

IPCC 가이드라인을 이용한 국내 철도수송에 따른 온실가스 배출량 산정에 관한 연구

A Study on the Calculation of GHG Emission for Domestic Railroad Transport based on IPCC Guideline

이재영* · 김용기 · 이철규 · 이영호

Jae-Young Lee · Yong-Ki Kim · Cheul-Kyu Lee · Young-Ho Rhee

Abstract Recently, new climate change mechanism after 2020 year has been accepted with the parties, and so government is pushing ahead the GHG reduction policies to achieve the effective results. Especially, it is essential to enhance the role of railroad in the public traffic system as well as to develop new cars with high energy efficiency for the GHG reduction of transportation sector. Thus, the calculation method of GHG emission of railroad should be established to manage the emission continuously. In this study, the calculation method of GHG emission of railroad was defined with Tier level considering its emission sources to refer to 2006 IPCC guideline for national GHG inventories. Also, the GHG emission of railroad at Tier 1 level was investigated using the activity data related to the amount of diesel and electricity consumption from 2008 to 2010. As a result, total GHG emission in 2010 was about 2,060 thousands ton CO₂e, which have 73% of electricity and 27% of diesel. In future, the plans on the GHG reduction of railroad will be accomplished by the analysis of the detailed trends on the basis of the emission management of Tier 3 level under operating patterns. Therefore, it is important to develop the specific GHG emission factors of railroad in advance.

Keywords : Greenhouse gas (GHG), Carbon emission, Climate change, Green railroad

초 록 최근 선진국을 중심으로 2020년 이후의 신 기후변화체제에 대한 합의가 도출되면서 정부의 온실가스 저감정책은 구체적인 성과를 확보하기 위한 방향으로 빠르게 전환되고 있다. 특히 부문별 온실가스 감축목표 할당에 따라 수송부문의 저감방안은 고효율 에너지 소비 차량의 개발도 필요하지만 기존의 대중교통체계에서 저탄소 교통수단인 철도의 역할을 강조하고 있다. 따라서 향후 지속적으로 철도수송에 따른 온실가스 배출량을 관리하기 위해서는 체계적인 산정방법의 정립이 요구된다. 본 연구에서는 국가 온실가스 인벤토리 작성을 위한 2006 IPCC 가이드라인을 토대로 철도수송의 온실가스 배출원에 따라 Tier별 배출량 산정방법을 정의하였다. 또한 최근 3년(2008-2010) 동안의 철도수송에 따른 디젤 및 전력소비량을 기반으로 활동도 자료를 수집하여 Tier 1 수준에서의 온실가스 배출경향을 살펴보았다. 그 결과, 2010년 온실가스 총 배출량은 약 206만톤 CO₂e이었으며, 이 중 전력소비량이 73%를 차지하고, 디젤연료 소비량이 27%를 기여하였다. 향후 철도수송의 온실가스 저감방안을 도출하기 위해서는 다양한 운행패턴 인자를 반영한 Tier 3 수준의 배출량 산정 관리를 토대로 보다 세부적인 배출경향에 대한 파악이 필요하며, 이를 위해서는 무엇보다 배출계수의 개발이 선행되어야 할 것이다.

주요어 : 온실가스, 탄소배출량, 기후변화, 녹색철도

1. 서 론

2005년 발효된 교토의정서의 제1차 의무감축기간 종료가 2012년 말로 다가옴에 따라 현재 선진국을 중심으로 포스트 교토체제에 대한 논의가 활발하게 진행되고 있다. 특히, 2011년 12월 남아공 더반에서 개최된 제17차 기후변화협약 당사국 총회(COP 17)에서는 Annex I 국가가 2012년 이후까지 현재의 교토의정서를 연장하고, 2020년부터는 주요 개

