

LCA를 이용한 고속철도 건설단계에서의 환경부하 특성에 관한 연구

A Study on the Characteristics of Environmental Impact in Construction Sector of High-Speed Railway using LCA

이 철 · 이재영* · 정우성 · 황용우

Cheol Lee · Jae-Young Lee · Woo-Sung Jung · Young-Woo Hwang

Abstract This study investigates the characteristics of environmental impact from the construction phase of a high-speed railway through a Life Cycle Assessment method based on the materials used and the energy consumption of the equipment used according to the design statement. The results reveal that the contributions to environmental impact in the construction sector of a high-speed railway were 89% for civil engineering, 7% for the track system, 2% for stations and 2% for the energy and telecommunication system. In particular, the highest contribution to the impact in the civil engineering category were 54% for Global Warming, 25% for Abiotic Resource Depletion and 8% for Photochemical Oxidant Creation. The main influence factors were the use of remicon and cement. In future, the application of Life Cycle Assessment for the construction sector of railway construction will introduce efficient reduction methods according to the quantitative calculation of environmental impact.

Keywords : LCA, high speed railway, construction, environmental impact

초 록 본 연구에서는 국내 고속철도노선 전과정 중 건설단계에 대하여 각 분야별(토목, 궤도, 건축 및 전철전력/신호통신분야) 주요 건설자재 및 중장비 에너지 사용량을 토대로 전과정평가(Life Cycle Assessment, LCA) 방법론을 적용하여 주요 환경부하 특성을 분석하였다. 그 결과, 분야별 환경영향 기여도는 토목분야가 약 89%로 가장 높게 나타났으며, 궤도 7%, 건축 2%, 전철전력분야 2% 순으로 나타났다. 가장 기여도가 높은 토목분야의 경우, 주요 영향평가 범주는 지구온난화, 자원고갈, 광화학산화물생성으로 각각 54%, 25%, 8%로 나타났으며, 주요 영향인자는 레미콘과 시멘트인 것으로 분석되었다. 향후 철도 건설단계에서의 전과정평가 적용은 정량적인 환경부하 산정을 통해 효율적인 저감방법을 도입할 수 있다.

주요어 : 전과정평가, 고속철도, 건설, 환경부하

1. 서 론

세계 각국은 경제발전으로 인한 환경파괴에 대하여 환경 오염물질을 파악하고 줄여나가기 위해 제품 생산에서 폐기 과정까지의 전생애주기(Life Cycle)를 고려한 전과정평가(Life Cycle Assessment, LCA) 방법론을 활용하고 있다. 특히 건설분야의 경우, LCA를 통해 시설물에 대한 각 단계별 환경영향을 저감하고 경제적 부담을 줄이기 위한 평가모델을 개발하였으며, 특히 기존 재활용 및 폐기단계에서의 개선방안을 통해 환경적 영향을 크게 줄일 수 있다고 평가하였다[1-3]. 이러한 국제적인 움직임 속에 국내에서는 저탄소 녹색성장 기본법의 시행 이후, 2011년 8월 국토교통부에서 건설부문의 녹색성장 기반을 마련하기 위하여 '시설물별 탄소배출량 산정 가이드라인'을 발표하였다.

이를 통해 향후 건설부문의 온실가스 감축을 위한 기초자

료를 확보하고, 시공단계 공법별 온실가스 배출량을 최소화할 수 있는 방안을 마련하고자 하였다[4]. 또한 교통수요가 많은 고속도로 건설은 이미 LCA를 통해 건설공법에 따른 공사별 주요 환경부하를 비교 및 평가하여 직접적으로 유해물질을 감소시키기 위해 노력하고 있다[5-7]. 하지만 수요가 점차 증가하고 있는 고속철도의 경우, 온실가스 배출량을 산정하는 연구가 일부 진행되었지만 아직까지 세부시설의 영향범주(Impact Category)에 따른 종합적인 환경영향평가(Environmental Impact Assessment)와 달리 대부분 지구온난화에 한정되어 이루어지고 있는 상황이다[8-9]. 이에 친환경 교통수단인 철도분야에서도 전생애주기를 고려하기 위해 운영뿐만 아니라 시설물 건설 시 발생하는 분야별 환경영향범주에 대하여 지구온난화뿐만 아니라 각 영향범주에 대한 환경영향 평가가 필요하다. 본 연구에서는 국내 고속철도 A노선을 대상으로 분야별(토목, 궤도, 건축, 및 전철전력분야) 연장 1km 건설 시 발생하는 환경영향 및 주요 영향인자를 파악하였다. 환경영향 분석도구로 LCA를 이용하였으며, 영향범주는 지구온난화(Global Warming, GW), 자원고갈(Abiotic Resources Depletion, ARD), 광화학산화물생성(Photochemical

*Corresponding author.

Tel.: +82-31-460-5388, E-mail : iyoung@krii.re.kr

©The Korean Society for Railway 2014

http://dx.doi.org/10.7782/JKSR.2014.17.3.178

Oxidant Creation, POC), 인체독성(Human Toxicity, HT), 생태독성(Terrestrial Eco-Toxicity, TET), 산성화(Acidification, AD), 부영양화(Eutrophication, EU), 오존층파괴(Ozone Depletion, OD) 등의 8가지를 고려하였다[10-11].

