

Research article



# 축산업 전과정평가 (LCA)의 환경 평가 요소 중심의 분석과 한국 축산업에 대한 적용성 평가

정효혁<sup>1</sup> · 여욱현<sup>2</sup> · 이상연<sup>3</sup> · 박세준<sup>3</sup> · 김준규<sup>3</sup> · 데카노 크리스티나<sup>3</sup> · 최영배<sup>3</sup> · 조정화<sup>3</sup> · 김정환<sup>4</sup> · 이인복<sup>5\*</sup>

<sup>1</sup>서울대학교 농업생명과학대학 생태조경·지역시스템공학부 지역시스템공학전공 석사과정,

<sup>2</sup>서울대학교 농업생명과학대학 농업생명과학연구원 연구조교수,

<sup>3</sup>서울대학교 농업생명과학대학 생태조경·지역시스템공학부 지역시스템공학전공 박사과정,

<sup>4</sup>서울대학교 농업생명과학대학 조경·지역시스템공학부 지역시스템공학전공 학사,

<sup>5</sup>서울대학교 농업생명과학대학 생태조경·지역시스템공학부 교수

## Analysis of livestock life cycle assessment (LCA) regarding environmental assessment factors and its possible application toward Korean livestock LCA

Hyo-Hyeog Jeong<sup>1</sup>, Uk-Hyeon Yeo<sup>2</sup>, Sang-Yeon Lee<sup>3</sup>, Se-Jun Park<sup>3</sup>, Jun-Gyu Kim<sup>3</sup>, Cristina Decano<sup>3</sup>, Young-Bae Choi<sup>3</sup>, Jeong-Hwa Cho<sup>3</sup>, Jeong-Hwan Kim<sup>4</sup>, In-Bok Lee<sup>5\*</sup>

<sup>1</sup>M.S. Student, Department of Rural Systems Engineering, College of Agriculture and Life Sciences, Seoul National University, 1 Gwanak-ro, Gwanak-gu, Seoul, 08826, Republic of Korea

<sup>2</sup>Research Assistant Professor, Department of Rural Systems Engineering, Research Institute for Agriculture and Life Sciences, Seoul National University, 1 Gwanak-ro, Gwanak-gu, Seoul, 08826, Republic of Korea

<sup>3</sup>Ph.D. Student, Department of Rural Systems Engineering, College of Agriculture and Life Sciences, Seoul National University, 1 Gwanak-ro, Gwanak-gu, Seoul, 08826, Republic of Korea

<sup>4</sup>Undergraduate Student, Department of Rural Systems Engineering, College of Agriculture and Life Sciences, Seoul National University, 1 Gwanak-ro, Gwanak-gu, Seoul, 08826, Republic of Korea

<sup>5</sup>Professor, Department of Rural Systems Engineering, College of Agriculture and Life Sciences, Seoul National University, 1 Gwanak-ro, Gwanak-gu, Seoul, 08826, Republic of Korea

### Corresponding author

In-Bok Lee

Seoul National University,  
1 Gwanak-ro, Gwanak-gu, Seoul,  
08826, Republic of Korea

Tel : +82-2-880-4586

Fax : +82-2-873-2087

E-mail : iblee@snu.ac.kr

Received : March 25, 2021

Revised : April 22, 2021

Accepted : April 24, 2021

Life Cycle Assessment (LCA) has been used to assess the environmental impact of livestock industries since it was adopted as a standard method in 2006. However, many studies have simplified the environmental assessment factor for a simple assessment. Simplified LCA cannot be used in business/policy decisions because results can be overestimated and underestimated, ignoring interactions between environmental assessment elements. Therefore, it is necessary to review literatures that apply evaluation methods that take into account various environmental assessment factors. In this study, we selected and reviewed literatures on livestock-related LCA studies over the past five years. Environmental assessment factors by literature were considered and classified. Finally, we evaluated the applicability of comprehensive LCA research in the domestic livestock industry through a literature containing a number of factors.

**Key words :** Life Cycle Assessment (LCA), Livestock, Environmental assessment factor



## 서론

국내 축산업은 축산시설의 자동화, 대형화를 통하여 산업 규모가 빠르게 성장하였다 (Kim, 2017). 1990년 이후 축산업 생산액은 연평균 6.7%씩 증가하였고, 2020년 생산액 19.8조 원으로 농업 생산액의 약 38.0%를 차지하였다 (Statistics Korea, 2019). 그러나 대형화와 밀집사육으로 인하여 축산시설로부터 배출되는 악취 물질의 집적이 심화되었으며, 동시에 분뇨로 인한 부영양화 물질 배출로 수질 및 토양오염 문제가 발생하였으며, 다양한 유해물질의 배출로 인하여 대기환경 오염 문제가 대두되었다 (Kim, 2017). 특히 암모니아는 대기 중에서 황산화물, 질소산화물과의 화학반응을 통해 초미세먼지를 발생시키는 전구물질로써 농업에 의한 배출량이 전체 배출량의 79.3%로 나타났다 (NAPES, 2020). 따라서 축산시설의 지속가능한 성장을 위하여 축산시설에 의해 발생하는 환경 부하를 정량적이고 포괄적으로 평가해야 할 필요가 있다.

