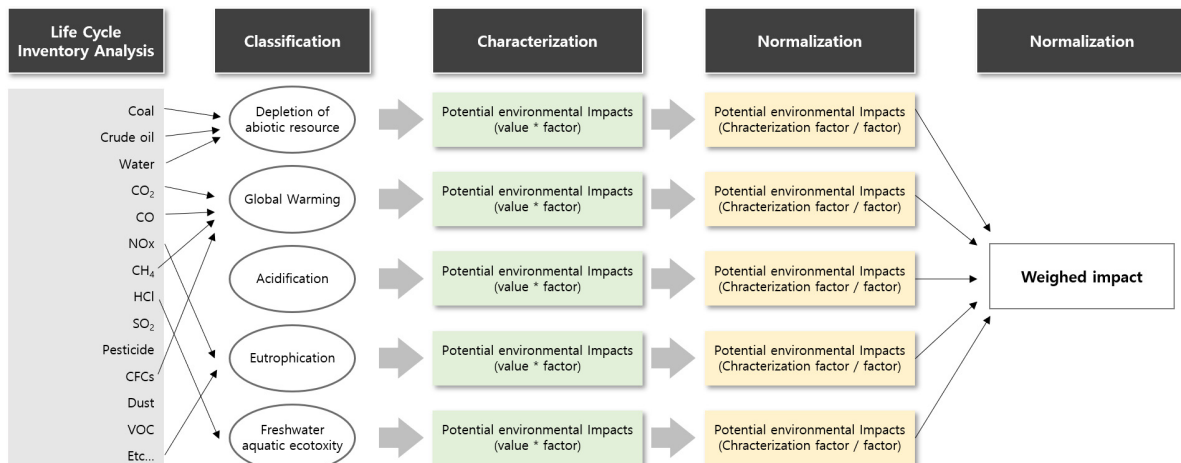


Fig. 2. Framework between impact and LCIA (APEC, 2004)

2.2. 사전검토

최신의 통계를 활용한 국내 주요 농산물의 탄소배출량 재산정을 위하여, 기존의 ‘저탄소 농축산물 인증제’에서 활용하고 있는 농산물의 탄소배출량 산정방법론 및 현황을 점검하였다.

아래의 그림과 같이 ‘저탄소 농축산물 인증제도’는 2012

년 시범사업 이후, 2021년까지 지속적으로 인증건수(number of certification)과 인증농가수(number of farmer), 인증면적(area of certification)이 지속적으로 증가하고 있음이 확인된다. 또한, 식량, 과수, 채소, 특용, 임산물 품목군 중에서도 특히 과수 품목군에서 전체 인증건수의 66%를 차지하며 가장 인증취득 건수가 많은 것으로 확인된다.

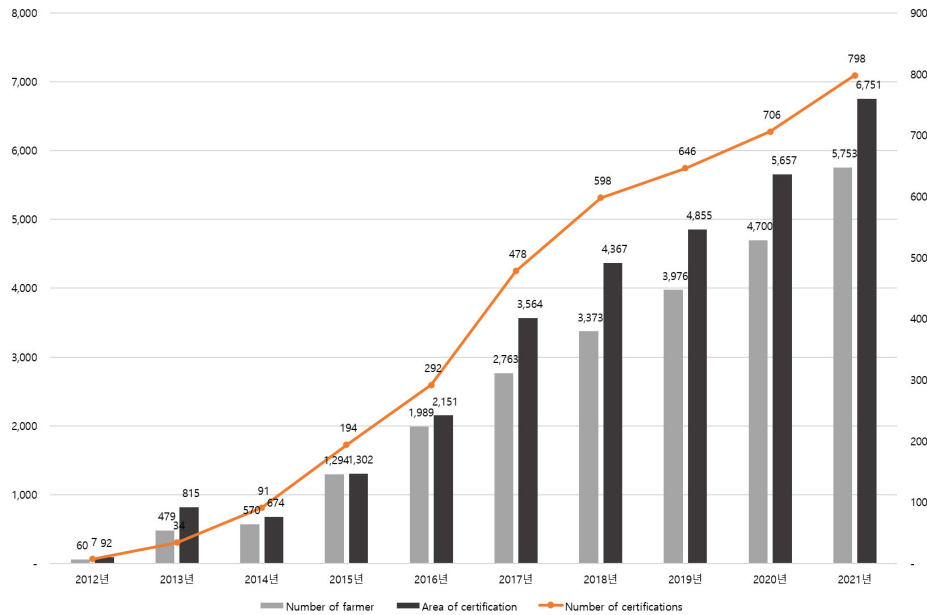


Fig. 3. Status of 2021 ‘low-carbon agriculture certification system’ (Lee et al., 2021; KOAT, 2021)

