

알루미늄(Al)차량 구체(Car-Body)의 전과정목록(LCI) DB구축 Building of Life Cycle Inventory(LCI) Database for Aluminum(Al) Car-Body of Electric Motor Unit(EMU)

임형순* · 천윤영** · 이건모*** · 김용기****

Hyeoung-Soon Lim, Yoon-Young Chun, Kun-Mo Lee, Yong-Ki Kim

ABSTRACT

To assess the environmental aspects of Electric Motor Unit(EMU) or services and ultimately, improve the environmental performance of EMU, a robust analytical tool is essential. Life Cycle Assessment(LCA) is a suitable evaluation method and application of LCA results for improvement is general in the various fields of industry. LCA is a systematic tool that enables to analyze environmental loads of a product and services over its entire life cycle. LCA procedures are divided into four phases, goal and scope definition, inventory analysis, impact assessment and interpretation(ISO 14040, 1997). The goal and scope definition deals with questions like why perform LCA, who are the target audiences, and what is the application of the LCA results. Life Cycle Inventory Analysis(LCIA) involves data collection and processing the collected data to generate the inventory analysis results. Impact assessment phase is to convert inventory results into the impacts on the environment. Finally, Life Cycle Interpretation is to interpret overall results of LCA and to identify environmentally significant issues. However, no cases to obtain Life Cycle Inventory(LCI)data on any components of EMU is available to data and information on such production processes is scarce. For this reason, the aim of this article is to show how LCI data is collected and built, thus it is highly recommended to implement in current LCA software dealing with data collection and database.

1. 서론

유럽지역과 미국, 그리고 일본과 같은 선진국에서는 이미 여러 프로젝트를 통해 철도차량 및 전동차량, 철도 교통 시스템 등에 대한 환경성평가와 친환경적인 철도차량 제작 시스템 구축을 위한 연구가 이루어지고 있다. 반면 국내에서는 철도 및 전동차에 대한 환경성평가는 배출가스에 대한 평가에만 한정되어 있다. 이에 현재 국내 철도 차량 및 전동차 전반에

* 아주대학교 환경공학과 석사과정

** 아주대학교 환경공학과 석사과정

*** 아주대학교 환경공학과 교수

**** 한국철도기술연구원 책임연구원

대한 환경성 평가를 수행하고, 나아가 환경적으로 건전한 철도 교통 시스템 구축의 기반 마련을 위해 이 연구는 전과정평가(Life Cycle Assessment; 이하 LCA)기법을 선택하였다. LCA란 대상 제품이나 공정, 서비스의 정의된 시스템의 전과정에 대한 투입물 및 산출물 목록을 취합하고, 이러한 투입물, 산출물에 관련된 잠재적 환경영향을 평가한 뒤, 그 결과를 연구 목적에 맞게 해석함으로써 환경 측면을 개선하고자 하는 방법론이다. 전과정목록(Life Cycle Inventory; 이하 LCI)DB는 대상 제품 및 서비스가 환경에 미치는 영향을 정량적으로 평가하는 LCA를 위한 인프라 시설에 해당하는 중요한 역할을 한다. 구축된 LCI DB를 토대로 전과정 목록분석(Life Cycle Inventory Analysis; LCIA)을 수행하게 되는데, 이는 주어진 제품(서비스 포함)시스템의 전과정 즉, 원료물질 채취 및 가공, 제조, 수송, 유통, 사용, 폐기까지의 과정 동안의 투입물과 산출물을 종합하여 관련된 잠재적 환경영향을 정량화하는 것이다. 그러나 현재 국내의 경우, 국가적으로 공인된 LCI DB 마저 전무한 실정이다. 이 연구는 전동차의 주요 부품인 알루미늄(AL)차량 구체에 대한 DB를 구축하였으며, 이로 인해 전동차 산업과 관련된 이해관계자들이 LCA software를 사용하여 전동차량에 대한 LCA 수행 시, 데이터 수집을 위한 시간적, 경제적 비용을 절감시킬 수 있도록 하였다.

2. 연구 목적 및 범위

2.1 연구 목적

이 연구의 목적은 전동차의 주요 부품 중 하나인 알루미늄(AL)차량 구체에 대하여 LCI DB를 구축하는 것이며, 이는 전동차에 대한 LCA 수행 시 알루미늄(AL)차량 구체에 대한 database를 사용하여 보다 쉽고 간편하게 LCA를 수행할 수 있도록 한다.

