

전동차 환경성 진단을 위한 DB구축 방향

Establishment of DB for Environmental Impacts Evaluation of Electric Motor Unit (EMU)

김용기* 이재영* 윤희택* 천윤영**

Kim, Yong Ki Lee, Jae Young Yoon, Hee Tak Chun, Yoon Young

ABSTRACT

The sustainable development is a key issue in the field of economy, culture and society. The national environmental production system has been established to reduce environmental impact and to foster the environmental-friendly industry. Recently, life cycle assessment (LCA) has been applied to evaluate the environmental performance of a product through its life cycle from resource to disuse. The LCA method can be utilized effectively to improve environmental problems and to prevent contamination instead of end-of-pipe treatment. The railway is the most environmental-friendly transportation system compared to others. However, the effort to minimize the environmental impact of railway should be continued to keep its role as core public transportation. For electric motor units (EMUs), their demand will be increased continuously due to their speed and punctuality. In this research, life cycle inventory (LCI) database was established for main parts of EMU to assess and improve EMUs' environmental performance. The main materials with each part of EMU were chosen and simplified LCA was performed to evaluate environmental impact quantitatively. All of results in this study were based on 1 car of T-car (bogie, car-body and interior panel). This research provides not only the result of LCA for each phase but several functions such as automatically computing of total weight, comparing environmental index and assessment results according to impact categories, figuring out some key issues and preparing a report the results.

1. 서론

21세기 지속가능발전은 국제사회의 주요 경제, 문화, 사회적 이슈로 대두되고 있다. 환경부하의 저감 및 환경친화적 산업육성을 위한 국가차원의 환경생산체계 구축이 시급하게 진행되고 있다. 최근 국내의 환경문제의 변화는 오염이 발생한 후 사후처리의 기술을 탈피하여 제품이나 공정의 개발단계에서 환경성을 고려하는 전과정 평가(LCA)기법을 이용한 환경영향 평가기법으로 제품의 생산단계에서부터 폐기단계까지 전과정에 걸쳐 제품에 대한 환경성을 평가하여 환경문제를 개선하고 제시하는데 활용하고 있다. 국내의 수송수단 중 철도는 타 교통수단과 비교시 상대적으로 환경친화적인 교통수송이다. 그러나 미래 사회의 중추적인 대중 교통수단으로서의 중심으로 활용되기 위해서는 기존의 환경영향을 최소화할 필요가 있다. 전철의 경우 신속성과 정시성의 장점으로 인해 수요가 계속 증가할 것으로 예상된다.

철도수송수단에 있어서도 지구온실가스 및 기후변화협약 등과 관련된 온실가스 저감 대책의 수립은 향후 교통수송정책의 주요 사항으로 대두되고 있다. 현재 환경친화적인 철도산업의 육성을 위한 정부, 업계, 민간의 관심이 증대되고 있으며 환경친화적 철도수송수단의 육성을 위한 조치 및 활동등이 진행되고 있다. 그러나 철도차량의 전과정(life cycle)에 걸쳐 얼마만큼 환경부하를 배출하는지에 대한 정량화가 되고 있지 않으며, 환경친화성 평가방법에 있어서도 기법들은 정성적인 방법에 근거하고 있어 국가정책 결정이나 경제성이 입각한 결정 등을 효율적으로 하기 어려운 상황이다. 또한 철도차량 제작시 자재의 사용량, 에너지 소비량, 폐기물 발생량 등 환경부하 요인은 단계별로 복잡하기 때문에 이와 관련된 환경