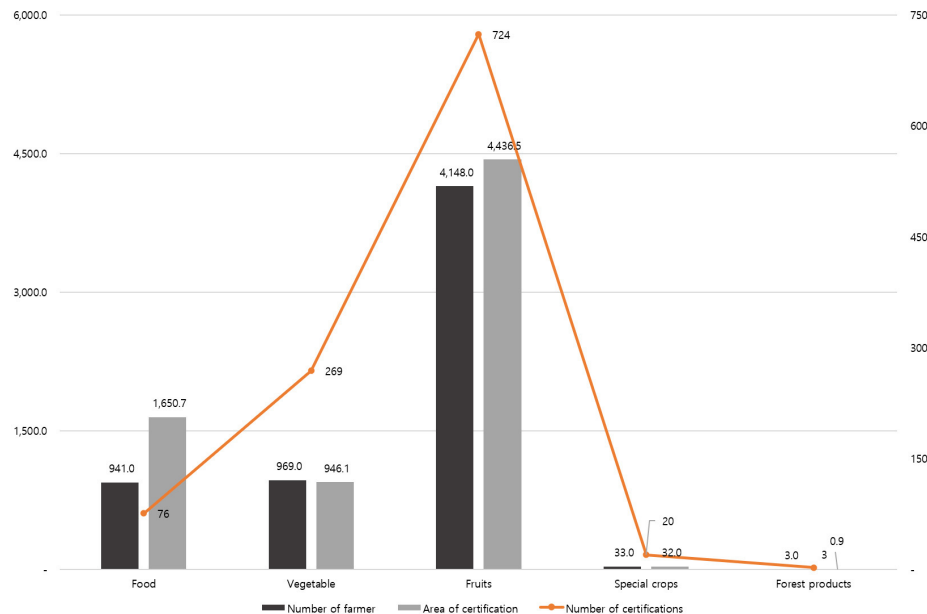


Fig. 4. Number of certification cases by agricultural products group

Table 1. Subject to 'low-carbon agriculture certification system'

Group	Agricultural item
Grain (7)	Rice, potato, sweet potato, wheat*, barley, corn, soybean
Vegetable (28)	Egg plant, pepper, sweet pepper, carrot, perilla leaf, strawberry, garlic, melon, radish, minari*, cherry tomato, chinese cabbage, chinese chive, broccoli*, lettuce, ginger, watermelon, spinach, cabbage, onion, lotus root*, cucumber, colored sweet pepper, oriental melon, chwinamul*, tomato, green onion, pumpkin
Fruit (15)	Sweet persimmon, blueberry*, late maturing citrus, tangerine, japanese apricot, fig*, pear, korean raspberry, peach, apple, citron, kiwi fruit, plum, cherry, grape
Special crops (9)	Green tea, oyster mushroom, oyster mushroom, deodeok, peanut, king oyster mushroom, button mushroom, schisandra fruit, panax ginseng, sesame
Forest products (2)	Jujube*, chestnut*

* Newly added items subject to certification (2020, 12)

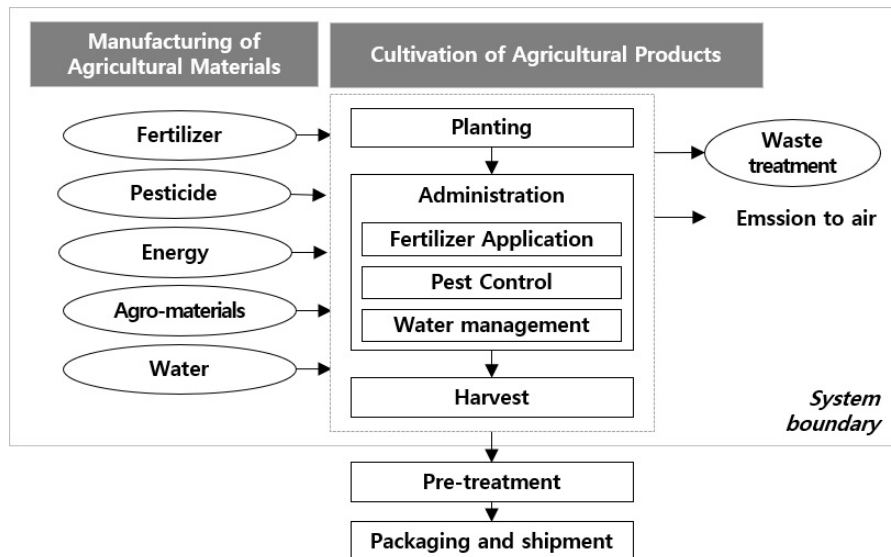


Fig. 5. Process flow diagram of agricultural products (KOAT, 2020)

2020년 12월 기준으로, ‘저탄소 농축산물 인증제’ 인증 대상으로는 식량 부문 7개 품목, 채소 부문 28개 품목, 과수 품목 15개 품목, 특용·약용작물 9개 품목과 임산물 부문 2개 품목까지 총 61개 품목에 대한 국가 평균 탄소배출량이 산정되어 있다(KOAT, 2021).