2.2 연구 범위

1) 기능, 기능단위 및 기준흐름

가. 기능

모든 전장품, 내장품 및 의장품 등을 고정시키고, 승객을 원하는 곳까지 이동시킬 수 있는 전동차의 기본 골조의 기능을 한다.

나. 기능단위¹⁾

알루미늄(AL)재질의 전동차 1량에 투입되는 구체 1대

다. 기준흐름²⁾

기준흐름은 계산의 편의성 및 도출된 전과정 목록분석 결과의 이용을 쉽게 하기 위하여 기능단위와 동일하게 정의하였다.

1) 사용자가 정의한 기능을 정량적으로 나타낸 단위를 말하며, 제품시스템에 의해 제공되는 서비스를 정량화하는 것이 이의 목적이다.

2) 기능단위에 의해 정량화된 기능을 달성하기 위해 필요한 제품의 양을 말한다.

Table 1. 기능, 기능단위 및 기준흐름

기능	모든 전장품, 내장품 및 의장품 등을 고정시키고, 승객을 원하는 곳까지 이동시킬 수 있는 전동차의 기본 골조
기능단위	알루미늄(Al)재질의 전동차 1량에 투입되는 구체 1대
기준흐름	알루미늄(Al)재질의 전동차 1량에 투입되는 구체 1대

2) 시스템 경계

가. 자연계 흐름으로서 투입물/배출물

알루미늄(Al)차량 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. 운송은 데이터 부재로 인해 고려사항에서 제외하였다. 상기 제한사항을 고려하여 시스템 경계를 설정하였고 이를 Fig. 1에 도시하였다.

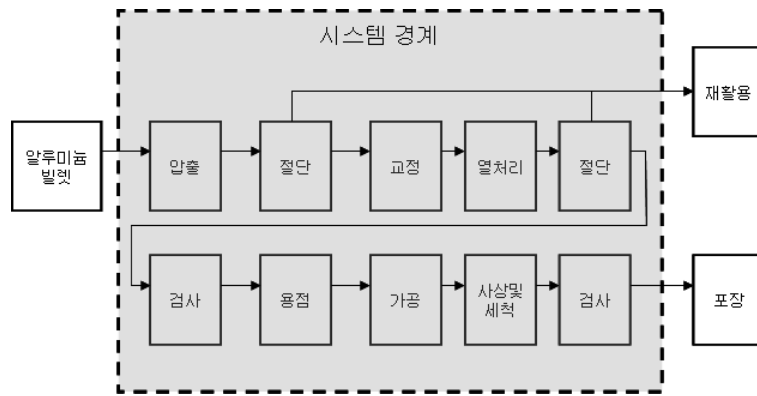


Fig. 1 알루미늄(Al)차량 구체 시스템 경계

나. 의사결정 기준

전동차 제조공정에 투입되는 알루미늄(Al)차량 구체를 생산하기 위한 원료취득에서부터 제품 제조까지의 일반적인 공정들 및 이와 관련된 투입물/배출물을 연구대상으로 하였다. 제품생산과 직접 관련이 없거나 환경부하가 적을 것으로 판단되는 단위 공정에 대해서는 연구 범위에서 제외하였다. 또한 누적무게, 누적에너지 및 환경 관련성 등의 cut-off기준에 의해 단위공정을 제외하였다. 이와 관련된 모든 의사 결정 기준과 과정을 본문에 기술하였다.

다. 전과정의 단계나 공정 혹은 데이터 요구의 생략

연구 목적에 비추어 Ctg(Cradle to gate)에 대한 연구를 수행하였다. 단, 내부 운송을 포함한 환경영향이 미미할 것으로 판단되는 단위공정 및 데이터는 생략하였다.

라. 단위 공정의 초기분석

알루미늄(Al)차량 구체의 생산 단위공정은 Fig. 2에 나타낸 바와 같다. 투입물로는 원자재 및 에너지 등이 존재한다. 원자재로 알루미늄 빌렛이 투입된다. 에너지로는 전력이 사용된

다. 제품 생산 공정은 압출, 교정, 절단, 열처리, 용접, 가공, 검사 등의 일련의 과정을 거친다.

