

유기농자재의 탄소배출량 산정을 위한 전과정평가(LCA)* -패화석, 팽연왕겨, 보르도액을 중심으로-

윤성이** · 양동욱***

Life Cycle Assessment(LCA) for Calculation of the Carbon Emission Amount of Organic Farming Material -With Oyster-shell, Expanded Rice Hull, Bordeaux Mixture Liquid-

Yoon, Sung-Yee · Yang, Dong-Wook

Since 1997, Korean Ministry of Knowledge Economy and Ministry of Environment have established data on some 400 basic raw and subsidiary materials and process like energy, petro-chemical, steel, cement, glass, paper, construction materials, transportation, recycling and disposal etc by initiating establishment of LCI database. Regarding agriculture, Rural Development Administration has conducted establishment of LCI database for major farm products like rice, barley, beans, cabbage and radish etc from 2009, and released that they would establish LCI database for 50 items until 2020 later on. The domestic LCI database for seeds, seedling, agro-chemical, inorganic, fertilizer and organic fertilizer etc is only at initial stage of establishment, so overseas LCI databases are brought and being used. However, since the domestic and overseas natural environments differ, they fall behind in reliability. Therefore, this study has the purpose to select organic farming materials, survey the production process for various types of organic farming materials and establish LCI database for the effects of greenhouse gas emitted by each crop during the process. As for selecting methods, in this study organic farming materials were selected in the method of direct observation of material and bottom-up method a survey method with focus on the organic farming materials admitted into rice production. For the basic unit of carbon emission amount by the production of 1kg of organic farming material, the software PASS 4.1.1 developed by Korea Accreditation Board under Ministry of Knowledge Economy was used. The study had the goal to ultimately provide basic unit to calculate carbon emission amount

* 이 논문은 농진청 “국내유기농업분야 LCI D/B 구축 및 탄소원단위 산정연구”에 의하여 이루어졌음.

** Corresponding author, 동국대학교 식품산업관리학과(syyoon@dongguk.edu)

*** 동국대학교 식품산업시스템전공

in executing many institutions like goal management system and carbon performance display system etc in agricultural sector to be conducted later on. As a result, emission basic units per 1kg of production were calculated to be 0.04968kg-CO₂ for oystershells, 0.004692kg-CO₂ for expanded rice hull, and 1.029kg-CO₂ for bordeaux mixture liquid.

Key words : *carbon emission amount, emission basic unit, organic farming material, target management system, carbon performance display system*

I. 서 론

지구온난화 규제와 방지를 위한 국제협약인 교토의정서가 2차 공약기간 개시를 앞두고 있다. 우리나라는 아직까지 법적 의무에 대해 부담하고 있지 않으나 OECD회원국으로서 멕시코와 더불어 온실가스 감축 압력을 받고 있으며, 앞으로 2차 의무감축 대상국이 될 가능성이 높다. 이에 따라 정부는 온실가스 감축과 더불어 신 성장 동력을 위한 정책으로, 화석에너지 의존율을 줄이고 환경오염을 최소화하는 녹색기술, 녹색산업이 기반인 ‘저탄소 녹색성장’을 새로운 국가 비전으로 선언하였다. 또한 목표관리제 및 탄소배출을 위한 의무할당을 공시하고, 온실가스 거래제라는 이름으로 2015년 1월 1일 시행을 발표하는 등 온실가스 감축목표 달성에 부응하기 위한 실질적인 대응방안을 여러 분야에 걸쳐 시범사업 중에 있다.

현재 국내 친환경 유기농자재 산업은 점차 규모가 커지고 있으며, 앞으로 2020년엔 약 6조 6천억 규모로 현재 규모의 약 두 배에 이를 것으로 전망된다. 이에 따라 정부에서는 친환경농업 육성을 위해 2001년부터 5년마다 ‘친환경농업육성 5개년 계획’을 수립하여 추진하고 있으며 주요 사업으로는 친환경농업 기반구축사업, 친환경농업 직접지불제, 생물학적 병해충방제사업, 인력 육성 등의 친환경농업 인프라 구축, 환경친화적 자원관리 농법의 실천, 지역단위 자원순환형 농업시스템 정착 등에 노력하고 있다. 각 나라마다 정도의 차이는 있지만, 친환경 산업에 대한 관심은 일시적 유행이 아닌 전 세계인들의 근본적인 의식 변화이기 때문에 규모의 상승세는 앞으로 계속될 것으로 보인다. 그러나 국내에서는 1차 농산물, 농자재 등의 농업분야에 대한 기반이 부족한 결과로 식품분야의 탄소성적표지 등 농업 전반적인 정책 시행에 어려움을 겪고 있다. 따라서 향후 농식품 시장과 다양한 농업관련정책에서 사용할 수 있는 기본 LCI D/B를 계속하여 구축하는 것이 필요한 시점이다.

