

과수의 탄소발자국 표지를 위한 LCA 동향 및 해석: 경남지역 참다래를 중심으로

Markus Deurer¹ · Brent Clothier¹ · 허근영^{2,3*} · 전기일^{2,4} · 김인혜^{1,2} · 김대일⁵

¹뉴질랜드 식물·식품연구소 제품발자국팀, ²경남과학기술대학교 녹색기술연구소, ³경남과학기술대학교 조경학과,
⁴경남과학기술대학교 환경공학과, ⁵충북대학교 원예학과

Trends and Interpretation of Life Cycle Assessment (LCA) for Carbon Footprinting of Fruit Products: Focused on Kiwifruits in Gyeongnam Region

Markus Deurer¹, Brent Clothier¹, Keun-Young Huh^{2,3*}, Gee-Il Jun^{2,4}, Inhea Kim^{1,2}, and Daeil Kim⁵

¹Production Footprints Team, Plant & Food Research, Palmerston North 4474, New Zealand

²Green Technology Institute, Gyeongnam National University of Science and Technology, Jinju 660-758, Korea

³Department of Landscape Architecture, Gyeongnam National University of Science and Technology, Jinju 660-758, Korea

⁴Department of Environmental Engineering, Gyeongnam National University of Science and Technology, Jinju 660-758, Korea

⁵Department of Horticultural Science, Chungbuk National University, Cheongju 361-763, Korea

Abstract. As part of a feasibility study for introducing carbon labeling of fruit products in Korea, we explore the use of carbon footprints for Korean kiwifruit from Gyeongnam region as a case study. In Korea, the Korean Environmental Industry and Technology Institute (KEITI) is responsible for the carbon footprint labeling certification, and has two types of certification programs: one program focuses on climate change response (carbon footprint labeling analysis) and the other on low-carbon products (reduction of carbon footprints analysis). Currently agricultural products have not yet been included in the program. Carbon labeling could soon be a prerequisite for the international trading of agricultural products. In general the carbon footprints of various agricultural products from New Zealand followed the methodology described in the ISO standards and conformed to the PAS 2050. The carbon footprint assessment focuses on a supply chain, and considers the foreground and the background systems. The basic scheme consists of four phases, which are the 'goal', 'scope', 'inventory analysis', and 'interpretation' phases. In the case of the carbon footprint of New Zealand kiwifruit the study tried to understand each phase's contribution to total GHG emissions. According to the results, shipping, orchard, and coolstore operation are the main life cycle stages that contribute to the carbon footprint of the kiwifruit supply chain stretching from the orchard in New Zealand to the consumer in the UK. The carbon emission of long-distance transportation such as shipping can be a hot-spot of GHG emissions, but can be balanced out by minimizing the carbon footprint of other life cycle phases. For this reason it is important that orchard and coolstore operations reduce the GHG-intensive inputs such as fuel or electricity to minimize GHG emissions and consequently facilitate the industry to compete in international markets. The carbon footprint labeling guided by international standards should be introduced for fruit products in Korea as soon as possible. The already established LCA methodology of NZ kiwifruit can be applied for fruit products as a case study.

Additional key words: *Actinidia* spp., carbon labeling, greenhouse gas, life cycle inventory, supply chain

서 언

지구온난화는 자연생태계의 파괴, 자연재해의 증가, 물

부족 등을 야기하고 있으며 인류의 생존과 사회·경제활동에 매우 심각한 영향을 미치고 있다. 이와 같은 기후변화에 대응하여 국제사회는 1997년에 온실가스 감축의 법적 의무

*Corresponding author: sumoto@gntech.ac.kr

※ Received 30 May 2011; Accepted 30 August 2011. 본 연구는 2011년도 경남발전연구원의 지원과 2011년도 경남과학기술대학교 기성회 연구비 지원과 뉴질랜드 Plant & Food Research의 협력에 의하여 연구되었음.

를 부과한 교토의정서를 채택하였으며, 2005년 6월까지 150 개국이 비준하였다. 우리나라는 1993년에 개도국 지위로 유엔기후변화협약에 가입하였고 2002년 교토의정서를 비준한 바 있지만 아직까지 구속적인 온실가스 감축 의무를 가지고 있지 않다. 2007년 기준으로 우리 나라는 온실가스 배출량이 세계 9위를 차지하였고 최근 미국 Energy Information Administration(EIA)의 조사 결과에 의하면 2009년 기준으로 온실가스 배출량 순위가 세계 8위로 한 단계 상승한 것으로 나타났다(Kim, 2011). 따라서 향후 2012년 이후의 새로운 의정서 체제가 논의될 경우에 Annex I 국가로 분류되어 감축 의무를 가질 가능성이 높다(Kim, 2006, 2011).

지구온난화를 효과적으로 억제하기 위해서는 전체 온실가스의 80%를 차지하고 있는 이산화탄소(CO₂) 배출을 저감, 회수, 저장하는 것이 필요하다(Huh et al., 2008). ‘탄소발자국(carbon footprint)’이란 인간의 활동과정에서 발생하는 온실가스 총 배출량을 의미하며 세계 각국에서는 제품에 탄소발자국을 부착하는 ‘탄소라벨링(carbon labeling)’ 제도를 통하여 탄소 소비량을 저감시키고자 노력하고 있다. 탄소라벨링은 환경적 측면에서 인류 문명의 지속 가능한 발전 뿐만 아니라 경제적 측면에서 제품의 경쟁력을 강화하며 해당 산업체 또는 국가의 이미지를 향상시키기 위해서 유용하게 활용될 수 있다.

최근 선진국 사례들을 살펴보면 현재의 자발적인 탄소발자국 표지는 점차적으로 의무적인 규제로 옮겨갈 것으로 예상되며, 향후 농산물의 수출입은 탄소발자국 표지에 의해서 상당한 제한을 받을 것이다(Edwards-Jones et al., 2009). 따라서 국내 과수의 생산, 유통, 수출 등에 대한 국제적 대응을 위하여 탄소발자국의 도입이 적극 필요한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 국내 과수에 대한 국제 표준의 탄소발자국

제도 도입을 위해 국내외 탄소발자국의 연구 동향을 분석하였고, 뉴질랜드 Plant & Food Research와의 협력을 통하여 뉴질랜드의 참다래에 대한 탄소발자국 전과정 평가(life cycle assessment, LCA) 방법을 해석하였으며, 국내 경남지역의 참다래 산업 발전전략으로 탄소발자국 도입 방안을 제안하였다.

국내외 탄소발자국 연구 동향

탄소발자국 전과정 평가를 통한 탄소발자국의 연구는 Fig. 1과 같이 International Organization for Standardization(ISO), British Standards Institution(BSI) 등에서 수행하는 국제 표준화가 큰 흐름을 주도하고 있다(BSI, 2008; Finkbeiner et al., 2006; ISO, 1997, 2006). 그러므로 ISO 14040 시리즈, BSI Public Available Specification(PAS) 2050에 따른 전과정 평가는 주요한 국제 표준으로 인정받고 있다. 제품의 탄소발자국은 일반적으로 ISO14040 시리즈, BSI PAS 2050 등의 전과정 평가 방법을 표준으로 하여 해당 제품에 대한 세부적이고 구체적인 전과정 평가 방법을 연구하여 적용하고 있다(Adisa, 1999; Brentrup et al., 2001, 2004a, 2004b; Ekvall and Finnveden, 2001; Itsubo and Inaba, 2003; Krozer, 2008; Lundie and Peters, 2005; Nyland et al., 2003). 실질적인 전과정 평가를 수행하기 위해서는 현장에서 발생하는 제품 생산 및 서비스 활동에 대응하는 전과정 인벤토리(life cycle inventory, LCI) 구축과 그에 따른 작업 효율, 에너지 효율, 온실가스 배출 등에 대한 계수(coefficients)들의 설정이 필요한데, 국제적으로 International Reference Life Cycle Data System(ILCD), European Reference Life Cycle Database(ELCD) 등과 같은 데이터베이스 구축에 대한 연구가 수행되고 있고 국내는 국가 LCI 데이터베이스정보망 구축이 진

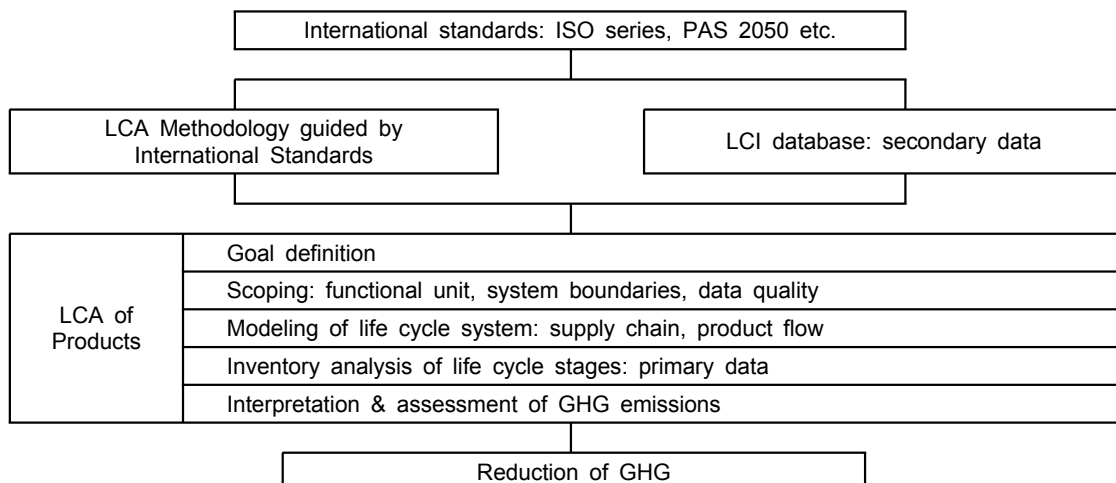


Fig. 1. Research trends of LCA.

행되고 있다. 농업과 관련된 전과정 평가는 식품관련 산업과 연계되어 1990년대부터 유럽, 특히 덴마크를 중심으로 활발한 연구가 진행되었다(Nielson et al., 2003). 현재 농업 분야에서 이용할 수 있는 LCI 자료로 가장 대표적인 것은 미국 National Renewable Energy Laboratory(NREL)에서 공개한 LCI 데이터베이스가 있으며, 이는 Ecoinvent의 데이터베이스에 포함되어 제공되고 있고, 덴마크의 Life Cycle Assessment(LCA) Food Database에서도 농산물 및 식품에 대한 탄소배출량 정보가 제공되고 있다(Ecoinvent, 2007; Nielson et al., 2003). 국내 농업을 위해 특화된 LCI 구축은 아직 미흡한 수준이다.

LCA 방법과 LCI 데이터베이스가 구축되었을 때 제품에 대한 전과정 평가가 가능하다. 영국을 비롯한 유럽, 호주, 뉴질랜드 및 미국은 물론 일본을 비롯한 아시아의 여러 국가들은 국제 표준에 따라서 전과정 평가의 목표를 설정하고 자국의 제품들에 대한 전과정 평가를 수행하기 위해서 현장 특화된 데이터 수집, 온실가스 배출량 산출 및 평가 등에 관한 연구를 수행하고 있으며(Anderson et al., 1998; Anton et al., 2005; Berlin, 2002; Roy et al., 2008), 최종적으로 온실가스 절감을 위한 연구를 수행하고 있다(Berlin et al., 2007; Carisson-Kanyama, 1998a; Janulis, 2004; Ross and Evans, 2003). 이 외에도 전과정 평가에 관련한 연구는 신재생에너지, 토지이용 등 모든 산업분야에 걸쳐 수행되고 있다(Haas et al., 2001; Henningson et al., 2004; Kim and Dale, 2005; Lindeijer, 2000; Schmidt et al., 2009).

