

유기농자재의 탄소배출량 산정을 위한 전과정평가(LCA)* -참숯, 목초액, 미생물제재를 중심으로-

윤성이** · 손보홍***

Life Cycle Assessment (LCA) for Calculation of the Carbon Emission Amount of Organic Farming Material -With Emphasis on Hardwood Charcoal, Grass Liquid and Microbial Agents-

Yoon, Sung-Yee · Son, Bo-Hong

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, agrochemical, 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 during the process in order to select carbon basic units for agricultural production system compliant in domestic situation instead of relying on overseas data and apply life cycle assessment 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

* 이 논문은 “2010년도 동국대학교 연구년 지원에 의하여 이루어졌음.”

** 동국대학교 식품산업관리학과

*** 동국대학교 식품자원경제학과

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 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 0.0088kg-CO₂ for charcoal, 0.1319kg-CO₂ for grass liquid, and 0.2804kg-CO₂ for microbial agent.

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

I. 서 론

2009년 코펜하겐 기후협약이 발효되어 이제 온실가스 감축은 선택이 아닌 의무가 되었다. 최근에는 탄소 배출량 거래제가 전 세계적으로 협의되어 각 국가들이 도입 준비 중이다. 우리나라도 온실가스 거래제라는 이름으로 2015년 1월 1일 시행을 발표했다.

국내에서는 1997년부터 지식경제부와 환경부에서 LCI¹⁾ D/B 구축에 착수해 400여개 기초 원부자재 및 공정(에너지, 석유화학, 철강, 시멘트, 유리, 제지, 건축자재, 수송, 재활용, 폐기 등)의 DB를 구축하였다. 농업과 관련해서는 농림수산식품부와 농진청에서 발표한 정책들이 있는데 먼저 농림수산식품부는 2012년부터 ‘저탄소 농축산물 인증제’를 도입한다고 발표하였다. ‘저탄소 농축산물 인증제’를 2012년부터 시행하여 10년간 농업분야 온실가스 배출량 전망치 (BAU)보다 35% 줄이고 산림분야의 온실가스 흡수량을 전망치보다 6% 늘리겠다는 것이 농식품부의 계획이다. 또한 농촌진흥청에서는 2009년부터 쌀, 보리, 콩, 배추, 무 등 주요 농산물에 대한 LCI D/B 구축 작업이 진행되었고, 앞으로 2020년까지 50개 품목의 LCI D/B를 구축하겠다고 발표하였다. 주요 농산물 생산에 투입되는 종자, 종묘, 농약, 무기질비료, 유기질 비료 등에 대한 국내 LCI D/B는 초기구축단계 중에 있는 실정이므로, 해외 LCI D/B를 가져와 사용하고 있다. 그러나 국내·외 자연환경이 다르기 때문에 데이터에 대한 신뢰도는 떨어진다.

따라서 본 연구는 외국데이터에 의존하지 않고 국내의 실정에 맞는 농업생산체계에 대한 전과정평가(LCA, Life Cycle Assessment)²⁾ 적용을 위하여 유기농자재에 대한 대상을 선

1) LCI(Life cycle inventory) - LCA(전 과정 평가)의 전 단계로써 환경에 미치는 영향 물질의 특성화 팩터를 곱하지 않는 단계. 전 과정 평가를 위하여 탄소 인벤토리를 구축하는 단계

2) LCA(Life cycle assessment) - 제품 시스템의 전 과정에서 자원 사용량과 배출량 정량화하고 이들이

정하고, 여러 종류의 유기농자재에 대한 생산공정을 조사하고 그 공정에서 배출하는 온실 효과가스의 LCI D/B를 구축하는 것으로 하였다.

선정방식은 벼 생산에 투입되는 유기농자재를 중심으로 본 연구에서는 자료를 직접 관찰하는 것과 조사하는 방식인 Bottom up 방식으로 실시했다. 유기농자재 1kg을 생산하는데 따른 탄소배출량 원단위는 지식경제부 산하 한국인정원에서 개발한 소프트웨어(PASS 4.1.1)을 이용하였다 이러한 연구의 목적은 향후 전개될 농업부문의 목표관리제와 탄소성적 표시제도 등 많은 제도를 시행함에 있어서 탄소배출량을 산정하는 기본 원단위를 제공하는 것으로 하였다.

II. 농업 부문 탄소배출 현황

1990년에 전체 온실가스 배출량의 5.0%를 기록했던 농축산 부문에서 탄소배출량은 계속 감소추세를 보이고 있다.³⁾ 이는 벼를 재배하는 논 면적의 감소, 친환경농산물의 생산 확대에 의한 화학비료 사용량의 감소, 그리고 1990년대 후반 축산업 시장개방 여파에서 야기된 가축사육두수 감소 등에서 원인을 찾을 수 있다.

