

전과정평가를 통한 마늘의 탄소배출량 산정연구*

윤성이** · 김영란*** · 김태호*** · 박진현*** · 안성우***

Study of Garlic's Carbon Footprint though LCA

Yoon, Sung-Yee · Kim, Young-Ran · Kim, Tae-Ho · Park, Jin-Hyun · Ahn, Sung-Woo

This study was carried out to estimate carbon footprint and to establish of LCA of garlic production system. We have case study in cultivate garlic 1 kg calculate in carbon footprint. LCA carried out to estimate carbon footprint and to establish of LCI (life cycle inventory) database of garlic production system. The data is from Research of Farmer's income in 2010 (RDA, 2011), and used Pass (5.0.0) program. The value of fertilizer, amount of pesticide input were shown the environmental effect and direct emission. Carbon footprint in agriculture guarantees the choice right the consumer to choose the lower carbon goods. Its can make to strengthen of agriculture and food industry's reduction effort of CO₂. Nowadays consumer requests food's safety and environment friendly process. Carbon footprint also needs consumer's relief and incentives.

Key words : *garlic's carbon foot print, LCA (life cycle assessment), garlic carbon labeling, local food, greenhouse gas*

I. 서 론

지금 우리 농산물은 안전성과 환경성을 같이 평가하기 어렵다. 농산물의 원산지는 표시되나 포장에 따라 제한적으로 표시되며 포장단위를 나누어 판매할 때는 원산지에 대한 허위표기가 이루어지기 쉽다.

친환경농업육성법에 따라 우리나라에서 실시하고 있는 친환경인증은 화학비료와 농약의

* 본 연구논문은 농림부 “농임축산 바이오매스 순환실증단지 모델 구축 및 사업지침서 개발” 사업의 지원에 의한 결과임.

** 동국대학교 식품산업관리학과 교수

*** 동국대학교 식품산업관리학과 박사과정

사용여부에만 초점을 맞추고 있어 농산물의 종합적인 환경성을 평가하기에 여러 가지가 부족하다. 예를 들면 농약과 화학비료를 투입하지 않고 재배된 국내유기농산물과 해외에서 수입된 유기 가공 식품간 환경측면의 차별화가 어렵다. 농산물의 장거리 이동에 따른 유통 및 수송과정에서 화석연료가 사용되고 또 다량의 온실가스가 배출된다.

국립환경과학원¹⁾의 지난 5월 17일 발표에 의하면 한국인의 밥상에 오르는 외국산이 늘어나면서 1인당 식품수입량²⁾이 2010년을 기준으로 연간 468kg에 이르는 것으로 나타났다. 이에 따라 식품 운송거리를 뜻하는 푸드 마일리지도 10년 동안 37% 증가했다. ‘신토불이’ 식품을 선호한다는 생각과 달리 매일 1.28kg씩 외국산 식품을 먹고 있는 셈이다. 식품 원료의 공간적 거리가 멀수록 소비자는 생산과정에 대한 이해가 부족한 채로 음식을 먹게 되고, 생산자와 소비자 간 신뢰는 낮아지고 토양이나 기후 등의 차이로 신선도도 저하된다.

따라서 국내로 유입되는 수입 농수산물 및 식품의 환경성을 평가함에 있어서 안전성 외에도 에너지 소비, 온실가스 배출량 등 다양한 평가기준들이 마련될 필요가 있다. 이는 기존의 국내 유기농산물과 일반 관행농산물의 환경성을 비교, 평가하는데도 동일하게 적용될 수 있는 문제이다. 일반 관행농산물과 유기농산물을 비교하고, 노지 생산물과 시설 농산물을 비교하고, 때로는 국내산 농산물과 수입 농산물이 갖는 환경성과 안전성을 비교할 수 있어야 한다. 이 정보를 소비자들이 신뢰하고 선택하고 이 과정에서 농업도 기후변화와 저탄소 시대에 맞는 친환경적 시스템을 점차 갖추어 갈 수 있을 것으로 생각된다. 건강하고 안전한 먹거리를 선호하는 소비자들은 농산물을 생산하고 수송하는 과정에서 배출한 온실가스의 양을 상품에 표기해 확인할 수 있는 제도에 관심을 가지는데 농산물의 환경성을 평가하고 전과정평가를 통한 탄소배출량의 산정이다.

