

전동차 환경성 평가 S/W RACE의 개발

Development of Environment Assessment Software for Electronic Multiple Unit (EMU)

김용기[†] · 이재영* · 이철규** · 은종환***

Yong-Ki Kim · Jae-Young Lee · Cheul-Kyu Lee · Jong-Hwan Eun

Abstract Generally, an EMU (Electronic Multiple Unit) is manufactured by assembling a large number of components and parts with extensive raw materials. Throughout its entire life cycle, much environmental load emits due to both the complicated system and long operating period. Therefore, it is necessary to investigate a new tool to analyze the environmental performance of EMUs from raw materials to waste. In this study, RACE (Rail Assessment for Clean Environment) was developed as the software that can analyze the environmental impacts and eco-efficiency of EMUs. RACE had several LCI (Life Cycle Inventory) database for main components as well as principal materials in EMUs. In the future, RACE can also be used as a tool for environmental communication between manufacturers and operators. Also, we will improve RACE continuously to assess more easily the environment of rolling stocks including EMU for user.

Keywords : RACE (Rail Assessment for Clean Environment), Environment assessment, LCA (Life Cycle Assessment), EMU (Electronic Multiple Unit)

요 지 전동차는 다양한 물질로 제작된 부품들을 조립하여 완성한다. 긴 내구연한과 다량의 부품 사용은 전동차의 전과정에 걸쳐 많은 환경부하를 야기한다. 따라서 전동차의 원료취득부터 폐기단계까지의 환경부하를 정량적으로 평가할 수 있는 새로운 툴을 개발하는 것이 필요하다. 본 연구에서는 전동차의 환경부하와 에코효율성을 산출할 수 있는 소프트웨어인 RACE를 개발하였다. RACE는 일반 전과정평가 소프트웨어와는 달리 전동차의 주요 부품 및 물질에 대한 전과정 목록 데이터베이스를 내장하고 있다. 향후 철도분야에서 제조자와 운영자간의 환경적인 의사소통의 도구로써 RACE가 활용될 수 있다. 또한 전동차뿐만 아니라 철도차량의 환경성을 보다 쉽게 평가하기 위해서는 지속적인 RACE의 개선이 이루어져야 할 것이다.

주요어 : 환경성평가, 전과정평가, 전동차

1. 서 론

전 세계의 온실가스 배출량 중 교통부문 온실가스 배출량은 2000년 기준으로 약 24.1%에 해당하는 규모이며 향후에도 지속적으로 증가할 것으로 추정된다[1-4].

우리나라의 경우, 현재 온실가스 배출량 세계 10위권으

로 다가오는 2013년부터 2단계 의무감축 대상국에 포함될 것이 확실시 된다. 온실가스의 대부분이 에너지 소비와 산업공정에서 발생하는 우리나라가 감축의무를 부여받을 경우, 상당한 경제적 타격이 우려된다. 따라서 국가 전체 온실가스 배출량에 대한 저감대책 수립 시 교통부문은 중요한 비중을 차지할 것으로 예상된다[1-4]. 특히, 교통부문에서 타 수송수단을 대체함으로써 수송부담의 역할이 증가할 철도수송에서는 보다 친환경적인 대응책의 수립이 필요하다[4].

또한 국제시장의 변화에 따라 EU를 중심으로 에코디자인의 중요성이 크게 부각됨으로써 국가별 지침, 제품별 DB 구축 및 S/W 개발이 활발하게 진행되고 있다[4]. 이와 같

[†] 책임저자 : 정회원, 한국철도기술연구원 철도환경연구실 책임연구원
E-mail : ykkim@krii.re.kr

TEL : (031)460-5382 FAX : (031)460-5319

* 정회원, 한국철도기술연구원 철도환경연구실 선임연구원

** 정회원, 한국철도기술연구원 철도환경연구실 선임연구원

*** 에코시안 대표이사

은 국제환경변화에 대응할 수 있는 대표적인 틀인 전과정 평가(Life Cycle Assessment, LCA) 기법은 환경부하를 진단하기 위한 주요 수단으로 활용되고 있다[4]. 대표적인 국외 전과정평가 S/W로는 SimaPro, GaBi, TEAM 등이 있다. 대부분 웹기반의 평가가 가능하며, 수천 개의 데이터베이스를 내장하고 있다[4]. 국내에는 지식경제부(구 산업자원부) 및 환경부에서 개발한 PASS와 TOTAL이 있다. PASS와 TOTAL은 전과정평가가 가능하며 구조적으로 유사하나, PASS와 달리 TOTAL은 국내 환경성적표지인증용으로 개발되었다[4].

