

# 철도차량에 대한 전과정평가 도입을 위한 방안 연구

## A Study on the Introduction of Life Cycle Assessment (LCA) for Rolling Stocks

이재영\*, 김용기\*\*, 박성환\*\*, 김희만\*\*\*

Jae-Young Lee, Yong-Ki Kim, Sung-Hwan Park and Hee-Man Kim

---

### ABSTRACT

Due to sustainable development, international environmental regulations have been reinforced continuously. Especially, Kyoto protocol related to energy consumption affects to national production system seriously. Even if railroad is the most environmental- friendly transportation, it is necessary to improve its environment. Life cycle assessment (LCA) is a representative tool to evaluate the environment impacts of a product. In the EU's railroad companies, the recycling efficiency and the waste emissions of rolling stocks have improved considering their environment impacts with LCA from a design step. Also, the LCA system of Korean electric motor units has been developed to build an environmentally sound railroad as one of national transportation core technology R&D projects. Therefore, the introduction of LCA will be required to decrease environmental impacts released from rolling stocks in the future.

---

### 1. 서론

21세기 지속가능한 개발을 전제로 국제적으로 환경규제가 강화되고 있으며, 2005년 2월 교토의정서가 발효됨에 따라 환경부하의 저감 및 친환경적 산업 육성을 위한 국가차원의 환경생산체계 구축이 시급한 실정이다. 이에 이미 주요 선진국에서는 환경정책 수립시 의사결정지원의 수단으로 오염물질 배출 최소화, 폐기물 재활용 및 자원화, 공정의 환경친화성 향상 등을 종합적으로 지원할 수 있는 평가기법의 개발이 진행되고 있다<sup>[1-2]</sup>. 2000년 기준으로 전 세계의 온실가스 배출량 중 교통부문은 약 24.1 %에 해당하는 규모이며 향후에도 가장 증가율이 높을 것으로 추정된다<sup>[3]</sup>. 우리나라의 경우에도 유사한 경향을 나타낼 것으로 전망하고 있으며, 장차 이에 대한 저감의무가 부담으로 가중될 것이다. 따라서 전체 온실가스 배출량 저감 대책에서 교통부문은 중요한 비중을 차지할 것으로 예상된다. 대표적 대중교통수단인 철도는 타 교통수단에 비하여 저탄소 소비 수송수단으로써 환경친화적으로 알려져 있으나, 차량의 제작 뿐만 아니라 건설, 운전, 폐기 단계에서 다양한 환경부하를 발생시키고 있다. 이에 본 연구에서는 철도 차량의 환경성을 개선하기 위하여 국내외 환경정책에서 전과정평가의 활용 및 철도차량에서의 응용사례를 분석하여 전과정평가를 도입할 수 있는 방안을 고찰하고자 한다.

### 2. 연구배경

#### 2.1 국외 관련 정책

##### 2.2.1 통합제품정책<sup>[5]</sup>

---

\* 책임저자, 정회원, 한국철도기술연구원, 궤도토목연구본부 환경화재연구팀

E-mail : iyoung@krri.re.kr

TEL : (031)460-5388 FAX : (031)460-5319

\*\* 한국철도기술연구원, 궤도토목연구본부 환경화재연구팀

\*\*\* 한국철도공사 환경팀장

최근 기존의 생산 공정 중심 정책으로는 관리가 힘든 에너지 및 자원의 사용 그리고 크고 작은 비점오염원의 오염물질 배출이 전체 환경영향에 상당한 비중을 차지하고 있으며, 이들이 종종 제품을 사용하는 단계에서 발생하기도 한다. 따라서 전체적인 환경을 개선하기 위해서 제품 중심의 환경정책에 대한 필요성이 대두되면서 유럽을 중심으로 ‘통합제품정책(Integrated Product Policy, IPP)’이라는 새로운 논의가 활발하게 진행되고 있다. 제품의 환경영향은 사용된 재료, 조성, 생산, 유통, 사용, 폐제품의 폐기 등이 방법에 의해서 좌우되기 때문에 이를 줄이기 위해서는 통합된 그리고 총체적인 접근이 필요하다. IPP의 개발과 적용에 적극적인 입장을 취하고 있는 EU 회원국에는 스웨덴을 중심으로 Nordic 국가와 독일, 영국 등이 있다. IPP의 기본적인 목적은 제품의 전과정을 통하여 환경영향을 감소시키고 자원 사용 효율을 개선하는 것이다. IPP의 개발은 아직 초기 단계이나 가능한 모든 잠재적인 도구, 수단, 혹은 방법들을 포함시키고 있기 때문에 법제화될 경우에 무역 장벽의 소지가 있다. 또한 이러한 맥락에서 다양한 환경규제들이 발효되고 있으며, 실질적인 제약으로 자리 잡고 있다(Fig. 1). 따라서 유럽에서의 관련된 논의 동향에 대해 지속적인 관심이 필요하며, 정책의 도구, 수단 및 방법들에 대한 정확한 파악을 통해 능동적으로 대처해야 한다.



