

전동차 내장판넬의 환경성 정보 공개 및 정책 활용 방안

The environmental policy suggestion for Electric Motor Unit through Environmental Product Declaration

천윤영* · 정인태** · 이진모*** · 김용기****

Yoon-Young Chun, In-Tae Jeong, Kun-Mo Lee, Yong-Ki Kim

ABSTRACT

The aim of this paper is to show how LCA(Life Cycle Assessment) is used as a tool to evaluate the environmental burdens associated with EMU(Electronic Motor Unit), especially one of main components, an interior panel. Thus, the LCA results are polished into the general environmental product declaration format to communicate with the industrial and institutional customers.

The format includes the product information and environmental information. In the list of environmental information, profile is consisted of two major results from the LCA study. One is the inventory analysis and the other is the characterized impact results. The format shown in this paper can be the one of option to choose environmentally preferable product and suggestion aimed at the institutional consumer such as government procurement office and corporation's purchasing department.

1. 서론

서구 선진국을 중심으로 가속화된 산업화 및 공업화로 인해 20세기를 전 후로 급격하게 생산과 소비수준이 증가하였다. 빠른 경제성장은 인류에게 물질적 풍요를 가능케 하였으나, 동시에 자원고갈, 기후변화, 오존층 파괴 등의 환경오염 문제를 일으키는 데 부정적 영향을 주었다. 이에 인간의 활동은 물론 자연과 동식물 전체를 지탱해 주던 지구의 용량이 한계점에 다다를 수 있다는 위기가 고조되었으며, 그에 대한 해결책 촉구가 주장되었다.

1987년 세계환경개발위원회(WCED)에서 개발에 의한 환경오염을 우려하면서 지속가능한 발전(sustainable development) 및 환경적으로 건전하고 지속가능한 개발(environmentally sound and sustainable development)이란 용어가 사회적으로 큰 공감을 얻게 되었으며, 점차 이러한 분위기는 기업 및 소비자들로 하여금 환경 친화적 경영 및 녹색소비를 유도하는 매개체가 되었다.

* 아주대학교 환경공학과 석사과정

** 아주대학교 환경공학과 석사과정

*** 아주대학교 환경공학과 교수

**** 한국철도기술연구원 책임연구원

환경라벨링은 소비자의 녹색 구매 욕구를 충족시키는 것은 물론, 기업들이 자사 제품의 친환경성을 주장하는 하나의 도구로써 그 의의를 가진다. 이 때, 환경성 주장이 객관적이며, 과학적인 근거를 갖기 위해서는 제품 혹은 제품 생산방식의 환경성을 표현할 수 있는 명확한 양식 또는 제도적 장치가 필요하다.

제품의 환경성을 표현할 수 있는 도구 중의 하나로 전과정평가(Life Cycle Assessment; 이하 LCA)를 들 수 있는데, 이는 정량적인 형태로 표시가 가능하다는 이유로, 널리 사용되고 있는 환경성평가 방법이다. 그러나 LCA 보고서는 양식이 다양하고 내용이 방대하기 때문에 환경성 정보 전달 매체로는 적합하지 않다. 따라서 일정한 양식에 의거하여 제품의 LCA 결과를 요약한 환경성 정보의 제공이 요구된다. 이에 국가표준화기구(International Organization for Standardization; 이하 ISO)에서 Type III 환경성 선언(Type III Environmental declaration)¹⁾에 관한 국제 표준화 규격을 만들어 내었다.

이 연구에서는 전동차량의 주요 부품인 내장관벨을 대상으로 LCA를 수행하였으며, 이를 바탕으로 환경성 정보전달 양식을 작성하였다. 이는 전동차 산업 내 공급고리(Supply Chain)간의 거래 시, 중간 생산자 및 산업계 소비자들을 중심으로 사용될 수 있는 하나의 환경 성적표로써의 의의를 갖는다고 볼 수 있다.