그 동안 수행된 탄소발자국 표지의 성과 및 동향은 국내에서는 한국환경산업기술원을 중심으로, 국외의 경우는 영국을 중심으로 농산물에 초점을 맞추어 분석되었다. 2009년 2월부터 탄소성적표지제도를 도입하여 운영해오고 있는 우리나라에서는 「환경기술개발 및 지원에 관한 법률」 제 18조와 「탄소성적표지 인증업무 등에 관한 규정」 제 3조에 의거해 한국환경산업기술원(Korea Environmental Industry & Technology Institute, KEITI)이 환경부로부터 탄소성적표지제도 운영을 위탁 받아 추진하고 있기 때문이며(KEITI, 2011), 영국은 BSI, Department for Environment, Food and Rural Affairs(Defra), CARBON TRUST 등을 통해서 탄소발자국 표지의 선도적인 역할을 수행하고 있기 때문이다.

영국 정부는 2001년 기후변화에 대응하고 저탄소 경제체제로 전환을 촉진하기 위해 기후변화 관련 비영리단체인 CARBON TRUST를 설립하고 이를 중심으로 탄소발자국 제도를 구축하여 시행하고 있다. 영국의 탄소발자국은 ISO 14040 시리즈의 전과정 평가에 기반을 두고 BSI, CARBON TRUST, Defra가 2008년에 공동으로 개발한 PAS 2050을

인증기준으로 채택하고 있으며 그 기준에 따라서 이산화탄소 배출 정보와 감축 방안을 제시하는 ‘Carbon Reduction Label’로 명명된 탄소발자국을 표지하고 있다(Wiedmann and Minx, 2007).

CARBON TRUST는 탄소발자국을 인간이나 기관, 제품 및 서비스에 의해서 직·간접적으로 발생한 온실가스 배출 총량으로 정의하고, Wiedmann and Minx(2007)는 제품 전과정에서 축적되었거나 직·간접적으로 배출된 이산화탄소 배출 총량으로 정의한다. 탄소라벨링은 전과정에서 발생한 온실가스를 이산화탄소 배출량으로 환산한 탄소발자국을 제품에 표기하는 제도로서 영국 뿐만 아니라 스위스, 스웨덴 등의 유럽 국가를 시작으로 미국과 캐나다는 물론 일본, 태국, 대만 등의 아시아 국가까지 세계적으로 확대 시행되고 있으며(Reardon et al., 2007), 탄소발자국의 국제 표준화가 확대되고 있다. 대표적으로 ISO에서 환경경영에 대한 기술규격을 관장하는 Technical Committee 207(TC207) 산하의 Greenhouse Gas Management(GGM)은 탄소발자국과 탄소라벨링의 국제 표준화를 진행하고 있고, World Resources Institute(WRI)와 World Business Council for Sustainable Development(WBCSD)는 제품 및 생산공정 중심의 ‘Supply chain and life cycle greenhouse gas accounting and reporting in planning process’라는 지침을 제정하고 있으며, World Trade Organization(WTO)의 Technical Barriers to Trade (TBT) 협정에 따라 회원국이 국가 표준을 새롭게 제정하거나 개정할 경우 국제 표준을 기초로 사용할 것을 규정하고 있다. 향후 탄소라벨링에 대한 국제 규격이 제정될 경우 국제사회에서 상당한 파급효과가 있을 것으로 예상된다(Edward-Jones et al., 2009; SETAC Europe LCA Steering Committee, 2008). 현재 스웨덴, 스위스, 미국, 캐나다, 태국 등은 탄소발자국 산정을 위한 전주기 평가를 위해서 ISO를 활용하고 있으며 영국, 호주 등은 PAS 2050을 활용하고 있다(Kim, 2009).

반면 우리나라는 국내 기준을 활용하고 있는데, 국내의 탄소성적표지제도는 2001년부터 시행중인 환경성적표지제도의 제도적 기반 하에 개발 및 운영되고 있다. 현재 탄소성적표지 인증은 두 단계로 구분되는데, 1단계 인증으로서 한국환경산업기술원이 환경부 위탁 하에 “기후변화대응(climate change response)”이란 문구가 표시된 탄소성적표지를 운영하고 있고(Fig. 2), 2단계 인증으로서 2011년 11월부터 국가에서 제시하는 온실가스 감축 목표를 달성한 제품에 한해 Fig. 3과 같이 “저탄소상품(low-carbon product)”이란 문구가 표시된 탄소성적표지의 인증을 추진할 계획이다(KEITI, 2011). 전자는 탄소배출량 인증으로서 인증 기준에 따라 계산된 탄소발자국이 정확하다는 것을 인증기관이 승인하는



Fig. 2. Carbon emissions certificate, which is issued by KEITI when the life cycle GHG emissions for a product for which a carbon footprint label request was filed have been quantified. The emissions amount denoted on the certificate is considered the baseline for the product concerned.

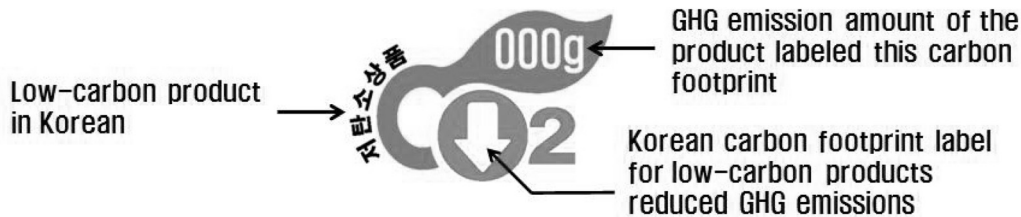


Fig. 3. Low-carbon product certificate, which is issued by KEITI when a carbon footprint certified product delivers its GHG reduction target.

단계이고, 후자는 저탄소상품 인증으로 1단계 인증을 취득한 제품의 탄소발자국이 저탄소기술 등의 적용을 통해 탄소발자국을 감축한 경우에 향후 제시될 저탄소 기준에 부합되면 인증을 부여하는 단계이다(Kim, 2009, 2011).

탄소성적표지는 2009년 2월부터 제도가 본격 시행되어 2011년 1월말 현재 총 65개 기업체 307개 제품이 인증을 받았고, 그 가운데 가공식품 등 일반 소비자 제품이 190건으로 전체 인증 제품의 60% 이상을 차지하며, 전기전자 제품과 같은 에너지를 사용하는 제품이 59건으로 19%를 차지하고, 그 외 호텔서비스, 육로·항공운송 서비스 등 11개 제품을 포함하여 총 58건이 인증을 받았다(Kim, 2011). 인증기관에서는 저탄소상품 인증이 시행되는 2011년을 기점으로 공공기관 우선구매, 민간 부문 녹색소비 촉진을 위한 그린카드 도입 등 다각적인 인센티브 제도를 도입할 계획이며 이로 인해 향후 탄소성적표지에 대한 기업과 소비자들의 관심은 지속적으로 증대할 것이다.

서비스를 포함하여 모든 재료 및 제품은 탄소성적표지 인증을 받을 수 있지만, 현재까지 1차 농수축산물 및 임산물은 의류기기 및 의약품과 함께 인증대상에서 제외되어 있다. 그 이유는 제품 전과정에서의 온실가스 배출량 산정을 위한 데이터 수집이 어렵고 수집하더라도 불확실성이 크며, 자발적인 온실가스 감축 효과를 기대하기 어렵다고 판단하였기 때문이다(Kim, 2011; Kim et al., 2009). 반면 선진국의 농업에서는 환경효율성(eco-efficiency)에 대한 고려와 전과정 평가를 기반으로 한 녹색경영 개념의 도입이 빠르게 확산되고 있으며(Audsley et al., 1997; Brentrup et al., 2004a; Milà

i Canals et al., 2007a), Table 1과 같이 현재 영국, 스웨덴, 덴마크, 뉴질랜드 등은 농수축산물에 대하여 전과정 평가, 탄소라벨링 등을 실시하고 있다(BSI, 2008; Deurer et al., 2008; Kim et al., 2009; LCA Food, 2001; Mattsson, 1999; Mattson and Stadig, 1999; Milà i Canals, 2007; Mila i Canals et al., 2006; Nielsen et al., 2003). 실례로, 영국의 대형유통업체인 TESCO는 이미 판매 중인 4종류의 감자들에 대하여 Fig. 4와 같은 온실가스 발생량, 저감 방법 등에 대한 설명과 함께 탄소발자국을 표지하고 있으며(Edwards-Jones et al., 2009; Tesco, 2008), 미국은 쌀, 덴마크, 네덜란드, 스페인, 스웨덴은 토마토에 대하여 탄소발자국을 평가하였고(Carlsson-Kanyama, 1998b), 그 외 여러 나라에서 탄소발자국을 평가하고 있다(Anton et al., 2005; Roy et al., 2005). 농산물 그 자체뿐만 아니라 농산물을 주원료로 하는 가공식품의 정확한 탄소발자국 표지를 위해서 농산물의 전과정 평가는 필수적이다(Kim et al., 2009). 따라서 우리나라도 농산물에 대하여 전과정 평가를 통한 탄소라벨링을 수행하는 것이 필요하다.

뉴질랜드 참다래 LCA 분석 평가

The New Zealand Institute for Plant & Food Research Limited(Plant & Food Research, PFR)의 Production Footprints Team은 현재 뉴질랜드의 탄소발자국 전과정 평가 연구를 주로 담당하고 있으며, 주요 수출 농산물에 대하여 상당한 수준의 관련 연구들을 수행하였다(Deurer et al., 2008a, 2008b, 2009, 2010). 이러한 연구들은 전과정 평가 방법을 수행하

Table 1. Life cycle GHG emissions of various food products (per kg of product).

Food item	GHG emissions (kg CO ₂ eq·kg ⁻¹)	Country	Source
Beef (from dairy farm)	14	Sweden	LCA Food, 2001
Frozen flatfish filet	20.9	Sweden	Thrane, 2006
Carrot ^z	0.3-0.6	Sweden, Denmark, Netherlands, UK, Italy	Carlsson-Kanyama, 1998
Tomatoes ^z	0.8-5.6	Denmark, Netherlands, Spain, Sweden	Carlsson-Kanyama, 1998
Rice ^z	6.4	USA	Carlsson-Kanyama, 1998
Potatoes-King Edwards ^z	0.6	UK	Tesco, 2011
Potatoes-Anglian New ^z	0.5	UK	Tesco, 2011
Potatoes-Organic New ^z	0.6	UK	Tesco, 2011
Potatoes-Organic Baby New ^z	0.5	UK	Tesco, 2011
Apple ^y -Braeburn (IFP ^x , 2006)	1.7	New Zealand	Deurer et al., 2009
Kiwifruit ^y -Green (IFP, 2007)	1.5	New Zealand	Deurer et al., 2008a
Berryfruit-Blackcurrant	0.6	New Zealand	Deurer et al., 2010

^zTransport from retailer to consumer not included.

^y1 kg produced in New Zealand and consumed in Europe.

^xIntegrated fruit production.



Fig. 4. Carbon footprint label guided by BSI PAS 2050.

기 위한 분석 및 평가 방법의 표준화와 방법의 체계를 제안하고 있다. 분석 및 평가 방법의 표준화를 통하여 국제적으로 인정된 명확하고 유효한 표준을 적용함으로써 대내외적으로 신뢰성 확보를 도모할 수 있으며, 방법의 체계화를 통하여 목표 및 범위를 명확하게 한정하고 그에 근거한 공급의 일련과정(supply chain)의 구성을 구성할 수 있다. 이와 같은 평가 체계를 근거로 하여 뉴질랜드 참다래의 탄소발자국 전과정 평가 방법을 해석하고 경남을 포함한 국내 과수의 탄소발자국 도입을 제안하였다.

