

## 활동자료 구축을 통한 주행거리 기반의 온실가스 배출량산정방법에 관한 연구

배보람<sup>1</sup> · 김경석<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> 국토연구원 국토인프라연구본부, <sup>2</sup> 국립공주대학교 건설환경공학부

### A Study on Greenhouse Gas Emissions Estimation based on Mileage Through Accumulation of Activity Databases

BAE, Bo Ram<sup>1</sup> · KIM, Gyeong Seok<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> National Infrastructure Research Division, Korea Research Institute for Human Settlements, Gyeonggi, 431-712, Korea

<sup>2</sup> Department of Civil & Environment Engineering, Kongju National University, Chungnam 330-717, Korea

#### Abstract

The tier 3 methodology used in estimation of greenhouse gas emissions from road sectors is based on mileage data. However, such data can neither accurately represent the mileage of regional unit nor have sufficient integrated data reflecting the characteristics by region, vehicle type, fuel type and road type. Such estimation of greenhouse gas emissions is not reliable. Accordingly, the purpose of this study is, firstly to accumulate activity data based on distance traveled which enables us to accurately estimate the amount of green gas emitted by regional unit(emission point), and secondly, to develop a methodology for estimation of greenhouse gas emissions using these data. To do this, the study utilizes the mileage data of Korea Transportation Safety Authority(TS), statistics of registered motor vehicles, statistical yearbook of traffic volume from the Ministry of Land, Infrastructure and Transport(MLIT), the Korea Transport Database of the Korea Transport Institute(KOTI), and average road speed by local government. Methodology for estimation by local government level(emission point) is meaningful, because it reflects traffic pattern data including flow in and out and internal traffics. Finally, to verify the methodology presented in this study, it is applied to Seoul. Both greenhouse gas estimates, one by multiplying the average mileage and the number of registered vehicles and the other by multiplying traffic volume and road extension, are less than the amount estimated by the methodology presented in this study.

도로부문의 온실가스배출량 산정시 활용되는 tier3방법론은 주행거리데이터를 기반으로 한다. 하지만 기존 대부분의 자료들은 단독으로 지역단위의 주행거리를 대변할 수 없고 지역별, 차종별, 연료별, 도로유형별 특성을 반영한 통합 활동자료(주행거리데이터)가 미흡하여 온실가스배출량 산정의 신뢰도가 부족하다. 따라서 본 연구는 첫째, 지자체단위(배출지점)의 정확한 온실가스배출량을 산정할 수 있는 주행거리기반의 활동자료(통합데이터베이스) 구축과 이를 활용한 온실가스배출량 산정방법론을 제시하는 것을 목적으로 한다. 이를 위해 교통안전공단의 주행거리자료, 국토해양부의 차량등록통계, 도로교통량, 한국교통연구원의 국가교통데이터베이스, 지방자치단체 평균속도 등을 활용하였으며, 이는 교통관련 데이터의 통행패턴(유·출입교통량, 내부교통량)을 반영하여 지자체단위(배출지점)의 산정방법을 제시하였다는 점에서 의의가 있다. 둘째, 본 연구에서 제시한 방법론 검증에 위해 적용대상지를 서울시로 하였으며, 본 연구에서 제시한 모형의 검증을 위하여 기존에 발표된 세 가지 온실가스배출량 산정결과와 비교하여 적정수준임을 제시하였다.

#### Keywords

bottom-up, greenhouse gases, mileage, tier 3, IPCC

상향식, 온실가스, 주행거리, Tier 3, IPCC

\* : Corresponding Author  
gskim23@kongju.ac.kr, Phone: +82-41-521-9298, Fax: +82-41-568-0287

Received 19 August 2013, Accepted 11 February 2014

## 서론

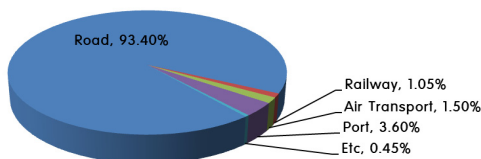
### 1. 연구의 배경 및 목적

우리나라는 기후변화의 원인이 되는 온실가스 배출을 억제하는 것을 목적으로 한 국제환경협약인 기후변화협약(UNFCCC: UN Framework Convention on Climate Change)에 1993년 12월에 가입하였으나 우리나라는 비부속서국가(non-Annex I)<sup>1)</sup>로 제1차 공약기간(2008-2012) 동안 온실가스 감축의무는 없다. 그렇지만 우리나라는 세계 10위 온실가스 다 배출국이자 OECD 회원국으로서 감축의무에 대한 국제적 압력이 가중되고 있다. 이에 따라 정부에서는 “저탄소 녹색성장”을 국가발전의 비전으로 제시하고 온실가스 감축 목표를 설정하는 등 온실가스 감축에 대한 다양한 정책을 추진 중에 있다.