* 한국철도기술연구원, 정회원

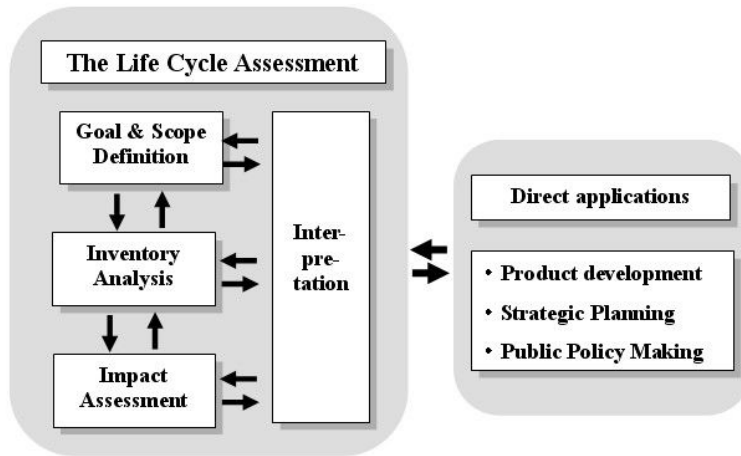
** 아주대학교, 비회원

영향 정보를 구체적이면서 정량적인 형태로 나타내는 것이 환경성능 개선을 위한 가이드라인 마련 및 환경성능평가 활성화를 위해서도 매우 중요하게 여겨지고 있다. 전동차는 제작시 원재료를 사용하여 부품을 제조하고, 또 제조된 부품을 통해 단품을 제작 조립하여 전동차를 완성하게 된다. 전동차의 제작, 운행 및 폐차과정에서 환경부하물질을 방출하게 된다. 따라서 전동차 부품의 원료채취부터 제작과정에서 발생하는 환경부하물질의 파악과 부하물질 저감을 통한 제품이나 서비스 환경에서의 정량적인 평가방법을 통해 환경친화적인 이미지를 강화시키고 환경영향 최소화 방안이 시급히 마련되어야 한다. 이에 전동차 라이프 사이클 과정에서 발생시키는 자원 및 에너지소비량, 온실가스 배출량을 정량적으로 평가할 수 있는 방법을 개발하고 환경친화적인 교통수단을 권장하고 나아가 기후변화협약 등 국제적인 환경 변화에 능동적인 대응책의 수립이 필요하다.

본 연구에서는 지하철 전동차에 대한 환경성을 평가하고 개선하기 위해 전동차의 주요부품에 대한 전과정 목록을 설정하여 DB를 구축하고자 한다. 전동차의 환경성 진단을 위한 DB구축 방향은 각 부품에 대한 주요재질을 선정하여 간략화 전과정 평가를 통해 환경성을 정량적으로 평가하는 기능을 갖도록 하고자 한다, 또한 전과정 단계별 영향평가 결과의 제공은 물론 총무게 자동산출 기능, 영향범주별 환경지수, 평가결과 비교기능, 주요이슈 도출기능 및 평가결과외 보고서 작성기능을 갖도록 전동차(T카 : 대차, 차체, 내장재 중심) 1량을 대상으로 DB구축을 진행하고 있다.

2. 전과정평가의 개요와 구성

전과정평가는 제품의 전과정 동안에 제품(서비스 포함)에서 야기된 환경부하를 계산하고 환경에 미치는 영향을 평가하는 도구이다. 여기서 환경부하란 자원소모(Resources Consumption) 및 환경오염물 배출(Environmental Emissions), 수질 오염물, 대기 오염물, 폐기물을 지칭한다. ISO 14040에 의하면 LCA는 목표 및 범위정의(Goal and Scope Definition), 전과정 목록분석(Life Cycle Inventory Analysis), 전과정 영향평가(Life Cycle Impact Assessment), 및 전과정 결과해석(Life Cycle Interpretation)으로 구성된다.



<그림. 1> LCA 수행단계, ISO 14040 (1997)

<그림 1>에서 보듯이 ISO는 각 4 단계들 간의 관계를 보여주고 있다. 그러나 LCA 수행시 전과정 개선평가(Life Cycle Improvement Assessment)가 실제로 수행된다.