2. 연구 내용

2.1 개요

유럽과 일본을 포함한 선진국에서는 이미 철도 및 전동차에 대한 친환경제품설계(Ecodesign; 이하 에코디자인)와 관련된 여러 연구들이 선행되었으며, 지금도 여러 프로젝트들이 환경적으로 건전한 철도차량 및 전동차량을 제작하기 위해 수행 중에 있다.²⁾ 국외의 연구를 살펴보자면, 철도분야에 LCA 적용을 시도하는 것은 물론, 에코효율성(Eco-efficiency) 방법론을 개발하여 차량 설계 시 환경성 및 경제성을 동시에 고려할 수 있도록 하였다. 또한, 전동차 구매에 환경성 측면을 통합하기 위한 구매 프로세스를 개발하는 등의 적극적인 대응으로 여타 교통수단에 비해 환경성이 좋다는 전동차의 이미지를 더욱 확고히 하였다.

국내의 경우, 이미 전동차량의 주요부품인 대차, 구체 및 내장재에 대한 환경성 목록 DB(Life Cycle Inventory Data Base; 이하 LCI DB)구축이 진행되고 있으며, 이를 바탕으로 LCA 연구 또한 수행되고 있다. 하지만, 실제 LCA 연구결과를 바탕으로 환경성 정보를 전달하거나 적용한 예는 전무하다.

이 연구에서는 전동차량의 주요부품 중의 하나인 FRP 내장관벨에 대한 LCI DB를 구축 및 LCA 수행을 실시하였으며, 이 결과를 바탕으로 중간 생산자 혹은 부품 업체 및 완성품 제조업자들 간의 정보 교환을 위한 환경성 정보 양식을 작성하였다.

1) ISO/TR 14025 N47, Environmental Labels and Declarations-Type III Environmental Declaration-Guiding Principles and Procedure, 1998

2) 건설교통부, 전동차 전과정 평가 시스템 개발, 1차년도 최종 보고서, 2005

2.2 전과정평가 수행

2.2.1 연구 목적 정의

이 연구의 목적은 전동차의 주요 부품 중의 하나인 FRP 내장판넬에 대하여 LCI DB를 구축하는 것은 물론 LCA를 수행하여, 그 결과를 바탕으로 환경성 정보 양식 즉, Ecoprofile format을 작성하도록 한다.

2.2.2 연구 범위 정의

1) 기능, 기능단위 및 기준흐름

전동차량의 내장판넬은 전동차 구체(Car-Body)내부에 미관, 각종 내장재 조립을 위해 설치하는 판넬의 기능을 가지고 있다. 전동차 1량에 투입되는 FRP 재질의 내장판넬 1kg을 기능단위로 정의하였으며, 기준흐름은 계산의 편의성 및 도출된 전과정 목록분석 결과의 이용을 쉽게 하기 위하여 기능단위와 동일하게 정의하였다.

2) 시스템 경계

FRP 재질 내장판넬의 생산공정에서 겔코트, 수지, 유리섬유가 원자재로 투입되며, 에너지로는 전력이 사용된다. 제품 생산을 위해 분무, 경화, 적층, 탈형 및 절단, 조립 등의 일련의 과정을 거친다. 내부 운송을 포함한 전 운송단계는 데이터 부재로 인해 제외되었다. FRP 재질 내장판넬 제조 공정도와 시스템 경계를 <그림 1>에 나타내었다.



<그림-1> 전동차 FRP 내장판넬 제조 공정도 및 시스템 경계

3) 데이터 범주

데이터 범주는 크게 자원, 에너지, 토양/대기/수계 배출물 및 폐기물로 분류하였다. 대상제품의 제조 공정 데이터는 2004년 1월 1일부터 2004년 12월 31일까지 1년간의 시간적 범위를 가진다. 상위 공정 데이터는 국내의 데이터베이스를 이용하였고, 유사 공정의 자료를 대용하는 것을 차선으로 하였다. 데이터 수집 및 취득 방법을 다음 <표-1>과 같이 나타내었다.