도국을 포함한 모든 당사국이 참여하는 새로운 기후변화체제를 설립하는데 합의하였다[1]. 이는 주요 개도국 중 중국, 인도 등 온실가스(GHG, Greenhouse Gas) 다배출국뿐만 아니라 우리나라에 대한 실질적인 감축의무 부담을 의미한다[1]. 따라서 국내에서도 보다 실효성 있는 온실가스 감축정책을 추진해 나갈 필요가 있다. 정부에서는 2010년 4월 저탄소 녹색성장 기본법 시행에 따라 주요 온실가스 감축정책 중 하나로 대규모 배출원에 대한 관리를 위해 온실가스에너지 목표관리제를 발표하고 같은 해 9월에 460여개의 관리업체를 지정하였다[2]. 철도부문에서는 한국철도공사를 비롯한 6개 운영기관이 포함되어 온실가스 배출량 명세서 및 감축목표 이행계획서를 작성하여 제출하였다. 또한 2020년까

*Corresponding author

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

©The Korean Society for Railway 2012

http://dx.doi.org/10.7782/JKSR.2012.15.4.408

Table 1 A plan of GHG reduction target with a sector based on BAU in 2020(Unit: %)

Industry	Conversion	Transport	Building	Agriculture, forestry and fishery	Waste	Others	Total
18.2	26.7	34.3	26.9	5.2	12.3	25	30

지 국가 온실가스 중기 감축목표(배출전망치 대비 30%)를 달성하기 위하여 2011년 6월에는 Table 1에서 볼 수 있듯이 산업, 전환, 건물, 교통, 농축산 등 부문 및 부문 내 세부 업종별로 구체화한 감축목표(안)를 제시하였다[3]. 이에 따르면, 수송부문은 2020년까지 배출전망치(BAU, Business As Usual) 대비 34.3%를 감축해야 하며, 주요 이행수단으로는 그린카, 자동차 연비 개선, 고속철도 및 광역교통체계 확대 등의 녹색 교통정책이 포함되어 있다[3]. 일반적으로 철도는 승객 및 화물수송에 의한 온실가스 총 배출량이 전력 사용량을 포함하더라도 전체 수송부문의 약 1~2% 내외 수준을 차지하고 있으며, 타 교통수단에 비해 낮은 배출원단위로 인해 수송수요 전환 등에 있어 중요한 온실가스 감축 수단으로 역할을 기대하고 있다[2-6]. 따라서 수송부문의 온실가스 저감정책 추진에 따른 효과를 평가하기 위해서는 정확한 온실가스 배출량 산정이 중요하며, 방법론에 대한 체계적인 정립이 요구된다. 또한 철도노선의 지속적인 확충에 따른 시장변화를 고려하여 철도수송에 따른 온실가스 배출 현황을 모니터링하고 관리하기 위해서도 배출량 산정방법에 대한 정의가 필요하다. 이에 본 연구에서는 철도수송에 따른 온실가스 배출량 산정방법을 정립하기 위해 먼저 IPCC(기후변화에 대한 정부간 패널, Intergovernmental Panel on Climate Change)에서 발표한 국가 온실가스 인벤토리 작성을 위한 2006 가이드라인을 토대로 배출원을 분류하고 Tier 수준별로 방법론을 분석하였다. 또한, 이를 기반으로 2008년부터 2010년까지 최근 3년 동안의 국내 철도수송에 따른 활동도 자료를 수집하여 Tier 1 수준에서의 온실가스 배출량을 계산하고, 전체적인 경향을 살펴보았다.

2. 철도수송에 따른 온실가스 배출량 산정방법

2.1 배출원

철도수송에 의한 온실가스 주요 배출원은 Table 2에 볼 수

Table 2 GHG emission sources for railroad transport [2]

Emission Sources		Details
Direct Emission (Scope 1)	Mobile Combustion	Diesel-powered railcar for passenger transport
		Diesel-powered railcar for freight transport
		Diesel-powered railcar for maintenance
Indirect Emission (Scope 2)	Electricity	Electric-powered railcar for passenger transport
		Electric-powered railcar for freight transport

있듯이 철도차량에 공급되는 에너지원에 따라 디젤연료에 의한 직접배출원(direct emission)과 전력에 의한 간접배출원(indirect emission)으로 크게 분류된다[2]. 직접배출원에는 디젤기관차, 디젤동차, 특수장비차 등이 포함되며, 간접배출원에는 KTX, KTX II, 전기기관차, 전동차 등이 있다.