방법의 체계 및 표준화

방법의 체계(scheme)는 기본적으로 목표 설정, 범위 한

정, 인벤토리 분석, 해석으로 구성된다(Table 2). 목표 설정에서는 수행 목적, 전과정 평가모델의 설계 및 적용, 공적 유효성 및 비교평가 가능 여부 등을 종합적으로 고려한다. 범위 한정에서는 기능적 단위, 시스템의 경계들, 데이터의 질을 결정한다. 여기서, 시스템 경계들의 한정은 3가지 요소들, 즉 공급의 일련과정, 제품 흐름, 할당의 한정으로 성립된다. 인벤토리 분석은 편리성을 위해서 생산 및 공급 시스템의 모델링에서 주기반 시스템과 부차기반 시스템으로 구분하고, 그 시스템에서 제품 흐름에 대한 과정을 할당 기준에 근거하여 일반화한다(EU-JRC, 2010). 주기반 시스템에서는 생산자 또는 서비스 공급자들의 활동들에 대한 측정값들이 활동 데이터로 수집된다. 부차기반 시스템에서는 소비된 재료들, 에너지, 서비스 등에 대한 데이터가 수집되며, 일반적으로 ILCD, ELCD 등과 같은 데이터베이스를 활용한다. 생산 및 공급 시스템의 모델이 구성되면 각 단계의 투입량과 배출량에 대한 탄소로 전환되지 않는 활동 데이터를 수집하고 해당 국가 상황에 맞추어 작성된 전과정 평가 인벤토리의 에너지, 온실가스 배출 등에 대한 계수들과 대응시켜 곱하여 온실가스 배출량을 산출한다(Deurer et al., 2008a). 해석에서는 총 온실가스 배출량을 파악하기 위해서 모든 전과정 단계들의 온실가스 배출량을 총합하고 평가하며 각 핵심 과정 및 단계에서 온실가스 배출량의 상대적 기여도, 주요 배출 지점들의 분석, 감축 방안 등을 도출한다.

방법의 표준화는 국제적으로 인정된 명확하고 유효한 방법들을 사용하는 것이 필요하다. 구체적으로 전과정 평가 시 발생하는 방법적인 측면의 고려사항들에 대하여 국제적

Table 2. Basic scheme of the LCA of carbon footprints (Deurer et al., 2008a; EU-JRC, 2010).

Basic Step	Objectives
Goal	<ul style="list-style-type: none"> • Intended application of the LCA • The reasons for carrying out the LCA • The intended audience • To be used in comparisons that will be publicly available?
Scope	<ul style="list-style-type: none"> • Functional unit • System boundaries: supply chain; product flow; allocation • Data quality
Inventory analysis	<ul style="list-style-type: none"> • Quantify inputs and outputs of each process within each of the life-cycle phases ('activity data'). Use primary data (e.g. surveys) for the foreground system • Normalize the process data against product flow (use allocation rules) • Quantify GHG emissions by multiplying activity data by emissions factors (preferably country-specific LCA inventories) • Summarize and discuss the results for each life-cycle phase (e.g. identify hot-spots) • Sum the GHG emissions over all life-cycle phases to derive the total GHG emissions of the product
Interpretation	<ul style="list-style-type: none"> • Contribution of key processes • Contribution of life-cycle phase • Analysis of hot-spots • Summary

Table 3. Scoping on the carbon footprints of kiwifruit in New Zealand (McLaren et al., 2008).

Basic Step	Features
Functional unit	<ul style="list-style-type: none"> • A single-layer-tray equivalent quantity of peeled kiwifruit (with a total weight of 3.3 kg) eaten by the consumer
System boundaries	<ul style="list-style-type: none"> • Orchard, packhouse/coolstore, transport, New Zealand port, shipping, UK distribution center, retail unit, household consumption (water treatment)
Data quality	<ul style="list-style-type: none"> • Primary data: equivalent to the site-specific data described in ISO 14044 • Secondary data: typically data taken from sources such as the European Reference Life Cycle Data System (ELCD) (PAS 2050, section 7.4)

으로 신뢰할만한 세부적인 표준을 마련할 필요가 있다. 뉴질랜드 참다래의 전과정 평가는 국제적으로 신뢰할만한 두 가지 표준들이 주요한 기준이 되었는데, 생산물에 초점이 맞추어진 ISO14040 시리즈에 근거한 전주기 평가와 제품 및 서비스에 대한 온실가스 측정을 위해 2008년 영국 BSI가 고안한 PAS 2050이다. 전반적으로 ISO의 전과정 평가 방법들을 주요한 기준으로 활용하고, ISO에서 명확한 기준을 제시하지 않는 경우에는 PAS 2050을 적용한다(Deurer et al., 2008a). ISO14040 시리즈는 원재료에서부터 가공, 제조, 분배, 이용, 쓰레기 처리까지의 전과정에서 제품 및 서비스의 환경적 충격을 평가하기 위한 기준으로 전과정 평가에 대한 전반적인 사항들을 제공하는 ISO14040과 세부적인 기준들을 제공하는 ISO14044의 두 가지 ISO 표준들에 근거하여 수행된다(ISO, 1997, 2006). PAS 2050은 제품 및 서비스의 전과정 온실가스 측정방법의 설명서라고 할 수 있으며, 현재 일관성 있는 평가 방법을 작성하기 위한 필요성에 대응하며 보완 및 개선이 진행되고 있다(BSI, 2008). 생산 및 유통 기관들은 제품의 온실가스배출에 대한 이해를 개선하고 전과정 평가 결과의 상호 비교와 소통을 위해서 PAS 2050을 적용하고 있다(BSI, 2008). ISO14040 시리즈와 PAS 2050

뿐만 아니라 ISO 14064에 근거하여 전체적인 구성에 초점이 맞추어진 온실가스 측정 관련성과 carboNZero 프로그램의 평가방법이 일부 적용되었다(McLaren et al., 2008).

목표 및 범위의 한정

참다래는 사과와 함께 뉴질랜드의 주요 수출 농산물로서 현재 영국을 거쳐 유럽에 판매되고 있으며 한국, 일본 등 아시아에도 수출되고 있다(Deurer et al., 2008a, 2009). 최근 영국은 수입되는 농산물의 탄소발자국을 요구하고 있다(Edwards-Jones et al., 2009). 따라서 뉴질랜드 참다래의 전과정 평가는 국제 표준의 온실가스 측정방법 개발하고, 저감 방안을 도출하며, 뉴질랜드 참다래 산업이 국제 시장으로부터의 신뢰 확보를 통하여 지속적으로 성장할 수 있도록 함이 목표이다(Deurer et al., 2008a). 이와 같은 목표의 설정은 궁극적으로 전과정 평가의 방법, 시스템 경계 등을 한정하게 된다.

범위의 한정을 위한 기능적 단위는 산업 종사자들의 효과적인 이해를 위하여 뉴질랜드 참다래 산업 종사자들과 회계 시스템이 통상적으로 사용하는 한 개의 단층 포장상자로 한정하였다(Table 3). 이 기능적 단위의 중량은 단층 포장상자

에 담긴 먹을 수 있도록 껍질을 벗긴 상태의 참다래 중량으로 3.3kg에 해당된다. 실질적으로 단층 포장상자에 담긴 녹색 참다래의 평균 중량은 상자를 포함하여 3.615kg이고, 황색 참다래는 3.406kg이며, 이 때 상자 중량은 0.366kg이다. 1개의 단층 포장상자에는 참다래의 크기에 따라서 18-36개가 담긴다.

시스템 경계의 한정은 개념적으로 전과정에서 발생하는 모든 투입량과 배출량을 물리적 위치 또는 시간적 기간에 관계없이 고려해야 한다. 그러나 ISO14040은 전반적인 결론을 유의성 있게 변화시키지 않을 투입량과 배출량의 분석을 제외하는 것이 적절하다고 본다. 이와 같은 견해는 뉴질랜드 참다래의 전과정 평가에 반영되었다. 사실상 ISO14040 시리즈는 전과정 평가를 위한 특정한 시스템 경계들을 한정하고 있지 않으며, 다만 시스템 경계의 한정이 전과정 평가의 목표와 부합하여야 한다고 언급하고 있다. PAS 2050은 보다 규정화되어 있는데, ISO14025에 따라서 개발된 생산범주법칙들이 적재적소에 적용되어야 하며 전과정 온실가스 배출에 대하여 1% 이상을 기여하는 모든 단위 과정들은 시스템 경계에 포함되어야 한다고 언급하고 있다. 그러나 PAS 2050은 대형유통점에서 소비자까지 운송 과정을 분석에서 배제하고 있다. 뉴질랜드 참다래의 전과정 평가는 온실가스배출량이 전과정에서 차지하는 상대적 중요도를 실질적으로 파악하기 위해서 대형유통점에서 소비까지의 과정들을 시스템 경계에 포함하였다. 따라서 그 시스템 경계는 산업분야를 기준으로 과원, 포장, 운송, 뉴질랜드 항구 선적, 영국 물류 센터, 대형유통점, 소비 및 쓰레기처리 단계로 구성된다.

데이터 질에 대하여 ISO14044는 현장 특화 데이터 또는 대표가 되는 평균값이 가능한 지점에서 이용되어야 하며 데이터의 질과 관련된 사항들을 목록화하도록 추천하고 있다. PAS 2050은 1차 데이터와 2차 데이터로 구분하고 있는데, 1차 데이터는 ISO14044에서 기술된 현장 특화 데이터와 동등하고, 2차 데이터는 ELCD와 같은 정보원으로부터 얻어진 전형적인 데이터이다. PAS 2050은 1차 데이터가 PAS 2050을 준행하는 모든 공급의 일련과정들에 투입되어야 하며, 총 온실가스배출량의 60%가 1차 데이터로부터 도출되었어야 한다고 언급하고 있다. 말하자면, 1차 데이터, 즉 현장 특화 데이터는 신뢰성을 최대화하기 위해서 전과정 평가의 가능한 범위 내에서 모두 투입되어야 한다.

데이터의 위험성 또는 부정확성에 대하여 ISO14044는 시간적 변이, 지형적 변이, 기술 유형, 데이터 측정값의 변이성, 완성도, 대표성, 일관성, 재현성, 정보원, 불확실성 등을 지적하고 있다. 그 사례로서 첫째, 동일한 생산방법이 매년 실행

되어도 생산량은 기후조건에 따라서 달라진다. 그러나 ISO 14040 시리즈와 PAS 2050은 기후조건에 따른 생산량의 변화를 설명하는 기준을 제공하지 않는다. Deurer et al.(2008a)이 수행한 전주기 평가에서는 2004-2008년 중 가장 낮은 생산량을 나타낸 2007년에 초점을 맞추는 것이 적합하다고 판단하였지만 실질적으로 정확한 탄소발자국 표지를 위해서 특정 연도에 집중하는 것은 심각한 위험이 될 수 있다(Mclaren et al., 2008). 둘째, 수확기에 따라 참다래의 저장 기간이 달라지므로 저온 저장고에서 서로 다른 저장시간이 주어지게 되며, 그 결과 서로 다른 온실가스 배출량이 나타난다. 현 단계에서는 평균 저장기간을 적용하고 있지만, 향후 대형유통점에 출현하는 시기에 따라서 시장에서 구별되어야 할 것이다. 셋째, 1년에 1회 미만으로 수행되는 석회, 유기물 사용 등의 경종작업은 그 다음해부터 일정기간 동안 지속적으로 작물에 유익한 효과를 나타낸다. 이 경우 온실가스배출량을 당년 수확물에 전부 할당하는 것은 위험하다. 이 같은 경종작업의 온실가스배출량은 작업이 다시 수행되기까지 영향을 받은 수확물에 할당해야 한다(Itsubo and Inaba, 2003).

