

한국형 틸팅열차의 대차에 대한 전과정평가

Life Cycle Assessment on bogie system of Korea TTX

이철규* 전용삼** 이재영*** 김용기****
Lee, Cheul-Kyu Jeon, Yong-Sam Lee, Jae-Young Kim, Yong-Ki

ABSTRACT

The concern on sustainable development is increased to solve the global warming which is environmental issue over nations. Sustainable development is the concept of minimizing the consumption of resource and environment burden. In transportation, there are some trials of shifting to green transportation mode through low energy consumption and high efficiency. Korea Tilting Train eXpress (TTX) can run higher speed than existing train and save energy through light weight. In this study, Tilting bogie, the core equipment of tilting train, was compared with that of existing train.

1. 서 론

범국가적 환경이슈인 지구온난화 문제 해결을 위하여 선진국을 중심으로 지속가능한 발전에 대한 관심이 고조되고 있다. 지속가능한 발전은 지구 자원소비와 환경부하를 최소화하는 개념으로 교통 분야에서는 에너지 저소비, 고효율화를 통한 친환경 교통수단으로의 재편을 고려하는 등 지속가능한 교통을 위하여 노력하고 있다. 한국형 틸팅열차는 기존 선로에서 기존 철도차량 보다 고속주행이 가능하며 경량화를 통하여 에너지 소비를 저감하였다. 틸팅열차의 핵심은 틸팅대차로 본 연구에서는 이러한 틸팅대차와 일반대차와의 환경성능을 비교하였다.

2. 전과정평가 개요

전과정평가(Life Cycle Assessement, LCA)란 원료취득에서부터 생산, 운송, 사용 및 폐기까지의 전과정에서 환경에 미치는 영향을 평가하는 방법으로, 어떤 제품, 공정, 생산 활동 등으로 인하여 사용된 물질 및 에너지 그리고 환경에 배출된 오염물질들을 규명하고 정량화하는 것을 말하며, 이러한 일련의 과

* 이철규 : 한국철도기술연구원, 철도환경연구실, 정회원

E-mail : cheul@kri.re.kr

TEL : (031)460-5372 FAX : (031)460-5319

** 전용삼 : 한국철도기술연구원, 철도환경연구실, 비회원

*** 이재영 : 한국철도기술연구원, 철도환경연구실, 정회원

**** 김용기 : 한국철도기술연구원, 철도환경연구실, 정회원

정을 통하여 환경적으로 건전하고 지속가능한 발전을 추구하고, 전과정에서 소비하는 자원 및 에너지, 환경부하 등을 최소화하고 환경개선방안을 모색하는 것을 목적으로 한다.

LCA는 상호 연관된 네 가지의 요소로 구성되어 있다. 따라서, LCA를 수행하기 위해서는 각각의 과정에서 필요한 자료와 절차, 방법 등을 정립할 필요성이 있다. ISO 14040시리즈에서 규정하고 있는 LCA의 실시 순서는 크게 목적 및 범위 설정(Goal Definition and Scope), 목록분석(Inventory Analysis), 영향평가(Impact Assessment), 결과해석(Interpretation)의 4단계와 보고(Reporting) 및 검토(Critical Review)로 구성된다. LCA 수행절차를 아래 그림 1에 나타내었다.

