

철도차량시스템의 전과정평가(LCA) Life Cycle Assessment(LCA) of Rolling Stock

김용기*, 윤희택**, 정우성*

Yong-Ki Kim, Hee-Taek Yoon, Woo-Sung Jung

Abstract

Rolling Stock life cycle can not provide weakness of environment due to the absence DB on about environment information for contaminant, expense analysis on each step which consists of raw material-design-manufacture-running-waste step. In order to estimate environmental impacts on LCA for rolling stock system, scientifically and internationally fair standards of assessment method for pursuing environmental friendly in environment regulation policy, application of LCA system is proposed and introduced in the present paper.

1. 서론

21세기에 이르러 세계 각국의 환경보호 정책은 사후처리 개념(End of pipe)에서 벗어나 환경적으로 건전하고 지속 가능한 개발(Environmentally Sound and Sustainable Development)을 달성하기 위한 전과정평가(Life Cycle Assessment; LCA) 및 제품중심 규제로 변화하고 있다. 그리고 자원고갈 및 에너지 수급이 주요 이슈로 부각되면서 제품의 재활용 및 에너지 저감 기술이 요구되고 있다. 이미 가전제품 및 자동차의 경우 유럽에서는 WEEE 및 ELV의 법규가 발효되면서 제품의 재활용을 위한 노력이 업계에서 활발하게 이루어지고 있다. 철도차량시스템은 제작시 수많은 원료와 재료를 사용하여 부품을 제조하고, 또 제조된 부품을 통해 단품을 제작 조립하여 철도차량을 완성하게 된다. 철도차량시스템의 제작, 운행 및 폐기과정에서 환경부하물질들을 배출하게 된다. 따라서 철도차량시스템 제작시 원재료의 취득, 가공, 설계, 제작, 폐기 및 재활용과정에서 발생하는 환경부하물질들을 파악하고 부하물질 걸감을 통해 제품이나 서비스 환경부하의 정량적인 평가방법의 적용과 개발이 시급한 실정이다. 철도차량시스템의 재활용성 향상을 통해 자원순환형 사회에 기여하고 환경 및 경제적 측면에서 이득을 얻을 수 있도록 철도차량시스템의 재활용 기술 개발이 요구된다. 이러한 제품 중심의 통합관리와 맞물려 제품의 전과정에 걸친 환경영향을 근본적으로 해결하기 위해서는 제품의 전과정인 원료채취에서부터 가공, 제조, 수송, 사용, 폐기에 이르는 전과정에서 배출물의 양을 원천적으로 저감해야 한다. 전과정평가는 이를 정량적으로 분석하고 평가를 통해 개선기회를 모색하려는 과학적이고 객관적인 도구로서 각광받고 있으며, ISO 14040시리즈로 표준화되어 있다. 이러한 전과정평가의 연구 결과 타 제품과의 비교연구를 통하여 자사 제품의 환경적 우수성을 홍보하기 위한 마케팅 수단으로써 활용 가능하다.

* 한국철도기술연구원 책임연구원, 정회원

** 한국철도기술연구원 연구원, 비회원

*** 한국철도기술연구원 선임연구원, 정회원

에코효율성(Ep.co-efficiency)은 보다 효율적인 자원이용과 환경오염 배분 저감이라는 생태적 발전요소와 경제성장이라는 경제적 발전요소가 결합된 개념으로서, 이를 통하여 기업, 개인 및 정부의 지속가능성(sustainability) 달성 여부를 판단하기 위한 하나의 관리지표로서 활용된다. 에코효율성은 분자(제품 또는 서비스의 가치, 분모는 환경영향으로 에코효율성의 향상은 곧, 환경영향을 최소화하면서 제품의 가치를 최대화하는 것을 목표로 한다. 지속가능개발세계경영자협의회(World Business Council for Sustainable Development; WBCSD)에서는 에코효율성 향상을 위한 요소로서 물질사용량 저감, 에너지 사용량 저감, 독성물질 확산 저감, 재활용 가능성 증대, 재생가능한 자원의 사용 극대화, 제품 수명 연장, 서비스 양 증가 등 7가지 요소를 내세우고 있다. 그러나 국내 철도차량시스템에 대한 DB의 부제로 환경개선을 위한 취약점을 파악하기 어려운 실정이다. 에코효율성의 개념을 철도차량시스템 적용할 경우, 다양한 측면에서 환경적인 측면과 경제적인 측면을 고려하여 환경친화성을 지향하기 위해 국제적으로 표준화된 과학적이고 공정한 평가도구의 개발과 지속가능한 철도차량시스템을 구축할 수 있는 LCA 평가의 절차와 적용 등에 관해 알아보고자 한다.

