

# 철도노선의 환경부하 평가를 위한 LCA 도입방안 연구

## A study on the Introduction of Life Cycle Assessment (LCA) for Railroad lines

김용기\* 이철규\* 이지하 이재영\*

Kim, Yong-Ki Lee, Cheul-Kyu Lee, Ji-Ha Lee, Jae-Young

---

### ABSTRACT

Due to sustainable development, international environmental regulations have been reinforced continuously. As Kyoto protocol has been effective in 2005, the reduction of CO<sub>2</sub> emission is a global urgent problem. Especially, Kyoto protocol related to energy consumption affects to national production system seriously. In 2013, Korea greenhouse gas reduction obligations as the country is almost certain measures to respond steps to prepare a plan to reduce CO<sub>2</sub> emission of industry. Also, the Environmental impacts with a fundamental review for railroad lines do not yet come true. Therefore, the introduction of LCA will be required to decrease environmental impacts released from railroad lines 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 친환경생산체계 구축이 시급한 실정이다. CO<sub>2</sub> 배출량을 비롯한 온실가스에 의한 지구온난화문제가 국제적인 이슈 속에서 철도 시설물의 친환경성 확보에 대한 고려의 중요성이 인식되고 있다. 일본은 환경성과 경제산업성이 함께 배출권거래제를 준비 중이며 24개시를 대상으로 시범사업을 추진중이다. 국내 CO<sub>2</sub>감축목표를 1990년 대비 6%저감 감축목표 달성을 위해 세부적인 목표를 설정하고 있다. 2020년 목표로 지구온난화 방지대책에 대한 가이드라인을 개발하여 신재생에너지의 사용을 촉진하고, 생산품과 가정, 자동차에 가장 높은 효율 기준을 설정하고 목표 년도를 정하는 동시에 에너지 절약을 위한 시민들의 라이프스타일을 전환을 지원하는 정책에 무게를 두고 있다. 일본 철도는 '96년부터 '02까지 지구환경문제와 전생애주기 평가, 신간선 토목구조물, 화물열차등에 대한 온실가스배출현황을 조사 진행 하였으며, 앞으로 철도산업의 지속발전을 위해 '08년도 구체적 온실가스배출 최소화를 위해 기술개발을 위한 연구추진 전략을 수립하고 있다

우리나라는 2013년 이후 온실가스 의무 감축국이 확실히 됨에 따라 이에 대응방안으로 산업별 온실감축 방안을 준비단계에 있지만, 철도노선에 대한 환경부하는 기본적인 검토도 아직 이루어지지 않고 있다. 따라서 본 연구에서는 철도노선의 환경성을 개선하기 위하여 국내외 환경정책에서 전과정 평가기법의 활용방안 및 철도노선에서의 응용사례를 분석하여 전과정 평가를 도입할 수 있는 방안을 고찰하고자 한다.

---

\* 한국철도기술연구원, 정회원

E-mail : ykkim@krrri.re.kr

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

## 2. 연구배경

### 2.1 국외 철도분야의 연구동향

전과정평가(LCA; Life Cycle Assessment)는 환경문제의 객관적인 평가방법의 하나로서 보급되고 있다. 전과정평가(LCA)에서 인벤토리 분석은 재료 및 에너지 사용량을 조사하고 이것에 원단위를 곱하여 환경부하를 산출하는 축적법과 산업연관표를 이용하여 거시적으로 환경부하를 산출하는 산업연관 분석법에 의해 시설등의 건설 및 차량의 제조에 따른 환경부하와, 영업개시 후 유지 및 운용 시의 에너지 소비에 대해서는 해당년도의 사용량을 계산하고 있다. 산업연관표의 성질상, 물질 또는 제품에 의해서는 얻어진 환경부하가 축적법의 수치와 현저하게 다른 경우가 있지만, 제품단위의 일률적인 원 단위를 할당 하기 때문에 차량의 경량화 등 개량에 따른 환경부하의 거시적 평가와 현 상태의 개략적인 환경 부하를 산출하여 비교자료로 활용하고 있다. LCA를 실시하는 최종의 목적으로서 지구환경의 개선을 들 수 있다. 이것을 위해서는 새롭게 시장에 제공되는 제품 등은 종래품에 비교하면 환경부하를 절감하는 것이 조건이 된다. 철도 분야를 대상으로서 LCA를 적용하는 목적으로서 첫째 철도 환경부하의 현재 상태를 파악하고, 다른 수송기관과의 비교에서 그 우위성을 정량적으로 나타내는 것과 환경부하의 절감에 대해서 중점적으로 연구하는 대상을 명확하게 제시하고 그 개선책을 나타내는데 활용하고 있다. 그리고 성과를 정량적으로 평가하는 역할과 Modal shift의 정량적인 효과를 사전에 평가하는 방안 연구에 활용하고 있다.

