

국내 낙농우(젖소)로부터의 우유생산에 대한 전과정평가 Life Cycle Assessment of the Domestic Dairy Cow System

박유성 · 이건모[†] · 양승학*

Yoo Sung Park · Kun Mo Lee[†] · Seung Hak Yang*

아주대학교 환경공학과 · *농촌진흥청 국립축산과학원

Environmental Engineering Department, Ajou University

*National Institute of Animal Science, R. D. A.

(Received October 20, 2014; Revised December 12, 2014; Accepted January 21, 2015)

Abstract : Recently the dairy cow industry have faced environmental issues such as eutrophication, global warming, etc. An LCA was used to quantify the environmental impact of a dairy cow system and to identify key issues contributing to the impact. The system boundary crop cultivation for feeding dairy cow, feed production, rearing and manure management (cradle-to-gate). The functional unit was 1 kg of milk (fat protein corrected milk, FPCM) produced. Rearing and cultivation of feed crops stages in system boundary to the environmental impact of the domestic dairy cow system were dominant issues. Techniques such as suppression of enteric fermentation, improvement of the energy efficiency of farm equipment and apparatuses, management of leachate generated during the crop cultivation, and development of controlling the loss of fertilizer during crop production would be necessary for the improvement of the environmental key issues of the dairy cow system.

Key Words : Life cycle assessment (LCA), Dairy cow, Feed, Milk, Functional unit, Environmental impact

요약 : 최근 낙농업은 지구온난화 등 환경에 미치는 영향 문제에 직면하고 있다. 특히 젖소로부터 발생하는 장내발효 메탄가스와 젖소를 사육하는데 필요한 사료작물의 재배에 의한 여러 환경영향이 이슈가 되고 있다. 유럽에서는 Product Environmental Footprint (PEF)라는 통합적 라벨링제도를 통해 공산품뿐만 아니라 낙농제품 등과 같은 각종 농업생산물에 대한 환경영향 산정 방법론을 연구하고 있는 실정이다. 이 연구에서는 전과정평가(Life cycle assessment, LCA)를 이용하여 국내 낙농우(젖소)의 전과정에 대해 전과정 단계별로 환경영향을 산정하고 주요이슈를 규명하였다. 시스템 경계는 젖소를 위한 사료작물 재배, 사료 가공, 전소 관리와 가축분뇨처리(cradle-to-gate)이다. 기능단위는 1 kg의 우유(Fat Protein Corrected Milk, FPCM(유지 및 단백질 보정유)) 생산이다. 국내 낙농우(젖소) 시스템의 환경영향은 사육단계, 사료작물 재배단계가 분뇨처리단계 및 사료생산 단계보다 더 많은 환경영향범주에서 주요 전과정 단계로 규명되었다. 이에 농장 내 우유 생산과정 환경영향을 저감하기 위해서는 사육 시 장내발효 메탄가스 발생 억제기술 개발, 농장 기기·장비의 에너지효율 개선, 작물 재배 시 발생하는 침출수 관리 및 사료작물 재배 시 비료의 유실방지 기술 개발 등이 주요 환경이슈를 개선하기 위한 방안으로 판단된다.

주제어 : 전과정평가, 젖소, 사료원, 우유, 기능단위, 환경영향

1. 서론

기후변화에 대응하기 위하여 온실가스 배출 저감대책 연구가 범세계적으로 수행되고 있다. 축산부문에서도 젖소와 같은 반추동물에 의하여 발생하는 온실가스 배출량을 줄이기 위해 연구가 활발히 진행되고 있다.¹⁾ 그러나 온실가스 배출을 제외한 다른 환경영향범주(예: 산성화, 부영양화 등)에 대한 연구는 미비하다. 이러한 이유로 국내 농장 내 우유 생산과정에 걸쳐 여러 환경영향범주를 대상으로 환경영향을 정량적으로 평가하는 것을 연구 목적으로 설정하였다(Cf. 국내 낙농업의 우유생산용 젖소는 홀스타인종 젖소 단일품종으로서 젖소로 칭함)

농장 내 우유 생산과정에는 사료작물 재배부터 사료작물 가공, 사육, 착유, 분뇨처리 등의 모든 과정이 포함된다. 그러나 국내 축산부문의 제반 공정 및 작물에 관한 LCI (Life Cycle Inventory) DB (Database)가 부족하여 LCA 수행에 많은 어려움이 있다. 이를 극복하기 위하여 부족분에 대해

서는 국외 LCI DB를 활용하였다.

이 연구의 목적은 우유를 생산하는 낙농우(젖소)에 대한 LCA를 수행하여 여러 환경영향범주의 특성화 결과값 및 가중치부여 영향값을 산출하는 것이다. 또한, 낙농우 시스템에서 환경영향에 크게 기여하는 전과정단계 및 주요 발생원을 규명하고, 대응방안을 도출하는 것이다.