전과정 평가 모델

전과정 평가 모델은 공급의 일련과정, 생산 및 공급 시스템, 제품 흐름의 설계로 구성된다. 시스템 경계의 범위를 자국 내 과원 생산에서 유럽에서의 소비로 한정하고 Table 4와 같이 공급의 일련과정을 따라서 시스템 경계 내의 활동 및 운송을 포함하는 주기반 시스템과 에너지 유입, 폐기물 배출 등 포함하는 부차기반 시스템으로 생산 및 공급 시스템을 설계한다. 공급의 일련과정에 따라서 Fig. 5와 같이 제품 흐름을 설계하고 제품의 투입량과 손실량을 분석한다.

뉴질랜드 참다래는 수출용과 내수용으로 구분되며, 생산물의 약 95%는 수출 가능한 품질을 가진다. 수출용 참다래 중에서 녹색과 황색 참다래는 각각 76%와 21%를 차지한다. 수출용 참다래의 50% 이상, 특히 2007년에는 53%를 유럽에서 수입하였다(Deurer et al., 2008a). 공급의 일련과정에서 뉴질랜드 참다래의 손실을 살펴보면, 포장과정에서 평균 규격미달 비율은 총 반입량의 17%이다. 규격이 미달된 참다래의 95%는 가축사료로 지역의 축산농가에 판매되고 나머지는 매립된다. 뉴질랜드 항구에 보내진 참다래의 5%는 불량으로 처리되고 재포장을 위해서 포장공장에 반송된다. 영국 Zeebrugge의 포장회사와 소비자 단계에서 참다래 폐기량은 10%로 추정된다. Fig. 5는 제품의 흐름을 단순 비례식으로 구성하여 과원에서 출하된 참다래 100개가 공급의 일련과정을 거치면서 최종 판매 단계, 즉 대형유통점에 73개가 전달됨을 보여주고 있는데, 이것은 1개의 참다래가 대형

Table 4. Foreground & background systems of kiwifruit life cycle chain for the New Zealand study (McLaren et al., 2008).

System boundary	Foreground system		Background system	
	Activity	Transport	Energy input	Waste output
Orchard	Growing Picking Packing in field bins		Fertilizers Agrichemicals Compost Capital Lubricant Diesel Electricity	Thinning
Transport		Fruit transport (orchard → packhouse)	Compost transport	
Packhouse/ Coolstore	Seperation Grading for quality Packing Coolstored		Packaging materials Diesel Electricity Refrigerants	
Transport		Fruit transport (packhouse → coolstore → shipping) Rejected fruit transport (coolstore → packhouse) Rejected Fruit transport to domestic market or animal feed Forklift		Rejected Fruit for domestic market or animal feed
Shipping			Diesel Refrigerants	
Transport		Forklift		
Repacking	Repacking Coolstored		Packaging materials Diesel Electricity Refrigerants	Package waste Fruit waste
Transport		Fruit transport (repacking → distrubtion)		
Distribution	Coolstored		Diesel Electricity Refrigerants	
Transport		Fruit transport (repacking → distrubtion)		
Retailing	Possible repacking Coolstored		Electricity Refrigerants	Fruit waste
Transport		Driving for shopping		
Household	Consumption			Fruit waste
Waste water treatment	Waste water treatment		Electricity	

유통점까지 도달하기 위해서는 1.37개의 참다래가 과원에서 생산되어야 함을 의미한다(McLaren et al., 2008).

부가적으로 노동인구에 의한 온실가스 배출량이 고려되어야 한다. 뉴질랜드 참다래의 경우 생산 및 출하 기간에 과원과 포장공장에 투입되는 해외 노동자는 연간 평균 1,800명인데, 노동인구의 항공이동은 온실가스 배출량에 영향을 미친다. 이들 중 79%는 포장공장에서, 나머지 21%는 과원에서 작업한다. 이 기간 동안 노동자 1인당 평균 작업량은 포장공장에서 단층 포장상자 10,000tray, 과수원에서 4.5ha로 나타났고, 2007년 참다래 총 생산량에 근거한 해외 노동자의 온실가스 배출량은 11.5g CO₂eq/tray였다(Mila i Canals,

2007).

전과정 인벤토리 분석

탄소발자국은 Eq. 1과 Eq. 2와 같이 전과정의 활동 데이터를 연료, 전기에너지 등의 사용량으로 나타내고, 이것을 에너지 계수와 곱하여 절대에너지 사용량으로 전환한 다음, 필요에 따라 탄소배출계수 또는 온실가스배출계수를 곱한 후 총합하여 얻어진 값이다(EU-JRC, 2010). 여기서, 탄소배출계수를 곱하면 그 단위는 kg CO₂가 되고, 온실가스배출계수를 곱하면 kg CO₂eq가 된다. 이 차이는 온실가스의 구성이 이산화탄소 외에 메탄, 질소화합물 등을 포함하기 때문

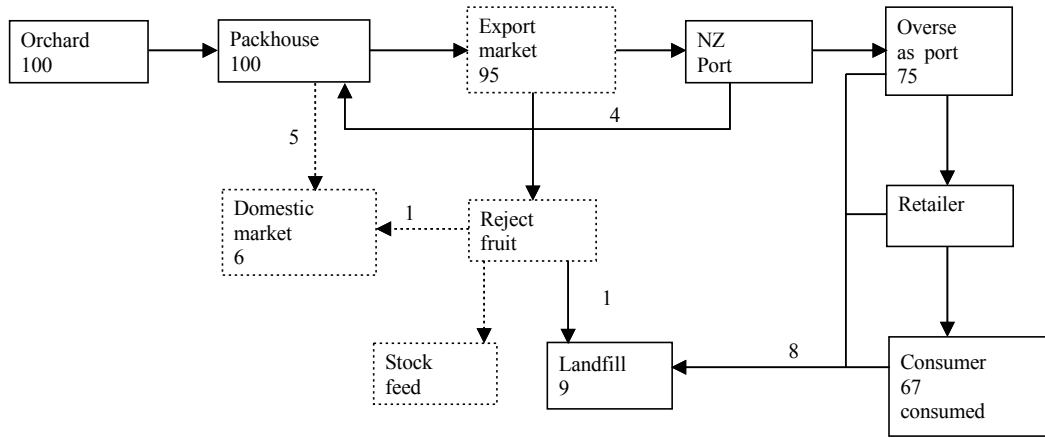


Fig. 5. Flow of kiwifruit along the supply chain from cradle to grave per 100 leaving the orchard for the New Zealand case (McLaren et al., 2008). Note: Dotted lines represent activities not included in the study.

이다(Wells, 2001).

$$\text{CO}_2 \text{ emission of life cycle stages} = \text{Total energy use} \times \text{Energy coefficient} \times \text{CO}_2 \text{ coefficient} \quad \dots \text{Eq. 1}$$

$$\text{GHG emission of life cycle stages} = \text{Total energy use} \times \text{Energy coefficient} \times \text{CO}_2\text{eq coefficient} \quad \dots \text{Eq. 2}$$

활동 데이터는 제품을 생산하는 과정에서의 직·간접적 온실가스 배출량과 제품의 폐기 및 재활용 과정에서의 온실가스 배출량을 포함한다. 뉴질랜드는 탄소발자국 계산에 필요한 각종 계수들에 대하여 자국에서 제공하는 정보를 주요하게 사용하고 ELCD와 같은 공인기관의 정보를 보완적으로 사용하고 있다.

과원 생산단계

인벤토리는 생산활동, 비료와 농약의 생산 및 사용, 농업용 기계류의 생산과 유지관리, 생육지대, 관수시설, 건축물 등의 기반시설, 아산화질소(N₂O)의 토양 중 배출로 구분된다. 생산활동은 잔디깎기, 분무, 전정, 멀칭, 시비, 기타 활동으로 다시 분류된다. 생산활동으로 인한 온실가스 배출량은 단위 시간 당 연료(Liter/h) 또는 전기 사용량(kWh/h), 단위 면적 당 작업 소요시간(h/ha), 연간 작업횟수, 작업 계수 데이터로 에너지 사용량을 산출한 후(Eq. 3), 이 값에 단위 연료 또는 전기 사용량 당 절대에너지계수(MJ/liter or MJ/kWh)와 단위 절대에너지 사용량 당 온실가스배출계수(kg CO₂eq/MJ)를 곱하여 산출한다(Eq. 2).

$$\text{Energy use} = \text{Fuel or electricity use} \times \text{Work rate} \times \text{No. of passes per season} \times \text{coefficient} \quad \dots \text{Eq. 3}$$

비료의 온실가스 배출량은 질소(N), 인(P), 칼륨(K), 황(S),

마그네슘(Mg), 석회(Lime), 유기퇴비에 의해서 주요하게 영향을 받는다(Brentrup et al., 2001; Itsubo and Inaba, 2003). 비료를 생산하기 위해서 소요되는 에너지 사용량은 일반적으로 신뢰할만한 2차 데이터를 통하여 얻을 수 있다. Wells (2001)는 1kg의 인(P)을 생산하기 위해서 15MJ의 에너지가 소비되며, 이 때 1MJ의 에너지 사용은 평균적으로 0.06kg의 이산화탄소를 배출하고, 생산과정에서 다양한 연료들의 사용으로 인한 소량의 메탄(CH₄)과 아산화질소(N₂O)의 배출을 고려하여 0.064kg CO₂eq의 온실가스가 배출하는 것으로 보고하였다. 이 연구에 의하면 최종적으로 1kg의 인(P)을 생산하기 위한 온실가스 배출량은 0.96kg CO₂eq로 산출된다. 이와 같은 2차 데이터를 활용하여 과원에서 직접 사용한 비료량을 계산하면 비료의 생산 및 사용에 의한 온실가스 배출량을 산출할 수 있다. Table 5는 서로 다른 인벤토리에서 비료 생산과정에서 발생하는 단위 kg 당 온실가스 배출량을 보여준다.

살충제, 살균제, 제초제, 생물학적 조절제 등의 농약을 생산하기 위해서 소요되는 에너지 사용량도 2차 데이터를 통하여 얻을 수 있다(Table 6). 만일 농약 제조사가 국외 또는 장거리 운송을 요하는 곳에 위치한다면 운송에 의한 온실가스 배출량을 포함시킨 후(Table 7), 과원에서의 농약 사용량에 대하여 2차 데이터를 계산하면 농약의 생산 및 사용으로 인한 온실가스 배출량을 산출할 수 있다.

트랙터와 같은 농업용 기계류와 기구들의 원료 생산, 제작, 운송, 유지관리로 인한 온실가스 배출량은 단위 중량의 원료를 생산하기 위해서 소요되는 에너지 사용량, 제작과정에서 소요되는 에너지 사용량, 수리를 위해서 소요되는 에너지 사용량, 사용연수에 대한 2차 데이터가 필요하다. 여기에 과원에서 사용되는 농업용 기계류와 기구들에 대한 단위 면적 당 중량을 계산하면 총 에너지 사용량이 산출되며, 최

Table 5. GHG emissions due to manufacture of fertilizer.

