철도와 도로 수송부문의 에너지 소비 및 온실가스 배출 원단위 분석

An Analysis of Energy Consumption and GHG Emission per Unit of Rail and Road Transportation

김병관 · 이진선* · 김현구 · 이재영

Byung-Kwan Kim · Jin-Sun Lee · Hyoun-Ku Kim · Jae-Young Lee

Abstract In general, the rail transportation recognized as a better transportation mode than road transportation in terms of the environment. However, due to a lack of quantitative analysis based on Korean data, foreign cases for environmental advantages of the railway have often been cited in Korea. To address this issue, we estimated the energy consumption of passenger and freight transportation using certified activity data from Korea Railroad Statistics and the Electrical Work Report for railway and the Energy Consumption Survey for road. We estimated the Green House Gas emission of passenger and freight transportation on a Tier 1 level by applying the IPCC 2006 Guideline. Finally, we calculated the energy consumption unit and GHG emission unit to determine the environmental impact of rail and road transportation. We also compared the analyzed results of high-speed rail and auto as typical means of rail and road transportation.

Keywords : Energy Consumption Unit, GHG Emission Unit, Rail Transportation, Road Transportation

초 록 일반적으로 철도는 환경적 측면에서 대단히 우수한 수단이며 도로보다 환경적으로 우위성을 갖고 있다고 인식되어왔다. 하지만 아직 우리나라에서는 철도의 환경적 우위성에 대하여 대부분 외국 사례를 인용하여 온 것이 대부분이며 우리의 자료를 바탕으로 정량적으로 분석한 연구가 부족한 것이 현실이다. 이에 본 연구에서는 철도는 철도통계연보와 한국철도공사의 전기업무자료를, 도로는 에너지 총조사보고서를 활동도 자료로 이용하여 여객과 화물의 에너지 소비량을 산정하고 IPCC 2006 가이드라인을 적용하여 Tier1 수준의 온실가스 배출량을 산정하였다. 최종적으로 환경적 영향을 파악하기 위한 차종별로 여객과 화물의 에너지 소비 및 온실가스 배출 원단위를 산정하여 보았다. 또한 철도와 도로 여객수송의 대표적인 수단으로 고속철도와 승용차의 산정결과를 비교하여 보았다.

주요어 : 에너지 소비 원단위, 온실가스 배출 원단위, 철도수송, 도로수송

1. 서 론

1.1 연구의 개요

철도는 대량으로 여객과 화물을 수송하는 수단으로 도로에 비하여 환경적 측면에서 우위성을 갖고 있다고 인식되어 왔지만 지금까지 철도의 환경적 우위성에 대한 근거 자료는 거의 외국의 사례를 인용해 왔다고 할 수 있다. 이에 본 연구는 철도와 도로의 에너지소비 및 온실가스배출 측면에서의 환경에 대한 영향을 우리의 자료를 기반으로 정량적으로 분석해보고자 한다.

이에 본 연구에서는 철도와 도로수송에서 차종별로 여객과 화물의 에너지 소비량과 온실가스 배출량을 산정하고 환경적 영향분석의 기초가 되는 원단위를 산정하고 비교해 보았다. 에너지 소비량을 산정하기 위한 활동도 자료로서 철

도는 직접배출원(디젤) 자료로 철도통계연보[1]와 간접배출원(전력) 자료로 한국철도공사의 전기업무자료[2]를 이용하였고 도로는 3년 단위로 발간되는 에너지총조사보고서[3]를 이용하였다. 산정된 에너지 소비량을 기반으로 IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change) 2006 가이드라인[4]의 Tier1 수준에서 온실가스 배출량을 산정하였다. 최종적으로 수송실적 자료를 이용하여 에너지소비 및 온실가스 배출 원단위를 산정하고 그 결과를 비교하여 보았다.