<표-1> 데이터 수집 및 출처

단계	공정	데이터 특성			데이터 취득				
		제품 특성	지역 특성	일반 특성	실측	계산	추정	국내 DB	국외 DB
제조 전	겔코트			☑		☑		☑	
	수지			☑		☑		☑	
	유리섬유			☑		☑			☑
제조	FRP 내장판넬	☑				☑		☑	
	전력					☑		☑	

4) 데이터 검증 및 가정, 제한사항

물질수지를 이용하여 데이터를 검증하였으며, 데이터 부재로 인해 불확실성이 큰 운송은 이 연구에서는 고려하지 않았다. 또한 원료물질의 경우, 상위 공정의 DB여부 및 재질 특성의 유사성³⁾을 검토한 결과 불포화폴리에스테르계 도료(환경부, 2000)와 Glass fibre I(SimaPro 5.1, IDEMAT2001, 2003)을 선택하였다.

2.2.3 전과정 목록분석

전과정 목록분석은 ISO 14040과 ISO 14041문서에 명시된 방법론에 따라 수행하였고, 전과정 목록분석 계산은 PASS⁴⁾를 이용하여 수행하였다. 각각의 단위공정별 데이터를 기능단위인 FRP 재질의 내장판넬 1kg을 기준으로 계산하였으며, <표-2>에 FRP 내장판넬에 대한 LCI 결과값 중 상위 5개의 목록항목을 나타내었다.

<표-2> FRP 재질의 내장판넬 주요 목록항목의 LCI 결과

목록항목	LCI 결과값(kg/f.u.)	목록항목	LCI 결과값(kg/f.u.)
자원소모		수계배출물	
Tin ore	1.279E+00	Waste water	8.143E+01
Sodium chloride	8.160E-01	Chloride	2.460E-02
Crude oil	6.397E-01	TOC	9.017E-03
Soft coal	6.093E-01	COD	4.700E-03
Hard coal	5.993E-01	Sodium	4.356E-03
대기배출물		폐기물	
Exhaust	9.822E+00	Industrial wastes	8.389E+00
Vapor	4.582E+00	General waste	1.406E-01
Carbon dioxide	2.719E+00		
Methane	5.964E-03		
Non methane VOC	4.781E-03		

3) 겔코트와 수지, 유리섬유의 분무, 경화 및 적층 공정이 끝나면 폴리에스테르계 수지인 FRP 성형품이 만들어 지는데, 이는 불포화폴리에스테르계 도료와 유리섬유의 분무, 경화 및 적층공정과 유사하다.

4) 2003년 한국인정원(KAB)이 산업자원부, 한국생산기술연구원, 국가청정생산지원센터의 지원으로 에코시안과 공동으로 개발한 소프트웨어

2.2.4 전과정영향평가

전과정 영향평가는 분류화, 특성화 및 가치평가의 3가지 과정을 거치는 것이 보통이다. 그러나 이 연구에서는 무생물 자원고갈(Abiotic resource depletion: ARD), 지구 온난화(Global warming: GW), 산성화(Acidification: AD), 부영양화(Eutrophication: Eut), 광화학 산화물 생성(Photochemical oxidant creation: POC)등 총 5개의 영향범주를 고려하여 특성화 단계까지 수행하였다. 아래의 <표-3>은 도출된 전과정 목록분석 결과를 이용하여 나타낸 특성화값(Characterized impact value; 이하 CI)이며, PASS 소프트웨어를 사용하였다. 또한 <표-4>는 영향범주별 Key parameter를 나타내었다.

<표-3> FRP 재질의 내장판넬 영향범주별 주요 공정 특성화값

영향범주	CI				Unit
	불포화폴리에스테르계 도료	Glass fibreI	전력	전체	
무생물 자원고갈(ARD)	1.64E-02 (99.64%)	2.93E-05 (0.18%)	3.04E-05 (0.18%)	1.65E-02 (100%)	1/yr
지구 온난화(GW)	2.77E+00 (96.45%)	9.07E-02 (3.16%)	1.11E-02 (0.39%)	2.87E+00 (100%)	g CO ₂ -eq.
산성화(AD)	6.87E-03 (93.91%)	4.27E-04 (5.83%)	1.88E-05 (0.26%)	7.32E-03 (100%)	g SO ₂ -eq.
부영양화(Eut)	1.23E-04 (99.60%)	4.80E-07 (0.39%)	7.81E-09 (0.01%)	1.23E-04 (100%)	g PO ₄ ³⁻ -eq.
광화학 산화물 생성(POC)	3.16E-04 (99.09%)	2.83E-06 (0.89%)	7.93E-08 (0.02%)	3.19E-04 (100%)	g C ₂ H ₄ -eq.