2.2 방법론

전반적으로 철도수송에 따른 온실가스 직접 배출원인 디젤연료 소비에 의한 배출량 산정방식은 국가 온실가스 인벤토리 작성을 위한 2006 IPCC 가이드라인에 의거하여 Tier 1, 2, 3로 분류하고 있다[7]. Tier 1에 관한 배출량은 Table 3과 같은 식을 토대로 Table 4의 연료 특정(fuel-specific) 기본 배출계수를 사용하여 산정한다. 반면에 Tier 2는 CO₂의 경우에 연료의 탄소 함량에 대한 국가 특정(country-specific) 자료를 이용하여 Table 5에 제시된 식을 사용하고, CH₄와 N₂O의 경우에는 기관차 종류별로 세부적으로 분류된 국가 특정 배출계수를 적용하여 배출량을 산정한다.

Table 3 Tier 1 method for GHG emission from locomotive [7]

GHG	Tier 1
CO ₂	$Emission = \sum_j (Fuel_j \times EF_j)$
	Emission= CO ₂ Emission(kg) Fuel _j = fuel consumed(as represented by fuel sold)(TJ) EF _j = emission factor(kg/TJ), using IPCC factor j= fuel type(diesel)
CH ₄ , N ₂ O	$Emission = \sum_j (Fuel_j \times EF_j)$
	Emission= CH ₄ or N ₂ O emission(kg) Fuel _j = fuel consumed(as represented by fuel sold)(TJ) EF _j = emission factor(kg/TJ), using IPCC factor j= fuel type(diesel)

Table 4 Default emission factors for diesel used for rail transport [7]

GHG(unit : kg/TJ)	Default	Lower	Upper
CO ₂	74,100	72,600	74,800
CH ₄	4.15	1.67	10.4
N ₂ O	28.6	14.3	85.8

Tier 3 방법은 부하량에 따라 배출계수가 좌우되어 배출량에 영향을 미칠 수 있는 엔진과 기차의 각 종류별 사용에 대해 보다 세부적인 모델링 식을 적용하며, Table 6은 비도로(off-road) 배출량 산정을 위한 US EPA 방법에 기초한

Table 5 Tier 2 method for GHG emission from locomotive [7]

GHG	Tier 2
CO ₂	$Emission = \sum_j (Fuel_j \times EF_j)$
	<i>Emission</i> = CO ₂ Emission(kg) <i>Fuel_j</i> = fuel consumed(as represented by fuel sold)(TJ) <i>EF_j</i> =emission factor(kg/TJ), using country-specific factor <i>j</i> = fuel type(diesel)
CH ₄ , N ₂ O	$Emission = \sum_j (Fuel_j \times EF_j)$
	<i>Emission</i> = CH ₄ or N ₂ O emission(kg) <i>Fuel_j</i> = fuel consumed(as represented by fuel sold) by locomotive type <i>j</i> (TJ) <i>EF_j</i> = emission factor for locomotive type <i>j</i> (kg/TJ) <i>j</i> = locomotive type

Table 6 Tier 3 method example for GHG emission from locomotive [7]

GHG	Tier 3
CO ₂	-
CH ₄ , N ₂ O	$Emission = i \sum (N_i \times H_i \times P_i \times LF_i \times EF_i)$
	<i>Emission</i> = CH ₄ or N ₂ O emission(kg) <i>N_i</i> = number of locomotive of type <i>i</i> <i>H_i</i> = annual hours of use of locomotive <i>i</i> (h) <i>P_i</i> = average rated power of locomotive <i>i</i> (kW) <i>LF_i</i> = typical load factor of locomotive <i>i</i> (fraction between 0 and 1) <i>EF_i</i> = average emission factor for use in locomotive <i>i</i> (kg/kWh) <i>i</i> = locomotive type and journey type ※ an example of a more detailed methodology