한편, 1951~2010년 기간에 관측된 지표면 온도 변화의 원인으로 온실가스에 대한 관심이 증가하고 있으며, 기후 변화에 있어서 축산업에서 배출된 온실가스 (메탄 (CH<sub>4</sub>), 이산화질소 (N<sub>2</sub>O), 이산화탄소 (CO<sub>2</sub>) 등) 배출은 전 세계에서 9%를 차지하는 것으로 조사되었다 (IPCC, 2014). 기후변화에 따른 식량 및 환경의 변화는 농업작부체계의 변화로 기존 작물에 대한 농민들의 축적된 지식 활용에 어려움 및 새로운 병·충해의 유입에 의한 가축 질병 및 전염병 출현, 가축 스트레스 증가로 인한 번식률, 증체량 감소 등 다양한 문제를 유발할 수 있으며 식량 생산량에 큰 영향을 미치고 각국의 식량안보 문제와 직결된다 (Kim et al., 2012). 따라서 기후변화의 영향에도 안정적인 식량 생산을 도모할 수 있는 농업시설에 대한 연구가 필요하며 (Kim, 2011; Kim et al., 2012), 지속가능성 확보를 위해 기후변화에 영향을 미치는 환경부하 요인에 대한 정량적인 배출량 평가 및 저감 연구가 필요하다.

이에 따라 축산시설에 대한 환경 부하와 온실가스 배출원에 관한 연구가 국가별로 다양하게 진행되었다. 환경 부하 및 배출원에 대한 정량적이고 종합적인 평가를 위하여 전과정평가 (Life Cycle Assessment, LCA)를 활용한 연구가 다수 수행되었다 (De Vries et al., 2015; Brien et al., 2016; McClland et al., 2018).

LCA는 어떤 제품, 공정, 활동과 관련된 환경적 부담을 사용된 물질, 에너지, 환경에 배출된 폐기물을 규명하고

정량화함으로써 분석하여 에너지와 물질 사용 및 환경 부하 배출의 영향을 평가하는 방법론으로 (Ahn, 1995), 제품의 생산에서 소비 (Cradle to Grave)까지, 혹은 생산에서 출하 (Cradle to Gate)까지의 환경에 영향을 줄 수 있는 요인을 취합하여 영향을 산정하는 방법이다 (ISO, 2006a). LCA는 생산과정에서의 모든 환경적 요소를 포괄적으로 평가할 수 있기 때문에 각종 기업에서 제품 생산과정 또는 농업에서 작물 혹은 가공품 생산에서의 환경영향성을 평가하기 위해 활용된다 (Haas et al., 2001; de Boer, 2003). LCA의 평가방법은 4단계의 과정을 거친다 (ISO, 2006a; 2006b).

- 1) 목표와 범위의 정의
- 2) Life Cycle Inventory Analysis (LCI)
- 3) Life Cycle Impact Assessment (LCIA)
- 4) 결과 해석

해당 단계들을 통하여 추가적인 정규화 혹은 가중치를 부여하고, 최종적으로 제품의 환경성을 평가한 결과를 도출한다 (Lee and Inaba, 2004). 축산업에서는 지역/가축별로 완제품 생산 혹은 양육과정에서의 환경 부하를 예측하고 평가하기 위하여 LCA가 적용되었다. De Vries et al. (2015)은 육우 생산에 대한 LCA를 이용한 14개의 연구를 검토하여 송아지 육성, 생산유형 및 식단유형에 따라 지구 온난화, 산성화, 효소화 잠재력 및 에너지 사용량, 토지 사용량에 대한 환경 영향을 분류하였으며, Berton et al. (2017)은 육우 생산에 대한 프랑스의 통합 환경평가를 위하여 온난화 잠재성, 산성화 잠재성, 토지점유에 대한 환경 영향을 분류하였으며 농장 내 영향과 농장 외 활동을 구분하여 환경영향평가를 수행하였다. 그러나 국내 지역을 대상으로 한 축산업에서의 환경 영향평가 연구가 미비한 상황이다. 또한, 많은 연구에서는 간단한 평가를 위해 특정 요소를 결정하고 LCA 과정을 단순화하여 특정 요소에 대한 평가만을 진행하여 환경 평가 요소간의 상호작용을 무시한 채로 결과가 도출되어 단일 평가 요소에 의해 포착되지 않은 문제의 증가를 고려하지 못하기 때문에 사업/정책적 결정에 직접 활용하기 힘들다 (Hoof et al., 2013). 따라서 축산업에서 LCA를 이용한 환경 영향 평가에 대한 향후 연구의 원활한 진행을 위해 복합적인 환경적 요소를 평가할 수 있는 LCA의 장점을 이용하여 다양한 환경 인자를 고려한 평가방법을 적용한 연구에 대한 검토가 필요하다.