1.2 연구 수행 과정 및 기초 자료

본 연구에서는 철도와 도로의 환경적 측면에서 우위성을 비교하기 위하여 철도와 도로수송에 따른 온실가스 배출 및 에너지 소비 원단위를 산정하였다. 분석 년도는 2010년으로 선정하였는데 이는 도로의 경우 가장 최근의 자료로 이용 가능한 공인된 활동도 자료가 3년 단위로 발간되는 2011년 에너지총조사보고서(2010년 통계)이기 때문이다. 도로와 철도의 에너지 소비 및 온실가스 배출량을 산정하기 위해서는 각 수단별 활동자료와 배출계수가 필요하며 이에 대한 자료 출처 및 설명은 Table 1과 같다.

*Corresponding author.

Tel.: +82-42-630-9192, E-mail : jinsun@wsu.ac.kr

©The Korean Society for Railway 2014

<http://dx.doi.org/10.7782/JKSR.2014.17.3.216>

Table 1 The Description and sources of the basic statistics

Data		Data	Contents
Energy consumption	Road	2011 Energy consumption survey	Energy consumption of transportation business & private car
	Rail	2011 statistical yearbook of railroad 2011 KORAIL electric work data	Performance of locomotive operation by train kinds
Travel distance (passenger · km, Ton · km)	Bus	2011 Statistical yearbook of MLTM (business) 2011 Energy consumption survey (private)	In the case of private bus, using energy consumption survey data Travel distance(person·km) = Average fuel efficiency(km/l) ×Fuel consumption(l)×Average occupancy(person/veh.)
	Auto	2011 Energy consumption survey	Travel distance(person·km) = Average fuel efficiency(km/l) ×Fuel consumption(l)×Average occupancy(person/veh.)
	Taxi	2011 Statistical yearbook of MLTM	Annual passenger and freight traffic by mode
	Motorcycle	2011 Statistical yearbook of MLTM	Annual passenger and freight traffic by mode
	Truck	Regional freight OD update (KTDB)	Korea transport database
	Rail	2011 Statistical yearbook of railroad	Passenger and freight traffic data
Emission factors by fuel		2006 IPCC guidelines for national GHG inventories	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O
Energy conversion factors		Enforcement regulations of energy fundamental law	Applying net calorific value

Fig. 1 The process of this study

철도수송 부분은 도시철도를 제외한 한국철도공사가 운영하고 있는 고속철도, 일반철도, 광역철도의 지역간 철도를 대상으로 하였고 전체적인 연구 수행과정은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

2. 관련 연구 고찰 및 분석 방법론

2.1 관련 연구 고찰

철도와 도로수송의 차종별 여객과 화물의 에너지 소비량과 온실가스 배출량 그리고 그 원단위를 산정하기 위하여 가장 중요한 것이 통계자료라 할 수 있고 이와 관련하여 국가 온실가스 통계체계가 매우 중요하다. UN 산하의 UNFCC (United Nations Framework Convention on Climate Change)에서는 IPCC의 지침에 따라 국가 온실가스 배출 및 흡수량을 산정하게 하고 있으며 모든 당사국이 온실가스 배출과 흡수에 관하여 국가통계를 갖추고 그 결과를 정기적으로 작성·공포하고 총회에 통보할 것을 의무화하고 있다. 기후변화협

약에 따라 IPCC에서 작성 및 제공되는 IPCC의 지침은 국가별 온실가스 배출량 산정에 사용되고 있는 지침으로 2006년 개정되었다. IPCC 지침의 수송부문의 온실가스 배출량 산정방법은 하향식(Top-down) 방식인 연료소비량을 기반으로 한 Tier1, Tier2 방식과 상향식(Bottom-up) 방식인 실제 시공간적인 활동을 기초한 방식인 Tier3로 구분된다. Tier3 수준의 분석으로 갈수록 좀 더 상세한 온실가스 배출량을 산정할 수 있으나 현재 의무감축국이 아닌 대한민국은 이러한 분석을 시행할 신뢰할 수 있는 국가 통계자료가 미흡한 현실이다. 하지만 이를 구축하기 위한 다양한 노력이 진행 중이며 본 연구는 이러한 기초자료의 한계를 고려하여 현재 국내 통계구축 수준에 맞는 Tier1 수준에서 분석을 수행하게 되었다.