Table 7 GHG emission factors of electricity in 2008 [8]

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

예이다. 현재 국내에서는 대부분 Tier 1 수준의 방법론을 이용하여 Table 4와 같이 IPCC에서 제시한 배출계수를 토대로 온실가스 배출량을 산정하고 있으며, Tier 2 및 Tier 3 수준은 각각의 배출계수를 개발하기 위한 연구가 선행되고 있

다. 또한, 간접배출원인 전력사용에 따른 온실가스 배출량은 Table 7과 같이 한국전력거래소에서 발표하는 전력배출계수를 토대로 철도차량의 운행에 따라 발생하는 전력소비량과 곱하여 산정한다[8].

Tier 1 방법을 이용하여 온실가스 배출량을 산정하기 위해서는 배출원별 디젤연료 소비량에 대한 활동도 자료가 요구된다. 디젤연료 소비량은 국가 수준에서 관리하고 있는 석유류 수급통계와 한국철도공사를 비롯한 총 11개 철도운영기관이 수합하는 통계의 2종류가 있다. 전력소비량은 철도운영기관별로 관리하고 있으며, 국가 온실가스 인벤토리 작성에는 포함되지 않고 있다. 석유류 수급통계는 한국석유공사가 국내 모든 정유사, 석유류 수출입사 및 석유류 유통업체로부터 석유류 판매량을 수집하여 작성한 통계로 철도수송에 따른 디젤연료 소비량은 국내 철도운영기관으로 1년 동안 총 판매한 양을 활동도 자료로 집계한다. 이와 같이 판매량을 기준으로 하기 때문에 철도운영기관이 차량에서 실제 사용한 디젤연료 소비량과 차이가 발생하게 된다.

결국 철도수송에 따른 정확한 연간 온실가스 배출량을 산정하기 위한 활동도 자료로 석유류 수급통계를 이용하기에는 한계가 있다. 반면에 각 철도운영기관으로부터 수집한 활동도 자료는 데이터 관리현황에 따라 중복 산정, 누락 등의 문제점이 발생하여 불확도가 높아질 수 있는 특성을 고려해야 한다. 따라서 활동도 자료는 생략되거나 중복 산정이 되지 않도록 주의해야 하며, 통계조사의 질에 따라 불확도를 평가하여 제시해야 할 것이다.

3. 국내 철도수송에 따른 온실가스 배출량

3.1 활동도 자료

본 연구에서는 한국철도공사를 비롯한 11개 철도운영기관의 협조를 통해 승객 및 화물수송에 따른 철도차량의 디젤연료 및 전력 소비량에 대한 활동도 자료를 Table 8과 같이 2008년부터 2010년까지 최근 3개년에 걸쳐 수집하였다. 또한 디젤연료의 경우에 국내 석유류 수급통계자료와 비교를 위해 한국석유공사의 철도부문 판매량을 해당 년도에 따라 정리하였다. 그 결과, 3년 동안 철도차량의 전력소비량은 꾸준히 증가하고 있는 반면에 디젤연료 소비량은 매년 감소하는 경향을 나타내었으며, 석유류 수급통계가 운영기관 통계보다 높은 수치를 보였다. 이와 같은 차이는 결국 석유류 수급통계가 앞서 언급하였듯이 판매량을 집계하기 때문에 철도차량 운행 및 유지보수 시 급유한 디젤연료량과 재고량을 모두 포함하고 있는 기본적인 통계의 특성에서 발생한다.