본 연구에서는 농업생산체계에 대한 전과정평가(LCA, Life Cycle Assessment) 적용을 위하여 각종 친환경 유기농자재에 대한 이산화탄소 배출 원단위를 구축하여 향후 시장과 다양한 정책에서 사용할 수 있는 기본 LCI D/B를 구축하고자 하는 것에 그 목적이 있으며, 나아가 각종 자재들에 대한 환경성을 LCI 프로그램을 통해 평가하고 그에 따른 탄소배출량을 산정함으로써 지속가능한 농업 시스템을 구축하는 데에 최종적인 의의가 있다.

II. 농자재 현황 및 관리

1. 국내 친환경 유기농자재 현황 및 관리

1) 친환경 유기농자재 현황

친환경 유기농자재란 원료가 천연에서 유래한 것으로서 화학비료와 유기합성농약 등 화학합성물질 혼입 및 주요제조공정이 화학적 공정을 거치지 아니한 자재¹⁾로서 친환경농산물 중 유기농산물 생산을 위해 사용이 가능한 자재를 말한다. 농촌진흥청에서 고시한 「친환경 유기농자재 목록공시기준」 제10조 규정에 따라 각 친환경 유기농자재의 종류를 구분해 놓은 것을 살펴보면 ㉠ 토양개량용 자재(토양에 시비하여 토양의 이화학적 성을 좋게 하거나 미생물의 활성화를 통하여 작물 생육에 간접적으로 효과를 주는 자재), ㉡ 작물생육용 자재(엽면 및 관주처리를 통하여 직접적으로 작물의 생육에 효과를 주는 자재), ㉢ 토양개량 및 작물생육용 자재(토양에 시비하여 토양의 이화학적 성 등을 좋게 할 뿐만 아니라 작물에 직접적으로 영양을 공급하는 자재), ㉣ 작물병해관리용 자재(물의 병을 직간접적으로 관리할 목적으로 사용하는 자재), ㉤ 작물충해관리용 자재(작물의 충을 직간접적으로 관리할 목적으로 사용되는 자재), ㉥ 작물병해충관리용 자재(작물의 병과 충을 동시에 직/간접적으로 관리할 목적으로 사용되는 자재), ㉦ 기타자재로 분류하고 있다.

2) 국내 유기농업 작물별 투입 농자재의 사용조건

농촌진흥청에 친환경 유기농자재의 사용조건을 살펴보면 총 89종의 사용가능한 유기농자재가 명시되어 있으며, 아래 표는 그 중 일부를 나타낸 표이다.

Table 1. Usage situation of organic materials²⁾

병해충 관리에 사용	
친환경 농자재	사용가능 조건
○ 해조류·해조류가루·해조류추출액·해수 및 천일염	○ 화학적으로 처리되지 아니한 것일 것
○ 구리염 ○ 보르도액 ○ 수산화동 ○ 산염화동 ○ 부르고뉴액	
○ 생석회(산화칼슘) 및 수산화칼슘	○ 보르도액 제조용에 한함

이하 생략

1) 친환경유기농자재 목록공시 기준 및 품질규격 제2조

2) 친환경유기농자재 제품의 공시 및 품질인증 등에 관한 세부실시요령(고시 제2012-22호)

토양개량 및 작물생육에 사용	
친환경 농자재	사용가능 조건
○ 짚, 왕겨 및 산야초	
○ 해조류, 해조류 추출물, 해조류 퇴적물	
○ 황산가리 또는 황산가리고토(랑베나이트 포함) ○ 석회소다 염화물 ○ 석회질 마그네슘 암석 ○ 마그네슘 암석 ○ 황산마그네슘(사리염) 및 천연석고(황산칼슘) ○ 석회석 등 자연산 탄산칼슘 ○ 점토광물(벤토나이트·펄라이트 및 제올라이트·일라이트 등) ○ 질석(풍화한 흑운모 ; Vermiculite) ○ 붕소·철·망간·구리·몰리브덴 및 아연 등 미량원소	○ 천연에서 유래하여야 하며, 단순 물리적으로 가공한 것에 한함. ○ 사람의 건강 또는 농업환경에 위해 요소로 작용하는 광물질(예 : 석면광, 수은광 등)은 사용할 수 없음.

이하 생략

3) 친환경 유기농자재 시장 현황

국내 유기농자재 생산업체는 약 1,300곳이 있고 이중 목록공시가 된 곳은 373곳(작물생육 335 곳, 병해충관리 81곳)이며 2012년 4월 27일을 기준으로 농진청에 공시되어 있는 친환경 유기농자재 목록은 토양개량용 자재 14건, 작물생육용 자재 323건, 토양개량 및 작물생육용 자재 494건, 작물병해관리용 자재 154건, 작물충해관리용 자재 265건, 작물병해충관리용 자재 25건으로 총 1275종이다. 이들 중 제품을 수출하는 곳은 25여 개사(약 500만불(추정))가 있고, 피마자박 등 유박원료(연 30만톤), 수입제품(약 500톤), 천연추출물 및 천연광물 원료(연 200톤)를 수입하고 있다.

