

# Bimodal Tram 환경성 평가의 기초적 검토

## Fundamental Study on Environmental Assessment of a Bimodal Tram

김용기\* 이재영\* 이철규\* 윤희택\*\* 양인목\*\*

Kim, Yong-Ki Lee, Jae-Young Lee, Cheul-Kyu Yoon, Hee-Tack Yang, In-Mog

### ABSTRACT

There have been worldwide efforts to develop environmental-friendly transportation systems, which aim to solve the environmental issues such as pollution with the traffic congestion in downtown. For some developed countries, environmental indicators to estimate their environmental performances as well as eco-design technologies in the field of transportation have been already secured. In Korea, however, relatively fundamental studies which are insufficient to calculate quantitatively the environmental impacts have been performed. In this study, the life cycle assessment was introduced as one of methodologies to evaluate environmental performance and reduce environmental impacts of a bimodal tram system throughout its entire life cycle, including design, manufacture, operation and disuse steps.

### 1. 서론

21세기 지속가능한 개발의 이슈로 국제적으로 무역-환경을 연계한 규제가 강화되고 있으며, 2005년 2월 교토의정서가 비준됨에 따라 환경부하의 저감 및 친환경적 산업 육성을 위한 국가차원의 친환경생 산체계 구축이 시급한 실정이다. 이미 주요 선진국에서는 환경정책 수립 시 의사결정지원의 수단으로 오염물질 배출 최소화, 폐기물 재활용 및 자원화, 공정의 환경친화성 향상 등을 종합적으로 지원할 수 있는 평가기법의 개발이 진행되고 있으며, 이에 각 산업 및 제품 생산 과정에서 유발되는 환경부하에 대한 문제는 환경친화적 산업 육성과 관련한 정부의 정책 의지와 결합하여 향후 국제 무역 및 산업 활동에 막대한 영향을 미치게 될 것으로 전망되고 있다.

따라서 전세계적으로 환경오염문제 및 교통의 정체, 혼잡 등 도심지의 환경개선과 교통난을 해결하기 위해 대중교통수단인 친환경교통수송시스템을 개발 중에 있다. 또한 주요 선진국에서는 수송수단이 유발하고 있는 환경문제를 해결하기 위해 교통체계에 대한 환경성을 종합적으로 검토할 수 있는 환경지표 및 친환경설계기술을 이미 확보하고 있으나, 국내의 경우 교통수송시스템의 환경성을 정량적으로 평가할 수 있는 평가체계와 설계시 부터 반영할 수 있는 연구가 상대적으로 부족한 실정이다. 최근 우리나라에서는 도심지의 교통수송으로 일으키는 대기오염, 정체, 혼잡 등의 환경개선을 위해 신교통수단인 Bimodal Tram에 대한 연구개발이 진행되고 있다. 미래에는 Bimodal Tram 도입시 요구되는 친환경성에 대한 정량적인 확보방안과 선진국과의 경쟁력 확보를 위해 Bimodal Tram시스템의 설계단계에서부터 제작, 운행, 폐기의 전과정적인 환경영향을 정량적인 수준으로 도출 할 수 있는 환경성 평가에 대한 방안 검토가 필요하다.

본 연구에서는 국외의 타 교통수단에 대한 전과정평가 방법을 기반으로 활용하여 환경영향 분석결과

\* 한국철도기술연구원, 환경화재연구팀, 정희원

E-mail : ykkim@krri.re.kr

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

\*\* 한국철도기술연구원, 바이모달수송시스템연구단, 정희원

\*\* (주)에코시안, 비희원

에 대한 사례분석과 고찰을 통해 향후 바이모달 트램에 대한 환경성 평가방안에 대해 모색하고자 하였다.