농업부문 온실가스 배출량은 2005년에 18.2백만 CO₂톤(전체 3.1%), 2007년에는 전체의 3.0%로 차지하는 비율은 줄어들고 있다. 2005년을 기준으로 하면 경종(논·밭)분야는 9백만 CO₂톤(농업분야의 61%)이 발생했는데 벼 재배 때(메탄 46.3%), 질소비료 사용으로 아산화질소 14.7%가 발생한다. 축산분야는 5.7백만 CO₂톤이 발생해 농업분야의 39%를 차지한다. 이는 소 같은 반추가축 장내발효(메탄 20.2%), 가축분뇨(메탄, 아산화질소 18.7%)를 합친 량이다.⁴⁾

농업분야 온실가스는 대부분 비이산화탄소(Non-CO₂)로 국가 전체 Non-CO₂ 배출량(전체 온실가스 배출량의 7%)의 35.5%를 차지하는데 한국 농업의 탄소배출량은 OECD 국가 대비 수 배~수십 배에 이르는 등 탄소배출량이 많고 에너지 효율이 낮다. ha당 비료사용량은 OECD 평균의 3~4배, 농약사용량은 14배이고 에너지 사용량도 37배에 이른다.⁵⁾

환경에 미치는 잠재적 영향을 총체적으로 평가하는 방법

3) 국립농업과학원, 2006.

4) 한국농촌경제연구원, 2009.

5) KREI 보고서, 2006.

〈표 1〉 농업부문 온실가스 배출현황

(단위 : 백만 tCO₂)

배출원		온실가스배출량	배출비율		발생원
계		1,835	100%		
농경지	벼 재배	6,390	65.5%	34.8%	경종부문(46.7%) 축산부문(53.3%)
	화학비료	2,115		11.5%	
	축산분뇨	3,439		18.8%	
	잔사, 소각	78		0.4%	
축 산	장내발효	3,609	34.5%	19.7%	
	분뇨처리	2,722		14.8%	

자료 : 농촌진흥청 2008

영국의 Food System 분석자료를 보면 작게는 15%내외에서 많게는 20% 이상까지 농식품 및 농식품 연관산업이 차지할 것으로 추정하고 있다. 국내의 농식품 및 그 연관산업도 이 범주에서 크게 벗어나지는 않을 것으로 예상되기 때문에 농식품 산업 전반의 에너지 효율 향상 노력은 국가의 온실가스 감축목표 달성에 크게 기여할 것으로 기대된다. 국내에서 시행되는 온실가스·에너지목표관리제에 포함된 27개 식품업체 및 사업장의 배출량은 5.7% (2007년 기준)를 차지하고 있다. 하지만 단계적으로 목표관리 대상 배출량기준이 낮아지게 되어 있으므로 농식품산업전반에서 에너지효율 향상과 온실가스 감축노력에 더욱 더 많은 노력을 기울여야 할 것이다.

〈표 2〉 온실가스 · 에너지목표관리제 지정현황

(단위 : 개수, 천CO₂톤, TJ)

구 분	관리업체수		대상 사업장 수		온실가스배출량		에너지사용량	
		비율(%)		비율(%)		비율(%)		비율(%)
농업·축산	27	5.7	68	4.3	2,238	0.5	36,312	0.6

* 전력사용에 따른 온실가스 배출량(에너지 사용량)의 중복 산정량 포함.

자료 : 농업기술실용화재단, 2011, 녹색농업기술 편람

이러한 현 상황에서 국가 온실가스 배출량 저감과 특히 농업분야의 배출량을 저감하기 위해서는 다양한 정책개발과 시행이 필요하다. 예를 들면 목표관리제나 탄소성적표시제도, 탄소라벨링제도 등이 그것이 될 것이다. 그런데 이러한 제도를 정책으로 시행하기 위해서는 각각의 작물 혹은 제품별 탄소배출량을 산정해야 하고 이때 반드시 필요한 것이 작물이

나 제품의 생산시 투입된 각종 원자재의 탄소배출원단위가 필요한 것이다. 해서 본 논문에서는 이러한 향후 진행될 상황에 대비해서 유기농자재의 탄소배출원단위를 산정해서 LCI의 기초데이터로 활용하는데 도움이 되고자 하는 것이다.