우리나라의 경우 친환경 수송수단과 정책에 필요한 정량적 정보가 부족하고, 국가적으로 공인된 전과정목록(Life Cycle Inventory, LCI) DB 및 정량적 평가 틀의 미비로 실제적인 친환경 교통수단의 평가와 육성에 상당한 제약이 따르고 있다[4]. 전동차는 다양한 원료와 재료로 제작된 수많은 부품들과 구성요소들을 조립하여 완성된다. 또한 전동차는 내구연한이 길어 특히 운행단계에서 상당량의 환경부하를 배출한다. 따라서 전동차의 전과정에서 발생하는 환경부하를 정량적으로 파악하고, 효과적으로 환경성을 개선할 수 있는 방안을 수립해야 한다. 이를 위해서는 무엇보다도 전동차의 특성을 고려한 환경성 평가 S/W의 개발이 시급하다. 본 연구에서는 기존의 국가 LCI DB와 신규로 구축한 전동차 주요 부품 LCI DB를 동시에 내장하여 전동차의 환경성뿐만 아니라 경제성 개념을 포함한 에코효율성(Eco-Efficiency, E/E)을 통합적으로 평가할 수 있는 RACE(Rail Assessment for Clean Environment) S/W를 개발하였다.

2. RACE의 특징 및 구조

본 연구에서는 전동차의 전과정 및 에코효율성 평가를 통합적으로 수행할 수 있는 RACE를 다음과 같은 절차에 따라 개발하였다. Fig. 1은 본 연구를 통해 개발되어진 RACE의 메인화면을 나타낸다.

- (1) 기존 국내외 전과정평가 S/W 분석 : ISO14040 시리즈를 근거로 한 표준수행절차 사용
- (2) 전동차 전과정평가 S/W 로직 개발 : 사용자 정의를 통한 S/W 형식의 간소화, 국내 전과정평가 및 전동차 주요부품 LCI DB 수록
- (3) 전동차 에코효율성 평가 개념 및 모듈 개발 : 전과정평가 결과 대비 경제성 개념을 반영할 수 있는 지수(인키로 및 매출액) 선정
- (4) 전동차 전과정 및 에코효율성 평가 통합 S/W 개발 :

전과정평가 및 에코효율성 평가 모듈의 통합, 환경성 정보로 전과정평가를 통한 환경부하 값 이외에 CO₂ 배출량 도출



Fig. 1. Main image of RACE

2.1 RACE의 특징

Fig. 2는 국내 대표적인 범용 전과정평가 S/W인 PASS 및 TOTAL과 비교한 RACE의 주요 특징을 나타낸 것이다. RACE의 전과정평가 모듈은 기존 범용 전과정평가 S/W와 마찬가지로 초기값 입력부터 제조단계, 사용단계, 폐기단계로 구분된 결과를 산출할 수 있도록 설계되어 있다. 반면에 유일 제공기능으로써 에코효율성 평가가 가능하며, 실제 수행에서도 각 단계별 결과뿐 아니라 전체 통합 결과를 도출할 수 있도록 하였다. 또한 부품 혹은 차체를 이미지로 표시한 사용자 인터페이스를 채택하여 평가하고자 하는 부품의 신속한 선택 등의 사용 편의성을 높였으며, 이를 통해 처음 전과정 및 에코효율성 평가 소프트웨어를 접한 사용자의 이해를 돕고자 하였다. PASS 및 TOTAL이 포함하고 있는 물질, 에너지, 운송으로 구분된 LCI DB를 모두 내장하고 있으며, 기존 범용 전과정평가 S/W에서는 없는 본 연구에서 신규로 구축된 전동차 주요 부품 LCI DB도 포함하였다.