<표-4> FRP 재질의 내장판넬 영향범주별 특성화값

영향범주	물질	CI
무생물 자원고갈(ARD)	Crude oil	1.59E-02
	Iron ore	2.12E-04
	Baryte(BaSO ₄)	1.93E-04
지구 온난화(GW)	Carbon dioxide(CO ₂)	2.72E+00
	Methane(CH ₄)	1.25E-01
	Nitrous oxide(N ₂ O)	2.27E-02
산성화(AD)	Sulfur dioxide(SO ₂)	3.97E-03
	Nitrogen oxides(NO _x)	3.13E-03
	Hydrogen sulfide(H ₂ S)	1.86E-04
부영양화(Eut)	COD	1.03E-04
	Ammonium(NH ₄ ⁺)	1.21E-05
	Phosphate(PO ₄ ³⁻)	4.81E-06
광화학 산화물 생성(POC)	Sulfur dioxide(SO ₂)	1.90E-04
	Ethane	3.60E-05
	Methane(CH ₄)	3.58E-05

<표-3>과 <표-4>에서 보는 바와 같이 무생물 자원고갈 범주에서는 불포화폴리에스테르계 도료의 생산 공정에서 소모되는 Crude oil이 주요 원인이며, 지구 온난화범주 역시 불포화폴리에스테르계 도료의 생산 공정에서 배출되는 이산화탄소에 의한 영향이 대부분이다. 산성화, 부영양화 및 광화학 산화물 생성과 같은 기타 영향범주에서도 불포화폴리에스테르계 도료의 생산 공정에서 배출되는 SO₂, COD등이 주요 원인인 것으로 밝혀졌다. 따라서 FRP 내장판넬 제조 공정에서 환경성을 개선시키기 위해서는 상위 공정인 불포화폴리에스테르계 도료 생산 공정에 대한 분석이 이루어져야 할 것으로 보인다.

2.3 환경성 정보 양식의 적용

2.3.1 LCA 방법론 고려

ISO TC 207에서는 1994년 제 2차 총회시 SC3(환경라벨링)에 Type III에 관한 표준화를 추진하도록 하였다. Type III는 제품 및 그 포장에 부착되거나 사용설명서등에 포함되는 형태로 이용자에게 환경성 정보를 제공할 수 있는 양식을 말한다고도 할 수 있다. 제품의 전 과정에 걸친 환경성 정보를 정량적으로 표시하려는 시도에서 출발한 Type III 프로그램은 LCA자료에 기반을 두고 있으며, 적용되는 LCA 방법에는 전과정 목록분석 결과를 이용하는 경우와 전과정영향평가 결과를 이용하는 경우가 있다.⁵⁾

1) 전과정 목록분석(LCI)결과를 이용한 방법

이 방법은 목적 및 범위 정의와 전과정 목록분석 결과에 기초하여 환경성 정보를 제공한다. 환경성 정보는 표 형태로 제공된다. 즉, 사용된 원료물질, 소모된 에너지는 투입물(input)항목으로, 대기 배출물, 수질 배출물 및 폐기물은 배출물(output)항목으로 표현된다. 제품 시스템의 LCI 결과에 기초한 Type III 프로그램은 다음과 같은 한계를 가진다. 첫째, 질량과 에너지의 투입물, 배출물에 기초하는 목록분석 결과는 “적을수록 좋다”는 판단을 내리게 한다. 둘째, 목록분석은 투입물과 배출물의 질량만을 표시함으로, 물질 사용과 배출물로 인한 잠재적인 환경영향을 나타내지는 못한다. 결과적으로 배출물에 대한 실질적인 중요성을 과대 평가하거나 과소 평가할 우려가 있다. 셋째, 단위공정 또는 다른 형태의 배출물을 합하여 나타냄으로써 때로는 이용자에게 불분명한 정보를 제공할 우려가 있다.

