

시설방울토마토의 생산과정에 있어 탄소배출량 산정과 농산물의 탄소라벨링

김영란* · 윤성이**

Estimation of Carbon Footprint in Cherry-tomato Production System and Carbon Labelling in Agriculture Products

Kim, Young-Ran · Yoon, Sung-Yee

This study was carried out to estimate carbon footprint and to establish of LCA of cherry-tomato production system. I have case study in cultivate cherry tomato (1 kg) calculate in carbon foot print. LCA carried out to estimate carbon foot print and to establish of LCI (life cycle inventory) database of cherry tomato production system. The data is from Research of Farmer's income in 2007 (RDA, 2008), and used Pass (4.1.3) program. The value of fertilizer, amount of pesticide input were show the environmental effect and direct emission. Carbon foot printing in agriculture guarantee the choice right th consumer th choose the row carbon goods. Its can make to strengthen of agriculture and food industry's reduction effort of CO₂. Nowadays consumer request food's safety and environment friendly process. Carbon foot printing needs consumer's relief and incentives.

Key words : *carbon foot print, LCA (life cycle assessment), cherry tomato, carbon labeling, local food, food mileage, greenhouse gas*

* 동국대학교 식품산업관리학과 대학원

** 동국대학교 식품산업관리학과 교수

I. 서 론

지금 우리 농산물은 안전성과 환경성을 같이 평가하기 어렵다. 원산지는 표시되거나 포장에 따라 제한적으로 표시되며 포장단위를 나누어 판매할 때는 원산지에 대한 허위표기가 이루어지기 쉽다. 친환경농업육성법에 따라 우리나라에서 실시하고 있는 친환경인증은 화학비료와 농약의 사용여부에만 초점을 맞추고 있어 농산물의 종합적인 환경성을 평가하기에는 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. 따라서 국내로 유입되는 수입 농수산물과 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.

이 논문은 우리 농산물 중 시설방울토마토를 중심으로 실제 방울토마토 생산과정의 탄소배출량 산정과 전과정 평가를 수행하여 탄소라벨링을 농업부문에 적용하기 위해서 사전에 검토해야 할 것이 무엇인지 살펴보고자 한다.

방울토마토생산에 있어 탄소배출량산정은 직접 재배 관찰과 조사는 실행하지 못했고 농촌진흥청의 2007년 「농축산물 소득분석표」에 의거하고 농촌진흥청의 농업기술종합정보에 실린 방울토마토 관리 매뉴얼에 의거해 분석했다. 표준시비량에 따라 비료를 사용하고, 표준량의 농약을 투입하는 경우에 방울토마토 1kg을 생산하는데 탄소배출량이 어느 정도 되는지 지식경제부 산하 한국인정원에서 개발한 소프트웨어(PASS 4.1.3)을 이용해 산출했다.

최근 공산품이나 식품에 있어서 탄소라벨링이 활발하게 진행되고 있다. 환경부는 2009년 2월부터 시범 실시한 이래 2011년 6월 30일 현재 337품목의 제품 및 서비스에 1단계로 탄소 배출량을 표시하였고 내년부터는 저탄소 제품에 대한 인증도 실시한다고 한다.

농수산물의 전과정 평가에는 인간에 의한 임의적 조절 및 정확한 통제가 불가능한 자연의 공정이 포함되어 수행되어야 하기에 환경부의 탄소성적표지제도에서 제외되었지만 1차 원료인 농수산물에 대한 전과정 평가와 탄소라벨링에 대한 요구의 목소리도 높다. 농업분야의 전과정 평가방법 연구는 1990년대부터 유럽 국가들을 중심으로 에너지작물, 축산물, 원예작물 등 다양한 분야에서 이루어졌다. 그러나 아직 농업에 대한 전과정 평가 연구는 유통 및 소비단계를 제외한 생산(재배 및 수확)단계만을 대상으로 하는 경우가 많다. 본격적인 전과정 평가를 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.

II. 농업 부문 탄소 배출량 현황과 탄소라벨링 제도

1. 농업부문 탄소배출량 현황

1990년에 전체 온실가스 배출량의 5.7 %를 기록했던 농축산 부문에서 탄소배출량은 계속 감소추세를 보이고 있다.¹⁾ 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 2005년에는 14.7백만 CO₂톤(전체 2.7%), 2007년에는 전체의 2.5%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 시용으로 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.²⁾

〈표 1〉 우리나라 국가 온실가스 배출현황

(단위 : 백만 tCO₂)

부문	'90	'00	'04	'05	'06	'07	증가율
총배출량	305.4 (100.0)	461.2 (151.0)	534.4 (175.0)	596.7 (195.0)	602.6 (197.0)	620.0 (203.0)	4.3
○ 에너지	247.8 (81.1)	372.2 (80.7)	438.8 (82.1)	498.9 (83.6)	505.9 (83.9)	525.4 (84.7)	4.5
- 전환	37.9 (15.9)	83.0 (22.6)	125.7 (29.1)	170.8 (34.8)	179.3 (36.1)	189.8 (36.8)	9.9
- 산업	87.2 (36.5)	132.8 (36.2)	152.4 (35.3)	156.2 (31.8)	157.5 (31.7)	167.2 (32.4)	3.9
- 수송	42.2 (17.7)	76.7 (20.9)	86.6 (20.0)	97.5 (19.9)	99.3 (20.0)	100.2 (19.4)	5.2

