

지속가능한 발전을 위한 궤도시스템의 LCA기법 적용 연구  
Application of LCA technique to railway track system  
for sustainable development

이철규\*                      김용기\*\*                      이지하\*\*\*                      이재영\*\*\*\*  
Lee, Cheul-Kyu              Kim, Yong-Ki                  Lee, Ji-Ha,                      Lee, Jae-Young

ABSTRACT

In this study, Among various rail track systems, Ballast and concrete track system of Seoul-Busan High-speed Line was adopted to quantify the amount of environment load through the LCA technique. It was intended to compare the results of both track systems through investigating life cycle inventory and gathering the material and energy flows of each track system. With applying the LCA technique to railway infrastructure, which simple maintenance was considered in the past, fundamental technology can be established for the sustainable development in the railway construction industry.

1. 서 론

'07년 9월 약 80개국 정상이 참석한 가운데 UN 주도로 개최된 '기후변화 고위급 회의'는 온실가스 감축을 주요 테마로 하여 진행되었다. 이 회의에서 온실가스 감축을 위한 구속력 있는 제재 조항을 도출하지는 못하였지만 에너지집약도 등에 대한 합의를 도출하였다. 세계 10대 온실가스 발생국인 국내의 현실은 에너지 집약도에서도 26개국 IEA(International Energy Agency)회원국 중 24위로 하위를 차지하고 있는 실정이다. 온실가스 저감을 위한 일련의 범국가적 노력은 '92년 기후변화 협약 및 '97년 교토의정서 등의 채택 후 지속적으로 추진되고 있으며 조만간 범국가적 온실가스 저감을 위한 강력한 제재가 예상된다. 국내외적으로 온실가스 발생에 대한 교통부문의 비중은 약 30 %를 차지하고 있으며 이 중 철도의 기여도는 타 교통수단에 비하여 가장 낮은 수준으로 조사되고 있음에도 불구하고 영국 및 일본 등 철도선진국에서는 친환경 교통수단인 철도산업을 보다 더 친환경적이며 지속가능한 철도시스템을 위하여 지속적인 노력을 기울이고 있는 실정이다. 철도산업을 친환경적이고 지속가능하도록 하기 위한 방법으로는 궤도시스템 등과 같이 철도운송을 위하여 건설되는 구조물들에 대하여 LCI DB를 구축하고 환경성을 분석하여야 한다. 구축된 LCI DB를 통하여 전과정평가를 수행함으로써 온실가스 발생량 등 환경부하를 정량화하고 친환경 관리인자를 도출함으로써 철도시스템의 환경성을 향상시킬 수 있다. 국내 철도선로는 경부고속철도의 개통과 함께 크게 향상되고 있으며 복선화 및 전철화 건설로 인하여 지속적으로 확대되고 있는 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 궤도시스템에 대하여 LCI DB를 구축하고 전과정평가를 수행한 사례를 제시함으로써 환경성을 고려한 철도건설 방향을 제시하고자 한다.