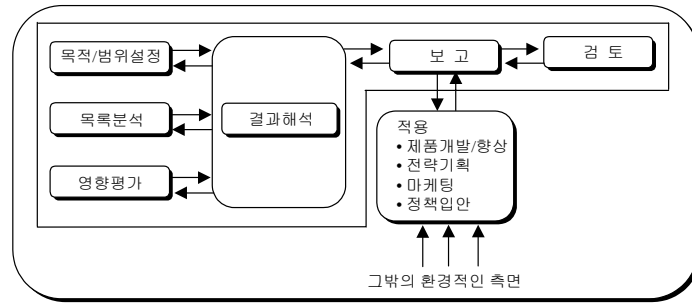


그림 1. LCA 수행절차

첫 번째 단계인 목적 정의 및 범위 설정 단계는 적정의 및 범위설정 과정은 전과정평가의 목적 및 범위를 결정하는 과정이다. 전과정평가의 목적 및 범위에 따라 수행하여야 할 연구의 범위 및 깊이가 결정되므로 명확하게 목적을 정의하고 평가할 범위를 결정하여야 한다. 이에 따라 수집하는 자료, 분석방법, 결과가 다르기 때문에 전제 조건 등이 제시되어야 하며, 그 내용에는 LCA 수행의 이유, 도출된 결론의 용도 및 사용주체, 사용 자료의 신뢰도, 검토 등이 포함된다. 연구 범위의 설정 단계에서는 시스템의 기능 및 범위, 기능단위(functional unit), 관련흐름(reference flow), 영향평가 방법, 자료의 요구조건, 연구의 가정 및 제한요인 등이 포함되어 있다. 연구범위의 폭과 깊이는 평가목적에 충분히 달성할 수 있도록 설정해야 하며, 모든 가정과 전제조건은 근거를 제시하여 투명성이 보장될 수 있도록 해야 한다. 기능단위란 환경성 평가의 기본이 되는 단위이고, 시스템이 나타내는 성능의 지수를 의미한다. 이것은 목적을 서술할 때 발생할 수 있는 모호성을 피하고 범위선정의 근거를 확실히 하기 위해 필요하며, 기능단위를 정할 때에는 측정가능하며 입출력 데이터와 연관성을 가질 수 있게 설정하여야 한다. 또한 기능단위는 평가대상의 효율, 대상의 내수성과 수명, 질적 기준 등을 고려하여 제품을 표현하는 가장 적절한 단위로 설정해야 한다. 기능단위의 설정은 동일기능의 대상을 비교할 때 특히 중요하다.

두 번째 단계인 목록분석은 목적 및 범위설정 단계에서 설정된 연구대상 시스템에 대하여 자료를 수집하고 기능단위에 적합하게 계산하여 제품이나 서비스의 전과정에서 발생하는 환경부하를 파악하는 단계이다. 파악된 데이터들은 영향평가 단계에서 잠재적인 환경영향을 평가하는데 사용된다. 평가대상의 전 과정에 걸친 자료의 수집 시에는 정보부족 및 회사의 기밀정보 등의 이유로 모든 자료의 수집이 불가능할 수도 있다. 이러한 경우에는 앞서 정의한 목적 및 범위설정을 수정하거나 가정함으로써 문제를 해결할 수 있다. 여기에서 가정은 객관적이며, 과학적이어야 한다. 또한, 목록분석 과정은 반복적인 작업으로서 수많은 양의 데이터를 취급하기 때문에 일반적으로 관련 DB를 이용하여 데이터를 처리한다. 목록분석에는 제품이나 서비스의 전 과정에 대한 설명, 자료 수집방법 및 결과, 데이터의 품질평가 결과, 데이터 처리 및 계산방법, 사용한 가정, 목록분석에서 얻은 결과 등을 모두 포함해야 한다.

전과정 목록분석만으로는 비교대상이 되는 제품들의 상대적인 환경성 순위만을 인지할 수 있을 뿐이고, 대상 제품 자체의 환경성을 파악하기는 곤란하다. 영향평가는 전과정 목록분석 결과를 이용하여 잡

재적인 환경영향을 평가하는 것을 목적으로 한다. 즉, 환경에 미치는 영향 정도를 정량적이고 정성적으로 추산하여 주어진 시스템이 환경에 미치는 영향을 종합적으로 평가하는 것이다. 또한, 전과정 영향평가를 통해 평가대상의 Life Cycle에서 환경적 Key factor(중요 공정, process, 부품, material, option 등)를 규명할 수 있으며, 상이한 평가대상의 환경적 우위성을 평가할 수 있다.

본 연구에서는 ISO에서 제시하고 있는 영향평가 단계인 목록항목을 영향범주에 배정하는 분류화(Classification), 영향범주 내에서 목록항목의 환경영향을 나타내는 특성화(Characterization), 지역적, 시간적인 기준을 설정하는 정규화 및 특성화 결과를 합산하는 가중치 부여(Valuation)의 순으로 영향평가를 수행하였으며, 환경영향범주별 특성화인자는 IPCC(1)(2)(3)(4)(5)(6) 등에서 제시한 수치를 사용하였으며, 정규화 및 가중치 인자는 표 1에 제시한 계수(7)를 사용하였다.