수송부문의 도로, 철도, 항공, 선박부문의 구분되며 IPCC 지침은 부문별로 온실가스 배출량을 산정하도록 하고 있다. 이중 도로부문의 경우 차종별 연료소비량을 중요한 요소로 간주하고 있으며 지식경제부에서 3년마다 에너지총조사보고서를 발간하고 있고 이를 기초로 온실가스 배출량을 산정할 수 있다. 철도부문의 경우 에너지총조사보고서에서는 총량적인 에너지소비량만을 제시하고 있어 보다 고속철도, 일반철도, 여객, 화물 등 세부적인 분석을 위해서는 철도통계연보를 활용하여 온실가스 배출량을 산정할 수 있다.

도로와 철도의 수송부문의 국가 온실가스배출과 관련한 기존연구를 살펴보면 조준행(2008)은 수송부문의 온실가스 배출 통계를 산정하고 정책 분석을 용이하게 하기 위한 조사·분석 체계를 제시하기 위하여 국내 온실가스 통계체계 현황을 조사하고 통계구축 및 관리 방안을 제시하였다[5].

이현주(2011)는 수송부문 온실가스 배출량 산정에 대하여 정확성을 제고하기 위하여 활동도 자료인 기존 통계자료의

Table 2 Global GHG emission units by transportation modes

Source	Passenger(gCO ₂ /passenger · km)				Freight(gCO ₂ /ton · km)			
	Rail	Auto	Bus	Air	Rail	Truck	Air	Shipping
UIC(2011)	17(High-Speed)	115	30	153	8.6	67		34
JR East(2011)	18	165	48	110				
DB(2008)	48	176	85	189	24	158	671	34
SBB(2009)	8	194		197	13			

Source: UIC[10], JR East[11], DB[12], SBB[13]

문제점과 개선방안을 검토하였고 고유 배출계수의 개발 및 기존의 에너지 관련 새로운 통계 개발이 필요를 언급하였다[6].

국토해양부(2011)는 국가 교통부문 온실가스 배출량 보고서[7]의 내용을 기반으로 교통분야의 에너지 소비, 온실가스 배출량의 현황을 분석하고 지속가능 교통물류정책의 제도적 기반 조성방안 및 재원 조달방안을 모색하였다[8]. 여기서는 여객과 화물로 구분하여 교통수단에 대한 총괄적인 온실가스 배출량 및 원단위를 산정하였지만 도로와 철도의 차종별 세부적인 분석은 수행하지 않았고 철도의 경우 전기 에너지에 의한 간접 배출량은 제외하고 분석하였다.

이재영(2012)은 IPCC 가이드라인을 토대로 철도수송의 온실가스 배출원에 따라 수준별(Tier 1, 2, 3) 배출량 산정방법을 정리하고 최근 3년(2008-2010) 동안의 철도수송만을 대상으로 디젤 및 전력소비량을 기반으로 활동도 자료를 수집하여 Tier1 수준에서의 온실가스 배출경향을 분석하였다[9]. 여기서는 본 연구와 같이 철도와 도로수송의 비교 분석 및 여객과 화물의 차종·열차종별 에너지소비와 온실가스배출 원단위 분석은 수행하지 않았다.

지금까지 국내의 관련 연구를 살펴보면 철도와 도로수송의 여객과 화물의 차종별 온실가스배출 원단위의 비교 분석 연구는 전무하다 할 수 있고 이와 관련한 원단위를 언급할 때 대부분 외국의 연구결과를 인용해오고 있는 실정이다. 최근 해외철도 운영기관이 온실가스배출 원단위를 제시한 사례를 살펴보면 Table 2와 같고 UIC 자료는 유럽의 평균치를 나타내고 있다. 에너지소비 원단위의 해외사례의 경우, 각 운영기관의 제한적인 데이터 공개로 해당 자료에 대한 확보가 어렵다 할 수 있다. 향후 해외 교통수단별 에너지소비 원단위에 대한 추가적인 자료 조사 및 연구를 통해 관련 데이터를 확보하여 국내 현황과 비교할 필요가 있다.