\* 이철규 : 한국철도기술연구원, 환경화재연구팀, 정회원

E-mail : cheul@krri.re.kr

TEL : (031)460-5372 FAX : (031)460-5319

\*\* 김용기 : 한국철도기술연구원, 환경화재연구팀, 정회원

\*\*\* 이지하 : 한국철도기술연구원, 환경화재연구팀, 정회원

\*\*\*\* 이재영 : 한국철도기술연구원, 환경화재연구팀, 정회원

## 2. 본 문

### 2.1 연구방법 및 대상

철도건설시 발생하는 환경부하를 정량화하기 위하여 연구에서 사용된 전과정평가(LCA, Life Cycle Assessment)기법은 종합적인 환경성 평가를 위해 개발된 기법<sup>1,2</sup>으로 국제표준화기구(International Organization for Standardization; ISO)에서 수행절차를 표준화(ISO 14040<sup>3</sup> 시리즈)한 방법으로 특정 대상을 구축 또는 제조하는데 소요되는 원재료의 획득에서 사용 및 폐기의 전과정단계에서 사용되는 물질, 에너지 및 오염물질에 대한 환경부하를 정량적으로 평가할 수 있는 도구이다. 대상에 대한 생애주기 분석을 통하여 환경성을 정량적으로 제시함으로써 특정 단계에서 타 단계로의 환경부하 전이에 대한 문제점을 해결할 수 있는 장점을 가지고 있다. 전과정평가결과로 제시된 정량화된 환경부하의 신뢰성을 확보하는데 있어서 전과정목록(LCI) DB 구축은 필수적이다. 본 연구에서는 다양한 형태로 부설되고 있는 국내 철도선로 중에서 비교적 최근에 부설된 경부고속선 구간의 궤도시스템 중 자갈궤도와 슬래브궤도를 대상으로 하였다. 유지보수 등의 문제점으로 인하여 점차 슬래브궤도로 전환되어 가고 있는 자갈궤도와 환경성을 전과정에 걸쳐 정량적으로 도출하여 비교함으로써 대표적인 궤도시스템의 환경성을 상호 비교하고 이를 사례로 하여 철도시스템 전반에 걸쳐 전과정평가를 위한 절차를 제시하고자 한다.

### 2.2 연구범위

기능단위(Functional unit, f.u.)로는 자갈 및 슬래브궤도 동일하게 1km를 기준으로 설정하여 수행하였다. 전과정평가에서 시스템경계(System boundary)는 이상적으로 연구대상(제품 또는 건축물)의 구축에 소요된 원재료의 확보에서부터 완성품의 폐기까지 전과정에 걸쳐 평가를 수행하여야 하나 자료확보, 시간상의 제약 등으로 인하여 궤도시스템의 폐기단계는 제외한 시공 및 유지보수 단계까지 포함하였다.

### 2.3 전과정목록

열차운행 시 발생하는 소음, 진동 흡수성이 뛰어난 자갈도상은 경부고속철도 구간 중 일부구간에서 적용되었으며 일정 입경 및 경도를 가진 꺾자갈을 혼합하여 사용하고 있다. 꺾자갈은 특정 암반지형을 굴착하여 확보하고 있으며 자갈의 경우 빈번한 열차 운행으로 인하여 발생하는 도상의 열화, 레일의 절상으로 인한 자갈의 오염 및 분기기 구간에서의 도유로 인한 유류착상 등의 문제로 인하여 주기적인 점검과 보충을 하고있는 실정이다.

자갈도상을 채택하지 않은 타 구간의 경우 자갈도상과 달리 도상클리닝 및 라이닝 등의 유지보수가 불필요한 슬래브궤도를 채택하고 있으며 콘크리트를 도상으로 하고 있다. 고속철도1단계 구간에서는 독일 Rheda 시스템으로 침목매립식으로 부설되어 있다.

표 1. 도상별 주요 자재목록

구분	자갈궤도	슬래브궤도
도상	꺾자갈	레미콘
		철근
레일	UIC 60(50)	UIC 60
침목	PC침목(코일스프링식)	RC침목(코일식)
체결구	코일스프링클립	절연블럭(60kg, 50kg)
	절연블럭(60kg, 8~14mm)	
	레일패드(코일스프링클립식)	RC침목용
기타	ballast 매트	체결구보호통
	신축이음매장치	-

레일의 경우 경부고속선의 경우 장대레일 분기기이외 모든 구간에서 연결되어 있으며 탄소강을 주요 재질로 하는 UIC60 레일을 채택하고 있다. 이와 같이 레일 외 침목 등의 도상별로 투입된 주요 자재는 표 1에 간략하게 정리하였다.