Table 2. Yield and sales of organic materials

(단위 : 천 t)

종류	유기질 (유박)	부산물 (퇴비)	천적	미생물 (토양+농약)	천연추출물	목초액	유기상토	토양개량제	미량요소, 천연광물, 가능석	계
시장 규모	1,614 (364)	3,239 (3,343)	225 (0.4)	125 (0.33)	300 (0.7)	244 (14.1)	956 (552)	881 (232)	500 (1.3)	8,084 (4,508)

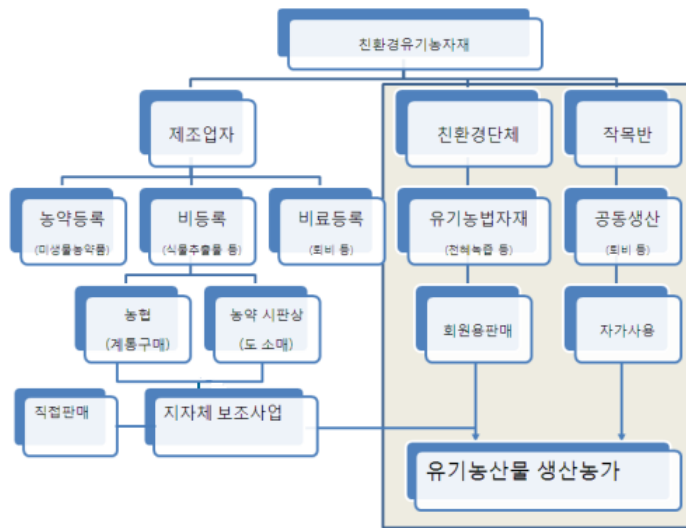
자료 : 농촌진흥청

4) 국내 친환경 유기농자재 유통시스템

국내 친환경 유기농자재의 판매 경로는 크게 제조업자, 친환경단체, 작목반의 3가지로

나눌 수 있다. 올해 3월부터 「친환경농업육성법」 제20조의 5제 1항에 따라 지정기준에 적합한 기관으로 친환경유기농자재 제품의 공시 및 품질인증기관이 농업기술 실용화재단, 강원대학교 산학협력단, 순천대학교 산학협력단 이상 3개의 기관으로 지정됨으로서 앞으로 친환경 유기농자재를 생산하는 데에 있어 유통구조가 점차 민원인의 편의성 제고와 산업 활성화 촉진 등의 성과를 기대하는 방향으로 바뀔 것으로 예상된다.

2. 국내 대표 유기농자재 선정



자료 : 농촌진흥청

Fig. 1. Organic materials circulation system.

본 연구에서는 주로 발작물에 쓰이는 유기농자재를 중심으로 패화석, 팽연왕겨, 보르도액 이상 3가지 유기농자재에 대한 탄소성적을 산정하였다. 각 기업의 제품마다 원재료와 부재료가 어떻게, 얼마나 혼합되느냐에 따라 적용되는 작물이나 종류의 경계가 조금씩 차이가 있으므로 각 선정대상의 연구 범위와 시스템 경계를 설정하였다.³⁾

3) 그 밖의 연구의 목적, 데이터 수집 및 분석 등에 관한 LCI D/B 구축 절차에 대해선 이 장에서 생략하도록 하겠음.

1) 연구 범위 정의

(1) 기능 및 기능단위 선정

Table 3. LCI D/B building function and functional units of selected organic materials

기능(function)	• 농작물의 성장 촉진 및 영양분 공급
기능단위(functional unit)	• 농작물의 성장 촉진 및 영양분 공급을 위해 사용되는 각 유기농자재 1kg
기준흐름(reference flow)	• 기능단위와 동일

(2) 시스템 경계 설정

Table 4. System boundary of selected organic materials

시간적 경계	• 2010년 ~ 2011년
공간적 경계	• 국내 시장점유율 상위업체들의 사업장
기술적 경계	• 현재 국내에서 상용화된 기술

Ⅲ. 국내 유기농자재 탄소 원단위 산정

1. 패화석

1) 패화석의 제조과정

분상비료 제조의 경우 패화석의 제조과정은 다음 제시된 Fig. 1과 같다. 수거된 굴 패각 중에 이물질 제거하여 원료로 쓰이는 물질을 선별하고 선별된 굴 패각을 투입 후 600℃에서 소성시킨다. 소성된 원재료를 냉각시키고 분쇄하는 과정을 거친 뒤 비료용, 사료용으로 선별하고 포장 및 적재하는 과정으로 공정을 마친다. 입상비료는 모든 공정과정 후에 혼합, 제조, 냉각과정을 거쳐 다시 입상비료로 제품화 된다.