2.2 분석 방법론

2.2.1 에너지 소비량 산정 방법

도로수송의 활동도 자료로 이용된 에너지총조사보고서는 택시, 버스, 트럭, 승용차, 승합차, 이륜차, 화물차별로 운수업 연료사용량과 자가용 연료사용량을 제시하고 있다. 본 연구에서는 버스, 승용차, 택시, 이륜자동차의 연료사용량은 여객부문으로 배분하고 트럭과 화물차의 에너지 소비량은 화물부문으로 배분하였다.

철도수송의 활동도 자료로 이용된 철도통계연보는 디젤기

관차와 디젤동차에 대하여 운전용(여객, 화물, 기타) 및 유전용 연료사용량을 제시하고 전기업무차로는 전철전력사용량을 제시하고 있다. 철도수송의 통계자료는 도로수송의 경우 보다 여객과 화물이 완벽하게 구분되지 않아 배분과정이 좀 더 복잡하다 할 수 있다. 운전용 연료사용량의 기타 사용량(입환, 보기, 피제어 등)과 유전용 연료 사용량의 경우 여객과 화물부문이 불분명하여 디젤기관차는 여객과 화물의 환산차량키로의 비율로 배분하였고 디젤동차는 여객수송용으로만 운용되기에 모두 여객부문에 배분하였다.

전력사용량을 여객과 화물로 배분하기 위해서는 우선 전기를 동력으로 사용하는 고속철도, 수도권전동차, 전기기관차, 전기동차의 차종별로 배분하여야 한다. 전력사용량은 차량의 중량과 운전시간에 영향을 많이 받을 것이며 이러한 이유로 중량과 관련한 환산차량키로, 운전시간, 주변압기용량에 비례한다는 가정하에 아래와 같은 수식 (1)을 이용하여 배분하였다.

$$\text{차종 (i)의 전력소비량 할당비} = \frac{v_i \times h_i \times k_i}{\sum_i v_i \times h_i \times k_i} \quad (1)$$

여기서, v_i = 차종 i 의 주변압기용량(kVA); h_i = i 의 운전시간(hour); k_i = 차종 i 의 환산차량키로(car-km); i = 전기차량 차종(KTX, 수도권전동차, 전기기관차, 전기동차)이다.

다시 전기기관차의 전력사용량은 전기기관차의 여객과 화물의 환산차량키로의 비율로 여객과 화물로 배분되며 고속철도, 수도권전동차, 전기동차의 전력사용량은 여객으로만 배

Fig. 2 The process of energy usage allocation

Table 3 The allocation of electric train power usage in 2010

Electric train	Model	v_i (kVA)	h_i (hour)	$v_i \cdot h_i$	k_i (car-km)	Composition(%)
High-speed railway	KTX	14,600	161,577	2,359,016,900	454,113,712	37.49%
	KTX-II	12,400	16,613	206,001,200		
	Subtotal		178,190	2,565,018,100		
Metropolitan subway	10 Car rain	1,716	609,431	1,045,490,584	365,518,656	45.75%
	8 Car rain	1,716	95,860	164,449,671		
	6 Car rain	1,716	123,455	211,789,423		
	Subtotal		828,746	3,888,949,939		
Electric locomotive	8000 Type	5,230	232,164	1,214,217,720	211,346,915	16.74%
	8200 Type	6,316	197,279	1,246,014,164		
	Subtotal		429,443	2,460,231,884		
Electric multi unit	EMU	5,504	16,246	89,417,984	5,880,046	0.02%

분되었다. 이상의 내용을 정리하면 Fig. 2와 같이 설명할 수 있다.

철도와 도로수송의 휘발유, 디젤, LPG, LNG, 전력 사용량은 에너지법 시행규칙의 에너지 열량 환산기준에 의거하여 열량단위로 환산하고 전력은 최종사용자가 사용하는 전기에너지 열에너지 환산기준인 $1\text{kWh}=860\text{kcal}$ 를 적용하였다.

2.2.2 온실가스 배출량 산정 방법

온실가스 배출량은 이산화탄소(CO_2), 아산화질소(N_2O), 메탄(CH_4)을 대상으로 연료원별 순발열량에 따른 에너지 소비량을 계산하고 이를 IPCC 2006 가이드라인의 연료원별 배출계수와 곱하여 Tier 1 수준에서 산정하였다.

$$\text{배출량} = \sum_a (Fuel_a \times EF_a) \quad (2)$$

여기서, 배출량= CO_2 , CH_4 , N_2O (kg); $Fuel_a$ =연료 a의 소비량(TJ); EF_a =배출계수(kg/TJ); a =연료원이다.

