

전과정평가법을 이용한 사과의 탄소발생량 산정과 저감 연구

A Study on Carbon Footprint and Mitigation for Low Carbon Apple Production using Life Cycle Assessment

이덕배*[†] · 정순철** · 소규호* · 김건엽* · 정현철*

*농촌진흥청 국립농업과학원 농업환경부, **엔비누스

Lee, Deog Bae*[†], Jung, Sun Chul**, So, Kyu Ho*,
Kim, Gun Yeob* and Jeong, Hyun Cheol*

*Dept. of Agro-Environment, National Academy of Agricultural Science,
Rural Development Administration, **Enbinus

ABSTRACT

Carbon footprint of apple was a sum of CO₂ emission in the step of manufacturing waste of agri-materials, and greenhouse gas emission during apple cultivation. Input amount of agri-materials was calculated on 2007 Income reference of Apple by Rural Development Administration. Emission factor of each agri-materials was based on domestic data and Ecoinvent data. N₂O emission factor was based on 1996 IPCC guideline. Carbon dioxide was emitted 0.64 kg CO₂ to produce 1 kg apple fruit, and carbon dioxide was emitted 43.6% in the step of the manufacturing byproduct fertilizer, 1.3% in the step of the manufacturing single fertilizer, 4.7% in the step of the manufacturing composite fertilizer, 6.3% in the step of the manufacturing agri-chemicals, 14.6% in the step of the manufacturing fuel, 11.5% in the step of the fuel combustion, 17.7% of N₂O emission by nitrogen application and 0.18% of disposal of agri-materials. It is needed for farmers to use fertilization recommendation based on soil testing (soil. rda.go.kr) because scientific fertilization is a major tools to reduce carbon dioxide of apple production. The fertilization recommendation could be also basic data in Measurable-Report-Tablele-Verifiable (MRV) system for carbon footprint.

Key words : Apple, Life Cycle Assessment, Global Warming Potential, Fertilization Recommendation

1. 서론

농작물을 생산에 필요한 3대 농자재는 종묘와 비료, 농약이다. 이들 3대 농자재의 사용량은 토양, 생물, 기상환경에 따라 다양하며, 사용량에 따라 농가 경영비가 직접적으로 영향을 받는다. 비료

와 농약, 물, 작물 그루터기, 농업부산물은 농업생태계에서 시간적, 공간적으로 다양한 물질의 순환, 생물에 대한 영향, 호소수, 바닷물, 하천수와 지하수의 수질, 토양유실, 온실가스 발생 등에 광범위하게 영향을 미치고 있다. 농작물을 기르는 과정에서

[†] Corresponding author : E-mail: ledb419@korea.kr

경운, 제초, 운반과 같은 농기계 작업과정은 물론, 농작물 생육에 필요한 물과 비료, 농약 사용은 농자재의 제조단계, 사용단계 그리고 폐기단계에서 환경에 영향을 주고 온실가스도 발생시킨다.

우리나라는 2020년 온실가스 배출전망치 대비 30%의 감축목표를 설정하고서 7대 부문 25개 업종별로 감축목표를 할당하였다. 농업부문도 2020년 배출전망치 대비 7.1%의 감축할당을 받았으며, 이를 위해 벼 물관리 기술 개선, 가축 장내발효 개선, 사양기술 개선, 바이오에너지 생산과 활용 등을 주요한 정책수단으로 제시하고 있다. 2011년도 기준으로 우리나라 농업부문 온실가스 배출량은 21,993 Gg CO₂-eq, 벼 재배 6,813 Gg CO₂-eq, 농경지 토양 5,759 Gg CO₂-eq, 잔사소각 43 Gg CO₂-eq로 나타났다(Greenhouse Gas Inventory & Research Center of Korea, 2013).