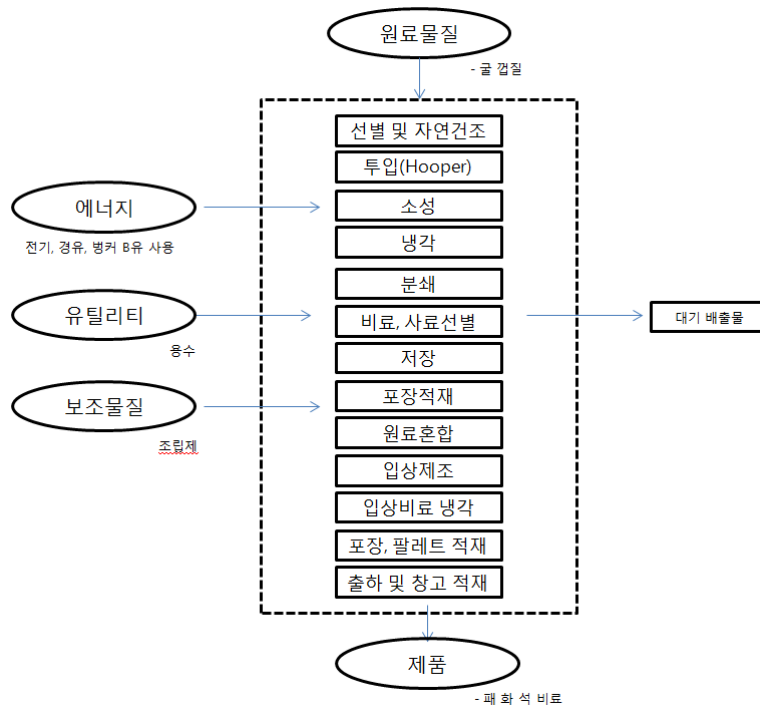


Fig. 2. Process tree of oyster-shell LCI D/B building.

2) 패화석의 특징 및 효과

패화석은 조개껍질이 퇴적되어 화석화된 것으로 채취한 원석을 체로 친 후 600℃ 이상의 온도에서 가열하여 건조, 분말화 시킨 것이다. 순도가 높은 것은 색상이 밝지만, 풍화가 덜 진행되었거나 토양 등의 이물질이 많은 것은 어두운 색을 띤다. 패화석의 주성분은 탄산칼슘이며 이중에 약 10%는 규산을 함유하고 있다. 산도는 처리하기 전에 pH 8.5이고 건조 상태의 것은 pH 8.8 정도로 알칼리성이다. 염기치환용량(CEC)은 4me로 작고 치환성 칼슘은 생석회에 비해 약간 높다. 패화석의 토양산도 교정능력은 탄산칼슘에 비해 반응시간이 길지만 생석회보다는 산도교정능력이 크다. 작물재배 과정에 패화석을 병용하면 토양산도 교정능력과 토양양분의 가급태화 효과가 있으며, 가축분뇨 발효 시 패화석을 넣어 발효시키면 유기물분해와 부숙 촉진의 효과가 있어 양질의 거름을 얻을 수 있다.

3) 패화석 생산에 따른 투입 및 산출요소

본 연구는 농촌진흥청에 친환경 유기농자재로 공시된 목록 중에 발농사에 주로 투입되는 농자재를 중심으로 하였으며, 시장점유율 상위 업체와 제품들을 대상으로 하였다. 패화석 생산에 사용되는 원료물질의 채취, 생산 단계를 포함하는 Cradle to Gate를 원칙으로 하였고, 시간·공간·기술적 경계는 각각 2010년에서 2011년의 걸친 기간 동안 국내 시장점유

을 수위업체들의 사업장으로 설정하고, 국내에서 상용화된 기술로 설정하였다. 데이터 수집 방식에 대해선 Bottom-up method⁴⁾를 통하여 직접 생산공장⁵⁾을 방문하여 조사, 관찰 이후 추가 필요 데이터를 추가방문, 전화, 팩스 등을 통해 보완하였다. 또한 Output으로 나오는 대기 배출물은 IPCC 배출계수를 적용하여 연료 연소에 의한 직접대기배출물을 계산하였다.

Table 5. Input and output data of oyster-shell

구 분		물질명	구 분		물질명
투입물 (Input)	원료물질	• 굴 껍질(oyster-shell)	산출물 (Output)	제 품	• 폐화석 비료
	보조물질	• 조립제		대기배출물	• CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O
	에너지	• 전기, 경유, 병커 B유		고형폐기물	
	유틸리티	• 물			

Table 6. Total input data of oyster-shell

폐화석	병커 사용량(L)	생산량(ton)	경유사용량(L)	전기사용량(kWh)
Total	227,068	10,522	34,402	979,164

4) 가정 및 제한사항

전체적인 연산은 PASS 4.1.16⁶⁾을 사용하였고 D/B를 적용시킬 경우에는 지식경제부, 환경부 순으로 하고, 공업용수가 사용될 경우에는 지역적 특성에 따라 환경부 D/B를 우선적으로 적용하였다. 또한 불가능한 항목에 대해서는 스위스의 ecoinvent 데이터베이스를 연결하고 폐화석 등 데이터베이스가 존재하지 않는 피라미터의 경우 상위흐름을 연결하여 환경영향을 파악할 수 없기 때문에 이를 elementary flow로 가정하여 향후 데이터베이스 구축시 적용할 수 있도록 하였다. 보조물질인 조립제의 경우 전체 제품에서 차지하는 비율이 3~4%이므로 Cut-off 방식⁷⁾을 적용 및 각 파라미터별 운송의 경우에는 주된 운송수단을 선택 하였다. 연료 사용으로 인한 직접대기배출물의 경우에는 일부를 제외한 나머지의 단위