간접배출원인 전력배출계수는 온실가스 에너지 목표관리 운영 등에 관한 지침개정(제2012-103호) 안[14]에 의거하여 전력거래소에서 매년 고시하는 값을 사용하였다.

Table 4 The emission factors of electric power

Year	2007	2008	2009	2010
$\text{CO}_2\text{e}(\text{ton/MWh})$	0.4633	0.4691	0.4716	0.4714

아산화질소 및 메탄의 온실가스 잠재력(GWP, Global Warming Potential)은 IPCC 2차 보고서의 기준을 적용하여 다음과 같이 CO_2e 로 환산하였다.

$$\begin{aligned} \text{온실가스배출량}(\text{kgCO}_2\text{e}) &= \text{CO}_2\text{배출량}(\text{kg}) + \\ &\text{CH}_4\text{배출량}(\text{kg}) \times \text{CH}_4\text{지구온난화지수}(21) + \\ &\text{N}_2\text{O배출량}(\text{kg}) \times \text{N}_2\text{지구온난화지수}(310) \end{aligned} \quad (3)$$

2.2.3 에너지 소비 및 온실가스 배출 원단위 산정 방법

철도와 도로수송의 비교를 위하여 에너지 소비량과 온실가

스 배출량을 수송실적(인km, 톤km)으로 나누어 에너지소비 원단위($\text{kcal/pkm} \cdot \text{tkm}$)와 온실가스배출원단위($\text{gCO}_2\text{e/pkm} \cdot \text{tkm}$)를 다음과 같이 산정하였다.

$$\text{에너지소비원단위} = \frac{\text{온실가스배출량}(\text{kcal})}{\text{수송실적}(\text{pkm} \cdot \text{tkm})} \quad (4)$$

$$\text{온실가스배출원단위} = \frac{\text{온실가스배출량}(\text{gCO}_2\text{e})}{\text{수송실적}(\text{pkm} \cdot \text{tkm})} \quad (5)$$

수송실적자료는 Table 1에서 설명한 것과 같이 도로수송 실적은 국토해양통계(여객부문 영업용 차량)[15], 에너지총조사보고서(여객부문 자가용 차량), 국가교통DB 전국 지역간 화물OD 보완갱신(도로수송 화물부문)[16]에서 제시한 실적자료를 적용하였고 철도수송은 철도통계연보의 실적자료를 적용하였다.

3. 에너지 소비 및 온실가스 배출 원단위 산정

3.1 도로수송 부문 에너지 소비량 및 온실가스 배출량

앞 절에서 설명한 방법론을 토대로 2010년 도로수송 부문의 에너지 소비량과 온실가스 배출량을 산정하면 다음과 같다.

Table 5 Energy consumption and GHG emission for road in 2010

Classification		Energy consumption		GHG emissions	
		10^9kcal	(%)	Ton CO_2e	(%)
Passenger	Bus	42,019	13.0	12,348,751	12.7
	Auto	146,502	45.5	43,743,990	45.1
	Taxi	19,420	6.0	5,241,356	5.4
	Motorcycle	5,039	1.6	1,500,972	1.5
	Subtotal	212,980	66.1	62,835,070	64.8
Freight	Truck	109,027	33.9	34,195,458	35.2
Total		322,007	100.0	97,030,528	100.0

Fig. 3 Energy consumptions & GHG emission composition of road passenger and freight

2010년 도로수송의 에너지 소비량은 약 3,220천억 kcal이고 온실가스 배출량은 9,703만톤 CO₂e로 산정되었다. 에너지 소비량은 여객부문이 66%를 차지하고 이중 승용차가 69% 비중을 보이고 있고 화물부문은 34%를 차지하고 있다. 온실가스 배출량의 통행수단별 비중도 에너지 소비량에 비례한다고 볼 수 있고 여객부문이 65%를 차지하고 이중 승용차가 70%를 차지하고 있다.

