환경성적표지 인증을 위한 한국형 틸팅열차의 전과정평가

Life Cycle Assessment of Korean Tilting Train eXpress for Environmental Declaration of Product(EDP)

이현배* 김용기** 이건모†
Hyun-Bae Lee Yong-Ki Kim Kun-Mo Lee

ABSTRACT

A recent Tilting train development operation for existing line high speed, already developed "Korean Tilting Train eXpress(bellow TTX)" and that doing demonstration of operation. And TTX are going to commercial service in 2012. They are preparing Environmental Declaration of Product(bellow EDP) for offering environmental impact of TTX to customer. EDP calculated environmental impact of target product's whole life cycle(raw material and manufacturing, distribution, use, end of life) more quantity for that improving environmental impact and then certification them, it is using for that estimate some part of existence of specific pollutants, GHGs, energy consumption and recycling ratio.

In this study, 1) analyze the process of getting EDP, 2) satisfy common criteria and each criteria(plan) in the Product Category Rules(bellow PCRs) provided KEITI, 3) according to ISO 14044, implementation of LCA. 4) These results be shown Characterized Impact(bellow CI) about each life cycle stage and six impact categories(ARD, GWP, OD, AD, EU, POC).

1. 서 론

기존선 고속화를 위한 틸팅열차 개발 사업은 현재 “한국형 틸팅열차(이하 TTX)”의 시제차량이 개발되어 시범운행 중에 있으며, 이르면 2012년에 상용화될 전망이다. 이에 따라 TTX의 친환경성과 환경성 정보를 소비자에게 제공하고자 환경성적표지 인증 사업을 추진 중에 있다. 환경성적표지제도(Environmental Declaration of Product; 이하 EDP)는 해당 제품의 환경성 제고를 위해 원료 및 제품의 생산, 유통, 소비 및 폐기단계 등의 전과정에 대한 환경성 정보를 정량적으로 계산하고 이를 인증하는 제도로써, 유해물질의 유무, 전과정에서 발생되는 온실가스 배출량, 에너지 사용량, 재활용여부를 개별 및 종합적으로 판단하는 잣대로 활용되고 있다.

TTX는 수 만가지 이상의 하위 부품으로 구성되어 있으며, 각 부품의 재질정보 및 무게정보, 공정정보 확보에 많은 어려움이 존재한다. 일부 부품의 경우는 해외업체 혹은 매우 영세한 업체에서 제작・납품되는 형태로 제조자에게 공급되기 때문이다. 다음과 같은 어려움에도 불구하고 TTX의 전과정평가를 수행하는 것은 최근 강화되고 있는 환경법규를 만족하고, 나아가 TTX의 정량적인 환경성 정보를 소비자에게 제공하는 마케팅 전략으로 활용함은 물론, TTX 최종 생산업체의 친환경 이미지 제고를 위함이다. 이와 더불어 TTX의 전과정평가 결과를 이용하여 EDP를 획득함으로써, 그 활용 범위를 확대하고자 한다.

† 책임저자 : 비회원, 아주대학교, 환경건설교통공학부, 교수
E-mail : kunlee@ajou.ac.kr
TEL : (031)219-2405 FAX : (031)215-5145
* 비회원, 아주대학교, 제품환경기술연구실, 연구원
** 정회원, 한국철도기술연구원, 철도환경연구실, 책임연구원

2. 본 론

EDP획득을 위한 TTX의 전과정평가는 그림 1과 같이 총 5단계의 절차로 구성된다.

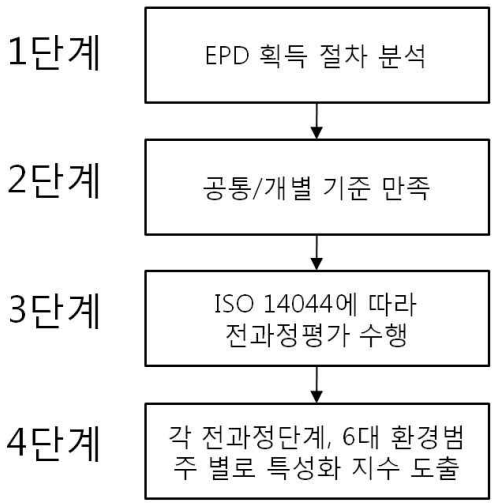

그림 1. 연구 수행 절차

이 연구에서는 1단계 : EDP 획득 절차에 대해 분석하고, 2단계 : 작성지침(Product Category Rules; 이하 PCRs)의 공통기준과 개별기준(가안)을 만족시키면서 3단계 : ISO 14044에 따라 전과정평가를 수행한다. 4단계 : 수행한 결과는 TTX의 전과정 단계(원료물질 채취/제조 및 제품제조단계, 사용단계, 폐기단계) 별로 6대 환경범주(자원소모, 지구온난화, 오존층영향, 산성화, 부영양화, 광화학적 산화물생성)에 대해 특성화지수(Characterized Impact; CI)로 도출한다.

