

서비스 상품 전과정평가에 대한 계량서지학적 연구동향 분석

김수아, 객민정*

송실대학교 산업·정보시스템공학과

Life Cycle Assessment of Service Products: A Bibliometric Literature Review

Suah Kim, Minjung Kwak*

Department of Industrial and Information Systems Engineering, Soongsil University, Korea

ABSTRACT

This study aims to analyze global research trends in the life cycle assessment (LCA) of service products. Using the Scopus database, we searched for LCA research published from 1970 to 2024 based on keywords, titles, and abstracts. A total of 23,970 records were obtained, of which 90.67% were published from 2010 to 2024, showing a significant increase across various fields during this period, with a CAGR of 13.6%. However, LCA research on service products was found to account for only 0.51% (122 records) of global LCA studies. Given the growing importance of the service industry and its environmental impact, it is evident that more active LCA research in the service sector is needed.

Key words: literature review, life cycle assessment, service industry, product-service system

요약

본 연구는 서비스 상품 대상 전과정평가(life cycle assessment, LCA) 연구동향을 분석한 문헌연구로서, 1970년부터 2024년까지 출판된 LCA 연구논문을 대상으로 글로벌 LCA 전반 및 서비스 상품 대상 LCA에 대한 계량서지학적 분석을 수행하였다. Scopus 문헌 데이터베이스를 통해 검색된 총 23,970개의 LCA 문헌 중, 2010년부터 2024년까지 수행된 연구가 전체의 90.67%를 차지하였으며, 이 기간 동안 연평균 성장률 13.6%의 뚜렷한 증가세가 확인되었다. 그러나 서비스 상품을 대상으로 한 서비스 LCA 연구는 전체의 0.51%에 해당하는 122건에 불과한 것으로 나타났다. 서비스 산업의 비중이 증가하고, 이로 인한 환경영향이 점차 중요해지고 있는 상황을 고려할 때, 서비스 분야의 LCA 연구가 더욱 활발히 이루어져야 함을 시사한다.

주제어: 전과정평가, 문헌연구, 서지분석, 서비스

1. 서론

Life cycle assessment(LCA)는 제품 및 서비스의 환경영향을 정량화된 수치를 제시하여 온실가스, 토양오염 등의 다양한 환경영향을 평가할 수 있는 강력한 도구 중 하나이다[1-3]. LCA 방법론은 제품 및 서비스를 시스템 범주부터 유닛 단위까지 각 단위별 특성을 고려하여 환경영향을 측정하고 평가할

수 있을 뿐만 아니라, 제품 또는 서비스의 수명주기 전 단계에서의 환경영향도 평가할 수 있어, 제품 및 서비스의 생애주기별 지속가능한 전략을 수립할 수 있다[3-6]. 이에 따라, 다양한 산업군에서 제품 및 서비스에 대한 LCA 연구를 활발히 수행하고 있으며, LCA 연구동향 파악을 위한 산업별, 지역별 LCA 연구동향 분석도 활발히 진행되어 왔다[3,7,8]. 그러나, 기존 LCA 문헌연구는 주로 유형의 제품이나 특정 산업분야에

Date Received: Jul. 26, 2024, Date Revised: Aug. 28, 2024, Date Accepted: Aug. 29, 2024

* Corresponding author: Minjung Kwak, Tel: +82-2-828-7033 E-mail: mkwak@ssu.ac.kr

© Copyright 2024 The Korean Society for Life Cycle Assessment. This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

집중하고 있어 서비스 분야에 대한 전반적인 LCA 연구동향 분석은 미흡한 실정이다. 이 연구에서는 Scopus 문헌 데이터베이스를 활용한 계량서지학적 분석을 통해 LCA 관련 전반적 연구동향 및 서비스 상품 대상 LCA(이하 서비스 LCA) 연구 동향을 살펴보고자 한다.

서비스 산업의 규모는 꾸준히 증가하고 있으며, 제조업의 서비스화로 인해 성장이 가속화되면서 서비스 산업에서 발생하는 환경부하 역시 증가하고 있다[9,10]. 이에 따라 서비스 상품에 대한 LCA의 필요성과 중요성은 점차 커질 것으로 예상된다. 따라서 본 연구에서는 LCA 연구동향 분석을 통해 서비스 LCA의 현황을 진단하고 향후 LCA 연구가 나아가야 할 방향을 논하고자 한다.