2. 고속철도 건설단계 전과정평가

2.1 목적 및 범위설정

본 연구의 LCA 수행목적은 국내 고속철도 A 노선을 대상으로 건설단계에서의 분야별 환경영향 및 주요 영향인자를 정량적으로 파악하는 것으로 연구결과는 친환경적인 건설 방안을 모색하는데 기초자료로 활용하고자 한다. 연구범위로서 시설물의 기능은 승객 및 화물을 운송하기 위한 고속철도 네트워크, 기능단위는 고속철도 네트워크를 구축하기 위한 모든 시설물 공사 1km 단위로 설정하였다. 고속철도 시설물 건설공사는 토목(Civil engineering), 궤도(Track system), 건축(Station) 및 전철전력(Energy & telecommunication)분야가 고속철도 시설물 공사를 대표하도록 하기 위해 주요 세부공사(토공, 교량, 터널, 자갈궤도 등)가 모두 포함되는 노선을 선정하여, 전생애주기 중 건설단계로 한정하여 전체 연장을 고려하여 1km 단위로 환산하였다. 입력데이터는 ‘철도 건설현장 탄소발자국 산정연구’[11]에 대한 선행연구를 통해 실시설계가 완료된 후 착공일로부터 준공 완료되는 시점까지 사용되는 주요 건설자재 및 증장비 에너지소비량을 활용하였다.

또한 목록분석을 수행하기 위해 산업통상자원부(구 지식경제부) 및 환경부에서 구축된 국내 LCI DB(Life Cycle Inventory Database), 특성화(Classification), 정량화(Normalization) 및 가중화(Valuation & Weighting) 계수를 이용하여

영향평가를 수행하였다[12-14]. Table 1은 정량화 및 가중화 계수를 정리한 결과이다.

2.1.1 대상노선 선정 및 시스템 경계

국내 모든 고속철도 구간에 대한 연장 1km 당 발생하는 전체 환경부하를 산정하기에 자료수집에 한계가 있다. 이에 Fig. 1에서와 같이 고속철도 시설물 공사를 대표하는 구간으로 모든 분야가 포함되어 있으며, 설계데이터 수집이 가능한 국내 고속철도 시설물 A 노선을 선정하여 건설자재 및 에너지 사용량을 파악하였다. 본 연구에서의 시스템 경계는 원료생산에서 가공 및 수송 그리고 공사현장에서 사용되는 주요 건설자재 및 증장비 에너지사용량으로 설정하였으며, 재활용 및 폐기단계는 데이터의 부재로 제외하였다. 또한 시스템 경계에 포함되는 주요 건설자재는 자재비 기준 80% 이상, 에너지사용량은 100%로 제외기준(cut-off)을 설정하였다.

2.1.2 데이터 수집 및 산정방법

고속철도 시설물 A 노선에 대한 건설자재 및 증장비 에너지사용량 데이터는 기본적으로 공사 진행상황이 표기되어 있는 공사추진현황, 설계내역서, 주요자재총괄집계표 등을 이용하였으며, 목록분석을 위한 데이터[13]로 가공하였다. 이때, 건설자재 사용량은 주요자재집계표, 일위대가(산근, 호표 등)를 복합적으로 고려하여 식(1)을 이용하여 산출한다.

$$\begin{aligned} & \text{작업량(자재단위)} \times \\ & \text{일위대가 상 자재투입물량(ton/자재단위)} \quad (1) \\ & = \text{투입자재량(ton)} \end{aligned}$$

증장비의 에너지소비량은 시간당 에너지소비율(연비), 사용에너지원 등 건설장비 표준품셈[11]을 통하여 파악하고, 분야별 장비의 사용시간은 설계내역서를 통해 식(2)을 이용하여 산정한다.

Table 1 Factors of normalization and weighting according to impact category

Impact category (Unit : person-year/f.u.)	Abiotic resources depletion (ARD)	Acidification (AD)	Eutrophication (EU)	Global warming (GW)	Ozone depletion (OD)	Photochemical oxidant creation (POC)	Human toxicity (HT)	Terrestrial eco-toxicity (TET)
Normalization	25	40	13	5,530	0.0407	10	1,480	2
Valuation & Weighting	0.2310	0.0360	0.0380	0.2880	0.2920	0.0650	0.1050	0.2160

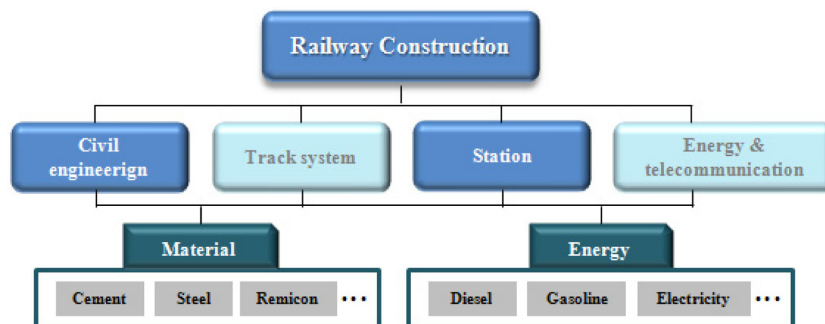


Fig. 1 Classification of railway construction sectors

Table 2 Energy consumption of heavy equipment and the use of materials per 1km in the construction sector

Field	Material	Amount	Equipment	Energy consumption (TJ)
Civil engineering	Remicon	26,472m ³	Air compressor	0.84420
	Steel	2,977,454kg	Excavator	1.29674
	Steel plates	266ton	Dump truck	12.04864
	Cement	8,725ton	Loader	1.66222
	Portland cement	3,659kg	Generator	1.85740
Track system	Remicon	3,057m ³	Water tank	0.03777
	Rail	10,000kg	Generator	0.01733
	Rail fastening system	117,052kg	Lift truck	0.01689
	Steel	203,903kg	Fork lift	0.01657
Station	Gypsum board	147kg	Generator	0.00210
	Cement	16ton	Crane	0.00230
	Zinc steel sheet	106,605kg	Air compressor	0.00832
	Remicon	142m ³	Dump truck	0.00907
Energy & telecommunication	Zinc ingot	16ton	Excavators	0.00714
	Aluminum rod	47kg	Dump truck	0.00410
	Steel plates	3ton	Generator	0.02636
	Remicon	72m ³	Water tank	0.00062

$$\text{작업량(m}^3\text{)} \times \frac{1}{\text{시간당 작업량(m}^3\text{/hr)}} \times \text{연비(L/hr)} \quad (2)$$