우리나라는 기후변화와 관련하여 정책수립 및 이행 등을 위해 온실가스 배출량산정방법, 대기오염 배출계수 개발 등과 같이 온실가스와 관련하여 많은 연구가 진행되고 있으며, 도로부문 또한 온실가스 배출량산정방법이 제시되어있다. 하지만 그 방법이 주로 차량스톡(Stock) 위주 방법으로 정교하지 않고 단편적으로 제시되고 있다.

특히, Tier 3의 활동자료 중 하나인 주행거리데이터는 존재하나 단독으로 지역단위의 주행거리를 대변할 수 없으며, 이를 보완할 수 있는 지역별, 차종별, 연료별, 도로유형별 특성을 반영한 통합 활동자료가 미흡하여 온실가스배출량 산정의 신뢰도가 부족하다.

또한 교통물류부문의 총 온실가스 배출량 중 도로부문의 온실가스배출량은 90%이상 차지하고 있어 온실가스감축을 위해 감축대책을 전략적으로 수립해야하는 시



Source: Korea Transportation Safety Authority (2011), Analysis of Automobile Mileage of 2010.

**Figure 1.** Greenhouse gas emission volume of traffic section (1990-2010 year accumulation traffic)

1) 차별화 원칙에 따라 협약 당사국 중 '부속서', '비부속서' 국가로 구분하여 각기 다른 의무를 부여를 받고 있다. 부속서 국가는 온실가스 감축의 구체적인 의무를 부과 받은 국가들을 말하며, OECD 국가 및 동구권 국가들로 구성되어 있다. 비부속서 국가는 기후변화협약 및 교토의정서상 보고서 제출 및 환경보전의 일반적 의무 외에 구체적인 온실가스 감축의무를 부과 받지 않은 개도국 국가그룹으로, 우리나라도 비부속서 국가이다.

점에 있다.

그간 정부는 기업을 대상으로 탄소배출 감소를 위한 다양한 노력을 하였으나, 그 효과는 미비한 실정이다. 그리고 향후 지자체단위의 탄소배출 관리의 필요성이 제기되고 있어 이를 위해 보다 정확한 지자체(지역)단위의 온실가스배출량 산정방법론 마련이 필요한 시점이다.

따라서 본 연구는 보다 정확한 지자체단위(배출지점)의 선진화된 온실가스배출량을 산정할 수 있는 활동자료 구축(주행거리: 통합데이터베이스)과 이를 활용한 온실가스배출량 산정방법론을 제시하는 것을 목적으로 한다.

### 2. 연구의 범위 및 방법

#### 1) 연구의 범위

본 연구는 차량의 연료 연소에 의해 발생하는 온실가스 중 CO<sub>2</sub>를 제외한 CH<sub>4</sub>와 N<sub>2</sub>O의 배출량은 0.4%에 불과하여 배출량산정의 편의성을 고려하여 CO<sub>2</sub>를 대상으로 배출량을 산정하였다. 또한 신뢰도를 높이고 체계적인 분석 기준을 제시할 수 있도록 IPCC(IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change) 매뉴얼 중 Tier3 접근법의 활동자료 적용방안에 대하여 국내·외 사례조사와 Tier3 수준의 온실가스 배출량 산정을 위한 활동자료 구축방안을 정립한다.

Tier3 수준에 적합한 활동자료를 활용하기 위해 도로등급별 평균속도, 차종·연료·용도별 자동차등록 대수 등 다양한 데이터가 필요하다고 판단된다. 따라서 신뢰성을 확보한 교통관련 데이터의 획득이 용이하고, 대도시권이면서 차량통행이 가장 많은 서울시를 분석대상지로 선정하였다.

또한 여기서 사용된 교통관련데이터(교통안공단의 주행자료, 한국교통연구원의 KTBD, 국토교통부의 차량등록통계 등)는 2010년을 기준으로 하나, 공식통계수집가능 연도의 데이터를 사용하였다.

#### 2) 연구 방법

이론적 고찰을 통해 온실가스 배출량산정방법론 및 배출계수, 활동특성이 반영된 교통관련 데이터의 특성을 분석하여 본 연구에 적용 가능한 데이터를 선정한다. 활

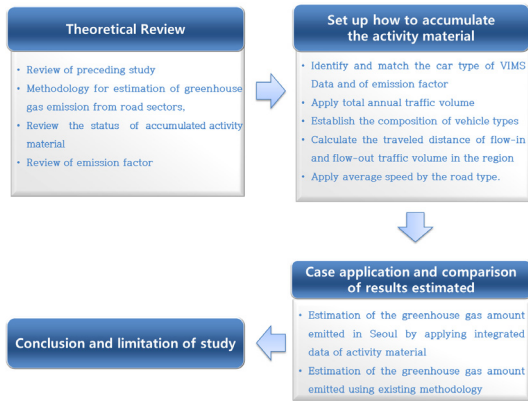


Figure 2. Study process

동특성이 반영된 데이터들의 연계를 통해 활동자료(주행거리)를 구축하는 방안을 정립하여 기존의 주행거리기반의 온실가스배출량 산정방법의 불확도를 개선하였다. 또한 본 연구의 방법론을 서울시에 적용하여 기존 방법론의 산정량과 비교 분석하여 검증은 시도하였다.

