

철도건설의 온실가스 배출량 산정평가

The Evaluation of GHG Emissions in Railroad Construction Sector

이재영[†] · 정우성¹ · 황인환² · 김용기¹

Jae-Young Lee · Woo-Sung Jung · In-Hwan Hwang · Yong-Ki Kim

Abstract According to governmental policies for green growth, the increase in the traffic volume of railroad is a representative method to reduce total greenhouse gas (GHG) emitted from transport. Comprehensive assessment for the GHG emission of railroad has been studied to compare the difference of transport modes just in the operating step excluded the construction step. The purpose of this study was to evaluate GHG emissions in railroad construction sector. The targets were some construction works for civil, track, building, and electric system in A line. The GHG emission source of constructing railroad infrastructure was mainly the energy consumption of heavy equipments. As a result, the civil construction sector showed more than 96% of total GHG emissions and its specific GHG emission was 2.191 ton CO₂e/m. Also, the specific GHG emissions of civil construction works were of the order: earthworks > tunnels > bridges > station. In future, it will be required to calculate the overall GHG emission of railroad through life cycle approaches including operation, maintenance and disposal step.

Keywords : Greenhouse gas (GHG), Climate Change, Railroad Construction

초 록 정부의 녹색성장 국가전략에 따라 철도로의 수송수요 전환은 수송분야의 온실가스 총 배출량을 저감하는 대표적인 방안 중 하나이다. 이에 수송수단간 온실가스 배출량을 비교하기 위해 철도분야의 연구가 다양하게 진행되어 왔으나, 대부분 운영단계 위주이며 건설단계는 제외되어 있다. 본 연구에서는 철도건설 시 온실가스 배출량을 평가하기 위해 A 노선의 토목, 궤도, 건축, 전철전력 공사 일부를 대상으로 선정하였다. 철도건설의 주요 온실가스 배출원은 중장비의 연료사용으로 전체 온실가스 배출량 중 토목공사가 96% 이상을 차지하였으며, 배출원단위는 2.191톤 CO₂e/m이었다. 토목공사를 세부적으로 살펴보면, 공종별 온실가스 배출원단위가 토공, 터널, 교량, 정거장의 순으로 나타났다. 향후 추가적으로 시스템 경계를 확장하여 철도운영, 유지보수, 폐기 단계를 포함한 전과정적인 접근을 통해 철도 전체의 온실가스 배출량을 산정하는 것이 필요하다.

주요어 : 온실가스, 지구온난화, 철도건설

1. 서 론

최근 이상기후 현상에 따른 피해사례가 전 세계적으로 빈번히 발생하면서 지구온난화의 주요 원인인 온실가스 감축에 대한 국제사회의 움직임이 더욱 현실화되고 있다. 특히 2008년부터 2012년까지 교토의정서 상의 온실가스 1차 의무감축기간이 중반을 넘어가면서 2013년부터 시작되는 포스트 교토체제에서의 신규 감축목표 수립과 정책방향 설정에 대한 논의가 활발히 전개되고 있다. 우리나라도 온실가스 배출량 세계 10위권 규모의 국가로 포스트 교토체제의 참여를 통한 감축목표 및 이행계획에 대한 선진국의 압력이 가중되고 있다[1-3].

정부는 신정부 출범과 동시에 ‘저탄소 녹색성장 (Low Carbon,

Green Growth)’ 국가비전을 선포한 이후 녹색성장기본법을 마련하여 온실가스·에너지 목표관리제, 배출권거래제 등 산업 전반에 걸친 온실가스 배출관리 및 감축에 대한 제도적 기반을 구축하고 있다[2,3]. 특히 전체 온실가스 배출량의 약 20% 내외를 차지하는 수송부문의 경우에는 정부의 국가 온실가스 중기 감축목표 달성을 위해 실질적인 변화가 요구된다. 이에 녹색성장 국가전략의 10대 정책방향 중 하나인 ‘녹색국토 교통의 조성’에 관한 정책분야에서는 철도의 승객 수송분담률을 현재의 18% 수준에서 2020년까지 26%로 증대시키는 계획을 포함하고 있다[2,3]. 철도는 수송부문 온실가스 총 배출량 중 1~2% 수준을 차지하고 있으며, 타 수송수단과 비교하여 저탄소 배출 측면에서 비교우위를 나타내고 있으나 이와 관련한 계량화된 데이터 확보가 미흡한 실정이다. 뿐만 아니라 2010년 9월 온실가스·에너지 목표관리제의 관리업체로 한국철도공사를 비롯한 6개 운영기관이 포함되면서 철도산업의 온실가스 배출량에 대한 체계적인 관리가 시급한 문제로 대두되고 있다[2]. 이에 최근에는 수송수단별 운행단계에서의 온실가스 배출량을 비교하기 위한 연