4) 현장데이터, 설문조사 등을 통한 LCI 데이터 수집방법

5) 국가 전체 폐화석 생산량 중 30% 이상을 담당하는 회사를 대상으로 하였다(연간 생산량 3만ton 이상).

6) 지식경제부 산하 한국인정원에서 개발한 환경영향평가 소프트웨어(PASS)

7) 각각의 공정에서 발생하는 투입과 산출은 그 공정에 책임이 있다는 원리에 입각하여 다른 제품시스템과의 연관성을 무시하고 할당하는 방법

는 물질 kg, 에너지 kg, 전력 kWh로 통일하여 IPCC 배출계수⁸⁾를 통하여 도출하였으며, Main Flow의 값을 오차 없이 입력하고, 상위흐름과 하위흐름의 단위를 통일 시켜 프로세스의 오류를 방지하였다.

Table 7. Greenhouse gas emissions factor and LHV by sources of fuel

연료원	배출계수(kg/TJ)			저위발열량 (MJ/l, NM ³)
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	
경유	74,100	3.9	3.9	35.4
등유	71,900	3	0.6	35
중유	77,400	3	0.6	39.1
휘발유(이동연소)	69,300	33	3.2	31
가스(부탄/LPG)	63,100	1	0.1	45.7
천연가스	64,200	3	0.6	40
무연탄	98,300	1	1.5	19.3

5) 패화석의 탄소배출량 산정

앞서 얻은 전과정 목록분석 결과만으로는 비교대상이 되는 제품시스템의 특정일면, 즉 CO₂ 발생량이나 에너지 소모량 등에서의 우위만을 인지할 수 있을 뿐이고, 대상제품시스템 전체를 두고 환경적 우위를 평가하기는 곤란하다. 이러한 제품 시스템 차원의 비교우위를 가능하게 하는 것이 전과정 영향 평가이다. 전과정 영향평가는 전과정 목록분석 결과를 이용하여 잠재적인 환경영향을 평가하는 것을 목적으로 한다. 이 과정에서는 특정 환경영향과 목록항목을 연계시키고, 그 잠재적 영향을 정량적 또는 정성적으로 추산하여 주어진 대상 제품시스템이 환경에 미치는 영향을 종합적으로 평가하는 과정이다. 이때, 전과정평가의 다른 단계와 마찬가지로 영향 평가 역시 어떠한 환경 영향들을 연구에서 고려할 것인가, 영향 평가 방법론은 어떠한 방법을 선택할 것인가 등등을 LCA 수행자가 직접 선택해야 하며 이러한 선택은 목표 및 범위 정의에 명시되어야 하고 동시에 객관적으로 타당해야 한다. 영향 평가과정은 분류화, 특성화, 정규화, 가중치 부여 등의 주요한 과정을 포함하고 있으며 각각의 단계에 대해서는 뒤에서 설명될 것이다.

영향평가과정은 분류화, 특성화, 정규화, 가중치 부여 등의 주요한 과정을 포함하고 있

8) 온실가스 직접대기배출량(kg GHG) = 연료사용량(l/yr) × 저위발열량(MJ/l) × 단위전환계수(10⁻⁶) × 배출계수(kgGHG/TJ)

다. 분류화란 제품 시스템으로부터 배출되는 목록 항목이 어떠한 영향범주에 영향을 미치는가를 규명하여 정리해야 하는 과정이며, 특성화란 영향범주내로 분류된 항목들이 각각의 영향 범주에 미치는 영향을 정량화 하는 과정을 말한다. 이 두 가지 과정은 ISO 14040규정에 의한 의무규정이기도 하다. 정규화 과정은 일반적으로 가중치를 부여하기 위한 준비과정으로 영향범주에 지역경계에 해당하는 지역적, 시간적 경계 안의 총 환경영향으로 나누어 주는 과정으로 주로 적용되고 있다. 정규화 된 환경영향은 특정 영향 범주의 정규화 기준 값으로 제품 시스템의 특성화된 환경영향 값을 나눈 값이 된다. PASS에서 사용하는 방법론을 이용하여 패화석 10,522,000kg 생산에 따른 총 10가지 환경영향 범주에서 그 중 주요 6가지 영향을 나타낸 결과, 생산과정에 있어 지구온난화에 대한 영향이 4.968E-02로 가장 크고, 자원소모에 대한 영향이 7.702E-06으로 다음을 차지하고 있다.

