

# 전과정평가(LCA)와 간략전과정평가(S-LCA)의 비교분석 및 철도산업에의 활용방안

## Comparison Analysis of Life Cycle Assessment and Simplified-LCA and Application Scheme on Rail Industry

양윤희\* 이건모\*\* 정인태\*\*\* 김용기\*\*\*\*  
Yang, Yun-Hee Lee, Kun-Mo Jeong, In-Tae Kim, Yong-Gi

### ABSTRACT

According to the ISO 14040(1997), Life Cycle Assessment is not the tool only focusing on the emissions from the manufacturing processes of a product, but the tool also expressing environmental adverse impact quantitatively through product's entire life cycle (i.e. raw material acquisition, manufacturing, transportation, use, and end-of-life stage). Because the LCA for EMUs(Electrical Multiple Units), however, requires astronomical time and cost for collecting big amount of data it is inevitable to bring in the simplified LCA methodology. In this study, we introduced standardized methodology of LCA in the world, and found appropriate S-LCA methodology for EMUs. Furthermore, we recommended how to evaluate the environmental impact of EMUs in detail and precisely, using the S-LCA.

### 1. 서론

최근 들어 전 세계는 지속적인 기술혁신과 경제성장을 바탕으로 대량소비를 행하고 있고, 이 과정에서 환경파괴는 가속화되고 있다. 기업 활동의 핵심인 산업활동 및 서비스의 증가는 이에 수반되는 제품 생산을 위하여 원자재의 취득에서부터 최종제품의 제조 및 폐기과정까지의 전과정에서 환경오염물질을 배출하고 있는 동시에 다량의 에너지 및 원자재를 사용하여 자원소모를 촉진시키고 있으며, 그 결과 '지속가능한개발(Sustainable Development)'에 장애요인이 되고 있다.

이에 대하여, 국제적으로 ISO(International Organization for Standardization)에서는 전과정평가(Life

---

\* 아주대학교 석사과정, 학생회원

\*\* 아주대학교 박사과정, 학생회원

\*\*\* 아주대학교 교수, 회원

\*\*\*\* 한국철도기술연구원 연구원, 정회원

Cycle Assessment; LCA) 기법이 표준화 되었으며(ISO 14040, 1997), 국내에서는 이 표준에 따라 여러 기업에서 전과정평가 기법을 습득하여 기업 활동에 적용하는 활동이 활발히 진행되고 있다. 하지만 LCA를 수행하는데 있어서, 많은 시간과 비용이 요구되는 이유로, 산업체에서 자발적으로 LCA를 수행하는 것에 대한 부담이 크다. 특히 전동차량에 대한 LCA는 무수히 많은 부품 수에 따른 방대한 양의 데이터를 필요로 하고, 긴 내구연수로 인한 유지/보수 상태의 불일치성, 전력사용량에 대한 불확실성 등으로 세부적인 LCA 수행이 현실적으로 불가능하게 간주되어 왔다.

S-LCA는 이와 같은 부담을 줄여 효율적이고 시간과 비용 및 LCA 수행자의 노력을 저감하여, 현실적으로 특정 제품에 대한 환경성 평가를 가능하게 한다. 본 연구에서는 이러한 S-LCA의 방법론을 철도차량의 환경성 평가에 적용할 수 있는 방안과, S-LCA 수행 후의 좀 더 세부적인 진행방향에 대하여 살펴보았다.

## 2. 전과정평가(LCA) 방법론

### 2.1 목표 및 범위정의(Goal and Scope Definition)

목표 및 범위정의는 LCA의 첫 번째 단계로 연구목적이 무엇이며, 결과를 어디에 적용할 것인가를 설정하는 과정이다. LCA는 사용목적에 따라 수집하는 자료, 분석방법, 결과 등이 달라지기 때문에 먼저 LCA를 어떤 목적으로 사용할 것인지를 명확히 해야 한다. 연구의 범위에는 시스템 경계, 기능단위(functional unit), 영향평가 방법, 데이터의 요구조건, 연구의 가정 및 제한요인 등이 포함된다. 연구범위의 폭과 깊이는 목표정의에서 설정한 바를 충분히 다룰 수 있도록 설정해야 하며, 모든 설정과 가정은 근거를 제시하여 투명성이 보장될 수 있도록 해야 한다.