2.1 목적정의

본 연구의 목적은 전동차의 주요부품 중 하나인 대차, 구체, 내장판넬에 대하여 LCI DB를 구축하고, 전동차에 대한 LCA 수행자들이 database를 사용하여 보다 쉽고 간편하게 LCA를 수행할 수 있도록 하는데 있다.

2.2 범위정의

(1) 기능

대차는 전동차의 하단에서 차륜 축, 액슬 박스, 대차 프레임, 스프링 장치, 기초 제동장치, 기타로 구성되어 주행에 직접 관련되는 부분이다. 구체는 차체를 구성하고 있는 주요부분으로 전장품, 내장품 및 의장품을 고정시키는 기능을 한다.

(2) 기능단위

전동차에 투입되는 대차 및 구체 1대

(3) 시스템 경계

(가) 자연계 흐름으로써 투입물/배출물

대차 및 구체의 전과정 중 원료취득에서부터 제조공정까지(Cradle to Gate; CtG)를 시스템 경계로 정의하였다. 정의된 시스템 경계에서 조사되는 투입물 및 배출물은 자연계 흐름(elementary flow)을 대상으로 하였다.

(나) 의사결정 기준

전동차 제조공정에 투입되는 대차 및 구체를 생산하기 위한 원료 취득에서부터 제품 제조까지의 일반적인 공정들 및 이와 관련된 투입물/배출물을 연구대상으로 하였다. 제품생산과 직접 관련이 없거나 환경부하가 적을 것으로 예상되는 단위 공정에 대해서는 연구 범위에서 제외하였다. 또한 누적무게, 누적에너지 및 환경 관련성 등의 cut-off 기준에 의해 일부 단위공정을 제외하였다.

(다) 전과정의 단계나 공정 혹은 데이터 요구의 생략

연구 목표에 부합하여 Cradle to Gate에 대한 연구를 수행하였다. 단, 운송을 포함한 환경 영향이 미미할 것으로 판단되는 단위공정 및 데이터는 생략하였다.

(라) 단위 공정의 초기분석

대차 및 구체의 생산 공정에서 투입물로는 원자재, 부자재, 에너지 등이 있다. 원자재는 크게 일반구조용 압연강재, 용접구조용 압연강재, 탄소주강, 고무, 알루미늄, 기계구조용 탄소강재 등이 있다. 구체의 경우 SUS재는 스테인레스틸, 마일드 재는 압연강재로 되어 있으며 소량의 용접봉이 투입된다. 에너지의 경우, 전력과 더불어 내부 운송시 경유가 사용된다.

(마) 할당의 결정

기본적으로 사용된 할당기준은 물리적 인과관계(physical relationship)이다. 물리적 인과관계를 설정하기 불가능한 경우에는 무게기준을 차선책으로 적용하였다.

(4) 데이터 범주

데이터 범주는 크게 자원, 에너지, 수계 배출물, 대기 배출물, 폐기물 등으로 분류하였다. 수집 데이터는 측정치, 계산치, 추정치로 구분하였다. 전력생산에 관련된 환경부하는 국내 전력 데이터베이스(1999)를 사용하였다.

(5) 초기 투입물/배출물의 포함 기준

아래에 나타낸 바와 같이 ISO 14041에 제시된 누적 무게, 누적 에너지 및 환경관련성 등의 세 가지 기준을 적용하여 투입물의 초기 포함기준을 결정하였다.

- 제품 생산 공정으로 투입되는 모든 투입물에 대해 누적무게기준 97 %까지 투입물
- 제품 생산 공정으로 투입되는 모든 투입물에 대해 누적에너지기준 99 %까지 투입물
- 제품 생산 공정으로 투입되는 모든 투입물 중 유해화학 물질로 정의된 투입물

(6) 데이터 질 요구 사항

(가) 시간적 경계

생산단계의 데이터는 2004년 1월 1일부터 2004년 12월 31일까지 1년간의 데이터를 수집하였다. 기타 데이터는 5년 이내의 데이터 사용을 목표로 하였다.