Fig. 2. Characteristics of RACE compared to general LCA S/W

2.2 RACE의 구조

2.2.1 전과정평가 구조

전과정평가 수행을 S/W 상에서 구현하는 과정은 전과정평가 수행에 사용할 DB를 생성 또는 구축하고, 수집한 물질 데이터와 DB를 연결하여 연산을 수행함으로써 사용자가 이해하기 쉽게 결과값을 화면상으로 표현하는 단계로 진행되도록 주요 기능을 구성하였다. DB는 Fig. 3과 같이 물질별 LCI DB, 전력 및 운송수단의 종류에 따른 LCI DB를 내장하였으며, 본 연구를 통해 구축한 철도차량의 주요 부품(대차, 구체, 의자, 판넬 등) LCI DB도 포함하였다[4-8].

소재명	LCI DB	비고
Chemical	Yes	DB가
Construction materials	Yes	
Electronics parts	Yes	
Energy	Yes	건설자재
Gas	Yes	건설자재
Inchardation	Yes	차구체
Lens	Yes	
Metal	Yes	
Others	Yes	
Paint	Yes	
Paper	Yes	
Plastics	Yes	
Process	Yes	
Recycle	Yes	
Rubber	Yes	
Transport	Yes	
Utility	Yes	
Wheel	Yes	SUS구체

Fig. 3. LCI DBs for the main parts of EMU

Fig. 4에서 RACE의 전과정평가에 대한 알고리즘에서 볼 수 있듯이 전동차 부품, 물질, 에너지 LCI DB를 기본으로 하여 변경되는 입력 조건에 따라 간략한 전과정평가 결과를 도출한다. 환경부하량을 산출한 결과는 가중화를 통해 특성화된 영향범주(지구온난화, 자원고갈, 오존층 파괴 등)의 종류에 따라 사용자가 임의로 선택하여 확인할 수 있다.