Ⅲ. 유기농자재 생산에 있어 전과정평가

1. 대상제품 및 기능과 시스템 경계

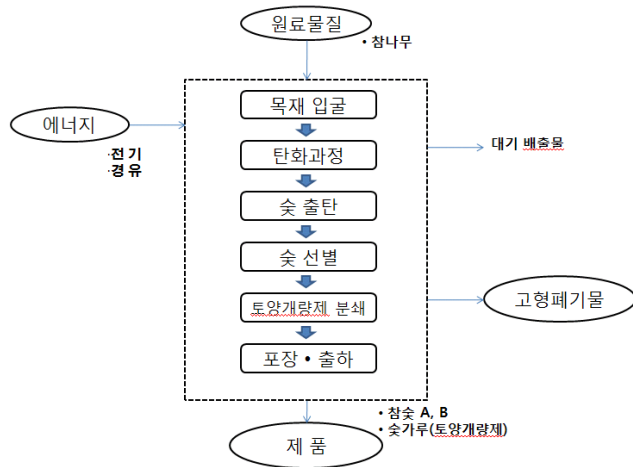
대상제품은 참숯, 목초액, 미생물제제, 부산물퇴비, 유기상토로 한다.

1) 참숯(숯가루)

가. 참숯가루의 제조과정

참숯가루의 제조공정은 다음의 <그림 1>과 같다.

참숯의 생산 공정은 개인의 생산능력에 따라 약간의 차이는 나지만 국내에서 상용화 되는 큰 틀은 같으며, 그 과정은 비교적 단순하다. 원재료인 참나무로 탄화시켜, 숯을 출탄한다. 탄화된 참숯은 백탄, 검탄, 숯가루로 선별 과정을 거쳐, 농업용으로 사용할 수 있도록 분쇄한 후 포장·출하의 단계로 공정 과정을 마친다.



<그림 16> 참숯가루의 제조공정도

나. 참숯(숯가루)의 기능

참숯은 가스흡착 및 신선도유

지 습도조절기능 탈취기능 원적외선 및 음이온발산 희분 미네랄에 의한 유기농법 연마제 전자파차단기능 등 외에도 약용으로는 위장치료제 피부염 및 아토피 각종 알레르기 증세 성인병 예방 및 치료제 등을 우리나라를 비롯한 각 선진국들이 연구개발하고 있다.

참숯은 백탄과 검탄으로 구분되는 활성탄과 숯가루(재)로 구분되어지는데, 농업분야에서는 활성숯가루(재)가 토양개량제로써 유기농자재에 목록 공시되어있다. 그 기능으로는 참숯이나 활성탄숯가루(재)는 수많은 미세기공으로 인하여 유익한 미생물을 증식시켜, 토양 내의 유해물질 중화 등으로 인하여 염류장해 및 연작장해를 해소시키고 산성토양의 중성

화로 인하여 뿌리 발근촉진 및 생육 촉진에 도움을 준다. 또 토양의 보수성, 통기성과 보비력 향상으로 각종 병해충 및 냉해예방에 도움을 준다.⁶⁾

다. 참숯(숯가루)의 투입요소

실제 참숯의 전과정 평가는 제품의 제조, 수송, 사용, 폐기 및 재활용 단계까지, 제품의 전체 일생인 “요람에서 무덤까지” 즉 전 과정을 포함한다. 하지만 이번에는 참숯의 생산단계만을 포함하여 LCA 분석을 했다. 물질의 구성요소를 INPUT으로 그것을 통해 나오는 결과물을 OUTPUT으로 설정하였다. 물질의 구성요소는 서론에서 말한 바와 같이 유기 농자재에 대한 자료는 Bottom up 방식으로 직접 생산공장⁷⁾을 방문하여, 조사, 관찰하였다. 데이터 기준은 2010년 한 해 동안의 총 생산량이다.

<표 3> 숯가루를 생산하는 데 따른 투입요소

구 분		물질명	구 분		물질명
투입물 (INPUT)	원료물질	참나무	산출물 (OUTPUT)	제품	숯가루(토양개량제)
	에너지	전기, 경유		대기배출물	CO ₂ , NH ₃
	유틸리티			고형폐기물	목재가루

라. 가정 및 제한사항

참숯 생산 1회 공정에 있어서 배출되는 생산품은 목초액의 원료인 참숯 연기와 백탄, 검탄, 숯가루로 총 네 가지로 배출된다. 그래서 각각의 생산량에 비례하여, 할당을 적용했다. 그리고 탄화과정에서 배출되는 폐목재가루는 생물학적 처리에 해당하는 LCI D/B는 존재하지 않고, 처리방법 자체가 자연 처리되어 환경에 크게 영향을 미치지 않을 것으로 예상되어 기본 흐름으로 가정했다. 그리고 각 피라미터별 운송의 경우 주된 운송수단을 선택했다.