=에너지 사용(TJ)

설계내역을 통해 분야별 연장 1km 당 사용되는 주요자재 및 에너지사용량(TJ)을 파악하고, 각각의 단위를 LCI DB에 적용하기 위해 환산한 결과를 Table 2에 나타내었다. Table 2에서 살펴볼 수 있듯이 토목분야에서 사용되는 건설자재 및 에너지사용량이 다른 분야에 비해 높게 나타났다. 또한 모든 분야에서 주로 사용되는 건설자재는 레미콘, 시멘트, 철근 등으로 나타났으며, 중장비의 경우 덤프트럭, 발전기, 로더, 굴삭기 등으로 나타났다.

2.2 목록분석 및 영향평가

목록분석 단계에서는 설정한 대상에 투입되는 모든 원료 및 에너지와 대상에서 배출되는 부산물 및 환경오염물의 종류와 양을 규명하고 이를 기능단위 기준으로 나타내는 단계이다. 예를 들어, 공사규모가 가장 큰 토목분야의 경우, 토목분야에서 사용되는 자재의 전생애 주기를 고려하기 위해 채취 및 가공단계에서 최종 생산단계까지 사용되는 모든 투입물 및 산출물 데이터를 전체 연장을 고려하여 1km 단위로 환산한 자재 수량과 연계하여 산정하였다.

Table 3에서 볼 수 있듯이 토목분야 특성에 따라 주요공사 토공, 교량, 터널공사에서 사용되는 레미콘, 시멘트, 철근 등으로 인하여 투입물 Limestone, Sand, Stone, Gravel, Steel scrap 등이 주로 사용되었으며, 이로 인하여 배출물 중에서 대기배출물 Carbon dioxide(CO₂), Carbon monoxide

Table 3 Life cycle inventory analysis for civil engineering

Flow	Type	Flow name	Unit	Amount
Input	Air	Air	kg	2.36E+05
Input	Air	Nitrogen(N ₂)	kg	1.46E+01
Input	Soil	Oxygen(O ₂)	kg	1.37E+01
Input	Soil	Limestone	kg	2.81E+07
Input	Soil	Sand(SiO ₂)	kg	2.09E+07
Input	Soil	Stone	kg	1.42E+07
Input	Soil	Gravel	kg	9.25E+06
Input	Soil	Steel scrap	kg	3.64E+06
Input	Water	Water	kg	2.60E+07
Output	Air	Carbon dioxide(CO ₂)	kg	2.10E+07
Output	Air	Carbon monoxide(CO)	kg	8.77E+05
Output	Air	Dust	kg	3.06E+05
Output	Air	Nitrogen oxides(NO _x)	kg	4.48E+04
Output	Air	Sulfur dioxide(SO ₂)	kg	2.34E+04
Output	Air	VOC	kg	5.04E+02
Output	Water	Radioactive	kg	5.00E+07
Output	Water	SS	kg	2.03E+05
Output	Water	COD	kg	5.48E+02
Output	Water	BOD	kg	7.32E+01

(CO), Dust가 각각 2.10E+07kg, 8.77E+05kg, 3.06E+05kg으로 수계배출물에 비해 상대적으로 높게 나타나는 경향을 보였다.

Table 4 Life cycle impact assessment for the railway construction sector

Impact category	Unit (person-year / f.u.)			
	Civil engineering	Track system	Station	Energy & telecommunication
Abiotic resources depletion(ARD)	507.6(24.8%)	42.8(26.3%)	15.5(36.8%)	13.2(30.5%)
Acidification(AD)	31.1(1.5%)	2.4(1.5%)	4.7(11.1%)	16.1(37.4%)
Eutrophication(EU)	12.6(0.6%)	0.9(0.6%)	1.1(2.5%)	3.4(7.9%)
Global warming(GW)	1,105.8(54.0%)	76.9(47.3%)	16.6(39.3%)	4.7(10.9%)
Ozone depletion(OD)	9.5(0.5%)	0.9(0.6%)	0.1(0.2%)	0.03(0.1%)
Photochemical oxidant creation(POC)	153.3(7.5%)	17.5(10.8%)	2.1(5.1%)	3.9(9.0%)
Human toxicity(HT)	146.6(7.4%)	13.0(8.0%)	1.0(2.4%)	1.4(3.2%)
Terrestrial eco-toxicity(TET)	81.0(4.0%)	8.0(4.9%)	1.1(2.5%)	0.4(1.0%)
Total	2,047.6(100.0%)	162.4(100.0%)	42.2(100.0%)	43.2(100.0%)

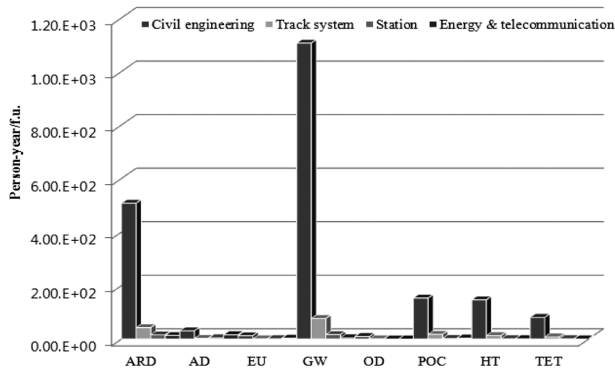


Fig. 2 Life cycle environmental impact according to the impact category for the railway construction sector

목록분석 결과를 바탕으로 잠재적인 환경영향의 중요성을 평가하기 위해 목록분석 결과를 영향범주 별로 분류하는 분류화(Classification) 단계, 영향범주별로 분류된 항목들이 각각의 영향범주에 미치는 영향을 정량화하는 특성화(Characterization) 단계, 지역적, 시각적 기준을 설정하는 정규화(Normalization) 및 환경영향의 범주별 중요도를 결정하는 가치평가 및 가중치부여(Valuation & Weighting) 단계[12]를 통해 최종적으로 고속철도 시설물 A 노선에서의 연장 1km 당 발생하는 전과정 영향평가 결과를 Table 4와 Fig. 2에 나타내었다.