‘저탄소 농축산물 인증제도’의 경우 전과정평가(LCA) 방법론을 활용하고 있으며, 농산물 생산의 전과정 중 농자재 제조단계(Manufacturing of agricultural materials)와 농산물 생산단계(Cultivation of agricultural products)만을 산정에 포함하고 있다. 농자재 생산단계는 농산물 생산에 사용되는 농자재를 생산하는 활동으로써, 농자재로는 비료, 작물보호제, 에너지, 기타자재가 있다. 농산물 생산단계에는 정식·파종, 비료 사용 등 농산물을 생산하는 활동과 농산물 예냉,

사용된 농자재의 폐기활동 등이 포함된다(KOAT, 2020).

단, 상기 그림에서 확인할 수 있듯, 농산물 수확 이후의 포장, 출하 단계와 농막, 저장창고 등의 비상설 건축물, 농기계의 제작과정 등은 산정범위인 시스템경계에서 제외한다.

3. 연구 수행

3.1. 연구 범위 및 연구대상

3.1.1. 연구범위

본 연구에서는 농산물 생산의 전과정단계 중 및 위 사전연구 결과를 반영하여 농자재 제조단계 및 농산물 생산단계까지에 대한 전과정 영향평가의 특성화 결과도출까지를 연구범

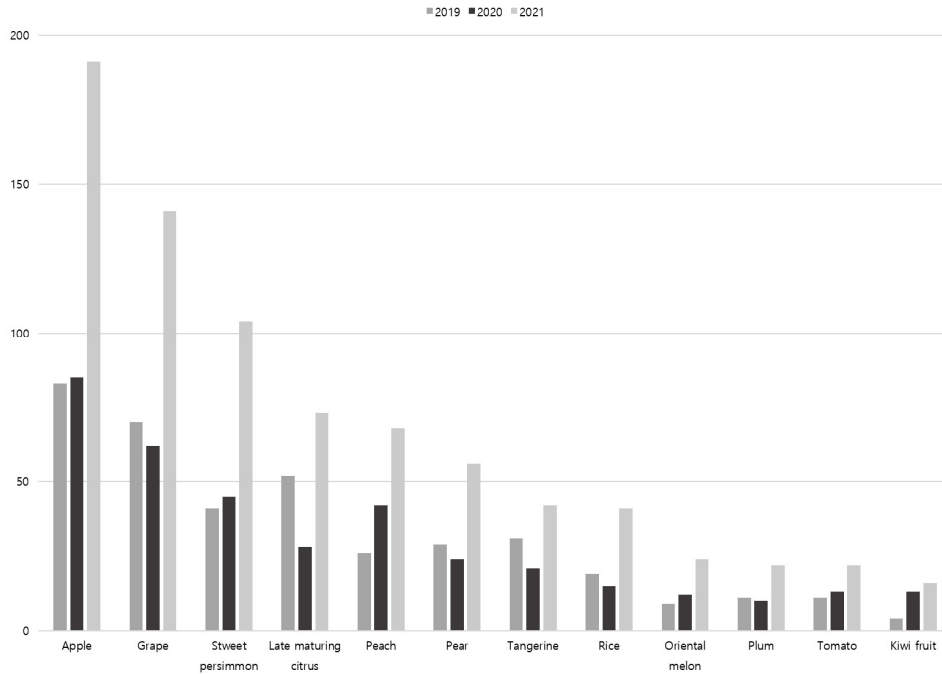


Fig. 6. Status of top items for certification acquisition (2019 ~ 2021)

위로 설정하였다. 유사 연구사례와의 비교분석을 위하여 ‘지구온난화(Global Warming)’를 대상 영향범주로 지정하였다.

3.1.2. 연구대상

2021년 현재, 저탄소 농축산물 인증제도에서 취급하고 있는 농산물은 61개 품목이다. 본 연구의 연구대상 설정을 위하여 ‘저탄소 농축산물 인증제’에서의 최근 3개년(2019 ~ 2021) 세부품목별 인증취득 현황을 다음과 같이 확인하였다.

2019년부터 2021년까지의 인증취득 확인결과, 밀감, 단감, 만감류, 배, 복숭아, 사과, 포도, 벼, 토마토 9개 품목의 인증취득이 지속해서 인증 수가 높았으며, 총 11개 품목 중 9개 품목이 모두 과수 품목군에 해당함을 확인하였다. 3개년 인증취득 과수 품목군의 평균 인증비율이 72%로써 인증비율이 가장 높으므로 과수 품목군을 탄소배출량 재산정 대상으로 선정하였다.