Fig.1 IPP와 관련된 국제환경규제

### 2.2.2 친환경설계지침<sup>[6]</sup>

친환경설계의무지침인 EuP 지침은 에너지소비제품(Energy-using Product, EuP)에 대한 회원국 간 법규나 정책 차이로 생성되는 시장장벽을 개선하기 위해 에너지소비제품에 대해 역내 시장에서 자유롭게 판매될 수 있도록 에코디자인 요건을 규정한 지침이다. 이는 2005년 2월 승인되었으며, 2007년 8월부터 EU 회원국의 자국법으로 시행될 예정이다. 따라서 2007년 3월부터 EU에 수출하는 각종 에너지소비제품은 EuP 지침 이행 규정을 준수하여 제품의 시판 전에 유럽통합인증마크(Conformity European, CE mark)를 획득해야 한다. EuP 지침의 적용대상으로는 사용단계에서 에너지(전기, 화석연료, 신재생에너지)를 사용하는 제품 및 그러한 에너지를 생산, 전달, 측정하는 제품뿐만 아니라 최종 소비자에게 개별적으로 사용되며 환경성적을 별도로 측정할 수 있는 부품도 EuP로 간주하였다. 본 지침에서는 사람 혹은 재화의 운송수단에 대해서는 일단 적용대상에서 제외하였다.

### 2.2 국내 관련 정책<sup>[7]</sup>

지속가능경영을 통한 기업의 경쟁력 강화를 위한 방안 마련에 국내에서도 많은 관심을 가지고 있다. 지속가능경영 지원책의 기본 방향은 국내기업의 환경 개선과 환경경영 수준을 국제적 수준으로 글로벌화 한다는 것이다. 그 방안으로 환경친화기업을 국제적 브랜드로 육성코자 하고 있다. 그리고 정부부터 지속가능경영을 확산토록 하기 위해 공공기관 정책과 조직의 그린화, 녹색구매법 제정 등의 노력을 기울이고 있다. 환경마크제도는 환경마크를 품목별 환경성 품질 인증제로 활성화하고, 환경마크를 국제적인 이미지의 도안으로 변경하는 제도이다. 또한 제품의 전과정에 대한 환경성을 평가해 수치 및 도표로 표시해 소비자의 차별구매를 유도하기 위해 환경성적표시제도(Environmental Product Declaration, EPD)를 확산하여 정착시키고자 한다. 그리고 에코디자인(환경 친화적 제품설계)기법 개발과 보급을 통해 통합제품정책(IPP)을 실현하고, 친환경 상품 생산을 촉진시켜 제품책임주의를 추구하고 국제경쟁력을 강화

한다.

### 3. 사례분석 및 고찰

#### 3.1 국외 사례

##### 3.1.1 Siemens의 Metro Oslo<sup>[8]</sup>

Siemens(독일)는 철도산업에서 에너지 효율 및 안전성 향상뿐만 아니라 지속적인 환경성능을 향상시키기 위하여 자발적으로 전과정평가를 이용하여 Oslo 지하철에 대한 자체적인 EPD를 수행하였다. 원료의 이용단계에서는 환경부하를 최소화하고 재활용이 가능한 물질이 선정되어졌다. 제조단계에서는 ISO 14001과 OHSAS 18001에 의해 공정이 관리되어졌다. 지하철의 이용단계에서는 차량이 소비하는 에너지의 46 %까지 회복할 수 있는 회생제동을 이용하여 에너지효율을 향상시켰다. 또한 차량의 내구연한은 30년이나 각 부품의 수리나 교체를 용이하도록 하였으며, 재활용이 가능한 부품의 이용을 높이고 합리적인 해체 설계를 적용하였다. 지하철 차량은 폐기단계에서 해체가 용이하며 재활용율도 높다.