이를 통해 국내 축산업에 대한 환경 영향 평가에 대한 적용성을 판단할 수 있다.

따라서 본 논문에서는 최근 5년간의 축산업과 관련한 LCA 연구에 대하여 환경 부하 평가 요인에 사용된 평가 요소들을 고찰하였다. 다양한 환경적 요소에 대한 포괄적인 평가방법 도출을 위하여 평가 요소가 포함된 개수에 따라 선행연구를 분류하였으며 국내 축산업에 대한 포괄적인 환경영향평가 방법을 제시하기 위하여 다수의 요소가 포함된 선행연구의 분석방법을 정리하고 국내에 적용할 수 있는 방안을 모색하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 자료 지정 및 탐색

본 연구는 Web of Science DB에서 최근 5년 (2016년 1월 1일~2020년 5월 6일) 사이의 게재된 논문을 대상으로 자료를 조사하였으며, 키워드는 “LCA”, “Livestock”, 그리고 “Life Cycle Assessment”로 적용하였다. 그리고 해당 DB의 필터를 이용하여 본 연구에서 분석하고자 하는 기준에서 벗어난 연구 문헌에 대해서 제외시켰다.

### 2. 자료선별

본 연구에서는 선행연구의 분류를 위하여 PRISMA statement를 활용하였다 (Moher et al., 2010). PRISMA는 체계적인 리뷰 및 메타분석을 진행하는 연구자를 위하여 연구 과정에서 27항목의 체크리스트 및 4단계의 흐름도로 구성되어 진행도를 확인할 수 있는 보조수단으로 다수의 리뷰 및 메타분석을 다루는 의학, 보건 분야에서 활용되고 있는 방법이다. Figure 1은 PRISMA에서 제시하는 4단계의 흐름도로 각 흐름에 맞추어 적절한 분류기준을 적용하여 문헌들을 분류하였다. 선별 단계에서 통과한 항목들은 연구에 사용될 요소들을 포함하고 있다. 선별된 선행연구들은 모두 축사에서 생산된 제품 혹은 생산과정에서 LCA를 적용하여 최소 1가지의 환경 요소를 적용하여 영향을 평가한 바 있고, 분석 과정에서 최소한의 Functional Unit (e.g. “kg of protein per CO<sub>2</sub> kg”)을 포함하였다. LCA를 적용하였음에도, 선별 기준과 적합하지 않은 연구인 “축사의 부산물을 이용한 바이오 가스 생산 (Abdelsalam et al., 2019)”, “LCA를 이용한 수산자원의 지속 가능성 평가 (Villanueva-Rey et al., 2019)” 과 같이 LCA를 축사 이외의 분야에 적용한 문헌은 제외하였다. 마지막으로, 하나의 환

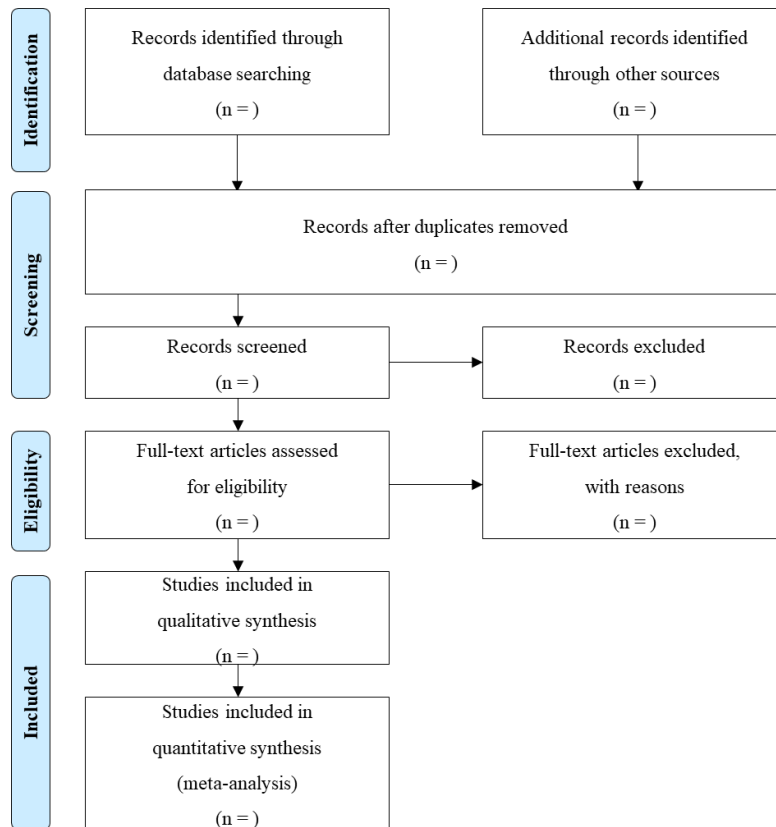


Figure 1. PRISMA statement (Moher et al., 2010).