전과정 평가법은 산업 생산에 따른 다양한 환경영향을 평가하기 위해 발전되었으며, 산업 활동에 따른 지구온난화, 인체에의 영향, 산성비에의 영향, 고갈성 자원의 소비, 호소에서의 부영양화, 생태계의 생물다양성에 미치는 영향, 오존층 파괴에의 영향 등의 모든 과정을 대상으로 분석하는 방법이다(Hwang, 2003). 농업부문 전과정 평가(LCA, Life Cycle Assessment)는 농산물의 생산과정에서 투입되는 자원 소모와 환경에 부하되는 물질들의 행적과 관련된 모든 환경영향을 평가하기 위한 방법이다. 농작물 생산 활동은 농자재 생산과 폐기라는 산업적인 공정과 더불어 물, 햇볕, 토양과 같은 자연자원을 활용하는 공정이 포함되는 생산체계이므로, LCA를 농업분야에 적용할 때에는 농작물 재배과정과 함께 투입원료인 무기물질과 화석연료 등의 생산 및 농기계, 종자, 농약, 비료의 생산과 행적에 대한 모든 환경영향을 고려하여야 한다. 농산물에 대한 탄소성적 산정은 시설재배 상추 생산시스템간 전과정 평가(Ryu and Kim, 2011), 콩에 대한 탄소발생량의 전과정 평가(So *et al.*, 2010), 전과정 평가법을 이용한 고추의 탄소발생량 산정(So *et al.*, 2010), 감자 생산과정에서 탄소발생량 산정(So *et al.*, 2010), 고구마 생산과정에서 탄소발생량 평가(So *et al.*,

2010), 벼 생산 단계에서 탄소발생량과 감축요소 평가(Lee *et al.*, 2012) 등이 있다.

본 연구는 전과정평가법을 이용하여 사과 생산 단계별 온실가스 배출량을 산정하고, 저탄소 사과 생산을 위해 주요 관리요소를 제시하고자 수행되었다.

2. 재료 및 방법

전과정 평가는 생산의 전과정 동안에 투입되어 환경으로 부하되는 물질의 목록을 구성하고, 환경 전반에 미치는 영향을 평가하는 도구로서 과수 생산에 대한 전과정 평가는 국제표준화기구(ISO, International Standard Organization)에서 제정한 환경경영체제에 대한 국제표준규격인 ISO 14040에 의거하여 수행하였다.

2.1 사과생산에서 전과정 평가 범위

본 연구에서 사과의 전과정 평가의 대상범위는 봄철 가지치기 작업, 양분관리 작업, 병해충 및 잡초관리 작업, 수확작업으로 한정하였고(그림 1), 이러한 사과 생산과정 중에 투입되는 농자재 물량은 2007년 농촌진흥청 표준소득자료집을 근거로 하여 산출하였다. 또한, 비료살포, 기계제초, 농약살포와 같은 기계작업 과정 중 사용되는 화석연료량과 농경지에 투입된 다양한 질소성분에 의한 N₂O 발생량과 농자재 폐기에 따른 대기로의 배출물량도 산정하였다.

2.2 전과정 평가에서 가정과 제한사항

수집된 자료에 제시되어 있는 원료물질들은 통용되고 있는 단위를 적용하여 질량단위로 환산하였으며, 복합비료는 실증량을 바탕으로 유효성분 사용량을 산정하였다. 농약병, 비료포대 등 원부자재 포장에 대한 환경 부하는 고려하지 않았으며, 관수 시설 등 장기적으로 사용이 가능한 농자재는 기반 시설로 간주하여, 이로 인한 환경영향은 고려하지 않았다. 데이터베이스가 존재하지 않는 파라미터의 경우, 상위흐름을 연결할 수 없기 때문에 이를 ele-

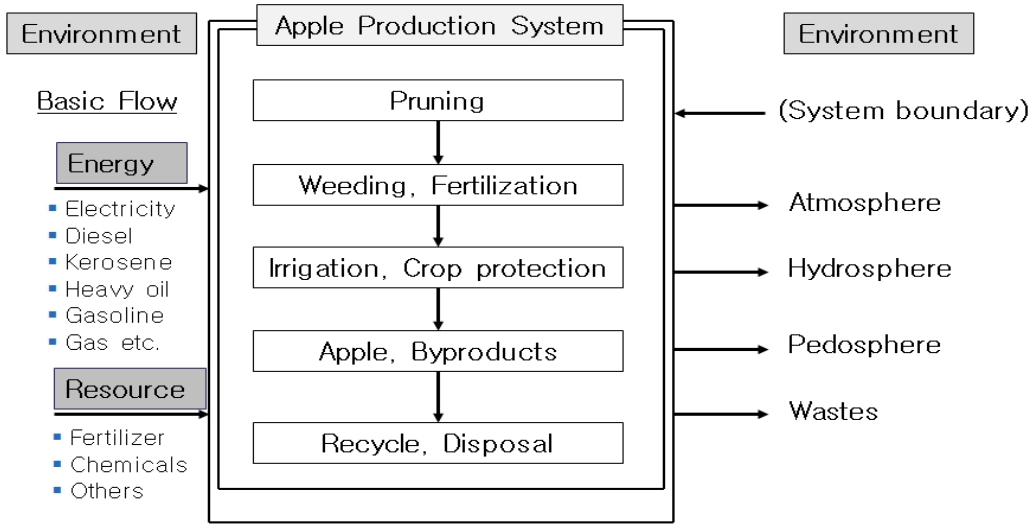


Fig. 1. Framework for life cycle assessment in apple production.