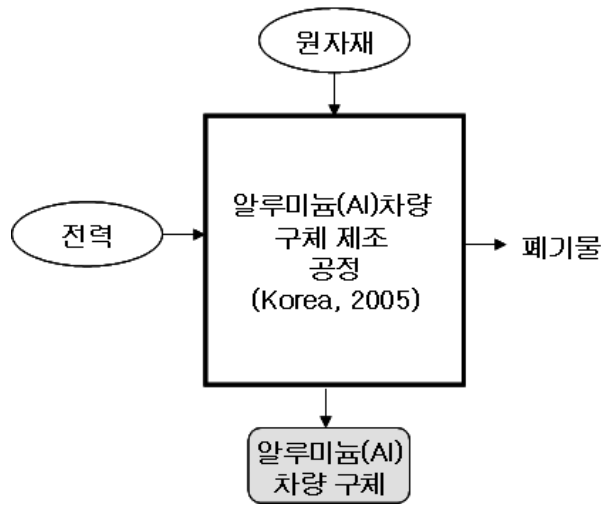


Fig. 2 알루미늄(Al)차량 구체 생산 단위공정

마. 할당의 결정

기본적으로 사용된 할당기준은 무게 기준이다.

3) 데이터 범주

이 연구를 위해 다음과 같은 항목들의 데이터를 범주로 하여 데이터를 수집하였다. 수집 데이터는 측정치, 계산치, 추정치로 구분하였다.

가. 투입물

원료물질(raw material): A6063재 알루미늄 빌렛(Aluminum billet_A6063)

에너지(energy): 전력(electricity)

나. 산출물

제품(product): 알루미늄(Al)차량 구체

잔여물(residues): 고형 폐기물(solid waste)

4) 데이터 취득 방법

가. A6063재 알루미늄 빌렛

현장데이터를 수집하였으며, 수집한 데이터는 측정치이다. 상위 공정은 알루미늄 빌렛_A6063 LCI DB(산업자원부, 2000)를 사용하였다.

나. 전력

에너지 사용은 각 공정(압출, 절단, 교정, 열처리, 용접, 가공)에 사용된 전력량을 고려하였다. 이 데이터는 측정치이며, 정보제공자의 편의 및 기업보안 차원에서 연간 총 사용량 형태로 수집되었으며 이를 기능단위에 맞추어 환산하여 적용하였다. 전력의 환경부하는 국가전

력 LCI DB(산업자원부, 1998)를 사용하였다.

다. 폐기물

현장데이터를 수집하였으며, 수집한 데이터는 측정치이다.

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.

가. 제품 생산 공정으로 투입되는 모든 투입물에 대해 누적 무게 기준 99.97%까지의 투입물

나. 제품 생산 공정으로 투입되는 모든 투입물에 대해 누적 에너지 기준 100%까지의 투입물

다. 제품 생산 공정으로 투입되는 모든 투입물 중 유해화학 물질로 정의된 투입물

6) 데이터 질 요구 사항

가. 시간적 경계

생산 단계의 데이터는 2005년 1월 1일부터 2005년 12월 31일까지 1년간의 데이터를 수집하였다.

나. 지역적 경계

지역적 경계는 원자재의 경우 각 해당 생산지역이며, 제품 생산의 경우 대한민국으로 하였다.

다. 기술적 경계

기술적 경계는 대상제품을 생산하는 동일 업계에서 범용적으로 사용되며 생산 기술을 대표할 수 있는 평균 공정의 기술들로 선정하였다.

라. 가정 및 제한사항

데이터 부재로 인해 불확실성이 큰 운송은 이 연구에서 고려하지 않았다. 원료물질의 경우, 상위 공정의 DB 구축 여부 및 재질 특성의 유사성³⁾을 검토한 결과 가장 적합한 A6063재 알루미늄 빌렛을 선택하였으며, 이와 같은 합리적인 가정을 도출하기 위해 현장 전문가들의 의견을 수렴하였다.

2.3 전과정 목록분석

전과정 목록분석은 ISO 14040과 14041문서에 명시된 방법론에 따라 수행하였고, 전과정 목록분석 계산은 PASS⁴⁾를 이용하여 수행하였다.

3) 2002년 LG건설 이진희 기술사가 작성한 알루미늄 합금 문서에 따름

4) 2003년 한국인정원(KAB)이 산업자원부, 한국생산기술연구원, 국가청정생산지원센터의 지원으로 에코시안과 공

1) 데이터 수집절차

가. 공정분석

대상제품의 생산공정에 대한 조사는 제조업체의 현장방문을 통해 이루어졌다. 여기서 현장 전문가와 함께 제조공정의 설명 및 특징에 대한 토의가 이루어졌다. 데이터 수집은 설문서 발송 및 데이터 검증을 위한 현장방문과 전화통화로 진행되었으며, 알루미늄(Al)차량 구체 생산 공정을 하나의 black-box로 간주하여 조사하였다. Fig. 3에 알루미늄(Al)차량 구체에 대한 process tree를 나타내었다. 이 process tree는 cut-off된 결과를 포함한다.