1) 국립농업과학원 2006

2) 한국 농촌경제연구소 2009

부문	'90	'00	'04	'05	'06	'07	증가율
- 가정상업	64.7 (27.1)	69.7 (19.)	63.5 (14.7)	61.1 (12.5)	56.7 (11.4)	54.5 (10.6)	△1.0
- 공공기타	7.0 (2.9)	4.6 (1.3)	4.0 (0.9)	4.9 (1.0)	4.3 (0.9)	4.5 (0.9)	△2.5
○ 산업공정	19.9 (6.5)	47.1 (10.2)	58.3 (10.9)	64.8 (10.9)	63.7 (10.6)	60.9 (9.8)	6.8
○ 농업	15.2 (5.0)	22.4 (4.9)	20.6 (3.9)	18.2 (3.1)	17.5 (2.9)	18.4 (3.0)	1.1
○ 폐기물	22.5 (7.4)	19.5 (4.2)	16.7 (3.1)	14.7 (2.5)	15.6 (2.6)	15.3 (2.5)	△2.2

자료 : 녹색성장위원회 2011, 2009년 12월 지경부 발표 기준

1. ()는 구성비임.
2. tCO₂ : Tons of Carbon Dioxide(이산화탄소 톤)
3. 온실가스 총배출량/순배출량 지수는 90년 100일 때 상대지수
4. '90~'07 증가율(%)은 연평균 증가율임. 에너지부문 중 탈루성 배출('07년, 6.7백만톤)은 제외

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 탄소발생량이 많고 에너지 효율이 낮다. ha당 비료사용량은 OECD 평균의 3~4배, 농약사용량은 14배이고 에너지사용량도 37배에 이른다.³⁾

〈표 2〉 농업부문 온실가스 배출현황

(단위: 백만 tCO₂)

배출원		온실가스 배출량	배출비율		발생원
계		1,835	100%		
농경지	벼재배	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%	
축산	장내발효	3,609	34.5%	19.7%	
	분뇨처리	2,722		14.8%	

자료 : 농촌진흥청 2008

3) KREI 보고서, 2006

2. 농업분야 탄소라벨링 제도

탄소라벨링 제도는 인간이 소비를 통해 생활 속에서 발생시키는 CO₂가 지구에 미치는 영향을 알기 위한 지표로 우리가 지구온난화에 남기는 영향을 줄이자는 의미로 시작된 개념이다. 상품, 서비스의 원재료 조달에서부터 폐기, 리사이클에 이르기까지의 라이프사이클 전체를 통해서 배출되는 온실효과 가스의 배출량과 지구온난화에 미치는 영향을 해당상품 및 서비스에 표시하는 방법으로 유럽에서 시작되었다. 탄소라벨링의 목적은 자신들이 배출하는 탄소에 책임을 지도록, 생산자와 국민 한명 한명이 현명하고, 책임 있는 행동을 취하기 위하여 CO₂ 배출량을 「시각화」하고 소비자와 생산자에게 정확한 선택을 하도록 정보를 제공하는 것이다. 탄소라벨링 표시를 통해 공급 업체는 탄소배출량을 줄이려 노력하고 소비자는 상대적으로 낮은 배출량의 제품 및 서비스를 선택하는 것으로 탄소배출량을 2가지 방식으로 줄이는 방법이다. 탄소 감소에 참여하는 공급 업체와 소비자들은 명확한 기준 아래, 자신의 감소 노력을 정량적으로 파악할 수 있도록 공정한 제도 설계가 필요하다. 각 제품의 환경성을 경제적 화폐단위로 환산할 수 있는 외부비용 평가방법을 환경라벨링 제도와 접목한다면 제품의 환경성에 대한 소비자의 이해를 돕고 친환경제품의 소비를 늘이는데 일조할 수 있을 것으로 보인다. 환경, 경제, 품질 등의 분야에서 전과정 사고를 통해 투입되는 에너지량과 각종 투입물의 종류, 적절성, 제품 제조공정의 합리성 등을 평가하고 산출되거나 유출되는 각종 유해물질, 온실가스, 폐기물, 부산물, 제품 등을 통해 환경경제 효율성을 예측하고 자원을 효율적으로 관리할 수 있다.⁴⁾

〈표 3〉 영국 관행농과 유기농의 밀 생산 비교

영향 및 사용된 자원	관행농법	유기농법
사용된 에너지 양	2,460	1,740
100년간 배출된 CO ₂ kg	804	786
부영양화 가능성 EP	3.1	9.3
산성화 가능성 AP	3.2	3.4
사용한 농약(ha)	2.0	0.0
ARU(kg)	1.5	1.3

자료 : www.agrilca.ac.uk

4) 환경부, 환경성적표지 작성지침 및 인증기준, 환경부 고시 제 2004-26호

영국 등 농업선진국은 식음료품의 주원료인 1차 농산물의 LCA에 대해서 많은 연구를 진행했다. 특히 관행농업과 유기농법으로 밀을 재배할 때 에너지 및 온실가스 배출로 인한 지구온난화에 미치는 영향 등을 분석하였다. 영국의 Institute of Science in Society(ISIS)에서 발간한 자료에 의하면 지역순환유기농업에 의한 전체 온실가스 감소율을 32.1%로 분석했다. 유기토양의 탄소고정에서 11%, 별채를 통해 9.0%, 지역농업시스템 개선을 통해 7.6%의 온실가스를 줄일 수 있다고 추정했다. 에너지 잠재 감소율도 수송부문 5% 등 총 17.3%로 분석했다.⁵⁾