Table 8. Environmental impact assessment of oyster-shell process

영향범주	영향평가결과	영향범주	영향평가결과
자원소모	7.702E-06	오존층파괴	4.207E-10
지구온난화	4.968E-02	부영양화	3.784E-09
산성화	4.705E-07	광화학산화물생성	1.372E-06

2. 팽연왕겨

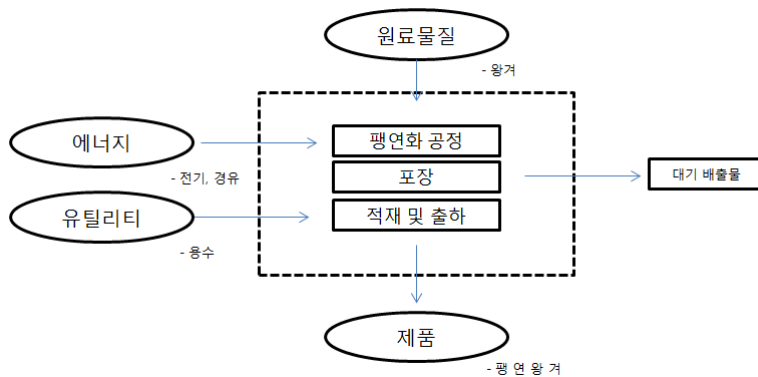


Fig. 3. Process tree of expanded rice hull LCI D/B building.

1) 팽연왕겨의 제조공정

팽연왕겨의 제조공정은 다음 Fig. 3과 같다. 원료 물질인 왕겨를 호퍼를 통해 팽연화 공정기에 투입시킨다. 투입된 왕겨는 팽연화 공정을 마친 후 300kg 단위의 포대에 포장이 포

장된 왕겨는 적재 및 출하 과정을 거쳐 공급처로 나가게 된다. 이 과정에서 사용되는 에너지는 전기와 경유가 쓰이고 조립제의 역할로 수분이 다소 투입된다.

2) 팽연왕겨의 특징 및 효과

팽연왕겨(수분 17.7%, 수분흡수율 268.8%, 용적중 235kg/톤, 회분 17.87%, 총에너지 3,700 cal)는 왕겨를 압축 팽창시켜 물성을 완전히 바꾼 것으로 일반왕겨(수분 13.7%, 수분흡수율 183.3%, 용적 중 104 kg/톤, 회분 14.46%, 총에너지 3,700cal)와 달리 수분흡수력이 월등히 높음은 물론 고온, 고압가공으로 잡초씨앗, 기생충 및 각종 균이 완전 사멸된 상태다. 팽연왕겨는 주로 유기질 성분(67% 이상)과 규산질 성분(8% 이상)으로 구성되어 있으며, 무게가 가볍고 가격이 저렴하여 취급이 용이하다. 특히 팽연왕겨의 규산질은 식물성으로 흡수성이 좋아 광물질 규산보다 효능이 뛰어나다. 팽연왕겨로 만들어진 유기질비료는 농토의 산성화 및 연작장해, 염류집적 등을 막아주는 완전 천연농자재이다.

3) 팽연왕겨의 투입요소

패화석의 경우와 같이 본 연구는 농촌진흥청에 친환경 유기농자재로 공시된 목록 중에 발농사에 주로 투입되는 농자재를 중심으로 하였으며, 시장점유율 상위 업체와 제품들을 대상으로 하였다. 물질의 구성요소 설정과 조사 방법은 패화석과 동일하다.

Table 9. Input and output data of expanded rice hull

구 분		물질명	구 분		물질명
투입물 (Input)	원료물질	• 왕겨	산출물 (Output)	제 품	• 팽연왕겨
	보조물질			대기배출물	• CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O
	에너지	• 전기, 경유		고형폐기물	
	유틸리티	• 물			

Table 10. Total input data of expanded rice hull

팽연왕겨	생산량(ton)	경유사용량(L)	전기사용량(kWh)
Total	1,200	523.378	9,885

4) 가정 및 제한사항

전체적인 연산은 PASS 4.1.1을 사용하였고 D/B를 적용시킬 경우에는 지식경제부, 환경부 순으로 하고, 공업용수가 사용될 경우에는 지역적 특성에 따라 환경부 D/B를 우선적으로

적용하였다. 팽연왕겨의 D/B가 존재하지 않으므로 상위흐름을 연결하여 환경영향을 파악할 수 없기 때문에 이를 elementary flow로 가정하였으며, 향후 데이터베이스 구축 시 적용할 수 있도록 하였다. 보조물질은 따로 들어가지 않고 왕겨 자체의 물성을 바꾸기 위해 수분이 사용되었다. 그 외 가정 및 제한사항은 폐화석의 가정 및 제한사항과 동일하다.