분야별 환경영향 기여도 분석결과, 토목분야의 기여도가 높게 나타났으며, 환경영향범주 별로는 기여도가 각각 지구온난화(GW) 54%, 자원고갈(ARD) 25%, 광화학산화물생성(POC) 7%, 인체독성(HT) 7%, 생태독성(TET) 4%, 산성화(AD) 2%, 부영양화(EU) 0.6%, 오존층파괴(OD) 0.5% 순으로 나타났다. 마찬가지로 궤도분야에서는 지구온난화(GW) 47%, 자원고갈(ARD) 26%, 광화학산화물생성(POC) 11% 등의 순으로, 토목분야와 동일한 경향으로 산정되었다. 건축분야의 경우, 지구온난화(GW) 39%, 자원고갈(ARD) 37%, 산성화(AD) 11% 등의 순으로 기여도가 나타났으며, 전철전력

분야에서는 산성화(AD) 37%, 자원고갈(ARD) 31%, 지구온난화(GW) 11% 등의 순으로 지구온난화 기여도가 상대적으로 낮게 나타났다

2.3 결과해석

본 연구에서는 국내 고속철도 A노선의 분야별 연장 1km 당 발생하는 환경영향을 산정한 결과, Fig. 3에서와 같이 레미콘 사용이 많은 토목분야에서 89%로 가장 높은 환경영향 기여도를 보였다. 나머지 궤도, 건축, 전철전력분야는 각각 7%, 2%, 2%로 산정되었다. 분야별 환경영향 기여도가 가장 높게 나타나는 토목분야에서 주요 영향인자를 규명하기 위해 주요자재에 대하여 영향평가를 분석하고 영향범주별 기여도와 주요 환경부하 자재를 규명하였다.

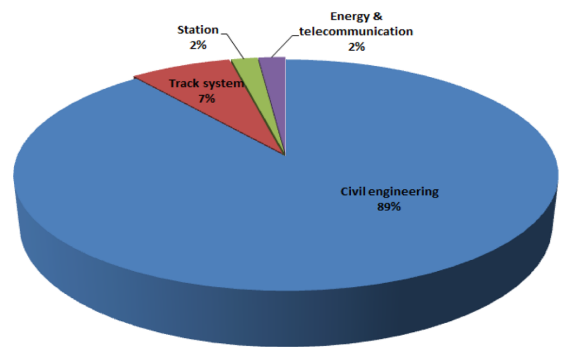


Fig. 3 Contribution analysis of the environmental impact assessment for the railway construction sector

Fig. 4와 Table 5는 토목분야에서 영향범주별 자재에 따른 환경부하 산출값을 나타내었다. 그 결과, 가장 높은 환경부하를 가진 지구온난화(GW)를 살펴보면, 레미콘이 65%, 시멘트가 29%로 지구온난화(GW) 환경부하 산출값 전체 중 94%를 차지함에 대부분의 영향을 미치고 있음을 확인하였다. 마찬가지로 모든 환경영향범주에서 기여도의 차이는 있

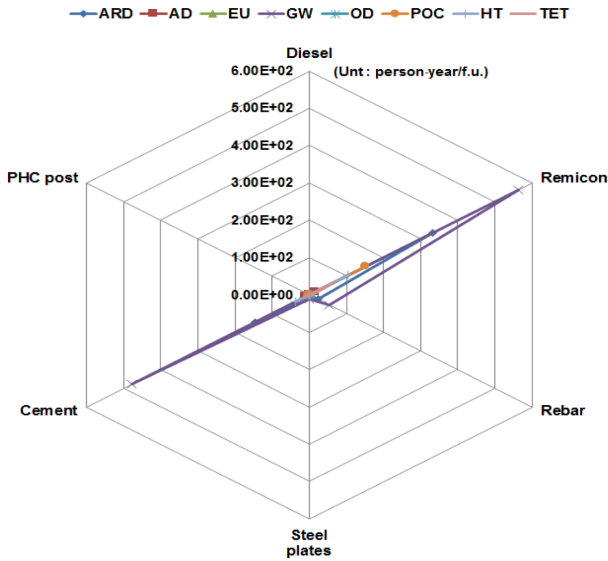


Fig. 4 Rader chart of the environmental impact assessment result for the materials used for the civil engineering

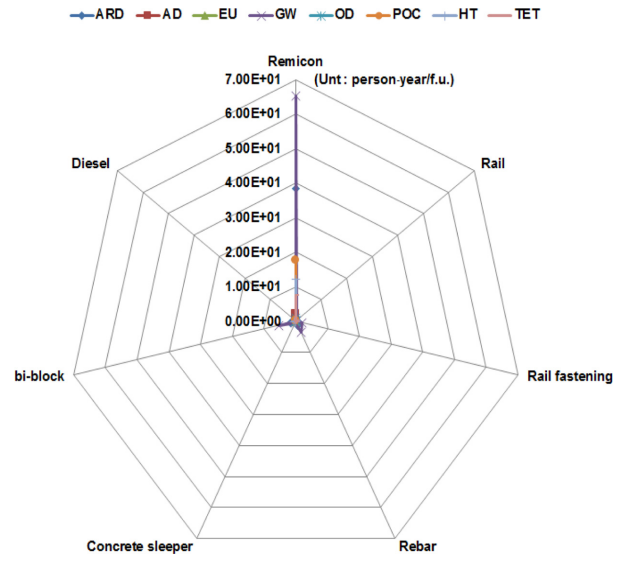


Fig. 5 Rader chart of the environmental impact assessment result for the materials used for the track system

지만 레미콘과 시멘트가 주요 영향을 미치는 자재임을 알 수 있다.