Component	GHG (kg CO ₂ eq·kg ⁻¹ component)	
	Wells (2001)	Ecolnvent 2.01 (2007)
N	3.38	Most values between 2.8 (ammonium sulphate) and 6.0 (urea ammonium nitrate)
P	0.96	Varies between 1.3 (ammonium nitrate phosphate) and 2.7 (single superphosphate) as P ₂ O ₅ i.e.0.6-1.2 per kg P
K	0.64	Varies between 0.44 (potassium chloride) and 1.27 (potassium sulphate)
S	0.32	
Mg	0.32	
Lime	0.43	0.0116
Compost	0.02	0.882

Table 6. Default manufacturing energy and country of origin for agrichemicals for New Zealand kiwifruit (McLaren et al., 2008).

Items	Manufacture (MJ·kg ⁻¹ ai)	Country of origin
Fungicide	97	Germany
Fungicide - inorganic (Cu & S)	5	New Zealand
Herbicide, general	203	Australia
Herbicide (glyphosate)	437	Australia
Insecticide	185	Australia
Plant growth regulator	87	Germany
Biological control agent	77	Australia/Germany
Oil	9	Australia
Other	10	Australia

Table 7. Transport of agrichemicals for New Zealand kiwifruit (McLaren et al., 2008).

Country of origin	Truck (km)	Rail (km)	Ship (km)	MJ·kg ⁻¹ of agrichemical
Germany	200	1500	21587	4.6
Japan	40		8921	1.1
Australia	40		2359	0.4
New Zealand	20		1100	0.2

Table 8. Energy used and GHG emission in machinery manufacture and maintenance (Alcorn, 2003; Audsley et al., 1997).

Machinery type	Energy used to produce materials (MJ·kg ⁻¹)	Energy consumption for manufacture (MJ·kg ⁻¹)	Energy consumption for repairs (%)	Total energy (MJ·kg ⁻¹)	GHG emissions (kg CO ₂ eq·MJ ⁻¹)	Working life (years)
Vehicle	35.2	14.0	31.3	64.6	0.087	15
Implement	31.3	8.0	28.0	50.3	0.098	20

종적으로 이 값을 단위 에너지 당 온실가스 배출량과 계산하면 총 온실가스 배출량을 산출할 수 있다. Audsley et al. (1997)과 Alcorn(2003)의 연구결과를 단순화하여 도출한 농업용 기계류와 기구에 대한 에너지 사용량과 온실가스 배출량은 Table 8과 같이 산출되었다.

기반시설은 생육지시대, 관수시설, 건축물로 구분되고, 이들은 구성재료에 따라 다시 건축물, 철재, 목재, PVC, PE로 구분된다. 기반시설에 대한 온실가스 배출량 산출은 구

성재료를 대상으로 단위 중량 당 에너지 사용량과 사용연수에 대한 2차 데이터를 필요로 한다(Sundkvist et al., 2001). 여기에 과원에서 사용되는 각각의 구성재료에 대한 단위 면적 당 사용량을 계산하면 총 에너지 사용량이 산출되며 최종적으로 이 값을 단위 에너지 당 온실가스 배출량과 계산하면 총 온실가스 배출량을 산출할 수 있다.

아산화질소(N₂O)의 토양 중 배출원은 합성 질소 비료, 퇴비와 같은 유기질 질소와 낙엽, 전정된 가지와 같은 식물체

Table 9. Overview of IPCC emission factors used to calculate direct and indirect emissions of nitrous oxide (MED, 2007).

Term	Description	Default value
GWP _{N2O}	Global warming potential of nitrous oxide (IPCC, 2001)	296
EF ₁	Emission factor for direct emissions from N input to soil	0.01
EF ₄	Emission factor for indirect emission from volatilizing nitrogen	0.01
EF ₅	Emission factor for indirect emission from leaching nitrogen	0.025
Frac _{GASF}	Fraction of systhetic N fertilizer emitted as NOx or NH ₃	0.1
Frac _{LEACH}	N input to soil that is lost through leaching and run-off	0.07

에서 배출된 잔여물의 질소로 구성된다(Green et al., 2007; Mila i Canals et al., 2007a). 과원에 사용된 합성 질소 비료로부터 아산화질소(N₂O)의 토양 중 배출량은 IPCC에서 규정하는 방식으로 작성된 뉴질랜드 온실가스 인벤토리(MED, 2007)에 근거한 Eq. 4, Eq. 5, Eq. 6, Eq. 7로 산출한다. 아산화질소(N₂O)의 토양 중 배출은 직접 배출원과 간접 배출원으로부터 발생하는데, Eq. 4은 직접 배출원으로서 과원에 사용된 합성 질소 비료로부터 발생하는 배출량의 산출이고, Eq. 5와 Eq. 6은 간접 배출원으로서 과원에 사용된 합성 질소 비료의 휘발과 용탈로부터 발생하는 배출량의 산출이다. Eq. 4, Eq. 5, Eq. 6에 포함된 용어의 정의 및 그 기본값은 Table 9와 같다.

$$\text{Direct soil emissions (SE}_{\text{DIRECT}}) = \text{kgN applied} \\ \times (1 - \text{Frac}_{\text{GASF}}) \times \text{EF}_1 \times 44/28 \times \text{GWP}_{\text{N}_2\text{O}} \quad \dots \text{Eq. 4}$$

$$\text{Indirect soil emissions (SE}_{\text{INDIRECT}}) = \text{kgN applied} \\ \times \text{Frac}_{\text{GASF}} \times \text{EF}_4 \times 44/28 \times \text{GWP}_{\text{N}_2\text{O}} \quad \dots \text{Eq. 5}$$

$$\text{Indirect leaching soil emissions (SE}_{\text{LEACH}}) \\ = \text{kgN applied} \times (1 - \text{Frac}_{\text{GASF}}) \times \text{Frac}_{\text{LEACH}} \times \text{EF}_5 \\ \times 44/28 \times \text{GWP}_{\text{N}_2\text{O}} \quad \dots \text{Eq. 6}$$

$$\text{Total SE} = \text{SE}_{\text{DIRECT}} + \text{SE}_{\text{INDIRECT}} + \text{SE}_{\text{LEACH}} \quad \dots \text{Eq. 7}$$

과원에 사용된 퇴비로부터 아산화질소(N₂O)의 토양 중 배출량도 뉴질랜드 온실가스 인벤토리(MED, 2007)에 근거한 Eq. 8, Eq. 9로 산출된다. Eq. 8은 직접 배출원으로서 과원에 사용된 퇴비로부터 발생하는 배출량의 산출이고, Eq. 9는 Eq. 8에 포함된 함수값, 즉 퇴비의 질소 함량을 산출하기 위해 활용된다. 또한 낙엽, 전정된 가지와 같은 식물체 잔여물의 질소로부터 아산화질소(N₂O)의 토양 중 배출량도 퇴비와 동일한 방법으로 산출된다(Eq. 8, Eq. 9).

$$\text{Direct soil emissions (SE}_{\text{COMPOST}}) \\ = \text{kgN applied} \times \text{EF}_1 \times 44/28 \times \text{GWP}_{\text{N}_2\text{O}} \quad \dots \text{Eq. 8}$$

$$\text{Compost nitrogen} = \text{kg compost} \\ \times \% \text{ dry matter} \times \% \text{ nitrogen} \quad \dots \text{Eq. 9}$$

수확 후 단계들

수확 후 단계는 과원에서 포장공장으로의 운송, 포장공장, 포장공장에서 뉴질랜드 항구로의 운송, 선적, 영국 Zeebrugge 항구에서의 재포장, 항구에서 대형유통점에서의 운송, 대형유통점, 대형유통점에서 소비자까지의 운송, 소비 및 쓰레기 처리 단계로 구성된다(Table 10).

과원에서 포장공장으로의 운송 단계에서 뉴질랜드 참다래는 260kg 용량의 대량 용기에 넣어져 포장공장으로 운송되며, 이 때 운송 차량은 냉각기를 사용하지 않는다. 이 과정에서 온실가스 배출량은 포장작업과 운송 거리를 통하여 산출된다.

포장공장에서 뉴질랜드 참다래는 때때로 약간의 예냉을 실시하기도 하지만 일반적으로 약 2일간 상온에서 보관된 후, 선별기 또는 수작업으로 크기에 따라 분류된다. 각각의 과일에는 상표가 부착되고 무게에 따라 분류된 후에 개별 용기에 포장된다. 포장용기들은 팔레트 위에 올려지고 모서리에 보호대를 부착하고 플라스틱 필름으로 감싼 후, 팔레트를 냉장 저장고에 보관한다. 출고 시, 품질검사를 실시하고 불량한 품질은 제거하거나 재포장한다. 온실가스 배출량은 포장작업 시 필요한 재료들, 냉매와 같은 그 외 부수물, 포장공장 및 냉장 저장고에서의 전기 사용량, 적재를 위한 지게차의 연료 사용량, 배출 쓰레기량, 반입에서 출고 시까지의 저장기간을 통하여 산출된다.

포장공장에서 뉴질랜드 항구로의 운송은 냉각기가 없는 40톤 트럭을 사용하며 빈 차로 돌아온다. 이 과정에서 온실가스 배출량은 포장공장에서 뉴질랜드 항구까지의 운송 거리와 항구에서 선적하기까지 대기하는 과정 중의 전기 사용량을 통하여 산출된다. 항구에서 선적 시 뉴질랜드 참다래의 약 90%는 테크 아래에 적재되는 형태의 대형 선박에 팔레트로 선적되고 나머지는 테크 위에 컨테이너에 적재되어 영국 Zeebrugge 항구까지 해상 운송된다. 이 과정에서 온실가스 배출량은 선적 시 불량한 품질의 제거 및 재포장을 위한 반송과 해상 운송 과정에서 발생하는 에너지 사용량을 통하여 산출된다.

항구에 하역된 뉴질랜드 참다래는 품질검사 후에 소형의 단층 포장상자로 재포장되어 대형유통점으로 운송되기 전

Table 10. Data type of Life cycle stages for the example of kiwifruit grown in New Zealand and consumed in the UK (McLaren et al., 2008).

Life cycle stage	Type of data	Details
Transport to packhouse	Packaging for orchard to packhouse strage	Wooden crates (bins) to transport kiwifruit from orchard to packhouse
	Transport	Orchard to packhouse
Packhouse/coolstore	Packaging at packhouse	Plastic sleeve, plastic liner, adhesive for tray, single-layer tray, wooden pallet, corner pieces, strapping
	Other ancillary items (excl. packaging)	Refrigerants in coolstore
	Energy	Electricity use in packhouse/coolstore
	Fuel	LPG for forklift
	Waste	Waste at packhouse
	Storage times	Coolstore
Transport from packhouse/coolstore to NZ port	Transport	Coolstore to NZ port
	Energy	Electricity use
Shipping	Waste	Rejected fruit at New Zealand port
	Transport	NZ port to UK port
Repacking in Europe	Packaging	Spifes made of polystyrene (15 g·each ¹)
	Fuel	LPG for forklife
	Energy	Electricity use
Transport from Zeebrugge to retailer	Transport	UK port to retailer
Retailer	Energy	Lightening for display
	Waste	Rejected fruit at retailer
Transport from retailer to household	Transport	Retailer to home
Household consumption	Waste to landfill	Peelings, Uneaten fruit, Packaging
Wastewater treatment	Energy	Wastewater treatment plant Hand drier

까지 평균 18일 동안 저장된다. 이 과정에서 온실가스 배출량은 항구에서 하역 시 발생하는 에너지 사용량, 재포장, 보관 중 발생하는 에너지 사용량을 통하여 산출된다.

Zeebrugge 항구에서 유럽의 대형유통점으로의 운송은 트럭을 이용한다. 이 과정에서 온실가스 배출량은 운송과정에서의 에너지 사용량을 통하여 산출된다. 대부분의 대형유통점에서 뉴질랜드 참다래는 냉각장치 없이 진열되므로 이 과정에서 온실가스 배출량은 진열을 위한 전기 사용량과 배출 쓰레기 양을 통하여 산출된다.