### 2.2 국내 철도분야의 연구동향

현재까지 국내의 LCA 관련 연구는 대부분 공업 제품을 대상으로 수행되어 왔으며, 산업자원부와 환경부 등에서 발주한 LCA 수행방법과 LCI DB 구축, 환경경영, 청정생산, 교육 등에 관한 연구과제들이 주를 이루고 있다. 이와 같은 제품에 비해 건설분야에 대해서는 비교적 뒤늦게 연구가 진행되고 있으며 국토해양부, 환경부를 중심으로 건축물의 LCA수행을 위한 건축자재의 DB구축과 친환경 건축물 인증제도, 그리고 도로, 교량, 하수처리시설 등과 같은 사회 인프라시설들에 대해서 LCA 적용성 평가가 일부 수행되고 있다.

환경친화적 전동차 개발을 위해 전동차의 제작에서부터 운행 폐기까지의 전과정(Life Cycle)에 대한 환경성을 평가하고 이를 통한 환경비용을 절감할 수 있는 통합시스템을 개발하는 것이다. 전동차의 전 과정에 대한 환경부하(Environment Impact)를 평가하기 위해 전동차 시스템에 적합한 전과정 평가 기본 모듈 개발과 LCI DB 구축(특히 철제, SUS제, 대차), 시스템 기본설계에 대한 경계설정 및 아키텍처구성, 등 폐기물 재활용 실태 조사 분석, 전동차 환경개선 방안을 위한 기초 연구 등을 수행한바 있다.

## 3. 사례분석

### 3.1 국외사례

#### 3.1.1 일본 철도노선의 환경부하

일본은 히가시토카이 신간선에 대한 환경부하를 축적법에 의한 CO<sub>2</sub> 배출량을 구조물, 선로에 대한 사용 재료량 및 에너지량으로 산출했다. 영업운행 전의 건설 시에는 많은 환경부하가 발생하고 영업 후는 매년 유지 보수를 중심으로 소량의 부하가 계속 발생하게 된다. 영업전·후 발생하는 환경부하를 평균하여 평가했으며, 해당구간의 내용연수를 정하고 시설 등 건설에 대해서는 이것을 빼는 것으로 연간 CO<sub>2</sub> 배출량을 식(1)과 같이 산출했다.

$$\text{연간 CO}_2 \text{ 배출량} = \sum(D_i/Y + D_m) [t\text{-CO}_2/\text{yr}] \text{-----}(1)$$

여기서  $D_i$  : 제조에 따른 CO<sub>2</sub> 배출량 [t-CO<sub>2</sub>] ,  $Y$  : 내용연수 [년] ,  $D_m$  : 유지에 따른 CO<sub>2</sub>배출량 [t-CO<sub>2</sub>/년]

내용연수  $Y$ 에 대해서는 각 요소마다 수치가 다르기 때문에 시설의 내용연수를 일률적으로 60년 이라고 가정하여 평가하였다. 재료의 CO<sub>2</sub> 원 단위는 각 기관에서 제시하고 있지만 통일된 단위는 없는 것

같다. 구조물에 대해서 신간선 토목구조물의 LCA에 따라 사용기간을 60년으로서 CO<sub>2</sub> 배출량을 산출한 것을 표 2에 나타내었다. 선로에 대해서는 레일, 연결장치, 선로, 패드, 침목, 도상, 벨러스트 매트르를 계상한 것을 표 3에 나타내었으며, 분기기는 레일이라고 간주하여 건설시에서의 재료 수량 및 CO<sub>2</sub> 배출량을 제시하고 있다