2. 방법론

2.1. 범위(시스템) 정의

2.1.1. 시스템 개요

연구대상 낙농우(젖소) 농장은 국내 젖소농장에 대한 2010년 국가 및 서울우유 협동조합의 통계자료를 바탕으로 설정한 가상의 농장이다. 이는 LCA 분석 결과의 범용성을 기하기 위함이다.^{5,6)} 단, 통계자료에 없는 일부 항목은 경기도 및 강원도에 위치한 실제 농장의 데이터를 적용하였다. 이 가상

[†] Corresponding author E-mail: kunlee@ajou.ac.kr Tel: 031-219-2405 Fax: 031-215-5145

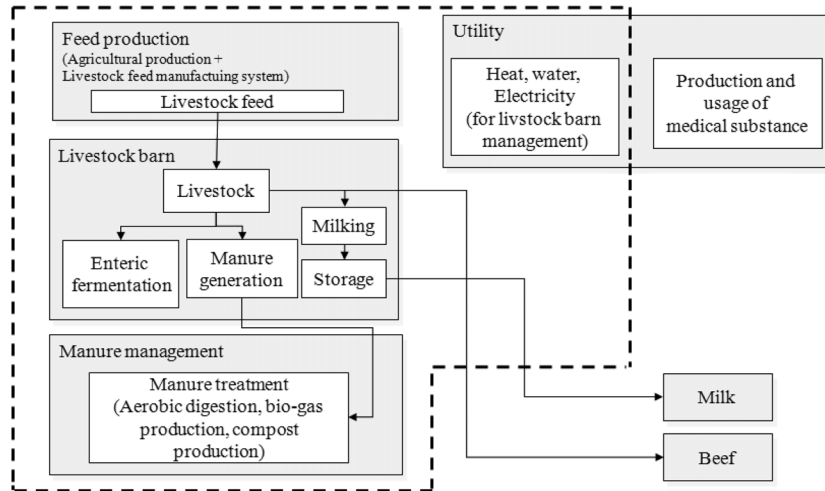


Fig. 1. System boundary of the dairy cow system.

의 농장의 사육두수는 송아지, 비육우 포함 68두이고, 축사 형태는 톱밥깔짚이며, 분뇨처리 시스템은 스크류식 퇴비화 공정이다. 시스템 경계를 Fig. 1에 나타내었다.

낙농우 시스템은 사료작물 재배, 사료작물 가공, 사육, 분뇨처리의 4가지 하위 시스템(sub-system)으로 구성된다. 각 하위 시스템에 포함되는 주요 활동 및 세부 공정에 대한 정보를 Table 1에 기술하였다. Table 2에는 연구 대상 농장의 일반적 정보를 기술하였다. 연구 대상 농장에서 사용하는 젓소 중 아직 우유를 생산하지 못하는 송아지, 비육암소 및 출산 전 암소가 포함되어있다. 이는 우유생산을 위해서는 암소의 임신이 꼭 필요한 과정이고 이로 인하여 송아지가 꾸준히 생산되고 있다. 이 송아지의 일부를 농장에서 사육하고 사육한 송아지는 향후 우유 생산 능력이 저하된 젓소와 대체하는 세대교체에 사용되기 때문에 이번 연구에 포함시켜 환경영향을 산정하였다.

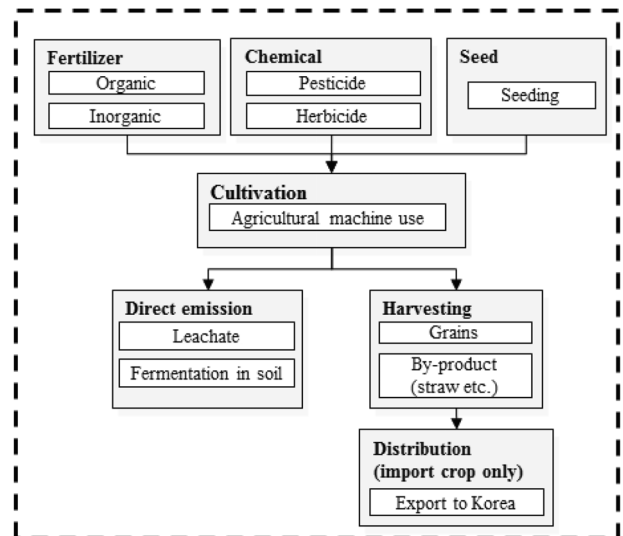


Fig. 2. System boundary of the cultivation of feed crops.

Table 1. Sub-systems and their processes and activities

Sub-system	Process included
Cultivation of feed crops	Seeding, crop-dusting, machine use, harvesting, transportation of feed crop to feedstuff factory
Production of feedstuff	Feed crops processing including mixing, flaking, etc., transportation of feedstuff to the dairy farm
Livestock rearing	Feeding process, milking and milk storage, maintenance of the shed, and enteric fermentation
Manure management	Transportation of manure to manure management system, treatment processes, and manure decomposition

Table 2. General information of the target dairy cow farm

Category	Contents
Livestock number	68 head
Livestock number in each growth phase	Calf: 5, growing heifer: 15, heifer: 10, lactating cow: 32, dry cow: 6
Type of the cattle shed	Litter
Manure management system	Fermentation system with screw type
Milk production	288,000 kg/year

2.1.1.1. 사료작물 재배

사료작물 재배는 젓소가 섭취할 사료의 원재료인 곡물 및 기타 부산물을 생산하는 시스템이다. 현재 국내에서 이용하는 대부분의 사료작물은 미국, 브라질, 아르헨티나, 우크라이나 등지에서 수입하여 이용하며 일부 사료작물만 국내에서 생산되는 것을 이용한다. 사료작물 재배 투입물에는 종자와 농업용수, 살충제, 제초제, 비료, 농기계 사용에 따른 에너지, 수입 사료작물의 운송에 소요된 에너지가 있다. 대상 사료작물은 옥수수, 밀, 콩(이상 수입산), 유채, 귀리, 보리, 호밀짚, 벧짚(이상 국내산)이다. 수입작물의 투입물, 배출물 데이터는 해외 LCI DB를 이용하였다.⁷⁾ 국내산작물은 표준영농교본으로부터 데이터를 수집하여 투입물, 배출물 데이터를 확보하였다.⁸⁻¹³⁾ Fig. 2에 사료작물 재배 시스템의 시스템 경계를 나타내었다.