2. 국내·외 연구동향

산업계에서는 대기업을 중심으로 전과정평가에 대한 관심이 증가하고 있다. 대우, 삼성, LG, 현대, 포항제철 등의 대기업들은 국내외 전문가들과 협의하여 자사 제품에 대한 전과정평가를 활발하게 수행하고 있다. 특히 포항제철은 세계철강협회(IISI)와 함께 자사의 탄소강 제품에 대한 전과정 목회분석을 실시하였으며, 이후 스테인레스강 제품의 전과정평가에 대한 D/B를 구축하였다. 또한 이들 기업에서는 단순의 전과정평가 수행을 통한 1회성 환경성평가에 머무는 것이 아니라, 전과정평가 결과와 수집된 D/B를 전산 시스템화하여 구축된 D/B를 지속적으로 활용하고 있으며, 신규로 전과정평가를 수행할 경우 자동화된 시스템을 통하여 보다 손쉽게 환경성 결과를 얻어내 이를 환경성 개선의 기회로 삼고 있다. 국내철도에서는 육상교통수단의 배출대면에 단지 국산시커오염물질의 환경적인 영향을 검토하여 단순히 수송수단과의 환경성 비교분석만을 다루고 있다.

유럽의 RAVEL(Rail Vehicle eco-efficient design) 프로젝트에서는 철도 환경지수를 높이기 위해 철도차량의 재료선택에서 폐기까지 전 부문에 걸친 비용분석을 위해 웹기반 시스템을 구축하여 개선하고 있다. 유럽지역은 특히 ISO 14000등에 대응하는 국가전략과 기술적인 지원으로 원재료 및 제품에의 객관적 규제의 더불어 환경마크의 인증 등에 전과정평가를 적극 활용하고 있다. 환경마크(EL)제도는 독일을 비롯하여 유럽 여러 국가들의 경우 자국내 유통 및 수출입에 있어서 상당한 영향력을 지니고 있다. 즉, 환경부하, 에너지, 폐기물, 자원소모량, 불쾌도 등에 대한 정보 제공을 대중에게 전달하기 위해 이런 정보를 전과정평가를 통해 다룬 것을 환경정책계획 폴리스를 추진하고 있다. 네덜란드 정부(NOH)는 네덜란드 에너지 관련청 등을 중심으로 필립스, 분보자동차 등 기업과 전문 연구기관이 참여한 「Eco-indicator 95 project」를 수행하여 물질, 공정, 에너지, 운송, 폐기의 전과정에 걸쳐 가장 대표성이 높은 100가지에 대한 환경성지수를 개발하였다. 또한 IDEMAT이라는 기업에서 전과정평가를 위한 LCI D/B 구축-Ceramic, Fibres, Glass 등 60여종 LCI DB를 구축한 바 있다. 미국에서는 환경보호청(EPA)과 환경독성학회(SETAC)이며 많은 기업체에서도 환경영양 추산 및 비용절감을 위해 전과정평가를 수행하고 있다. 미국방성의 경우 오임방지 프로그램과 폐기물 최소화 정책 등에 관해 EPA와 함께 활발히 연구를 진행하고 있으며 조달관련 결정사항에 전과정 환경비용을 반영하고 있으며 각 구매과정마다 각각의 대상물의 잠재적 환경영향을 분석하고 전과정평가수행시 선택대상물에 대한 환경에 대한 영향을 포함시키고 있다. 일본에서도 제철가능한 자원을 비롯한 여러 가지 에너지 관련 전과정평가를 수행하고 있다. 일본에서는 시간간 열차의 생산, 운영, 폐기 단계에서의 비교 LCA를 수행하여 구형 시간간 열차와 신형 시간간 열차와의 에너지 사용량, CO₂배출량 등을 정량적으로 파악하여 신형 제품에 대한 환경

성 개선에 힘쓰고 있다. 또한 일본 RTRI에서는 철도시스템의 Zero Emission구현을 위해 환경관리 DB 구축을 진행하고 있다. 일본 철도에서는 에너지와 자원을 이용한 유기적인 순환과정을 반복하면서 오염물질을 발생하는 동맥계와, 오염물질 발생량을 감소시키고 오염된 환경을 복원하기 위한 철도환경기반을 발전시키는 정맥계로 분류하여 철도에서 발생되는 모든 폐기물은 재활용하여 사용하는 시스템을 구축하여 시행하고 있다.