2.1. EPD 획득 절차 분석

EPD를 받기 원하는 제안자는 환경부에서 고시된 작성지침에 따라 수행한 전과정평가 수행결과를 환경성적표지 인증기관인 한국환경산업기술원에 제출하면 심사 및 심의를 통해서 인증을 받을 수 있다. 그 절차는 그림 2와 같다.

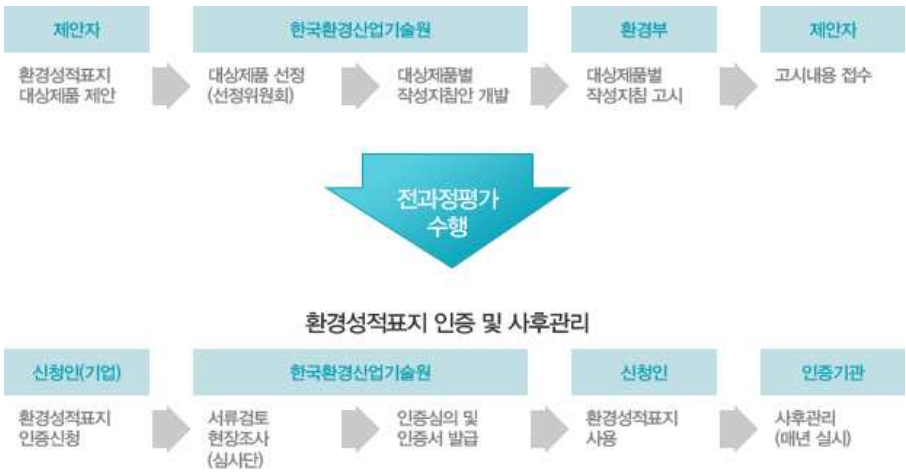

그림 2. 환경성적표지 인증 절차

2.2 공통/개별 기준 만족

EDP 획득을 위해서는 작성지침인 공통기준과 개별기준을 만족해야 한다. 공통기준은 모든 제품군에 공통으로 적용되며, 개별기준은 제품군 별, 제품 별로 세분화 되어 적용된다. 최근 한국환경산업기술원에서는 틸팅열차에 대한 개별기준을 작성 중에 있으며 주요 내용은 아래와 같다

2.2.1 적용 범위

이 기준은 육상에서 사람과 수화물, 물품을 수송하는 틸팅열차에 대하여 적용한다.

2.2.2 정의(생략)

2.2.3. 전과정평가 수행

(1) 기능과 기능단위

(가) 기능 : 육상에서 사람과 수화물, 물품을 수송하는 기능

(나) 기능단위 : 틸팅열차 1편성

(다) 제품 특성 정보

1) 규격 : 너비(m) × 높이(m), 중량(ton)

2) 열차편성 : 6량(4M2T)

3) 최고운행속도 : 180km/h, 설계속도 : 200km/h

4) 기능 : 최대 틸팅각 8°

(2) 시스템 경계는 공통기준과 다음 기준을 따른다.

(가) 제품제조전 단계 : 투입물과 관련된 “원료물질 채취 및 제조공정”을 포함한다. ‘제품ㅈ조전단계’ 내에서의 수송은 별도로 고려하지 않으며, ‘제품제조전 단계’에서 ‘제품제조 단계’로의 수송은 고려하지 않는다.

(나) 제품제조 단계 : 제품 조립공정을 포함한다. ‘제품제조 단계’로부터 ‘사용단계’로의 수송은 물류센터까지의 수송을 고려하며, 물류 센터에서 소비자까지의 수송은 제외한다.

1) 제품 조립공정 : 다음 표와 같이 주요핵심부품 생산 및 조립공정을 포함한다.

(다) 사용단계 : 틸팅열차의 사용단계에 대한 부분은 총 전력사용량과 유지보수단계를 고려한다.

- 총 전력사용량 = 운행거리당 소비전력량(kWh/km) × 연간 평균운행거리(km/yr) × 제품수명(yr)

(3) 제외기준은 공통기준과 다음 기준을 따른다.