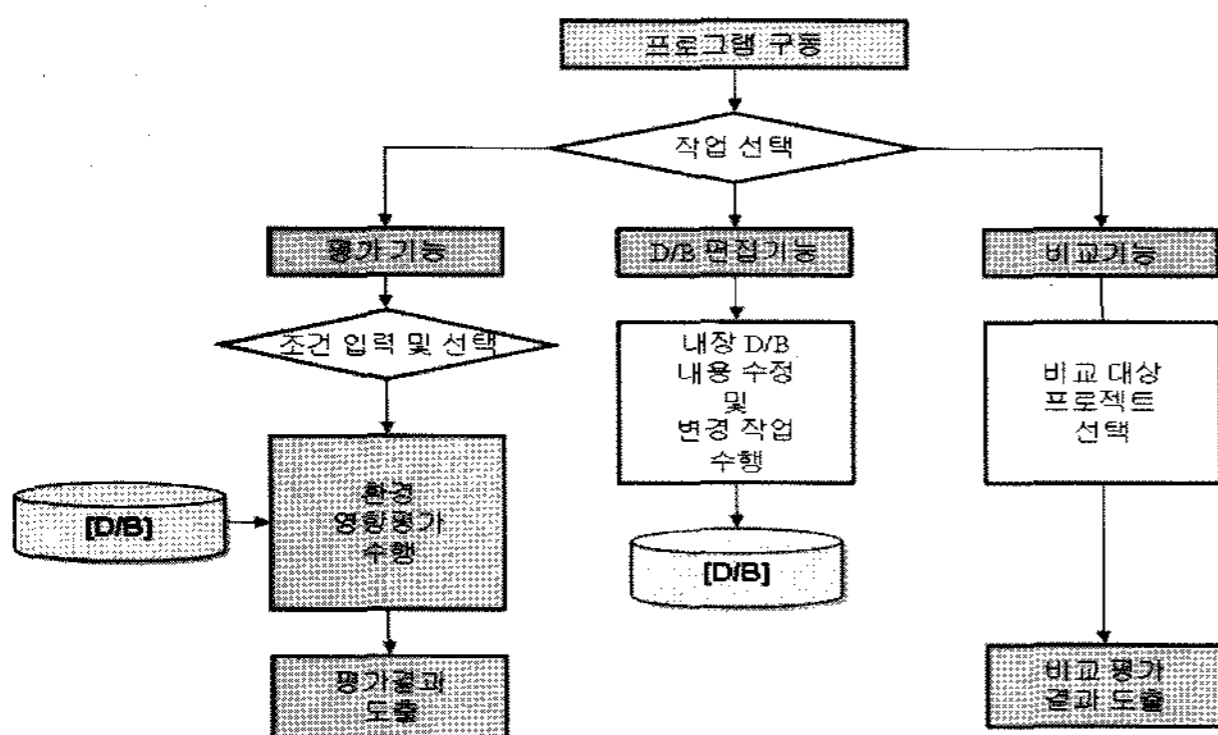


Fig. 4. Algorithm of life cycle assessment

2.2.2 에코효율성 평가 구조

전동차 에코효율성은 전동차의 환경영향 대비 경제적 가

치를 소비자나 내부 상급자에게 전달하는데 목적이 있다. 소비자에게 전동차에 대한 환경성 및 서비스의 가치에 대한 정보를 제공하여 보다 친환경적이면서 경제적인 차량에 대한 홍보를 통해 소비자의 이용증대를 유도할 수 있다. 에코효율성 평가 S/W의 수행 로직은 Fig. 5와 같으며, 크게 에코효율성의 평가, 수행 결과의 조회 및 비교, DB 편집 및 조회 등의 기능으로 이루어진다. 평가기능은 실제 신규 대상 제품 및 서비스에 대해 에코효율성 평가를 수행하는 기능이며, DB 편집은 기구축된 DB의 입력 및 조회가 가능하도록 한 기능이다. 이 때 DB는 전동차의 전과정에 걸친 환경영향을 정량적으로 파악한 결과와 본래의 목적기능인 서비스 가치를 포함하여 전동차의 에코효율성 평가가 가능토록 한다. 비교기능은 신규 수행한 에코효율성 평가 결과와 기 평가된 에코효율성 평가 결과의 비교를 통하여, 에코디자인의 틀로써 활용이 가능하다. 에코효율성 평가는 소비자 및 내부관계자를 대상으로 하는 에코효율성 평가 지표를 선정 후 에코효율성 평가 지수 DB 및 전과정평가 수행 결과와 연계하여 수행된다. 본 연구에서는 전동차의 서비스 가치를 나타낼 수 있는 지표로써 제작업체 및 운영업체 등의 관련 전문가의 의견을 반영하여 여객수송능력(인·km)과 여객수송실적(원)을 선정하였다[4].