Table 8 Activity data with emission sources for railroad transport in Korea

Emission Source		2008	2009	2010
Diesel(L)	Statistics collected from railroad operating company	244,374,566	217,367,673	193,728,119
	Statistics of domestic oil supply and demand	250,585,300	221,824,000	215,309,500
Electricity(MWh)		3,051,164	3,067,795	3,192,640

3.2 배출현황

최근 3년 동안 수집한 활동도 자료를 토대로 국내 철도수송에 따른 온실가스 배출현황을 살펴보기 위하여 디젤연료는 Table 3의 Tier 1 방법론을 이용하여 CO₂, N₂O, CH₄ 각각의 배출량을 산정하고, 전력은 Table 7의 2008년도 발표된 배출계수를 적용하였다. 온실가스 총 배출량은 IPCC 2차 보고서에서 발표한 N₂O 및 CH₄의 지구온난화지수(GWP)를 곱하여 식(1)와 같이 CO₂ 환산량(CO₂e)으로 전환하여 계산하였다.

$$\begin{aligned} \text{온실가스 배출량}[\text{kg CO}_2\text{e}] = & \\ & \text{CO}_2 \text{ 배출량}[\text{kg CO}_2\text{e}] + \text{CH}_4 \text{ 배출량}[\text{kgCH}_4] \\ & \times \text{CH}_4 \text{ 지구온난화 지수}(21) [\text{kg CO}_2\text{e/kgCH}_4] \quad (1) \\ & + \text{N}_2\text{O} \text{ 배출량}[\text{kg N}_2\text{O}] \times \text{N}_2\text{O} \text{ 지구온난화 지수}(310) \\ & [\text{kg CO}_2\text{e/kgN}_2\text{O}] \end{aligned}$$

먼저 Fig. 1은 디젤연료 소비에 따른 온실가스 총 배출량을 2종류의 활동도 자료를 이용하여 각각 산정한 결과를 나타낸 것이다. 철도운영기관통계를 기반으로 2010년 디젤연료 소비에 따른 온실가스 총 배출량은 약 57만톤 CO₂e로 2008년 대비 21% 감소한 추세였다. 주요 배출원은 철도의 승객 및 화물 수송에 따른 디젤연료의 소비였으며, 도시철도운영기관에서 유지보수 시 배출하는 온실가스 총량은 0.2% 이하 수준으로 나타났다. 국내 석유류 수급통계에 의한 온실가스 총 배출량은 2010년 약 63만톤 CO₂e이었으며, 역시 마찬가지로 2008년 대비 14% 감소하였다. 또한, 석유류 수급통계가 철도운영기관통계보다 온실가스 배출량이 높게 산정되었으며, 2010년에는 10% 정도의 차이를 나타냈다.

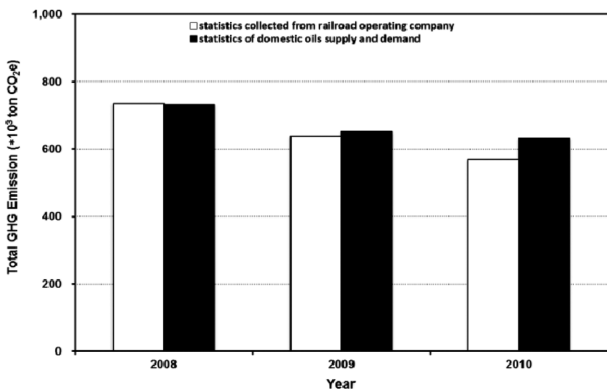


Fig. 1 Total GHG emission with the source of activity data for diesel consumption from railroad

Fig. 2와 3은 디젤연료 및 전력소비에 따른 철도수송의 총 에너지소비량 및 온실가스 총 배출량 산정 결과를 각각 나타낸 것이다. 디젤연료의 활동도 자료는 철도운영기관 통계를 사용하여 실제 철도수송에 따른 에너지소비량 및 온실가스 배출량을 산정하였다. 에너지소비량은 에너지기본법 시행규칙 제5조에 따라 에너지원별 발열량을 기준으로 TOE(Ton