[†]교신저자 : 한국철도기술연구원 철도환경연구실
E-mail : iyong@krii.re.kr

¹한국철도기술연구원 철도환경연구실

²한국철도시설공단 KR 연구원 정책연구소

구들이 다양하게 진행되고 있다. 그러나 철도차량의 운행에 따른 에너지 소비만을 고려하고 있기 때문에 신규노선의 도입에 따른 수송수단 선정 시 인프라 건설을 포함한 연구가 여전히 부족하다[3]. 따라서 철도산업의 시스템 경계를 확장하여 인프라 건설단계에서부터 운영, 유지보수, 폐기 단계를 포함하는 전과정적인 접근을 통해 철도의 온실가스 배출량을 평가할 수 있는 연구가 필요하다.

유럽의 UIC(2008)에서는 고속철도의 인프라건설을 포함하여 운영, 유지보수, 폐기의 전과정에 걸친 탄소발자국 산정 결과를 보고하였다[4]. 이를 위해 터널, 궤도, 교량, 신호통신 등 주요 철도 인프라에 대해 사용 건설재료 및 장비를 포함한 온실가스 인벤토리를 구축하였다. 미국 EPA(2009)에서는 철도를 포함한 건설산업 전체의 주요 온실가스 배출원을 파악하여 연료효율 증대, 공회전 방지, 노후장비 교체, 바이오 연료 사용 등과 같은 건설장비 개선 및 건설자재 재활용률 증대를 통한 저감방안별 온실가스 감축효과를 제시하고 있다[5]. 프랑스 SNCF(2009)는 기존의 운영단계에서 철도의 수송량 대비 온실가스 배출원단위 저감을 위한 노력을 진행하였으나, 최근에는 건설단계를 통해 철도 전체의 탄소발자국을 줄이기 위해 다양한 활동을 추진하고 있다[6]. 신규노선을 건설하여 TGV를 30년간 운행 시 약 390만 톤 CO₂e가 발생하는 것으로 예측되었으며, 50% 이상의 온실가스가 철도차량 및 역사의 운영단계에서 사용되는 전기에너지에서 배출되었으나 철도건설단계도 약 20% 정도를 차지하고 있는 것으로 산정되었다. 일본 철도건설기관인 JRJT(2009)는 공사를 발주하고 감리하는 입장에서 철도건설공사의 자재 및 에너지 투입량을 토대로 온실가스 배출량을 산정하고, 건설업체에서 보고하는 데이터와 별도로 전반적인 관리를 시행하고 있다[7].

국내에서는 국토해양부의 ‘건설기술진흥 기본계획’에 따라 최근 건설 시설물에 대한 탄소배출량 산정기법이 연구(2010) 되었으나, 구체적인 온실가스 통계시스템 확보 등은 아직까지 실질적으로 부족하며, 게다가 철도건설현장에 적용한 사례는 거의 없는 실정이다[8]. 이에 본 연구에서는 국내 철도건설단계에서의 온실가스 배출량을 평가하기 위하여 대상 노선을 선정하고 주요 배출원인 건설장비를 대상으로 토목, 궤도, 건축, 전철전력 분야에 대한 온실가스 배출량 및 배출원단위를 산정하였다.