mentary flow라고 가정하여 향후 데이터베이스 구축 시 적용할 수 있도록 하였다. 마지막으로 원부자재의 운송에 대한 환경부하는 관련자료 부재 및 데이터 평균화의 어려움 등으로 배제하였다.

2.3 전과정 목록분석

본 단계에서는 사과 생산시스템에서 투입되고 배출되는 모든 물질들을 물질수지와 할당원칙을 통해 기능단위별로 정량화하였다. 목록분석 단계는 데이터를 수집하고 가공하는 단계로서, 본 연구에서 투입량과 배출량의 단위는 과일 1 kg을 기준으로 하였다. 농약투입량은 농촌진흥청의 생산비, 농약 연보와 농약사용지침서(한국작물보호협회, 2007)를 기준으로, 작물별 농약사용 가중치를 적용한 지수를 사용하여 계산하였다. 과일 생산단계에서 발생하는 비닐, 부직포 등 폐기물량은 영농폐기물 조사자료(Korea Environment Cooperation, 2007; Ministry of Agriculture and Forest, 2001)에 따라 산정하였다. 여기서 데이터 수집 및 품질 요건은 시간적 경계를 가급적 최근 5년 이내의 최신 데이터와 지역적 경계로서 국내 식량작물 생산 시스템을 기준으로 하는 국내 및 국외 데이터를 이용하였고, 현재 국내에서 상용화된 기술을 기준으로 하는 동일

시스템이나 유사 시스템에 관한 데이터를 이용하였다. 전과정 목록분석(Life Cycle Inventory Analysis)은 지식경제부 산하 한국인정원에서 개발한 소프트웨어 PASS(4.1.3)를 사용하였다. 농자재의 탄소발생계수는 윤 등(2011)이 개발한 계수와 Ecoinvent사의 데이터베이스(Thomas & Thomas, 2007)를 이용하였다.

전과정 목록분석 결과, 과일 생산단계에서 발생하는 온실가스를 바탕으로 한 탄소성적은 식 (1)의 방법으로 산정하였다.

$$\begin{aligned} & \text{사과의 탄소발생량(kg CO}_2\text{-eq kg}^{-1}) \\ & = \sum(\text{① AM(Agro-materials Manufacture), ② AC} \\ & \quad \text{(Apple Cultivation), ③ WT(Waste Treatment)}) \end{aligned} \quad (1)$$

- ① AM(Agro-materials Manufacture) : 농자재 제조단계에서 탄소발생량
- ② AC(Apple Cultivation) : 사과 재배단계에서 탄소발생량
- ③ WT(Waste Treatment) : 농자재 폐기과정에서 탄소발생량

$$\text{① 농자재 제조단계 탄소발생량(AM Manufacture)} = \sum(\text{FE, AC, FF, CB})$$

- FE(Fertilizer) : 비료제조단계에서 탄소발생량 (부산물비료, 단일비료, 복합비료)
- AC(Agrichemical) : 농약제조단계에서 탄소발생량
- FF(Fossil Fuel) : 농업용 화석연료 제조단계에서 탄소발생량
- CB(Coverage/Binding) : 피복재, 포트, 비닐 끈 등 농자재의 제조단계에서 탄소발생량
- ② Apple Production = ∑ (FF comb., CH₄ · N₂O emission)
- Fossil Fuel Combustion : 농작업중 화석연료 연소에 의한 탄소발생량
- N₂O Emission : 과수원에서 아산화질소 발생에 따른 탄소발생량
- ③ WT(Waste Treatment) = ∑(WT)

2.4 연료사용에 따른 탄소발생량 산정

화석연료 연소에 의한 직접 대기 배출물은 1996 IPCC 배출계수를 적용하여 계산하였으며, 농업용 연료의 온실가스 배출량은 표 1과 식 (2)를 이용하여 산정하였다.