모든 단위는 물질 kg, 에너지kg, 전력 kWH로 통일했다. 연료 연소에 의한 직접대기 배출물 계산은 IPCC 배출계수⁸⁾를 적용했다.

6) 안인, 2010, 친환경유기농자재 100문 100답, 한국친환경농자재 협회 참조.
 7) 생산공장은 정부보조금수혜 유기농자재 기준으로 국내 생산량의 20.99%를 차지하고 있는 A회사를 기준으로 조사를 했다.(정부보조금수혜기준 참숯 총생산량 : 106,847kg, A회사 생산량 : 22,437kg)
 8) 온실가스 직접대기배출량(kg GHG) = 연료사용량(l/yr) × 저위발열량(MJ/l) × 단위전환계수(10-6) × 배출계수(kgGHG/TJ)

〈표 4〉 연료원별 온실가스 배출계수 및 저위발열량

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

상위/하위흐름 데이터베이스 연결은 국가 데이터베이스를 우선 연결하며, 불가능한 항목에 대해서는 스위스의 ecoinvent 데이터베이스 연결했다. Main Flow의 값을 오차 없이 입력하고, 상위흐름과 하위흐름의 단위를 통일시켜 프로세스의 오류 방지했다.

마. 참숯(숯가루)의 탄소배출량 산정

전과정영향평가(LCA)는 분류화(classification), 특성화(characterization), 정규화(normalization), 가중화(weighting)의 순서로 구성되어 있다. 분류화와 특성화는 ISO 14040규정에 의한 의무규정이고 분류화는 전과정 목록분석에서 구축된 인벤토리 데이터를 영향범주에 배정하는 단계이고 특성화는 각 영향범주의 특징에 맞는 영향정량화 인자(특성화 계수)를 산정한 후 배출량 혹은 사용량을 곱해 환경부하에 대한 잠재적 기여도를 특징짓는다. 본 연구는 PASS에서 사용하는 방법론을 이용해 총 10가지 환경영향범주를 그중 주요 6가지 영향을 <표 5>에 나타냈다. 참숯 75,600kg를 생산과정에 있어 지구온난화에 대한 영향이 $6.706E+02\text{kg}$ 으로 가장 크고, 자원소모에 대한 영향이 $1.162E+01$ 로 다음을 차지하고 있다.

〈표 5〉 참숯 생산과정의 환경영향평가 결과

영향범주	영향평가결과	영향범주	영향평가결과
자원소모	1.538E-04	오존층파괴	7.785E-09
지구온난화	2.778E-02	부영양화	7.944E-08
산성화	2.881E-05	광화학산화물생성	1.955E-05

2) 목초액

가. 목초액의 기능⁹⁾

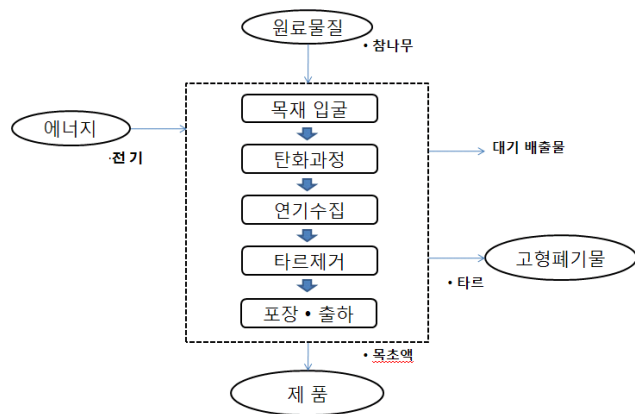
목초액은 나무를 숯으로 만들 때 발생하는 연기가 외부 공기와 접촉하면서 액화되어 떨어지는 것을 채취한 것이다. 다시 말해서 숯을 만드는 과정에서 나오는 연기를 액화시켜 채취한 뒤, 6개월 이상 숙성시켜 독성과 유해물질을 제거한 것을 말한다. 열은 붉은색이 나며, 냄새가 강하다. 농업에서는 농약 대신에 이용하며, 축산업에서는 분노 냄새나 악취를 제거할 때 또는 가축의 사료로 이용하기도 한다. 보통 목초액은 PH3 전후의 강산성을 띠고 있는데, 유기산 형태이기 때문에 토양에 관주하거나, 작물에 옆면 살포를 해주면 수 시간 내에 약알칼리성으로 변하면서 토양의 산도를 교정시켜 줌과 동시에 염류장해해소 토양선충 및 바이러스 억제, 각종 병원균과 유해미생물 발생 억제 등의 살균작용 작용 및 작물에 필요한 유효균의 증식 촉진 등의 기능을 한다.