〈표 4〉 영국 지역순환 유기농업의 온실가스 및 에너지 잠재 감소율

구 분	온실가스	에너지
유기토양의 탄소고정	11.0%	
별채	9.0%	5.0%
지역농업 시스템		
수송부문의 감소	3.0%	5.0%
건물과 기반 부문의 감소	1.0%	1.0%
가공과 포장 부문의 감소	1.5%	3.5%
폐기 부문의 감소	0.5%	0.5%
가축 반으로 감소	1.6%	1.0%
질소질 비료의 단계적 제거		
아산화질소 배출의 감소	3.8%	0.5%
제조에서 사용되는 화석연료 감소	0.7%	2.3%
전체	32.1%	17.3%

자료 : Institute of Science in Society(ISIS), www.i-sis.org.uk

영국은 7가지 주요 농산물(토마토, 감자, 딸기, 사과, 소, 돼지, 닭)에 대한 자원 사용 및 환경 부담을 규명하기 위해 전과정평가를 통한 환경영향 평가를 수행하고 시스템 경계를 생산영역에 국한시키지 않고 농축산물의 지역물류센터로 확장하여 평가하였다.

프랑스 대형슈퍼 체인 Casino사(유통업계 5위)는 생산·가공·운송·포장과 판매의 5단계에서 배출되고 있는 온실효과 가스량을 150사 600종류 이상의 상품에 대해서 조사하고 계

5) 영국 비정부 연구기관인 Institute of Science in Society(ISIS)는 유기농업에 의한 농업부문 온실가스 감축과 지역과의 연관성을 연구하고 있다. www.i-sis.org.uk

산해 여덟 가지 제품(요구르트, 탄산음료, 섬유류 등), 100개의 PB상품에 라벨을 표시했다.

〈표 5〉 덴마크 품목별 전과정 CO₂ 배출량

농작물 (gCO ₂)		밀	귀리	호밀	콩	감자	사탕무
		710	570	720	620	160	160
축산물	소	소	안심	등심	사태	스테이크	
		11,600	68,000	44,800	42,300	42,400	
	돼지	돼지	안심	햄	다진고기		
		2,250	4,560	2,950	2,310		
수산물		대구	가자미	청어	고등어	새우	홍합
		1,200	3,300	580	170	2,940	40

자료 : www.lcafood.dk

덴마크는 ‘같은 귀리라도 관행농에 의해 생산되는 것은 710gCO₂가 발행하지만 유기농으로 귀리를 생산하면 280gCO₂으로 60.6%의 gCO₂를 줄일 수 있다’고 유기농으로 전환해야 하는 근거를 만들고 있다. 스위스 등 농업 선진국 등도 일반 관행 농산물과 육류를 생산하는데 배출되는 CO₂ 량을 계산하고 이를 유기농으로 전환했을 때 얼마만큼 CO₂ 배출을 줄이고 환경부하를 줄일 수 있는지 각 생산과정, 단계별로 연구하고 있다.

Ⅲ. 시설 방울토마토 생산에 있어 탄소배출량 산정

농림수산식품부도 2010년 □□농림수산물분야 탄소표시제 및 탄소포인트제 도입방안□□⁶⁾에 대한 연구보고서를 내놓고 여러 차례 정책 과제 워크숍을 통해 2012년에는 저탄소 인증제도 실시를 확정하고 농산물에 대한 탄소표시제 시범실시를 시사하고 있다. 또한 쌀보리, 겉보리, 맥주보리, 시설상추, 고구마, 고추 등 10개 품목에 대한 각기 생산과정에서 발생하는 탄소배출량 산정 및 전과정 평가 적용 연구도 진행했다.⁷⁾

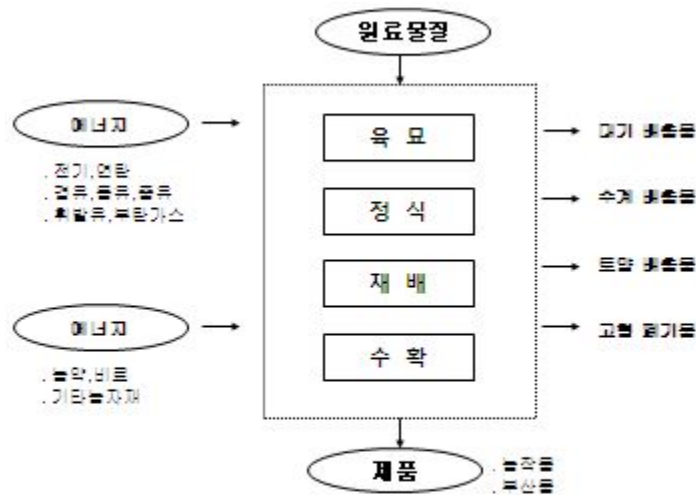
이에 더 많은 품목에 대한 탄소배출량 산정을 통해 우리 농민이나 농업단체, 농업기업들

6) 남재작, □□농림수산물분야 탄소표시제 및 탄소포인트제 도입방안□□, 2010, 농림부

7) 소규호·박정아·이길재 등, 「보리의 생산과정에서 발생하는 탄소배출량 산정 및 전과정평가 적용」, 한국도양비료학회지 43권 5호(2010) 등

뿐만 아니라 소비자들도 받아들일 수 있는 탄소표시제도가 필요하다는 생각에서 시설방울토마토 생산과정에서 탄소배출량을 산정하고 전과정 평가를 진행했다.