### 2.2 목록분석(Inventory Analysis)

목록분석은 연구범위에서 설정한 시스템을 대상으로, 시스템으로 들어오고 나가는 모든 에너지, 원료, 제품, 부산물 및 환경오염물 등의 종류와 양을 기록하여 목록화 하는 과정으로 환경부하를 계산하는 과정이다. 즉, 전과정 목록분석은 그림 1에 나타낸 것처럼 시스템으로 투입되는 input 항목과 배출되는 output 항목을 정량화하는 과정이다.

목록분석 단계는 일반적으로 process tree 작성, 데이터 수집, 각 공정별 환경부하 계산 및 합산 과정으로 이루어진다. 데이터의 수집에는 방대한 시간과 노력이 요구되기 때문에 현장데이터의 수집과는 별도로 대상제품의 제조공정과 유사한 제품의 문헌데이터와 데이터베이스를 활용한다.

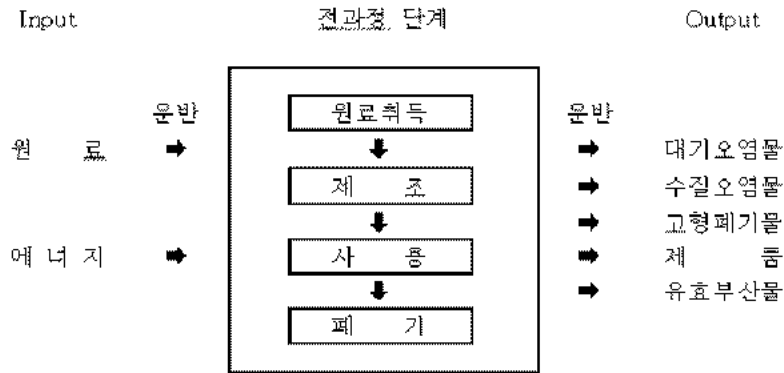


그림 1. 목록분석 대상 시스템 모식도

### 2.3 영향평가(Impact Assessment)

영향평가는 목록분석 단계에서 작성된 지표(input/output 항목)들이 환경에 미치는 잠재적인 영향을 평가하는 과정이다. 영향평가는 분류화, 특성화 및 가중치 부여의 세 단계로 구성된다. 분류화란 영향평가의 첫 번째 단계로서, 목록분석에서 도출된 항목 중 유사한 환경영향을 나타내는 항목들을 하나의 환경영향범주로 묶는 과정이고 특성화는 각각 영향범주 내의 값을 하나의 단위로 정량화하는 과정이다. 가중치 부여는 각각의 영향범주들이 환경전반에 미치는 영향을 고려하여 영향범주간에 상대적인 중요도(weight)를 부여함으로써, 환경영향 값을 하나의 지수(Indicator) 형태로 나타내는 과정이다.

### 2.4 결과해석

전과정 결과해석은 도출된 inventory 결과 또는 영향평가 결과를 토대로 주요한 환경상의 이슈를 찾는 과정, 완전성, 민감도 및 일관성 검사를 통한 LCA 결과 평가, 그리고, LCA 결과를 토대로 제품의 환경성 개선을 위한 제안을 하는 단계이다.

## 3. 간략전과정평가(S-LCA) 방법론

LCA를 통해 제품의 전과정동안의 환경부하를 계산하기 위해서는 수많은 데이터를 수집하고 가공해야 하므로 많은 시간과 비용이 요구된다. 이러한 이유로 산업체 내의 LCA 사용자들에게 많은 비판을 받아왔다. S-LCA(Simplified LCA)는 이러한 LCA의 단점을 저감시키려는 목적으로 만들어졌다. 즉, S-LCA는 제품의 환경성 평가에 필요한 시간과 비용을 최소화 하면서, LCA 수행목적에 부합하는 범위 내에서 제품 전과정동안의 환경부하를 정확하게 평가한다는 서로 상반된 개념의 두 가지 요소를 포함하고 있다 (Christiansen et al, 1997). S-LCA 방법론은 크게 두 가지로 분류할 수 있는데, 하나는 데이터 수집의 노력을 저감시키는 것이고, 다른 하나는 정성적인 간략화이다.