Fig. 5와 Table 6은 궤도분야에서 영향범주별 자재에 따른 환경부하 산출값을 나타낸 결과로, 콘크리트 침목 및 궤도부설에서 사용되는 레미콘이 모든 영향범주에서 크게 영향을 미치는 것으로 나타났다. 특히 영향범주 중 가장 높은 환경부하를 나타내는 지구온난화(GW)는 레미콘의 영향이 85%를 차지하고 있다.

건축분야에서는 역사의 규모 단위(m³)를 본 연구목적에 따라 전체 연장을 고려하여 1km로 환산하였다. 이를 위해 기

존 고속철도 노선의 연장 당 역사개수와 평균면적의 상관관계를 도출한 결과를 토대로 본 대상노선의 역사면적 대비 연장을 산정하였다[11]. Fig. 6과 Table 7은 건축분야에서 영향범주별 자재에 따른 환경부하 산출값을 나타낸 결과이다. 건축분야의 경우, 앞서 언급했듯이 분야별 환경영향 기여도가 2%로 영향범주에 영향을 주는 주요자재는 아연도 강판과 레미콘으로 나타났다. 특히, 아연도 강판은 산성독성(AD)에서 기여도가 93.8%로 대부분을 차지했으며, 레미콘은 오존층 파괴(OD), 광화학산화물생성(POC), 인체독성(HT) 등에서 기여도가 높게 나타났다.

Table 5 Contribution of the materials used according to the impact category for the civil engineering

Impact category (Unit: person-year/f.u.)	Diesel	Remicon	Rebar	Steel plates	Cement	PHC post	Total
Abiotic resources depletion (ARD)	1.39E-01 (0.03%)	3.32E+02 (65.3%)	2.33E+01 (4.6%)	6.21E+00 (1.2%)	1.46E+02 (28.8%)	2.60E-02 (0.01%)	5.08E+02 (100.0%)
Acidification(AD)	7.46E-05 (0.00%)	1.63E+01 (52.6%)	3.78E+00 (12.2%)	6.77E-01 (2.2%)	1.03E+01 (33.1%)	3.70E-03 (0.01%)	3.11E+01 (100.0%)
Eutrophication(EU)	1.63E-05 (0.00%)	6.11E+00 (48.4%)	1.55E+00 (12.2%)	2.73E-01 (2.2%)	4.70E+00 (37.2%)	9.99E-04 (0.01%)	1.26E+01 (100.0%)
Global warming(GW)	2.09E-03 (0.00%)	5.64E+02 (51.0%)	5.29E+01 (4.8%)	1.16E+01 (1.1%)	4.77E+02 (43.1%)	1.79E-01 (0.02%)	1.11E+03 (100.0%)
Ozone depletion(OD)	4.80E-07 (0.00%)	7.38E+00 (77.5%)	1.90E-01 (2.0%)	8.94E-02 (0.9%)	1.86E+00 (19.6%)	3.36E-05 (0.00%)	9.52E+00 (100.0%)
Photochemical oxidant creation (POC)	1.89E-05 (0.00%)	1.51E+02 (98.6%)	4.87E-01 (0.3%)	9.43E-02 (0.1%)	1.61E+00 (1.1%)	7.02E-04 (0.00%)	1.53E+02 (100.0%)
Human toxicity(HT)	1.20E-05 (0.00%)	1.05E+02 (71.3%)	3.97E+00 (2.7%)	1.52E+00 (1.0%)	3.66E+01 (25.0%)	1.64E-03 (0.00%)	1.47E+02 (100.0%)
Terrestrial eco-toxicity(TET)	3.78E-06 (0.00%)	6.35E+01 (78.4%)	4.21E+00 (5.2%)	7.52E-01 (0.9%)	1.25E+01 (15.4%)	1.27E-03 (0.00%)	8.10E+01 (100.0%)

Table 6 Contribution of the materials used according to the impact category for the track system

Impact category (Unit: person-year/f.u.)	Remicon	Rail	Rail fastening	Rebar	Concrete sleeper	bi-block	Diesel	Total
Abiotic resources depletion (ARD)	3.83E+01 (89.6%)	1.60E-01 (0.4%)	9.17E-01 (2.1%)	1.60E+00 (3.7%)	1.37E-01 (0.3%)	1.65E+00 (3.9%)	1.13E-03 (0.00%)	4.28E+01 (100.0%)
Acidification(AD)	1.89E+00 (77.5%)	1.43E-02 (0.6%)	1.48E-01 (6.1%)	2.59E-01 (10.6%)	9.61E-03 (0.4%)	1.16E-01 (4.8%)	6.09E-07 (0.00%)	2.43E+00 (100.0%)
Eutrophication(EU)	7.05E-01 (75.4%)	6.31E-03 (0.7%)	6.08E-02 (6.5%)	1.06E-01 (11.3%)	4.39E-03 (0.5%)	5.30E-02 (5.7%)	1.33E-07 (0.00%)	9.35E-01 (100.0%)
Global warming(GW)	6.52E+01 (84.7%)	2.08E-01 (0.3%)	2.08E+00 (2.7%)	3.62E+00 (4.7%)	4.46E-01 (0.6%)	5.38E+00 (7.0%)	1.71E-05 (0.00%)	7.69E+01 (100.0%)
Ozone depletion(OD)	8.52E-01 (94.8%)	3.08E-03 (0.3%)	7.46E-03 (0.8%)	1.30E-02 (1.4%)	1.74E-03 (0.2%)	2.10E-02 (2.3%)	3.91E-09 (0.00%)	8.98E-01 (100.0%)
Photochemical oxidant creation (POC)	1.75E+01 (99.6%)	1.53E-03 (0.01%)	1.91E-02 (0.1%)	3.33E-02 (0.2%)	1.51E-03 (0.01%)	1.82E-02 (0.1%)	1.54E-07 (0.00%)	1.75E+01 (100.0%)
Human toxicity(HT)	1.21E+01 (92.9%)	4.63E-02 (0.4%)	1.56E-01 (1.2%)	2.72E-01 (2.1%)	3.42E-02 (0.3%)	4.13E-01 (3.2%)	9.83E-08 (0.00%)	1.30E+01 (100.0%)
Terrestrial eco-toxicity(TET)	7.34E+00 (92.0%)	3.22E-02 (0.4%)	1.66E-01 (2.1%)	2.89E-01 (3.6%)	1.17E-02 (0.1%)	1.41E-01 (1.8%)	3.09E-08 (0.00%)	7.98E+00 (100.0%)