대형유통점과 소비자 간의 운송거리는 소비자의 행태와 지형적 위치에 따라서 매우 다양하다. PAS 2050은 이 단계를 제품과 서비스에 대한 탄소발자국 산정 시 제외하도록 추천하고 있지만, 최근까지 뉴질랜드 PFR은 전과정에서 그

환경적 영향을 이해하기 위해서 이 부분을 포함시켰는데 (Deurer et al., 2008a, 2008b, 2009, 2010), 향후 국내에서도 동일한 목적으로 이 부분을 평가할 필요가 있다. 이 과정에서 온실가스 배출량은 대형유통점과 소비자 간의 운송 시 발생하는 연료 사용량을 통하여 산출된다. Smith et al.(2005)은 대형 유통점에서 소비자에 이르는 운송의 산출 근거를 사례로 제시하였다(Table 11).

가정에서의 소비 단계에서 참다래는 대부분 냉장고에 보관되지 않으므로 이 단계에서의 환경적 영향은 참다래 껍질, 과숙과일의 폐기, 버려진 포장 재료 등의 배출되는 쓰레기에 의해 발생한다(Lundie and Peters, 2005). 따라서 이 과정에서 온실가스 배출량은 총 쓰레기 양을 통하여 산출된다. 부가적으로 체내에서 소화한 후에 남은 찌꺼기가 배설되고

Table 11. Details of transport from retailer to home (Smith et al., 2005).

Type of data	Item	Relevant data
Transport	Retailer to home transport	5.5 km each way (carrying 11 kg of shopping) by car

Table 12. GHG emissions and contributors of the individual stages of the supply chain (Deurer et al., 2008a).

Supply chain stage	GHG emission (g CO ₂ eq·tray ⁻¹)	Contributor (%)
Orchard operations	693	fertilizer and lime (44), fuel and electricity (35), capital equipment (17), agrichemical (4), seasonal workforce (0.4)
Packhouse/coolstore	474	refrigerants (57), electricity and LPG (24), packaging (14), transport (4), seasonal workers (2)
Port	39.2	transport (93), electricity (7)
Shipping	2100	fuel (99), refrigerant leaks (1)
Repackaging facility, Zeebrugge	162	spifes (98), packaging waste (2)
Retailer	303	transport (91), electricity (9)
Consumer and subsequent waste treatment	1090	cars (72), fruit waste (21), wastewater and sewage treatment (6)

정화시설로 옮겨지는 단계는 전과정 평가에서 종종 생략되지만 그 환경적 영향을 이해하기 위해서 평가가 필요하다 (Bovea and Powell, 2005; Carlsson-Kanyama, 1998b). 이 과정에서 온실가스 배출량은 정화시설의 에너지 사용량과 핸드 드라이어의 에너지 사용량을 통하여 산출된다.

전과정 평가의 해석 및 적용

영국에서 소비되는 1개의 tray에 해당하는 뉴질랜드 참다래의 전과정 온실가스 배출량은 5.75kg CO₂eq·tray⁻¹이었다 (Deurer et al., 2008a). 공급의 일련과정에서 총 온실가스 배출량에 대한 각 단계의 영향은 과원 생산 17%, 포장(냉장) 12%, 뉴질랜드 항구 선적 1%, 선박운송 41%, 영국 Zeebrugge에서의 재포장 3%, 대형유통점 6%, 소비 및 쓰레기처리 21%로 나타났다(Table 12). 생산 및 출하 기간에 과원에 투입되는 해외 노동자의 항공이동에 의한 온실가스 배출량은 과원에서의 총 배출량의 0.4%를 차지함으로써 향후 전과정에서 제외시킬 수 있는 수준이었다. 참다래 공급의 일련과정에서 탄소발자국에 영향을 미치는 주요 전과정 단계들은 선박운송, 소비자, 과원 생산, 포장(냉장) 순으로 나타났다. 선박운송과 같은 장거리 운송은 무역에서 장애물이 될 수 있으며, 이것을 극복하기 위해서는 과원 생산과 냉장 단계에서 효과적인 온실가스 감축이 필요하다.

과수의 탄소발자국 표지 적용을 위한 제언: 경남지역 참다래를 중심으로

국내 농업은 General Agreement on Tariffs and Trade

(GATT)의 Uruguay Round(UR) 협상 타결, WTO 출범, Free Trade Agreement(FTA) 체결 등으로 심각한 위기에 놓여있다. 국내 과수산업은 상당히 개방되었고 관세 감축폭도 지속적으로 확대되고 있으며, 국가간 FTA는 이와 같은 추세를 더욱 가속시킬 것이다. 뿐만 아니라, 향후 농산물의 생산, 유통, 수출입 등의 산업분야는 탄소발자국에 의해서 상당한 제한을 받을 것으로 예상되므로(Deurer et al., 2008a, 2008b) 주요 수출입 농산물에 대한 전과정 평가가 필요하다. 따라서 국내 과수에 대한 탄소라벨링 연구의 일환으로 경남을 중심으로 하여 1992년부터 2006년까지 참다래의 수출입, 생산지, 생산면적, 생산량 등의 동향을 평가하였으며, 이를 바탕으로 과수산업에서의 탄소발자국 표지 적용을 위한 접근전략을 제안하고자 한다.

농업통계정보(2010)에 의하면 2009년 농림어업생산은 249,290억 원으로 국내총생산의 2.3%, 농산물 수출액은 2,991백만 달러로 총수출액의 0.8%, 농산물 수입액은 11,754백만 달러로 총수입액의 3.6%를 차지하고 있다(KREI, 2011). 2008년 경남의 농축산물은 6,746,768천 톤으로 전국 생산량의 6.4%(8위), 2009년 경남의 경지면적은 164천ha로 전국의 9.4%로 보고된 반면, 2009년 경남의 총 농가수는 140,144호로 전국의 11.7%, 농가인구는 343,591명으로 전국의 11.0%를 차지하는 것으로 나타났다(GARES, 2011). 따라서 경남의 농업은 생산물의 경제적 가치 평가를 배제한 상태에서 상대적으로 농가수 및 농가인구의 비율은 높지만 경지면적이 좁고 생산성이 낮은 것으로 분석되고 있다.

참다래는 제주도, 전라남도과 함께 경상남도에서 생산되

고 있고, 경남에서 참다래의 주 생산지는 고성, 사천, 남해이며, 그 외에 통영, 하동, 마산, 거제 등에서도 생산되고 있다 (Table 13). 일반적으로 11월초에 출하를 시작하여 3월까지 유통되고 있으며, 재배면적은 1992년 120ha에서 1996년 270ha로 2.3배가 급증하였지만 2002년에는 250ha로 감소하였다 (Table 14). 생산량은 재배기술 향상에 따라서 1992년 1.08천 톤에서 1996년 3.27천 톤으로 3.0배가 증가하였지만 2002년에는 2.95천 톤으로 감소하였고 지속적으로 감소하는 추세이다.

이와 같은 경향은 국산 참다래의 수출에서도 나타나고 있다 (Table 15). 참다래 수출은 1992년에 일본에 95톤을 수출하였고, 1998년에 일본, 싱가포르, 러시아, 대만 등지에 245톤을 수출하였지만 최근에는 감소 추세에 있다. 그 이유는 농산물의 수입개방, 관세감축, 국가간 FTA 등에 의해서 생산 여건이 취약해지고, 이것은 다시 생산량의 감소를 야기함으로써 결국 국내 총생산량이 국내 수요를 충족하지 못하기 때문으로 분석된다. 반면, 참다래의 국내 수입량은 1992년에 일본, 미국, 뉴질랜드로부터 2,702톤을 나타냈고 계속적으로 증가하여 2006년에는 뉴질랜드, 칠레, 미국으로부터 32,112톤의 국내 수입량을 나타냈다. 또한 향후에도 국내

비생산기에 참다래 수입이 지속적으로 증가할 것으로 예상된다.

이와 같은 과수의 수출 감소와 수입 증가라는 당면한 경제적 문제를 극복하기 위해서 탄소발자국 표지는 효과적인 전략이 될 수 있다. 탄소배출량 측면에서 수입 농산물은 수송과정에서 상당한 온실가스 배출이 발생하지만 국산 농산물, 특히 유기 농산물은 상대적으로 온실가스 배출량이 적으므로 경쟁력을 가질 수 있다 (Mila i Canals et al., 2006, 2007b; Sim et al., 2007). 탄소발자국 표지는 가까운 장래에 농산물의 무역을 위한 전제조건이 될 것이며, 최근 세계의 모든 경제분야는 지속가능성을 고려하여 생산에서 시장까지 전세계에서 운송 중에 발생하는 온실가스에 대하여 지대한 우려를 나타내고 있다. 현재 탄소발자국 표지는 소비자에게 제품의 친환경성을 비교하고 선택하여 제품을 구매할 수 있도록 유도하는 수준이지만, 점차 농산물의 유통을 규제할 수 있는 일종의 장벽으로서 작용할 수 있다. 미국의 다국적 대형 유통업체인 Walmart는 녹색경영을 위해서 지속가능성 공급자 평가 질문지(sustainability supplier assessment questions)를 고안하고 공급자들을 대상으로 평가를 실시하여 “Energy & Climate” 항목에서 3개의 서로 다른 등급으

Table 13. Kiwifruit cultivation area of cities or counties in Gyeongnam, Southeast Korea (GARES, 2011).

Ranking	The name of city or county (amount, %)		
	1994	1995	1996
1	Namhae (18.3)	Goseong (25.7)	Goseong (26.4)
2	Sacheon (18.2)	Sacheon (18.7)	Sacheon (22.0)
3	Goseong (14.1)	Namhae (12.4)	Namhae (12..1)
4	Tongyeong (13.6)	Tongyeong (11.3)	Masan (6.2)
5	Hadong (5.5)	Masan (6.3)	Hadong (5.5)

Table 14. Kiwifruit cultivation and production in Korea (GARES, 2011; KERI, 2011).

Year	Cultivation (1,000ha, %)				Production (1,000ton, %)		
	World	Korea (A)	Gyeongnam (B)	B/A	Korea (A)	Gyeongnam (B)	B/A
1992	64.8	0.99	0.12	12.1	8.26	1.08	13.1
1993	60.2	1.13	0.13	11.5	8.36	1.03	12.3
1994	60.3	1.38	0.22	15.9	8.74	1.82	20.8
1995	58.5	1.47	0.27	18.4	12.18	2.87	23.6
1996	55.8	1.49	0.27	18.4	12.86	3.27	25.4
1997	53.6	1.38	-	-	14.17	-	-
1998	52.3	1.27	-	-	14.70	-	-
1999	53.2	1.10	-	-	13.19	-	-
2000	56.0	1.04	-	-	13.83	-	-
2001	55.2	1.05	-	-	12.71	-	-
2002	57.9	0.9	0.25	27.8	10.97	2.95	27.1
2003	58.9	1.0	-	-	10.49	-	-
2004	63.4	-	-	-	12.78	0.93	7.3
2005	68.3	-	-	-	-	1.39	-

Table 15. Export and import of Kiwifruit in South Korea (KREI, 2011).