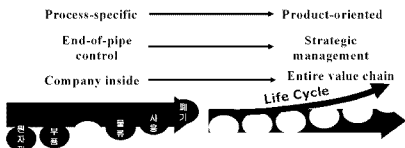


그림 2.1 국제적 환경 관리 개념

표 2.1 철도차량시스템에 대한 전과정데이터베이스 해외구축현황

대상 모둠	출처	대상 지역	수행년도
Diesel & Electricity	ETH	서유럽	1995
Diesel & Electricity	BUWAL	서유럽	1996
Diesel & Electricity	IDEMAT	네델란드	1995
Diesel & Electricity	SNCF	France	1998
Diesel & Electricity	ETH	유럽	1996
Diesel & Electricity	IKP	독일	1990
Electricity	BUWAL	네델란드	1994
Electricity	BUWAL	서유럽	1996
Electricity	Pre consulting	네델란드	1994
Electricity	ETH	유럽	1996
Electricity	IKP	독일	1990
Diesel	Utrecht	유럽	1993-1994
Diesel	IKP	독일	1990

3. 전과정평가(Life Cycle Assessment, LCA)의 개요

3.1 목적 및 범위정의(Goal & Scope)

목적과 범위의 전과정 목록단계는 평가대상 시스템과 관련된 자원 사용, 에너지 사용 및 환경배출물들을 정량화 한다. 영향평가 단계는 전과정평가의 목록분석에서 규명된 환경 부담들의 영향을 분류화하고, 특성을 분석하여 그 가치를 평가하는 기술적인 과정이다. 결과 해석은 목록분석과 영향결과를 평가하고, 또한 이를 결과를 토대로 시스템의 주요 환경이슈를 규명하는 과정이다. 개선평가는 전과정 평가보고서의 결론에서 제시된 주요 환경상상의 이슈를 토대로 수행한다. 해당 제품시스템 전과정에서 환경에 미치는 영향이 큰 공정, 즉, Life cycle단계, 공정제절 및 부품등이다. 또한 연구수행의 범위인 시스템 경계, 수집될 데이터의 범주, 투입·산출의 초기 포함기준을 정하고 수집될 데이터의 품질요건과 연구에 사용될 가정, 영향평가 방법론 등을 설정해야한다.

3.2 전과정 목록분석(Inventory Analysis)

전과정 목록분석 단계는 전과정평가의 두 번째 단계이며 전과정평가의 가장핵심적인 단계로 생

산 시스템과 관련된 투입물과 산출물에 대한 데이터 수집과 수집된 데이터를 물결수치나 에너지 수지, 할당 등을 적용하는 정량화 과정을 포함한다. 투입물에는 원료와 보조원료, 에너지 사용, 물 사용 등이 포함되어야 하고, 산출물에 대기배출물, 수계배출물, 고형폐기물 등의 자료가 포함된다. 대상시스템에 대한 공정도효율도 작성, 단위공정설계, 수집된 데이터의 범주와 데이터 수집기법에 대한 기술등을 통하여 대상시스템과 대상데이터를 파악한 후 데이터에 대한 정량적·정성적인 데이터를 수집한다. 수집된 데이터는 반드시 출처를 기입하고 추후 데이터품질을 평가할 수 있도록 한다. 수집된 데이터는 검증 누락된 데이터와 겹 처리, 기능단위에 맞게 환산, 단위공정별 데이터의 집산화 등과 같은 일련의 과정을 통하여 전과정 목록표로 완성된다. 다중투입물이나 다중산출물이 발생할 경우에는 최종적인 전과정 목록표를 완성하기 전에 해당 단계를 거쳐게 된다.