표 1. 정규화 및 가중치 계수

영향범주	정규화 계수 및 단위		가중치 계수
자원고갈	2.49E+04	g/person-yr ²	0.218
지구온난화	5.53E+06	g CO ₂ -eq/person-yr	0.274
오존층고갈	4.07E+01	g CFC-eq/person-yr	0.171
광화학산화물 생성	1.03E+04	g C ₂ H ₄ -eq/person-yr	0.060
산성화	3.98E+04	g SO ₂ -eq/person-yr	0.034
부영양화	1.31E+04	g SO ₂ -eq/person-yr	0.026
생태독성			
수계생태독성	1.50E+03	g DCB-eq/person-yr	0.144
해양생태독성	7.75E+07	g DCB-eq/person-yr	
토양생태독성	1.63E+03	g DCB-eq/person-yr	
인간독성	1.48E+06	g DCB-eq/person-yr	0.074

마지막으로 결과해석단계에서는 목록분석 및 영향평가 결과를 평가하여 이 들 결과로부터 시스템의 주요 환경이슈를 규명하게된다. 개선평가의 가장 중요한 과제는 기존의 방식을 대체하면서 현실적으로 적용가능한 안을 도출하여 환경성을 개선할 수 있어야 한다. 이러한 모든 행위는 LCA수행담당자와 공정엔지니어 설계자 및 구매담당자의 총체적인 협조를 요구로 한다.

3. 대차환경성 평가 및 비교

3.1 목적 및 범위정의

본 연구의 주 대상은 복합소재를 적용한 한국형 틸팅열차의 전체 중량 중 50 % 이상을 차지하고 있는 대차(Bogie)부분이며, 한국형 틸팅열차의 전체 환경성 비교를 위한 전 단계로 대차의 환경성능을 일반 전동차와 비교해보고자 하였다. 보다 정확한 비교를 위하여 틸팅열차는 새마을호와 같은 도시간 철도와 비교하여야 하나 현재까지 전과정평가 수행실적 등 자료가 미흡하여 일반 전동차의 대차와 비교하였다. 철도차량의 대차부분은 차량별로 그 기능은 상이할 수 있으나 적용된 재료 크게 다를 것이 없는 것으로 예상되었으나 자료 분석결과 틸팅차량의 경우에는 일반 차량과 달리 1편성 내에서도 차종에 따라 설계가 상이하게 적용된 것으로 조사되었다. 따라서, 본 연구에서는 틸팅 기능을 기능단위로 하였으며 원재료 취득에서 출고까지를(Cradle to gate, Ctg) 범위로 자료를 조사하였다. 유지보수, 재활용 및 폐기단계에 의한 환경성 정보는 틸팅차량 전반적인 자료조사 결과로부터 시스템 전체단위에서 고려할 때 적용하여 대차부분을 별도로 적용할 수 있을 것으로 판단된다. 표 2와 3에 일반전동차와 틸팅차량의 대차 주요구성품 및 중량정보를 간략히 정리하였다. 조사결과 틸팅차량의 대차시스템은 전동차보다 가

벼운 것으로 나타났다.

3.2 전과정목록분석

틸팅대차 및 일반 대차의 전과정 목록데이터는 기본적으로 철도차량용 대차생산업체를 방문하여 ISO 14041⁸⁾ 기준에 부합하도록 작성된 설문조사 결과를 기본으로 수행하였다. 차량 전체중량의 50 % 이상을 차지하는 대차 내에서도 누적중량 기준으로 80 % 이상에 해당되는 구성품에 대한 자료를 수집하여 분석에 포함하였으며 전과정평가 소프트웨어 프로그램은 산업자원부에서 제공하고 있는 PASS 프로그램을 활용하여 수행하였다.

표 2. 일반전동차 대차(Bogie) 구성

구성품	하위구성품	중량(kg)
Journal Box Ass'y	Journal Box	563.4
	Bearing Ass'y	290.5
	Cover	112.2
Disk Brake Ass'y	Brake Cylinder	378.5
	Brake Lining Head Ass'y	119.7
	Brake Lever	291.2
Center Pivot Device	Fixed Point Support	106.8
	Center Pivot Block	109.5
Wheel & Axle Ass'y	Center Pivot	184.9
	Wheel	3063.5
Bogie Frame	Axle	1835.5
	Brake Disk Ass'y	1254.5
	Side Frame	928.7
Total	Cross Beam Ass'y	1045.4
	Aux. Reservoir Ass'y	198.1
	Axle Spring	461.3
	Total	10,943.7

표 3. 틸팅차량 대차(Bogie) 구성(Tc car)

구성품	하위구성품	중량(kg)
Journal Box Ass'y	Journal Box	500
Disk Brake Ass'y	brake cylinder ass'y	450
	brake lining head	
	brake caliper	
Air Spring Ass'y	fastening plate	1,200
	air spring	
	contact plate	
Steering link Ass'y	steering like	2,400
	Wheel	
Wheel & Axle Ass'y	Axle	500
	upper chord	
Bolster frame Ass'y	web	1,450
	lower chord	
Bogie frame	side frame	600
	cross beam	
Primary suspension	coil spring	7,100
	Total	