방울토마토는 학명(學名)은 (*Lycopersicon esculentum* var. *ceracsforme*)이고 영명(英名)은 cherry tomato이다. 방울토마토는 가지과 식물로⁸⁾ 높이는 1m 안팎이고 라틴아메리카가 원산지다. 노지에서 재배하지만, 주로 하우스에서 재배한다. 발아에 알맞은 온도는 25~30℃, 생육에 알맞은 온도는 25~27℃이다. 육묘를 통해 새싹이 돋은 뒤, 일주일 정도 지나면 옮겨 심는다. 꽃이 피기 시작하면 버팀목을 세우고, 수확은 꽃이 핀 뒤 50일 정도 지나 색깔이 붉은색으로 변할 때 한다. 완전히 익었을 때보다는 60% 정도 붉은색을 띠 때 수확하는 것이 좋다. 방울토마토는 크기가 적당하며 껍이 무르지 않고 단단한 것이 좋고 붉은색을 띠며 꼭지가 신선한 것이 좋다.



〈그림 1〉 방울토마토 생산단계의 전과정 평가

토마토에는 각종 성인병을 예방할 수 있는 많은 물질들이 함유되어 있어 건강식품이란 인식으로 수요가 증가하여 2001년 이후 연평균 6%씩 증가하고 있다. 생산규모는 토마토 재배면적은 6,188ha, 총생산량은 483천 톤, 방울토마토는 170천ton으로 추정하고 1인당 토마토 소비량이 2010년을 기준으로 9.5kg인데 연평균 1% 증가할 것으로 전망된다.⁹⁾ 본 연구는 파종에서 수확까지 1년 1기작을 기준으로 평가를 수행하였다.

방울토마토 전과정 평가는 제품의 제조, 수송, 사용, 폐기 및 재활용 단계까지, 제품의 전체 일생인 “요람에서 무덤까지” 즉 전 과정을 포함한다.¹⁰⁾ 하지만 이번에는 시설 방울토마

8) 농촌진흥청 농업기술정보(www.rda.go.kr)

9) 농촌경제연구원, 「2011년 농업전망」

토의 생산단계만 포함한 LCA 분석을 했다. 원료물질인 종자, 종묘를 투입하여 최종생산단계에서 시설방울토마토 1kg을 수확하는 과정에서 투입되는 화석연료, 전기 등 에너지와 농약, 비료, 농기계, 농자재 등이 얼마나 투입되고 이로 인해 발생하는 온난화가스와 같은 대기 배출물, 중금속, 양분, 폐기물, 질산염 등 수계 배출물 등으로 규정하였다.

〈표 6〉 방울토마토 1kg 생산에 있어 소요되는 투입요소

구 분	투입량 (10a 당)		투입량 (1kg)	Data 소스	
투 입	종자	0.3	3,949E-05kg	농진청	
	종묘	2,748.4주	3,618E-01kg	농진청	
		유기질 비료	3,333KG	4,318E-01kg	농진청
		N	7.4KG	9,741E-04kg	농진청
		P	5.3KG	6,977E-04kg	농진청
		K	7.2 KG	9,478E-04kg	농진청
	농약 ¹¹⁾	살균제 유제	422.9	5,567E-02kg	eco-invent
		살균제 입제	0.2 KG	2,632E-05kg	
		살균제 분제	3.4 g	4,476E-04kg	
		살균제 수화제	670.8 ml	8,830E-02kg	
		살충제 수화제	286.1g	3,766E-02kg	
		살충제 유제	519 ml	6,832E-02kg	
	무기질 비료	요소	1.1 KG	1,448E-04kg	농진청
		유안	0.3 KG	3,949E-05kg	
용성인비		7.2 KG	9,478E-04kg	농진청	
염화칼리		1.6 KG	2,166E-04kg	농진청	
붕소		0.4 KG	5,265E-05kg		
농용석회		26.8 KG	3,528E-03kg	농진청	
유기질 비료	복합비료	50.2 KG	6,608E-03kg	eco-invent	
	규산질비료	17.9 KG	2,356E-03kg	eco-invent	
	영양제 액제	96.2 l	1,266E-03kg	적용 안함	
	영양제 수화제	3,285.5 g	4,325E-01kg		

10) 이건모·허탁·김승도, 1998, □□환경 전과정평가(LCA)의 이론과 지침□□.

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

구 분		투입량 (10a 당)		투입량 (1kg)	Data 소스
투	에너지	전기	3,666.6kw	4,827E-01kg	농진청
		유류	4,448.3 l	5,856E-01kg	농진청
입	농자재 ¹²⁾	비닐	868.3 m	1,057E-03kg	농진청
		비닐끈	2.3 타	3,482E-07kg	농진청
		풋트	139.9개	1,860E-04kg	농진청

자료 : 농진청, 2007 농축산물 소득자료집

구체적인 투입목록은 <표 6>에 정리하였다. 농촌진흥청은 2008년 10a의 토지에서 7,596 kg의 방울토마토를 생산해 16,012,368원의 수입을 올리는 것으로 파악했다. 「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. 지역간 환경이나 농사방법 간 차이는 반영하지 못한다.¹³⁾

시설방울토마토의 재배는 육묘 재배 후 정식의 형태가 일반적이므로 육묘, 토양정비, 정식 및 재배, 수확의 4단계로 정의하였다. 과종량은 과종시기, 지역, 작부형태에 따라 차이가 있으나 농진청 재배지침에 10a당 1.0dl, 육묘 50~72중에 비해 2,748.4주로 훨씬 많은 투입량을 나타냈다.