이 논문은 우리 농산물 중 마늘을 중심으로 실제 마늘 생산과정의 탄소배출량 산정과 전과정평가를 수행하고자 한다. 마늘생산 과정을 직접 관찰하고 조사하지 못했지만 통계청과 전남 서남부채소농협 마늘작목반 자료에 의거해 마늘 1kg을 생산하는데 탄소배출량이 어느 정도 되는지 지식경제부 산하 한국인정원에서 개발한 소프트웨어(PASS 5.0.0)를 이용해 환경영향을 평가했다. 본격적인 마늘 전과정평가를 위해서는 자료의 지역화(regionalization), 토양의 질(soil quality), 생물종 다양성(biodiversity), 농약으로 인한 생태 독성 및 농자재의 배출원단위 등 농업 특유의 환경성 지표에 대한 제반 연구와 방대한 양의 자료가 필요하다. 환경영향평가 방법론은 모두 10가지를 사용해 분석할 수 있는데 독성 부분에 대한 규

1) 국립환경과학원 2012.5.17 보도자료 “우리밥상 신토불이 찾기 어려워졌다.”

2) 1인당 수입식품 푸드 마일리지는 품목별로 해외 생산지에서 국내 소비지까지 수송된 거리에 수입량을 곱해 모두 더한 뒤 국민 수로 나눈 값이다.

푸드 마일리지 산정- 푸드 마일리지(t·km)=(Qi,j × Dk)

Qi,j : 원산지 i로부터 소비지로의 품목 j의 수송량(ton)

Dk : 원산지 k로부터 소비지까지의 수송거리(km)

명과 데이터 신뢰가 어렵다. 자원고갈, 지구온난화, 오존층 파괴, 산성화, 부영양화, 광화학 적산화물생성 과정의 영향 등 6가지 환경영향평가를 시행하고 이중 지구온난화에 대한 영향을 탄소배출량산정을 통하여 주로 분석해 보았다.

마늘에 대한 전과정 평가 연구는 유통 및 소비단계를 제외한 생산(재배 및 수확)단계를 대상으로 별도의 제외기준을 설정하지 않고 마늘 1kg 생산에 투입되는 원료(종묘), 보조물질인(유기질 비료, 무기질 비료, 농약), 에너지, 농자재 등 모든 투입물과 산출물로서 제품인 마늘과 대기배출물의 탄소배출량을 산정하고 다른 환경성 영향에 대한 평가도 동시에 살펴보았다.

농림수산식품부는 2010년 『농림수산식품분야 탄소표시제 및 탄소포인트제 도입방안』³⁾에 대한 연구보고서를 내놓고 여러 차례 정책 과제 워크숍을 통해 농산물에 대한 탄소표시제를 준비 중이다. 2012년부터 저탄소 농축산물 인증제의 시범운영을 준비하고 있으며 2014년부터 본격적으로 시행할 예정이라고 한다. 탄소표시제 기초자료를 위해 쌀보리, 겉보리, 맥주보리, 시설상추, 고구마, 고추 등 47개 품목과 농자재에 대해 각기 생산과정에서 발생하는 탄소배출량 산정 및 전과정 평가 적용 연구를 진행하고 있다.⁴⁾ 농림수산식품부의 기초적인 품목에 대한 탄소배출량 산정은 농민이나 농업단체, 농업기업들 뿐 아니라 소비자들이 쉽고 신뢰하며 받아들일 수 있는 탄소표시제도 준비과정으로 생각된다.

II. 마늘 생산에 있어 탄소배출량 산정

마늘(garlic)은 중앙아시아가 원산인 백합과(白百合科) 중 가장 매운 식물이며, 우리나라를 비롯하여 중국, 일본 등 극동(極東)에서 많이 재배되고 있다. 비늘줄기는 연한 갈색의 껍질 같은 잎으로 싸여 있으며, 안쪽에 5~6개의 작은 비늘줄기가 들어 있다. 꽃줄기는 높이 60cm 정도이고 잎은 바소꼴로 3~4개가 어긋나며, 잎 밑부분이 잎집으로 서로 감싼다. 7월에 잎겨드랑이에서 속이 빈 꽃줄기가 나와 그 끝에 1개의 큰 산형 꽃이삭[傘形花穗]이 달리고 총포(總苞)는 길며 부리처럼 뾰족하다. 마늘은 크기가 적당하며 껍이 무르지 않고 단단한 것이 좋고 붉은색을 띠며 꼭지가 신선한 것이 좋다.