(나) 지역적 경계

지역적 경계는 원/부자재의 경우 각 해당 생산지역이며, 제품 생산의 경우 대한민국으로 하였다.

(다) 기술적 경계

기술적 경계는 대상제품을 생산하는 업계의 공정 기술을 대상으로 한다.

(라) 가정 및 제한사항

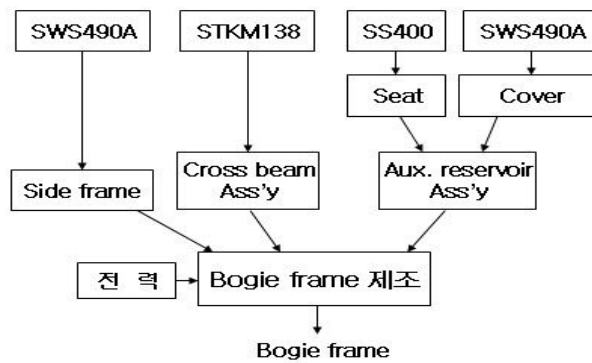
전과정 평가는 특성상 방대한 범위의 데이터 수집 및 가공 과정이 필연적으로 포함되기 때문에

적절한 가정을 통해 데이터 수집 및 가공 과정에서의 인력 및 시간을 줄일 수 있다. 반면 가정이 얼마나 타당성 있게 설정되었는가에 따라 전과정평가 결과의 신뢰성이 좌우된다. 본 연구에서는 합리적인 가정을 도출하기 위해 현장 전문가들의 의견을 수렴하여 가정들을 설정하였다.

3. 전과정 목록분석

3.1 대차

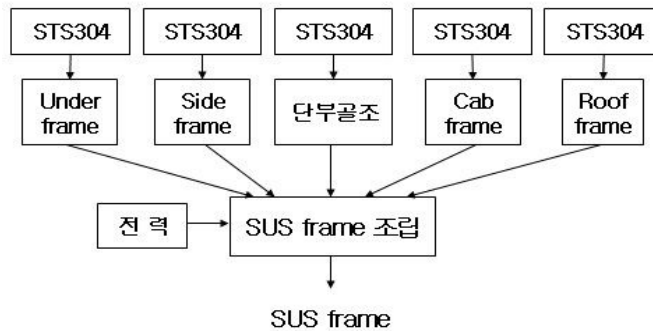
대차의 LCI DB 목록표는 원료물질 채취단계에서 대차 제조공정까지를 포함한다. 전동차량의 주요 부품 중 하나인 대차는 크게 journal box, disk brake ass'y, center pivot device, wheel & axel ass'y, bogie frame 및 primary suspension ass'y로 구성되어 있다. 여기에서는 대차를 구성하는 6 가지 주요 부품에 대하여 세부적인 분석을 통해 LCI DB 목록을 작성하였다.



<그림 1> Bogie frame에 대한 process tree

3.2 SUS 구체

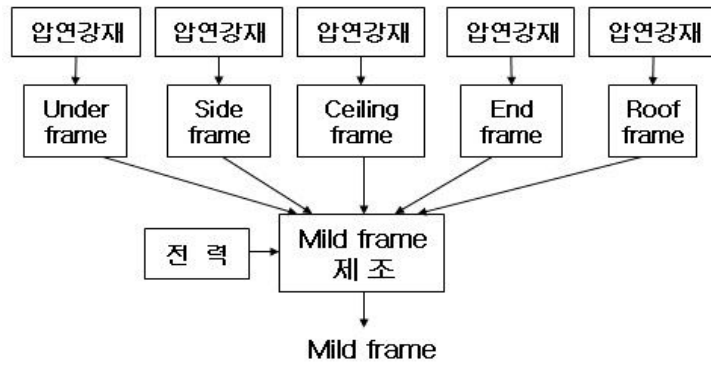
SUS차량 구체의 LCI DB 목록표는 원료물질 채취단계에서 SUS차량 구체 제조 공정까지를 포함한다. 전동차량에 주요 부품 중 하나인 SUS차량 구체는 크게 under frame, side frame, cab frame, roof frame 및 단부골조로 이루어져 있다.