### 3. 선행연구 고찰 및 본 연구의 차별성

#### 1) 선행연구

활동도가 반영된 주행거리기반의 도로부분 온실가스 배출량산정에 관한 연구는 다양한 기관의 속도 및 교통량의 통계자료를 활용한 연구와 교통량(실측자료)×도로연장을 활용한 연구로 구분된다.

Kim J. G.(2009)는 도로등급별(고속도로, 국도, 지방도) 온실가스 배출량산정을 위해 도로교통량 통계연보를 활용하여 속도와 차종을 고려한 방법론을 제시하였다. 도로교통량 통계연보의 고속도로, 국도, 지방도의 전 노선에 대한 차종별 교통량데이터를 활용하여 ‘교통량×도로연장’으로 차종, 속도 등을 고려하여 주행거리를 산출하였다. 또한, 연료종류를 고려하기위해 자동차등록현황을 이용하여 점유비율대로 재분류하여 배출량을 산정하였다.

Korea Expressway(2012)는 고속도로이용차량의 온실가스 배출량산정을 위해 ‘주행속도조사’, ‘교통량조사’, ‘배출계수’의 차종구분 매칭 통해 속도, 차종, 연료를 고려한 방법론을 제시하였다.

Kim J. S.(2012)은 주행거리기반(교통량×도로연장)과 주유 판매량기반의 배출량을 산정하여 그 차이값은 이면도로에서 발생하는 것으로 추정하였다.

A.W Reynolds(2000)은 도시교통제어시스템을 통해 교통량 및 속도의 실시간 데이터를 확보하여 배출량산정에 사용을 할 수 있는 인벤토리 구축의 필요성을 제시하였다.

이상 기존연구를 종합해보면 일부 활동자료가 반영된 온실가스 배출량산정에 관한 연구는 있으나, 도시별 교통의 다양한 특성과 지자체단위(배출지점)의 정확한 산정을 목적으로 데이터간의 연계통합을 통해 주행거리 구축 및 산정방법론에 대한 연구 진행은 부족한 실정이다.

#### 2) 본 연구의 차별성

본 연구는 주행거리 기반의 지자체단위(배출지점)의 도로부분 온실가스 배출량을 산정할 수 있는 통합 활동자료 데이터베이스 구축모형과 이를 활용한 온실가스배출량 산정방법을 제시하여 다음과 같은 차별성을 가진다.

다양한 통계자료 연계·활용하여 활동자료가 반영된 주행거리 구축, 통행패턴(유입, 유출, 내부교통)을 고려한 지역단위(배출지점)의 산정 방법론을 제시하였으며, 본 방법론을 적용한 산정값과 기존 주행거리 기반의 방법론을 적용한 온실가스 배출량 산정값과 비교하여 결과를 검증하였다.

### 이론적 고찰

#### 1. IPCC 가이드라인

국가 온실가스 인벤토리 작성을 위한 2006 IPCC 가이드라인은 인간활동에 따른 온실가스의 배출원(Sources)에 의한 배출량(Emissions)을 국가 인벤토리를 산정하기 위한 방법론으로 제공하며, 2006 IPCC 가이드라인은 UNFCCC에 대한 협약 당사국의 권고에 대응하여 준비되었다. 도로부분의 온실가스 배출량은 에너지 배출원으로 구분되며 총 에너지 소비량 산정방식인 Tier 1, 연료별 사용량과 차종을 고려한 Tier 2, 차량의 주행거리를 활용한 Tier 3 방식으로 구분하고 있다.

##### 1) Tier 1

기초자료가 미비할 때 주로 사용하는 방법으로, 차량의 주행거리는 고려되지 않고 연료종류만을 고려하여 소비량에 배출계수를 곱하여 산출하는 것으로 가장 기본적인 방식이다. 연료 총 사용량(판매량)을 에너지량으로 환산

한 값의 곱으로 계산되어짐에 따라 지자체별 배출량 산정에는 한계점이 있다.

2) Tier 2

차종별 연비를 고려하여 연료소비량을 산정하고, 산정된 연료소비량을 바탕으로 Tier 1 방법과 동일하게 배출계수를 이용하여 배출량을 산정한다. 연료소비량은 기준으로 산정하는 방법이 Tier 1과 비슷하지만, Tier 2는 차량 1대당 연료소비량과 등록대수를 곱하여 연료 소비량을 산출하기 때문에 Tier 1에 비해 활동도 자료를 반영할 수 있다는 점에서 우수하다.