2.1.1.2. 사료작물 가공

사료의 주요 원료는 사료작물이며 전체 사료 생산 공정

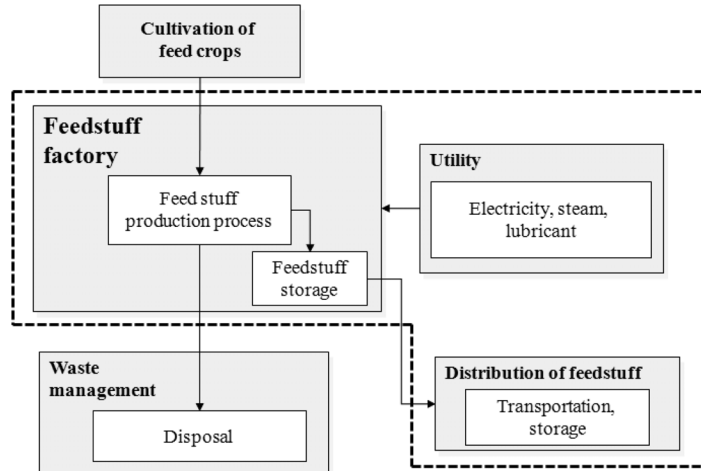


Fig. 3. System boundary of the production of feedstuff.

상 비타민과 미네랄과 같은 미량첨가물이 추가되나 미량첨가물의 경우 그 양이 미비하여 시스템 경계에서 제외하였다. 사료 생산공정은 원료와 제품 간 수율이 99.99%로써 폐기물이 거의 발생하지 않아 사료 생산공정 폐기물 처리는 시스템경계에 포함시키지 않았다. Fig. 3에 사료 생산공정의 시스템경계를 나타내었다. 수입 사료원의 운송에 관한 데이터는 이번 연구에 이용하는 LCI DB에 관련 데이터가 포함되어 있어 별도의 데이터 수집과정을 거치지 않았다.

2.1.1.3. 사육

젖소 사육시스템은 사료급여, 착유공정 등을 포함한다. 또한 젖소를 사육할 때 장내발효 유래 온실가스의 경우 사육단계의 배출물로 간주하였다. 사육 시스템의 시스템 경계를 Fig. 4에 나타내었다.

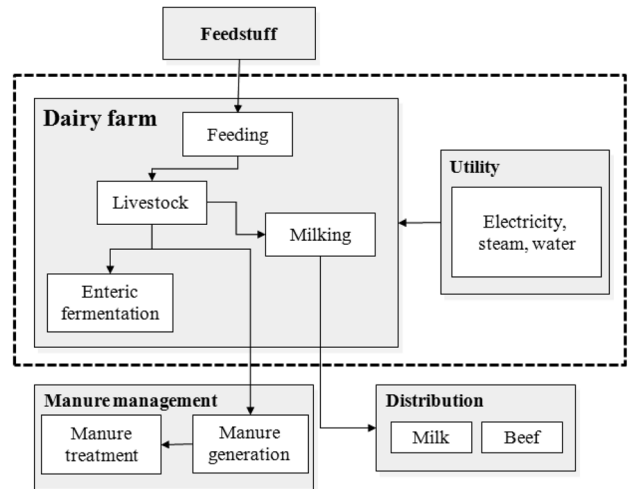


Fig. 4. System boundary of the livestock rearing.

2.1.1.4. 젖소 분뇨처리

분뇨처리 시스템은 국내에서 널리 사용되는 스크류식 퇴비화 공정으로 호기성 소화를 통해 가축분뇨를 유기질비료로 전환시키는 공정이다.¹⁴⁾ Fig. 5에 분뇨처리 시스템의 시스템 경계를 표시하였다.

2.1.2. 기능단위

젖소의 주요 기능은 우유 생산이다. 이에 기능단위는 우유 1 kg (Fat Protein corrected Milk, FPCM)으로 설정하였다. 기능단위를 이와 같이 설정한 이유는 같은 기능(품질)을 갖는 우유간의 환경영향의 비교를 위해 우유의 품질을 고려

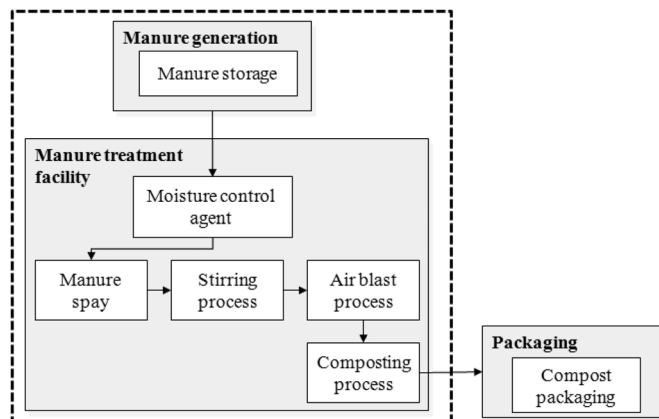


Fig. 5. System boundary of the manure treatment system.