온실가스 직접대기배출량(kg GHG)
 = 연료 사용량(L yr⁻¹)×저위발열량(MJ L⁻¹)
 ×단위전환계수(10E-6)×배출계수(kg GHG) TJ⁻¹)
 (2)

사과 생산단계에서 발생하는 온실가스는 UNFCCC의 교토의정서에서 규정한 6대 온실가스인 이산화탄소(CO₂), 메탄(CH₄), 아산화질소(N₂O), 수소불화탄소(HFCs), 육불화황(SF₆), 과불화탄소(PFCs)를 대상으로 발생량을 산정하였다. 여기서 IPCC 1996 가이드라인에 의거한 지구온난화 지수(GWP, Global Warming Potential)는 온실가스가 100년 동안 대기에 머물면서 지구에 미치는 온난화 효과를 상대적으로 비교한 것인데, CO₂를 1로 하였을 때 메탄(CH₄)은 21, 아산화질소(N₂O)는 310, 수소불화탄소중 HFCs-134a는 1,300, HFCs-152a는 140, HFC-23은 11,700, 육불화황(SF₆)은 23,900, 과불화탄소(PFCs)는 6,500의 값으로 환산하였다.

2.5 과수원에서 발생된 N₂O 유래 탄소발생량 산정

1996 IPCC 가이드라인 은 농업에 의한 아산화질소의 배출을 토양으로부터 직접배출, 가축사육에 의한 배출, 간접배출의 3가지 유형으로 구분하여 배출계수를 제시하고 있다. 이중 농경지에 사용된 질소에 의한 아산화질소 배출계수(Default 값)는 농경지에 사용된 질소의 1.25 %가 아산화질소로 배출된다고 하여 0.0125±0.01 kg N₂O-N Kg N⁻¹를 사용하였다. 화학비료는 사용된 질소의 10%가 대기로 휘산되며, 휘산된 질소의 1%가 아산화질소로 전환

Table 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

Intergovernmental panel on climate change. 1996. The revised 1996 IPCC guideline for national greenhouse gas inventories.

된다고 봐서, 질소가 투입된 농경지에서 아산화질소 간접배출은 0.01 kg N₂O-N Kg N⁻¹, 수계유출 질소의 간접배출은 0.025 kg N₂O-N Kg N⁻¹을 제시하고 있다. 따라서 이를 식 (5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$N_2O\text{배출량} = N \text{ kg ha}^{-1} \times N_2O/N_2 \times 310^1) \times [(RNV \times EF_1) + (NV \times EF_2) + (RNV \times N_{\text{run-off}} \times EF_3)] \quad (5)$$

RNV(Remaining Nitrogen after Volatilization) :

투입질소의 휘산 후 농지에 남은 비율

NV(Nitrogen Volatilization) : 투입질소의 휘산 비율

N_{run-off} : 농경지에서 지표수나 지하수로 유출되는 질소비율

EF₁(Emission Factor 1) : 농경지 사용 질소의 N₂O로 전환비율

EF₂(Emission Factor 2) : 휘산된 질소의 N₂O로의 전환비율

EF₃(Emission Factor 3) : 수계로 유출된 질소의 N₂O로의 전환비율

2.6 기타 농자재 사용량 및 폐기물 유래 탄소 배출량 산정

기타 농자재 사용량 계산을 위해선 통계에 제시된 항목의 단위와 상위흐름인 LCI 데이터베이스 기준물질 단위를 통일시켜야 하는데, 이를 위해 전문가 인터뷰와 시장조사를 통하여 표준 제품 및 규

격을 선정 후 각각의 무게를 직접 측정하고, 해당 제조사의 확인 절차를 거쳐 표준 무게와 단위를 확정하였다. 다음으로 폐기물량에 대한 계산은 표 2와 같이 환경자원공사에서 공개한 영농폐기물 통계자료(2007)와 농림부의 시설농업용 폐영농 자재의 농가처리실태와 효율적 관리제도 자료(2001)를 토대로 연간 농자재 사용량 및 폐기물 유래 탄소발생량을 산정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 사과 생산단계에서 탄소발생량 산정