3.2. 연구 목적 및 범위

3.2.1. 연구 목적

본 연구에서는 최신의 통계자료를 기반으로 농산물의 생산에 대한 전과정평가를 수행하여, 지구온난화 영향범주에 대한 환경부하를 분석하고자 한다. ‘저탄소 농축산물 인증제도’

에서 활용 중인 주요 농산물별 국가 평균 탄소배출량 기준과 본 연구에 따른 탄소배출량을 비교함으로써, 국내 농산물의 전과정 산정방법론에 대한 개선점을 도출함에 목적을 두었다.

3.2.2. 기능 및 기능단위

본 연구의 대상의 기능은 농업에 의해 생산된 산물로서, 과수 원물 또는 농산물 가공품 등의 식품 원료물질로써의 농산물로 정의하였다. 연구대상의 산정 기준이 될 기능단위는 사전연구에서 언급한 ‘저탄소 농축산물 인증제도’의 기준을 참조하였으며 이에 따른 본 연구의 기능(Function)과 기능단위(Functional unit), 기준흐름(Reference flow)은 다음과 같이 정의하였다.

Table 2. Scope definition

Function	Agricultural products as food raw ingredient such as fresh fruits or processed products
Functional Unit	Agricultural products (fruit) cultivation area (10 a, 1,000 m ²)
Reference Flow	Agricultural products (fruit) production per cultivation area (kg/10a)

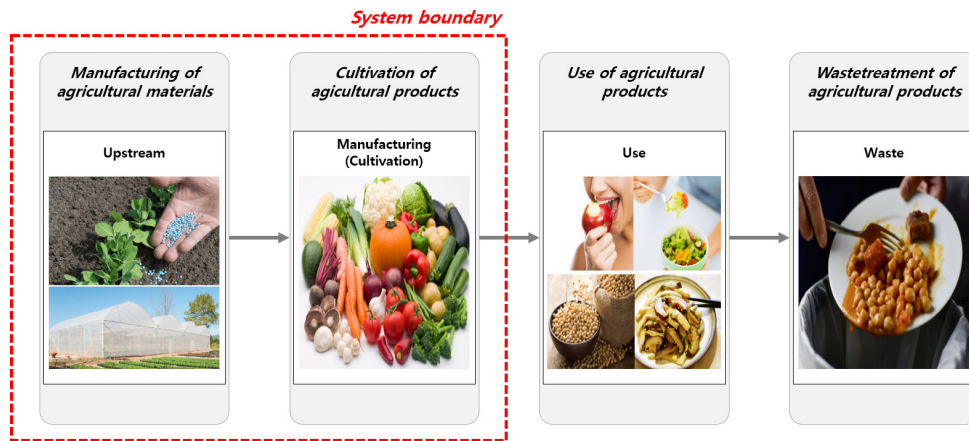


Fig. 7. System boundary of agricultural products

3.2.3. 시스템경계

상기 산정대상의 기능을 정의한 바에 따라, ‘식품원료’로서의 농산물에 대한 기능을 고려하여 최종소비자에게 까지 유통되는 과정과 사용단계, 섭취 후 폐기되는 단계는 연구범위에서 제외하였다. 본 연구에서 대상으로 하는 시스템경계는 Fig. 7과 같다.

3.2.4. 데이터 범위

본 연구에서 고려하는 데이터 범주는 원부자재, 에너지, 제품, 대기배출물, 수계배출물 및 폐기물로 구분하며, 각 데이터 범주별 투입물과 산출물은 Table 3과 같다.

Table 3. Data inventory summary

Category		Source
Input	Raw material	Fertilizer, pesticide, agricultural material
	Energy	Electricity, diesel, kerosene, heavy fuel, gasoline, LPG
Output	Product	Agricultural product (fruits)
	Emission to air	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O, etc.
	Emission to water	PO ₄ ³⁻ , etc.
	Solid waste	Waste of agricultural material

3.2.5. 데이터 품질

본 연구에서의 데이터는 통계데이터와 국가 및 해외 LCI 데이터베이스로 구분되며, 시간적 범위는 참조문헌에 따라, 농작물의 전과정평가의 경우, 기후, 병해충 등 수년간의 재배 조건 변동과 관련된 농작물 수확량 차이를 평준화해야 하는 것

으로 명시되어 있다(EU Commission, 2020). 이에 평균 대비 이상치를 보이는 값에 대한 보정을 위하여 2015년부터 2018년까지 5년간의 데이터를 확인하였다. 지역적 범위는 대표성이 전제된 전국단위의 ‘농축산물소득자료집’을 수집을 제1원칙으로 하였다. 다만 일부 품목에 대하여, 전국적 생산 데이터가 미비한 경우 지역 단위의 데이터를 수집하였으며, 복수의 지역 데이터 활용 시에는 지역 데이터 간 가중치 부여를 위해 지역별 재배면적에 따른 가중평균값을 활용하였다. 본 연구에서 적용된 데이터 품질요건은 다음과 같이 정의하였다.