LCA 연구동향 분석에 앞서 2절에서는 LCA 연구동향 분석을 진행한 기존 문헌연구들을 간략히 살펴본다. 3절에서는 Scopus 데이터베이스를 활용한 LCA 전반 및 서비스 LCA 연구동향 분석 결과를 살펴보고, 4절에서는 연구의 결론 및 시사점을 제시한다.

2. LCA 연구동향에 대한 기존 문헌연구 고찰

LCA 연구는 1970년대부터 시작되어 현재까지 과학, 사회과학, 공학 등 다양한 분야에서 활발히 이루어지고 있으며, 이에 따라 LCA 연구동향을 파악하기 위한 다수의 선행연구가 수행되었다. Table 1은 LCA 연구동향 분석을 다룬 기존 문헌연구 사례를 보여준다.

Chen et al.[11]은 1998년부터 2013년까지 진행된 전반적인 LCA 연구동향을 분석하였으며, 주로 바이오연료, 공정설계, 폐기물관리 및 축산 분야에서 LCA 연구가 급증하고 있음을 확인하였다. He and Yu[12]는 1999년부터 2018년까지 20년 동안의 LCA 문헌을 분석하여 LCA 연구의 양적 증가 추세 및 공동연구 추이, 주요 연구 주제의 변화 등을 분석하였다.

Arushanyan et al.[13]은 정보통신기술(ICT) 제품 관련 LCA 문헌연구를 통해 대부분의 연구가 컴퓨터, 모니터, TV 제품군에 집중되어 있으며, 에너지 사용으로 인한 사용단계에서의 환경영향이 가장 높음을 확인하였다. Hou et al.[14]은 1998년부터 2013년 사이에 출판된 사회과학 분야의 LCA 연구동향을 분석하였다. Zanghelini et al.[15]은 1993년부터 2015년까지 브라질에서 진행된 LCA 연구동향을 분석하였으며, 바이오연료에 대한 LCA 연구가 주를 이루고 있음을 제시하였다. Geng et al.[16]은 2000년부터 2014년까지 건물에 대한 LCA 연구동향을 분석하였으며, 건물의 LCA 영향평가는 주로 에너지 사용 평가가 주를 이루고 있음을 논하였다.

Takacs et al.[17]은 식음료 서비스 산업의 LCA 연구동향을 조사하고, 대부분의 연구가 영국이나 유럽의 사례연구에 집중되어 있음을 제시하였다. Sabour et al.[18]은 1997년부터 2021년까지 진행된 콘크리트와 모터에 대한 LCA 연구동향을 분석하였다. Isah et al.[19]은 1992년부터 2022년까지 아프리카에서 진행된 LCA 연구동향을 분석하여, LCA가 진행된 주요 산업군과 연구를 가장 활발히 한 주요 저자들을 제시하였다.

Sarashini et al.[20]은 제품과 서비스가 결합된 형태의 상품을 지칭하는 제품-서비스 시스템(product-service system, PSS)의 환경영향에 대한 문헌연구를 수행하였다. 공유, 임대, 리스 등의 PSS 모델을 적절히 활용할 경우 환경영향을 현저히 줄일 수 있으며, 이를 위해서는 내구성과 같은 제품의 특성, 유지관리, 에너지 공급과 같은 주요 요인에 대한 관리가 필수적임을 강조하였다.

전 세계적으로 환경오염과 환경영향평가에 대한 중요성이 증대됨에 따라 다양한 분야에서 LCA 연구가 활성화되고 있으며, 이에 따른 문헌연구도 꾸준히 이루어지고 있다. 그러나 Table 1의 사례에서 볼 수 있듯이, 기존의 LCA 문헌연구는 유형의 제품이나 건축물을 대상으로 하거나 특정 산업 분야에 집중된 분석이 주를 이루고 있어 서비스 분야 전반에 대한 연구동향을 파악하기에는 상대적으로 미흡한 실정이다. 이에 본 연구에서는 글로벌 LCA 및 서비스 LCA에 대한 계량서지학적 분석을 통해 서비스 상품 대상 LCA의 연구현황을 진단하