비료량은 토양정비의 밑거름과 정식 및 재배단계의 웃거름 투입요소이다. 시비량은 재배 환경, 유기농과 관행농의 재배형태에 따라 시비 종류와 투입량에 차이가 있지만 농진청(2008년)의 「2007 농축산물 소득자료집」을 기준으로 계산했다. 비료는 유기질 비료 3,333kg, N 7.4kg, P 5.3kg, K 7.2kg, 요소 1.1kg, 유안 0.3kg, 용성인비 7.2kg, 염화칼리 1.6kg, 붕소 0.4kg, 농용석회 26.8kg를 투입했는데 각 비료의 유효성분량을 고려한 실제 투입량 산정절차가 필요하다. 또 공산품에 있어 각 단계에서 투입물의 95%에서 CUT-OFF의 물을 적용하는데 농산품에 있어서는 유효성분에서 CUT-OFF의 물을 어느 정도 반영할지 논의가 필요하다.¹⁴⁾

질소질 비료인 요소 : 유안은 90 : 10의 비율로 구성되어 있다고 보고 인산질 비료는 용성인비 100%로 계산했다. 칼리질 비료는 황산칼리: 염화칼리 = 18: 82%이다. 유안은 암모니아 40%, 황산 10%, 기타로 구성되어 있으며, 비료사용으로 인한 토양의 집적이나 배출은 고려하지 않았다.¹⁵⁾

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

13) 농촌진흥청, 2008, 「2007 농축산물 소득자료집」

14) 공산품의 경우 각 단계 주요성분을 중심으로 95%의 CUT-OFF를 적용하고 있다.

15) 윤성이·권혁준, 2011, “전과정평과를 통한 유기농자재의 탄소배출량산정연구 -유기질비료를 중심

물질의 구성요소를 IN PUT으로 그것을 통해 나오는 결과물을 OUT PUT으로 설정하였다. 국가 데이터베이스(D/B)를 가지고, Top-down 방식으로 조사했다. 질소와 퇴비 사용은 농업의 N_2O 로 인한 지구온난화 영향과 NO_3 로 인한 부영양화 물질을 직접 발생시켜 산출량과 배출량 평가가 중요하다. 또한 방울토마토 생산과정의 상위공정인 비료 생산 공정에 대한 LCI가 구축되어 있지 않으므로 스위스 에코 인벤트(ECO-INVENT) 데이터베이스를 연결했다.

농약사용량은 농진청과 한국작물보호협회에서 지도하는 작물별 표준농약사용량에 가중치를 적용한 지수를 사용했다. 방울토마토에 사용하는 농약은 살충제, 살균제, 제초제, 성장촉진제로 나누어 생각할 수 있다. 살충제로는 아메리카잎 굴파리, 온실가루이, 뿌리혹선충에 사용하는 갖가지 농약들이 있는데 대략 물 20L당 5~20g 넣어 2~3회 뿌려준다. 살균제는 잎곰팡이병, 겹무늬병, 잿빛 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. 또 유효성분 중에도 소량, 미량의 성분이 너무 많아 이 부분에 대한 연구가 시급하다. 비료 및 농약은 표준 사용량을 사용했다고 가정하고 지역이나 농법상 차이를 반영하지 않았다.

농약병이나 비료부대 등 부자재에 대한 환경부하도 고려하지 않았다. 농자재 중에서 비닐과 비닐 끈 등 한번 쓰고 다시 쓰기 어려운 것, 많이 쓰이는 물질에 한정했다. 사용이 가능한 농자재는 시설로 간주하여 환경영향은 고려하지 않았다. 직접 농장이나 현장의 데이터를 수집하지 못해 생산에 투입되는 물질을 농진청 소득 자료에 근거한 경영비 투입자료로만 제한했는데 농진청 소득 자료의 상세한 내용 공개가 필요하다.

농산물의 경우 원료물질 투입량과 제품생산량 간 질량 보존의 법칙이 성립되지 않고 원료물질인 종자와 종묘의 경우 질량단위로의 환산하는데 문제가 생길 수 있지만 주요성분만을 대상으로 하였다. 연료사용, 비료 사용으로 인한 직접 대기 배출물은 IPCC 1996 배출계수를 연결했고 데이터베이스가 아직 존재하지 않는 물질에 적용하지 못한 계수는 앞으로 데이터가 구축되면 더 상세히 적용할 수 있을 것이다. 영농폐기물의 배출 및 처리량은 농업폐기물 통계(KWA 2007)를 따랐다. 방울토마토 식물 잔사의 경제적 가치는 인정하지 않고 환경부하도 없는 것으로 추정했다. 농업에 있어 중요한 용수 사용의 영향도 기준 부재로 아직 고려할 수 없었다. 방울토마토 시설재배에서 농기계의 사용, 이동거리, 포장까지의 이동거리, 수확 후 수매까지의 이동거리등도 설정하지 않았다. 투입목록 분석을 통한 탄소원단위 성적과 전과정 평가를 위하여 프로그램으로 PASS(4.1.3)을 사용하였다.