2) 전과정 영향평가(Life Cycle Impact Assessment; 이하 LCIA) 결과를 이용한 방법

이 방법은 LCI 결과와 전과정 영향평가 결과를 종합하여 환경성 정보를 제공한다. LCIA는 전과정 목록분석 결과 얻어진 목록항목이 잠재적으로 환경에 미치는 영향을 평가하는 방법으로 분류, 특성화 및 가치평가의 3가지 과정에 의해 이루어진다.

LCIA 결과에 기초한 Type III 프로그램은 다음과 같은 한계를 가진다. 첫째, 현재의 과학 수준으로 전과정 목록상의 모든 항목과 이것들이 환경에 미치는 영향간의 상관관계를 논리적, 객관적으로 정립하기는 어렵다. 둘째, 영향범주별 지표 사용시 가정, 공간적, 시간적 및 사용 가능한 과학지식의 차이 등으로 인하여 질의 차이가 발생된다. 셋째, LCI 방법과 유사하게 단지 영향범주별 지표를 나열할 경우 모든 영향범주가 동일한 중요성을 갖는다고 인식

5) ISO/TR 14025 N47, Environmental Labels and Declarations - Type III Environmental Declaration - Guiding Principles and Procedure, 1998

될 수 있다.

2.3.2 환경성 정보 양식

LCI 및 LCIA 방법 적용시 한계점을 고려하여 적용범위를 다음과 같이 결정하였으며, 이를 위해 국내에서 작성된 Type III 가이드를 참고하였다.

1) 제품의 일반적인 정보

대상 제품의 이름, 제품번호 및 업체 정보 등을 기술한다.

2) 연구 범위 정의

LCA 수행 단계 중의 하나인 연구 범위 정의단계에서는 대상 제품의 기능, 기능단위 및 기준흐름, 시스템 경계와 가정사항등을 기술한다.

3) LCI와 CI 결과값의 이용

무생물 자원고갈, 지구 온난화, 산성화, 부영양화 및 광화학 산화물 생성 총 5개의 영향범주를 고려하여 CI 결과값을 기술하였다. CI 결과값은 각 영향범주별로 서로 다른 지표를 사용하여 지수를 산출하므로 범주들 간의 비교는 불가능하다. 하지만, 하나의 제품에 대하여 동일한 영향범주 내 공정별로 미치는 환경영향을 알아보거나, 서로 다른 제품에 대하여 같은 동일한 영향범주별 환경성 정보를 비교하는 것은 가능하다. 이 연구에서는 각 영향범주 사이의 상대적인 환경영향비교가 목적이 아니므로 정규화 및 가치평가 단계는 생략하였다.

기존의 LCI 결과값만을 제시할 경우, 투입물 및 배출물에 대한 질량만을 표시함으로써, 그 결과를 이해하는데 어려움이 있을 수 있다. 주요 목록항목의 LCI 값을 나타냄으로써 제품 간의 비교 시 특정 목록항목간의 비교가 가능하도록 하였다. 하지만, 배출물의 양에만 초점을 맞추고 있기 때문에 실제로 어떠한 환경영향을 일으키는 지에 대한 연결고리가 제시되어 있지 않으므로, 중간 생산자들에게는 불분명한 정보가 될 수 있다. 이에 주요 목록항목을 해당 영향범주별로 분류화 및 특성화하여 도출된 CI 결과값을 환경성 정보 양식에 포함하였다.

3. 적용 사례

LCA 적용범위를 고려하여 FRP 내장판넬 제조 공정의 환경성 정보 양식을 아래의 표와 같이 나타낼 수 있다.