마늘의 재배면적은 2000년 이후 연평균 5.8% 가까이 줄었으나 생산량은 건강식품⁵⁾이란

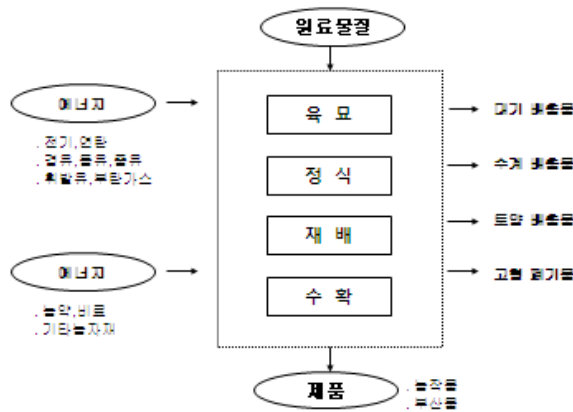
3) 남재작, 「농림수산식품분야 탄소표시제 및 탄소포인트제 도입방안」, 2010, 농림부.

4) 소규호·박정아·이길재 등, “보리의 생산과정에서 발생하는 탄소배출량 산정 및 전과정평가 적용”, 『한국토양비료학회지』 43(5), 2010 등.

5) 2002년 미국 『타임(Time)』지는 마늘을 세계 10대 건강식품으로 선정하였으며, 마늘은 그 자체로 먹어도 좋고 다양한 음식의 재료로 사용해도 좋은 기능성 식품이라 예찬하였다. 미국암연구소(NCI)가 1992년에 발표한 건강한 몸을 유지하는 ‘Designer food(좋은 식품을 적극적으로 섭취함으로써 70

인식으로 수요가 지속되어 크게 줄지는 않았다. 마늘재배면적은 2010년 기준으로 총 24천 ha로 전체의 85%를 전남(16.9천 ha) 42.7%, 경남(6.5천ha) 16.5%, 경북(5.2천 ha) 13.1%, 충남(5.0천ha)이 12.7%를 차지하고 있다. 생산량은 2011년 기준으로 462천 톤이다. 마늘은 2010년 10a의 토지에서 1,212kg의 마늘을 생산해 1,811,020원의 수입을 올렸다. 부산물인 마늘종은 29,843원의 수입을 올린 것으로 추정된다. 「농축산물 소득 자료집」은 농업경영개선을 위한 자료집으로 도별 재배면적과 소득의 표준편차를 감안해 도별로 표본을 배정한 후 확률비례추출에 의거, 조사 시군을 선정하고 유의 표본추출에 의해 조사 농가를 선정한다. 마늘의 경우는 전국적으로 총 2,800여 호를 조사하는데 지역 간 환경이나 농사방법 간 차이는 크게 반영하지 못하고 전국 평균에 의거해 통계를 작성한다.

마늘 전과정 평가는 제품의 제조, 수송, 사용, 폐기 및 재활용 단계까지, 제품의 전체 일생인 “요람에서 무덤까지” 즉 전 과정을 포함한다.⁶⁾ 하지만 이번에는 시설 마늘의 생산에서 수확단계까지 LCA 분석을 했다. 원료물질인 종자, 종묘를 투입하여 최종생산단계에서 마늘 1kg을 수확하는 과정에서 투입되는 화석연료, 전기 등 에너지와 농약, 비료, 농기계, 농자재 등이 얼마나 투입되고 이로 인해 발생하는 온난화가스과 같은 대기 배출물, 중금속, 양분, 폐기물, 질산염 등 수계 배출물, 토양 배출물, 고형폐기물 등으로 규정하였다.



〈그림 1〉 마늘 생산단계의 전과정 평가

구체적인 산정과 계산은 Pass 프로그램을 이용했지만 마늘 생산단계에서 발생하는 온실가스를 바탕으로 한 탄소성적을 단계별로 식 (1)의 방법으로 표시할 수 있다.⁷⁾

세에 질병을 반으로 줄일 수 있다는 프로그램) 피라미드의 최상위에 마늘이 위치하고 있다.

6) 이진모·허탁·김승도, 1998, 「환경 전과정 평가(LCA)의 이론과 지침」.

7) 윤성이·조제억·김태호·김경훈·손보홍, 2011, 「국내 유기농업 분야 LCI D/B 구축 및 탄소원단위 산정」, 농촌진흥청 계속과제 보고서, 농촌진흥청.