Table 4. Data quality of inventory

Category	Upstream	Manufacturing (cultivation)
Time-related quality	Most recent data	Annual data for 5 years (2014 ~ 2018)
Geographical quality	National, global data	National data
Technical quality	-	Domestic cultivation process

3.3. 전과정 목록분석

3.3.1. 데이터 수집

농산물이라는 제품의 특성상, 농가별 현장데이터의 관리 미흡 및 대표성 있는 결과도출의 어려움을 고려하여 농산물 생산단계의 데이터는 실제 농가별 현장데이터가 아닌 국가 통계자료인 ‘농축산물소득자료집’을 기반으로 수집하였다. 국가 통계자료는 전국 기준의 데이터를 수집하였으며, 전국 데이터가 없는 일부 품목의 경우, 지역별 데이터를 수집하였다.

◦ 제조전단계 : 농자재 생산단계
 상위흐름 즉, 비료를 비롯한 작물보호제, 에너지, 기타 자재별 생산 데이터는 해당 투입물별 국내와 해외의 LCI 데이터베이스를 활용하였다.

◦ 제조단계 : 농산물 재배단계
 과수 재배에 관련 데이터는 국가 ‘농축산물소득자료집’을 확인하였다(Rural Development Administration, 2014 ~ 2018). 이는 우리나라 전체의 작물별 재배면적 및 농가수 정보를 제공하는 통계청 출처의 농림어업총조사(Census of agriculture, forestry and fisheries) 시 설계한 표본추출

틀을 기반으로 하므로, 국가 기준의 통계적 유의성을 가지는 표본에 대한 통계자료를 활용하였다고 판단한다.

◦ 사용·폐기단계
 기능 및 시스템경계 정의 결과에 따라, 사용 및 폐기단계는 산정에서 포함하지 않았다.

상기 데이터범주별 적용한 LCI 데이터베이스는 농촌진흥청과 환경부, 산업통상자원부(舊 지식경제부)에서 구축한 데이터베이스를 활용하였다. 국내 LCI 데이터베이스가 구축되지 않은 항목에 대해서는 국내 환경성적표지 및 LCA 수행 연구에서 다수 활용되고 있는 Ecoinvent의 LCI 데이터베이스를 사용하였다.

Table 5. Result of data collection

Life cycle phase	Input & Output		Data Source			LCI database	
			Site	Cal.*	Est.*	Reference	Year
Upstream	Fertilizer	Manure compost		V		-	-
		Mixed dregs		V		RDA**	2014
		Straw		V		-	-
		Compound fertilizer		V		RDA**	2009
		Urea		V		ME**	2003
		Potassium chloride		V		ME**	2003
		Potassium sulfate		V		RDA**	2009
		Calcium carbonate		V		ME**	2003
	
	Pesticide	Growth regulator		V		RDA**	2019
		Insecticide		V		RDA**	2019
		Fungicide		V		RDA**	2019
		Herbicide		V		RDA**	2019
	Energy	Electricity		V		MOTIE*	2000
		Diesel		V		MOTIE*	2001
		Kerosene		V		MOTIE*	2006
		Gasoline		V		MOTIE*	2001
		LPG		V		MOTIE*	2006
		Heavy fuel		V		ME*	2018
	Agricultural material	Reflective film		V		MOTIE*	2001
		Plastic vinyl		V		ME*	2001
...		
...	
Manufacturing	Vinyl	Landfill-waste plastic		V		ME	2015
		Incineration-waste plastic		V		ME	2015
		Recycle-waste plastic		V		ME	2015

* Cal. : Calculation | Est. : Estimation
 ** RDA : Rural Development Administration
 MOTIE : The Ministry of Trade, Industry & Energy
 ME : The Ministry of Environment

3.3.2. 데이터 계산

전국이 아닌 지역 통계데이터 합산 시 지역별 기후조건 등이 상이하기 때문에 이를 반영하기 위하여 지역별 재배면적을 기준으로 가중평균하였다. 또한, 투입되는 에너지의 연소에 의한 대기배출물 직접배출량 산정은 IPCC 2006 Guideline과 배출권거래제 등 국가 관련 제도에서 활용하고 있는 사항을 반영하여 산정하였다(ME²⁾, 2022). 지구온난화에 영향을 미치는 CH₄와 N₂O의 지구온난화지수(GWP; Global Warming Potential)는 전 세계적으로 널리 사용되며 비교 대상인 ‘저탄소 농축산물 인증제도’가 적용하고 있는 IPCC Forth Assessment Report (AR4) 문서를 활용하였다.