표 3은 사과 생산과정 중 지구온난화 영향 평가를 위한 전과정 목록을 분석한 결과이다. 사과 생산과정 중 전과정 목록분석을 위한 데이터를 수집한 결과, ha당 투입량은 퇴비, 가축분뇨와 같은 부산물 비료가 17,500 kg, 요소, 유안, 용성인비, 염화칼리와 같은 단일비료가 788 kg, 복합비료가 501 kg, 제초제, 살충제, 살균제, 성장조정제, 전착제와 같은 농약이 109 kg, 연료가 4,300L, 비닐, 보온덮개와 같은 기타 농자재가 6 kg으로 나타났다. 이를 ha당 과실 평균생산량 20,630 kg을 기준으로 과실 1 kg 생산 단계에서 발생하는 이산화탄소량으로 환산하였다. 사과 1 kg 생산과정 중 발생하는 농자재 제조단계에서 발생된 이산화탄소량은 부산물 비료 제조과정에서 2.79E-01 kg CO₂-eq, 단일비료는 8.31E-03 kg CO₂-eq, 복합비료는 3.02E-02 kg CO₂-eq, 농업용 연료는 9.32E-02 kg CO₂-eq, 기타 농자재는

Table 2. Data source for calculating CO₂ emission from agro-materials

Agro-materials	Size	Weight	Lifespan(Year) ²⁾
Vinyl(HDPE/LDPE)	W(90 cm) × D(0.0012 mm)	0.01016 kg m ⁻² 3)	1
Lagging cover	W(180 cm) × L(12 m)	1.09 kg m ⁻²	3.15
Black PS Tray pot	ea	0.00101 kg	2.37
PE cover	-	0.112kg m ⁻²	3.61

1) N₂O의 Global warming potentiality (1996 IPCC Guideline)
 2) Ministry of Agriculture and Forestry(2001)
 3) Korean Environment and Resource Corporation(2007)

4.28E-04 kg CO₂-eq의 이산화탄소가 발생되어, 부산물 비료에 의한 이산화탄소 발생량이 가장 많았다.

사과 생산단계에서는 관개, 기계제초, 자재운송 등의 연료소비와 전기사용에 따라 이산화탄소가 발생된다. 사과 1 kg 생산 시 연료소비와 전기사용에 의해 발생하는 탄소량은 7.39E-02 kg CO₂-eq으로 나타났다. 또한, 사과 생산과정 중에 가축분 퇴·액비와 단일비료, 복합비료가 이용되고 있으며, 질소의 순환과정에서 온실가스인 N₂O가 발생된다. 사과 1 kg 생산과정 중 투입되는 질소량은 2.59E+02 kg으로 나타났으며, 이를 이산화탄소 발생량으로 환산하면 1.13E-01 kg CO₂-eq이었다.

사과 생산 후 비닐, 관수장비 등 농자재의 폐기 과정에서 발생하는 이산화탄소량은 1.23E-03 kg CO₂-eq으로 나타났다.

이상의 결과로 보아 사과 1 kg을 생산하는데 총 0.64 kg의 CO₂가 발생되며, 이를 농자재 제조단계, 사과 재배단계 그리고 농자재 폐기단계별로 나누어서 사과 1 kg 생산에 발생하는 전체 탄소배출량에서 차지하는 비율로 비교해 보면 다음과 같다. 먼저 농자재 제조단계를 세분해서 보면, 부산물 비료 제조단계에서는 43.6%, 단일비료 제조단계에서는

1.3 %, 복합비료 제조단계에서는 4.7%, 농약 제조 단계에서 6.3%, 연료 제조단계에서 14.6%, 기타 농자재 제조단계에서 0.07%로 나타났다. 사과가 재배되는 단계에서는 연료사용 유래 11.5%, 질소질 비료 사용으로 인한 N₂O 가스 발생 유래 17.7%로 나타났다. 또한, 농자재 폐기단계에서는 0.18%로 나타났다. 이중 비료의 제조단계에서의 이산화탄소 배출량은 전체의 49.6%였으며, 비료사용 단계에서의 이산화탄소 배출량은 전체의 17.7%로서, 비료에 의한 이산화탄소 발생량은 전체의 67.3%, 연료제조와 사용에 따른 이산화탄소 발생량이 26.1%로 나타났다. 따라서 사과생산과정에서 온실가스 발생량을 효과적으로 감축하기 위해서는 비료와 연료사용량 감축이 최우선적이며, 그중에서도 질소질 비료의 사용량 감축에 정책과 기술개발의 우선순위를 두어야 함을 알 수 있었다. 아울러 농업에너지의 효율적인 사용을 위한 농기계의 개발과 보급, 관리제도 보완 등도 필요하다는 것을 알 수 있다.