2. 철도건설현장의 온실가스 배출량 산정방법론

2.1 주요 온실가스 배출원

철도건설현장의 온실가스 주요 배출원은 사용되는 중장비의 에너지 소비로 화석연료 연소에 의한 직접배출원(direct emission)과 전력사용에 의한 간접배출원(indirect emission)으로 나눌 수 있다[9]. 직접배출원은 이동식 건설장비가 포함되는 이동연소(mobile combustion) 배출원과 고정장비가 포함되는 고정연소(stationary combustion) 배출원으로 다시 분류할 수 있다. 일반적으로 철도건설현장은 대부분 이동연소 배출원으로 트랙터, 트레일러, 지게차, 덤프트럭 등이 포함되며, IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change) 2006 가이드라인 Appendix B의 분류체계에 따라 Table 1과 같이 상세하게 나눌 수 있다[9]. 고정연소는 보일러, 버너, 터빈 등 고정장비로 철도건설현장에서 이동장비에 장착되어 사용하거나, 단독으로 사용하는 고정식 건설기계를 말한다. 간접 온실가스 배출원은 다른 기업에 의해 소유되거나 통제되는 배출원에 의해 발생하는 온실가스로 건설장비 가동을 위해 사용한 전력을 포함한다.

2.2 온실가스 배출량 산정방법

철도건설현장의 직접배출원에 대한 온실가스 배출량을 산정하는 방법은 연료종류별 사용량을 기준으로 계산하는 방법과 건설장비의 특성을 고려한 배출계수를 이용하여 계산하는 방법으로 구분할 수 있다[9]. 그러나 현재까지 건설장비에 대한 배출계수가 종류별로 구체적으로 존재하지 않기 때문에 본 연구에서는 연료종류별 사용량을 기준으로 Table 2와 같은 계산식을 이용하여 직접배출원의 온실가스 배출량을 산정하였다[9].

온실가스 배출량 산정의 주요 활동자료인 건설장비의 연료종류별 소비량은 식(1)과 같이 계산한다. 먼저 ‘건설공사 표준품셈’의 건설기계경비 산출 부분을 바탕으로 건설기계별 주 연료와 시간 당 연료사용량(l/hr)을 파악한다. 다음으로 공종별로 작업에 따른 사용 건설기계 종류 및 해당 건설기계의 시간당 작업량(Q , [m^3/hr])을 조사한다. 시간 당 작업량을 토대로 해당 설비의 단위 작업 당 설비운영시간($1/Q$, [hr/m^3])을 산정하고, 단위 작업 당 설비운영시간과 시간

Table 1 Classification of mobile combustion sources in railroad construction sector

분류기준	증기명	연료종류
비도로 건설 & 광산 장비	굴삭기, 궤도안정기, 노면파쇄기, 덤프트럭, 로우더, 크레인 등	경유
	램머, 침목천공기, 플레이트 콤팩터 등	휘발유
비도로 차량(건설) 장비	ASPHALT FINISHER 등	경유
비도로 차량(건설, 광산, 산림) 장비	트럭 트랙터 및 트레일러 등	경유
비도로 차량(산림) 장비	트레일러 등	경유
비도로 차량(산업) 장비	지게차 등	경유
비도로 차량(상업) 장비	GENERATOR, AIR COMPRESSOR 등	경유
비도로 차량(철도) 장비	모터카 등	경유

Table 2 Calculation equation of GHG emission for direct emission sources in railroad construction sector

온실가스 배출량 = ∑[연료종류별 소비량 × 발열량 × 환산계수 × 온실가스 배출계수]		
Activity Data선별	연료별 사용량	
발열량	액체(MJ/l), 기체(MJ/Nm ³) 연료원별 순발열량 적용 ※ 에너지열량환산기준(에너지기본법 시행규칙 제5조)	
환산계수	1TJ = 10 ⁶ MJ	
배출계수	CO ₂	연료원별 CO ₂ 배출계수(kg CO ₂ /TJ)
	non-CO ₂	연료원별 non-CO ₂ 배출계수(kg CH ₄ /TJ, kg N ₂ O/TJ)
CO ₂ e로 환산	온실가스별 배출량 × GWP(지구온난화지수)	

당 연료사용량을 곱하여 단위 작업 당 연료사용량을 계산한다. 공종별로 필요한 작업과 해당 작업의 총 작업수량을 파악하여 공사 전체에 걸쳐 연료종류별 총 사용량을 산정한다.