Table 1. Relevant studies on LCA research trends

Author	Year	Research area	Data collection
Chen et al. [11]	2014	Global LCA	WoS
He and Yu [12]	2020	Global LCA	WoS
Yevgeniya et al. [13]	2014	ICT Service	Scopus
Hou et al. [14]	2015	Social Science	SCI, SSCI, CPCI-S, CPCI-SSH
Zanghelini et al. [15]	2016	Region of Brazil	ISI, SCIE, SSCI
Geng et al. [16]	2017	Building	SCI, SSCI
Berill et al. [17]	2020	Food & beverage service	Scopus, WoS
Sabour et al. [18]	2022	Concrete, motor	Scopus
Isah et al. [19]	2024	Region of Africa	Scopus
Sarasini et al. [20]	2024	Product-service system (PSS)	Scopus

고, 향후 서비스 분야 LCA 연구의 필요성을 논하고자 한다.

3. 서비스 상품 대상 LCA 연구동향 분석

3.1. 글로벌 LCA 연구동향

글로벌 LCA 연구동향을 분석하기 위해 LCA 연구문헌이 등장하기 시작한 1970년부터 2024년까지의 문헌을 대상으로 분석을 수행하였다. 본 연구에서는 논문의 종류를 article로 한정하였으며, 논문의 제목 또는 초록에 “life cycle assessment”, “life cycle analysis”, 또는 “LCA”를 포함하는 논문들을 1차적으로 선별하였다. 이후, 저자가 선정한 키워드에 “life cycle assessment”, “life cycle assessment (LCA)”, “life cycle analysis”, “LCA”, “environmental impact”, “environmental impact assessment” 중 하나 이상이 포함된 논문을 최종 분석에 포함시켰다. Scopus 검색에 사용된 쿼리는 Table 2에 제시되어 있으며, 2024년 8월 27일 기준으로 총 23,970개의 문헌 데이터가 수집되었다.

Fig. 1과 Fig. 2에서 볼 수 있듯이, 총 23,970개의 LCA 연구는 1983년 최초 데이터를 시작으로 2024년까지 시간의 흐름에 따라 증가하는 경향을 보였다. LCA 연구가 가장 활발히 이루어진 해는 2023년으로, 약 2,562개의 연구가 수행되었다. 그러나 2024년의 데이터가 8월까지의 문헌만 포함함에도 총 문헌 수가 2023년과 큰 차이가 없다는 점을 고려하면, 2024년이 전체 기간 중 LCA 연구가 가장 활발하게 진행된 해로 기록될 가능성이 높다.

데이터를 세부적으로 살펴보면, 1980년부터 1989년까지 이루어진 LCA 연구는 총 2건(0.01%)에 불과했고, 1990년부터 1999년까지는 357건(1.49%), 2000년부터 2009년까지는 1,878건(7.83%)이 수행되었다. 2010년부터 2019년까지는 10,605건(44.24%), 그리고 2020년부터 현재(2024년 8월 기준)까지는 총 11,128건(46.42%)이 이루어져, 2010년 이후 진

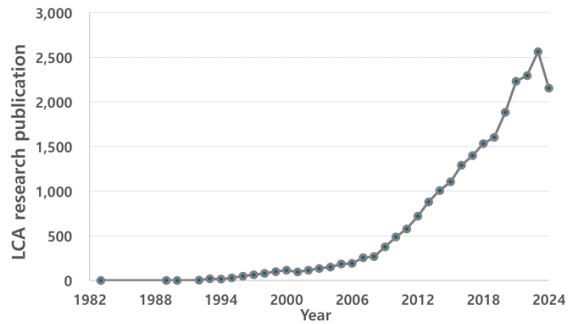


Fig. 1. Trend of global LCA research.

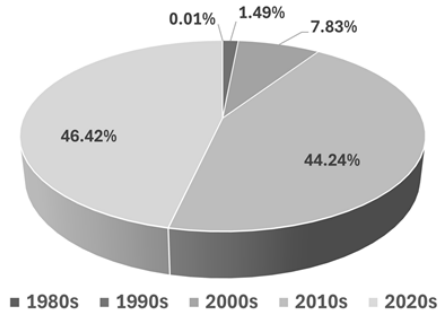


Fig. 2. LCA research by publication year.