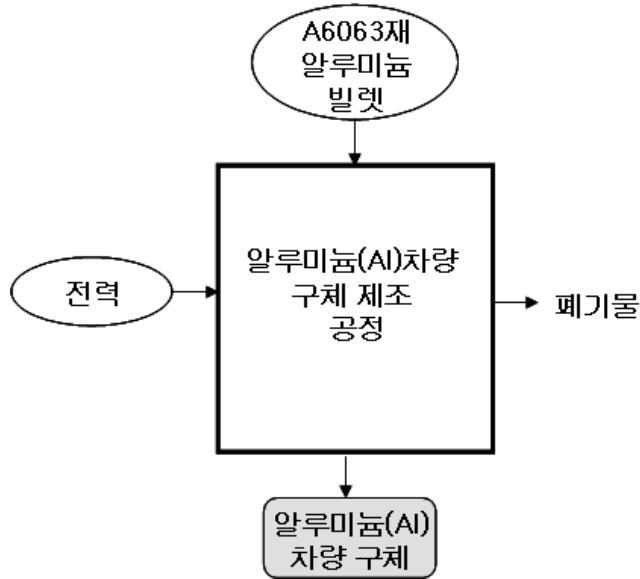


Fig. 3 알루미늄(Al)차량 구체에 대한 process tree

나. 계산절차

각각의 단위공정별 데이터를 기능단위인 알루미늄(Al)차량 구체 1대를 기준으로 계산하였다. 이 계산과정은 기업보안의 문제로 본문에 기술하지 않았다. 이 계산값을 사용하여 전과정평가 소프트웨어인 PASS를 사용하여 전과정 목록분석을 수행하였다. Table 2에 알루미늄(Al)차량 구체에 대한 LCI 결과에서 주요 목록항목을 나타내었다.

Table 2. 알루미늄(Al)차량 구체 주요목록항목의 LCI 결과

목록항목	LCI 결과값(kg/f.u.)	목록항목	LCI 결과값(kg/f.u.)
자원소모		수계배출물	
Bauxite	1.43E+ 04	Dissolved solids	1.90E+ 01
Natural gas	1.85E+ 03	Cl ⁻	1.48E+ 01
Hard coal	1.50E+ 03	SS	4.90E+ 00
Crude oil	1.03E+ 03	COD	3.06E+ 00
Coal	6.36E+ 02	Sulfate	2.19E+ 00
대기배출물		폐기물	
CO ₂	1.00E+ 04	Industrial wastes	1.46E+ 03

NO _x	5.96E+ 01	Unspecified wastes	2.61E+ 02
SO _x	4.25E+ 01		
Dust	8.34E+ 01		
Methane(CH ₄)	1.08E+ 01		

2.4 전과정 영향평가

도출된 전과정 목록분석 결과를 이용하여 알루미늄(Al) 차량 구체(Car-Body)에 대하여 전과정 영향평가를 수행하였다. PASS 소프트웨어를 사용하였으며, 정규화(Normalization)인자 및 가중치(Weighting)부여인자를 적용하여 무차원 단일지수로 잠재적 환경영향값을 산출하였다. 또한 무생물 자원고갈(abiotic resource depletion; ARD), 지구 온난화(global warming; GW), 오존층 파괴(ozone layer depletion; OD), 산성화(acidification; AD), 부영양화(eutrophication; Eut), 광화학 산화물 생성(photochemical oxidant creation; POC), 수계 생태독성(ecotoxicity; FAET) 및 인간독성(human toxicity; HT)으로 총 8개의 영향범주를 고려하였다. 아래 Table 3는 정규화 및 가중치 부여 단계를 거쳐 도출된 최종 환경영향값을 나타내며, 각 영향범주별 환경영향 기여도를 Fig. 4에 나타내었다.

Table 3. 영향범주별 환경영향 기여도

영향범주	CI	NI	WI	기여도(%)
무생물 자원고갈(ARD)	1.06E+ 02	4.26E-03	9.83E-04	50.79
지구 온난화(GW)	1.03E+ 04	1.86E-03	5.36E-04	27.70
오존층 파괴(OD)	1.85E-02	4.56E-04	1.33E-04	6.87
산성화(AD)	4.71E+ 01	1.18E-03	4.26E-05	2.20
부영양화(Eut)	6.98E-02	5.33E-06	2.02E-07	0.01
광화학 산화물 생성(POC)	1.58E+ 00	1.33E-04	8.63E-06	0.45
수계 생태독성(FAET)	3.92E+ 01	1.08E-03	1.56E-04	8.05
인간독성(HT)	1.08E+ 03	7.25E-04	7.61E-05	3.93
합계			1.94E-03	100