$$\text{연료종류별 사용량}[l] = \sum(\text{시간당 연료사용량}[l/\text{hr}] \div \text{시간당 작업량}[m^3/\text{hr}] \times \text{총 작업량}[m^3]) \quad (1)$$

IPCC 2006 가이드라인의 온실가스 배출계수를 적용하기 위해서는 연료사용량을 열량(TJ) 단위로 변환하여야 한다. 고정연소 부문에서 연료원별 사용량을 물리적 단위(kg, l, Nm³)에서 에너지단위(TJ)로 변환하기 위해 발열량을 사용한다. 이때, 발열량은 에너지기본법 시행규칙(제5조 1항)에 반영되어 있는 순발열량을 사용한다(Table 3)[10]. 만약 해당 연료가 에너지기본법의 순발열량 목록에 존재하지 않을 경우, IPCC 2006 가이드라인에서 제시하는 연료원별 순발열량을 사용한다. 사용된 화석연료량과 단위 연료 당 온실가스 배출량을 나타내는 배출계수를 이용하여 온실가스 배출량을 산정한다. 이동연소 배출원의 온실가스 배출계수는 Table 4와 같이 IPCC 2006 가이드라인에서 제시하는 비도로(off-road) 수송의 배출계수를 적용하며, 이때, 휘발유의 경우에는 4행정(4-stroke)으로 가정한다[9]. 또한 고정연소 배출원의 온실가스 배출계수는 IPCC 2006 가이드라인에서 제시하는 건설부문의 연료원별 배출계수를 적용한다(Table 5)[9]. 온실가스 총 배출량을 CO₂량으로 환산하기 위하여 CH₄ 배출량과 N₂O 배출량은 IPCC 2차 보고서에서 발표한 각각의 지구온난화지수(GWP)를 곱하여 식(2)와 같이 CO₂ 환산량(CO₂e)으로 전환한다[11].

$$\text{온실가스 배출량}[kg \text{ CO}_2\text{e}] = \text{CO}_2 \text{ 배출량}[kg \text{ CO}_2\text{e}] + (\text{N}_2\text{O} \text{ 배출량}[kg \text{ N}_2\text{O}] \times \text{N}_2\text{O} \text{ 지구온난화 지수}(310)) / [kg \text{ CO}_2\text{e}/kg \text{ N}_2\text{O}] + (\text{CH}_4 \text{ 배출량}[kg \text{ CH}_4] \times \text{CH}_4 \text{ 지구온난화 지수}(21)) / [kg \text{ CO}_2\text{e}/kg \text{ CH}_4] \quad (2)$$

간접배출원인 전력 구매에 대한 온실가스 배출계수는 첫째, 전력구매처의 발전설비에 사용된 연료사용량과 연료원별 배출계수를 이용하여 전력 생산과정에서 배출된 온실가스 배출량을 계산하고, 연간 총 전력생산량으로 나누어 산

Table 3 Net calories for mobile and stationary combustion sources in construction

Fuel	Unit	net calories	
		kcal	MJ
Diesel	l	8,450	35.4
Gasoline	l	7,400	31.0

Table 4 GHG emission factors for off-road mobile sources and machinery

Fuel sources		GHG emission factors		
		kg CO ₂ /TJ	kg CH ₄ /TJ	kg N ₂ O/TJ
Diesel	Agriculture	74,100	4.15	28.6
	Forestry	74,100	4.15	28.6
	Industry	74,100	4.15	28.6
	Household	74,100	4.15	28.6
Motor Gasoline (4-stroke)	Agriculture	69,300	80	2
	Forestry	69,300	-	-
	Industry	69,300	50	2
	Household	69,300	120	2

Table 5 GHG emission factors for stationary combustion in manufacturing industries and construction

Fuel sources	GHG emission factors		
	kg CO ₂ /TJ	kg CH ₄ /TJ	kg N ₂ O/TJ
Gas/Diesel Oil	74,100	3	0.6
Residual Fuel Oil	77,400	3	0.6
Motor Gasoline	69,300	3	0.6
Other Kerosene	71,900	3	0.6
Liquefied Petroleum Gases	63,100	1	0.1