행된 LCA 연구가 전체 연구의 약 90.67%를 차지했다. 8개월치 데이터만을 포함하는 2024년을 제외하고 2010년부터 2023년까지의 연평균 성장률(CAGR)을 계산한 결과, 약 13.6%로 나타났다.

Fig. 3은 LCA 연구가 가장 활발히 수행된 상위 10개의 연구분야를 보여준다. 주요 연구분야는 환경과학(environmental science), 에너지(energy), 공학(engineering), 경영관리 및 회계(business management and accounting), 사회과학(social science), 화학공학(chemical engineering), 농업 및 생명과학

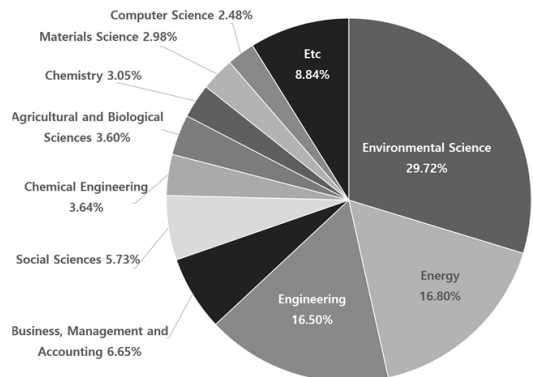


Fig. 3. Top 10 key research areas of LCA.

Table 2. Query for LCA research trend analysis

Query	(TITLE-ABS ("life cycle assessment" OR "life cycle analysis" OR "LCA") AND PUBYEAR > 1969 AND PUBYEAR < 2025 AND (LIMIT-TO (EXACTKEYWORD, "Life Cycle Assessment (LCA)") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD, "Life Cycle Assessment") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD, "Environmental Impact") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD, "Life Cycle Analysis") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD, "LCA") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD,"Environmental Impact Assessment")) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE,"ar")))
-------	---

(agricultural and biological sciences), 화학(chemistry), 재료 과학(materials science), 컴퓨터 과학(computer science) 순으로 나타났다. 이 중 상위 3개 분야의 문헌비율은 63.02%로, 환경과학, 에너지, 공학이 각각 29.72%, 16.80%, 16.50%를 차지하고 있다.

Table 3에서 국가별 LCA 연구동향을 살펴보면, LCA 연구는 138개국에서 진행되었다. 국가별 출판물 수를 전체 문헌 수인 23,970개로 나누어 LCA 연구비율을 산정한 결과, 미국 (15.25%), 중국(14.79%), 이탈리아(10.21%), 스페인(8.32%), 영국(7.33%) 순으로 LCA 연구비율이 높게 나타났다. 반면, 한국이 참여한 LCA 연구는 약 1.36%에 해당하는 402건으로 22위를 차지하고 있어 LCA 연구가 다른 국가에 비해 상대적으로 적은 것을 확인할 수 있었다. 전 세계적으로 환경영향 평가에 대한 관심과 중요성이 커지고 있음을 고려할 때, 한국에서도 다양한 분야에서의 LCA 연구가 더욱 활발하게 이루어져야 함을 시사한다.

3.2. 서비스 LCA 연구동향

3.2절에서는 3.1절에서 분석한 글로벌 LCA 연구 중 서비스 LCA 연구동향을 살펴본다. 이를 위해 앞서 검색한 총 23,970개의 논문 중 제목에 “service”가 들어가 있는 논문을 추출하였다. 단, 본 논문에서 다루고자 하는 서비스 상품의 범주를 벗어나는 생태계 서비스(ecosystem service), 건축자재 또는 건물관리, 수명관리 관련 문헌을 제외하기 위하여 제목에 “ecosystem service”, “ecological service” “building”, “service lifetime”, “service lifespan”, “life assessment” 등을 포함한 논문과 키워드에 “service life” 또는 “service life prediction”을 포함한 논문은 제외하였다. 문헌검색을 위해 적용한 세부 쿼리는 Table 4와 같으며, 이를 통해 총 130개의 문헌이 검색되었다. 이후 연구자의 문헌 적절성 검토를 통해 서비스 LCA가 아닌 연구(총 8건)를 제외하였다.