Year	Export		Import	
	Amount (ton)	Country	Amount (ton)	Country
1992	95	Japan	2,702	Japan, USA, New Zealand
1993	-	-	3,589	New Zealand, USA, Japan
1994	-	-	4,446	New Zealand, USA, Japan
1995	7	Russia	5,112	New Zealand, USA
1996	-	-	6,494	New Zealand, USA
1997	8	Russia	7,999	New Zealand, Chile, USA
1998	245	Japan, Singapore, Russia, Taiwan	3,471	New Zealand, Chile
1999	103	Japan	4,383	New Zealand, Chile, USA
2000	3	Russia, Japan	5,228	New Zealand, Chile, USA, China
2001	11	Russia, Japan	6,417	New Zealand, Chile, USA, Australia
2002	55	Russia, Japan	10,233	New Zealand, Chile, USA
2003	0.012	Northern Mariana, Japan	12,849	New Zealand, USA, Chile
2004	-	-	23,101	New Zealand, Chile, USA
2005	0.2	Hongkong	26,752	Chile, USA, New Zealand
2006	-	-	32,112	New Zealand, Chile, USA

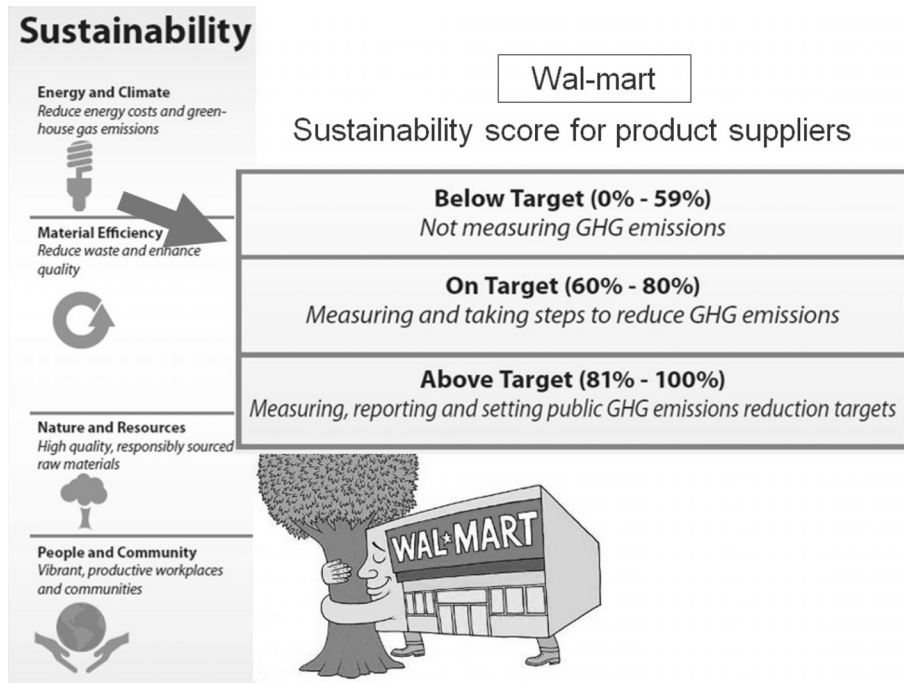


Fig. 6. Energy and climate of sustainability supplier assessment of Walmart: reduce energy costs and greenhouse gas emissions (Walmart, 2011).

로 공급자를 분류하고 있다(Fig. 6). 여기서 온실가스 배출량을 측정하지 않는 공급자는 “Below Target”, 온실가스 배출량을 측정하여 감축 작업을 수행하는 공급자는 “On Target”, 온실가스 배출량에 대한 감축 목표를 달성한 공급자는 “Above Target”의 범주에 넣어 분류하고 있는데(Walmart, 2011), 이것은 향후 공급자에게 부적합한 제품의 공급을 제한할 수 있는 기준으로 작용할 수 있기 때문에 주목할 필요가 있다. 이와 같은 동향들을 종합해 볼 때, 향후 국내 과수의 온실가

스 배출량에 국제 표준에 근거한 농업 LCI 구축과 그에 따른 전과정 평가가 필요할 것으로 예측된다.

또한 과수의 탄소발자국 표지는 기후변화에 대응한 효과적인 전략이 될 수 있다. 경남발전연구원에서 수행된 ‘기후변화와 경남농업의 대응(Kwon, 2009)’, ‘저탄소 녹색성장을 위한 경남농업과 농촌의 과제 및 대책(Kwon, 2010)’ 등의 연구들은 기후온난화를 최소화할 수 있는 온실가스 저감대책으로서 친환경농업, 유기농업, 바이오 에너지 등의 녹색기

술을 제안하였고, 한국농촌경제연구원에서 수행된 ‘탄소성적표지제도의 농업분야 적용과 시사점(Kim et al., 2009)’, ‘주요국의 농업분야 탄소배출권 거래제도 운용 실태(Kim et al., 2010)’ 등의 연구들은 온실가스 저감을 위한 효과적인 방안으로서 탄소성적표지와 탄소배출권을 언급하였다. 이와 같은 연구들을 종합해보면, 탄소발자국 표지는 온실가스 저감을 위한 녹색기술의 개발 및 적용을 정량적으로 평가하고 효과적으로 저감대책을 수립할 수 있도록 함으로써 궁극적으로 효과적인 기후변화 대응을 가능하게 할 수 있다.

따라서 농산물의 경쟁력 강화, 저탄소 제품의 생산 및 소비 활성화, 탄소감축으로 인한 국가 경쟁력 강화 등을 위해서 국내 과수의 국제 표준에 의한 탄소발자국 도입은 가능한 한 조속히 수행되어야 할 것이다. 이를 위해서는 우선 농업 LCI 구축, 농산물의 LCA 방법 등은 Kim et al.(2009)의 연구보고서에서 언급한 것처럼 농림수산 분야 연구기관들의 참여와 역할분담이 필요하며, 농촌진흥청 산하 연구기관, 국립산림과학원, 국립수산물품질관리원 등의 국립연구기관과 한국농촌경제연구원, 농업기술실용화재단, 농산물유통공사, 농협 등 유관기관들이 탄소성적표지제 시행에 필요한 기술적 과제 해결과 소비자 마케팅, 인증제도 운영 등을 위해 협력해야 한다. 또한 현장에서 발생하는 활동 데이터의 수집과 분석은 또 다른 해결과제인데, 이를 위해서는 먼저 국가 또는 지방 자치단체의 재정적 지원, 농산물 생산자의 참여, 대형유통점, 운송업체 등의 정보 제공, 연구기관들의 공동연구, 영국, 뉴질랜드 등과 같은 선진국들과의 국제 협력이 필요하다. 앞서 제시된 뉴질랜드 참다래의 전과정 평가 방법 체계는 이를 위해서 유용하게 활용될 수 있다. 현 단계에서 자발적인 생산농가를 대상으로 하여 활동 데이터를 수집하고 국내외의 유효한 LCI 데이터베이스를 통하여 각종 계수들을 확보하면 국산 과수에 대한 탄소발자국 표지가 시범적으로 가능할 것이다. 또한 시범사업으로 수립된 탄소발자국 표지의 체계 위에서 향후 개발될 각종 배출계수들을 포함하는 농업 LCI가 반영된다면 국제적으로 신뢰할 수 있는 탄소발자국 표지가 가능할 것이다.

초 록

국내외 탄소발자국 연구 동향을 분석하였으며 뉴질랜드 참다래의 전과정 평가 방법의 체계를 해석하였고, 경남지역 참다래를 중심으로 과수의 탄소발자국표지 적용에 대하여 제안하였다. 제품의 탄소발자국은 일반적으로 ISO14040 시리즈, PAS 2050, GHG Protocol 등과 같은 국제표준에 따라서 평가된다. 국내 탄소발자국 표지는 한국환경산업기술원

이 환경부의 위탁하에 한국 표준을 마련하고 “기후변화대응”, “저탄소상품”이란 문구가 표시된 탄소성적표지를 운영하고 있지만 현재까지 농산물은 인증대상에서 제외되어 있다. 반면 영국, 스웨덴, 덴마크, 뉴질랜드 등은 농산물의 전과정 평가를 이미 수행하고 있다. 뉴질랜드 참다래의 전과정 평가는 ISO 표준 방법들을 준용하고 ISO 표준에서 분명한 기준이 없는 경우에는 PAS 2050 표준을 준용한다. 시스템 경계는 뉴질랜드 참다래의 총 온실가스 배출량에 대한 각 단계에서의 영향을 이해하기 위해서 과원 생산에서 소비까지의 모든 전과정 단계들을 포함하였다. 전과정 평가 결과에서 총 온실가스 배출량에 대한 각 단계의 영향은 과원 생산 17%, 포장(냉장) 12%, 뉴질랜드 항구 선적 1%, 선박 운송 41%, 영국 Zeebrugge에서의 재포장 3%, 대형유통점 6%, 소비 및 쓰레기처리 21%로 나타났다. 선박운송과 같은 장거리 운송은 무역에서 장애물이 될 수 있으며, 이것을 극복하기 위해서는 과원과 냉장에서 온실가스의 감축이 필요하다. 국내 산업현황 분석에 따르면 최근 참다래 수입량은 매우 빠르게 증가하고 있음에도 불구하고 참다래 재배면적과 생산량은 감소하고 있으며, 수출량도 감소하고 있다. 그 이유는 수입 농산물들에 의해서 경제적 이익이 감소하였기 때문인데, 탄소발자국 표지는 참다래뿐만 아니라 국내 과수산업의 새로운 활력을 가져올 수 있다. 과수의 국제 표준에 의한 탄소발자국 도입은 가능한 한 조속히 수행되어야 할 것이다. 본 논문에서 제시된 뉴질랜드 참다래의 전과정 평가 방법 체계는 이를 위해서 유용하게 활용될 수 있다.

추가 주요어 : *Actinidia* spp., 탄소라벨링, 온실가스, 전주기 인벤토리, 공급의 일련과정

인용문헌

- Adisa, A. 1999. Life cycle assessment and its application to process selection, design and optimization. *Chem. Eng. J.* 79:1-21.
- Alcorn, A. 2003. Embodied energy and CO₂ coefficients for NZ building materials. Centre for Building Performance Research. Victoria Univ., Wellington, Wellington.
- Andersson, K., T. Ohlsson, and P. Ohlsson. 1998. Screening life cycle assessment (LCA) of tomato ketchup: A case study. *J. Cleaner Prod.* 6:277-288.
- Anton, A., J.I. Montero, P. Munzo, and F. Castells. 2005. LCA and tomato production in Mediterranean greenhouses. *Intl. J. Agr. Resources Governance Ecol.* 4:102-112.
- Audley, E., S. Alber, R. Clift, S. Cowell, P. Crettaz, G. Gaillard, J. Hausheer, O. Jolliet, R. Kleijn, B. Mortensen, D. Pearce, E. Roger, H. Teulon, B. Weidema, and H. Van Zeijts. 1997. Harmonization of environmental life cycle assessment for agriculture: Final report. Concerted Action AIR3-CT94-2028.