표 1. 주요 원단위

분류항목	CO <sub>2</sub> 원단위	출 처
쇄석	0.00693 [t-CO <sub>2</sub> /t]	일본 토목학회 (1997)
콘크리트	0.125 [t-CO <sub>2</sub> /t]	
	0.311 [t-CO <sub>2</sub> /t]	
철(고로제 열간압연강재)	1.51 [t-CO <sub>2</sub> /t]	
알루미늄(새시)	7.44 [t-CO <sub>2</sub> /t]	
글래스(판 글래스)	1.78 [t-CO <sub>2</sub> /t]	
플라스틱	1.80 [t-CO <sub>2</sub> /t]	
아스팔트	0.103 [t-CO <sub>2</sub> /t]	
고무(타이어)	4.40 [t-CO <sub>2</sub> /t]	
도장	1.66 [t-CO <sub>2</sub> /t]	
경유	2.85 [t-CO <sub>2</sub> /kl]	
천연가스	2.45 [t-CO <sub>2</sub> /km <sup>3</sup> ]	
액화석유가스	3.18 [t-CO <sub>2</sub> /km <sup>3</sup> ]	
전력	0.399 [t-CO <sub>2</sub> /Mwh]	'97자원에너지 통계
동	2.03 [t-CO <sub>2</sub> /t]	JEMAILCA
폴리에틸렌	0.85 [t-CO <sub>2</sub> /t]	
염화비닐수지	0.942 [t-CO <sub>2</sub> /t]	
자기	0.942 [t-CO <sub>2</sub> /t]	청취조사

표 2. 구조물의 CO<sub>2</sub> 배출량

구조물 종별	연장(km)	CO <sub>2</sub> 배출량(t-CO <sub>2</sub> )		
		건설시	유지(60년)	합계
콘크리트 구조	147.8	1,120,000	34,400	1,150,000
강 구조	43.0	342,000	40,000	382,000
토 구조	273.0	552,000	25,700	578,000
터널	68.7	286,000	11,300	297,000
합계	532.5	2,300,000	111,000	2,407,000
연간 CO <sub>2</sub> 배출량 : 40,116 [t-CO <sub>2</sub> /년]				

표 3. 선로(건설) 재료 수량 및 CO<sub>2</sub> 배출량

항목	재료	부설수량	CO <sub>2</sub> 배출량 : (t-CO <sub>2</sub> /년)
레일(60kg)	철	2060km	189,000
연결장치(102고속형)	철	3,450,000쌍	21,000
선로 패드(제 2종)	고무	3,450,000장	5,000
침목(PC)	콘크리트	1,770,000개	78,000
도상	쇄석	2,270,000m <sup>3</sup>	27,000
벨러스트 매트	수지 류	1,104,000m <sup>2</sup>	145,000
합 계			465,000

### 3.2 국내사례

#### 3.2.1 철도 궤도시스템의 환경성 평가

우리나라에서도 건축 및 토목건설 분야에 전과정 평가 기법을 이용한 연구사례도 점차 확대되고 있다. 철도산업을 지속가능 발전을 유도하고 친환경성을 확보 하기 위해서는 철도궤도시스템의 환경성을 향상시킬 필요가 있다. 우리나라는 아직 까지 철도궤도시스템의 환경성을 조사 및 평가 사례는 없었지만 최근 기초연구를 통해 환경성평가 방법론 개발 등 연구방향 수립하고 있지만, 인식의 부족과 데이터의 불충분으로 인해 많은 어려움을 겪고 있다. 원단위의 데이터베이스를 구축하는 것이 궤도시스템의 환경성을 평가하는데 매우 중요한 요소로 작용한다. 또한 전 세계적으로 모든 산업은 지구온난화 방지를 위한 지구 온실가스 배출 저감에 집중되어 감에 따라 철도건설 및 인프라분야에서도 온실가스 저감을 위한 노력과 정량적인 데이터 확보가 필요하다. 이러한 국제적인 지구환경문제에 대해 적절히 대응하지 못하면 결국은 더 많은 환경비용을 부담하게 될 것이다. 본 연구에서는 철도시설물 중 1km 지갈궤도부설과 슬래브궤도부설시 투입되는 원자재 및 에너지량을 산출결과를 표 4와 표 5에 나타내었다.