<그림 2> SUS차량 구체에 대한 process tree

3.3 Mild 차량의 구체 (Carbody Frame)

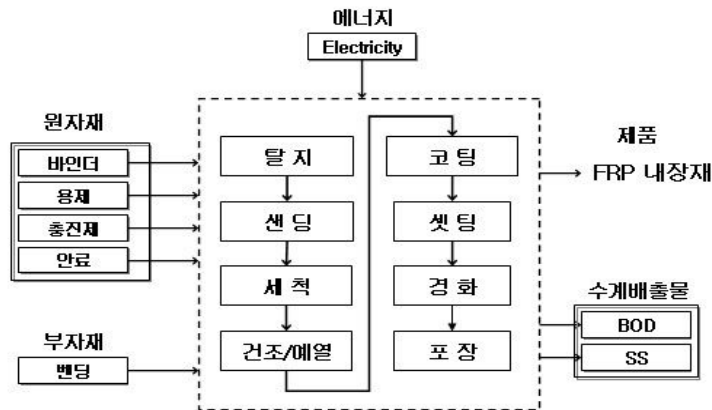
Mild차량 구체의 LCI DB 목록표는 원료물질 채취단계에서 Mild차량 구체 제조공정까지를 포함한다. 전동차량에 주요부품 중 하나인 Mild차량 구체는 크게 under frame, side frame, ceiling frame, roof frame 및 end frame으로 이루어져 있다.



<그림 3> Mild차량 구체에 대한 process tree

3.4 내장판넬

Interior panel은 여러 가지 Type을 사용하고 있는데 본고에서는 불연 FRP에 대해 언급한다. Interior panel은 전동차 화재에 대한 예방 차원에서 불연도장 공정이 추가된다. Mild 차량에 투입되는 Interior panel에 대한 시스템 경계는 Interior panel 전체 투입물에 대한 누적무게 97 % 까지 설정하였다. 물질 및 에너지 투입량과 고형폐기물 및 대기/수계 배출물 데이터 확보에 필요한 시간 및 비용을 최소화 하면서 Interior panel의 환경영향을 규명할 수 있도록, 환경 유해물질이 아니면서 무게비율이 낮은 부품 및 물질은 System boundary에서 제외하였다.



<그림 4> interior panel의 공정도 예(FRP)

3.5 전과정 영향평가와 주요이슈 규명 방안

3.5.1 전과정 영향 평가

전과정에서 발생하는 잠재적인 환경영향을 파악하기 위해 분류화, 특성화, 정규화 및 가중치 부여의 단계를 거쳐서 환경영향을 파악하여 주요 이슈를 규명할 수 있도록 DB를 구축하고자 한다. 영향평가 과정에서 분류화는 8개 세부 영향범주로 분류하였다. 무생물자원고갈(ARD), 지구온난화(GW), 오존층고갈(OD), 산성화(AD), 부영양화(Eut), 광화학 산화물 생성(POC), 생태 독성(ET), 인간 독성(HT)이 포함된다. 이 중 생태독성은 수계생태독성(FAET), 토양생태독성(TET), 해양생태독성(MAET)으로 나누어 계산하였다. 특성화 단계에서는 상응인자 모델(impact potential approach)을 바탕으로 각각의 환경부하에 해당하는 상응 인자 값을 곱하여 잠재적인 환경영향을 파악하였다. 정규화 단계에서는 특성화 단계에서 얻은 특성화 값을 정규화 기준 값으로 나누어 정규화를 수행하였다.