으로”, 한국유기농업학회지 제9권 1호.

〈표 7〉 방울토마토 1kg 생산에 따른 온실가스 배출량

구 분		배출량		D/B 소스
배출	대기배출물	CO ₂	6,109E-01kg	IPCC
		CH ₄	1,272E-02kg	IPCC
		N ₂ O	2,073E-03kg	IPCC
	고형폐기물	비닐쓰레기	8,340E-03kg	환경자원공사
생산물	방울토마토	방울토마토	1kg	

방울토마토 1kg 생산당 탄소성적은 유기질비료 생산 공정, 무기질 비료 생산 공정, 농자재 생산 공정, 에너지 생산 공정, 농약 생산 공정에서 각각 발생한다. 특히 비료 투입량이 많아 비료생산 공정에서의 CO₂ 배출이 많았다. 전기와 유류사용량도 큰 비중을 차지한다. 전기와 유류사용에 있어 온실가스 배출을 연구에 에너지 사용을 최적화할 필요가 있다.

$$\text{전과정 탄소성적(kg CO}_2\text{-eq.)} = \sum [\text{온실가스 배출량(kg GHG)} \times \text{GWP}^{16}]$$

이 모든 과정을 통해 방울토마토 생산과정에서 탄소원단위 성적은 8,805 E-01kg CO₂-eq kg⁻¹ cherrytomato이다. 시설방울토마토 1kg을 생산하는데 880g의 CO₂가 발생한다는 의미이다. 온실가스 발생량 비중을 비교하면 CO₂ 6,109E-01kg로 전체의 88% CH₄는 1,272E-02로 전체의 10%, N₂O는 6,689E-03로 전체의 2%이었다. 위의 분석은 농약과 비료를 표준량을 사용했을 때의 CO₂ 배출이다. 이 시설 방울토마토가 유기농이라면 (따로 조사하지는 못했다) 농약과 비료투입으로 인한 CO₂ 배출은 1/2~1/3 수준으로 줄어들 것으로 예상된다. 아직 방울토마토가 수입된다는 통계는 없지만 수입산 시설 방울토마토와 국산 시설방울토마토를 비교한다면 수송후 농약살포와 수송과정의 CO₂를 생각하면 국산 유기농 방울토마토의 환경에 끼친 부하가 가장 적다.

구체적으로 환경영향을 분석해 보니 방울토마토 생산과정에서 가장 많이 영향을 끼친 것은 지구 온난화와 자원소모이다.

16) GWP(Global Warming Potential, 지구 온난화지수)는 온실가스가 100년 동안에 대기에 머물며 지구에 미치는 온난화 효과를 CO₂를 1로 했을 때 CH₄= 21, N₂O =310, HFC-134a가 1300, HFC-152a는 140, HFC-23은 11700, SF₆은 23900, PFCs는 6500의 값을 갖는다(IPCC 2001).

<표 8> 방울토마토 1kg 생산과정의 환경영향

영향범주	원료물질채취 및 제품제조단계	사용단계	폐기단계	TOTAL
자원소모 kg antimony eq./방울토마토 1.00E+00kg	3.763E-02	0.000E+00	0.000E+00	3.763E-02
지구온난화 kg CO ₂ -eq./방울토마토 1.00E+00kg	8.805E-01	0.000E+00	0.000E+00	8.805E-01
산성화 g SO ₂ -eq./kg/방울토마토 1.00E+00kg	2.670E-03	0.000E+00	0.000E+00	2.670E-03
오존층파괴 kg CFC 11-eq./방울토마토 1.00E+00kg	6.457E-07	0.000E+00	0.000E+00	6.457E-07
부영양화 kg PO ₄ ³⁻ -eq./방울토마토 1.00E+00kg	1.531E-03	0.000E+00	0.000E+00	1.531E-03
광화학산화물생성 kg C ₂ H ₄ eq./방울토마토 1.00E+00kg	1.935E-03	0.000E+00	0.000E+00	1.935E-03

전과정 영향평가는 분류화(classification), 특성화(characterization), 정규화(normalization), 가중화(weighting)의 순서로 구성되어 있다. 분류화와 특성화는 ISO 14040규정에 의한 의무 규정이고 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 8>로 나타냈다. 방울토마토 1kg 생산과정에는 지구온난화에 대한 영향이 8.805E-01로 가장 크고 자원소모가 3.763E-02로 다음을 차지하고 있다.

방울토마토의 생산의 전과정은 방울토마토를 생산하기 위해 전력, 연료, 용수 등이 투입되며 생산된 방울토마토를 포장하여 이를 소비자에게 전달하기까지 운송과 냉장판매를 거치게 된다. 이 과정에서도 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.