출된 전력배출계수를 사용할 수 있다. 둘째, 한국전력으로부터 구매된 전력의 경우에는 전력거래소의 전력부문 온실가스 배출계수 개발(2009) 과제에서 발표한 온실가스 배출계수를 적용할 수 있다[12]. 철도건설현장에서의 건설기계에서 사용하는 전력은 한국전력에서 공급받아 사용하는 전력이기 때문에, 식(3)과 같이 해당기계의 전력사용량을 산정하여 전력

Table 6 GHG emission factors of electricity in 2008

GHG Types	CO ₂ (kg CO ₂ /kWh)	CH ₄ (kg CH ₄ /MWh)	N ₂ O (kg N ₂ O/MWh)
GHG emission factor	0.4682	0.0052	0.0026

거래소에서 발표한 2008년도 전력부문 온실가스 배출계수를 적용하여 배출량을 계산한다(Table 6).

$$\text{전력사용 건설기계 온실가스 배출량[kg CO}_2\text{e]} = \text{설비 가동시간[hr]} \times \text{설비용량[kW]} \times \text{온실가스 배출계수[kg CO}_2\text{e/kWh]} \quad (3)$$

3. 사례연구를 통한 온실가스 배출량 평가

3.1 대상선정

본 연구에서는 철도건설현장의 온실가스 배출량을 평가하기 위하여 A 노선 공사구간 중 노반 4개 공구를 큰 경계로 토목, 건축, 궤도, 전철전력(전차선, 송변전, 신호통신) 공사 부문별로 일정구간을 선정하였다. 온실가스 배출량 산정을 위한 활동도 자료로는 실제 현장의 건설장비 사용에 따른 에너지소비량에 대한 데이터를 수집하기 어렵기 때문에 최초 설계자료(1999)인 단가산출서 및 설계내역서를 기반으로 Fig. 1과 같이 인벤토리를 작성하였다. 이를 위해 단가산출서의 산출근거 목록에 따라 코드, 공종명, 수량, 단위, 장비코드 등을 먼저 입력하였고, 장비코드에 따라 중기목록표에서 사용 중기명과 시간당 연료사용량 등을 입력하여 앞서 언급한 산출식에 따라 A 노선의 분야별 온실가스 배출량을 계산하였다.

3.2 온실가스 배출량 평가결과

Table 7은 선정된 구간을 대상으로 A 노선 건설현장의 분야별 온실가스 배출량을 평가하기 위하여 총 배출량 및 공사구간 1m당 배출원단위를 나타낸 것이다. A 노선 대상구간 건설단계에서 발생하는 온실가스 총 배출량은 약 10.7만 톤 CO₂e로 산정되었으며, 토목분야가 전체의 96% 이상을 차지하였다. 토목분야의 주요 온실가스 배출원은 공구별로 다소 차이점이 발생하였으나, 전반적으로 토공작업의 흙 운반 및 적재와 터널공사의 버력 처리에서 사용되는 덤프트럭 및 로우더 장비의 경유 사용이 해당되었다. 궤도분야의 온실가스 배출량은 3.8만톤 CO₂e로 대부분 궤도부설 공사에서 발생하며, 주로 용접공사에 사용되는 장비의 연료소비가 큰 영향을 미쳤다. 전철전력분야는 전차선, 송변전, 신호통신 설

Table 7 GHG emissions and specific GHG emissions with railroad construction sector in A line

Sector	GHG Emission (ton CO ₂ e)	Specific GHG emission (ton CO ₂ e/m)
Civil system	102,981	2.191
Track system	3,794	0.090
Electric system	497	0.008
Building system	165	-
Total	107,437	-

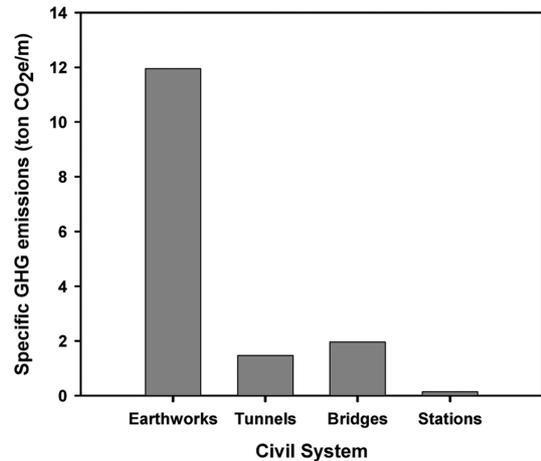


Fig. 2 Specific GHG emissions with construction works in the civil system of A line