표 2. 도상별 주요 투입 장비목록 및 에너지소비량

구분	장비명	자갈궤도		슬래브궤도	
		경유	회발유	경유	회발유
자갈작업	양로기	-	15,422	-	-
	백호우	344,718	-	-	-
궤도부설	모타카	3,961	-	4,133	-
	백호우	21,522	-	22,455	-
	지게차	6,298	-	6,571	-
장대레일 재설정	레일절단	-	62	-	63
	레일삭정	-	540	-	552
	레일타격	-	1,351	-	9,182
레일연마	회전식	-	200	-	204
기타	조명	215	-	250	-
합계		376,714	17,575	33,409	10,001

표 2에서는 궤도 30 km 부설 시 도상별로 투입되는 장비 및 에너지목록을 정리하였다. 자갈도상에서 자갈작업을 위하여 투입되는 장비이외에는 궤도별로 동일한 장비를 사용하고 있었으나 자갈작업을 위하여 투입되는 장비로 인하여 자갈도상의 에너지 사용량이 월등히 높은 것을 알 수 있었다.

#### 2.4 전과정평가

표 1에서 정리된 도상별 주요 자재의 시공단계 투입량은 설계내역을 참조하여 산출하였으며 이를 기능 단위에 맞게 정리하여 전과정평가에 활용하였다. 궤도도상별 전과정평가를 통한 환경부하를 정량적으로 산출하여 비교하기위하여 객관적으로 조사된 자료를 활용하였으며 자료 확보의 곤란함 등으로 상대적 객관성이 미흡한 부분은 도상별로 동일한 조건을 설정하였다. 도상별 유지보수 단계에 투입되는 물질 및 에너지는 시공단계 투입량의 1 %로 가정하였으며 도상별 수명의 경우는 동일하게 30년으로 입력하였다.

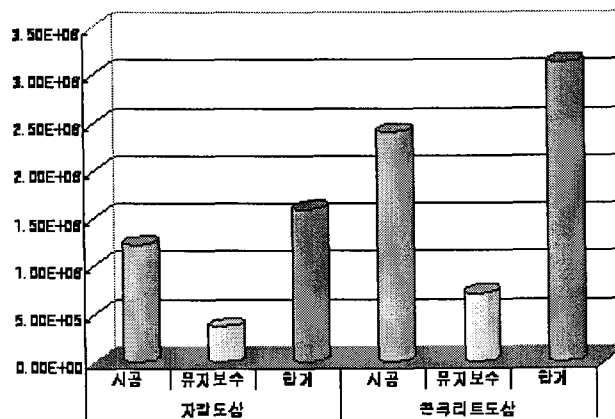


그림 1. 도상별 전과정평가 결과

도상별로 시공 및 유지보수 단계의 LCI DB를 활용하여 전과정평가를 수행한 결과 그림 1과 같은 결과를 얻을 수 있었으며 전과정평가 결과 콘크리트 도상의 환경부하가 자갈도상에 비하여 약 1.6배 높은 것을 알 수 있었다. 유지보수 용이성 등의 장점으로 인하여 자갈도상에서 콘크리트 도상으로 전환되어 가는 시점에서 철도산업의 대표적인 궤도시스템 중 콘크리트 도상의 환경성 확보가 시급한 문제

임을 보여주는 결과임을 알 수 있다. 콘크리트 도상이 자갈도상에 비하여 상대적으로 환경부하가 높은 이유는 그림 2의 도상별 하위자재 기여도 분석을 통하여 알 수 있었다. 콘크리트 도상의 전과정평가 결과에 가장 높은 기여를 하는 품목은 콘크리트임으로 나타났으며 이러한 결과로부터 콘크리트도상의 환경성 개선 항목을 도출 할 수 있다.