조립공정으로 투입되는 ‘원료물질과 보조물질의 총량’ 대비 사용되는 ‘조립품 및 부품 수준의 질량누적비율 95%까지 포함하고, 이에 포함된 조립품 및 부품 별로 재질수준의 질량누적비율 95%까지 포함한다. 사업장으로 투입되는 원료물질이나 보조물질의 포장재는 고려하지 않으며, 제품과 함께 출하되는 포장재의 총량 대비 재질수준의 질량누적비율 95%까지 포함한다.’

(4) 데이터 범주는 공통기준을 따른다.

(5) 데이터 품질 요건은 공통기준과 다음 기준을 따른다.

(가) 제품 제조단계에서 규정된 제품 조립공정, 보조공정 등의 데이터는 현장데이터 사용을 원칙으로 한다.

(6) 데이터 수집과 계산은 공통기준과 다음 기준을 따른다.

(가) 제품제조 단계

1) 제품제조 단계에서 규정한 제품 조립공정 중 일부 공정이 사업장 외부에 위치하더라도 현장데이터를 수집하여야 한다.
2) 보조공정(유틸리티)으로 투입되는 물질에 대한 현장데이터는 수집하되 상위공정에 대한 데이터베이스는 연결하지 않는다. 다만, 에너지(전력, 연료, 압축공기 등)는 사용량을 측정하여 LCI 데이터베이스를 적용한다.

(나) 사용단계

1) 틸팅열차의 사용단계에서 발생하는 환경영향은 전력사용과 관련된 것으로 '다.(2)(다)'에서 정한 계산식을 사용하여 전력사용량을 계산한다.
2) 소비전력(kW/km) 측정방법은 틸팅열차의 주요운행거리에 대해서 공인된 적산전력계를 설치 후 정상운행상태로 3회 왕복 운전을 실시하여 측정된 총 전력사용량을 총 이동거리로 나누어 계산한다.
3) 제품 출하 포장재는 사용단계에서 전량 배출되는 것으로 가정하고, 폐기물 관련 데이터는 폐기단계에서 고려하는 방법으로 수집·적용한다.

(다) 폐기단계는 공통기준을 따른다.

(라) 수송

1) 수송은 공통기준과 '다.(2)'에서 정한 기준에 따라 부품, 제품의 수송을 포함하여야 한다.

(7) 할당은 공통기준과 다음 기준을 따른다.

(가) 사업부간의 할당은 각 제조사별 내부 할당기준을 따른다.

(나) 제조라이별 및 제품별 할당은 생산대수 따라 할당기준을 설정한다.

2.2.4 환경성 정보 공개는 공통기준을 따른다.

2.3 전과정평가 수행

틸팅열차 Mcp Car에 대한 전과정평가 수행결과는 다음과 같으며, ISO 14044에서 제시하는 절차에 따라 서행되었다.

2.3.1 목적정의 및 시나리오 설정

가. 목적

틸팅열차 Mcp Car의 하위 부품인 구체, 내외장재, 대차, 전장품의 전과정평가 결과를 합산하여, 틸팅열차 Mcp Car 1량에 대한 환경성 분석 및 주요 환경성 이슈를 규명한다.

나. 시나리오

한국형 틸팅열차 Mcp Car 전체의 원료물질 취득부터 제작단계까지의 전과정평가 (Cradle to gate; Ctg)

2.3.2 기능, 기능단위 및 기준 흐름

가. 기능

틸팅열차 중 판토그라프를 이용하여 운행에 필요한 에너지를 공급받으며, 객실, 운전실이 포함되어 틸팅열차를 운행, 운전하는 기능

나. 기능단위

한국형 틸팅열차 Mcp Car 1량

다. 기준흐름

데이터를 계산하기 위한 기준흐름(Reference flow)으로 한국형 틸팅열차 Mcp Car 1량으로 설정하였다.

도표 1. 한국형 틸팅열차 Mcp Car 1량의 기능, 기능단위 및 기준흐름

기능	틸팅열차 중 판토그라프를 이용하여 운행에 필요한 에너지를 공급받으며, 객실, 운전실이 포함되어 틸팅열차를 운행, 운전하는 기능
기능단위	한국형 틸팅열차 Mcp Car 1량
기준흐름	한국형 틸팅열차 Mcp Car 1량 (29,717kg)

2.3.3 시스템 경계

틸팅열차 Mcp Car에 포함되는 부품 중 해당 연구에서 고려된 부품 정보는 도표 2와 같다. 틸팅열차 Mcp Car는 총 50,895kg이며 해당 연구에서 고려된 부품 무게의 합은 29,717kg으로 전체 무게의 58.4%를 차지한다. 포함된 부품 이외의 부품은 재질정보 및 공정정보의 확보가 이뤄지지 않아 연구범위에서 제외하였다.