그리고 유기농법 재배에 있어 목초액은 뿌리발근촉진 및 세균증대, 엽채류의 맛과 향의 증대 및 과채류 과수의 당도 및 색상증가, 그리고 토양의 노화방지 및 염류해소 등 토양 개량 효과를 가진다.

나. 목초액의 공정과정

목초액은 보통 참숯 생산공장에서 같이 생산하는 경우가 많다. 목초액은 참숯 생산공정에 있어 탄화과정 중 발생하는 황백색 연기가 주원료가 된다. 연기가 발생하면 작은 통기구만 남기고 가마 입구를 폐쇄한다. 발생하는 연기는 외부공기와 접촉하면 자연 냉각되는데, 이때 떨어지는 액체를 수집한다. 수집된 액체에서 타르를 제거 하여 목초액의 완제품으로 만들어 포장·출하한다. 공정 과정에서 숯가마 굴뚝의 온도는 85~120℃가 되었을 때 가장 좋으며, 채취한 목초액은 보통 6개월 이상 숙성·분리시킨다.

목초액 약 100kg의 나무에서 채취되는 양은 5L 정도이다. 성분은 80~90%가 물이며, 아세트산 3%이다. 그 밖에 폼산·지방산·메탄올 등 200여 종에 이르는 소량의 미네랄을 포함한다. 성분은 탄화법이나 원목의 종류, 가마의



〈그림 17〉 목초액 생산 공정도

9) 농촌진흥청(www.rda.go.kr) 친환경 유기농자재, 농자재 정보 참조

종류에 따라 차이가 난다.

다. 목초액의 투입요소

앞에서처럼 실제 목초액의 전과정 평가는 제품의 전체 일생인 전 과정을 포함하여야 하지만 이번에는 목초액의 생산단계만을 포함하여 LCA 분석을 했다. 물질의 구성요소 설정과 조사 방법은 참숯과 동일하다.¹⁰⁾

<표 6> 목초액을 생산하는 데 따른 투입요소

구 분		물질명	구 분		물질명
투입물 (INPUT)	원료물질	참나무	산출물 (OUTPUT)	제품	목초액
	에너지	전기		대기배출물	CO ₂ , NH ₃
	유틸리티			고형폐기물	타르

실제 목초액을 생산하는 데 있어, 원료물질인 참나무를 제외한 보조물질은 포함되지 않았다. 에너지는 연기수집, 타르제거 공정에서 전기만 투입되었다. 원료물질인 참나무 LCI D/B는 존재하지 않아, 전기에너지 투입량만 고려하여 탄소원단위를 산출했다. PASS LCA 프로그램에 입력한 투입량은 <표 7>과 같다.

<표 7> 목초액 총 데이터 투입량(할당계수적용)

	전기(단위 : kWh)	제품총생산량(단위 : ton)
INPUT	55,944	210

라. 가정 및 제한사항

목초액은 연기수집하여 자연냉각된 후, 폐기물인 타르와 순수 목초액으로 분리되어 생산된다. 그래서 타르와 목초액 각각의 생산량에 비례하여, 에너지 투입량을 할당 적용했다. 그리고 생산 시 발생하는 폐타르는 생물학적 처리에 해당하는 LCI D/B가 존재하지 않아 기본흐름으로 가정했다. 각 피라미터별 운송의 경우 주된 운송수단을 선택했다.

모든 단위는 물질 kg, 에너지kg, 전력 kWh로 통일하고 상위/하위 흐름 데이터베이스 연결은 위의 참숯의 가정 및 제한사항과 동일하다.

10) 생산공장은 정부보조금수혜 유기농자재 기준으로 국내 생산량의 43.6%를 차지하고 있는 A회사를 기준으로 조사를 했다.(정부보조금수혜기준 목초액 총생산량 : 107,359kg, A회사 생산량 : 46,851kg)

마. 목초액의 탄소배출량 산정

목초액의 탄소배출량 산정이 똑같이 PASS에서 사용하는 방법론을 이용해 총 10가지 환경영향범주를 그중 주요 6가지 영향을 <표 8>에 나타냈다. 목초액 210,000kg 생산에 있어 지구온난화에 대한 영향이 2.770E+04kg으로 가장 크고, 자원소모에 대한 영향이 4.800E+01kg로 다음을 차지하고 있다.