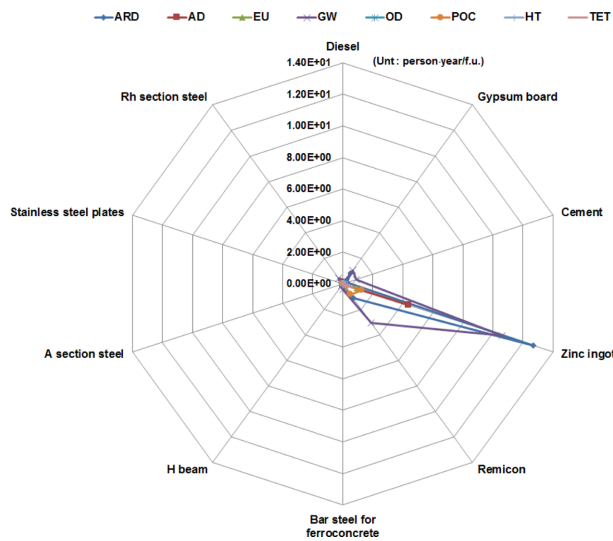


Fig. 6 Rader chart of the environmental impact assessment result of the materials used for the stations

Table 7 Contribution of the materials used according to the impact category for the stations

Impact category (Unit: person-year/f.u.)	Diesel	Gypsum board	Cement	Zinc ingot	Remicon	Bar steel	H beam	A section steel	Stainless steel plates	Rh section steel	Total
Abiotic resources depletion(ARD)	1.53E-04 (0.00%)	8.46E-01 (5.4%)	2.72E-01 (1.8%)	1.27E+01 (81.7%)	1.14E+00 (7.3%)	2.47E-01 (1.6%)	6.72E-02 (0.4%)	3.40E-03 (0.02%)	3.08E-03 (0.02%)	2.57E-01 (1.7%)	1.55E+01 (100.0%)
Acidification(AD)	8.22E-08 (0.00%)	1.04E-01 (2.2%)	1.91E-02 (0.4%)	4.38E+00 (93.8%)	8.69E-02 (1.9%)	4.41E-02 (0.9%)	1.09E-02 (0.2%)	3.10E-04 (0.01%)	1.57E-04 (0.00%)	2.34E-02 (0.5%)	4.67E+00 (100.0%)
Eutrophication(EU)	1.80E-08 (0.00%)	5.64E-02 (5.3%)	8.74E-03 (0.8%)	9.33E-01 (87.2%)	3.31E-02 (3.1%)	2.39E-02 (2.2%)	4.45E-03 (0.4%)	1.32E-04 (0.01%)	9.26E-05 (0.01%)	9.97E-03 (0.9%)	1.07E+00 (100.0%)
Global warming(GW)	2.31E-06 (0.00%)	1.06E+00 (6.4%)	8.86E-01 (5.3%)	1.06E+01 (64.0%)	3.05E+00 (18.4%)	3.84E-01 (2.3%)	1.52E-01 (0.9%)	5.61E-03 (0.03%)	5.58E-03 (0.03%)	4.24E-01 (2.6%)	1.66E+01 (100.0%)
Ozone depletion(OD)	5.29E-10 (0.00%)	1.26E-02 (19.2%)	3.46E-03 (5.3%)	2.07E-02 (31.5%)	1.99E-02 (30.4%)	4.62E-03 (7.0%)	5.47E-04 (0.8%)	4.44E-05 (0.1%)	3.36E-04 (0.5%)	3.36E-03 (5.1%)	6.55E-02 (100.0%)
Photochemical oxidant creation(POC)	2.08E-08 (0.00%)	1.00E-02 (0.5%)	3.00E-03 (0.1%)	1.30E+00 (60.4%)	8.29E-01 (38.6%)	4.27E-03 (0.2%)	1.40E-03 (0.1%)	3.47E-05 (0.00%)	1.34E-05 (0.00%)	2.63E-03 (0.1%)	2.15E+00 (100.0%)
Human toxicity(HT)	1.33E-08 (0.00%)	1.88E-01 (18.2%)	6.80E-02 (6.6%)	3.37E-01 (32.7%)	2.89E-01 (28.0%)	7.43E-02 (7.2%)	1.14E-02 (1.1%)	7.00E-04 (0.1%)	1.06E-02 (1.0%)	5.29E-02 (5.1%)	1.03E+00 (100.0%)
Terrestrial eco-toxicity (TET)	4.17E-09 (0.00%)	1.17E-01 (11.0%)	2.33E-02 (2.2%)	5.66E-01 (53.5%)	1.74E-01 (16.4%)	4.92E-02 (4.7%)	1.21E-02 (1.1%)	5.22E-04 (0.01%)	7.71E-02 (7.3%)	3.95E-02 (3.7%)	1.06E+00 (100.0%)