$$\begin{aligned} & \text{마늘의 탄소발생량(kg CO}_2\text{-eq kg}^{-1}\text{)} \\ & = \Sigma(\text{①AM Manufacture, ②Crop Cultivation, ③Waste Treat}) \quad (1) \\ & \text{① AM(Agro-materials) Manufacture : 농자재 제조단계에서 탄소발생량} \\ & \text{② CR(Crop) Cultivation : 농작물 재배단계에서 탄소발생량} \\ & \text{③ WT(Waste Treatment) : 농자재 폐기과정에서 탄소발생량} \\ & \text{① 농자재 제조단계 탄소발생량(AM Manufacture)} = \Sigma(\text{FE, AC, FF, CB}) \\ & \quad - \text{FE(Fertilizer) : 비료제조단계에서 탄소발생량(부산물, 유기, 무기비료)} \\ & \quad - \text{AC(Agrichemical) : 농약제조단계에서 탄소발생량} \\ & \quad - \text{FF(Fossil Fuel) : 농업용 화석연료 제조단계에서 탄소발생량} \\ & \quad - \text{CB(Coverage/Binding) : 피복재, 포트, 비닐 끈 등 제조단계에서 탄소발생량} \\ & \text{② CR Production} = \Sigma(\text{FF comb., CH}_4 \cdot \text{N}_2\text{O emission}) \\ & \quad - \text{FF Combustion : 농작업중 화석연료 연소에 의한 탄소발생량.} \\ & \quad - \text{CH}_4 \cdot \text{N}_2\text{O Emission : 농경지에서 메탄과 아산화질소 발생에 따른 탄소발생량} \\ & \text{③ WT(Waste Treatment)} = \Sigma(\text{WT}) \end{aligned}$$

이는 마늘 생산시스템에서 투입되고 배출되는 모든 물질들을 물질수지와 할당원칙을 통해 기능단위별로 정당화하는데 기본적인 단계를 이해하는데 좋은 산정식이다. ①과 ③의 단계는 국내 데이터와 에코 인벤트사의 데이터 등을 이용해 산정했다. ②단계 중 농작업 중 화석연료 연소에 의한 탄소발생량은 산정했으나 마늘 재배과정에서 발생하는 메탄과 아산화질소 발생에 따른 탄소발생량은 아직 연구가 충분하지 못해 산정하지 못했다.

즉 마늘 생산단계에서 아산화질소(N_2O) 발생량은 마늘 생산과정에 투입된 퇴비, 화학비료 중 질소성분의 투입량을 기준으로 IPCC 1996년 가이드라인에 의거하여 산정했다. IPCC 1996 가이드라인은 농업에 의한 아산화질소의 배출을 토양으로부터 직접배출, 가축사육에 의한 배출, 간접배출의 3가지 유형으로 구분하며 이중 농경지에 사용된 질소의 1.25%가 아산화질소로 배출된다고 하여 $0.0125 \pm 0.01 \text{ kg N}_2\text{O-N Kg N}^{-1}$ 를 농경지 사용된 질소의 아산화질소 배출계수(Default 값)로 제시하였다. 화학비료는 사용된 질소의 10%가 대기로 휘산되며, 유기질비료나 부산물 퇴비는 20%가 대기로 휘산되며, 휘산된 질소의 1%가 아산화질소로 전환된다고 보며, 수계 유출에 의한 아산화질소 간접배출량 평가는 실시하지 않았다. 메탄(CH_4) 발생량도 농약이나 비료 생산과정에서 메탄 발생을 산정하고 따로 밭에서의 메탄 발생은 연구가 적어 반영하지 못했다.⁸⁾

8) 논에서의 메탄은 기후변화에 따른 제3차 대한민국보고서에 의거해 2009년도 우리나라 논에서 발생하는 메탄가스는 294 Gg이었다.

<표 1> 마늘 1kg 생산에 있어 소요되는 투입요소

구 분		투입량 (10a 당)	값	단위(1)	Data 소스
투입	종 요	191.6kg			농진청
	유기질 비료	퇴비	1,000	kg	농진청
	무기질 비료	석회(lime)	125	kg	
		요소(Urea)	54	kg	농 협
		용과린	39	kg	농 협
		황산칼리	40	kg	농 협
	농 약 ⁹⁾	다코닐에이스	0.132	kg	농 협
		후라단	10	kg	농 협
		빈나리	0.03	kg	농 협
		큰나락	0.04	kg	농 협
	에너지	전 기	0.487	kWh	통계청
		경 유	0.867	Nm ³	통계청
	농자재 ¹⁰⁾	비닐HDPE	0.001012	kg	농진청
		비닐끈	0.0002046	kg	농진청

자료 : 농진청, 2010 농축산물 소득자료집

마늘은 통계청 사회통계국 농어업통계과에서 작성하는 품목이다.¹¹⁾ 농사는 특히 지역의 환경여건에 따라 투입하는 농자재, 특히 비료와 농약의 양과 종류에 따라 탄소발생량이 다르지만 전국표준을 기준으로 비료의 흡수량은 단보 당 질소질 21kg, 인산 22.5kg, 칼리 21kg 때 수량지수가 극대화를 이루고 초과하거나 부족하면 수량이 줄어든다. 마늘의 재배는 종묘로 정식하는 형태가 일반적이므로 토양정비, 정식, 재배, 수확의 4단계로 정의하였다. 파종량은 파종시기, 지역, 작부형태에 따라 차이가 있으나 농진청 재배지침에 10a당 191.6kg을 투입했다.