한 단위인 1 kg의 FPCM가 타당할 것으로 판단했기 때문이다. 기존에 유럽 및 일본에서 연구된 우유 생산에 대한 전과정평가의 경우 기능단위를 생산되는 우유의 양으로 설정하여 전과정평가 결과를 도출하고 있다.¹⁵⁻¹⁸⁾

2.2. 전과정 목록분석

각 공정의 투입물과 배출물 데이터는 현장 조사 및 문헌 연구와 Ecoinvent(국외 LCI DB) 및 국가 LCI DB 정보망에 구축된 LCI DB를 이용하여 수집하였다.¹⁹⁾ 이 연구에서 고려한 모든 투입물/산출물은 Table 3과 같으며 아래에 각 투입물/산출물 산정 과정을 제시하였다.

2.2.1. 사료작물 재배

국내에서 생산된 사료작물에 대한 투입물/산출물 데이터는 농촌진흥청에서 발간한 표준영농교본을 바탕으로 수집되었다.⁸⁻¹³⁾ 해외에서 수입한 사료작물의 경우는 해외에 구축된 사료작물에 관한 LCI DB를 이용하였다. 대표적으로 Ecoinvent (data ver. 2.1, 2009)의 자료를 통해 해외 사료작물에 대한 정보 및 제조제, 살충제, 비료와 같은 농업용품에 관한 투입물/산출물 정보를 수집하였다.⁸⁾ 또한 대상 농장의 젓소 사료 섭취량과 사료원별 배합비 정보를 통해 사료원별 사용량을 산정하였다.

Table 3. Input and output of the product system (/functional unit)

Life cycle stage	Input	Value	Output	Value
Feedstuff intake	Limestone (kg)	1,33E-02		
	Molasses (kg)	3,35E-02		
	Rapeseed (kg)	5,35E-02		
	Soybean mill (kg)	1,82E-02		
	Soybean (kg)	6,33E-02		
	Oat (kg)	1,62E-01		
	Wheat (kg)	2,97E-02		
	Barley (kg)	9,53E-02		
	Maize (kg)	1,29E-01		
	Maize silage (kg)	7,05E-02		
Feedstuff manufacturing	Straw (kg)	1,97E-01		
	Rye straw (kg)	3,45E-01		
	Electricity (kWh)	1,56E-02		
	Natural gas heat (m ³)	1,39E-04		
Livestock barn (operation and enteric fermentation)	Lubricant oil (kg)	4,23E-06		
	Electricity (kWh)	4,19E-01	Methane emission (kg)	2,60E-02
Manure management			Methane emission (kg)	4,62E-03
			Nitrous oxide emission (kg)	1,99E-04
			Ammonia (kg)	1,00E-03

Table 4와 5에 성장 단계별 젓소의 농후배합사료 섭취량, 농후배합사료의 사료원 별 구성비를 기재하였다.^{5,6,20)} Table 6에는 Table 4와 5에 기재된 성장 단계 별 젓소 농후배합사료 사용량과 농후배합사료의 구성비를 통해 계산한 사료원별 사용량을 기재하였다. Table 7에는 조사별 사용량을 기재하였다.^{6,20)}

Table 4. Intake of the mixed concentrated feed per growth phase of a cow

Category	Total intake (kg/year)
Calf	18,300
Growing heifer	27,150
Heifer	15,700
Lactating cow	105,600
Dry cow	5,280
Total	172,030

Table 5. Composition of the mixed concentrated feed (%)

Category	Calf	Growing heifer	Heifer	Lactating cow	Dry cow
Limestone	2,0	2,0	2,0	2,4	1,9
Molasses	5,0	5,0	5,0	6,0	5,0
Rapeseed mill	5,0	7,5	8,8	10,0	10,0
Soybean mill	5,0	2,9	1,9	3,0	0,9
Soybean	8,4	4,2	2,1	14,4	0,0
Oat	21,3	29,4	33,4	26,1	37,4
Wheat	0,0	0,0	0,0	8,1	0,0
Barley	38,3	41,5	43,0	0,0	44,8
Maize	15,0	7,5	3,8	30,0	0,0

Table 6. Intake of the concentrated feed (kg/year)

Category	Calf	Growing heifer	Heifer	Lactating cow	Dry cow	Total
Limestone	366,0	543,0	314,0	2,534,4	100,3	366,0
Molasses	915,0	1,357,5	785,0	6,336,0	264,0	915,0
Rapeseed mill	915,0	2,036,3	1,381,6	10,560,0	528,0	915,0
Soybean mill	915,0	787,4	298,3	3,168,0	47,5	915,0
Soybean	1,537,2	1,140,3	329,7	15,206,4	0,0	1,537,2
Oat	3,897,9	7,982,1	5,243,8	27,561,6	1,974,7	3,897,9
Wheat	0,0	0,0	0,0	8,553,6	0,0	0,0
Barley	7,008,9	11,267,3	6,751,0	0,0	2,365,4	7,008,9
Maize	2,745,0	2,036,3	596,6	31,680,0	0,0	2,745,0