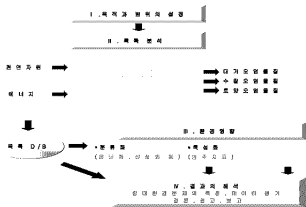


그림 3.1 전과정 평가단계 및 경계설정

3.3 전과정 영향평가

영향평가는 목록분석단계에서 작성된 목록항목이 환경에 미치는 잠재적인 영향을 평가하는 단계이다. 영향평가의 구성은 범주설정, 분류화, 특성화 및 가치평가로 이루어진다. 범주설정에는 선택된 제품이나 시스템에 의해 영향을 알아보기 위한 과정이다. 환경적 공정의 정성적 평가로서 목록분석의 환경적 잠재성을 환경영향 범주별로 분류하는 분류화(classification) 단계와 영향범주별로 분류된 목록과라미터들을 환경부하 범주별로 정량화하는 특성화(characterization)단계, 영향범주별로 지역적인 인자, 시간적인 인자, 인구 수 범주별 상대적인 가중치를 결정하는 가중치부여(weighting) 단계로 진행된다. 영향범주별 특성화 값 산출방법은 다음과 같다.

$$\sum \text{환경영향특성화 값} = \text{배출물}i \text{ 발생량} \times \text{특성화 인자}$$

3.4 전과정 해석

전과정해석은 목적과 범위정의에 맞게 목록분석의 결과 또는 목록분석과 영향평가의 결과를 통하여 주요환경영향을 규명하고 평가하여 주요이슈구분 및 최종결론에 이르는 체계화된 과정이다. 주요이슈 규명을 위해 전과정평가의 결과를 토대로 중요한 투입·산출물의 잠재적인 영향도를 규명하고 규명된 이슈가 연구의 목적 및 범위, 용도에 부합되는 완성도 검사, 주요 이슈들의 편차가 결과에 미치는 영향을 평가하는 민감도 분석, 인관성 검사 등의 단계를 거친다. 규명된 주요

이슈들이 목록분석과 영향평가의 결과를 대표하는지를 검토한다. 마지막으로 환경부하를 감소시킬 수 있는 분야를 규명하여 이를 개선할 수 있는 정량적, 정성적 방안을 제안한다. 따라서 전과정 평가는 제품과 제품생산 공정의 환경을 평가함과 동시에 분석결과를 통하여 정보를 제공하고, 공정과 제품의 비교, 비용효과 분석, 제품개발 및 판매방법 등에 이용된다.

4. 전과정평가(LCA)의 과제

LCA를 수행하는 최종적 목적으로서 지구환경의 개선을 들 수 있다. 그것을 위해서는 신제품이 시장에 제공되는 제품 등은 종래제품에 비교하여 환경부하가 절감하는 것이 조건이 된다. LCA결과를 각종 의사결정에 반영시키려고 하는 경우에는 경제성 등의 고려가 필요하다. 최근에는 Life Cycle를 고려한 경제성의 평가(LCC : Life Cycle Cost)나 경영관리(LCM : Life Cycle Management)등을 LCA와 관련하여 확산시키고 향후 연구 연계가 주목된다. 환경친화적제품설계(DFE : Design for Environment)는 하나의 제품을 설계하는데 있어 비용, 성능, 안전도, 제조 가능성 및 소비자의 인식 등은 많은 요소를 고려하여 제품을 설계하게 된다. 환경친화적 제품설계는 환경적 속성이 외부에서 가해지는 제약요인이 아니라 설계의 목표로 간주되는 설계과정을 의미한다. 환경친화적 제품설계에는 두가지 목표가 있다. 첫째 폐기물 예방은 제조자 및 소비자 우선적으로 폐기물이 발생하지 않도록 노력하는 것이다. 예를 들면 제품제조시 원료를 적게 사용하거나, 제품의 무게를 경량화시킨다든지 내구성 있는 제품을 설계하여 제품의 수명을 연장시키는 것 등이다. 둘째, 재료를 잘 관리하여 제품을 각 부품들로부터 손쉽게 분해될 수 있도록 설계하거나 부리를 필요 없이 재활용할 수 있는 재료를 사용하여 부품이나 재질이 가장 값지게 회수되고 사용될 수 있도록 하는 것이다.