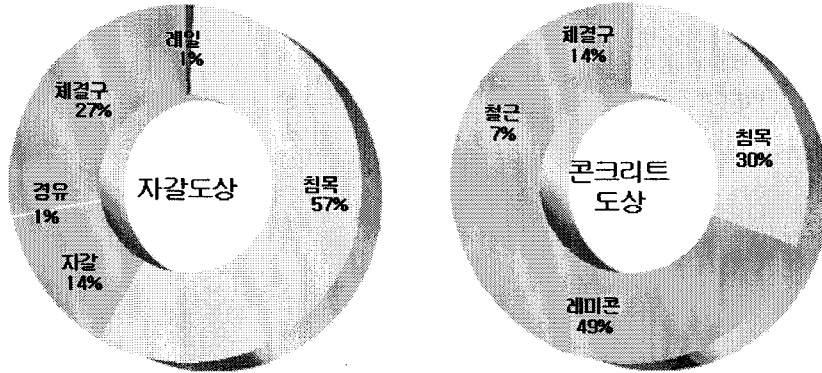


그림 2. 도상별 하위자재 기여도 분석

궤도도상별 이산화탄소 발생량을 그림 3과 같이 분석하였으며 분석결과 콘크리트 도상의 CO<sub>2</sub> 발생량이 자갈도상궤도에 비하여 약 2.1배 많이 배출되는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 자갈보다 레미콘에 의한 온실가스 배출기여도가 상대적으로 높았기 때문이다.

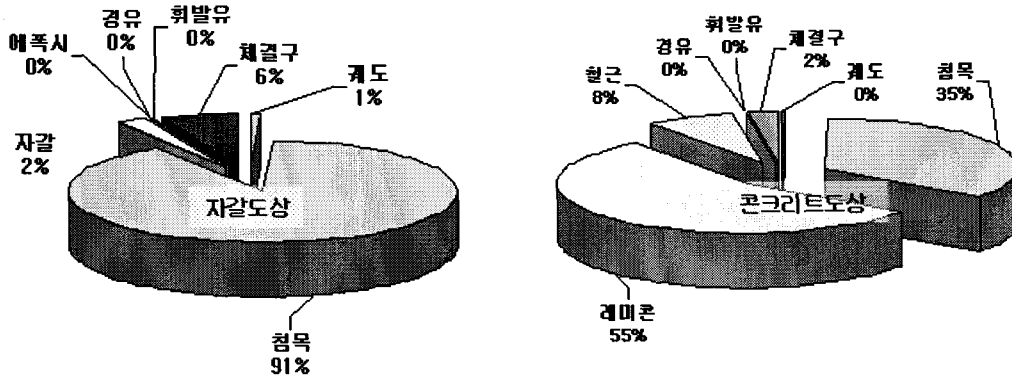


그림 3. 도상 주요자재별 온실가스 배출량 기여도

### 3. 결과 및 토의

궤도도상의 전과정평가를 수행결과에서와 같이 전과정평가를 통하여 평가대상의 환경관리인자를 그림 2와 같이 도출할 수 있으며 이러한 항목을 주요개선항목으로 관리 또는 설계에 반영함으로써 환경성을 개선을 위한 방향을 설정할 수 있다. 현재까지 연구에서 확보된 궤도도상별 LCI DB 등의 물질 및 에너지 자료의 부족과 고려된 시나리오의 미흡으로 인하여 보다 정확한 전과정평가 결과를 제시하는 것에는 부족한 점이 있으나 이러한 기법을 적용함으로써 철도산업의 환경성을 보다 개선하고 지속가능한 시스템을 구축할 수 있음을 알 수 있었다. 전과정평가기법은 15년 이상 수행되어 온 표준화된 기법으로 선진국을 중심으로 구축된 방대한 DB와 SIMAPRO 등의 평가툴을 확보하고 있으며 무엇보다 평가대상 시스템을 생애주기로 고려함으로써 시스템 내 타 단계로의 오염전이를 방지하면서 정량적으로 지구온난화, 오존층파괴 등의 총체적인 환경성을 제시할 수 있다. 국내외적으로 각종 환경규제가 강화되고 있는 시점에서 철도산업의 환경성 확보 및 향상을 위하여 철도 신선의 건설 시 설계단계에서부터 전과정평가기법을 도입하여 환경관리요소를 도출하여 건설 시 반영하는 것이 필요하다.

## 참고문헌

1. Y. J. Yoo, Environmental Management System-LCA, Environmental Hi-Technology (1996).
2. EPA, The Use of Life Cycle Assessment in Environmental Labelling (1993).
3. ISO 14044, Environmental management-Life Cycle Assessment-Requirement and guidelines, 2006.