비 신설공사에 일부 장비가 사용되나, 토목 및 궤도분야에 비해 매우 미미한 수준이었다. 또한 건축분야도 토목공사, 철골공사, 부대공사 등에서 장비가 사용되나, 대부분이 공사가 인력으로 이루어지기 때문에 온실가스 배출량이 매우 적었다. 공사구간 1m당 온실가스 배출원단위는 배출량이 높은 토목분야가 2.191톤 CO₂e/m로 가장 높게 나타났다. 궤도 및 전철전력분야의 온실가스 배출원단위는 각각 0.090톤 CO₂e/m와 0.008톤 CO₂e/m로 토목분야에 비해 매우 낮았으며, 건설분야는 작업수량이 길이 단위로 표시되지 않아 배출원단위 산정은 제외하였다.

철도건설공사에서 온실가스 배출량 및 배출원단위의 대부분을 차지하는 토목분야를 공사단위별로 좀더 세부적으로 살펴보면, Fig. 2에서 볼 수 있듯이 토공, 교량, 터널, 정거장 순으로 온실가스 배출원단위가 높게 나타났다. 토공의 온실가스 배출원단위는 11.946톤 CO₂e/m로 가장 높은 원인은 마찬가지로 흙을 운반하거나 운반된 흙을 쌓고 다지는 공사에서 많은 중장비와 작업량이 소요되기 때문이다.

코드	공종명	규격	수량	단위	세부공종명 1	세부공종명 2	세부공종명 3	비고	장비코드	사용 중기명	규격	Q (작업량/hr)	1/Q (가동시간/작업량)	주연료사용량 (L/작업량)	연료 종류	연료사용량 (TJ 또는 kWh)	CO ₂ 배출량 (kg)	CH ₄ 배출량 (kg)	N ₂ O 배출량 (kg)	온실가스 총 배출 (kgCO ₂ e)
#.1	터파기	육상토사	1	m3					E02010100	굴삭기(유압식백로우)	1.0 M3	74.0600	0.0135	0.2390	경유	0.00	0.000	0.00000	0.00000	0.000
#.2	뒤메우기	토사	1	m3				1/Q*0.9(기계90%, 인력10%)	E02010100	굴삭기(유압식백로우)	1.0 M3	75.1222	0.0133	0.2356	경유	0.00	0.000	0.0000	0.0000	0.000
#.3	구조물 뒷채	막물	1	m3												0.000	0.000	0.000	0.000	
					막물대(배척운반)			산근#160호 참조	#.160	막물 생산 및 운반비(터널비)	소운반 제외					0.000	0.000	0.000	0.000	
					고르기(볼도우저 19ton)			1/Q*0.5(M3당 정지비 50%)	E01010019	볼도우저(무반궤도)	19 TON	110.1000	0.0091	0.2162	경유	0.00	0.000	0.0000	0.0000	0.000
					램머다짐(램머 80kg)				E16300080	램머	80 KG	4.3800	0.2283	0.1598	휘발유	0.00	0.000	0.0000	0.0000	0.000