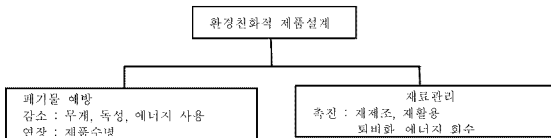


Fig. 3.2 환경친화적 제품설계의 목표

4. 철도차량시스템의 LCA 적용

특히 전과정평가(LCA) 연구 성과에 가장 큰 영향을 주는 데이터의 확보에 아직까지 어려움이 많은 상태이다. 이에 정부와 기업이 적극적으로 대처해서 에너지, 주요 원료, 수송 등에 대한 신뢰성 있는 데이터베이스(LCI) 구축이 지속적으로 이루어져야 할 것으로 판단된다. 신뢰성 있는 데이터베이스를 바탕으로 철도차량시스템에 대한 전과정평가(LCA) 시스템을 개발함으로써 자원순환과 에너지비용 절감 방안 및 21C 지속 가능한 환경친화적 철도교통시스템 설계 및 구축방향을 제시가 필요한 시점이다. 철도차량시스템의 환경영향에 대한 전과정평가 기법이 도입되면 변화하는 국제철도 시스템에 대응하여 체계적인 환경성 평가가 가능해진다. 이를 기점으로 환경적으로 취약한 부분(environmental key issue)을 규명할 수 있으며, 이를 개선하기 위한 대응이 보다 체계적이고 활발하게 진행 될 수 있다. 더 나아가 환경친화적인 철도차량시스템 개발을 하는데 있어 전과

정평가 시스템을 활용하여 환경성을 제공해 줄 수 있다. 또한 자동차의 환경성 대비 경제성을 판단하는 에코효율성 기술을 마련함으로써 환경성은 물론 경제성을 고려해 볼 수 있을 것이다. 궁극적으로 친환경 자동차의 설계(Ecodesign)에 이용되면 에너지 절약과 효과적인 제동을 활용함으로써 연비의 효과를 얻을 수 있으며, 환경부하 저감 및 원가절감의 효과를 동시에 얻을 수 있을 것으로 예상된다.

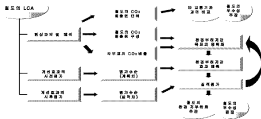


그림 33. 하이브리드시스템에서의 LCA 용도

5. 맺음말

전과정평가(LCA)에 대한 국내외 현황과 원도분야에서의 LCA연구비평가 평가원칙 및 적용등을 간략히 소개하였다. 전과정평가는 다른 기술들과는 다른 시각으로 전과정에 관련된 환경영향을 총체적으로 평가함으로써 환경성 개선을 위한 수단으로 사용될 수 있을 것이다. 또한 원도차량시스템의 주요 환경측면을 규명하고 개선점을 파악하기 위해서 차량시스템 설계 및 제작부터 시스템 관리까지의 복합적이고 전체적인 국내외 동향을 분석해 볼 때 전과정평가(LCA)에 대한 체계적인 연구가 필요한 시점이다. 지금 비록 원도 수송이 다른 수송수단에 비해 비교적 환경친화적이라고 하지만 국내 수송의 큰 부분을 차지하고 있는 원도차량시스템에서의 환경성에 대한 지속적인 개선은 조금 더 환경친화적인 수송시스템으로 가는 길일 뿐 아니라 원도차량의 환경경쟁력을 제고시키는 길이기도 하다. 원도차량시스템에 대한 전과정평가의 수행을 통하여 주요 환경측면을 정량적·정성적으로 규명하고 이를 개선하여 원도차량시스템을 선진적인 수송수단으로 확고히 자리매김할 수 있는 평가시스템 구축이 필요하다. 현재 국가교통핵심기술개발사업에서 이를 위한 연구를 수행하고 있음을 간략히 소개하였다.

감사의 글

본 연구는 국가교통핵심기술개발사업에서 지원하는 원동차 전과정평가 시스템 개발과제의 수행의 일부이며 저인에 감사드립니다.

참고문헌

1. 御船 直人, 鐵道のエコロジ化, 第12回 鐵道廳研究講演會
2. Taro TSUJIMURA(2002), 地球環境問題とライフサイクルアセスメント, RTTR Report Vol.16
3. 김성우(2003), 친환경제품에 대한 전과정평가 및 전과정평가 프로그램 개발, 석사학위 논문, 포항공대