### 3.1 데이터 수집의 노력 저감방법

데이터 수집의 노력 저감방법은 방대한 양의 데이터를 수집해야 하는 LCA의 단점을 보완하기 위한 접근방법으로, 본 방법의 예를 다음에 나타내었다.

#### (1) 유사 데이터의 대용(代用)

LCA를 수행하는데 필요한 특정 데이터를 수집하는데, 그 중요성에 비해 많은 시간과 비용이 소비될 경우, 유사한 물질, 모듈 및 공정으로 대체하여 사용하는 방법이다.

#### (2) 특정 전과정단계 생략

제조공정 외의 **upstream process**와 **downstream process** 모두를 제외한 **gate-to-gate** 방법은 기업 내부의 제품생산 프로세스와 관련된 환경문제를 파악하고 개선하는데 중점을 두고자 할 때 사용되는 방법이고, **downstream process**를 제외한 **Cradle-to-gate** 방법은 **gate-to-gate** 방법에 원료물질 및 에너지와 같은 투입물의 환경영향을 고려한 방법으로 원/부자재 등의 물질 대체로 인한 제품 환경성을 개선하고자 할 경우나, 사용 및 폐기단계의 환경영향이 비교적 적거나 없다고 판단될 경우 주로 사용되는 방법이다(Todd et al., 1999).

#### (3) 특정 목록 파라미터 및 영향범주의 생략

여러 개의 영향범주 중에서 LCA 목적에 맞게 특정 영향범주만을 LCA 수행에 포함시키는 방법으로, 특정 영향범주는 일반적으로 사회적으로 이슈화 되고 있는 영향범주를 포함시킨다. 이렇게 특정 영향범주만을 포함시킬 경우, 제외된 환경영향을 야기하는 목록 파라미터도 자연히 LCA 수행에서 제외된다.

### 3.2 정성적인 간략화 접근방법

정성적인 간략화 접근방법은 정량적인 데이터 획득이 불가능하거나, LCA 목적에 대하여 큰 비중을 차지하지 않는다고 판단될 때, 정성적 정보를 수집하여 사용하는 방법이다. 정성적인 간략화 접근방법의 예를 아래에 나타내었다.

#### (1) 유해물질만을 고려

제품 시스템에 투입 및 배출되는 물질 중, 인체나 환경에 유해한 물질들만을 고려하는 방법으로, 유해 물질을 사용하거나, 유해물질이 배출되는 공정만을 시스템 경계에 포함시키는 방법이다.

#### (2) 정량적 정보 대신 정성적 정보사용

정량적인 데이터는 종종 산출하기가 매우 어렵기 때문에, 정성적인 데이터가 LCA 수행목적에 부합하면서, 잠재적인 환경영향을 산출할 수 있을 때, 이 방법이 적용된다.

#### (3) 전과정 영향평가 분석(Life Cycle Impact Assessment; LCIA) 생략

‘적을수록 좋다’라는 논리에 입각하여, LCA의 중요한 단계인 영향평가 분석을 생략하고, 목록 파라미

터의 양이 적은 제품이 환경적으로 건전하다는 결론을 도출할 경우 사용한다. 이는 비교 LCA를 수행할 때 종종 사용되는 방법이다.

데이터 수집의 노력 저감방법을 적용하던, 정성적인 간략화 접근방법을 사용하던, S-LCA는 LCA 수행 목적에 맞게 특정 부분을 생략하거나 간략화 함으로써, LCA를 수행하는데 있어서 많이 소비되는 비용과 시간을 절약해야 한다. 따라서 전과정평가를 간략하게 하기 위해서는 전과정평가의 첫 번째 단계인 목표 및 범위정의 단계에서 연구수행의 목적과 범위를 정확히 함과 동시에 어떻게 간략화 시킬 것인가를 결정하는 것이 중요하다. S-LCA의 장단점을 도표 1에 나타내었다.