1kg 생산에 따른 온실가스 배출량은 시설채소가 노지채소에 비해 높고 유기농산물의 온실가스 배출량은 덴마크의 경우 관행농산물의 50% 수준에 불과하다.¹⁷⁾ 모든 작물에서 제조단계의 영향이 크게 나타난다. 특히 비료의 생산과 사용이 온실가스 배출에 큰 영향을 미치는 것을 볼 때 부산물 비료 사용량을 10%, 20% 감소시켰을 때 이에 따른 작물별 온실가스 저감효과를 분석할 수 있고 이는 농업부문 온실가스 배출을 줄이는데 큰 효과가 있을

17) 덴마크 www.lcafood.dk

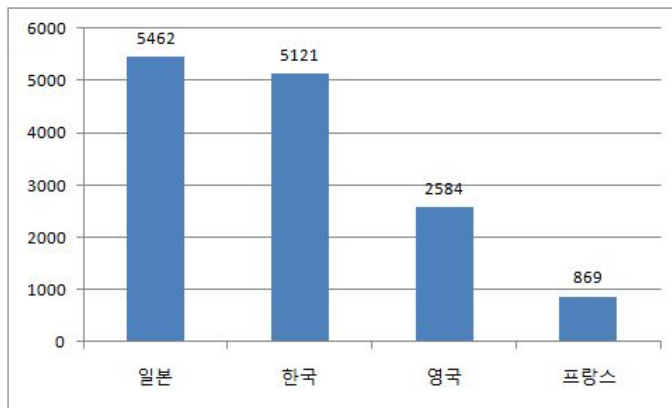
것으로 보인다.

탄소라벨링 제도 준비를 통해 우리 농업생산과 유통, 각 과정에 대한 객관적 평가와 데이터화가 농업의 과학화를 앞당기는 계기가 될 것이다. 우리나라는 1997년부터 지경부와 환경부내 LCI DB 구축에 착수해 400여개 기초 원부자재 및 공정의 DB를 구축했다. 농업부 문에서는 2009년부터 농촌진흥청에서 쌀, 보리, 콩, 배추, 무 등 주요 농산물에 대한 LCI DB 구축작업이 진행되었고 농진청은 2020년까지 50개 품목의 DB를 구축할 계획이라 한다.

벼, 보리, 콩, 밀, 수수 등 곡물류 및 배추, 무, 오이, 고추 등의 채소류, 사과, 배 등의 과일류 등에 대한 LCI(life cycle inventory) 배출량 DB 작성과 국내에서 생산되는 비료, 농약, 퇴비, 피복비닐 등 농자재에 대한 LCI 원단위 DB의 작성이 필요하다. 현재 탄소라벨링이 요구되는 품목들은 산업연관 효과가 큰 제품들이다. 농산물로는 쌀, 콩, 감자, 보리, 고추, 사과, 귤, 딸기 등, 축산물로는 돼지고기, 소고기, 닭고기, 계란, 우유 등, 농산물 가공품인 신선편이, 유제품, 과즙 등, 비료는 복합비료, 요소, 유안, 염화칼리, 퇴비, 유기질 비료 등, 농약은 제초제, 살충제, 살균제, 미생물제제, 피복 비닐과 온실용 자재 등 농자재와 트랙터, 경운기, 건조기, 콤팩트, 이앙기, 온풍기 등 농기계가 필요하다.

IV. 탄소라벨링과 로컬푸드

농식품의 안전성과 환경성을 생각한다면 특정 지역 내 농민들이 생산한 먹을거리를 가능한 지역 내에서 소비되는 것이 가장 바람직하다. 거리는 가까우면 가까울수록 좋다. 외국에서는 대체로 50km~100km 정도(1시간 거리)를 바람직하다고 본다.¹⁸⁾



〈그림 2〉 국민 1인당 푸드 마일리지(최명애, 국립환경과학원 2009. 6)

18) 박민선, “초국적농식품체제와 먹을거리위기”, 「한국농촌사회학회 춘계 학술대회」, 2009.

주의할 점은 로컬푸드가 생산지와 소비지 사이의 거리만을 따지는 것이 아니라 실제로 생산물이 이동한 거리를 따진다. 먹을거리는 운송거리가 멀어지고 운송시간이 길어질수록 신선도가 급속히 떨어지기 때문이다. 물리적인 거리가 단축되면 먹을거리 운송에 들어가는 엄청난 화석연료 사용량이 감축되고 지구온난화 방지에 기여할 수 있다.¹⁹⁾ 세계 농식품체계는 먹을거리의 수송거리(food mileage)를 크게 늘렸다. 이른바 원격지 생산과 원격지 소비인 ‘원산원소(遠産遠消)’라고 할 수 있는데 도로망과 수송수단의 발달, 정보망이 발달하는 가운데 도시에 먹을거리를 공급하는 시장유통정비가 이루어졌다.

국립환경과학원의 자료에 따르면(최명애, 2009), 2007년도를 기준으로 한 한국·일본·영국·프랑스 4개국의 수입식품 푸드 마일리지 조사 결과 한국의 1인당 푸드 마일리지가 5,121t·km로 869t·km인 프랑스의 푸드 마일리지의 약 5.9배로 높게 나타났다. 이들 4개국 중 일본의 푸드 마일리지가 5462t·km로 가장 높게 나타났으며, 수입식품 수송으로 발생하는 1인당 이산화탄소 배출량은 일본이 127kg으로 가장 높게 나타났으며, 이어 우리나라가 114kg, 영국 108kg, 프랑스 91kg 순으로 나타났다. 향후 우리나라의 푸드 마일리지를 낮추기 위한 노력이 필요하다.²⁰⁾