서비스 LCA 연구는 1999년 최초 등장하였으며, 2024년까지 총 122개의 문헌이 검색되었다. 이는 글로벌 LCA 문헌의 약 0.51%에 불과한 수준으로, 서비스 분야의 LCA 연구가 거의 이루어지지 않고 있음을 나타낸다. 그러나 서비스 산업의 성장과 함께 환경부하가 증가할 것으로 예상되고, 고객과의 상호작용으로 인해 유형 제품보다 시스템 범위설정이 어렵고 복잡도가 매우 높다는 서비스 상품의 특성을 고려하면, 서비스 LCA 연구가 보다 활성화되어야 함을 시사한다.

이러한 맥락에서 서비스 LCA 연구가 2020년대 들어 점차 증가하는 추세라는 점은 긍정적이다(Fig. 4). 서비스 분야의 LCA 연구는 주로 2010년 이후에 집중되어 있는데, 2000년부터

Table 3. LCA research rate for top 10 countries

No.	Country	Research ratio (%)
1	United States	15.25
2	China	14.79
3	Italy	10.21
4	Spain	8.32
5	United Kingdom	7.33
6	Germany	6.80
7	France	4.83
8	Canada	4.39
9	Sweden	4.22
10	Netherlands	3.89
11	Australia	3.62
12	Switzerland	3.56
13	Brazil	3.52
14	Denmark	3.44
15	India	3.02
16	Japan	2.64
17	Belgium	2.53
18	Portugal	2.34
19	Iran	2.04
20	Norway	1.90
21	Poland	1.70
22	South Korea	1.68
23	Finland	1.67
24	Malaysia	1.54
25	Turkey	1.36
26	Greece	1.31
27	Austria	1.28
28	Thailand	1.26
29	Hong Kong	0.93
30	Ireland	0.91

2009년까지 이루어진 서비스 LCA 연구는 총 18건(14.75%)인 반면, 2010년부터 2019년까지 진행된 연구는 49건 (40.16%), 2020년부터 2024년까지 진행된 연구는 총 54건 (44.26%)으로 나타났다. 향후 서비스 LCA 분야의 연구가 점차 증가할 것으로 기대되는 바이다.

Table 4. Query for service LCA research trend analysis

TITLE (service AND NOT "ecosystem service" AND NOT "service lifetime" AND NOT "service lifespan" AND NOT "ecological service" AND NOT "life assessment") AND TITLE-ABS ("life cycle assessment" OR "life cycle analysis" OR "LCA") AND PUBYEAR > 1969 AND PUBYEAR < 2025 AND (LIMIT-TO (DOCTYPE, "ar")) AND (LIMIT-TO (EXACTKEYWORD, "Life Cycle Assessment (LCA)") OR Query LIMIT-TO (EXACTKEYWORD, "Life Cycle Assessment") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD, "Environmental Impact") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD, "Life Cycle Analysis") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD, "LCA") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD, "Environmental Impact Assessment") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD, "Service Life") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD, "Service Life Prediction"))

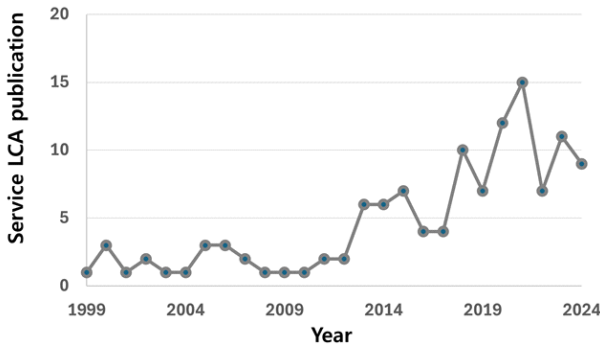


Fig. 4. Trend of global LCA research.