5) 팽연왕겨의 탄소배출량 산정

본 연구는 PASS에서 사용하는 방법론을 이용해 총 10가지 환경영향범주 중 주요 6가지 영향을 다음 표에 나타냈다. 즉 팽연왕겨 1,200ton 생산과정에 있어 지구온난화에 대한 영향이 4.692E-03으로 가장 크고, 자원소모에 대한 영향이 2.082E-08로 다음을 차지하고 있다.

Table 11. Environmental impact assessment of expanded rice hull

영향범주	영향평가결과	영향범주	영향평가결과
자원소모	2.082E-08	오존층파괴	1.498E-16
지구온난화	4.692E-03	부영양화	2.413E-12
산성화	5.501E-09	광화학산화물생성	3.776E-10

3. 보르도액

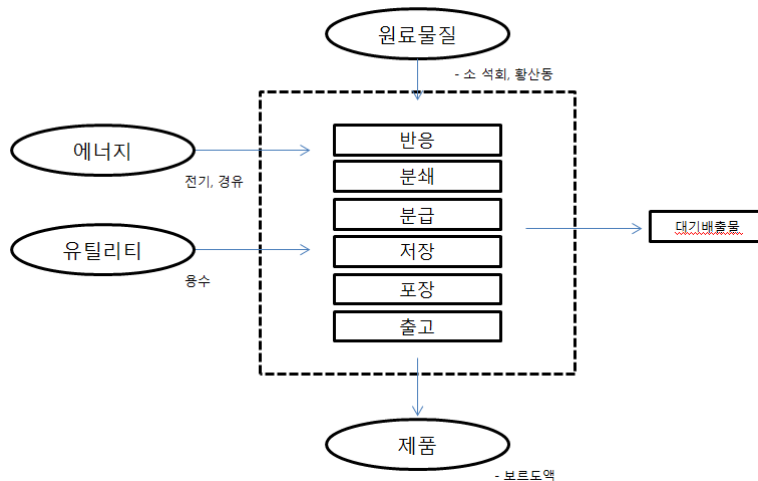


Fig. 4. Process tree of bordeaux mixture liquid LCI D/B building.

1) 보르도액의 제조공정

보르도액의 제조 공정은 다음 Fig. 4와 같다. 먼저 반응기에 원료물질인 소석회, 황산동,

물, 조립제 등을 일정한 비율로 넣고 서로 반응시킨다. 그리고 분쇄, 분급하는 공정을 거쳐 제품탱크에 저장해 둔다. 일정한 시간이 지나고 제품이 만들어지면 이것을 포장기로 포장하고 출고하는 과정으로 공정을 마치게 된다.

2) 보르도액의 특징 및 효과

유효성분은 황산구리와 생석회이며 조합비에 따라 살균활성이 다르게 나타난다. 보르도액 살포 시 식물의 표면에 얇은 피막을 형성하여 작물 표면에 부착한 병원균의 포자가 발아하는 것을 저지하는 작용을 갖고 있으므로 병 발생 후의 치료효과보다는 발병 전 예방제로 사용된다. 보르도액은 그 원료에 따라 작물 대상이 조금씩 다른데 황산동, 생석회, 산화칼슘 등을 원료로 하며 수도작 이외에 참외, 고추, 포도, 오이, 딸기, 사과, 배추 등의 작물에 병해관리용 자재로 주로 쓰이는 제품이다.

3) 보르도액의 투입요소

폐화석, 팽연왕겨의 경우와 같이 본 연구는 농촌진흥청에 친환경 유기농자재로 공시된 목록 중에 발농사에 주로 투입되는 농자재를 중심으로 하였으며, 시장점유율 상위 업체와 제품들을 대상으로 하였다. 물질의 구성요소 설정과 조사 방법은 위와 동일하다.

Table 12. Input and output data of bordeaux mixture liquid

구 분		물질명	구 분		물질명
투입물 (Input)	원료물질	• 생석회, 황산동	산출물 (Output)	제 품	• 보르도액
	보조물질	• 보조제		대기배출물	• CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O
	에 너 지	• 전기, 경유		고형폐기물	
	유틸리티	• 물			

Table 13. Total input data of bordeaux mixture liquid

팽연왕겨	생산량(ton)	경유사용량(L)	전기사용량(kWh)
Total	170	3,598	66,001

4) 가정 및 제한사항

전체적인 연산은 PASS 4.1.1을 사용하였고 D/B를 적용시킬 경우에는 지식경제부, 환경부 순으로 하고, 공업용수가 사용될 경우에는 지역적 특성에 따라 환경부 D/B를 우선적으로 적용하였다. 보르도액의 원료가 되는 생석회(Calcium hydroxide)는 유사 D/B인 환경부 D/B

를 활용하였으며, 황산동(Cooper sulphate)은 PASS 프로그램 안에서 D/B가 존재하지 않으므로 상위흐름을 연결하여 환경영향을 파악할 수 없기 때문에 이를 elementary flow로 가정하였다. 보조물질은 Cut-off 방식을 적용하였으며, 그 외 가정 및 제한사항은 위와 동일하다.