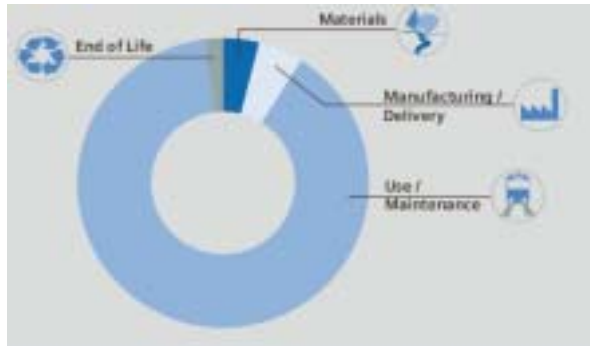


Fig.2 Metro Oslo의 전과정평가

Siemens에서는 지하철 차량의 환경성능을 나타낼 수 있는 주요 인자를 선정하여 평가하였다. 먼저 전과정에 걸친 물질 소비량을 제공하였다. 또한 총 중량 100톤인 차량의 물질 조성을 세부적으로 표시하였다. 화재예방을 위해 가장 엄격한 국제기준을 적용하여 차량을 설계했으며, 폐기단계에서의 재활용율을 나타내었다. 지하철차량의 전체 94.7 %가 재활용되고 있으며, 이 중에 84.7 %가 물질의 재활용이었다. 에너지 소비량은 사용단계에서 0.09 kWh/km\_ton이며, 제조, 운송, 재활용 단계에서도 그 수치를 표시하였다. 그리고 지구온난화에 대한 잠재력을 평가하기 위하여 ISO 14040에 따라 CO<sub>2</sub> 기준으로 나타내었다. 이용 및 유지보수 단계에서의 지구온난화 잠재력은 2 g CO<sub>2</sub>-equivalent/km\_ton 이었으며, 전과정에 걸쳐 2.6 g CO<sub>2</sub>- equivalent/km\_ton이었다. 상당히 낮은 수치의 지구온난화 잠재력을 나타낸 것은 Oslo 지하철의 에너지 이용 효율 및 재생에너지 사용률이 높았기 때문이다.

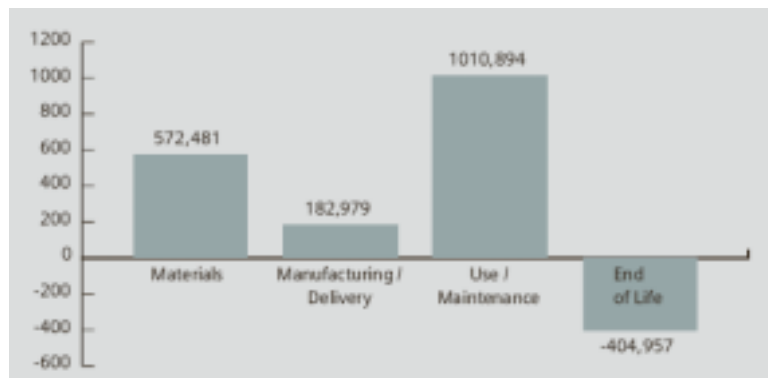


Fig.3 전과정 단계별 지구온난화 잠재력 (ton CO<sub>2</sub>-equivalent)