Fig. 5는 제목과 초록을 기준으로 130건의 서비스 LCA 문헌의 연구주제를 분류한 결과이다. 분석 결과, 서비스 산업에서 가장 큰 비중을 차지하는 연구분야는 PSS로, 총 26건의 문서가 검색되었으며 전체의 약 21.31%를 차지했다. 다음으로는 식음료 서비스(food) 19건(15.57%), 에너지(energy) 16건(13.11%), 전반적인 서비스 시스템을 대상으로 하는 일반적인 서비스(general) 12건(9.84%), 모빌리티 서비스(mobility) 9건(7.38%), ICT 서비스 8건(6.56%), 건축 서비스(building) 8건(6.56%), 의료 서비스(medical) 6건(4.92%), 상하수도과 같은 도심시설과 관련된 공공서비스(public) 5건(4.10%), 기타 8건(10.66%)으로 나타났다. 여기서 기타 서비스 분야는 검색된 문헌 중 5건 미만의 서비스 분야를 합한 것으로, 세부적으로 살펴보면 폐기물 4건, 운송서비스 3건, 교육 2건, 세탁서비스 2건, 호텔서비스 1건, 농업서비스 1건으로 분류되었다.

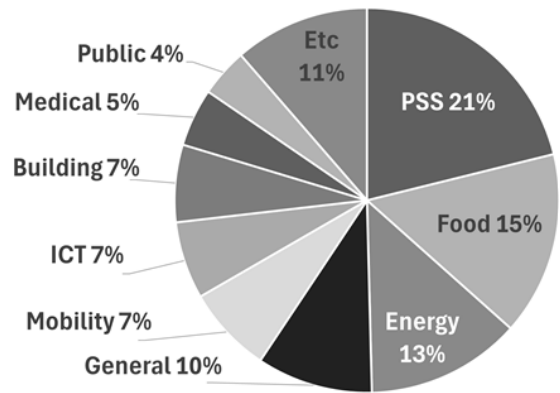


Fig. 5. Service LCA by research topic.

서비스 LCA 연구 주요 국가는 미국, 독일, 이탈리아, 영국, 스페인, 중국 순으로 나타났다. 반면 한국이 참여한 서비스 LCA 연구는 단 1건으로 집계되었다.

4. 결론 및 시사점

본 연구에서는 1983년부터 2024년까지 출판된 LCA 연구 논문을 대상으로 글로벌 LCA 전반 및 서비스 LCA에 대한 계량서지학적 분석을 수행하였다. Scopus 문헌 데이터베이스에서 검색한 결과, 총 23,970개의 LCA 문헌이 확인되었으며, LCA 연구가 꾸준히 증가하고 있음을 확인할 수 있었다.

그러나 LCA 연구가 이처럼 활발히 진행되고 있음에도 불구하고, 한국이 참여한 LCA 연구는 전체의 단 1.68%에 불과했다. 기후변화와 관련된 다양한 활동의 주체가 되어 글로벌 이니셔티브를 이끌어가는 주요 선진국인 한국은 다양한 산업군에 대한 LCA 연구를 보다 적극적으로 수행할 필요가 있다.

한편, 서비스 LCA 연구는 전체 LCA 연구의 0.51%에 해당하는 122건에 불과한 것으로 나타났다. 서비스 산업이 지속적으로 성장하고 있는 점을 감안할 때, 서비스 LCA에 대한 수요는 더욱 증가할 것으로 예상되며, 이에 따른 서비스 LCA 연구의 활성화가 필요함을 확인할 수 있었다. 향후 서비스 상품의 고유한 특성을 반영한 서비스 LCA 방법론을 개발하여, 서비스 분야에서 발생하는 환경영향을 측정하고 감축하는 연구가 이루어져야 할 것이다.

본 논문은 쿼리에 기반한 문헌검색을 수행하였기에, 제목, 초록, 저자 키워드에 본 연구에서 지정한 “life cycle assessment”, “LCA” 등의 단어가 포함되지 않은 문헌은 누락될 수 있다는 한계를 지닌다. 보다 정확한 분석을 위해서는 더욱 정교한 쿼리를 개발하고, 검색을 통해 추출한 LCA 문헌의 적절성을 검토하는 절차가 강화되어야 할 것이다. 또한 본 논문

서는 계량서지학적 양적연구에 중점을 두었으나, 추후 각 LCA 사례와 연구 내용을 심층적으로 분석하는 체계적 질적 연구가 이루어진다면, 서비스 LCA 분야의 학문적 발전과 실제 적용 가능성을 더욱 증진시킬 수 있을 것이다.