도표 1. S-LCA의 장단점 분석

S-LCA 장점	S-LCA 단점
적은 시간을 투자하여 환경영향을 평가할 수 있다.	특정 부분의 수행 생략으로 LCA에 대한 불확실성이 크다.
데이터 수집을 위한 인력이 많이 소요되지 않기 때문에 경제적으로 환경영향을 평가할 수 있다.	정성적 데이터 사용시 LCA 수행자에 따른 결과값의 차이가 현저하게 있을 수 있다.
제품 설계기간 중에 특정 제품에 대한 환경성 평가를 수행하여, 즉각적으로 설계를 변경할 수 있다.	전체적인 물질흐름을 추적할 수 없어 특정 제품에는 적용될 수 있으나, 그렇지 않은 경우도 존재한다.

#### 4. 전동차량의 S-LCA 방향 모색

전동차의 경우 그 부품수가 4만 2천여 중에 달하고, 각 부품을 구성하는 물질의 구조도 매우 복잡하여, 투입되는 물질 및 에너지의 양 및 폐기물 및 대기/수계 배출물의 양을 세부적으로 측정하는데 천문학적 인 비용과 시간이 소요될 것으로 예상된다. 이 때문에 전동차에 대한 환경영향을 평가하는데 있어서, LCA 수행목적에 부합하면서, 불확실성을 최대한 줄일 수 있는 S-LCA 방법론을 적용시키는 것이 바람직하다.

전동차를 구성하는 대차(Bogie)의 경우 주 구성물질이 ‘일반구조용 압연강재(SS400)’, ‘고탄소강(SSW2)’, ‘고탄소강 2종(SFA60)’, ‘탄소주강폼(SC450)’ 등으로 투입되는 철강물질의 종류는 매우 다양하나, 각 철강의 구성물질을 조사해 본 결과 그 성상에는 별 차이점이 없어 각각의 철강 제품을 단일재질로 간주해도, 환경적으로 큰 차이점이 없다고 예상된다. 대차에 투입되는 철강물질과 마찬가지로, 차체를 구성하는 여러 물질의 경우도 이와 마찬가지로 물질 종류는 다르지만 그 성상이 흡사하여 같은 종류의 물질로 간주할 수 있다. 투입되는 물질뿐만 아니라, 제품 시스템에 투입되는 에너지의 양도 유사 데이터를 사용하거나, 적절한 가정을 내세운 간략화를 수행할 수 있다. 전동차의 제품 시스템에 투입되는 물질 및 에너지뿐만 아니라, 제품 시스템 내에서의 운송이나 제품 시스템에서 나오는 폐기물 및 대기/수계 배출물 또한 간략화를 할 수 있다.

## 5. 결론

전동차에 대한 전과정평가를 수행하기 위해서는 전동차에 대한 수많은 데이터가 필요하고, 그 데이터를 수집하기 위해서는 전문학적인 비용과 시간, 그리고 LCA 수행자의 노력이 요구된다. 따라서 전동차에 대한 전과정평가 수행의 목적과 범위를 확실하게 결정하고, 간략화 방법을 모색하여, 시간과 비용을 최소화 하면서, 전과정평가 수행 목적 모두를 만족시키는 것이 바람직하다. 그리고 더 세부적이고 정확한 전동차에 대한 환경영향을 평가해야 할 경우에는, S-LCA를 통해서 도출된 주요 환경적 이슈에 대해 중점적으로 전과정평가를 수행함으로써, 주요 환경적 이슈를 더 효율적이고, 경제적으로 도출할 수 있다.

## 6. 참고문헌

1. ISO(1997), "ISO 14040; Environmental management - Life Cycle Assessment- Principles and Framework"
2. Thomas E. Graedel(1998), "Streamlined Life-Cycle Assessment", Bell Laboratories, Lucent Technologies, pp. 87~97
3. Kun-Mo Lee, "Ecodesign - Best Practice of ISO/TR 14062", Ajou University
4. 한국철강협회(1999), 철강제품 가이드북
5. 건설교통부(1997), 전동차 표준사양 연구보고서 (분야: 전동차 시스템)