구체적인 투입목록은 <표 1>에 정리하였다. 비료는 토양정비 때 밀거름과 정식 및 재배 단계의 웃거름 투입으로 나눌 수 있다. 재배환경, 유기농과 관행농의 재배형태에 따라 시비

9) 농약은 종류가 많고 화학성분을 각기 배분하는데 어려움이 있어 : 시용횟수 * 정수 * 1회 사용량 각 작물의 농약 사용량 계수 산정.

10) 농자재중 비닐과 비닐 끈을 주로 적용했다. 폐기 흐름 ; 영농폐기물 발생 및 처리현황 : 환경자원 공사자료

11) 농촌진흥청, 2010, 「2009 농축산물 소득 자료집」.

종류와 투입량에 차이가 있다. 비료는 유기질 비료 1,000kg과 무기질비료 석회 125kg, 요소 54kg, 용과린 26kg, 황산칼리 40kg를 투입했는데 각 비료의 유효성분량을 고려한 실제 투입량을 산정했다. 이번 분석은 비료와 농약을 집약적으로 사용한 관행농업을 기준으로 분석했는데 비료 중 특히 유기질 비료사용량의 유효성분은 에코 인벤트(ECO-INVENT)의 기본 데이터를 활용했다. 비료와 농약은 다른 농자재에 비해 여건 특히, 토질에 따라 투입량이 많이 차이난다. 유기질 비료는 사용량도 많고 국가와 지역에 따라, 만드는 방법에 차이가 많다. 이번에 사용한 유기질비료에 대한 데이터는 외국의 유기질 비료(에코 인벤트) 만드는데 있어 탄소배출량으로 우리나라 유기질 비료와는 만드는 방법과 탄소배출량에 차이가 있을 것이다. 또 유기질 비료 생성과정에서 N_2O 발생량 등은 측정하지 못하고 있다. 퇴비 사용은 농업의 N_2O 로 인한 지구온난화 영향과 NO_3 로 인한 부영양화 물질을 직접 발생시켜 산출량과 배출량 평가에 중요하나 마늘재배과정의 질소산화물 발생에 대한 직접 연구가 없어 적용하지 못했다.

농약사용량은 농진청과 한국작물보호협회에서 지도하는 작물별 표준농약사용량에 가중치를 적용한 지수를 사용했다. 통계청은 마늘에 사용하는 농약은 살충제, 살균제, 제초제, 성장촉진제로 나누어 생각해 총량은 알 수 있으나 유효성분량은 산출하기 어렵다. 그래서 구체적인 품목은 전남서남부농협에서 사용하는 약품을 기준으로 유효성분을 산정했다. 살충제로는 아메리카잎 굴파리, 온실가루이, 뿌리혹선충에 사용하는 갖가지 농약들이 있는데 대략 물 20L당 5~20g 넣어 2~3회 뿌려준다. 살균제는 잎곰팡이병, 겹무늬병, 잣빛 곰팡이병, 역병에 쓰이는 농약, 잡초를 위한 제초제와 성장과 착색을 촉진하는 농약종류들도 유효성분으로 변화해 계산해야 하는데 우리나라에는 아직 농약생산과정에 대한 배출계수가 제대로 없어 스위스의 에코 인벤트(ECO-INVENT)를 인용했다. 농약은 품목명과 상표명이 범람하는 가운데 유효성분을 제대로 알기 어렵다. 유효성분 중에도 소량, 미량의 성분이 너무 많아 이 부분에 대한 연구가 시급하다. 비료 및 농약은 표준 사용량을 가정하고 지역이나 농법상 차이를 반영하지 않았다.

기타 농자재 사용량은 생산에 투입되는 물질을 농진청 소득 자료에 근거한 경영비 투입자료로만 제한했다. 폐기물 유래 탄소배출량은 사용 통계청 자료에 의거해 농협의 인터뷰를 통해 표준제품 중에서 선정하고 각각 무게를 측정하고 이를 표준단위로 확정했다. 농자재 중에서 비닐과 비닐 끈 등 한번 쓰고 다시 쓰기 어려운 것, 많이 쓰이는 물질에 한정하고 사용연한은 환경부 자료에 따랐다. 시설농업용 폐영농자재의 농가처리실태는 환경자원공사(2009) 자료에 의거해 산출하고 농약병이나 비료부대 등 부자재에 대한 환경부하는 고려하지 않았다.¹²⁾ 재사용이 가능한 농자재는 시설로 간주하여 환경영향은 고려하지 않았다.