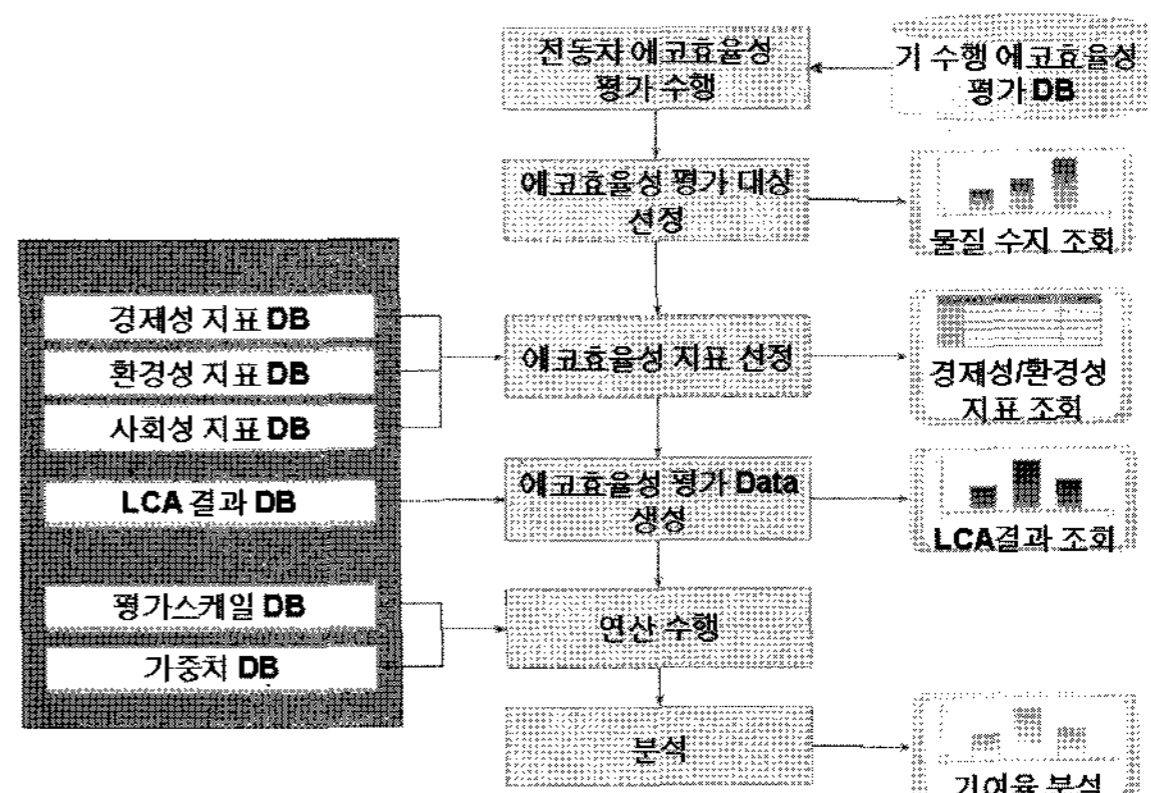


Fig. 5. Structure of eco-efficiency assessment

2.2.3 전과정 및 에코효율성 평가 통합

Fig. 6에서와 같이 기본적으로 RACE에서는 전과정평가를 직접 평가하여 그 값을 에코효율성 평가 모듈에서 호출할 수 있다. 물론 기존의 범용 전과정평가 S/W에서 수행되었거나 DB의 구축범위 밖의 값들을 활용할 수도 있도록 사용자가 직접 환경영향을 입력할 수 있도록 입력기능을 구성하였다.

또한 RACE에서는 전동차의 전과정에 걸친 환경영향을 분석하는 본래의 기능에 덧붙여 Fig. 7과 같이 전과정에 걸친 온실가스 발생량을 계산할 수 있는 기능을 추가하였다.