3.2 비료사용 처방서를 활용한 온실가스 감축 방안

비료사용량은 온실가스 배출량과 식량 생산성을 결정짓는 중요한 요소로서, 과학적인 근거에 따른

Table 3. CO₂ emission from the steps of apple production

CO ₂ emission step	Items	Input or output (kg, kWh ha ⁻¹)	Nitrogen (kg, ha ⁻¹)	CO ₂ emission (kg CO ₂ eq. kg ⁻¹)	CO ₂ emission rate (%)
Manufacturing agro-materials	Byproduct fertilizer	1.75E+04	1.49E+02	2.79E-01	43.6
	Single fertilizer	7.88E+02	2.13E+01	8.31E-03	1.30
	Composite fertilizer	5.01E+02	8.87E+01	3.02E-02	4.71
	Agricultural chemicals	1.09E+02	-	4.06E-02	6.34
	Fuel	4.30E+03	-	9.32E-02	14.6
	Other agro-materials	6.00E+0	-	4.28E-04	0.07
Apple cultivation	Fuel combustion	1.52E+03	-	7.39E-02	11.5
	N ₂ O emission	1.88E+04	-	1.13E-01	17.7
Disposal of agro-materials	Vinyl, PVC <i>et al.</i>	1.90E+02	-	1.23E-03	0.18
CO ₂ emission (kg CO ₂ -eq. kg ⁻¹)		2.06E+04	-	6.40E-01	100

비료사용량을 설정하는 것이 필요하다. 농촌진흥청 국립농업과학원은 작물별 시비 처방기준을 4판에 걸쳐 개정 발간하였으며, 2006년부터 한국토양정보 시스템인 흙토람에 비료사용처방 프로그램을 추가하여 온라인상에서 실시간으로 작물별 비료사용량 정보를 제공하고 있다. 농촌진흥청은 전국 도 농업기술원, 농업기술센터와 공동으로 농경지에 대한 토양검정을 추진하고 있으며, 흙토람 웹사이트(soil.rda.go.kr)를 통해 비료사용 처방서를 제공해 주고 있다. 이를 위해서 먼저 농업인들은 해당 농경지 토양을 채취하여 토양분석을 의뢰하고, 농업기술센터는 토양분석 결과를 바탕으로 농작물 재배에 필요한 비료사용 처방서를 발급해 주고 있다. 표 4와 같이 비료사용 처방서에서 농가의 지번별로 토양유형과 토성, 배수 등급정보는 물론 pH, 마그네슘, 전기전도도, 유기물, 유효인산, 칼륨, 칼슘 함량을 바탕으로 질소, 인산, 칼리질비료, 퇴비와 석회의 사용 추천량을 알려주고 있다. 2012년 12월 현재 비료사용 처방이 가능한 작물은 총 112종이며, 이중 곡물은 7종, 유지류는 3종, 서류는 2종, 과채류는 12종, 근채류는 5종, 인경채류는 2종, 경엽채류는 22종, 산채류는 10종, 과수는 14종, 약용작물 25종, 화훼류 5종, 기타 5종이다 (Lee *et al.*, 2013).

기후변화시대에 농업이 경쟁력을 강화하기 위해서는 온실가스 감축기술, 농업에 대한 영향 평가와 대책, 농산물 수급 안정이 필요하며, 이의 실천수단으로서 적합한 품종과 재배법 개발, 수급 안정, 농경지 확보 등이 필요하다 (Lee and Shim, 2012). 이의 실행방안으로서 농림축산식품부에서는 2012년