12) Korean Environment and Resource Corporation(2007), Ministry of Agriculture and Forestry(2001).

〈표 2〉 마늘 LCI DB 목록

구분	물질명	유효성분	계통	적용DB	출처	연도
유기질 비료	퇴 비			compost, at plant	Ecoinvent	2003
무기질 비료	석 회			lime, from carbonation, at regional storehouse	Ecoinvent	2003
	요 소			<sulfony> urea-compounds, at regional storehouse	Ecoinvent	2010
	용과린	인산 20% 석회 275		thomas meal, as P ₂ O ₅	Ecoinvent Ecoinvent	2003 2003
	황산칼리				Ecoinvent	2003
농 약	다코닐에이스 (수화제)	Chlorothalonic 75%			Ecoinvent	2010
	후라단 (입제)	Carbofuran 3%			Ecoinvent	2010
	빈나리	Dinaconazole 5%	Triazole		Ecoinvent	2010
	큰나락	Venomyl 20% Thiram 20%	benzimidazole Dithiocarbamate		Ecoinvent Ecoinvent	2010 2010
에너지	전 기			전기	지식경제부	2000
	경 유			diesel	환경부	2003
농자재	비 닐			polythylene Resin(low Density)(LDPE)	APME	1989
	끈			nylon66	APME	1995

연료사용, 비료 사용으로 인한 직접 대기 배출물은 IPCC 2차 보고서의 배출계수를 연결했다.¹³⁾ 마늘 식물 잔사의 경제적 가치는 인정하지 않고 환경부하도 없는 것으로 추정했다. 농업에 있어 중요한 용수 사용의 영향도 기준 부재로 고려할 수 없었다. 마늘 시설재배에서 농기계의 사용, 이동거리, 포장까지의 이동거리, 수확 후 수매까지의 이동거리등도 설정하지 않았다. 투입목록 분석을 통한 탄소원단위 성적과 전과정 평가를 위하여 프로그램으

13) 온실가스 직접 대기배출량(kg GHG) = 연료 사용량(L yr⁻¹) × 저위발열량(MJ L⁻¹) × 단위전환계수 (10E-6) × 배출계수(kg GHG TJ⁻¹)

로 PASS(5.0.0)을 사용하였다.

이 모든 과정을 통해 마늘 생산과정에서 탄소원단위 성적은 $1,173 \text{ E}+00\text{kg CO}_2\text{-eq kg}^{-1}$ garlic이다. 마늘 1kg을 생산하는데 1,173g의 CO_2 가 발생한다는 의미이다. 온실가스 발생량 비중을 비교하면 CO_2 는 전체의 85%, CH_4 는 전체의 11%, N_2O 는 전체의 3%이었다. 위의 분석은 농약과 비료를 표준량을 사용했을 때의 CO_2 배출이다. 아직 마늘이 수입된다는 통계는 없지만 수입산 시설 마늘과 국산 마늘을 비교한다면 수송 후 농약살포와 수송과정의 CO_2 를 생각하면 국산 마늘의 환경에 끼친 부하가 가장 적다.

구체적으로 환경영향을 분석해 보니 마늘 생산과정에서 가장 많이 영향을 끼친 것은 지구 온난화와 산성화, 자원고갈이다.

전과정 영향평가는 분류화(classification), 특성화(characterization), 정규화(normalization), 가중화(weighting)의 순서로 구성되어 있다. 분류화와 특성화는 ISO 14040 규정에 의한 의무규정인데 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. PASS에서 사용하는 방법론을 이용해 주요 6가지 환경영향범주의 영향을 <표 3>으로 나타냈다.

마늘 1kg 생산과정에는 지구온난화에 대한 영향이 $1.173\text{E}+00$ 로 가장 크고 산성화가 $4.920 \text{ E}-02$ 로 다음을 차지하고 있다. 지구온난화에 대한 영향은 특히 탄소 유기질비료 생산과정에서 60%, 농약 설포닌 제조과정에서 36%가 발생한다. 자원고갈도 농약 설포닌 제조과정에서 89%, 칼륨 제조과정에서 6%, 오존층 파괴는 농약 클로로탈로닌, 카보퓨란 제조과정에서 전체의 86%가 발생한다. 산성화도 유기질비료 제조과정에서 48%, 설포닌 제조과정에서 48% 발생하고 부영양화는 비료생성과정에서 63%, 설포닌 제조과정에서 38% 발생하는 등 기여도의 1위, 2위 모두 비율만 조금 다를 뿐 유기질 비료와 농약 생산과정에서 발생한다.