3.2 철도수송 부문 에너지 소비량 및 온실가스 배출량

철도수송의 온실가스 배출원은 디젤 및 전력으로 구분되며 직접배출원인 디젤은 디젤기관차와 디젤동차에서 사용되고 간접배출원인 전력은 고속철도, 전기기관차, 전기동차, 수도권전동차에서 사용된다. 철도수송의 열차종별과 여객·화물의 에너지 소비량과 온실가스 배출량을 산정하면 Table 6, 7과 같다.

2010년 철도수송은 약 3,196십억 kcal의 에너지를 소비하였으며 그에 따른 온실가스 배출량은 약 1,426천톤 CO₂e로 산정되었다. 디젤차량의 운행감소에 따라 에너지 소비와 온실가스 배출에서 디젤이 차지하는 비중이 점차 감소하고 있고 전기차량 증가에 따라 철도수송의 에너지 소비량과 온실

Fig. 4 Energy consumption and GHG emission composition of diesel and electric trains

가스 배출량에 대한 전력사용의 영향력이 계속 증가할 것이다. Fig. 4는 2007년부터 2010년까지의 디젤차량과 전기차량의 에너지소비와 온실가스 배출의 변화를 나타낸 것이다. 향후 철도수송의 온실가스 배출량을 줄이기 위해서는 전력의 온실가스 배출계수를 줄이는 것이 중요하며 이를 위해서는 지속적으로 신재생에너지를 개발하고 활용하는 것이 필요하다 할 수 있다.

3.3 에너지 소비 및 온실가스 배출 원단위

철도와 도로수송의 에너지 소비 및 온실가스 배출 원단위는 2장의 분석방법론에 따라 화물과 여객을 구분하여 차종별 에너지 소비량과 온실가스 배출량을 산정하고 수송실적으로 나누어 단위수송량당 에너지소비 및 온실가스배출량으로 산정된다. 철도수송의 경우 디젤기관차, 디젤동차, 전기기관차, 전기동차로 운행되는 일반열차와 고속열차, 수도권전동차의 여객수송 원단위와 디젤기관차와 전기기관차로 운행되는 화물열차의 화물수송 원단위를 산정하면 Table 8과 같다. 수송량이 많고 전력을 주로 사용하는 고속철도와 수도권전철이 확실히 원단위가 낮고 디젤과 전력을 동시에 사용하며 수송량이 적은 일반철도와 화물열차가 원단위가 높은 것을 알 수 있다.

도로수송의 경우 버스, 승용차, 택시, 이륜자동차의 여객

Table 6 Energy consumption and ghg emission by train type of rail transportation in 2010

Classification	Diesel locomotive			DMU	Electric locomotive			EMU	High-speed rail	Metropolitan subway
	Subtotal	Coach	Wagon		Subtotal	Coach	Wagon			
Energy consumption (10 ⁶ kcal)	1,244,262	517,113	727,149	384,377	262,383	130,091	132,293	265	587,786	717,309
GHG emissions (Ton CO ₂ e)	433,242	180,055	253,187	133,837	143,823	71,308	72,515	145	322,189	393,185

Table 7 Energy consumption and GHG emission of passenger and freight of rail transportation in 2010

Classification	Energy consumption		GHG emissions	
	10 ⁶ kcal	Composition (%)	ton CO ₂ e	Composition (%)
Passenger	2,336,940	73.1%	1,100,719	77.2%
Freight	859,442	26.9%	325,702	22.8%
Total	3,196,382	100.0%	1,426,421	100.0%

Table 8 Energy consumptionS and GHG emission units of rail transportation

Classification	Passenger				Freight
	High-speed rail	General train	Metropolitan subway	Total	Freight train
Energy consumption basic unit (kcal/person · km, kcal/ton · km)	53.53	125.75	51.26	70.43	90.92
GHG emission basic unit (gCO ₂ e/person · km, gCO ₂ e/ton · km)	29.34	46.96	28.10	33.17	34.46
10 ⁶ person · km, ton · km	10,981.05	8,205.84	13,993.86	33,180.75	9,452.40