## 2. 환경성 평가 방법론 고찰

### 2.1. 전과정 환경성 평가 도입 검토

바이모달 트램 차량의 경우 기존의 디젤버스와는 달리 차량의 구체는 복합재로 구성되어 진다. 또한 주행의 동력을 얻기 위한 연료에서 차이가 있고, 연료의 차이로 인하여 동력전달을 담당하는 일부 부품들에서 서로 다른 특성을 갖게 된다. 다양한 환경지표 가운데서 운행단계에서의 대기오염물질 배출 특성에 대한 비교분석이 필요하지만 연료의 사용에 따른 온실가스배출에 의한 지구온난화에 미치는 영향에 대한 정량적인 배출량 분석이 대단히 중요하다. 두 번째, 차량의 폐기단계에서 재활용율도 자원 효율성 및 폐기물의 발생량을 결정짓는 중요한 인자로 해석 할 수 있기 때문에 육상교통 수단의 폐기 단계에서의 재활용율에 대한 분석이 필요하다. 이미 국제적으로 통합제품 및 에코디자인, 정책 및 개선방향을 모색하기 위해 환경성을 평가하기 위한 가장 대표적인 대안의 평가방법은 전과정평가기법의 활용이다. 전과정평가는 제품의 전 생애주기에 걸쳐 환경에 미치는 영향을 정량적으로 파악할 수 있도록 해주는 강력한 환경경영 지원 도구로서 제품의 생산, 사용, 폐기 활동으로 인하여 규정된 특정 영향범주에 얼마만큼의 영향을 미치고 있는지, 전지구적으로 미치는 영향을 확인할 수 있게 해 준다. 그러나, 전과정평가를 수행하는 데에 많은 시간과 비용이 투입된다는 부담이 존재하는 것이 사실이다. 따라서, 목적과 여건에 따라 간이 전과정 평가(simplified-LCA)라고 불리는 간략화된 형태로 수행되기도 한다. 환경에 미치는 잠재적 영향까지 세부적으로 파악하기 어렵다는 단점이 있으나 전과정 평가 기법에 비하여 시간과 비용을 상당히 절약할 수 있으며, 지속적으로 운영함으로써 환경적으로 중요한 핵심적인 항목에 대한 집중적 관리를 할 수 있다는 장점이 있다. 차량의 제작, 운행, 폐기단계에 대한 환경성 분석이 이루어지기 위해서는 차량시스템에 대한 BOM분석을 기반으로 각 공정에 대한 DB 구축, 목록분석을 통한 환경영향 해석을 통한 고찰이 수반되어야 한다.

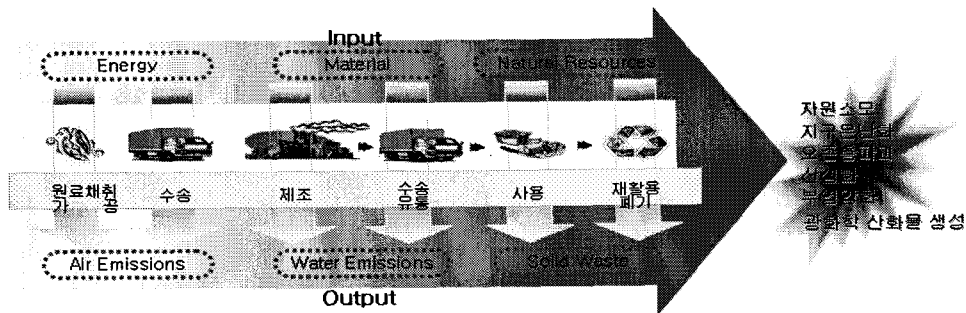


그림 1. 전과정평가 개념

### 2.2 분석대상 선정

#### 가. 제작단계

일반승용차, 대형버스, 철도차량 등은 대부분의 육상교통수단은 제작된 후 폐기단계에 이르기까지 짧게는 5~10년부터 길게는 30년에 이르기까지 상당히 오랜 내구연한을 갖는다는 특징이 있다. 또한, 도로수송시스템의 경우 현재 폐기단계에서의 재활용율이 상대적으로 높다는 특징이 있지만 철도의 경우 체계적인 폐기시스템 및 일정한 처리장소가 이 없을 뿐만 아니라 정량적인 정보가 부족하다. 이를 통해서 추론해 보면 제작단계에서의 핵심적인 환경영향은 주로 자원소모에 의한 영향이 클 것으로 판단된다. 물론 제작단계의 환경영향에 대해서도 면밀한 분석을 통한 개선 노력이 행해지고 있다. 제작단계에서의 자원소모, 에너지사용량, 생산 공정 및 활동에 의한 상세한 환경영향은 향후 전과정 평가 결과를 통해서 알 수 있을 것으로 판단된다.