Table 7. Intake of the roughage feed (kg/year)

Category	Calf	Growing heifer	Heifer	Lactating cow	Dry cow	Total
Maize silage	0	7,782,6	4,500,5	6,457,7	1,513,5	20,254,3
Straw	0	21,867,6	12,645,3	18,144,8	4,252,7	56,910,4
Rye straw	0	38,224,8	22,104,2	31,717,4	7,433,8	99,480,2

Table 8. Input and output for the mixed concentrated feed manufacturing in the feed factory

Input			Output
Electricity (kWh/year)	Natural gas heat (m ³ /year)	Lubricant oil (kg/year)	Feed production (kg/year)
12,000,000	107,099	3,260	460,000,000

2.2.2. 사료작물 가공

사료작물 가공 시스템의 투입물/산출물은 국내 사료 생산 업체 A를 통해 사료공장에 대한 현장데이터를 수집하였으며 Table 8에 그 결과를 제시하였다. 단, 업체 A는 회사 이름 공개를 원하지 않아 구체적인 정보는 기재하지 않았다.

2.2.3. 사육

서울우유 협동조합에서 제공한 통계자료를 통하여 축사에서 일어나는 사육 단계의 투입물/산출물 데이터를 수집하였다.⁵⁾ 장내발효에 의한 메탄 발생량은 IPCC 가이드라인에서 제공한 방법에 따라 계산하였다.²¹⁾ 축사에서 사용하는 에너지는 전력 120,643.6 kWh/year, 디젤 3,389.5 L/year 이었다. 이들 에너지는 축사의 냉·난방 기기, 우유 저장 시설과 분뇨처리 시설에서 사용되는 에너지로써 에너지 사용량이 기기별로 측정되지 않아 환경영향 산정 시 사육단계에 총량으로 적용하였다. Table 9에 낙농우의 성장단계별 장내발효 메탄 배출계수를 제시하였다.²²⁾ 이 연구에서는 60-79마리 농장에 해당하는 메탄 배출계수를 사용하였다. 식 (1)에 따라 계산할 경우 연구 대상 농장에서 일년 동안 장내발효를 통해 배출하는 메탄(CH₄)은 총 7,500.2 kg이다. Table 10에는 젖소 성장단계별 장내발효로부터 발생하는 메탄발생량을 나타내었다.

Table 9. Methane emission factor (unit: kg CH₄/head/year)

Category	<40	40-59	60-79	≥80	Avg.
Calf	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Growing heifer	62.4	61.3	59.8	59.2	60.2
Heifer	114.1	111.8	107.3	107.3	108.9
Lactating cow	151.2	158.6	159.6	163.4	160.6
Dry cattle	73.8	72.8	70.5	70.5	71.3

Table 10. Methane emission from enteric fermentation

Category	Number of head	Emission factor (kg CH ₄ /head/year)	Methane emission from enteric fermentation (kg CH ₄)
Calf	5	0	0
Growing heifer	15	59.8	897
Heifer	10	107.3	1073
Lactating cow	32	159.6	5,107.2
Dry cattle	6	70.5	423
Total	68	-	7,500.2

장내발효 메탄 발생량은 식 (1)과 같이 산정된다.

$$EE_{CH_4} = \sum N_{gp} \times EF_{gp \cdot CH_4} \quad (1)$$

EE_{CH_4} = Methane emission of dairy cow from enteric fermentation

N_{gp} = Number of head of each growth phase

$EF_{gp \cdot CH_4}$ = Methane emission factor of each growth phase

2.2.4. 분뇨 처리

분뇨처리 시스템의 투입물/산출물은 정부 발간 자료를 통해 수집하였다.¹⁴⁾ 분뇨처리에 의한 메탄 및 이산화질소 배출량은 국가 온실가스 인벤토리 보고서²¹⁾와 Back 등²³⁾이 제시한 방법을 이용하여 산정하였다.

젖소의 휘발성 고형물(volatile solids, VS)과 질소 배출량은 각각 1,022 kg/head/year과 84.15 kg/head/year이다. 메탄 변환계수(Methane Conversion Factor, MCF_(s,k))와 아산화질소 변환계수는 각각 22%와 0.01 kg N₂O/kg N excreted (cattle and swine deep bedding (cont.) (> 1 month, No mixing))을 이용하였다. 연구 대상 농장에서 일년 동안 분뇨처리로 인한 메탄과 이산화질소 배출량은 각각 1,331.7 kg과 57.2 kg으로 계산되었다.

2.3. 전과정 영향평가

전과정 영향평가의 첫 단계인 분류화는 예상되는 환경영향의 유형을 토대로 목록분석 결과로 도출된 투입물, 산출물들을 해당 영향범주로 분류하는 과정이다. 분류화를 통해 각 환경영향범주 별로 데이터를 정리한 후 특성화를 수행하여 각 환경영향범주 별 잠재적 환경영향을 산정하였다.²⁴⁾ 환경영향범주는 Guinee 등²⁾이 제시한 환경영향범주 중 생태독성과 인간독성을 제외한 6가지(지구온난화, 산성화, 오존층 고갈, 무생물 자원 고갈, 광화학적 산화물 생성, 부영양화)를 평가 대상으로 선정하였다.