References

1. Mostafaei, H., Keshavarz, Z., Rostampour, M.A., Mostofinejad, D., Wu, C. Sustainability evaluation of a concrete gravity dam: life cycle assessment, carbon footprint analysis, and life cycle costing. *Structures* 53, pp. 279-295 (2023).
2. Kylili, A., Fokaides, P.A. Life cycle assessment (LCA) of phase change materials (PCMs) for building applications: a review. *Journal of Building Engineering* 6, pp. 133-143 (2016).
3. Forst, L., Goldsworthy, K., Hildenbrand, J., Sánchez Domene, D. Lifecycle design: a method for supporting design decision-making with LCA knowledge in an interdisciplinary research project. *Proceedings of the 5th PLATE, Aalto University, Finland, 31 May-2 June 2023* (2023).
4. Kulatunga, A.K., Karunatilake, N., Weerasinghe, N., Ihalawatta, R.K. Sustainable manufacturing based decision support model for product design and development process. *Procedia CIRP* 26, pp. 87-92 (2015).
5. Suppipat, S., Teachavorasinskun, K., Hu, A.H. Challenges of applying simplified LCA tools in sustainable design pedagogy. *Sustainability* 13(4), p. 2406 (2021).
6. Barbhuiya, S., Das, B.B. Life cycle assessment of construction materials: methodologies, applications and future directions for sustainable decision-making. *Case Studies in Construction Materials*, p. e02326 (2023).
7. Torcătoru, C., Săvescu, D., Repanovici, A. Literature review by scientometric methods on the impact of the circular economy on sustainable industrial products. *Sustainability* 14(9), p. 5084 (2022).
8. Curran, M. A. Life cycle assessment: a review of the methodology and its application to sustainability. *Current Opinion in Chemical Engineering* 2(3), pp. 273-277 (2013).
9. Roberts, S.H., Foran, B.D., Axon, C.J., Stamp, A.V. Is the service industry really low-carbon? energy, jobs and realistic country GHG emissions reductions, *Applied Energy* 292, p. 116878 (2021).
10. Korea Policy Briefing. Service industry innovation strategy. <https://www.korea.kr/special/policyCurationView.do?newsId=148864599> (accessed 12 March 2020).
11. Chen, H., Yang, Y., Yang, Y., Jiang, W., Zhou, J. A bibliometric investigation of life cycle assessment research in the web of science databases, *The International Journal of Life Cycle Assessment* 19(10), pp. 1674-1685 (2014).
12. He, X., Yu, D. Research trends in life cycle assessment research: a 20-year bibliometric analysis (1999–2018). *Environmental Impact Assessment Review* 85, p. 106461 (2020).
13. Arushanyan, Y., Ekener-Petersen, E., Finnveden, G. Lessons learned-review of LCAs for ICT products and services. *Computers in Industry* 65(2), pp. 211-234 (2014).
14. Hou, Q., Mao, G., Zhao, L., Du, H., Zuo, J. Mapping the scientific research on life cycle assessment: a bibliometric analysis. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 20(4), p. 541 (2015).
15. Zanghelini, G.M., De Souza Junior, H.R.A., Kulay, L., Cherubini, E., Ribeiro, P.T., Soares, S.R. A bibliometric overview of brazilian LCA research. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 21(12), p. 1759 (2016).
16. Geng, S., Wang, Y., Zuo, J., Zhou, Z., Du, H., Mao, G. Building life cycle assessment research: a review by bibliometric analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 76, p. 176 (2017).
17. Takacs, B., Borrión, A. The use of life cycle-based approaches in the food service sector to improve sustainability: a systematic review. *Sustainability* 12(9), p. 3504 (2020).
18. Sabour, M.R., Asheghian Amiri, E., Akbari, M., Sadeghi-Sheshdeh, A. A bibliometric analysis of research trends in life cycle assessment of fresh concrete and mortar during 1997–2021. *Environmental Science and Pollution Research* 29(47), p. 71894 (2022).
19. Isah, M.E., Zhang, Z., Matsubae, K., Itsubo, N. Bibliometric analysis and visualisation of research on life

cycle assessment in Africa (1992–2022). The International Journal of Life Cycle Assessment 29(7), p. 1339 (2024).

20. Sarasini, S., Bocken, N., Diener, D., Velter, M., Whalen,

K. Reviewing the climatic impacts of product service systems: implications for research and practice. Journal of Cleaner Production p. 142119 (2024).