#### 나. 운행단계

운행단계는 오랜 내구연한동안 각 교통수단이 수송기능을 제공하면서 사용하는 에너지와 연료의 사용량과 이를 통한 각종 대기오염물질의 배출이 핵심적인 인자로 해석된다. 교통수단 및 연료사용별로

갖는 환경적인 특성에 대한 조사 분석이 필요하다. 따라서, 교통수단별 에너지 사용량 및 각 수단이 연료의 특성에 따라 배출하는 대기오염물질의 종류 및 발생량을 지표로 선정하고 이에 대한 각각의 교통수단이 갖는 특성 및 바이모달 트램의 환경성을 파악할 수 있다.

다. 폐기단계

폐기단계에서의 핵심적인 과제는 일정한 장소에서의 폐기절차 및 처리시스템에 따라 해체, 분해 및 분리가 제대로 이루어져야 재활용율 향상을 통해 환경성 향상은 물론 기업경영의 개선에도 이바지할 수 있다. 이를 바탕으로 재활용율의 지속적인 제고를 통한 자원효율의 향상도 기대할 수 있다. 따라서, 폐기단계에서의 각각의 교통수단 재활용율을 지표로 선정하여 교통수단의 환경적 특성 및 바이모달 트램의 환경적 특성을 추정해 볼 수 있다.

2.3 데이터 베이스 구축방법

바이모달 트램의 환경성 평가는 BOM 정보의 활용을 극대화시킨다는 부분이다. BOM 정보를 통하여 각 부품 및 소재의 사양을 반영한 생산정보들을 미리 DB화이다. 국가별로 DB 구축 수준이 다르기 때문에 DB 구축 수준이 열악한 국가에서는 상대적으로 어려움을 많이 겪을 수 밖에 없다. 부품의 제조에 사용된 물질의 DB가 누락된 경우 전과정평가의 신뢰성, 완전성 혹은 정확성을 기하기 어렵다. 물질 DB의 구축이 빈약하여 외국의 DB를 활용하게 되면 각국에서 물질을 생산하는 과정에 존재하는 차이를 무시하는 결과가 되기 때문에 이는 매우 신중한 판단이 요구되는 부분이다. 이처럼 환경영향 평가 및 해석에서의 여러 가지 한계점들을 극복하고 수행의 효율성과 결과의 신뢰성, 정확성을 기하려면 풍부하고 정밀한 DB를 구축하는 일이 무엇보다도 중요한 요건이 된다. 바이모달 트램의 부품 DB들을 앞으로도 계속 축적하여 나가면 환경성이 개선되는 정도를 정량적으로 파악하여 볼 수 있으며, 각각의 시대별 교통시스템이 갖는 환경적 취약점과 병목지점을 파악하고 친환경적인 설계를 유도할 수 있게 된다.