부터 2014년까지 저탄소농축산물인증제를 시범적으로 운영하고 있으며, 2015년부터 본격적인 시행을 계획하고 있다. 저탄소농축산물인증 운영규정(Ministry of Agriculture Food and Rural Affairs, 2014)에서 저탄소 농축산물이란 저탄소 농업기술 등을 통하여 농작물 생산 전과정에서 발생하는 온실가스의 배출량이 해당 품목의 평균 온실가스 배출량보다 적은 농축산물을 말한다. 또한, 저탄소 농업기술이란 농업부문 온실가스 배출 저감과 에너지 이용 효율화에 기여하는 영농방법 및 관련 기술을 말한다. 농축산물 생산 전과정 평가에 따른 탄소 성적이란 농산물 생산과정에서 발생된 총 탄소량을 농산물 생산량으로 나눈 것을 말한다. 따라서 저탄소 사과를 생산하기 위해서는 농자재의 투입대비 사과의 생산성을 향상시켜야 한다. 비료사용량은 사과 과실 생산성과 온실가스 발생량에 직접적으로 영향을 미치므로 흙토람(soil.rda.go.kr)의 비료사용 처방서를 활용한 양분관리가 저탄소 사과 생산에서 매우 중요하다. 본 연구에서도 사과생산과정 중 비료제조와 비료사용에 따른 탄소발생량이 67.3%를 차지하고 있으므로, 사과생산에서 비료사용량 관리가 저탄소 농업의 핵심요소임을 알 수 있다.

4. 결론 및 토의

농림축산식품부는 2012년부터 2014년까지 저탄소 농축산물 인증제의 시범적으로 운영하고 있으며, 2015년부터 본격적으로 시행할 예정이다. 또한, 우리나라는 2015년부터 탄소배출권 거래제도 시행할 예정이다. 저탄소 농축산물 인증제나 탄소배출

Table 4. Fertilizer recommendation based on soil testing for apple cultivation

Items	Contents
Apple farm land	Address and area of land Kinds and age of crop Texture, category, drainage, characteristics of soil
Soil testing and nutrients criteria	Nutrient content of each farmland Nutrients managing criteria
Fertilizer recommendation	Recommended fertilization of nitrogen, phosphate, potassium, compost and lime for each farm address

권 거래제는 온실가스 배출량의 산정-보고-검증의 체계수립이 선결되어야 한다. 농산물 생산과정 중 온실가스 발생량은 농자재의 제조단계, 사용단계 그리고 폐기단계에 따라 산정될 수 있으며, 사과 생산에 있어서 온실가스 배출량이 가장 많은 요소는 부산물 비료의 제조과정(43.6%)이었고, 두 번째는 비료유래 N₂O발생단계(17.7%)였으며, 세 번째는 농업용 연료제조단계(14.6%), 네 번째는 농업용 연료사용단계(11.5%)였으며, 다섯 번째는 복합비료 제조단계(4.7%)였다. 또한, 전체적으로 볼 때 비료 제조와 사용에 의해 67.3%, 농업에너지 제조와 사용에 의해 27.3%의 온실가스가 배출되어, 비료와 연료의 이용 효율성 향상이 시급한 기술과제로 대두되었다.

농산물의 탄소성적은 농산물 생산단위별 온실가스 배출량으로 산정하기 때문에 탄소발생량이 낮은 농자재의 선택과 그 사용량을 줄이는 것과 병행해서 단위면적당 농산물의 생산성을 증대시키면 저탄소 농산물을 생산할 수 있게 된다. 비료종류에 따라 제조단계에서 탄소발생량이 다르다. 가령 벼 밀 거름용 맞춤 16호 비료는 단일비료 대비 제조단계에서 탄소발생량이 12.1% 적어(Jung *et al.*, 2012), 이를 사용하면 온실가스 배출량을 줄일 수 있다. 또한, 동일한 양의 질소 투입조건에서 화학비료 단용이 화학비료와 돈분 퇴비 병용보다 아산화질소 배출량이 적었고, 부산물 비료인 퇴비의 종류별 아산화질소 배출량도 우분 퇴비가 가장 적고, 다음으로 계분 퇴비 돈분 퇴비 순이었다(Kim *et al.*, 2011). 따라서 저탄소 비료를 골라 사용하는 것이 필요하다고 하겠다.

농업부문에 저탄소 농축산물 인증제 시행에 있어서 온실가스 배출량의 측정-보고-검증 단계에서 비료사용 처방서는 경영체 단위에서 비료사용기준량 자료로서 활용될 수 있다. 비료사용 처방서에 의한 비료사용 기준량과 경영체 단위 비료사용량을 비교하면 되기 때문이다. 농업연료 사용에 있어서도 단위 시설당 권장량 기준을 설정하여 실제사용량과 비교하는 방안이 필요하다.

사사

본 연구는 농촌진흥청 공동연구사업(과제번호: PJ0072622012) 및 국립농업과학원 농업과학기술 연구개발사업(과제번호: PJ0078742012)의 지원에 의해 수행되었습니다.