4. 결과 및 고찰

전과정평가의 최종 결과로써, 농산물 생산에 대한 잠재적 환경영향을 정량적 수치로 도출하기 위하여 국내 환경부에서 개발한 TOTAL 소프트웨어를 활용하였다. 간접 환경부하를 고려하여 위하여 국·내외 LCI 데이터베이스를 연결하였으며, 직접 환경부하는 상기 절에서 언급한 데이터 계산에 따라 입력하였다. 전과정 목록분석(Life cycle inventory analysis)과 분류화(Classification)와 특성화(Characterization)을 위한 최종 연산 과정은 전적으로 전문 소프트웨어를 활용하여 발생할 수 있는 휴먼 에너지를 최소화하였다.

Table 6. Result of characterization

Agricultural product	Existing value (kgCO ₂ eq./10 a)	Newly calculated value (kgCO ₂ eq./10 a)	Percentage change
Tangerine (open field)	406	417	3%
Tangerine (rain shelter)	510	1,027	101%
Japanese apricot (open field)	363	344	-5%
Sweet persimmon (open field)	510	658	29%
Apple (open field)	818	867	6%
Citron (open field)	688	640	-7%
Pear (open field)	1,014	1,146	13%
Peach (open field)	577	643	11%
Plum (open field)	555	641	16%
Grape (open field)	571	791	39%
Kiwi fruit (open field)	791	1,061	34%
Korean raspberry (open field)	598	552	-8%
Late maturing citrus (greenhouse, setoka)	3,916	4,350	11%
Late maturing citrus (greenhouse, hallabong)	5,121	5,404	6%
Grape (greenhouse)	7,217	5,405	-25%
Tangerine (greenhouse)	35,673	31,212	-13%

2) ME : The Ministry of Environment

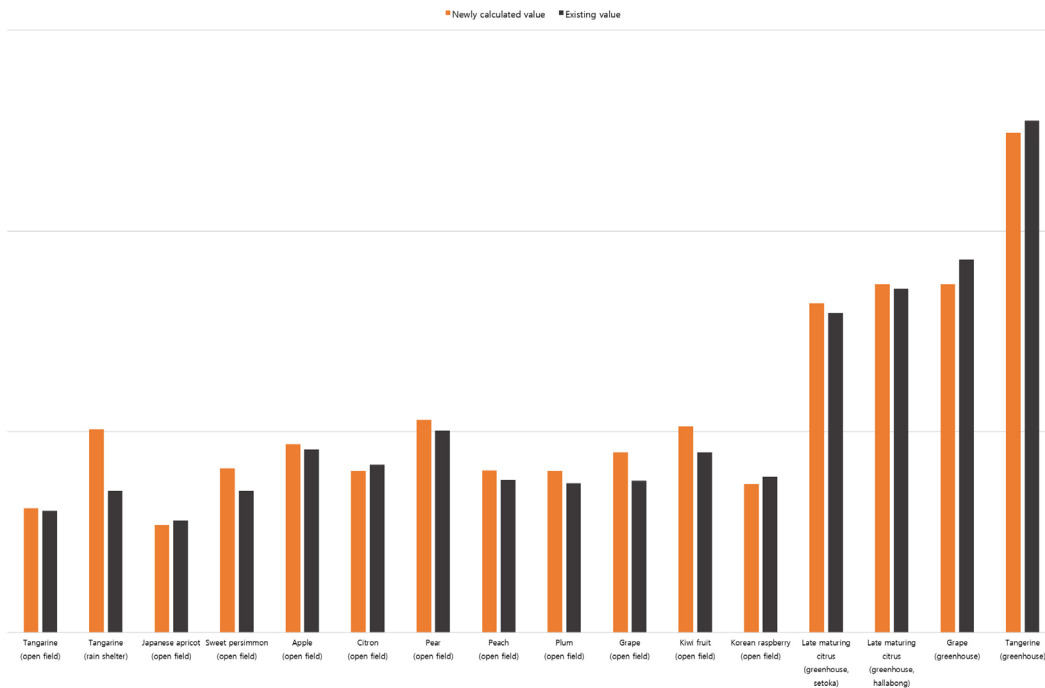


Fig. 8. Comparison of results

4.1. 과수 농산물의 환경부하 산정

과수 농산물을 재배하는 면적(1,000 m², 10 a)을 기준으로 계산된 특성화 값은 Table 6과 같다. 좌측 열의 값은 ‘저탄소 농축산물 인증제도’ 내에서 활용하고 있는 현재 국가 평균 탄소배출량 기준값이며, 우측 열은 본 연구의 결과로 도출된 탄소배출량 값이다. 증감률은 기존의 값을 기준으로 확인하였다.