Tab 1. Emission factors and low-heating value of agricultural energy

Fuel	Emission factor (kg TJ ⁻¹)			Low-heating value (MJ/L, NM ³)
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	
Light oil	74,100	3.9	3.9	35.4
Kerosene	71,900	3	0.6	35
Heavy oil	77,400	3	0.6	39.1
Gasoline(Transfer)	69,300	33	3.2	31
Gas(Butane/LPG)	63,100	1	0.1	45.7
Natural gas	64,200	3	0.6	40
Anthracite	98,300	1	1.5	19.3

〈표 3〉 마늘 1kg 생산과정의 환경영향

영향 범주	특성화	정규화	가중화
자원고갈(kg/yr) ARD(Abiotic Resource Depletion)	4.330E-03	1.74E-07	4.02E-08
지구온난화(kg Co ₂ eq.) GWP(Global Warming Potential)	1.173E+00	2.12E-07	6.10E-08
오존층 파괴(kg CFC-11 ₂ eq.) ODP(Ozone Depletion Potential)	2.810E-06	6.90E-08	2.02E-08
산성화(kg So ₂ eq.) ACP(Acidification Potential)	4.920E-03	1.24E-07	4.45E-09
부영양화(kg Po ₄ eq.) EUP(Eutrophication Potential)	4.789E-04	3.66E-08	1.39E-09
광화학적 산화물생성(kg C ₂ H ₄ eq.) POCP(Photo-chemical Oxidant Creation Potential)	2.091E-04	2.03E-08	1.32E-09
합 계			1.29E-07

마늘은 아직 유기인증 받은 생산량이 적다. 하지만 이 논문을 통한 마늘 생산과정의 환경영향평가 특성화 및 가중화 결과를 분석해보면 비료와 농약 부분임을 절대적인 영향을 미쳤음을 알 수 있다. 비료 사용량을 10%, 20% 감소시켰을 때 이에 따른 작물별 온실가스 저감효과를 분석하면 이는 농업부문 온실가스 배출을 줄이는데 큰 효과가 있을 것으로 보인다.

마늘의 생산의 전과정은 마늘을 생산하기 위해 전력, 연료, 용수 등이 투입되며 생산된 마늘을 포장하여 이를 소비자에게 전달하기까지 운송과 냉장판매를 거치게 된다. 이 과정에서 전력과 연료가 소비되며 이로 인한 환경오염물질이 발생하게 된다. 이때는 수송거리에 의한 에너지소비와 신선보관을 위한 전기에너지 소비를 프로그램에 첨부하면 된다. 농산물의 전체 생산과정에서 발생하는 탄소배출량을 산정하고 이를 토대로 탄소배출량이 적은 농산물 생산방식을 도입해야 하는 필요가 있다.

V. 결 론

농업이 가지는 환경의 순기능은 보전하되 이제까지 농업활동에 의한 환경영향을 객관적으로 평가하고 부정적 영향을 줄이기 위해서는 정량화하고 종합적인 접근이 필요한데, LCA는 이에 적합한 분석도구 중 하나이다.

아직까지 우리나라에서는 농산물의 전과정평가연구가 초기단계이고 농업분야의 전과정

평가는 배출물의 경로별로 인간건강 및 생태계에 미치는 환경영향의 인과관계 분석 자료가 많이 요구되며 지역별·계절별·농사방법에 따라 조건에 민감하게 반응하기에 다양한 연구가 필요하다.

마늘 생산과정의 탄소배출량 산정에서 보듯이 마늘 1kg 생산과정을 비료생산과정, 농약 생산과정, 마늘 재배과정, 에너지 투입과정으로 나누어 어떤 과정에서 온실가스가 얼마나 발생하는지 수치화하고 이것이 환경영향을 6가지 범주로 나누어 생각했다. 결론에서 보듯 우리나라 마늘 농사는 비료와 농약을 많이 투입해 생산량을 극대화하고 농가소득을 극대화하려는 방식으로 진행되기에 환경적으로 부하가 생기는 고탄소농업이다. 영역별로 각각 어떤 영향을 미치는 지 어떤 과정에서 이산화탄소가 가장 많이 배출되는 지 알 수 있고 각각의 저감대책도 세울 수 있다. 마늘의 경우 비료시비 저감을 위한 영농법과 시설재배에서 에너지의 효율적인 연료사용에 대한 연구가 필요하다. 이번 사례분석은 생산과정에만 국한시킨 것이나 이것이 사용단계인 보관, 운송, 폐기단계까지 더 고려한다면 탄소배출량이 수입농산물과 많은 차이를 보일 것이고 지역농이나 유기농 농산물의 환경적 우수성이 드러날 것이다.