Table 8 Contribution of the materials used according to the impact category for the energy & telecommunication

Impact category (Unit: person-year/f.u.)	Diesel	A section steel	Zinc ingot	Aluminum rod	Steel plates	Copper rod	C section steel	Remicon	Tin-free steel sheet	Cement	Steel	Total
Abiotic resources depletion(ARD)	3.62E-04 (0.00%)	2.76E-02 (0.2%)	1.17E+01 (89.1%)	9.26E-03 (0.1%)	7.81E-02 (0.6%)	7.66E-03 (0.1%)	9.54E-04 (0.01%)	9.04E-01 (6.9%)	8.52E-02 (0.6%)	5.19E-02 (0.4%)	2.76E-01 (2.1%)	1.32E+01 (100.0%)
Acidification(AD)	1.94E-07 (0.00%)	2.51E-03 (0.02%)	1.60E+01 (99.3%)	3.94E-04 (0.00%)	8.51E-03 (0.1%)	1.82E-03 (0.01%)	8.70E-05 (0.00%)	4.45E-02 (0.3%)	5.10E-03 (0.03%)	3.64E-03 (0.02%)	4.46E-02 (0.3%)	1.61E+01 (100.0%)
Eutrophication(EU)	4.25E-08 (0.00%)	1.07E-03 (0.03%)	3.38E+00 (98.8%)	2.16E-04 (0.01%)	3.43E-03 (0.1%)	5.05E-04 (0.01%)	3.71E-05 (0.00%)	1.67E-02 (0.5%)	8.04E-04 (0.02%)	1.67E-03 (0.05%)	1.83E-02 (0.5%)	3.42E+00 (100.0%)
Global warming(GW)	5.45E-06 (0.00%)	4.55E-02 (1.0%)	1.99E+00 (42.1%)	3.64E-03 (0.1%)	1.46E-01 (3.1%)	2.49E-02 (0.5%)	1.58E-03 (0.03%)	1.54E+00 (32.6%)	1.84E-01 (3.9%)	1.69E-01 (3.6%)	6.25E-01 (13.2%)	4.73E+00 (100.0%)
Ozone depletion(OD)	1.25E-09 (0.00%)	3.60E-04 (1.1%)	6.72E-03 (20.6%)	1.30E-03 (4.0%)	1.12E-03 (3.4%)	8.64E-05 (0.3%)	1.25E-05 (0.04%)	2.01E-02 (61.6%)	5.20E-05 (0.2%)	6.60E-04 (2.0%)	2.24E-03 (6.9%)	3.27E-02 (100.0%)
Photochemical oxidant creation(POC)	4.91E-08 (0.00%)	2.82E-04 (0.01%)	3.47E+00 (89.0%)	8.69E-05 (0.00%)	1.19E-03 (0.03%)	3.40E-04 (0.01%)	9.76E-06 (0.00%)	4.12E-01 (10.6%)	6.72E-03 (0.2%)	5.72E-04 (0.01%)	5.75E-03 (0.1%)	3.90E+00 (100.0%)
Human toxicity(HT)	3.14E-08 (0.00%)	5.68E-03 (0.4%)	9.89E-01 (72.1%)	8.49E-04 (0.1%)	1.91E-02 (1.4%)	1.15E-02 (0.8%)	1.97E-04 (0.01%)	2.85E-01 (20.8%)	7.24E-04 (0.1%)	1.30E-02 (0.9%)	4.69E-02 (3.4%)	1.37E+00 (100.0%)
Terrestrial eco-toxicity (TET)	9.85E-09 (0.00%)	4.24E-03 (1.0%)	8.02E-02 (19.2%)	1.03E-03 (0.2%)	9.45E-03 (2.3%)	8.88E-02 (21.3%)	1.47E-04 (0.04%)	1.73E-01 (41.6%)	5.68E-03 (1.4%)	4.44E-03 (1.1%)	4.98E-02 (11.9%)	4.17E-01 (100.0%)

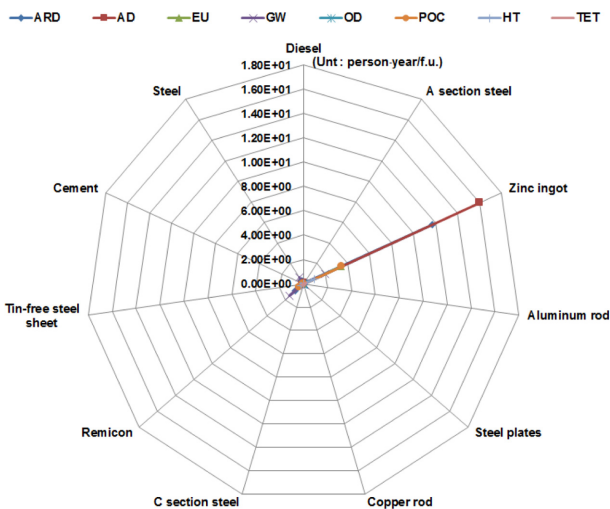


Fig. 7 Rader chart of the environmental impact assessment result of the materials used for the energy & telecommunication

Fig. 7과 Table 8은 전철전력분야에서 영향범주별 자재에 따른 환경부하 산출값을 나타낸 로결과로 특히 공사 특성상 레미콘이 타 분야에 비해 매우 적게 사용되지만, 강재 제작으로 인하여 산성화(AD), 자원고갈(ARD), 지구온난화(GW)가 높게 나타나는 것으로 분석되었다.