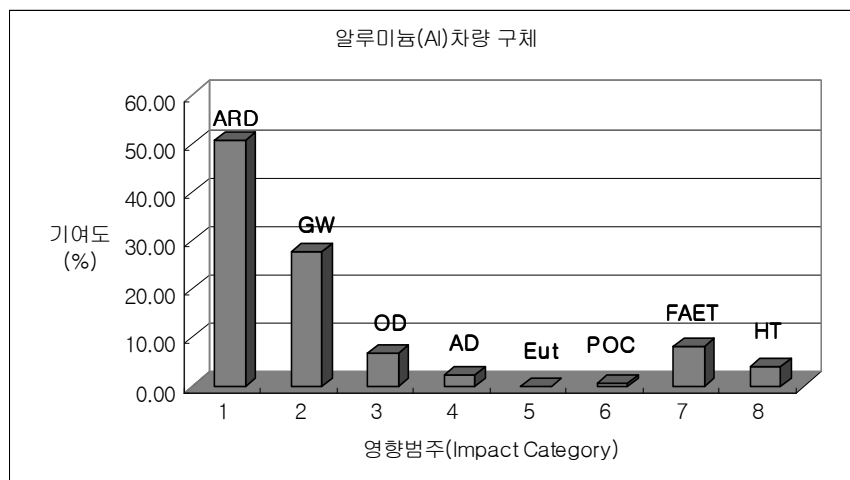


Fig.4 영향범주별 환경영향 기여도

가중치부여단계의 분석결과로 산출된 단일지수화 된 최종 환경영향값은 1.94E-03이며, 알루미늄(Al)차량 구체(Car-Body)가 주로 무생물 자원고갈(50.79%), 지구 온난화(27.70%)에 영향을 미치며, 다음으로 수계 생태독성(8.05%), 오존층 파괴(6.87%), 인간독성(3.93%)등의 순이다. 영향범주별 주요 환경인자와 주요 기여 공정 또한 살펴보았다. 자원고갈에 가장 영향을 많이 미치는 인자는 Bauxite였으며, 이는 생산 공정 시 투입된 원료물질인 A6063계 알루미늄 빌렛에 기인한다. 또한 원료물질을 취득하여 구체 제작공정에 투입하기까지의 과정이 각 영향범주에 미치는 영향의 주임을 알 수 있다. 지구 온난화, 오존층 파괴 및 부영양화의 주요 환경인자는 CO₂, Chlorine, COD인 것으로 나타났다. 산성화에는 A6063계 알루미늄 빌렛 생산에 의한 NO_x 배출이 주 원인이며, 광화학 산화물 생성 역시 빌렛 생산에 의한 CO 배출이 주요 원인인 것으로 나타났다. 수계 생태독성 및 인간독성의 주요 환경인자는 PAH 임을 알 수 있다.

3. 결론 및 고찰

이 연구에서는 전동차의 주요 부품인 알루미늄(Al)차량에 투입되는 구체(Car-Body)의 전과정평가목표를 작성하였다. 이는 향후 전동차의 환경성평가 수행 시 요구되는 전동차의 주요 구성부품에 대한 전과정 목록(Life Cycle Inventory; LCI) DB를 작성하여, LCA Software의 DB로 활용할 토대가 된다. 나아가 전동차량의 환경영향진단을 가능케 함으로써 친환경적인 철도 구축 및 교통정책 수립에 활용될 수 있다.

사 사

이 연구는 건교부 국가교통핵심기술개발사업의 일환으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

4. 참고 문헌

- (1) W. Wimmer et al., Ecodesign Implementation. Springer, 2004
- (2) ISO 14041, Environmental management - Life cycle assessment - Goal and scope definition and inventory analysis, 1998
- (3) Kun-Mo Lee and Atsushi Inaba, "Life Cycle Assessment Best Practices of ISO 14040 Series", 2004
- (4) 국가청정생산지원센터, 국가 LCI Database 구축 방법론 및 관리·보급 확산 방안, 2004
- (5) 건설교통부, 전동차 전과정 평가 시스템 개발, 1차년도 최종보고서, 2005
- (6) 산업자원부, 한국형 환경영향평가지수(Eco-indicator) 개발, 1차년도 최종보고서, 2001
- (7) 이진희 기술사, 알루미늄 합금(Aluminum & Aluminum Based-Alloy), LG건설, 2001, <http://www.technonet.co.kr/document/doculist.html>(accessed March 2006)