References

- Blengin GA, Busto M. 2009. The life cycle of rice: LCA of alternative agri-food chain management systems in Vercelli(Italy). *J Env Management* 90: 1512-1522.
- Greenhouse Gas Inventory & Research Center of Korea. 2014. Report on Greenhouse Gas Inventory of 2013, pp 185-213.
- <http://soil.rda.go.kr/soil/sibi/sibiPrescript.jsp>
- Hwang Seon Jin. 2003. Practical introduction of LCA (Translated), Sigmappress, pp 50-51, (In Korean).
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 1996. The Revised 1996 IPCC Guideline for National Greenhouse Gas Inventories.
- ISO (International Organization for Standardization), ISO 14040: 2006 (E) Environmental management - Life cycle assessment - Principles and Framework.
- Jung SC, Lee DB, Jeong JW, Huh J. 2012. Carbon emission of customizes fertilizer (No. 16) and comparison with single fertilizer. *Journal of the Korean Society for Life Cycle Assessment* 13:109-119. (In Korean with English abstract).
- Kim GY, So GH, Jeong HC, Lee SB, Shim GM. 2011. Upland crop cultivation practice for mitigation GHGs. National Academy of Agricultural Science. Rural Development Administration, 27-29 pp. (In Korean with English abstract).
- Korea Crop Protection Association. 2007. Usage guideline for agro-chemicals. (In Korean).
- Korea Crop Protection Association. 2007. Annual report on agro-chemicals. (In Korean).

- Korea Environment Cooperation. 2007. Survey on wastes from agricultural materials. (In Korean).
- Lee DB, Shim GM. 2012. How to strength competence of agriculture to confront climate change. 25 Experts give solution to confront climate change (Book), Geobook, 494-495 pp, (In Korean).
- Lee DB, Jung SC, So KH, Jeong JW, Jeong HC, Kim GY, Shim GM. 2012. Evaluation of mitigation technologies and footprint of carbon in unhulled rice production. *Climate Change Research* 3:129-142.
- Lee YJ, Kang SS, Lee DB. 2013. Fertilizer recommendation program of Heuk-To-Ram(Book). National Academy of Agricultural Science, Rural Development Administration. (In Korean).
- Ministry of Agriculture and Forest. 2001. Survey on wastes of agri-materials in protected agriculture and effective management system. (In Korean with English abstract).
- Ministry of Agriculture. Food and Rural Affairs. 2014. Regulation for certification of low carbon agro-products. 2014-18, Announcement of Ministry of Agriculture. Food and Rural Affairs No. 2014-18. (In Korean).
- Rural Development Administration. 2008. Income reference of agro-products in 2007(book). 70, Apple. (In Korean).
- Ryu JH, Kim KH. 2010. Application of LCA methodology on lettuce cropping systems in protected cultivation. *J Kor Soc Soil and Fertilizer* 43: 583-593.
- So KH, Lee GZ, Kim GY, Jeong HC, Ryu JH, Park JA, Lee DB. 2010. Estimation of carbon emission and LCA (Life Cycle Assessment) from soybean (*Glycine max* L.) Production System. *J Kor Soc Soil and Fertilizer* 43:898-903.
- So KH, Park JA, Huh J, Shim KM, Ryu JH, Kim GY, Jeong HC, Lee DB. 2010. Estimation of carbon emission and LCA (Life Cycle Assessment) from pepper (*Capsicum annuum* L.) production system. *J Kor Soc Soil and Fertilizer* 43: 904-910.
- So KH, Lee GZ, Kim GY, Jeong HC, Ryu JH, Park JA, Lee DB. 2010. Estimation of carbon emission and LCA (Life Cycle Assessment) from sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) Production system. *J Kor Soc Soil and Fertilizer* 43:892-897.
- So KH, Ryu JH, Shim KM, Lee GZ, Roh KA, Lee DB, Park JA. 2010. Estimation of carbon emission and application of LCA (life cycle assessment) from potato (*Solanum tuberosum* L.) production system. *J Kor Soc Soil and Fertilizer* 43: 606-611.
- Thomas Nemecek and Kâgi Thomas. 2007. Life cycle inventories of agricultural production systems data v2.0. Ecoinvent report No. 15.
- Yoon SY, Jo JE, Kim TH, Kim KH, Shon BH. 2011. LCI D/B and calculation of carbon footprint of agro-materials for organic farming. Mid-term Report of research supported Rural Development Administration. (In Korean with English abstract).