경 요소 (e.g. Carbon Footprint, Water Footprint, Nitrogen Footprint)만을 고려하여 발자국 분석을 시행한 문헌들은 다양한 환경 요소를 고려한 문헌을 검토하고자 하는 본 연구에 부합하지 않아 제외하였다.

두 번째 카테고리, LCA와 축사에 대한 언급이 있음에도 직접적인 분석을 제공하지 않거나, 본 연구에서 포함하는 문헌 종류에 맞지 않는 Review, Proceeding paper, Editorial material, Book chapter, Meeting abstract, Early access에 해당하는 자료들을 제외하였다.

### 3. 환경 평가 요소 선정

먼저, 환경 평가에 들어가는 공통적인 요소들을 선정하기 위해 연구 대상으로 선정된 문헌들을 정리하여 환경 평가 요소들을 선정하였다. 또한, McClelland et al. (2018)과 Jolliet et al. (2004)을 참고하여 총 8가지 포괄적인 환경 요인과 가축의 분류를 정하였고 이는 Table 1과 같다.

이와 더불어 연구 대상으로 지정된 가축 또한 조사 항목에 포함시켰다. 지정된 가축 항목은 Table 1과 같다. 항목 중 Dairy에는 유제품을 생산하는 축사의 가축을 포함시켰으며 (염소, 젖소 등), etc 항목에는 어느 항목에도 들어가지 않는 가축 (양, 말 등)을 포함시켰다.

### 4. 포괄적 환경영향평가 문헌 검토

8가지 환경 평가 요소 및 가축 분류에 따라 문헌들의 분류를 시행하였다. 각 선행연구가 포함하는 환경 평가 요소의 수를 기준으로 1개에서 2개, 3개에서 4개, 5개에서 6개, 7개에서 8개의 요소를 포함하는 집단으로 분류하였으며, 마찬가지로 연구 대상의 가축의 종류에 따라서도 분류하였다. 7개 이상의 환경 평가 요소를 포함한 문헌들의 분석 방법 고찰 및 분석하여 LCA를 이용한 포괄적인 환경영향

평가 방안을 분석하고 국내 축산업에 대한 적용방안을 모색하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. 자료 탐색 및 선별 결과

Web of Science DB에서 “LCA”, “Livestock”, “Life Cycle Assessment”의 키워드로 집계된 문헌은 총 263개로 나타났다. 이 중 103개의 논문이 본 연구의 대상으로 파악되었다. 포함되지 않은 160개의 논문 중 6개는 리뷰 논문이었고, 19편은 주제와 무관한 신기술에 관련된, 혹은 접근법에 대한 방법론을 제시하는 연구였다. Colley (2019)는 LCA를 적용하였으나 가축이 아닌 현재 바이오매스의 생산에 적용하여 지금까지와 다른 LCI를 과정에 적용하여 제외되었다.

나머지 135편의 논문 중 30편은 LCA, 혹은 Livestock에 대한 언급이 있었으나, 환경 평가에 관련된 것이 아니거나, 다른 목적으로 키워드를 언급한 경우였다. 105편의 논문은 본 연구의 범위를 벗어나 제외되었다.

### 2. 환경 평가 요소 선정 결과

각 문헌은 다양한 환경 평가 요소에 대한 키워드를 수반하고 있다. Jolliet et al. (2004)은 각 문헌에서 나타난 키워드를 Midpoint categories로 정의하고 모든 유형의 LCI 결과를 손상 범주에 연결하여 포괄적인 환경 평가 요소 선정의 프레임워크를 제시하였다. 본 연구에서도 Jolliet et al. (2004)의 방법을 적용하여 각 문헌의 키워드를 통해 midpoint categories를 나열하고 같은 손상 범주를 가지는 categories를 결합하여 포괄적인 환경 평가 요소를 선정하였다. 선정된 환경 평가 요소는 Table 1과 같으며, 축산업에 의해 발생할 수 있는 환경부하 및 기후변화와 관련된 포괄적인 키워드이다. Climate change는 Greenhouse Gas Emission, Global Warming Potential 등과 같이 기후변화에 영향을 주는 온실가스의 배출과 이에 따른 잠재력을 평가한 요인을 포함시켰고 Eutrophication과 Acidification은 각각 민물, 해수 등에 대한 부영양화와 산성화 모두를 포함하였다. Resource depletion은 Fossil fuel, Nitrogen, Electricity 등 자원 사용에 관련된 항목을 모두 포함시켰으며 Human health에는 Ozone depletion, Particulate, Dust 등 축산업에서 작업자의 건강에 직접적인 영향을 끼치는 항목

**Table 1.** Type of environmental impact factor and livestock.

Environmental assessment factor	Livestock
Climate change	Dairy
Acidification	Beef
Eutrophication	Pig
Biodiversity	Poultry
Ecotoxicity	etc
Land use	-
Resource depletion	-
Human health	-

들을 포함시켰다. 마지막으로 Biodiversity, Ecotoxicity와 Land use는 키워드를 직접 포함하는 논문을 선별하였다.