도표 2. 틸팅열차 Mcp Car 1량에 포함되는 부품 중 고려된 부품

(단위 : kg)

PCR 구분	Tier 1	순번	Tier 2	무게	수량	총 무게
1. 구체 (Carbody)	구체	1	Partition Frame Room/Entrance)	133	1	133
		2	Partition Frame (Driver's Room)	140	1	140
		3	Car Body Block (복합소재)	2,195	1	2,195
		4	차량간 연결기 및 완충장치	378	1	378
		5	선두부 연결기 및 완충장치	378	1	378
2. 내외장재 (Interior, windows and doors)	부속실 설비	6	Interior Panel	285	1	285
		7	Side Entrance Door Engine	90	2	180
		8	Side Entrance Door	60	2	120
	객실 설비	9	Window	52	10	520
		10	Interior Panel	370	1	370
		11	Partition sliding Door Engine (Passenger Room)	16.95	1	16.95
		12	Partition sliding Door (Passenger Room)	53.08	1	53.08
3. 대차 (Bogies and running gears)	대차	13	Bogie (Rear)	9,461	1	9,461
		14	Bogie (Front)	9,461	1	9,461
4. 전장품 (Electric equipment)	상하 기기	15	Main Transformer (MTr)	3,750	1	3,750
		16	AC CONTROL BOX (ACB)	96	1	96
		17	Main Converter/Inverter (C/I)	2,050	1	2,050
	옥상 기기	18	Main Circuit Breaker (Mcb)	130	1	130
Total						29,717

2.3.4 영향범주별 환경영향과 기여도

한국형 환경영향평가지수 방법론을 사용하여 특성화(Characterization), 정규화(Normalization)인자 및

가중치 부여(Weighting) 인자를 적용하였으며, 무차원 단일지수로 잠재적 환경영향 값을 산출하였다. 또한 무생물 자원고갈(Abiotic resource depletion; ARD), 산성화(Acidification; AD), 부영양화(Eutrophication; EUT), 지구 온난화(Global warming; GW), 오존층 파괴(Ozone layer depletion; OD), 광화학 산화물 생성(Photochemical oxidant creation; POC)으로 총 6개의 영향범주를 고려하였다. 아래 도표 3은 정규화 및 가중치 부여 단계를 거쳐 도출된 최종 환경영향 값을 나타내며, 각 영향범주별 환경영향 기여도를 그림 2에 나타내었다.

도표 3. 한국형 틸팅열차(M체 Car) 1량의 영향범주별 기여도 분석

영향범주	CI	NI	WI	기여도
무생물자원고갈(ARD)	4.49E+02	1.80E+01	4.16E+00	34.45%
산성화(AD)	8.02E+02	2.01E+01	7.24E-01	5.99%
부영양화(EUT)	4.11E+01	3.13E+00	1.19E-01	0.99%
지구온난화(GW)	9.18E+04	1.66E+01	4.79E+00	39.59%
오존층파괴(OD)	7.11E-02	1.75E+00	5.10E-01	4.22%
광화학산화물생성(POC)	2.82E+02	2.74E+01	1.79E+00	14.77%
계			1.21E+01	100.00%

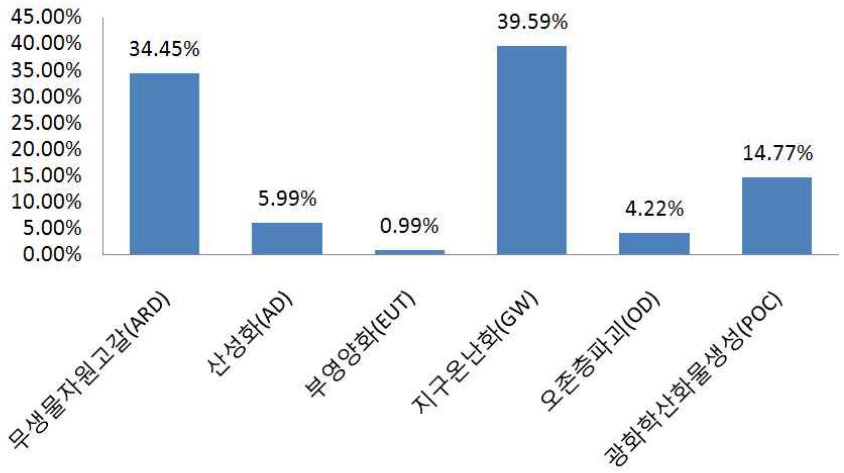

그림 2. 한국형 틸팅열차 Mcp Car 1량의 영향범주별 기여도

이를 통해 한국형 틸팅열차 Mcp Car 1량의 원료 취득 단계에서 제작단계까지, 가장 큰 환경영향을 야기하는 영향범주는 지구온난화(GW)임을 알 수 있고, 무생물 자원고갈(ARD)과 광화학산화물생성(POC)이 각각 주요 환경영향을 야기함을 알 수 있다.