Table 9 Energy consumption and GHG emission basic unit of road transportation

Classification	Passenger					Freight
	Bus	Auto	Taxi	Motorcycle	Total	Truck
Energy consumption basic unit (kcal/person · km, kcal/ton · km)	181.71	561.14	1450.97	367.38	410.04	1100.30
GHG emissions basic unit (gCO ₂ e/person · km, gCO ₂ e/ton · km)	53.40	167.55	391.61	109.43	120.97	345.10
10 ⁶ person · km, ton · km	231,238	261,080	13,384	13,716	519,418	99,089

Table 10 The comparison of energy consumption and GHG emission basic unit of rail and road

Classification	Passenger	Freight	High-speed Rail/Auto
	Rail/Road	Rail/Truck	
Energy consumption basic unit	1/6	1/12	1/10
GHG emissions basic unit	1/4	1/10	1/6

수송 원단위와 트럭의 화물수송 원단위를 산정하면 Table 9와 같다. 도로수송의 실적자료는 여객은 국토해양통계연보와 에너지총조사보고서의 수송실적을 적용하고 화물은 국가교통DB의 전국 지역간 화물OD 보완갱신에서 제시하고 있는 수송실적을 적용하였다. 철도와 같이 비교적 대량수송을 하는 버스의 원단위가 가장 낮고 승용차와 택시가 높은 것을 알 수 있다. 택시의 경우 승용차 보다 원단위가 높은 것은 택시의 전국평균 공차율[17]이 55.9%(2009년 기준)에 이르고 승용차와 달리 손님을 태우기 위한 통행목적과 상관없는 이동거리가 발생하며 항시 운행 준비의 상태로 있기 때문이다.

위에서 산정된 철도와 도로수송의 에너지 소비 원단위를 비교하면 Table 10과 같다. 여객은 철도가 도로의 1/6 수준이고 화물은 철도가 도로의 1/12수준으로 철도가 도로에 비해서 단위수송량당 에너지 소비에서 우위성을 갖고 있음을 알 수 있다. 또한 철도와 도로수송의 온실가스 배출 원단위를 비교하면 여객은 철도는 도로의 1/4수준이고 화물은 철도가 도로의 1/10 수준으로 단위수송량당 온실가스 배출에서도 우위성을 갖고 있음을 알 수 있다. 추가적으로 철도와

도로 여객수송의 대표 수단인 고속철도/승용차를 비교하면 에너지 소비 원단위는 고속철도가 승용차의 1/10 수준으로 분석되었고 온실가스 배출 원단위는 고속철도가 승용차의 1/6 수준으로 분석되었다.

이렇게 철도가 도로보다 에너지 소비 및 온실가스 배출에서 환경적으로 우위성을 갖는 가장 큰 이유는 철도가 대량수송을 하는 대중교통 수단이라는 것이다. 철도가 도로보다 상대적으로 한번의 수송에 보다 많은 수송량을 수송함에 따라 단위수송량당 에너지 소비 및 온실가스 배출의 효율성에서 우위를 점할 수 있는 것이다. 그 다음으로는 도로가 경유, 휘발유, LPG, LNG 등 거의 대부분 화석연료 위주의 에너지원을 사용하고 있지만 철도는 전철화를 통해 점차적으로 전력사용 비율을 높이고 있는 것이다. 또한 향후 전력은 생산방식에 따라 더욱더 온실가스 배출량을 줄일 수 있어 보다 더 환경적으로 우위성을 가질 가능성이 높다.

4. 결 론

본 연구에서는 공식적인 우리나라의 통계자료를 이용하여 철도와 도로수송의 에너지 소비 및 온실가스 배출 현황 및 각각의 원단위를 산정해 보았다. 본 연구의 정량적 분석 결과는 향후 다양한 비교 연구에서 유용하게 이용될 수 있리라 기대되며 분석 결과의 비교를 통하여 철도가 도로에 비하여 정량적으로 환경적으로 우위성을 갖고 있음을 확인할 수 있었다.