### 3. 환경 평가 요소별 빈도 분석

환경 평가 요소 중 가장 많이 사용된 것은 Climate change 로 (Figure 2) 전체 문헌에서 87.4% 활용되었다. 이는 제외된 연구 중에서도 Carbon footprint 등의 요소로 많이 평가되었으며, 포함된 연구 중 하나의 환경 평가 요소에 대한 평가만을 진행한 연구 33편 중 24편에 해당되는 것으로 나타났다. 다음으로 가장 많이 활용된 요소는 Resource depletion으로, 전체 문헌에서 57.3% 활용되었다. Resource depletion은 화석 연료에서 전기, 산림자원 등 에너지원, 혹은 활용 가능한 자원을 포괄하여 폭넓게 집계된 것으로 파악하였다. 평가에 가장 적게 쓰인 요소는 Biodiversity로, 포함된 문헌 중 4.9%가 활용되었다. 7개 이상의 평가 항목을 포함한 연구는 3편에 불과했다.

환경 평가 요소뿐 아니라 대상 가축에 따라서도 분류가 되었다 (Figure 3). 유제품을 생산하는 가축에 대한 연구는 총 39개로 포함되었으며, 해당 연구 중 대다수가 1개에서 2개의 환경 평가 요소만을 포함하였다. 유제품을 생산하는 가축 다음으로 많이 다루어진 육우 또한 34건 중 16건이 1개에서 2개의 환경 평가 요소를 포함하였으며, 돼지의 경우 1개에서 2개를 포함시킨 수가 9건, 3개에서 4개를 포함시킨 수가 8건으로 타 가축에 비해 다양한 환경 평가 요소를 고려한 것으로 판단된다. 1개에서 2개의 요소를 포함한 연구 45편 중 34건이 Climate change를 포함하고 있었으며, 5개 이상의 환경 평가 요소를 포함하는 연구 24편 중 19편이 유제품을 생산하는 가축, 그리고 육우에 대해 연구를 진행하여 차지하는 비율이 높은 것을 확인할 수 있다 (Table 2).

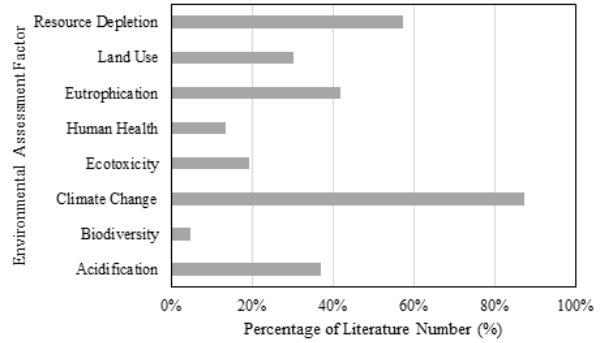


Figure 2. Percent of LCA publications including each environmental assessment factors (2016~2020; N = 103).

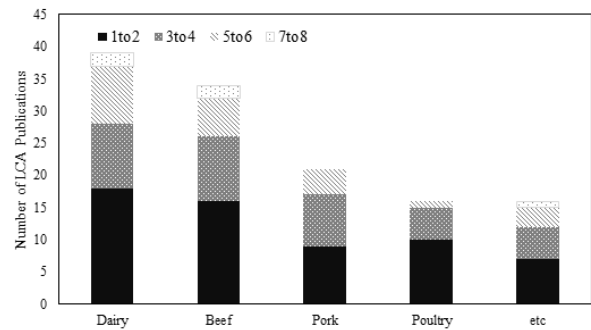


Figure 3. The number of impact categories examined in LCA publications by livestock species.

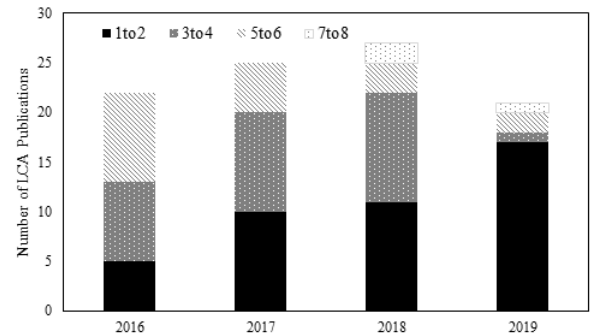


Figure 4. Number of LCA publications from 2016 to 2019.

Table 2. Frequency of occurrence of each environmental assessment categories.