3. 결과 및 토의

3.1. 특성화

Table 11에 낙농시스템의 특성화 결과값을, Fig. 6에 네 가지 하위 시스템이 각 환경영향범주에 기여하는 정도를 각각 나타내었다. Fig. 6에 의하면 사료작물 재배 단계는 6가지 환경영향범주 중 무생물자원고갈, 산성화, 부영양화 및 오존층파괴의 네 가지 환경영향범주에서, 사육단계는 무생물자원고갈, 지구온난화 영향과 광화학스모그 영향의 세 가지 영향범주에서 높은 기여도를 나타내었다. 주요 환경영향 발생원은 사료작물 재배단계의 비료사용과 사육단계의 장내발효로 인한 메탄가스이다.

사료작물 재배단계의 경우 산성화와 부영양화 영향범주의 특성화 값이 높은 이유는 작물 재배에 사용되는 인, 질

Table 11. Characterization result per functional unit for life cycle of milk production in dairy farm

Impact category	Abiotic resource depletion (kg Sb-eq)	Acidification (kg SO ₂ -eq)	Eutrophication (kg PO ₄ ³⁻ -eq)	Global warming (kg CO ₂ -eq)	Ozone layer depletion (ODP) (kg CFC-eq)	Photochemical oxidation (kg C ₂ H ₄ -eq)
Cultivation of feed crops	1,06E-03	2,99E-03	3,75E-03	3,82E-01	3,63E-08	4,50E-05
Production of feedstuff	4,34E-05	1,82E-05	3,58E-06	7,10E-03	3,74E-10	8,32E-07
Rearing	1,33E-03	5,80E-04	1,04E-04	8,17E-01	8,73E-09	1,85E-04
Manure management	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,65E-01	0,00E+00	2,77E-05
Total	2,43E-03	3,59E-03	3,86E-03	1,37E+00	4,54E-08	2,59E-04

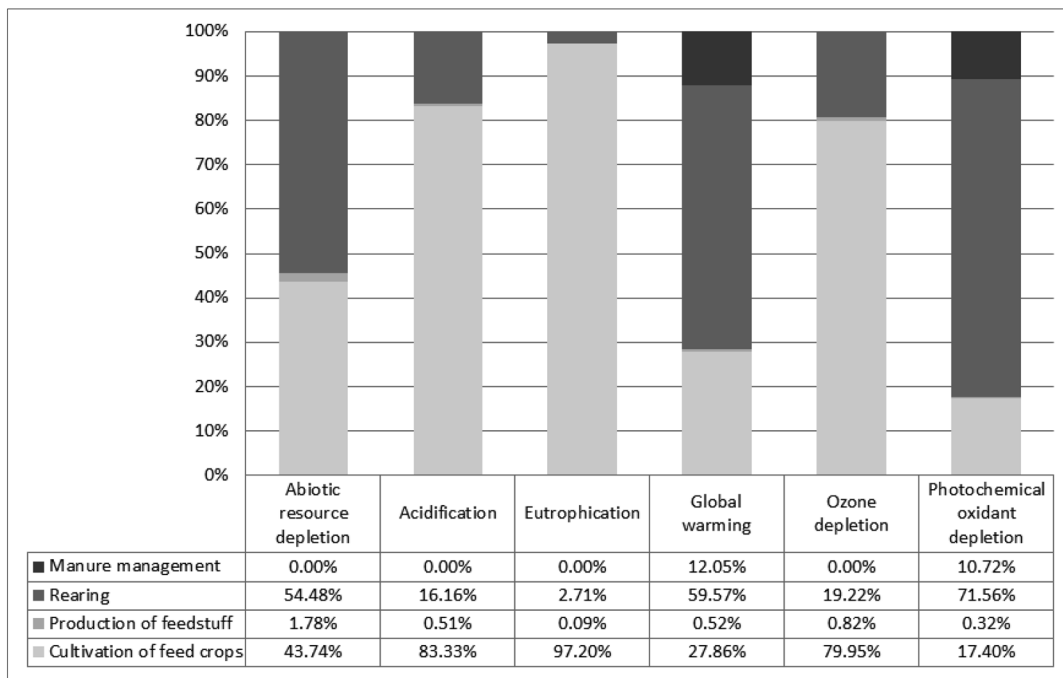


Fig. 6. Characterization result.

소, 칼륨 비료에 의한 영향으로 판단된다. 전과정 목록분석 결과에 따르면 사료작물 재배단계에서 배출되는 NO₃⁻와 NH₃의 양이 전과정에서 배출되는 NO₃⁻와 NH₃의 양의 약 83%로 나타났다. 특히 부영양화의 경우 우리와 유사하게 비료를 사용하는 일본의 사례와 비교해 보아도 3.5배 높은 것을 확인할 수 있다. 이는 농지로부터 유출되는 비료와 토양으로 침투되는 비료에 의한 것으로 볼 수 있다. 따라서 비점오염원 관리, 침출수 관리, 투입된 비료의 유실 방지 기술 개발 등을 통해 환경영향을 개선할 수 있을 것이다.

사육단계의 경우 지구온난화와 광화학스모그 환경영향범주에 각각 59.57%와 71.56%의 기여도를 나타내었다. 이는 장내발효를 통해 배출되는 메탄가스가 주요 원인이며 장내 발효에서 발생하는 메탄가스를 줄이기 위한 노력이 필요하다는 것을 시사한다. 또한 사육단계는 무생물자원고갈 환경영향범주에서도 54.48%의 기여도를 보였다. 이는 젖소 농장에서 사용하는 기기 및 장비의 에너지 효율 개선을 통해 해결할 수 있을 것이다.