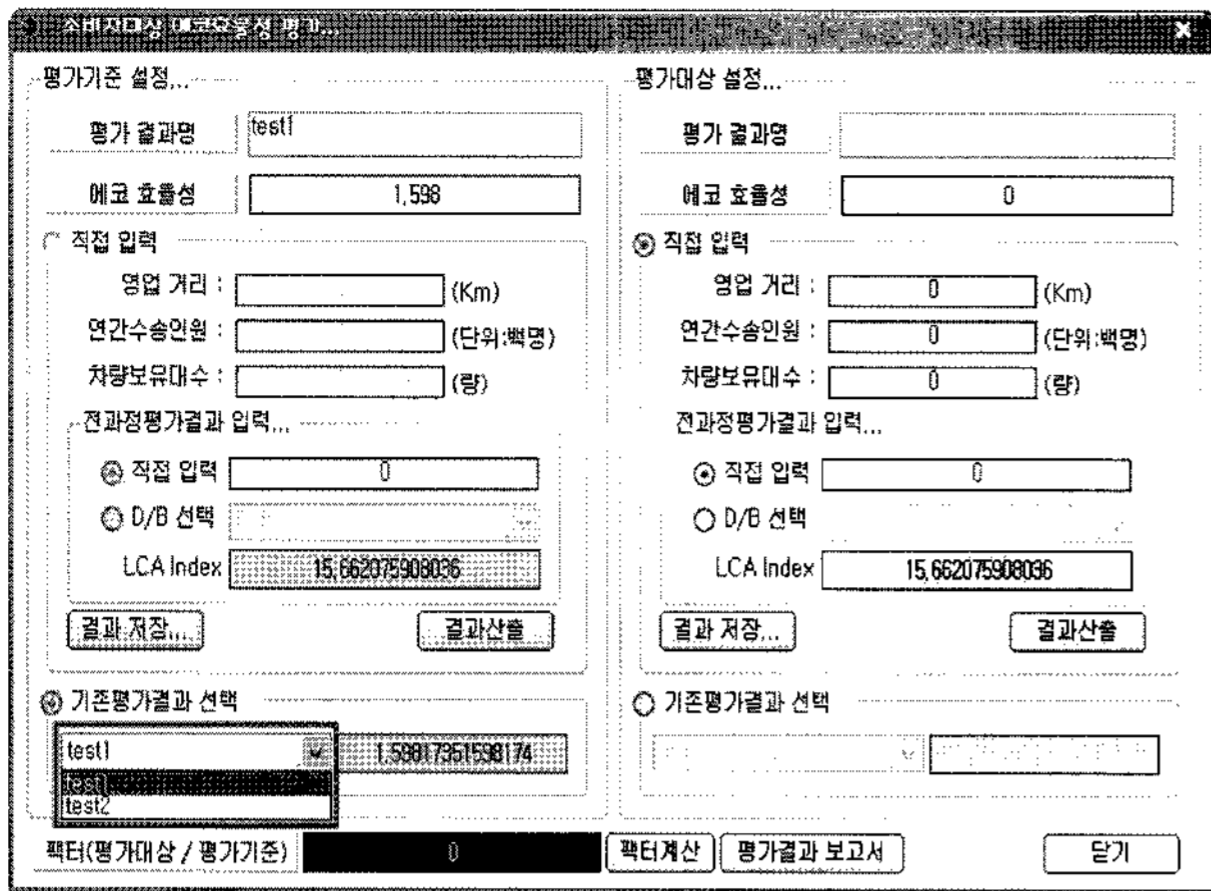


Fig. 6. Eco-efficiency assessment using the results of LCA

물질명	방향	그룹	환경	단위	결과
Carbon dioxide(CO2)	OUTPUT	emission	air	kg	1.08E+01
Methane(CH4)	OUTPUT	emission	air	kg	1.67E-01
Nitrous oxide(N2O)	OUTPUT	emission	air	kg	1.67E-01

Fig. 7. Results of CO₂ emission

이를 통하여 전동차의 특정 부품 및 전체 차량의 제조 시 발생하는 이산화탄소를 포함한 전체 온실가스 발생량을 확인할 수 있으며, 동 산출결과를 토대로 마찬가지로 에코효율성을 계산할 수 있다.

2.3 RACE 적용 결과

RACE를 이용하여 전동차의 전과정 및 에코효율성 평가 결과를 도출한 예로써 국내에서 운행되고 있는 스테인리스 스틸 전동차(A)를 모델로 선정하였다. 전과정평가 결과로는 지구온난화 지수인 GWP(Global Warming Potential)와 경제성 데이터로는 여객수송능력(인·km)을 이용하여 에코효율성을 산출하였다. 먼저 GWP는 전동차의 주요 부품 LCI DB 및 운행 시 소비되는 전력량을 이용하여 범용 LCA S/W에 포함된 계산식에 따라 CO₂, HCFC-22, CH₄, N₂O 등의 지구온난화 기체의 배출량을 CO₂ 당량으로 전환하여 산출하였다. 그 결과값은 식 (1)과 같다.

$$A \text{ 전동차의 } GWP = 231,000,000 \text{ g } CO_{2eq}. \quad (1)$$

식 (1)의 결과와 실제 A 전동차의 운행정보로부터 수집된 여객수송능력 값을 이용하여 에코효율성은 식 (2)와 같이 계산되었다.