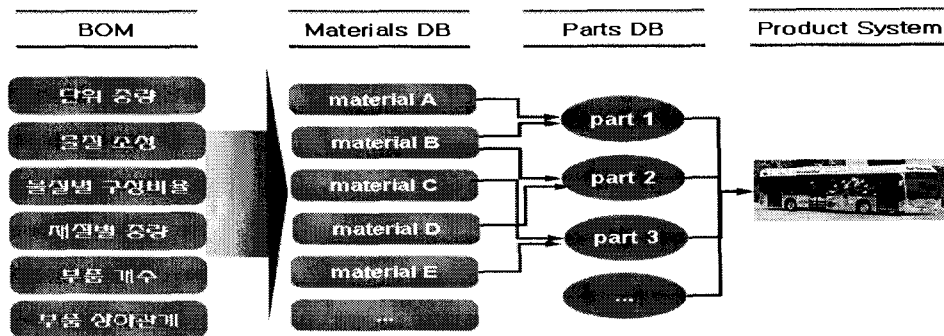


그림 2. 환경성 평가 DB 구축방향

2.4 인벤토리 분석 절차

연구의 목적과 연구의 대상, 연구수행자와 대상청중, 연구의 범위에 대한 목저과 범위에 대한 정리를 고려를 해야 한다. 연구의 목적을 정의할 때는 연구의 적용분야와 연구를 수행하는 이유, 연구의 결과를 전달할 대상자를 명확히 명시해야 한다. 한편, 연구를 수행하는 단체나 기관명, 연구를 적용할 대상에 대해서도 명시해야 한다. 연구의 범위를 설정할 때는 제품의 기능과 기능단위, 시스템 경계, 할당 등에 대한 고려를 해야 한다. 기능단위 설정은 전과정평가의 핵심인데 이는 전과정평가가 제품의 기능을 바탕으로 제품간의 환경성을 비교하는 환경평가 도구이기 때문이다. ISO TR 14049에 따르면 기능단위의 목적은 제품에 의해 제공된 서비스를 정량화하는 것으로 기능단위 설정의 첫 단계는 제품에 의해 제공된 서비스(제품의 기능)를 정의하는 것이다. 두 번째 단계는 정의한 제품의 기능을 정량화하는 것이다. 다음으로 대상제품의 성능(예, 대상제품 1개의 단위용량)을 바탕으로 기능단위를 해석하여 기준 흐름을 잡는다. 즉, 기준흐름란 기능단위를 수행하는데 필요한 제품의 수 또는 양을 나타낸다. 시스템 경계는 전과정평가에 포함되어 있는 단위공정들로 결정되며, 의도된 용도, 데이터와 비용의 제한, 가정들, 연구결과의 적용 의도 등의 요인들에 의해 결정된다. 투입물과 배출물의 선택과 같은 범주 내에서

의 데이터 수집 정도, 시스템의 모델은 연구의 목적에 따라 일관성이 있어야 하며, 시스템은 이와 같은 일관성을 유지하여 시스템 경계에서의 투입물과 배출물을 모델화해야 한다.

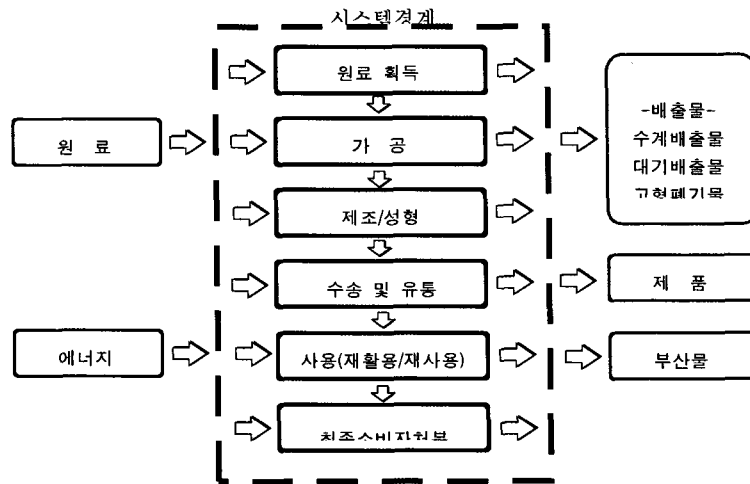


그림 3. 시스템 및 시스템 경계

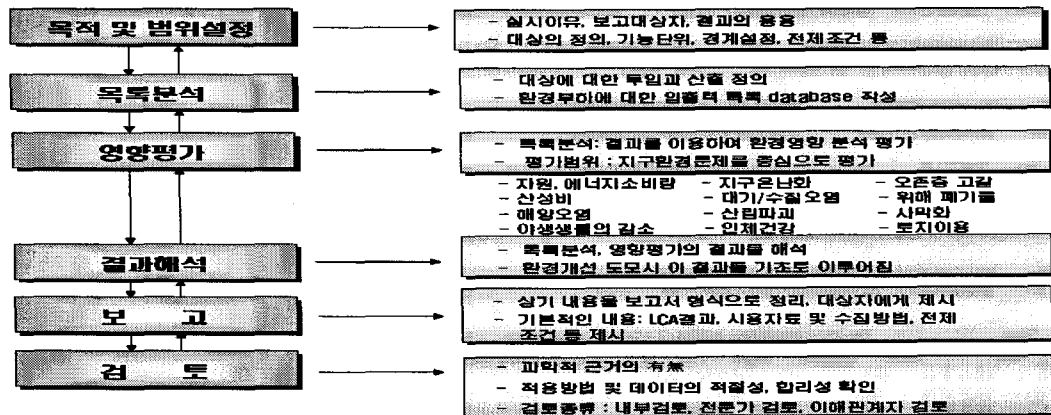


그림 4. 전과정 환경성 평가 절차

#### 2.4 환경 영향평가

전과정 영향평가는 목록분석의 결과를 영향범주별로 분류하는 분류화(classification) 단계와 영향범주별로 분류된 목록파라미터들이 영향범주에 미치는 영향을 정량화하는 특성화(characterization) 단계, 영향범주별 환경영향을 지역적인 인자 또는 시간적인 인자, 인구수에 의한 인자 등에 의해 기여한 환경영향으로 나누는 정규화(normalization) 단계, 마지막으로 영향범주별 상대적인 가중치를 결정하는 가중치부여(weighting) 단계로 진행된다.