- European Commission. DG VI Agriculture.
- Berlin, J. 2002. Environmental life cycle assessment (LCA) of Swedish semi-hard cheese. *Intl. Dairy J.* 12:939-953.
- Berlin, J., U. Sonesson, and A.M. Tillman. 2007. A life cycle based method to minimize environmental impact on dairy production through product sequencing. *J. Cleaner Prod.* 15: 347-356.
- Bovea, M.D. and J.C. Powell. 2005. Alternative scenarios to meet the demands of sustainable waste management. *J. Environ. Mgt.* 79:115-132.
- Brentrup, F., J. Kusters, H. Huhmann, and J. Lammel. 2004a. Environmental impact assessment of agricultural production systems using the life cycle assessment methodology: I. Theoretical concept of a LCA method tailored to crop production. *European J. Agron.* 20:247-264.
- Brentrup, F., J. Kusters, H. Kuhlmann, and J. Lammel. 2001. Application of the life cycle assessment methodology to agricultural production: an example of sugar beet production with different forms of nitrogen fertilizers. *European J. Agron.* 14:221-233.
- Brentrup, F., J. Kusters, J. Lammel, P. Barraclough, and H. Huhmann, 2004b. Environmental impact assessment of agricultural production systems using the life cycle assessment (LCA) methodology: II. The application to N fertilizer use in winter wheat production systems. *European J. Agron.* 20:265-279.
- British Standard Institution (BSI). 2008. PAS 2050: Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services. *Brit. Stnds. Inst.*, London.
- Carlsson-Kanyama, A. 1998a. Climate change and dietary choices: How can emissions of greenhouse gases from food consumption be reduced? *Food Policy* 23:277-293.
- Carlsson-Kanyama, A. 1998b. Food consumption patterns and their influence on climate change. *Ambio* 27:528-534.
- Deurer, M., B.E. Clothier, A. Pickering, and D. Cleland. 2008a. Carbon footprinting for the kiwifruit supply chain - Reduction opportunities. *Plant & Food Research Contract Report to Landcare Research, Auckland.*
- Deurer, M., B.E. Clothier, A. Pickering, R. McDonald, and M. Piquet. 2008b. Carbon footprinting for the wine supply chain - Reduction opportunities. *Plant & Food Research Contract Report to Landcare Research, Auckland.*
- Deurer, M., B.E. Clothier, R. McDonald, and C.W. Van den Dijssel. 2010. Greenhouse gas footprinting and berryfruit production - Reduction opportunities. *Plant & Food Research Contract Report to Landcare Research, Auckland.*
- Deurer, M., B.E. Clothier, R. McDonald, M. Piquet, and J.T.S. Walker. 2009. Carbon footprinting for the apple supply chain - Reduction opportunities. *Plant & Food Research Contract Report to Landcare Research, Auckland.*
- Ecoinvent. 2007. Ecoinvent Database v.2.01. Swiss Centre for Life Cycle Inventories. www.ecoinvent.org.
- Edward-Jones, G., K. Plassman, E.H. York, B. Hounsome, D.L. Jones, and L. Mila i Canals. 2009. Vulnerability of exporting nations to the development of a carbon label in the United Kingdom. *Environ. Sci. Policy* 12:479-490.
- Ekvall, T. and G. Finnveden. 2001. Allocation in ISO14041 - A critical review. *J. Cleaner Prod.* 9:197-208.
- European Commission-Joint Research Center (EU-JRC). 2010. International reference life cycle data system (ILCD) Handbook - general guide for life cycle assessment - detailed guidance. EUR 24708 EN. Publications Office of the European Union, Luxembourg.
- Finkbeiner, M., A. Inaba, R.B.H. Tan, K. Christiansen, and H.J. Kluppel. 2006. The new international standards for life cycle assessment: ISO 14040 and ISO 14044. *Intl. J. Life Cycle Assessment* 11:80-85.
- Gyeongsangnam-do Agricultural Research & Extension Services (GARES). 2011. www.knrda.go.kr.
- Green, S.R., S. Sivakumaran, C. Van den Dijssel, T.M. Mills, P. Blattmann, W.P. Snelgar, M.J. Clearwater, and M. Judd. 2007. A water and nitrogen budget for 'Hort16a' kiwifruit vines. *Acta Hort.* 753:527-534.
- Growcom, A.J.E. 2008. Vegetable industry carbon footprint scoping study. Horticulture Australia Ltd., Sydney.
- Hass, G., F. Whitterich, and U. Kopke. 2001. Comparing intensive, extensified and organic grassland farming in southern Germany by process life cycle assessment. *Agr. Ecosystems Environ.* 83:43-53.
- Henningsson, S., K. Hyde, A. Smith, and M. Campbell. 2004. The value of resource efficiency in the food industry: A waste minimization project in East Anglia, UK. *J. Cleaner Prod.* 12:505-512.
- Huh, K.Y., M. Deurer, S. Sivakumaran, K. McAuliffe, and N.S. Bolan. 2008. Carbon sequestration in urban landscapes: The example of a turfgrass system in New Zealand. *Austral. J. Soil Res.* 46:610-616.
- International Organization for Standardization (ISO). 1997. ISO 14040 Environmental Management - Life Cycle Assessment - Principles and Framework. ISO, Geneva.
- International Organization for Standardization (ISO). 2006. ISO 14040:2006(E) Environmental Management - Life Cycle Assessment - Principles and Framework. ISO, Geneva.
- International Panel on Climate Change (IPCC). 2001. Climate change 2001: The scientific basis, p. 944. In: J.T. Houghton, Y. Ding, D.J. Griggs, M.P. Noguer, J. Van der Linden, and D. Xiaosu (eds.). Contribution of Working Group 1 to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge Univ. Press, Cambridge.
- Itsubo, N. and A. Inaba. 2003. A new LCIA method: LIME has been completed. *Intl. J. Life Cycle Assessment* 8:305.
- Janulis, P. 2004. Reduction of energy consumption in biodiesel fuel life cycle. *Renewable Energy* 29:861-871.
- Kim, C.G., J.K. Jang, H.M. Kwon, and J.J. Nam. 2009. Policy implications and directions for introducing carbon labeling system in Korean agriculture. *Policy Study Issue P121 of Korean Rural Economic Institute, Seoul.*
- Kim, C.G., Y.H. Kim, and H.G. Jung. 2010. Actual conditions of carbon emission trading system management in agricultural industries of advanced countries. *Korean Rural Economic Institute, Seoul.*
- Kim, I. 2009. The necessity and trends of carbon labeling as the response of climate change. *Global Green Growth Policy* 10:1-14.
- Kim, K.H. 2011. The trends and prospects of carbon labeling in Korea and the advanced countries. *Global Green Growth*

- Policy 39:1-16.
- Kim, S. and B.E. Dale. 2005. Life cycle assessment of various cropping systems utilized for producing biofuels: Bioethanol and biodiesel. *Biomass Bioenergy* 29:433-439.
- Kim, W.S. 2006. A preliminary goal-setting and implementing strategies for reducing greenhouse gas emissions in Seoul. *Seoul Dev. Inst.* p. 3-4.
- Korea Rural Economic Institute (KREI). 2011. www.krei.re.kr.
- Korean Environmental Industry and Technology Institute (KEITI). 2011. www.edp.or.kr.
- Krozer, Y. 2008. Life cycle costing for innovations in product chains. *J. Cleaner Prod.* 16:310-321.
- Kwon, Y.D. 2009. Counterplans of Gyeongnam agricultural industry against climate change. Issue paper of Gyeongnam Development Institute, Changwon.
- Kwon, Y.D. 2010. Challenges and counterplans of Gyeongnam agricultural industry and villages for low carbon and green growth. Gyeongnam Development Institute, Changwon.
- Life Cycle Assessment (LCA) Food. 2001. The environmental impact of food from origin to waste: interim report from LCA food project. LRF The Federation of Swedish Farmers, Stockholm.
- Lindeijer, E. 2000. Biodiversity and life support impacts of land use in LCA. *J. Cleaner Prod.* 8:313-319.
- Lundie, S. and G.M. Peters. 2005. Life cycle assessment of food waste management options. *J. Cleaner Prod.* 13:275-286.
- Mattsson, B. 1999. Environmental life cycle assessment of organic and integrated production of carrot puree, p. 45-53. In: B. Mattsson (ed.). 'Environmental Life Cycle Assessment (LCA) of Agricultural food production. PhD Diss., Swedish Univ. Agr. Sci., Alnarp.
- Mattsson, B. and M. Stadig. 1999. Screening life cycle assessment of organic and conventional production of a cereal based baby food product, p. 68-91. In: B. Mattsson (ed.). 'Environmental Life Cycle Assessment (LCA) of Agricultural food production, PhD Diss., Swedish Univ. Agr. Sci., Alnarp.
- Mattsson, B., C. Cederberg, and L. Blix. 2000. Agricultural land use in life cycle assessment (LCA): Case studies of three vegetable oil crops. *J. Cleaner Prod.* 8:283-292.
- McLaren, S.J., A. Smith, and N. Mithraratne. 2008. Carbon footprinting for the kiwifruit supply chain - Report on implementation. MAF, Wellington.
- Mila i Canals, L., C.M. Burnip, and S.J. Cowell. 2006. Evaluation of the environmental impacts of apple production using Life Cycle Assessment (LCA): Case study in New Zealand. *Agr. Ecosystems Environ.* 111:226-238.
- Mila i Canals, L., J. Romanya, and S.J. Cowell. 2007a. Method for assessing impacts on life supporting functions (LSF) related to the use of 'fertile land' in Life Cycle Assessment (LCA). *J. Cleaner Prod.* 15:1426-1440.
- Mila i Canals, L., S.J. Cowell, S. Sim, and L. Basson. 2007b. Comparing domestic versus imported apples: A focus on energy use. *Environ. Sci. and Pollution Res.* 14:338-344.
- Mila i Canals, L. 2007. LCA methodology and modeling considerations for vegetable production and consumption. *Univ. Surrey, Guildford*.
- Ministry of Economic Development (MED). 2007. Energy greenhouse gas emissions 1990-2005. Ministry of Econ. Dev., Wellington.
- Nielson, P.H., A.M. Nielson, B.P. Weidema, R. Dalgaard, and N. Halberg. 2003. LCA Food Database. www.lcafood.dk.
- Reardon, T., S. Henson, and J. Berdegue. 2007. 'Proactive fast-tracking' diffusion of supermarkets in developing countries: Implications for market institutions and trade. *J. Econ. Geography* 7:399-431.
- Ross, S. and D. Evans. 2003. The environmental effect of reusing and recycling a plastic-based packaging system. *J. Cleaner Prod.* 11:561-571.
- Roy, P., D. Nei, H. Okadome, N. Nakamura, T.I. Orikasa, and T. Shina. 2008. Life cycle inventory analysis of fresh tomato distribution systems in Japan considering the quality aspect. *J. Food Eng.* 86:225-233.
- Schmidt, J.H., P. Christensen, and T.S. Christensen. 2009. Assessing the land use implications of biodiesel use from an LCA perspective. *J. Land Use Sci.* 4:35-52.
- SETAC Europe LCA Steering Committee. 2008. Standardisation efforts to measure greenhouse gases and 'carbon footprinting' for products. *Intl. J. Life Cycle Assessment* 13:87-88.
- Sim, S., M. Barry, R. Clift, and S.J. Cowell. 2007. The relative importance of transport in determining an appropriate sustainability strategy for food sourcing: a case study of fresh produce supply chains. *Intl. J. Life Cycle Assessment* 12:422-431.
- Smith, A., P. Watkiss, G. Tweddle, A. McKinnon, M. Browne, A. Hunt, C. Treleven, C. Nash, and S. Cross. 2005. The validity of food miles as an indicator of sustainable development: Final report. *Food Miles Final Report Issue 7*. AEA Technol. Environ., Didcot.
- Sundkvist, A., A.M. Jansson, and P. Larsson. 2001. Strengths and limitations of localizing food production as a sustainability building strategy: An analysis of bread production on the island of Gotland, Sweden. *Ecol. Econ.* 37:217-227.
- Tesco. 2008. Carbon labeling and Tesco. www.tesco.com.
- Walmart. 2011. www.walmartstores.com.
- Wells, C.M. 2001. Total energy indicators of agricultural sustainability: Dairy farming case study final report. Ministry of Agriculture and Forestry, Wellington, New Zealand.
- Wiedmann, T. and J. Minx. 2007. A definition of carbon footprint. *ISA^{UK} Research report 07-01*. www.isa-research.co.uk.