$$A \text{ 전동차의 에코효율성} = \frac{A \text{ 전동차의 여객수송능력}}{A \text{ 전동차의 } GWP} \quad (2)$$

$$= \frac{15,379,964,160 \text{ 인} \cdot \text{km}}{231,000,000 \text{ g}} = 66.6 \text{ 인} \cdot \text{km/g}$$

3. 결론

2005년 교토의정서 발효 이후 기후변화를 방지하는 노력이 범국가적으로 확대되고 있으며 우리나라도 2013년 이후 2차 의무공약기간에 감축대상국으로 지정될 것이 확실시되면서 이에 대한 체계적인 대응이 무엇보다 필요한 시점이다. 본 연구에서 개발한 RACE S/W는 전동차의 전과정에 걸쳐 설계단계에서부터 폐기단계까지 단계별로 활용할 수 있다. 전동차를 설계하는 단계에서 각 부품의 재질을 선정할 때, RACE를 이용하여 전과정에 걸친 환경부하를 정량적으로 평가하고 비교할 수 있다. 따라서 이를 근거로 하여 보다 친환경적인 부품을 선정하여 사용할 수 있다. 또한 운영기관이나 차량 제작업체에서 부품 제작업체들의 환경성 개선에 대한 요구 시 근거 자료로 활용할 수 있다. 운영단계에서 발생하는 환경부하의 원인을 파악하여 에너지 절감 방안을 도출할 수 있다. 에너지 소비에 따른 온실가스 배출량을 산출하여 전동차의 운행에 따른 CO₂ 배출량을 제시할 수 있다. 내구연한 경과에 따른 전동차의 폐기 시 각 부품에 대한 재활용/재이용/폐기 등의 방안 등에 대해 설계단계에서부터 환경부하를 비교하여 자원낭비를 줄임으로써 폐기물 처리에 따른 환경비용을 절감하고 철도분야에서의 자원순환 효과를 기대할 수 있다. 따라서 철도산업별로 전과정에 걸친 환경성을 정량적으로 평가하고, 온실가스 배출량을 산출하여 저감대책을 마련함으로써 친환경 철도차량 및 철도산업 구현을 위해 폭넓게 활용할 수 있다. 향후 보다 효율적인 환경성 평가체계를 구축하기 위해서는 분야별 DB의 지속적인 구축뿐만 아니라 DB 공유 및 실시간 정보를 교환할 수 있는 웹기반 평가 시스템의 구축에 대한 후속 연구가 필요하다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 미래철도기술개발사업의 지원으로 수행되었으며, 지원에 감사드립니다.

참고 문헌

1. 김용기, 이재영, 서민석, 은중환(2006), “전동차 에코효율성 평가를 위한 S/W 기본 설계”, 2006 추계 철도학회논문집.
2. 김용기, 이재영, 서민석, 최요한(2007), “전동차 환경성 진단용

- RACE 프로그램의 주요 기능”, 2007 춘계 철도학회논문집.
3. 김용기, 이재영, 서민석, 최요한(2007), “전동차 환경성 진단용 RACE 프로그램 개발 방향”, 2007 추계 철도학회논문집.
 4. 김용기 외(2007), “전동차 전과정평가 시스템 개발”, 3차년도 최종보고서, 한국철도기술연구원.
 5. 김용기, 이재영, 최요한(2006), “전동차 내장판넬에 대한 전과정평가 연구”, 한국철도학회논문집 제9권 제5호.
 6. 김용기, 이재영, 김보경, 천윤영(2006), “전동차 의자의 재질에 따른 환경부하 특성에 관한 연구”, 한국철도학회논문집 제9권 제5호.
 7. 김용기, 이재영, 목재균, 정인태(2005), “간략화 전과정평가 방법을 이용한 전동차 구체의 환경성 평가”, 한국철도학회논문집 제8권 제6호.
 8. 이재영, 김용기, 윤희택, 양윤희(2005), “간략화된 전과정평가를 이용한 전동차 대차의 환경영향 진단”, 한국철도학회논문집 제8권 제6호.
- 접수일(2008년 1월 17일), 수정일(2008년 5월 28일), 게재확정일(2008년 5월 28일)