3. 결 론

본 연구에서는 고속철도 건설단계에서 분야별 연장 1km 당 발생하는 환경오염물질을 정량화하기 위해 설계내역서를 이용하여 데이터를 수집하였으며, 이를 재가공하여 전과정

평가를 실시하였다. 분야별 주요 영향인자를 분석한 결과, 토목분야의 환경영향 기여도가 89%로 가장 높고, 영향범주별 환경영향 기여도가 지구온난화(GW), 자원고갈(ARD), 광화학산화물생성(POC) 순으로 나타났다. 주요 환경영향인자는 레미콘과 시멘트인 것으로 나타났다. 궤도분야는 분야별 환경영향 기여도가 7%로, 영향범주별 환경영향 기여도 분석 결과는 지구온난화(GW), 자원고갈(ARD), 광화학산화물생성(POC) 순이며, 레미콘이 주요 환경영향인자인 것으로 분석되었다. 건축분야에서는 본 연구목적에 따라 전체 연장 대비 역사 면적(m³)을 km 단위로 환산하여 전과정평가를 수행하였다. 그 결과, 타 분야에 비해 전체 면적 대비 규모가 상대적으로 작기 때문에 분야별 환경영향 기여도가 2%로 낮게 분석되었다. 또한 레미콘 사용보다는 아연도 강판이 주요 환경영향 인자로 규명되었고, 영향범주별 환경영향 기여도가 자원고갈(ARD), 지구온난화(GW), 생태독성(TET) 순으로 나타났다. 신호, 통신, 전력분야를 포괄하는 전철전력 분야에서는 분야별 환경영향 기여도가 2%로 나타났다. 강재 제작으로 인하여 산성화(AD) 및 자원고갈(ARD)가 높게 나타나는 반면, 레미콘이 적게 사용되었기 때문에 지구온난화(GW)에 미치는 영향은 크지 않은 것으로 분석되었다.

고속철도 A 노선의 환경부하 특성은 레미콘 및 시멘트 사용이 많은 토목분야가 지구온난화(GW) 및 자원고갈(ARD)에 환경영향 기여가 높은 것으로 나타났으며, 이는 향후 철도시설물 건설 시 분야별 환경부하 비교연구를 통해 저감방법 도출을 위한 기초자료로 활용할 수 있다.

후 기

본 연구는 주요사업 '철도 친환경성 향상기술 개발' 과제

및 한국철도시설공단 수탁사업 ‘철도건설현장 탄소발자국 산정연구 용역’의 일환으로 수행되었음에 이에 감사 드립니다.

References

- [1] F. Anna, V.M Fredrik. (2004) Tools for environmental assessment of the built environment, *Building and Environment*, 39(2), pp. 223-228.
- [2] L. Zoubir, D. Lyne. (2007) Environmental benefits of life design of concrete bridges, *3rd International Conference on Life Cycle Management*, Zurich, Switzerland, Aug27-29, #293, pp. 1-6.
- [3] A.B Gian (2009) Life cycle of building, demolition and recycling potential: A case study in Turin, Italy, *Building and Environment Review*, 44(2), pp 319-330
- [4] C. Lee, W.S Jung, J.Y Lee, H.J Cha (2012) A study on the calculation of specific carbon emission factor with civil sector at high speed railway construction, *Proceedings of Korean Society for Railway Conference*, Korea, pp. 514-518.
- [5] J.M Park (2011) A case study on the environmental assessment of highway construction by using LCA, *Master Thesis*, Gyeongnam National University of Science and Technology.
- [6] J.S Moon (2009) LCA analysis and case study of environment factors for highway construct project, *Master Thesis*, Gyeongsang National University
- [7] K.H Park, Y.W Hwang, S.W Seo, J.H Park. (2000) Environmental load evaluation through the life cycle of highway. *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, 20(30-D), pp. 311-321.
- [8] T.H Hong, C.Y Ji, K.B Jeong. (2012) Environmental impact assessment of buildings based on life cycle assessment (LCA) methodology, *Korean Journal of Construction Engineering and Management*, 13(5), pp. 84-93.
- [9] J.Y. Lee, W.S.Jung, I.H. Hwang, Y.K. Kim. (2011) The evaluation of GHG emissions in railroad construction sector, *Journal of the Korean Society for Railway*, 14(3), pp. 271-276.
- [10] J.Y Lee, Y.K Kim, H.T Yoon, Y.H Yang. (2005) Evaluation of environmental impacts for the bogie of electric motor unit (EMU) using simplified life cycle assessment(S-LCA), *Journal of the Korean Society for Railway*, 8(6), pp. 581-585.
- [11] Woo-Sung Jung, et al. (2012) A study on the calculation of carbon footprint under construction of railroad infrastructure in Korea, final report, *Korea Railroad Research Institute*.
- [12] ISO 14041, Environmental Management - Life Cycle Assessment - Goal and scope definition and inventory analysis (1998).
- [13] ISO 14042, Environmental Management - Life Cycle Assessment - Life cycle impact assessment (1999).
- [14] ISO 14043, Environmental Management - Life Cycle Assessment - Life cycle interpretation (2000).
- [15] C. Lee (2014) Comprehensive environmental impact assessment of construction phase in high speed railway using LCA, *Master Thesis*, Inha University

접수일(2014년 1월 17일), 수정일(2014년 2월 12일),
게재확정일(2014년 6월 20일)

Choe-Lee: lee_cheol01@eland.co.kr
Eland Service, 606, Seobusaet-gil, Geumcheon-gu, Seoul, Korea

Jae-Young Lee: iyoung@krri.re.kr
Korea Railroad Research Institute, #176, Railroad museum road, Uiwang-si, Gyeonggi-do 437-757, Korea

Woo-Sung Jung: wsjung@krri.re.kr
Korea Railroad Research Institute, #176, Railroad museum road, Uiwang-si, Gyeonggi-do 437-757, Korea

Young-Woo Hwang: hwangyw@inha.ac.kr
Department of Environmental Engineering, Inha University, 100 Inharo, Nam-gu, Incheon 402-751, Korea