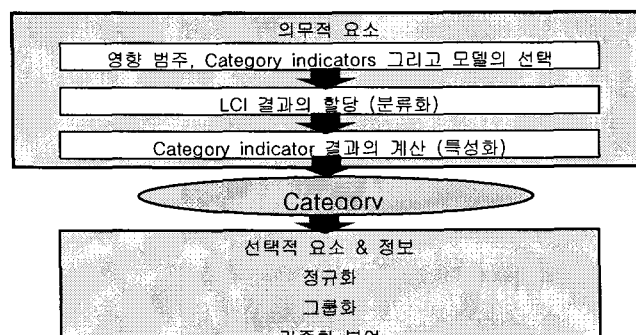


그림 5. 환경 영향평가 요소

### 3. 전과정 평가를 활용한 교통수단 사례분석 및 고찰

Siemens에서는 지하철 차량에 대한 전과정 평가를 통해 환경성능에 대한 주요 인자를 선정하여 평가하였다. 전과정에 걸친 물질 소비량을 제공하여 총 중량 100톤인 차량의 물질 조성을 세부적으로 표시하였다. 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. 지구온난화에 대한 잠재력을 평가에서 이용 및 유지보수 단계에서는 2 g CO<sub>2</sub>-equivalent/km\_ton이었으며, 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 때문인 것으로 해석하고 있다.

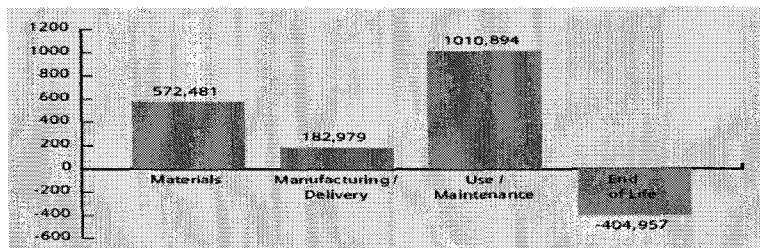


그림 6. 단계별 지구온난화 잠재력 (ton CO<sub>2</sub>-equivalent)

### 4. 맺은말

현재 교통수단에 대한 분석은 운행단계에서의 오염물 배출 등에 초점이 맞추어져 있는 수준으로서 전과정에 걸친 환경영향을 통합적으로 고려하지 못하고 있다. 간이 전과정 평가를 수행한 결과를 부품 단위로 데이터베이스화 하여 바이모달 트램의 환경성 프로파일을 산출하여 환경성 개선 추이를 파악할 수 있는 DB구축이 선행되고 병행되어야 한다. 우선 교통수송수단에 대한 환경문제를 배출오염물질의 측정분석의 패러다임에서 탈피하여 전과정인 통합제품의 체계를 기반으로 지속가능한 교통산업 체계를 구축하기 위한 체계적이고 과학적인 분석방법이 이루어져야 한다. 또한, 기존의 막연하게 추구하던 환경성 개선 노력을 지양하고 정량적 분석 결과를 토대로 명확한 관점과 방향성을 제시할 수 있는 평가방안의 도입이 필요하다. 본 연구를 기반으로 향후 바이모달 트램의 환경성을 계속적으로 평가 및 분석함으로써, 환경적 취약점을 도출하여 친환경적인 교통수단으로 발전하기 위한 토대를 제공하고 궁극적으로는 국제 시장에서의 대중교통수송시스템의 친환경 교통수단 분야에서의 국제기술 경쟁력 확보에도 일조할 수 있을 것으로 기대된다.

### 감사의 글

본 연구는 건설교통부 국가교통핵심기술개발사업의 일환으로 수행되었으며, 지원에 감사드립니다.

### 참고문헌

1. 한국철도기술연구원, 신에너지 바이모달 저상궤철차량 운영시스템 기반기술 개발 연구보고서(2007)
2. 이재영, 김용기, 박성환, 김희만, . 철도차량에 대한 전과정평가 도입을 위한 방안 연구, 2007춘계한국철도학회논문집
3. 김상용외 공역, 환경 전과정 평가, 시그마프레스(1998)
4. 김용기, 이재영, 목재균, 정인태, 간략화 전과정평가(S-LCA)기법을 이용한 전동차 구체의 환경성평가, 한국철도학회 제8권 제6호