기존의 ‘저탄소 농축산물 인증제도’ 내 탄소배출량을 기준으로 본 연구결과와의 배출량 증감률을 분석하였다. ±10% 이상의 증감률을 보이는 품목은 전체 16개 품목 중 밀감(비가림), 단감(노지), 배(노지) 품목 등 10개 품목이 이에 해당한다.

기존 대비 배출량이 증가한 품목의 경우에는 전기, 유류, 작물보호제(생장조절제)의 사용량 증가에 따른 배출량 차이가 도출되는 것으로 확인되었다. 반면 배출량이 감소한 품목의 경우에는 주로 유류 사용량이 감소한 경우가 이에 해당하였으며, 특히 전기 사용량은 증가하였더라도 유류 사용량이 감소하여 최종적으로 전체 배출량이 감소한 경우가 확인되었다. 이에 는 국가

통계 수집의 기초가 되는 표본추출틀의 변경이 이와 연관이 있다고 판단된다. ‘저탄소 농축산물 인증제’의 배출량 및 본 연구의 기초자료로는 농촌진흥청 출처의 ‘농축산물소득자료집’에 따른 농가 통계자료를 활용되었다. 농촌진흥청의 기본 표본추출틀은 통계청의 ‘농림어업총조사’를 출처로 하며, 이는 조사대상 작물 및 지역별 재배면적 및 농가수 변동사항 반영을 목적에 따라 5년 주기로 표본이 갱신된다(KOSTAT³⁾, 2021). 이 농림어업총조사의 표본추출틀은 2010년, 2015년, 2020년 농림어업총조사에 포함된 농가를 기준으로 익년에 표본설계를 개편된다. 이와 같은 시점별 표본의 변화는 영농자재 투입량과 이에 따른 농산물 생산에 대한 탄소배출량에 영향을 주는 것으로 확인되었다. 또한, 생장조절제, 살균제, 살충제 등의 작물보호제의 경우, 2019년 농촌진흥청에서의 연구사업 결과에 따라, 국내의 작물보호제 생산 현황을 반영한 국가 LCI 데이터베이스가 개발되어 이를 적용한 사실과 함께 비료 등의 항목에서 최신의 LCI 데이터베이스를 적용함이 탄소배출량 변화에 기여하였다.

3) KOSAT : The Ministry of Statistics Korea

5. 결론

5.1. 통계 표본의 설계

‘저탄소 농축산물 인증제’에서 활용 중인 농산물의 국가 평균 탄소배출량은 농촌진흥청의 ‘농축산물소득자료집’의 농가경영 통계자료를 기반으로 구축되었으며, 이는 통계청의 표본 추출틀을 활용한다. 통계청 표본추출틀은 목표오차별 필요 표본수, 농업총조사 농가수 및 재배면적, 지역별 면적 비율, 단위면적당 소득 등을 고려하여 표본수를 결정하고, 재배면적이 시군까지 나와있는 농식품부 농업경영체 DB 재배면적을 활용하여 지역별 표본수를 배분하게 된다(RDA⁴⁾, 2020). 통계청 및 농촌진흥청의 표본추출틀 변경에 따라 품목별 투입물량 데이터가 흔들리게 됨에는 전국 통계자료에 대한 대표성 확보에 대해 의문을 던질 수 있다. 통계청의 표본설계 시의 고려 변수로써 재배유형(노지, 비가림, 시설 등), 재배작형(축성, 반축성 등) 등 농가별 탄소배출과 관련한 변수 등 다각면에서 함께 고려하여, 보다 대표성 있는 표본 설계방안을 개편할 필요가 있을 것으로 사료된다.

Table 7. The sampling number of surveyed agricultural income (RDA, 2018)

Object of investigation	Sampling number	Object of investigation	Sampling number
Apple	136	Sweet Persimmon	65
Pear	140	Kiwi	65
Peach	124	Blueberry	90
Grape (open field)	135	Japanese apricot	51
Tangerine (open field)	54	Grape (green house)	62

* It means the total number of cultivated farms regardless of cultivation type or cropping pattern

5.2. 데이터베이스의 최신성 확보

전세계적으로 신기후 패러다임으로 탄소중립(Carbon neutral)이 부각됨에 따라, 2020년 기준 미국, 중국, 일본, 유럽연합 등 128개국에서 탄소중립을 선언하였으며 더 나아가