### 3.1.2 Bombardier의 DfE<sup>[9]</sup>

Bombardier(캐나다)는 1942년부터 철도산업에 진출한 회사로써 건강, 안전, 환경에 대한 정책의 일환으로 친환경설계(Design for Environment, DfE)를 1992년 스톡홀름 지하철 프로젝트 추진부터 도입하여 적용하였다. 주요 내용으로는 차량의 설계에 있어서 금지(납, PVC, 비소 등)되거나 제한된 물질(니켈, 코발트, 카드뮴 등)을 사용하지 않고, 폐차처리시 재활용 방안을 제공하는 것이다. 또한 차량의 환경성적을 나타내는 보고서를 제출하며, 위해물질을 표시하고 사용단계 및 폐기단계에서 이러한 물질에 대한 처리공정을 나타낸다. DfE를 적용한 대표적인 사례로는 차체를 설계하는 신규 개념으로 FICAS (Fully Integrated Carbody System)를 도입한 것이다. 차량에 대한 전과정평가를 수행한 결과, FICAS를 적용하여 경량화 함으로써 사용단계에서 에너지 소비를 절감함으로써 환경부하를 감소시킬 수 있었다. 또한 FICAS의 개념은 차량의 넓이를 증가시킴으로써 승객량을 늘려 차량에 대한 환경부하의 증가 없이 승객당 에너지 소비를 감소시킬 수 있다. 다른 예로는 DfE를 적용하여 중량과 크기를 줄인 컨버터를 개발한 것이다. 그리고 DfE를 Bombardier에서 생산하는 차량에만 적용한 것이 아니라 부품을 납품하는 하청업체도 개념 도입을 확대함으로써 실질적인 환경부하를 줄일 수 있었다. 이를 통해 1999년 스톡홀름 지하철에 대해 처음으로 철도분야에서 EPD를 수행하였다. 주주들은 지하철의 EPD에 대해 긍정적인 반응을 나타내었으며, Bombardier는 2001년부터 지역 철도인 Regina에 대해서도 EPD를 적용하였다. 결국 전과정평가를 이용한 DfE의 도입으로 시장에서의 경제력을 강화하였으며, 제품에 대한 이해도를 향상시킬 수 있었다. 그리고 무엇보다 환경에 대한 위험을 줄임으로써 비용적인 측면에서 절약 효과를 얻었다. 또한 DfE에 대한 유럽지역에서 공동으로 프로젝트(RAVEL, REPID)를 수행함으로써 회사 주주와의 관계를 보다 강화시킬 수 있었다.

### 3.2 국내 사례<sup>[10]</sup>

국내에서는 철도분야에서의 전과정평가를 도입하기 위한 연구가 최근에서야 시작되었다. 현재 건설교통부의 국가교통핵심기술개발사업 일환으로 ‘전동차 전과정평가 시스템 개발(2004-2007)’이라는 과제를 한국철도기술연구원 주관으로 수행하고 있다. 본 연구에서는 전동차의 원료취득단계에서부터 폐기단계까지 물질 사용량과 에너지 사용량을 이용하여 전과정에 걸친 환경부하를 정량화하여 환경개선 방안을 도출하고자 한다(Fig. 4). 현재 국내에서는 전동차의 경량화에 대한 관심이 높다. 실질적으로 대전광역시와 광주광역시에 신규로 건설된 지하철 노선에는 기존의 스테인리스 스틸 차량에 비해 가벼운 알루미늄 차량을 투입하여 운행하고 있다. 그러나 이러한 차량의 도입 과정에서 사전에 환경성 평가를 정량적으로 수행하지 않았기 때문에 정확한 환경개선 효과에 대해서 적극적인 홍보를 못하고 있는 실정이다. 또한 지속적인 지하철 노선 건설에 있어서도 차량의 선정에 대해 환경성 평가를 적극적으로 반영하지 못하고 있다. 특히 교토의정서 발효 및 2차 감축대상국으로의 지정 시기가 다가옴에 따라 수송수단의 각 분야에 대해서 이산화탄소 배출량을 정량적으로 산출하고, 감축을 위한 적극적인 대책을 수립이 시급하다.