Environmental assessment factors	Included number of factors								Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	
Acidification	0	0	6	9	15	5	3	0	38
Biodiversity	0	0	2	1	0	1	1	0	5
Climate change	24	10	19	13	16	5	3	0	90
Ecotoxicity	1	1	2	3	5	5	3	0	20
Human health	1	1	0	2	6	2	2	0	14
Eutrophication	0	0	8	11	16	5	3	0	43
Land use	3	2	10	1	9	3	3	0	31
Resource depletion	4	10	13	12	13	4	3	0	59
Total publication	33	12	20	13	16	5	3	0	-

2016년에서 2019년까지의 축산 LCA 출간물은 단위 기간에 대해 선형적으로 증가하는 추세를 보였으나 2019년에 감소하는 경향을 보였다 (Figure 4). 그러나 1개에서 2개의 환경 평가 요소를 포함하는 연구의 수는 증가하는 추세를 보인다.

**4. 다인자 환경영향평가 문헌 분석 및 국내 적용성 검토**

(1) 다인자 환경영향평가 문헌 비교

본 연구에서 제시한 환경 평가 요소를 7개에서 8개 포함하는 문헌은 총 3편이었으며, 이는 Table 3에서 제시한 바와 같다. 해당 문헌들은 서로 다른 Functional unit, System boundary, 그리고 지역을 특성으로 가지고 있으며, System boundary는 세 연구 모두 Cradle to Gate, 그리고 Functional unit은 Mondello et al. (2018)의 문헌에서는 “1 kg of Pecorino Cheese”로, 제품의 단위 무게에 대해 직접 평가를 적용하였고, Costa et al. (2018)은 500명의 브라질인을 대상으로 최종 소비자의 소비량을 적용하여 간접 평가하였으며 Salou et al. (2019)은 699,803 tons of Milk, 425,412 Hectars by production system으로 전체에 대한 환경평가를 진행하였다.

또한 세 연구 중 두 연구가 유럽에서 진행되었으며, 한 연구는 남아메리카에서 진행되었기 때문에 여러 종류의 환경 평가 요소를 적용한 연구를 다른 환경에서 위의 연구

들을 참고한 방식으로 적용하는데 어려움이 있다.

연구의 목적에 따라 LCA에 서로 다른 범위와 단위를 적용할 수 있고, 서로 다른 축사와 환경에서 긍정적인 요소로 작용할 수 있으나 동일한 조건하의 Functional unit 선정과 같은 표준화된 방법과 다양한 환경에서 진행된 연구의 부재는 포괄적인 환경 평가를 상호비교하는데 어려움으로 작용한다.

(2) 정규화와 가중치 부여

정규화는 환경 평가 요소의 크기를 표준치, 혹은 참고값 (ISO, 2006b)에 대하여 정하는 방법으로, LCIA에서 필수적인 과정은 아니나 LCA 결과를 해석하는데 있어 결정적인 요소가 될 수 있다. 분석한 세 편의 논문 모두 정규화 과정을 거쳤으며, 구체적인 방법은 Table 2의 Normalization 항목에서 제시하는 바와 같다.

가중치를 부여하는 것은 LCIA의 마지막 단계로, 각각 정규화된 값에 카테고리별 상대적 중요도에 따라 지정할 수 있다. 가중치가 부여된 값은 모두 같은 단위이므로, 하나의 시나리오, 혹은 모델에 대하여 단일 점수를 산정하여 다른 연구 결과, 혹은 제품에 대해 비교할 수 있다. 이러한 과정은 정책 결정자들에게 결정을 내리는데 도움을 줄 수 있다. 하지만 가중치를 부여하는 작업은 주관적일 수 있으며 이해 관계자에 따라 다르게 산정할 수 있으므로 적절한

**Table 3.** Analysis of LCA literature with 7 to 8 environmental assessment factors.

Author	Livestock type	Region	System boundary	Functional unit	Midpoint categories	Normalization and weighting	Endpoint factors
Mondello et al. (2018)	Sheep	Italy, Tuscan	Cradle to gate	1 kg of pecorino cheese	Climate change, Ozone depletion, Terrestrial acidification, Freshwater eutrophication, Marine eutrophication, Human toxicity, Photochemical oxidant formation, Particulate matter formation, Ionising radiation, Agricultural land occupation, Natural land transformation, Water depletion, Metal depletion, Fossil depletion	ReCiPe Midpoint (H) method	n/a
Costa et al. (2018)	Beef +	Brazil	Cradle to gate	500 Brazilian	Abiotic resource depletion, Climate change, Primary energy consumption, Acidification potential, Photochemical ozone creation, Freshwater eutrophication, Marine eutrophication, Water scarcity, Freshwater eco-toxicity, Land use, Biodiversity	Saling et al. (2002), AgBalance™	n/a
Salou et al. (2019)	Dairy+	France	Cradle to farm	699,803 t of milk, 425,412 hectares by production system	Global warming potential, Acidification, Eutrophication, Ecotoxicity, Cumulative energy demand, Land competition, Ecosystem	ReCiPe endpoint (H) etc	n/a

조율이 필요하다. Table 3의 Costa et al. (2018)의 경우 가중치를 부여하여 결과를 점수화한 뒤 종합하여 Sustainability Score의 형태로 제시하였다.