표 4. 자갈궤도부설시 투입 자재량 및 에너지량(1km 기준)

자재	수량	단위	
레일	4,671.76	kg	
콘크리트	535,733.88	kg	
체결구	환봉	5,574.53	kg
	가스	10.86	m <sup>3</sup>
	전력	18.10	kwh
자갈	3,191.04	m <sup>3</sup>	
우레탄	3,979.44	kg	
에폭시	84.82	kg	
경유	11,080	L	
휘발유	742	L	

표 5. 콘크리트궤도부설시 투입 자재량 및 에너지량(1km 기준)

자재	수량	단위	
레일	4,861.76	kg	
콘크리트	479,728.94	kg	
체결구	환봉	4,994.49	kg
	가스	9.73	m <sup>3</sup>
	전력	16.22	kwh
레미콘	748.86	m <sup>3</sup>	
철근	122.67	ton	
자갈	332.45	m <sup>3</sup>	
경유	998	L	
휘발유	294	L	

표 6은 자갈도상과 콘크리트도상의 LCA 결과를 나타내었다. 콘크리트 도상궤도에서 발생하는 환경부하가 자갈도상궤도에 비해 1.6배 높게 나타내었지만 앞으로 좀더 분석연구가 필요하다. 특히 교토의정서 발효 및 2차 감축대상국으로의 지정 시기가 다가옴에 따라 인프라의 각 분야에 대해서 이산화탄소 배출량을 정량적으로 산출하고, 감축을 위한 적극적인 대책의 수립이 시급하다.

표 6. 자갈도상과 콘크리트도상의 LCA결과

범주	자갈도상			콘크리트도상		
	시공	유지 보수	합계	시공	유지 보수	합계
자원고갈	2.39E+05	7.16E+04	3.10E+05	3.67E+05	1.10E+05	4.78E+05
지구온난화	1.13E+05	3.38E+04	1.46E+05	2.38E+05	7.15E+04	3.10E+05
오존층파괴	8.45E+04	2.54E+04	1.10E+05	1.91E+05	5.73E+04	2.48E+05
광화학산화물	1.71E+03	5.14E+02	2.23E+03	3.48E+03	1.05E+03	4.53E+03
산성화	3.72E+04	1.12E+04	4.84E+04	6.11E+04	1.83E+04	7.94E+04
부영양화	1.37E+05	4.10E+04	1.77E+05	1.87E+05	5.60E+04	2.43E+05
생태독성	6.01E+05	1.80E+05	7.82E+05	1.05E+06	3.14E+05	1.36E+06
인간독성	2.13E+05	6.38E+04	2.77E+05	3.13E+05	9.40E+04	4.08E+05
합계	1.43E+06	4.28E+05	1.85E+06	2.41E+06	7.22E+05	3.13E+06

#### 4. 결론

철도선진국인 일본에서는 관련기관과 학회를 중심으로 10년 전부터 자발적으로 전과정 평가를 도입한 연구를 적극적으로 활용하여 국제환경규제에 대응하고 있다. 제시한 데이터는 10년전 조사하여 발표한 것이라 현재와는 차이가 있을 것으로 판단된다. 또한 연구소 및 운영기관 공동으로 프로젝트를 추진하여 데이터 확보에 많은 애로를 겪으면서도 철도시설물에 대한 원단위 CO<sub>2</sub> 배출량을 제시하고 있다. 향후 이것을 대안으로 각 철도 구성 요소의 전과정 평가 실시를 추진하면서 재래선, 지하철에 대해서도 LCA평가 실시를 계획하고 있다. 그러나 국내의 경우에는 운영기관에서 전문인력의 부족으로 인프라에 대한 환경성 평가에 대한 자발적인 참여가 어려운 현실이다. 또한 철도분야의 관련 기술과 안전성 문제가 선진국에 비해 저하되어 있기 때문에 환경성 개선에 대한 투자와 관심이 부족할 수밖에 없다. 그리고 데이터베이스가 매우 부족하며 이러한 현실에서 철도분야의 전과정 평가를 효과적으로 도입하기 위해서는 무엇보다도 정부가 정책을 이용하여 적극적으로 지원해야 할 것으로 판단된다.

본 연구를 통해 철도궤도시스템에 대한 환경성 부하를 평가하고자 LCA기법의 도입방안에 대한 연구는 확대 적용할 필요가 있으며, 기후변화협약에 대응하기 위해서는 향후 철도궤도시스템 뿐만 아니라 철도산업의 전분야에 확대하여 원단위 CO<sub>2</sub> 산출이 이루어져야 한다.

#### 5. 참고문헌

- 1) 한국철도기술연구원, 철도유지관리 효율화 연구(2007)
- 2) 行澤 義弘 外 3人, 新幹線 土木構造物のLCA, RTRI Report Vol 16, No 10, 2002
- 3) 東海道新幹線のLCA手法による環境負荷の基礎的検討