<표 8> 목초액 생산과정의 환경영향평가 결과

영향범주	영향평가결과	영향범주	영향평가결과
자원소모	2.286E-04	오존층파괴	3.644E-12
지구온난화	1.319E-01	부영양화	1.904E-07
산성화	4.345E-04	광화학산화물생성	9.393E-07

3) 미생물제재(토양미생물)

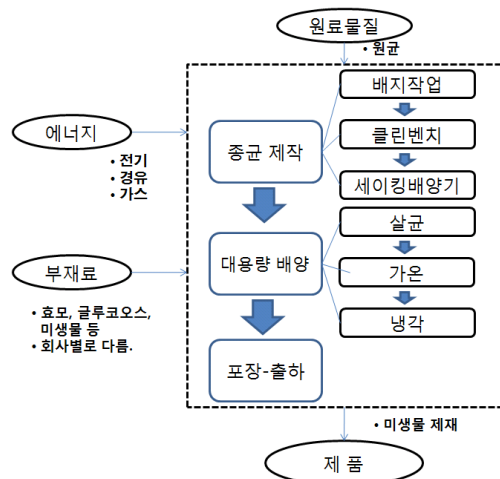
가. 미생물제재의 기능

미생물 제재는 각종의 미생물을 원재료로 하는 농업자재를 말하는 것으로 현재 유통되고 있는 미생물자재는 원재료인 미생물 등을 유기물 또는 무기물자재의 배지에 처리한 것들이다. 농업적으로 이용이 가능한 미생물은 토양의 비옥도를 향상시키는 것, 항생물질을 분비하여 토양병해를 억제시키는 것, 질소고정균이나 균근균처럼 작물과 공생관계를 이루면서 작물의 생육을 직접적으로 촉진시키는 것, 유해성분을 분해하거나 불용화 시키는 것, 잡초에 기생하여 제초활성을 보이는 것 등이 있으며 여기 근래에 친환경농업에 대한 관심이 높아지면서 각종의 미생물자재가 시판되고 있다.

토양미생물제재의 기능은 크게 4가지이다. 첫째, 질소고정 인산의 가용화 등으로 식물에 영양을 공급하는 효과가 있다. 둘째, 근권친화 미생물 등이 생리활성물질을 분비하여 작물의 생육을 촉진한다. 셋째, 토양중의 유기물, 난해물질 분해촉진으로 토양활성에 도움을 준다. 넷째, 토양의 입단형성 촉진, pH 교정 등 토양개량 효과가 있다.

나. 미생물제재의 공정과정

미생물제재는 생산은 생산회사의 자동화



<그림 18> 미생물 제재 생산공정도

시스템 유무에 따라 약간 차이가 난다. 하지만 크게 3가지 단계로 나누어지며, 작계는 7단계로 나누어지는 생산과정은 동일하다. 미생물 액제 배양을 할 기본 원료에 부재료를 투입한 종균을 제작한 다음, 대용량 배양기에서 배양을 거쳐, 포장-출하의 단계로 생산공정이 이루어진다. 종균제작에는 배지작업, 클린벤치작업, 세이킹배양기 공정이 있으며, 대용량 배양기에서는 살균, 가온, 냉각의 생산 공정을 거친다.

다. 미생물제제의 투입요소

앞에서처럼 실제 미생물제제의 전과정 평가는 제품의 전체 일생인 전 과정을 포함하여야 하지만 이번에는 미생물제제의 생산단계만을 포함하여 LCA 분석을 했다. 물질의 구성요소 설정과 조사 방법은 참숯, 미생물제제와 동일하다.¹¹⁾

<표 9> 미생물제제를 생산하는 데 따른 투입요소

구 분		물질명
투입물 (INPUT)	원료물질	원균(미생물, Trytoon, hefeextrakt, natriumchlorid) 등
	보조물질	효모, 글루코오스, 미생물 등
	에너지	전기, 경유, 가스
산출물 (OUTPUT)	제 품	미생물제제(토양미생물)
	대기배출물	
	고형폐기물	

실제 미생물제제를 생산하는 데 있어, 원료물질과 보조물질은 회사별로 다르다. 예를 들어 보조물질을 투입하지 않고 원료 물질만으로 제품을 생산하는 곳도 있고, 보조 물질을 투입하여 제품을 생산하는 공장도 있었다. 그에 따라 토양 미생물제제의 기능은 회사별로 조금씩 달라진다. 그래서 본 연구는 원료물질과 보조물질의 LCI D/B는 제외하고, 에너지 투입량인 전기, 경유, 가스만으로 미생물제제의 탄소원단위 산정을 하였다. PASS LCA프로그램에 입력한 투입량은 <표 10>과 같다.