### (3) 한국 축산업에 대한 적용성 평가

양의 밀집 사육을 통해 사육에서부터 완제품으로 생산되기까지의 과정에 7가지의 평가 항목을 적용하여 해석한 Mondello et al. (2018) 사례와 마찬가지로 밀집사육을 하는 다른 사례의 LCA 접근론으로 이용할 수 있다. 예를 들어, Park et al. (2015)은 System boundary로 Cradle to farm을 채택하고 Functional unit으로 “1 kg of Protein corrected milk”를 채택하여 4가지의 환경 평가 요소 (Resource depletion, Acidification, Eutrophication, Climate change)를 적용하여 연구를 진행하였다. 이 연구의 System boundary를 Mondello et al. (2018)의 사례와 같이 완제품의 생산과정까지 평가항목을 넓히고, 환경 평가 요소를 추가하여 더 포괄적인 LCA로 보완할 수 있으며, 밀집 사육에 의한 LCA 과정에서 축종에 따른 사육 부분을 수정하여 다른 축종에 대하여 유사하게 적용할 수 있다.

Salou et al. (2019)과 Costa et al. (2018)의 방법론은 정규화, 가중치 과정에서 적용할 수 있을 것으로 판단된다. Costa et al. (2018)의 경우 지역의 농장·작물 연계 모델을 제시하여 통합적 경제/사회 평가로 이용할 수 있는 가능성을 보였으며, Salou et al. (2019)은 생산의 변화로 인한 평가의 변이를 추적하였다. 이는 향후 사회영향평가 및 생태영향평가까지의 확장의 가능성을 시사하였고, 결과를 종합하여 축산업 관련 제도에서 향후 의사결정에 활용성을 높일 수 있다.

## 결론

DB에서 설정한 연도와 분류 과정을 통해 검색된 문헌 이외에도 DB에서 집계되지 않은 문헌이 존재할 수 있으나, 해당 DB가 제시하는 자료들이 국제적인 경향과 필요한 분석을 시행하는데 충분하다고 판단하여 본 연구에서는 검색된 문헌 262개에 대한 분석을 시행하였다. PRISMA statement를 통해 문헌을 분류하여 연구 목적에 적합한 103개의 문헌으로 범위를 제한하여 결과를 제시하였다.

다양한 환경 평가 요소들을 포괄적으로 수용할 수 있는 8가지의 환경 평가 요소로 구분하여 각 문헌별로 포함하는 요소에 대한 분석을 진행하였다. 분석 결과, Climate

change를 포함하는 문헌이 87.4%로 가장 높게 나타났으며, Resource depletion이 57.3%로 나타났다.

8가지의 환경 평가 요소에 대하여 7개 이상을 포함하는 문헌은 3개로 나타나 LCA가 ISO 표준으로 선정된 이래로 생산과정에서의 모든 환경적 요소를 포괄적으로 평가할 수 있는 해석틀로써 자리잡아 축산업에도 많이 활용되고 있음에도 불구하고 선행연구의 대부분이 단일, 혹은 소수의 환경 평가 요소만을 차용하고 있는 것을 확인하였다. 구조를 단순화한 LCA는 간편하게 결론을 내릴 수 있지만, 요소간의 상호작용을 무시한 채로 결과를 도출할 경우 과대/과소하게 평가를 진행할 위험이 있다. 한국 축산 연구에서도 언급한바, LCA를 적용한 논문이 많지 않고, 적용하여도 단순화된 모델을 활용하여 사업/정책적 결정에 직접 활용하기는 힘들다.

본 논문에서 진행한 LCA 연구 자료의 분류를 통해 다인자 환경 평가 연구를 검토한 문헌을 토대로 LCA를 통한 한국 축산업에서의 포괄적인 환경영향평가 적용성을 판단하였다. 농장에서부터 완제품 생산까지의 과정에 대한 포괄적인 환경평가요소를 바탕으로 LCA가 수정될 필요가 있으며, 밀집사육을 기반으로 한 LCA 문헌에서 축종에 따른 사육방법, 형태를 수정하여 다른 축종에 대하여 유사하게 적용할 수 있는 방향성을 제시하였다. 정규화 및 가중치 과정에서 사회영향평가 및 생태영향평가로의 확장 가능성을 시사하였다.

평가 결과를 바탕으로 축산업에서의 환경영향평가 연구가 올바른 정책적/규제적 바탕이 되기 위해 적절한 환경 평가 요소 선정 및 가중치 부여/정규화 작업을 통해 산정된 포괄적인 환경 평가로 나아가기를 희망한다.