Fig. 1 Example of GHG inventory for railroad construction sector in A line

3. 결 론

국내 기후변화대응 정책의 전환과 더불어 온실가스 감축에 대한 보다 강화된 제도가 마련되고 있는 시점에서 수송분야 내 철도의 역할은 점차 확대되고 있는 실정이다. 이와 더불어 도로와 같은 타 수송수단과 비교하여 철도산업의 비교우위를 유지하기 위한 지속적인 노력이 요구되고 있으며, 전기자동차, 연료전지버스 등 신 교통수단의 등장에 따른 미래의 대응전략이 필요하다. 온실가스 배출측면에서 수송수단별 비교 평가는 현재까지 대부분 운행단계의 에너지소비량을 기준으로 이루어지고 있으나, 최근에는 선진국을 중심으로 인프라 건설단계, 차량제작단계, 유지보수단계, 폐기단계 등을 모두 포함한 전과정적인 접근을 추진하고 있다. 본 연구에서는 철도건설단계의 온실가스 배출량을 평가하기 위하여 A 노선 일부 구간의 설계자료를 이용하여 배출량과 배출원단위를 산정하였다. 철도건설의 온실가스는 주로 사용되는 건설장비의 연료소비에 의해 발생하였으며, 특히 토목분야가 전체 온실가스 배출량의 대부분을 차지하였다. 토목분야의 공종별 온실가스 배출원단위는 토공 > 교량 > 터널 > 정거장의 순으로 나타났다. 반면에 건설장비의 사용이 적은 건축 및 전철전력 분야의 온실가스 배출량은 전체의 1% 미만이었다. 결론적으로 철도건설현장은 다수의 건설장비에 의한 에너지 사용에 따라 높은 온실가스 배출량이 발생할 것으로 평가되었다. 또한 본 연구의 시스템 경계에는 포함하지 않았으나, 철도건설 시 사용되는 자재소모도 추가적인 온실가스 배출원으로 고려될 수 있다. 따라서 본 연구를 토대로 향후 자재사용까지 범위를 확장하여 철도건설단계의 온실가스 배출평가뿐만 아니라 운행단계의 데이터와 연계하여 전과정에 걸친 철도의 탄소발자국 산정 연구가 추가적으로 수행되어야 할 것이다.

후 기

본 연구는 한국철도시설공단의 ‘철도건설산업의 온실가스 감축규제 대응방안 연구’ 및 한국건설교통기술평가원의 ‘교통부문 온실가스 저감 및 통합관리 기술개발’ 과제의 연구비 지원으로 수행되었음에 감사 드립니다.

참고문헌

- [1] J.Y. Lee, Y.K. Kim, H.T. Yoon, Y.H. Yang (2005) Evaluation of environmental impacts for the bogie of electric motor unit using simplified life cycle assessment, *Journal of The Korean Society for Railway*, 8(5), pp. 210-215.
- [2] J.Y. Lee, S.W. Kim, H.G. Bin, W.S. Jung (2010) A study on the action plan of railroad industry under GHG & energy target management system in Korea, *2010 Fall Conference of The Korean Society for Railway*, Jeju, Korea, pp.170.
- [3] J.Y. Lee et al. (2010) A study on the calculation method of GHG emission in railroad construction, *2010 Spring Conference of The Korean Society for Railway*, Changwon, Korea, pp. 2353-2355.
- [4] Henning Schwarz (2008) Carbon footprint of high-speed railway infrastructure (pre-study); Methodology and application of high speed railway operation of European railways, UIC, pp. 11-20.
- [5] Peter Truitt (2009) Potential for reducing greenhouse gas emissions in the construction sector, U.S. Environmental Protection agency, pp. 11-25.
- [6] Altern Consult and Inexia (2009) 1st Global Rail Carbon, ADEME, RFF and SNCF, pp. 9-12.
- [7] Japan Railway Construction, Transport and Technology Agency (2009) Environmental report 2009, JRRT, pp. 21-23.
- [8] W.W. Hwang (2010) A Study on assessment method of carbon emission for infrastructure, Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs(MLTM), pp. 210-236.
- [9] Intergovernmental Panel on Climate Change (2006), Guidelines for national greenhouse gas inventories, IPCC, pp. 753-780.
- [10] Ministry of Knowledge Economics (2010) Enforcement regulations of Energy Basic Law: The conversion standard of energy calorie as an attached table.
- [11] Intergovernmental Panel on Climate Change (1995) IPCC second assessment: Climate Change 1995 - The Science of Climate Change, Cambridge University Press, pp. 21.
- [12] Korea Power Exchange (2008) Development of GHG emission factor in a power generation sector, KPX, pp. 35-36.

접수일(2011년 2월 23일), 수정일(2011년 3월 29일),
게재확정일(2011년 4월 15일)