사료작물 재배단계와 사육단계가 총 6개의 환경영향범주 중 각각 4개, 3개의 영향범주에서 주요이슈로 밝혀졌다. 사료 생산단계는 6가지 환경영향범주에서 0.1~1.8%의 기여도를 보이고 있으며 분뇨처리 단계는 지구온난화와 광화학스모그 환경영향범주에서 10%가량의 기여도를 보이고 있다.

3.2. 해외 연구사례 비교

Table 12에서 해외의 젖소 LCA 연구 특성화 결과와 이 연구의 특성화 결과를 세가지 영향범주(지구온난화, 산성화, 부영양화)에서 비교하였다.¹⁵⁻¹⁸⁾ 지구온난화 영향의 경우 다른 나라의 LCA 결과보다 현격하게 높은 것을 알 수 있다. 전과정 목록분석 결과를 비교한 결과 이는 다른 나라에 비해 장내발효에 의한 메탄배출량이 높기 때문으로 나타났다. 일반적으로 젖소와 같은 반추위 동물의 경우 조사료와 같이 cellulose 등 구조탄수화물을 많이 함유한 사료를 섭취하였을 때 메탄 발생량이 증가하고 농후사료와 같은 가용성 탄수화물이 많이 함유된 사료를 섭취하면 메탄 발생이 줄

Table 12. Environmental impact for different dairy farm systems

Impact categories		Republic of Korea	Japan	Sweden	Netherlands
Global warming (gCO ₂ -equivalents/fu)	CO ₂	345.2	360.1	178.2	319.68
	CH ₄	724.7	411.6	514.8	426.24
	N ₂ O	299.0	200.7	297	142.08
	Total	1,368.9	972.4	990.0	888.0
Acidification (gSO ₂ -equivalents/fu)	SO ₂	0.78	0.16	0.54	1.2
	NO _x	0.72	0.79	1.26	1
	NH ₃	5.19	6.19	16.2	7.8
	Total	6.7	7.1	18.0	10.0
Eutrophication (gPO ₄ ⁻ -equivalents/fu)	NO _x	0.19	0.15	2.32	3.24
	NH ₃	0.81	1.09	30.74	22.68
	NO ₃ ⁻	2.82	-	23.78	16.2
	PO ₄ ⁻	0.38	-	1.16	65.88
Total	4.2	1.2	58.0	108.0	

어든다. 국내 젖소의 경우 총 사료 섭취량 중 조사료의 비중이 높기 때문에 해외의 경우보다 높은 메탄발생량을 보이는 것으로 사료된다. 하지만 이번 연구에서는 조사료의 품질에 대한 고려는 이루어지지 않았기 때문에 향후 추가적인 연구를 통해 보완할 필요가 있다.

산성화의 경우 유럽의 젖소보다 그 영향이 적은 것으로 나타났으나 일본과는 유사한 영향을 나타내고 있다. 이는 분뇨의 처리방식에 기인한 것으로 유럽의 경우 발생 분뇨를 초지 및 조사료 재배지에 뿌리는 방식을 택하고 있으나 일본과 이번 연구 대상이 된 농장의 경우 호기성 소화방향을 이용하여 분뇨를 처리하고 있다. 이는 분뇨를 전처리 과정 없이 초지 및 조사료 재배지에 뿌릴 경우 분뇨에 포함된 암모니아가 자연계에 그대로 배출되기 때문에 이로 인한 산성화 영향이 커진다. 반면 호기성 처리과정을 거치면 암모니아가 비교적 산성화 영향이 적은 질산 및 NO_x 가스로 변화되기 때문에 산성화 영향이 줄어든다. 이러한 차이로 인해 산성화에 대한 환경영향에 차이를 보인다.

부영양화의 경우 유럽에 비하여 현저히 낮은 영향을 보여주고 있으나 일본보다는 영향이 큰 것으로 나타났다. 유럽과의 차이는 산성화의 경우와 같이 분뇨처리 방식의 차이로 부영양화 영향값의 차이를 보이고 있다. 반면에 일본보다 더 큰 부영양화 영향값을 가지는 이유는 사료원 재배 시 발생하는 질소계 비료의 침출에 의한 것으로 볼 수 있다.

4. 결론

이 연구에서는 젖소 관련 통계의 평균을 이용한 가상의 농장을 기준으로 환경영향을 평가하였다.

국내 낙농우(젖소) 시스템의 환경영향은 사육단계, 사료작물 재배단계가 분뇨처리단계 및 사료생산단계보다 더 많은 환경영향범주에서 주요 전과정 단계로 규명되었다.

사육단계의 경우, 젖소의 장내발효에서 발생하는 메탄이 주요 원인이다. 또한 농장운영에 사용되는 에너지에 의한 이산화탄소 발생도 주요 원인이다. 사육단계의 환경영향 개선을 위해서는 젖소의 장내발효 억제기술 개발과 농장 기기·장비의 에너지 효율개선이 필요하다. 특히 축사의 구조상 외부와 단열 문제로 인해 겨울철 난방 효율이 떨어지기 때문에 단열이 될 수 있는 새로운 형태의 축사의 보급이 필요할 것으로 보인다.