유럽연합과 미국의 탄소국경조정메커니즘(CBAM; Carbon Border Adjustment Mechanism)을 도입을 눈앞에 두고 있다. 이러한 국제적 동향을 반영하여 기존의 사업장 중심의 탄소 관리에서 제품 중심의 탄소관리체계로 확대되고 있다. 이는 곧 제품에 대한 환경성적 산정에 대한 수요 증가를 불러왔으며 제품 환경성적 산정의 기본이 되는 국가별 LCI 데이터베이스에 대한 제·개정 요구로 이어졌다. 이에 환경부에서는 국제 탄소규제 대응 전략으로써, 2022년부터 2024년까지 매년 150건, 2025년에는 250건, 2026년부터 2030년까지는 매년 300건의 LCI 데이터베이스 구축 계획을 수립하여 관련 연구가 진행 중이다. 또한, 농촌진흥청에서도 농업부문의 전과정평가 수행 및 유관 제도의 고도화를 위하여 LCI 데이터베이스 구축 연구가 진행되고 있다. 현재의 저탄소 농축산물 인증제도 내 농산물별 국가 평균 탄소배출량 기준값은 과거 시점의 탄소 배출계수를 활용하여 산정되었다. 이에, 이러한 국가적 규모의 LCI 데이터베이스 개편 움직임에 발맞추어 기 산정되었던 주요 농산물의 탄소배출량 산정결과가 업데이트 될 필요가 있다고 사료된다.

5.3. 농산물 탄소배출량 산정 한계

농산물이라는 제품의 특성상 기존 전과정 탄소배출량 산정방법론에 대한 불완전한 사항에 대한 보완이 필요할 것이다. 현재 산정방법론에는 영농자재의 수송과 용수 사용량, 토지이용(land use) 등 대한 데이터확보가 어려워 산정에서 제외되어있다. 또한, 농산물 재배에 따른 수확 후 잔사물의 재활용과 식물의 광합성에 따른 탄소 흡수량이 고려되어있지 않다. 해외의 농산물 탄소배출량 산정연구 및 LCI 데이터베이스에서는 산정의 기준이 되는 기능단위가 중량 기준(kg)으로 정의되어있는 반면, 국내의 농산물 탄소배출량 산정은 주로 면적 기준(10 a)으로 산정되어 있다. 산정에 활용된 통계자료가 면적 기준으로 데이터가 정리되어있기 때문이며, 이는 원료물질로써 사용되는 농산물의 탄소배출량을 식품업계에서 활용 시의 용이성이 떨어지므로 이에 대한 개선이 필요하다. 단순히 제품의 생산 제품단을 넘어 공급망 측면의 전과정에 걸친 탄소배출 현황 분석의 필요성이 대두됨에 따라, 식품 등 다양한 산업에서 원료물질로써 사용 중인 농산물의 탄소배출량 산정이 중요해질 것이다. 이에 따라, 산정방법 상 불완전 사항에 대한 제반연구를 통하여 농업 분야의 기후변화 대응 역량 강화를 도모할 필요가 있다고 사료된다.

4) RDA : Rural Development Administration

사사

본 결과물(논문)은 농촌진흥청 연구사업(공동연구번호 : PJ014797042022)의 지원에 의해 이루어진 것입니다.

References

- Asia-Pacific Economic Cooperation, Ministry of Trade, Industry and Energy. 2004. The practice guidelines of ISO 14040 series.
- EU Commission. 2020. Guide for EF Compliant Data sets.
- IPCC. 2006. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (2).
- IPCC. 2007. IPCC Forth Assessment Report (AR4).
- ISO. 2006a. ISO 14040:2006 Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework.
- ISO. 2006b. ISO 14044:2006 Environmental management - Life cycle assessment - Requirements and guidelines.
- Lee CS, Yang HM. 2021. A Study on Consumers' Purchasing Behavior and Perception of the Low-carbon Certificated Agricultural Products.
- Korea Agriculture Technology Promotion Agency. 2022. Statistics for Low-Carbon Agriculture Certification System. <http://www.smartgreenfood.org>
- Korea Agriculture Technology Promotion Agency. 2021. Details of the Certification Target.
- Korea Agriculture Technology Promotion Agency. 2020. General Guideline for Calculating GHG Emissions of Agricultural Products.
- Rural Development Administration. 2020. 『Agricultural and livestock income data book』 Statistics Report.
- Rural Development Administration. 2014. Agricultural and livestock income data book.
- Rural Development Administration. 2015. Agricultural and livestock income data book.
- Rural Development Administration. 2016. Agricultural and livestock income data book.
- Rural Development Administration. 2017. Agricultural and livestock income data book.
- Rural Development Administration. 2018. Agricultural and livestock income data book.
- The Ministry of Environment. 2022. Guidelines for Reporting and Certification of Emissions of Greenhouse Gas Emissions Trading System.
- The Ministry of Statistics Korea. 2021. Results of the 2021 Agricultural Survey Sample Reorganization.
- The Ministry of Environment. 2020. Korean Climate Change Assessment Report 2020.
- WMO. 2022. State of the Global Climate 2021.