3.3 환경영향평가 및 해석

전동차 대차의 경우 10개 영향범주 중 지구온난화가 47.17 %를 차지하였으며, 다음으로는 무생물 자원고갈이 40.31 %로 분석되었다. 주요 원인으로는 전동차 대차의 주요물질인 압연강재이며 압연강재는 철광석을 주 원료로 제작되었기 때문이며 또한 대차 조립과정에서 소비된 에너지량이 아주 높아 이로 인한 이산화탄소 배출량이 높은 것으로 분석되었다. 또한 대차 구성품별 환경영향 기여도를 분석한 결과 wheel & axle assembly의 기여도가 가장높았으며 다음으로 대차프레임으로 조사되어 구성품의 중량 순과 어느정도 일치한 것을 알 수 있었다. 틸팅차량의 대차의 경우도 전동차와 크게 다를 바가 없을 것으로 판단되어지나 경량화로 인한 환경성 개선효과는 기대할 만하다. 그림 2와 3에 전동차 대차의 전과정평가결과를 개략적으로 정리하였다.

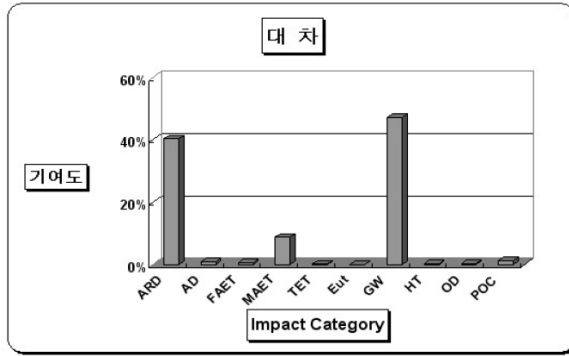


그림 2. 전동차 대차 환경영향평가결과

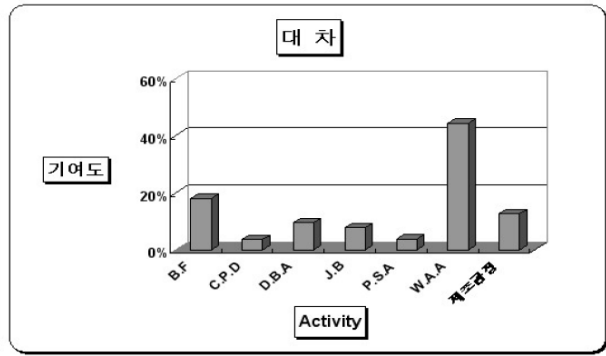


그림 3. 대차구성품 기여도 분석결과

4. 결론

국내외 지속가능한 교통에 대한 요구가 증가함에 따라 철도차량에 대한 환경성능 확보 및 친환경 설계 적용에 대한 연구가 진행되고 있는 추세이다. 복합소재 차체를 적용하여 기존 차량보다 가볍고 기존 선로에서 고속운행이 가능한 틸팅차량은 운행단계에서 기존차량보다 낮은 에너지를 소비함을 알 수 있다. 틸팅차량 차체의 경량화 효과와 함께 틸팅대차의 환경성을 비교하기 위하여 대차만을 대상으로 하여 연구를 수행한 결과

- 틸팅대차 구성은 틸팅성능을 위하여 기존 대차의 구성과 다소 차이가 있음을 알 수 있었다.
- 차량 전체 중량의 50 % 정도를 차지하는 면에서는 기존 대차와 유사하나 대차 중량만 고려할 경우 기존 대차보다 가벼운 것으로 조사되었다.
- 보완연구를 통하여 틸팅대차의 환경영향분석 결과와 틸팅대차 환경성에 대한 구성품별 기여도 결과를 제시할 수 있도록 할 예정이다.

5. 참고문헌

- 1) World Resource 1996-97, reserve basis.
- 2) IPCC(Intergovernmental Panel on Climatic Chang 1994/5, direct effect), the Time horizon 100 year CO₂-equivalents.
- 3) WMO(World Meteorological Organization)(1998).
- 4) Derwent R.G.et.al., Photochemical Ozone Creation Potential for Organic Compounds in Northwest Europe Calculation with a Master Chemical Mechanism. Atmospheric Environment(1998).
- 5) Hauschild & Wenzel (1997)
- 6) www.eea.eu.int
- 7) 산업자원부, 환경친화적 산업기반 구축을 위한 환경경영 표준화사업(2003)
- 8) ISO 14041 : 1998 Environmental management-Life cycle assessment-Goal and scope definition and inventory analysis