연구의 결과에서 국내 철도의 온실가스 배출 원단위가 상대적으로 국외에 비해 높은 경향을 나타내는데 그 원인으로 유럽의 경우에 전력 생산시 신재생에너지 비율이 높아 전력사용에 따른 온실가스 배출계수가 국내에 비해 상대적으로 낮기 때문으로 판단되며 국내에서도 이러한 노력이 필요

하다 하겠다. 또한 현재 환경문제와 기후변화문제의 심각성이 대두되고 있음에도 불구하고 도로부문의 에너지 소비와 온실가스 배출량은 지속적으로 증가해오고 있으며 향후 기후변화와 환경보존을 위한 수송부문의 지속 가능한 발전을 위해서는 승용차 이용을 억제하고 철도와 같은 친환경 수단의 이용을 촉진하기 위한 정부차원의 억제책과 유인책이 동시에 시행될 필요가 있다.

본 연구에서는 에너지 소비량을 분석하기 위하여 에너지 총조사보고서와 철도통계연보에서 제시하는 차종별 연료소비량을 이용하였고 이를 기초로 철도와 도로수송의 연료원별 배출계수를 적용하여 온실가스 배출량을 산정하는 Tier1 수준의 분석을 수행하였다. 좀 더 상세한 분석을 통하여 국가 에너지소비 및 온실가스배출을 관리하기 위해서는 Tier2, Tier3 수준의 보다 상세한 분석이 시행되어야 할 것이다. 이를 위해서는 기초가 되는 보다 상세한 국가온실가스 통계DB 구축이 선행되어야 한다. 향후 우리나라도 이러한 노력을 지속적으로 수행하고 있으며 이러한 기반이 구축됨에 따라 보다 상세한 후속연구가 이루어질 필요가 있다.

후 기

본 연구는 한국철도학회 2013년 춘계학술발표회에서 발표된 논문을 수정·보완하여 작성되었습니다.

References

- [1] KORAIL (2011) 2011 Statistical Yearbook of Railroad.
- [2] KORAIL Electrical Engineering Office (2011) 2011 Electric Work Data.
- [3] Korea Energy Economics Institute (2011) 2011 Energy Consumption Survey.
- [4] Institute for Global Environmental Strategies(IGES) (2006) 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.
- [5] Cho, J.H. (2008) Establishing Greenhouse Gas National Inventory Management System in Korea, The Korea Transport Institute.
- [6] Lee, H.J. (2011) Accuracy Improvement of National Inventory Report in Transport Sector, *Journal of Korea Transportation Research Society*, 8(6), pp. 99-105.
- [7] Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2011) The 1st Sustainable Development of National Transport Logistics Master Plan(2011~2020).
- [8] Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (2010) National Transport Sector Greenhouse Gas Emissions Report.
- [9] Lee, J.Y. (2012), A Study on the Calculation of GHG Emission for Domestic Railroad Transport based on IPCC Guideline, *Journal of the Korean Society for Railway*, 15(4), pp.408-412.
- [10] UIC (2011) Rail and Sustainable Development.
- [11] JR East (2011) JR Est Group Sustainability Report.
- [12] Deutsche Bahn AG (2008) Key Environmental Data: Facts and Figures about Sustainability.
- [13] SBB AG(2009), Facts and Figures.
- [14] Ministry of Environment (2011) The Revised Guidelines of Greenhouse Gas and Energy Consumption Target Management.
- [15] Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (2011) 2011 Statistical Yearbook of MLTM.
- [16] KTDB (2010) Regional Freight OD Update in 2010, The Korea Transport Institute.
- [17] KTDB (2010) Transport Basic Unit Survey and TSI Calculation, The Korea Transport Institute.

접수일(2014년 2월 4일), 수정일(2014년 6월 23일),
게재확정일(2014년 6월 25일)

Byung-Kwan Kim : kimbk@korail.com

KORAIL Research Institute, Korea Railroad Corporation, 240 Joong-ang-ro, Dong-Gu, Daejeon 300-720, Korea

Jin-Sun Lee : jinsun@wsu.ac.kr

Department of Railroad Management, Woosong University, 171 Dong-Daejeon-ro, Dong-Gu, Daejeon 300-718, Korea

Hyoun-Ku Kim : kimbk@korail.com

KORAIL Research Institute, Korea Railroad Corporation, 240 Joong-ang-ro, Dong-Gu, Daejeon 300-720, Korea

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

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