11) 미생물제제의 생산공장은 정부보조금수혜 유기농자재 기준으로 상위 생산업체인 B공장, C공장, D농업기술센터를 기준으로 조사했다.

<표 10> 미생물제제 총 데이터 투입량(할당계수적용)

	전기 (단위 : kWh)	물 (단위 : L)	LPG (단위 : M3)	제품총생산량 (단위 : L)
B공장	1415.1	3000	69.5	3000
C공장	753	1500		1500
D농업기술센터	8282	14000		14000
Total	10450.1	18500	69.5	18500

라. 가정 및 제한사항

미생물 제제는 탄소원단위산정은 각 공장별 에너지 투입량을 더한 총 공장 에너지 투입량을 PASS에 입력하여, 미생물 제제의 생산량에 비례하여 할당하였다. 앞에서 말한 바와 같이 미생물제제에 투입하는 원재료, 부재료의 LCI D/B가 존재하지 않고, 부재료의 투입 물질도 회사마다 차이가 나서 기본흐름으로 가정하였다. 각 피라미터별 운송의 경우 주된 운송수단을 선택하고, 수도의 경우 각 공장의 위치를 고려하여 공업용수(충청권)으로 통일했다.

모든 단위는 물질 kg, 에너지kg, 전력 kWh로 통일하고 상위/하위 흐름 데이터베이스 연결은 위의 참숫, 목초액의 가정 및 제한사항과 동일하다. 데이터 수집 및 분석 방법과 연료 연소에 의한 직접대기배출물을 계산하는 방식 역시 IPCC 배출계수를 적용한 점은 위와 동일하다. 다만 가스 단위 환산의 배출계수¹²⁾는 아래와 같다.

$$\text{체적판매단가(원/}\text{m}^3\text{)} = \frac{\text{중량판매단가(원/kg)}}{\text{(A)지역별 표준기화율(}\text{m}^3\text{/kg)}} \times \text{(B)조정기압력보정계수}$$

지역별 표준기화율 : 경기도 기준. 조정기 압력 계수 : 2,500 기준.

계산식 → 1kg/0.4810 * 1.2093 = 2.5141372 (2.51m³), 1kg = 2.51m³

마. 미생물제제의 탄소배출량 산정

미생물제제의 탄소배출량 산정이 위와 같이 PASS에서 사용하는 방법론을 이용해 총 10 가지 환경영향범주를 그중 주요 6가지 영향을 <표 11>에 나타냈다. 미생물제제 18500L 생산에 있어 지구온난화에 대한 영향이 5.188E+03kg으로 가장 크고, 산성화에 대한 영향이

12) 한국가스공사 홈페이지 참조(<http://www.kogas.or.kr/>).

1.717E+01kg로 다음을 차지하고 있다.

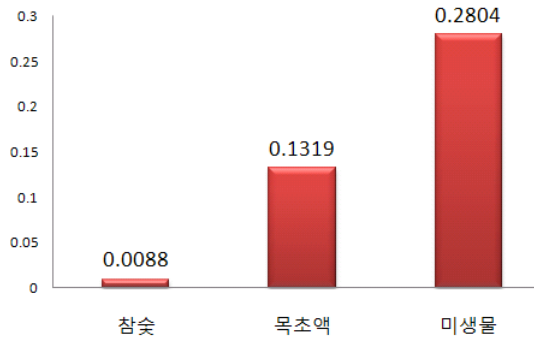
〈표 11〉 미생물제재 생산과정의 환경영향평가 결과

영향범주	영향평가결과	영향범주	영향평가결과
자원소모	9.537E+00	오존층파괴	5.887E-07
지구온난화	5.389E+03	부영양화	7.710E-03
산성화	1.717E+01	광화학산화물생성	5.116E-02

4) 참숯, 목초액, 미생물제재의 탄소원단위

참숯, 목초액, 미생물제재의 탄소원단위 산정에 있어 탄소배출량이 가장 많은 제품은 미생물제재이며, 가장 배출량이 적은 제품은 참숯(숯가루)였다. 세 가지의 유기농자재를 비교하면 보통 유기농자재 생산에 있어 공정과정과 에너지 투입요소가 많고 1회 생산기간이 길 수록 탄소배출량이 높게 나왔다.

참숯의 경우 생산 1kg 당 배출원단위를 산정하면, <그림 4>와 <표 12>와 같이 0.0088kg-CO₂가 발생되고 목초액 생산 1kg 당 배출원단위를 산정하면, 0.1319kg-CO₂가 발생된다. 또 미생물제재 생산 1kg 당 배출원단위를 산정하면, 0.2804kg-CO₂가 발생되었다.