## 인용문헌

- Abdelsalam, E., Hijazi, O., Samer, M., Yacoub, I.H., Ali, A.S., Ahmed, R.H., Bernhardt, H., 2019. Life cycle assessment of the use of laser radiation in biogas production from anaerobic digestion of manure. *Renewable Energy*, 142, 130-136.
- Ahn, J.W., 1995. Life cycle assessment for environmental evaluation. *Polymer Science and Technology*, 6(1), 22-27.
- Berton, M., Agabriel, J., Gallo, L., Lherm, M., Ramanzin, M., Sturaro, E. 2017. Environmental footprint of the integrated France-Italy beef production system assessed through a multi-indicator approach. *Agricultural Systems*, 155, 33-42.
- Brien, D., Bohan, A., McHugh, N., Shalloo, L., 2016. A life

- cycle assessment of the effect of intensification on the environmental impacts and resource use of grass-based sheep farming. *Agricultural Systems*, 148, 95-104.
- Colley, T.A. 2019. Global integration model for life cycle assessment in small and medium sized enterprises. Ph.D. Thesis, Technical University of Denmark, Denmark.
- Costa, M.P., Schoeneboom, J.C., Oliveira, S.A., Vinas, R.S., de Medeiros, G.A., 2018. A socio-eco-efficiency analysis of integrated and non-integrated crop-livestock-forestry systems in the Brazilian Cerrado based on LCA. *Journal of Cleaner Production*, 171, 1460-1471.
- de Boer, I.J.M., 2003. Environmental impact assessment of conventional and organic milk production. *Livestock Production Science*, 80, 69-77.
- De Vries, M.D., Van Middelaar, C.E., De Boer, I.J.M., 2015. Comparing environmental impacts of beef production systems: A review of life cycle assessments. *Livestock Science*, 178, 279-288.
- Haas, G., Wetterich, F., Köpke, U., 2001. Comparing intensive, extensified and organic grassland farming in southern Germany by process life cycle assessment. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 83, 43-53.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2014. Climate change 2014: Impacts, adaptation, and vulnerability, Part A: global and sectoral aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- ISO, 2006a. ISO 14044: Environmental management - life cycle assessment - principles and framework. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
- ISO, 2006b. ISO 14044: Environmental management - life cycle assessment - requirements and guidelines. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
- Jolliet, O., Müller-Wenk, R., Bare, J., Brent, A., Goedkoop, M., Heijungs, R., Itsubo, N., Peña, C., Pennington, D., Potting, J., Rebitzer, G., Stewart, M., De Haes, H.U., Weidema, B., 2004. The LCIA midpoint-damage framework of the UNEP/SETAC life cycle initiative. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 9(6), 394-404.
- Kim, C.G., Jeong, H.G., Han, S.H., Kim, J.S., Moon, D.H., 2012. Impacts and countermeasures of climate change on food supply in Korea. Research Report R663. Korea Rural Economic Institute, Naju, Korea.
- Kim, D.H., 2017. Improvement of livestock environment for sustainable livestock. *World Agriculture*, 204, 45-63.
- Kim, M.R., 2011. The status of Korea's rice industry and rice processing industry. *The Korean Society of Food Science and Nutrition*, 16, 22-26.
- Lee, G.M., Inaba, A., 2004. Life cycle assessment ISO 14040 series practice guidelines. APEC, Singapore.
- McClelland, S.C., Arndt, C., Gordon, D.R., Thoma, G., 2018. Type and number of environmental impact categories used in livestock life cycle assessment: A systematic review. *Livestock Science*, 209, 39-45.
- Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., Altman, D.G., 2010. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. *International Journal of Surgery*, 8(5), 336-341.
- Mondello, G., Salomone, R., Neri, E., Patrizi, N., Bastianoni, S., Lanuzza, F., 2018. Environmental hot-spots and improvement scenarios for Tuscan "Pecorino" cheese using life cycle assessment. *Journal of Cleaner Production*, 195, 810-820.
- NAPES (National Air Pollutants Emission Service), 2020. National air pollutants emission. Cheong-Ju, Korea.
- Park, Y.S., Lee, K.M., Yang, S.H., 2015. Life cycle assessment of the domestic dairy cow system. *Journal of Korean Society of Environmental Engineers*, 37(1), 52-59.
- Saling, P., Kicherer, A., Dittrich-Krämer, B., Wittlinger, R., Zombik, W., Schmidt, I., Schrott, W., Schmidt, S., 2002. Eco-efficiency analysis by BASF: the method. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 7(4), 203-218.
- Salou, T., Le Mouél, C., Levert, F., Forslund, A., van der Werf, H.M., 2019. Combining life cycle assessment and economic modelling to assess environmental impacts of agricultural policies: The case of the French ruminant sector. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 24(3), 566-580.
- Statistics Korea, 2019. Agricultural production index (retrieved 2021.05.20.).
- Van Hoof, G., Vieira, M., Gausman, M., Weisbrod, A., 2013. Indicator selection in life cycle assessment to enable decision making: issues and solutions. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 18(8), 1568-1580.
- Villanueva-Rey, P., Vázquez-Rowe, I., Quinteiro, P., Rafael, S., Gonçalves, C., Moreira, M.T., Feijoo, G., Arroja, L., Dias, A.C., 2019. Regionalizing eco-toxicity characterization factors for copper soil emissions considering edaphic information for Northern Spain and Portuguese vineyards. *Science of the Total Environment*, 686, 986-994.