5) 보르도액의 탄소배출량 산정

보르도액 170ton 생산과정에 있어 지구온난화에 대한 영향이 1.029E+00으로 가장 크고, 산성화에 대한 영향이 6.333E-04로 다음을 차지하고 있다.

Table 14. Environmental impact assessment of bordeaux mixture liquid

영향범주	영향평가결과	영향범주	영향평가결과
자원소모	3.332E-04	오존층파괴	5.312E-12
지구온난화	1.029E+00	부영양화	2.774E-07
산성화	6.333E-04	광화학산화물생성	1.768E-04

4. 패화석, 팽연왕겨, 보르도액의 탄소원단위 산정

팽연왕겨는 생산량에 비해 에너지 사용량이 적을 뿐만 아니라 공정이 간단하여 가장 낮은 수취의 배출원단위가 나오게 된 반면 보르도액은 생산량이 적을 뿐만 아니라 조사결과 비교적 필요로 하는 에너지 사용량이 많은 것으로 나타났다. 위의 공정별 계산방식에 의한 본 연구 조사대상의 결과는 다음과 같다.

Table 15. Emission basic units of selected organic materials

유기농자재 명 (자재별 종류)	총생산량 (kg)	총배출량 (kg-CO ₂)	배출원단위 (kg-CO ₂)
패화석 (토양개량 및 작물생육용)	10,522,000	522732.96	4.968E-02
팽연왕겨 (토양개량 및 작물생육용)	1,200,000	5630.4	4.692E-03
보르도액 (작물병해관리용)	170,000	174,930	1.029E+00

IV. 결 론

우리나라는 ‘고투입-고산출’의 집약적 농업으로 환경문제가 심화됨에 따라 1990년대 중반부터 ‘농업생태계와 환경을 유지·보전하면서 안전한 농축산물을 생산’하는 친환경농업을 본격적으로 육성하였고, 1997년 「친환경농업육성법」이 제정으로 제도적 기반이 구축되었다. 2000년 이후로 친환경농산물 인증면적으로 매년 증가하여 2020년에는 6조 6,283억 원으로 전체 농산물시장거래의 19.7%를 차지할 것으로 전망된다.

본 연구에서는 유기작물에 쓰이는 친환경유기농자재 가운데, 발작물에 주로 쓰이는 패화석, 팽연왕겨, 보르도액의 생산과정과 각각의 Input data를 정량화 하여 PASS 프로그램을 통해 탄소성적량을 산정한 결과이다. 각 자재에 대한 환경성을 6가지 범주로 나누어 평가하여 배출원단위를 산정해 보았으나, 데이터베이스가 존재하지 않는 피라미터의 경우 상위 흐름을 연결하여 환경영향을 파악할 수 없기 때문에 elementary flow로 가정하여 향후 데이터베이스 구축 시 적용할 수 있도록 하였다. 이는 실제 제품의 원료 채취단계부터 폐기 단계까지의 모든 과정을 적용시킬 시 탄소배출량이 수입농산물과 많은 차이를 보일 것이며, 결론적으로 유기농 농산물의 환경적 우수성을 부각시킬 것이다. 앞으로 더 많은 유기농자재에 대한 LCI D/B 구축 및 탄소원단위 산정연구 등의 결과를 통해 유기농산물 유통정책 수립이나 활성화, 유기농산물 가격경쟁력제고 관련 컨설팅, 유기농업전환촉진정책 수립 등 국내 농식품 산업을 위한 친환경적 시스템을 갖추어 나가는 데에 기본 참고자료로서의 역할을 다 하게 될 것이다.

[논문접수일 : 2012. 7. 6. 논문수정일 : 2012. 10. 4. 최종논문접수일 : 2012. 11. 24.]

Reference

1. Yoon, Sung-Yee and Son, Bo-Hong. 2012. Life Cycle Assessment (LCA) for Calculation of the Carbon Emission Amount of Organic Farming Material. Korea Journal of Organic Agriculture 20(3).
2. Yoon, Sung-Yee and Kwon, Hyuk-jun. 2011. A Study on the Amount of Carbon Emission of Organic Material through Life-Cycle Assessment. Korea Journal of Organic Agriculture 19(1).
3. Kim, Young-Ran and Yoon, Sung-Yee. 2011. Estimation of Carbon Footprint in Cherry-tomato Production System and Carbon Labelling in Agriculture Products. Korea Journal of

- Organic Agriculture 19(3).
4. 2010. National Inventory Report.
 5. 2003. LCI Database Standard guide. Ministry of Environment.
 6. KREI. 2006. Policy issues and strategy to boost biomass utilization in agricultural sector-
Pblems and issues in Korea.
 7. Korea Rural Economic Institute(www.krei.re.kr)
 8. Korea Eco-Friendly Agro-Materials Association(www.kefama.or.kr)
 9. Rural Development Administration(www.rda.go.kr)
 10. National Academy of Agricultural Science(www.naas.go.kr)
 11. Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries(www.mifaff.go.kr)