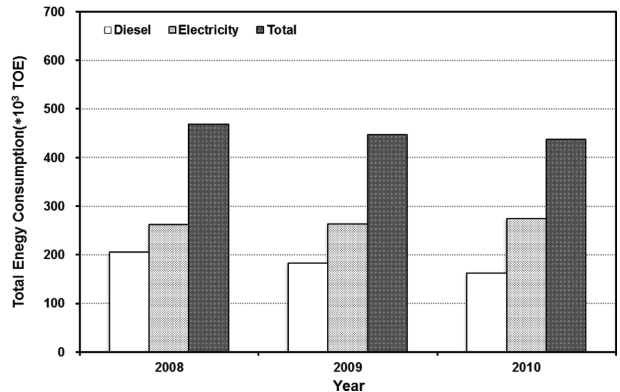


Fig. 2 Total energy consumption for railroad transport

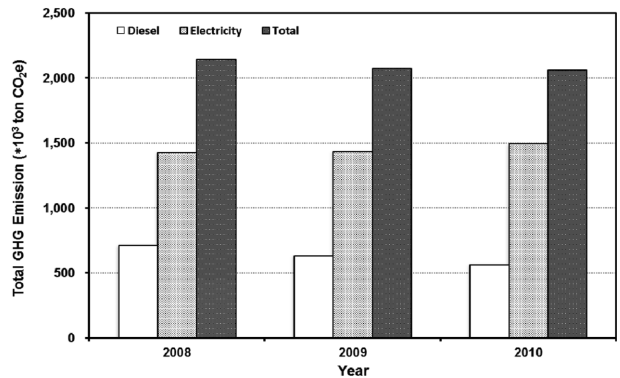


Fig. 3 Total GHG emission for railroad transport

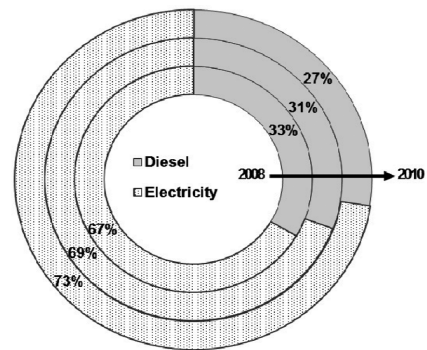


Fig. 4 Ratio of GHG emission with diesel and electricity consumption

of Oil Equivalent, 석유환산톤)로 환산하였다. 2010년 국내 철도수송에 따른 총 에너지소비량은 약 44만 TOE 이었고, 온실가스 총 배출량은 약 206만톤 CO₂e였다. 이는 2008년 대비 총 에너지소비량은 6%, 온실가스 총 배출량은 4% 정도 감소하였다. 주된 원인은 한국철도공사에서 디젤연료에 의한 철도차량의 운영을 매년 지속적으로 축소하고 있기 때문이다.

온실가스 배출원에 따라 배출량 비율을 비교해 본 결과, Fig. 4에서 볼 수 있듯이 2010년 전력소비량이 73%를 차지하고, 디젤연료 소비량이 27%를 기여하였다. 2008년부터

2010년까지 디젤연료 소비에 따른 온실가스 총 배출량은 꾸준히 감소하였으며, 전력소비량은 공항철도, 9호선, 분당선 등 신 노선 추가, 전기차량(KTX II, 누리로 등) 운행 확대 등에 따라 증가하였다.

3. 결 론

포스트 교통체제에 대한 세계 각국의 움직임이 가시화되면서 정부의 기후변화정책도 산업 전반에 걸쳐 구체적으로 다양하게 추진되고 있다. 온실가스에너지 목표관리제의 관리업체로 6개의 철도운영기관이 포함되면서 온실가스 배출량 산정뿐만 아니라 감축목표를 이행하기 위한 계획을 수립하고 있는 현 상황에서 철도수송에 따른 배출량을 정량화하기 위한 체계적인 방법론을 정립하는 것은 매우 중요하다. 일반적으로 국내의 철도수송에 따른 온실가스 배출원은 디젤 및 전력소비량으로 분류할 수 있으며, 디젤연료 소비량에 대한 온실가스 배출량은 2006 IPCC 가이드라인에 따라 Tier 2 및 3 수준의 온실가스 배출계수가 존재하지 않기 때문에 디젤연료 소비량은 Tier 1 수준에서 2006 IPCC 가이드라인의 배출계수를 이용하여 온실가스 배출량을 산정하고 있으며, 전력소비량은 한국전력거래소에서 매년 발표하는 전력배출계수를 이용하고 있다.