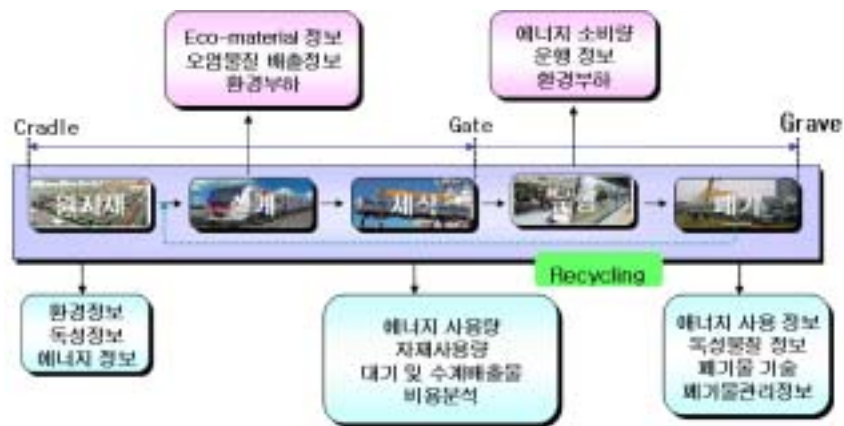


Fig. 4 전동차 전과정평가 시스템의 개요

Siemens의 경우와 마찬가지로 전과정평가를 이용하여 전동차의 차량 종류에 따라 단계별로 이산화탄소 배출량을 산출하여 비교하는 것이 가능하다. 마일드 강, 스테인리스 스틸, 알루미늄과 같은 3 종류의 전동차 차량에 대하여 전과정평가를 이용하여 제작 및 운행 단계에서 이산화탄소 배출량을 산출하여 본 결과, 차량이 경량화 됨에 따라 특히 운행단계에서 높은 감축 효과를 볼 수 있었다. 국내에는 체계적인 폐전동차 처리 시스템이 없기 때문에 폐기 단계를 제외하고 이산화탄소 배출량을 비교하였으나, 앞서 언급했듯이 재활용률을 높임으로써 전과정에 걸친 이산화탄소 배출량을 줄일 수 있다. 결국 철도분야에서 전과정평가의 도입은 지구온난화와 관련한 환경규제에 대해서도 효과적으로 접근할 수 있음을 확인하였다.

#### 4. 결론

국제환경규제의 강화는 가장 환경 친화적인 교통수단으로 인식되고 있는 철도분야에 대해서도 환경성 개선을 요구하고 있다. 이에 철도선진국인 EU에서는 제작업체를 중심으로 자발적으로 전과정평가를 도입한 환경제품선언을 적극적으로 활용하여 국제환경규제에 대응하고 있다. 또한 운영기관과 제작업체가 공동으로 프로젝트를 추진하여 철도차량에 대한 환경성능지표를 개발하고 친환경설계, 제작, 운영, 폐기의 전과정에 걸친 가이드라인을 제시하여 지침화하려는 움직임이 가중되고 있다. 그러나 국내의 경우에는 철도차량 제작업체가 독과점 형태를 띠고 있기 때문에 환경성 개선에 대한 자발적인 참여를 기대하기 어려운 현실이다. 또한 철도분야의 관련 기술과 안전성 문제가 선진국에 비해 뒤처지기 때문에 환경성 개선에 대한 투자와 관심이 부족할 수밖에 없다. 그리고 전과정평가를 도입하기에는 관련 데이터베이스가 부족하고, 기술력 및 전문가도 미흡한 실정이다. 이러한 현실에서 철도분야의 전과정평가를 효과적으로 도입하기 위해서는 무엇보다도 정부가 정책을 이용하여 적극적으로 지원해야 할 것으로 판단된다. 초기에는 규제적인 관점보다는 권고안으로 적용하여 자발적인 참여를 유도할 필요가 있다. 또한 환경 친화적으로 설계되고 재활용률이 높은 철도차량에 대해서는 차량의 단가를 높여주거나 세제를 지원해주는 방식으로 제작업체의 적극적인 관심을 이끌어야 한다. 운영기관에서도 이와 관련한 인식을 심어주기 위하여 관련 기술 보급을 위한 홍보활동을 적극적으로 펼쳐야 한다. 또한 철도차량의 구입시 제작업체에 기존의 BOM(Bill Of Material, 자재명세서) 자료 외에 환경성에 대한 데이터를 요구함으로써 운영기관의 철도에 대한 친환경적 운영의 근거로 활용할 수 있다. 그리고 유럽의 경우에도 전과정평가를 철도분야에 도입하여 활용한지 최근 10년 정도 밖에 경과하지 않았기 때문에 국내에서도 충분한 투자와 정책적 지원을 아끼지 않을 경우에 충분히 단기간 내에 선진국 수준으로 향상되어 국제 무역시장에서 중요한 역할을 수행할 수 있을 것으로 판단된다.

#### 5. 참고문헌

- (1) 최주섭, 환경정책과 LCA, Korean Journal of LCA, Vol. 2, 2000
- (2) 오일권·강현, 환경정책측면에 있어서 LCA 활용방안에 사례연구, 전과정평가 1권, 1999
- (3) 산업자원부·에너지관리공단, 기후변화협약과 우리의 대응, 2005
- (4) 김상용 외 공역, 환경 전과정평가, 시그마프레스, 1998
- (5) 유럽의 새로운 환경정책 동향: 통합제품정책, 현대환경연구소, 환경 VIP Report, 2003
- (6) EuP directive, European Union, 2005
- (7) 지속가능산업동향: EuP를 위한 에코디자인용 도구, 국가청정생산지원센터, 2005
- (8) Metro Oslo: Environmental Product Declaration according to ISO 14021, SIEMENS, 2006
- (9) Design for environment at Bombardier Transportation, Environmental Sustainability Case Study, Five Winds International, 2006
- (10) 전동차 전과정평가 시스템 개발, 2nd report, 한국철도기술연구원, 2006