2.4 특성화 지수 도출

각 영향범주별 구체, 내외장재, 대차, 전장품의 기여도는 도표 4와 그림 3과 같다.

도표 4. 각 영향범주별 구체, 내외장재, 대차, 전장품 기여도

구 분	무생물 자원고갈 (ARD)	산성화 (AD)	부영양화 (EUT)	지구온난화 (GW)	오존층파괴 (OD)	광화학 산화물생성 (OD)	WI
구체	11%	59%	66%	43%	99%	2%	29%
내외장재	3%	2%	5%	3%	1%	1%	2%
대차	67%	20%	22%	39%	0%	86%	52%
전장품	20%	19%	7%	16%	0%	10%	16%
Total	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

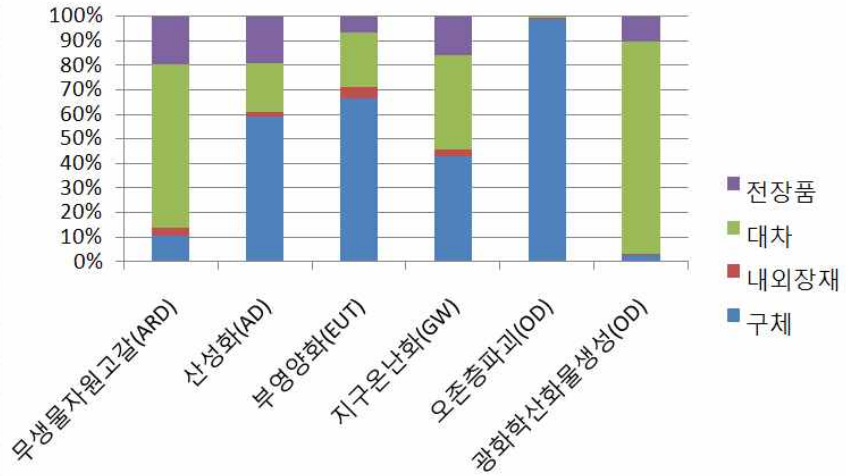

그림 3. 각 영향범주별 구체, 내외장재, 대차, 전장품 기여도

3. 결론

틸팅열차 Mcp Car 1량의 전과정평가 결과 지구온난화(GW)에 39.59%로 가장 많은 영향을 주고 있는 것으로 결과가 도출되었으며, 무생물자원고갈(ARD)도 34.45%로 많은 영향을 주는 것으로 파악되었다. 각 영향범주별 하위 부품 기여도는 가중화 결과 대차가 52%로 가장 많은 영향을 주고, 구체가 29%, 전장품이 16%, 내외장재가 2%의 영향을 주는 것으로 조사되었다. 각 영향범주별로는 무생물자원고갈(ARD)에서는 대차가 67%로 가장 많이 차지하였으며, 산성화(AD)에서는 구체가 59%, 부영양화(EUT)에서는 구체가 66%, 지구온난화(GW)에서는 구체가 43%, 오존층파괴(OD)에서는 구체가 99%, 광화학산화물생성(OD)에서는 대차가 86%로 가장 높은 비중을 차지하는 결과가 도출되었다. 가중화 결과로는 대차가 구체보다 약 23%의 영향이 더 많은 것으로 조사되었다. 하지만 각 영향범주별 기여도에서는 구체가 산성화(AD), 부영양화(EUT), 지구온난화(GW), 오존층파괴(OD)로 4항목을 차지하였고, 대차는 무생물자원고갈(ARD), 광화학산화물생성(POC)로 2항목을 차지하는 것으로 분석되었다.

참고문헌

1. 한국청정생산지원센터, “국가 LCI Database 구축 방법론 및 관리・보급확산 방안, 연구보고서”, 2004
2. 한국표준협회. “한국산업표준(KS) 분류체계”, 2009
3. ISO, "ISO/FDIS 14040: Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework", 2006
4. UINFE, "Annual report 2009", pp.76-85, 2009
5. Bombardier transportation, "EcoActive Technologies: MITRAC Hybrid - The Dual Power Propulsion Chain", 2009
6. Christian Rozycki *et al.*, "Ecology Profile of the German High-speed Rail Passenger Transport System", International Journal of LCA, 2003
7. 한국환경산업기술원, 환경성적표지 홈페이지, http://www.edp.or.kr/edp/main/main.asp, 2010년 4월 접속