〈표 9〉 국내산 농산물과 수입산의 탄소발생량 비교²¹⁾

	국내산	CO ₂ (g)	수입산	CO ₂ (g)	CO ₂ 삭감량	국산의 CO ₂ 비율
밀가루 1KG	해남	63	호주	407	344	15%
콩 500g	산청	13	중국	73	60	18%
식빵 320g	해남	16	호주	102	86	16%
국수 400g	해남	25	호주	393	368	6%
두부 420g	산청	25	중국	163	138	15%
간장 900g	산청	30	중국	95	65	32%

자료 : 한 살림

2008년 한 살림에서 조사한 자료에 의하면 수입산의 탄소발생량은 국내산의 3~40배까지로 우리의 건강과 주변 환경에 악영향을 미친다. 소비자들이 식품수송에 따르는 환경부담에 대한 정보를 정확히 접하고 이것이 우리농업과 환경에 미치는 영향, 소비자 건강에

19) 허남혁, ‘로컬푸드란 무엇인가’, 한국농촌사회학회 정기학술대회, 2006.

20) 최명애(2009), 식품수송 따른 환경부담 프랑스의 6배. 2009. 6. 경향신문, 푸드 마일리지는(t·km)= 먹을거리의 중량(t)×수송거리(km)이다.

21) 조완형, “지구온난화 극복을 위한 한살림의 대응과제”, 2008 모심과 살림.

미치는 영향에 대해 판단한다면 소비자들의 선택의 폭이 더 달라질 것이다.

우리나라 식량자급률은 50.9%, 곡물 자급률은 26.7% OECD 국가 29개국 중 26위이다. 그나마 쌀을 제외하면 나머지 곡물의 자급률(콩 11%, 옥수수 0.8%, 밀 0.3%)은 절대적으로 낮은 상황이다. 선진국 정부들도 최근 ‘유기농’보다는 ‘지역농’에 더 강조점을 두고 있다. 유기농은 반드시 지역농으로 귀결되지 않지만, ‘지역농’은 많은 부분 ‘유기농’으로 귀결되기 때문이다. 지역의 농민과 소비자들을 가깝게 연결시키면, 그 생산물들은 처음에는 유기농이 아니었다 하더라도 자연스럽게 친환경화 되고 궁극적으로는 유기농이 된다. 지역농을 통해 친환경으로 발전할 수 있을 것이다. 탄소라벨링 등 탄소성적표시를 통해 농산물의 환경성을 강조한다면 소비자-생산자 간 거리 및 신뢰를 바탕으로 생산자 소비자 모두에게 가시적인 이점을 가져다 줄 수 있다. 탄소라벨링 제도는 로컬 푸드 운동의 지역경제의 활성화, 지역생태계의 보전, 지속가능한 농업 실현, 고용창출을 촉진하는 활동을 가장 잘 반영하는 제도가 활용될 수 있다.

V. 결 론

농업이 가지는 환경의 순기능은 보전하되 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 전과정평가는 배출물의 경로별로 인간건강 및 생태계에 미치는 환경영향의 인과관계 분석 자료가 많이 요구되며 지역별·계절별·농사방법에 따라 조건에 민감하게 반응하기에 다양한 연구가 필요하다.

시설방울토마토 생산과정의 탄소배출량 산정에서 보듯이 시설방울토마토 1kg 생산과정을 비료생산과정, 농약생산과정, 방울토마토 재배과정, 에너지 투입과정으로 나뉘어 어떤 과정에서 온실가스가 얼마나 발생하는지 수치화하고 이것이 환경영향을 6가지 범주로 나누어 생각했다. 영역별로 각각 어떤 영향을 미치는 지 어떤 과정에서 이산화탄소가 가장 많이 배출되는 지 알 수 있고 각각의 저감대책도 세울 수 있다. 시설방울토마토의 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. 탄소라벨링제도가 농업분야에 적용될 경우 녹색 기술과 친환경적 농업기술을 보급하고 농산업의 기후변화 대응 능력을 향상시킬 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 먹을거리를 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. EU등 선진국에서는 이미 탄소세 도입 논의와 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 나가야 한다.

[논문접수일 : 2011. 8. 30. 논문수정일 : 2011. 9. 14. 최종논문접수일 : 2011. 9. 23]

참 고 문 헌

1. 남재작. 2010. 농림수산물식품분야 탄소표시제 및 탄소포인트제 도입방안. 농림부.
2. 박민선. 2009. 초국적농식품체제와 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 9(1).
5. 이건모·허탁·김승도. 1998. 환경 전과정평가(LCA)의 이론과 지침. 한국인정원.
6. 조완형. 2008. 지구온난화 극복을 위한 한살림의 대응과제. 모심과 살림.
7. 최명애. 2009. 식품수송 따른 환경부담. 2009. 6. 경향신문.

8. 허남혁. 2006. 로컬푸드란 무엇인가. 한국농촌사회학회 정기학술대회.
9. 한국농촌경제연구원. 2011. 2011 농업 전망.
10. 환경부. 2004. 환경성적표지 작성지침 및 인증기준. 환경부 고시 제2004-26호.
11. 농림수산식품부(www.maf.go.kr)
12. 농촌진흥청 작물과학원(www.nics.go.kr)
13. 국가 LCI 데이터베이스정보망(<http://www.edp.or.kr/lcidb>)
14. 농촌진흥청. 2008. 2007 농축산물 소득자료집.