농산물의 탄소라벨링 제도는 소비자들에게 저탄소 제품에 대한 선택권을 보장하여 온실가스 감축노력에 참여할 수 있는 기회를 제공하고 국내 농수축산 및 식품의 경쟁력 강화에 기여할 수 있다. 탄소라벨링 제도를 통해 특정식품의 온실가스 배출량을 소비자에게 전달 가능함으로써 농산물우수관리제도와 함께 소비자가 우리 농산물을 선택하는데 큰 영향을 미칠 것으로 기대된다. 이 제도에 대한 소비자들의 신뢰가 생기고 소비자들이 제도에 기꺼이 동참하도록 하기 위해선 인센티브가 필요하다. 탄소라벨링 제도는 푸드 마일리지(food mileage) 및 로컬 푸드(local food) 운동과 밀접한 관련지어 우리 농산물 이용에 대한 당위성을 강화시켜 주는데 일조하고 우리 농촌 살리기의 바람직한 모델이 될 것이다. 농업생산자는 농약사용을 감소시키려고 노력함으로써 스스로의 건강을 지키고, 소비자는 안전한 먹을 거리를 먹으면서 자신의 건강을 지키면서 동시에 농가의 생활을 지켜준다는 농가와 소비자 사이가 ‘공생관계’로 연결될 것이다.

탄소라벨링 제도는 환경정보를 공개함으로써 소비자와의 적극적 커뮤니케이션 시스템을 구축할 수 있는 수단이며 대형급식업소, 식당에서 제공하는 음식물의 탄소배출량 표지로 외식산업 마케팅 등 많은 분야에서 응용이 가능하다. EU 등 선진국에서는 이미 탄소세 도입논의와 함께 탄소배출량이 많은 제품에 대한 수입규제 움직임을 보이고 있어 이에 대한 대응이 농업분야에서도 요구된다. 지금 소비자들은 농수축산물과 식품에 대해 농장에서 식탁까지 통합적으로 접근하여 환경적으로 정확한 정보를 주며 위험분석과 예방을 통한 안전한 관리를 요구하고 있다. 우리도 천천히 이러한 방향으로 나아가야 한다.

[논문접수일 : 2012. 6. 7. 논문수정일 : 2012. 6. 15. 최종논문접수일 : 2012. 6. 27.]

참 고 문 헌

1. 남재작. 2010. 농림수산물분야 탄소표시제 및 탄소포인트제 도입방안, 농림부.
2. 박민선. 2009. 초국적 농식품체계와 먹을거리위기. 한국농촌사회학회 춘계학술대회.
3. 소규호·이길재·김건엽 등. 2010. 콩의 생산과정에서 발생하는 탄소배출량 산정 및 전과정평가. 한국토양비료학회지 43(6).
4. 윤성이·권혁준. 2011. 전과정평가를 통한 유기농자재의 탄소배출량산정연구 - 유기질비료를 중심으로. 한국유기농업학회지 19(1).
5. 이건모·허탁·김승도. 1998. 환경 전과정 평가(LCA)의 이론과 지침. 한국인정원.
6. 임송택·이춘수·양승룡. 2010. 전과정평가를 이용한 관행농과 유기농 쌀의 환경성 및 외부 비용 분석. 한국유기농업학회지 18(1).
7. 윤성이·조제억·김태호·김경훈·손보홍. 2011. 국내 유기농업 분야 LCI D/B 구축 및 탄소원단위 산정. 농촌진흥청 계속과제 보고서. 농촌진흥청.
8. 윤성이·김영란. 2011. 시설 방울토마토의 생산과정에 있어 탄소배출량 산정과 농산물의 탄소라벨링. 한국유기농업학회지 19(3).
9. 이정택·신용광·김건엽. 2005. 농경지 배출 온실가스 모니터링. 농업부문 온실가스 배출저감 연구 5차년도 보고서. 농촌진흥청. 10-48.
10. 환경부. 2004. 환경성적표지 작성지침 및 인증기준. 환경부 고시 제2004-26호.
11. 농림수산물식품부(www.maf.go.kr)
12. 농촌진흥청 작물과학원(www.nics.go.kr)
13. 국가 LCI 데이터베이스정보망(<http://www.edp.or.kr/lcidb>)
14. 농촌진흥청. 2011. 2010 농축산물 소득자료집(www.rda.go.kr)