〈그림 4〉 참숯, 목초액, 미생물제재 탄소원 단위 산정 결과(단위 : kg-CO₂)

〈표 12〉 참숯, 목초액, 미생물제재 탄소원단위 결과

생산제품명	총생산량 (kg)	총배출량 (kg-CO ₂)	배출원단위 (kg-CO ₂)
참숯(숯가루)	75,600	670.6	0.0088
목초액	210,000	27,700	0.1319
미생물제재	18,500	5,188	0.2804

IV. 결 론

농업이 가지는 환경의 순기능은 보전하되 농업활동에 의한 환경영향을 객관적으로 평가하고 부정적 영향을 줄이기 위해서는 농업에서 사용되는 date를 정량화하고 종합적인 접근이 필요하다. LCA는 이에 적합한 분석도구 중 하나이다.

하지만 아직까지 우리나라에서는 농산물의 전과정평가연구가 초기단계이고 농업분야의 전과정평가는 환경영향의 인과관계 분석 자료와 지역별·계절별·농사방법에 따라 조건에 민감하게 반응하기에 다양한 연구가 필요하다.

본 연구는 벼 생산에 투입되는 유기농자재 참숯(숯가루), 목초액, 미생물제제(토양미생물)의 생산과정과 원료물질, 보조물질, 에너지의 투입량과 배출량을 정량화하여, 이것이 어떻게 환경에 미치는지에 대해서 6가지 범주로 나누어 생각해 보았다. 하지만 이번 연구에서는 요람에서 무덤까지인 원료의 채취부터 제품의 폐기 단계, 전과정에 걸쳐 환경영향평가를 실시하지 못하고, 생산단계만 고려하여 환경영향평가를 평가했다. 만약 사용단계인 보관, 운송, 폐기단계까지 더 고려한다면 탄소배출량이 지금과 많은 차이를 나타낼 것이다.

연구개발결과의 활용방안¹³⁾으로는 유기농산물에 대한 LCA 평가를 통하여 여러 가지 정책수립의 기초자료로 사용될 수 있다. 첫째, 유기농산물 판로확대를 위한 유통정책 수립의 기초자료로 활용할 수 있다. 둘째, 유기농산물 유통 및 가격경쟁력 제고 관련 컨설팅의 기초자료로 활용할 수 있다. 셋째, 유기농업전환촉진정책 수립의 기초자료로 활용할 수 있다. 넷째, 탄소라벨링, 풋프린트, 탄소이력제와 같은 환경 정책에 활용할 수 있다. 다섯째, 유기농산물 선진 유통 Innovation 도입 촉진에 기여하고 유기농장 지원 육성지표 이용 및 프로그램 개발에 활용될 것이다. 여섯째, 유기농가의 마케팅 전략 수행능력 제고로 시장변화에 대한 대응력 강화 및 유기농식품 소비시장의 신뢰성 제고에 기여할 것이다. 이외에도 경제적·산업적 측면으로 기후변화 대응과 관련 소비증가로 인한 경제적 산업적 측면의 성장이 예상된다.

[논문접수일 : 2012. 7. 3. 논문수정일 : 2012. 8. 24. 최종논문접수일 : 2012. 9. 6]

13) 윤성이·권혁준, 2011. 3, 전과정평가를 통한 유기농자재의 탄소배출량 산정연구, 한국유기농업학회지 제19권 제1호.

참 고 문 헌

1. 윤성이·권혁준. 2011. 전과정평과를 통한 유기농자재의 탄소배출량 산정연구. 한국유기농업학회지 19(1).
2. 김영란·윤성이. 2011. 시설방울토마토의 생산과정에 있어 탄소배출량 산정과 농산물의 탄소라벨링. 한국유기농업학회지 19(3).
3. 박선호. 2010. 유기농업체제로의 전환촉진을 위한 발전방안 연구. 동국대학교 식품산업관리학과 석사학위 논문.
4. 소규호·이길재·김건엽 등. 2010. 콩의 생산과정에서 발생하는 탄소배출량 산정 및 전과정평가. 한국토양비료학회지 43(6).
5. 박중식. 2008. 기후변화가 비즈니스를 바꾼다. 삼성지구환경연구소.
6. 농촌진흥청(www.rda.go.kr) 친환경 유기농자재, 농자재 정보 참조.
7. 한국 농촌경제연구소 참조.
8. 국립농업과학원 참조.