<표-5> 전동차 FRP 내장판넬의 환경성 정보 양식_제품 정보

제품 정보	
제품명	FRP 내장판넬
제품 번호	FRP Model 1
업체 정보	
생산업체명	FRP 소재가공 및 가공 업체; D 주식회사
생산업체 주소	대한민국

<표-6> 전동차 FRP 내장판넬의 환경성 정보 양식_환경성 정보 1

제품의 기능	전동차량 구체(Car-Body)내부에 미관, 각종 내장재 조립을 위해 설치하는 판넬의 기능	
제품의 기능단위	전동차 1량에 투입되는 FRP 재질의 내장판넬 1kg	
제품의 기준흐름	전동차 1량에 투입되는 FRP 재질의 내장판넬 1kg	
제품의 시스템 경계	Use of raw materials	원료 취득 단계를 고려함
	Manufacture	제품 생산을 위한 분무, 경화, 적층, 탈형 및 절단, 조립 등의 일련의 과정을 포함
	Distribution	내부 운송을 포함한 운송단계는 데이터 부재로 인해고려대상에서 제외
가정 및 제한사항	제품 생산 공정으로 투입되는 모든 투입물의 누적 무게 기준 98.61%까지 고려 제품 생산 공정으로 투입되는 모든 투입물의 누적 에너지 기준 100%까지 고려	

<표-7> 전동차 FRP 내장판넬의 환경성 정보 양식_환경성 정보 2

영향범주	parameter	Inventory 결과값	Unit	CI 결과값	Unit
무생물 자원고갈				1.65E-02	1/yr
	Crude oil	6.397E-01	kg	1.59E-02	96.49%
	Iron ore	2.802E-02	kg	2.12E-04	1.29%
지구 온난화				2.87E+00	g CO ₂ -eq.
	Carbon dioxide(CO ₂)	2.719E+00	kg	2.72E+00	94.84%
	Methane(CH ₄)	5.964E-03	kg	1.25E-01	4.37%
산성화				7.32E-03	g SO ₂ -eq.
	Sulfur dioxide(SO ₂)	3.965E-03	kg	3.97E-03	54.20%
	Nitrogen oxides(NO _x)	4.467E-03	kg	3.13E-03	42.74%
부영양화				1.23E-04	g PO ₄ ³⁻ -eq.
	COD	4.700E-03	kg	1.03E-04	83.74%
	Ammonium(NH ₄ ⁺)	3.663E-05	kg	1.21E-05	9.84%
광화학 산화물 생성				3.19E-04	g C ₂ H ₄ -eq.
	Sulfur dioxide(SO ₂)	3.965E-03	kg	1.90E-04	59.62%
	Ethane	2.924E-04	kg	3.60E-05	11.28%

4. 결 론

이 연구에서 작성한 환경성 정보 양식은 국내 소비자들의 환경의식을 고려할 때, B2B를 대상으로 사용하는 방향이 적절하다고 판단된다. 업체 간의 부품 거래 시 위와 같은 환경성 정보를 사용할 경우에는, 제품의 비용 및 성능이외에 환경성 정보를 교환함으로써 궁극적으로 GPN(Green Purchasing Network; 이하 GPN) 구축에 앞장설 수 있다. 또한 제품 및 부품의 환경성을 파악하고, 취약한 부분의 개선을 유도함으로써 기업 및 산업체의 환경오염에 대한 사회적 책임을 다하는데 기여를 할 것으로 보인다.

5. 감사의 글

본 연구는 건설교통부 국가교통핵심 기술개발 사업의 일환으로 수행되었음에 이에 감사드립니다.

6. 참고문헌

- (1) W. Wimmer et al., Ecodesign Implementation. Springer, 2004
- (2) ISO/TR 14025 N47, Environmental Labels and Declarations - Type III Environmental Declaration - Guiding Principles and Procedure, 1998
- (3) 건설교통부, 전동차 전과정 평가 시스템 개발, 1차년도 최종 보고서, 2005
- (4) 이진모, 제품의 환경성표지 인증제도와 기업의 대응방안, 그린삼성 47호, 1998
- (5) 이보삼 외, 제3유형 환경성선언에의 전과정평가 적용과 프로그램 제도화 방안, 한국 전과정평가 학회, 1998.11