사료작물 재배단계의 경우, 작물 재배에 사용하는 비료 유실과 비료 사용에 따른 침출수가 주요 요인으로 나타났다. 따라서 작물 재배 시 발생하는 침출수 관리와 비료 유실방지 기술개발을 통해 환경영향을 저감할 수 있을 것으로 판단된다.

반면에 이 연구는 평균적인 가상의 농장을 기준으로 수행되었기 때문에 젖소 농가의 지리적, 기후적 환경의 차이 및 농장 시스템의 차이에 따른 환경영향의 차이를 파악할 수는 없다. 따라서 향후에는 농장의 지리적, 기후적 환경변화, 축사 형태와 분뇨처리 방법에 따른 젖소의 환경영향 비교 연구가 필요하며 이를 통해 국내 실정에 알맞은 친환경 축사 형태를 도출하는데 기여할 수 있을 것이다.

Acknowledgement

이 연구는 농촌진흥청에서 지원하는 “축산부문 CH₄ 및 N₂O 배출량 산정방식 및 산정도구 개발” 과제의 일환으로 수행되었다(과제번호: PJ009311).

KSEE

References

- Kim, E.-J., “Reducing Greenhouse Gas Emissions in Ruminants: Mini review,” *Korean J. Org. Agric.*, **20**(2), 185~200 (2012).
- Guinée, J., Gorée, M., Heijungs, R., Huppes, G., Kleijn, R. and De Koning, A., “Life cycle assessment; An operational guide to the ISO standards; Parts 1 and 2,” Ministry of Housing, Spatial Planning and Environment (VROM) and Centre of Environmental Science (CML), Den Haag and Leiden, The Netherlands(2001).
- Lee, K.-M., Zust, R. and Wimmer, W., *Ecodesign Implementation : A systematic Guidance on Integrating Environmental Considerations into Product Development*, Springer, German (2004).
- ISO 14040: Environmental management-Life Cycle Assessment-Principles and framework, ISO, Italy(1997).
- Seoul Milk Cooperative Federation, Dairy farm statistics, Seoul Milk Cooperative Federation, Korea(2010).
- Ministry of Food, Agriculture, Forestry and Fisheries, Statistics of Food, Agriculture, Forestry and Fisheries, Ministry of Food, Agriculture, Forestry and Fisheries, Ministry of

- Food, Agriculture, Forestry and Fisheries, Korea(2010).
7. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Ecoinvent, The Life Cycle Inventory Data Version, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Swiss(2009).
 8. Rural Development Administration, Standard farming hand-book-35, Corn, Korea(2013).
 9. Rural Development Administration, Standard farming hand-book-44, Wheat, Korea(2013).
 10. Rural Development Administration, Standard farming hand-book-91, Roughage, Korea(2013).
 11. Rural Development Administration, Standard farming hand-book-118, Barley, Korea(2013).
 12. Rural Development Administration, Standard farming hand-book-149, Soy, Korea(2013).
 13. Rural Development Administration, Standard farming hand-book-167, Rapeseed, Korea(2013).
 14. Min, S.-K., Evaluation livestock manure treatment system and technology, RDA, Korea(2010).
 15. Thomassen, M. A., van Calster, K. J., Smits, M. C. J., Iepema, G. L. and de Boer, I. J. M., "Life cycle assessment of conventional and organic milk production in the Netherlands, *Agric. Syst.*, **96**, 185~200(2008).
 16. Cederberg, C. and Mattsson, B., "Life cycle assessment of milk production - a comparison of conventional and organic farming," *J. Cleaner Prod.*, **8**, 49~60(2000).
 17. Imke, J. M. and de Boer, "Environmental impact assessment of conventional and organic milk production," *Livestock Prod. Sci.*, **80**, 69~77(2003).
 18. Ogino, A., Ishida, M., Ishikawa, T., Ikeguchi, A., Waki, M., Yokoyama, H., Tanaka, Y. and Hirooka, H., "Environmental impacts of a Japanese dairy farming system using whole-crop rice silage as evaluated by life cycle assessment," *Animal Sci. J.*, **79**, 727~736(2008).
 19. KEITI. Korea LCI Database Information Network, <http://www.edp.or.kr/lcidb/english/main/main.asp>, September(2011).
 20. Statistics Korea, Korea Statistical Information Service, <http://www.kosis.kr/index/index.jsp>, September(2011).
 21. National Greenhouse Gas Inventory Report of Korea, Greenhouse Gas Inventory & Research Center of Korea(2013).
 22. Rural Development Administration, Report for Development of carbon tracing system for livestock agriculture, Korea(2012).
 23. Baek, C.-Y., Lee, K.-M. and Park, K.-H., "Quantification and control of the greenhouse gas emissions from a dairy cow system," *J. Cleaner Prod.*, **70**, 50~60(2014).
 24. Hospido, A., Moreira, M. T. and Feigoo, G., "Simplified life cycle assessment of galician milk production," *Int. Dairy J.*, **13**, 783~796(2003).
 25. Ministry of Knowledge Economy, Final report of the standardization of environmental management system for developing environmental friendly industrial foundation project-Development of Korean Eco-indicator, Ministry of Knowledge Economy, Korea(2003).