3.5.2 주요 이슈 규명

주요 이슈는 dominance analysis를 통해 규명한다. 목록 행렬표상에 나타나는 각 activity별 목록항목의 환경부하량을 이용하여 일련의 특성화, 정규화 및 가중치 부여 과정을 거쳐 총 환경영향에 대한 각각의 목록항목에 대한 분율을 구한다. 영향범주별로 주요 이슈를 규명하고 주요이슈를 규명하는 식은 다

음과 같이 나타낸다.

$$\%기여도 = \frac{\sum_k \frac{C_{i,j}}{N_i} \times W_i}{\sum_k \sum_i \frac{C_{i,k}}{N_i} \times W_i} \times 100$$

각 영향범주별로 특성화 영향값, 정규화 영향값, 가중치 부여된 영향값 순서로 나타내고, 해당 영향범주 내에서 차지하는 비율을 표시하도록 하였다. 이를 통해 각 영향범주의 key parameter를 도출하였다. 각 영향범주의 단위와 출처 및 정규화 기준값과 가중치 기준값을 도출하기 위한 인자를 <표 1>에 나타내었다.

<표 1> 각 영향범주의 단위와 출처

영향범주	Unit	Source
무생물 자원고갈(ARD)	1/yr	U.S. Geological Survey(USGS), 2002
지구 온난화(GW)	g CO ₂ -eq/g	IPCC, 1996
오존층 파괴(OD)	g CFC II -eq/g	UNEP, 2002
산성화(AD)	g SO ₂ -eq/g	Hauschild & Wenzel , 1998
부영양화(Eut)	g PO ₄ ⁻³ -eq/g	Heijung et al, 1992
광화학 산화물 생성(POC)	g ethane-eq/g	Jenkin & Hayman, 1999
수계 독성(FAET)	kg 1,4-DCB eq.	Huijbregts, 1999 & 2000
해양 독성(MAET)	kg 1,4-DCB eq.	Huijbregts, 1999 & 2000
토양 독성(TET)	kg 1,4-DCB eq.	Huijbregts, 1999 & 2000
인간 독성(HT)	kg 1,4-DCB eq.	Huijbregts, 1999 & 2000

4. 맺음말

전동차의 대차, 구체의 주요소재 및 부품에 대한 전과정 평가 목록(LCI) DB 구축을 위해, 각 단계/공정에 관한 소재별 구성정보, 환경정보, 에너지 사용량, 환경영향, 비용분석을 실시하여 DB구축을 진행하고 있다. 전동차의 life cycle에 대한 원자재의 선택, 제작, 운행, 폐기단계로 구성되는 전과정 단계별 주요 환경영향에 대한 취약점을 파악하기 위한 스크린 LCA평가도 가능하도록 DB구축 방향의 토대를 마련하고 있다. 이를 기반으로 전동차의 환경영향 및 전과정에 대한 환경성 진단을 위해서는 DB 구축의 확장, 데이터 및 신뢰도 향상에 대한 지속적인 연구지원 및 기반연구가 필요하다. 또한 전동차에 대한 친환경 평가의 명확한 지표를 설정하고 이를 실현할 수 있는 평가시스템 구축에 기여할 수 있도록 DB구축이 이루어져야 할 것으로 판단된다. 본 DB를 토대로 기후변화협약의 비준에 따른 전동차의 환경부하 저감효과를 정량적으로 도출할 수 있는 국가평가프로그램으로 활용 및 CO₂ 절감, 자원절약, 에너지 효율화 정책, 생태계영향, 폐기물저감대책 등의 구체적 시행효과 평가 및 환경개선을 위한 정책대안의 설정 등에 활용될 수 있을 것이다.

후기

본 연구는 건설교통부에서 주관하는 국가교통핵심기술개발사업의 지원에 의해 수행되었으며, 지원에 감사드립니다

참고문헌

1. 김용기, 이재영(2005), □□전동차 전과정평가 시스템 개발□□, 건설교통부
2. 김상용 외 공역(1998), 환경전과정평가, 시그마프레스
3. Kun-Mo Lee, Atsushi Inaba(2004), Life cycle assessment best practice of ISO 14040 series, Asia-Pacific Economic Cooperation, Ajou University, Korea