디젤연료 소비량에 대한 활동도 자료는 국내석유류수급통계와 철도운영기관통계로 2종류가 집계되고, 통계의 수집방식에 따라 10% 내외의 차이가 발생하고 있다. 반면에 전력소비량에 대한 활동도 자료는 철도운영기관통계만 보유한 상태로 간접배출원으로 분류하고 있다. 결론적으로 본 연구에서 살펴본 온실가스 배출량 산정방법론과 2008년부터 2010년까지 수집한 활동도 자료를 토대로 철도수송에 따른 총 배출량을 산정한 결과, 2010년 약 206만톤 CO₂e로 전기차량의 운행에 의한 영향이 급증한 반면에 디젤차량의 운행이 감소하여 전체적으로 2008년 대비 4% 저감하는 경향을 나타내었다. 향후 철도수송에 따른 온실가스 저감방안을 수립하기 위해서는 Tier 2 및 3 수준의 배출계수 개발이 필요하며, 활동도 자료에 대한 불확도 평가를 통해 통계관리를 효과적으로 진행해 나가야 할 것이다.

후 기

본 연구는 한국건설교통기술평가원의 ‘철도부문 온실가스 통합관리 기술개발’ 과제의 연구비 지원으로 수행되었음에 감사 드립니다.

참고문헌

- [1] H.S. Jang (2012) Results and implications of Durban climate change conference(COP 17), Trade Focus, Institute for International Trade, 10(61), pp. 1-20.
- [2] J.Y. Lee, et al.(2010) Development of core technology for the establishment of environmental-friendly railroad system (4th year), KORAIL & KRRI, pp. 30-41.
- [3] J.Y. Lee, Y.H. Rhee, Y.K. Kim, W.S. Jung, H.M. Kim (2011) Comparison of GHG emission with activity data in Korean railroad sector potential for reducing greenhouse gas emissions in the construction sector, *2011 Fall Conference of The Korean Society for Railway*, Jeju, Korea.
- [4] 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.271-275.
- [5] H. Dalkmann, C. James, D. Palmer, M. Sagevik (2010) Keeping climate change solutions on track: The role of rail, UIC, pp. 14-17.
- [6] O. Krohn, M. Ledbury, H. Schwarz (2009) Railways and the environment: Building on the railways' environmental strengths, CER, pp. 24-31.
- [7] Intergovernmental Panel on Climate Change (2006) Guidelines for national greenhouse gas inventories, IPCC, pp. 3.39-3.47.
- [8] Korea Power Exchange (2008) Development of GHG emission factor in a power generation sector, KPX, pp. 35-36.

접수일(2012년 1월 17일), 수정일(2012년 4월 20일),
게재확정일(2012년 7월 17일)

Jae-Young Lee : iyoung@krri.re.kr

Eco-Transport Systems Research Division, Korea Railroad Research Institute, 176, Railroad museum road, Uiwang-si, Gyeonggi-do, 437-757, Korea

Young-Ki Kim : ykkim@krri.re.kr

Convergence Technology Research Team, Korea Railroad Research Institute, 176, Railroad museum road, Uiwang-si, Gyeonggi-do, 437-757, Korea

Cheul-Kyu Lee : cheul@krri.re.kr

Convergence Technology Research Team, Korea Railroad Research Institute, 176, Railroad museum road, Uiwang-si, Gyeonggi-do, 437-757, Korea

Young-Ho Rhee : yhrhee@krri.re.kr

Convergence Technology Research Team, Korea Railroad Research Institute, 176, Railroad museum road, Uiwang-si, Gyeonggi-do, 437-757, Korea