3) Tier 3

Tier 3은 연료소비를 기준으로 하지 않고 차종·연료별 주행거리자료를 기초로 하여 측정된 배출계수와 곱으로 계산하는 방법이다. 주행거리 혹은 ton/km등의 연료

혼합 비율 등의 자료를 기초로 하여 추정된 배출계수를 적용하여 온실가스 배출량을 산정한다. 활동도를 반영하기 때문에 시·공간적 분배가 가능하며 Tier 2보다 실제 활동도를 반영하기 때문에 상대적으로 많은 자료가 필요한 반면 가장 정확한 배출량 산정방법이다.

또한 Tier 3은 지역별 배출량 산정과 도로기능·위계에 따른 평균속도 및 교통량을 반영한 온실가스 배출량 산정, 차종별 온실가스 배출량 산정이 가능하다. 따라서 본 연구에는 Tier 3 방법론을 적용한다.

4) 활동도가 반영된 통계자료

활동도가 반영된 국내의 통계자료는 교통안전공단의 주행거리, 한국교통연구원의 국가교통데이터베이스(KTDB), 국토해양부(現 국토교통부)의 도로교통량 통계연보, 각 지자체 실시간 교통정보제공센터 자료 및 속도조사보고서가 있다.

Table 1. Comparison of Tier1, Tier2, Tier3

Method	Contents	
Tier 1	formula	$Emissions = \sum (Fuel_a \times EF_a)$ <p> <i>Emissions</i> : Greenhouse gas Emission (kg)  <i>Fuel<sub>a</sub></i> : Fuel<sub>a</sub> Consumption (TJ)  <i>EF<sub>a</sub></i> : Emission Factor (kg/TJ)  <i>a</i> : Fuel (ex: Diesel, Petrol, LPG)                 </p>
	Characteristics	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mostly basic top-down method</li> <li>- Apply IPCC emission factor by fuel type</li> <li>- Not considering distance traveled</li> </ul>
Tier 2	formula	$Emissions = \sum (Fuel_{a,b,c} \times EF_{a,b,c})$ <p> <i>Emissions</i> : Greenhouse gas Emission (kg)  <i>Fuel<sub>a</sub></i> : Fuel<sub>a</sub> Consumption (TJ)  <i>EF<sub>a</sub></i> : Emission Factor (kg/TJ)  <i>a</i> : Fuel (ex: Diesel, Petrol, LPG)  <i>b</i> : Vehicle  <i>c</i> : Emission Control Tech                 </p>
	Characteristics	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Top-down method</li> <li>- apply emission factor considering the level of emission control technology of each car types</li> <li>- The energy consumption data of each car types is needed.</li> </ul>
Tier 3	formula	$Emissions = \sum_{a,b,c,d} (Distase_{a,b,c,d} \times EF_{a,b,c,d}) + C_{a,b,c,d}$ <p> <i>Emissions</i> : Greenhouse gas Emission (kg)  <i>Distance</i> : Mileage (km/yr)  <i>EF<sub>a</sub></i> : Emission Factor (g/km)  <i>C</i> : Warming Emission  <i>a</i> : Fuel (ex: Diesel, Petrol, LPG)  <i>b</i> : Vehicle  <i>c</i> : Emission Control Tech  <i>d</i> : Driving Condition                 </p>
	Characteristics	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bottom-up method</li> <li>- Apply emission factor considering the level of emission control technology of each car types</li> <li>- Since the estimation level is the most accurate, much informations are necessary</li> </ul>

Source: PCC(2008), 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Inventories

**Table 2.** Comparison of merits and demerits of statistic data reflecting activity

Data		Contents
Mileage (TS)	Strength	- It is possible to categorize the mileage by purpose of use, vehicle type, fuel type, manufactured year. - As it contains the mileage for driving on the small traffic volume roads and intra-zonal trip, the accuracy of data is high.
	Weakness	- Mileage calculation by road type is not possible. Speed is not considered. - The locations where the vehicle is registration and used may not be same. The mileages of flow-in and flow-out vehicles and through traffics are not reflected.
	Vehicle and Road type	- car, vans and bus, truck, special vehicle, two-wheeled vehicle
KTDB (KOTI)	Strength	- It is possible to calculate the travel distances of flow-in and flow-out traffic volume.
	Weakness	- The mileage for driving on the small traffic volume roads and intra-zonal trip is not included. - Calculation of mileage categorized by purpose of use, vehicle type, fuel type, manufactured year is not possible. - As the data is revised every 5 year, the accuracy of data is low.
	Vehicle and Road type	- car (taxi, van), bus, truck (mini-, midium-, big-sized)
Road traffic statistics (MOLIT)	Strength	- It is possible to categorize the mileage by vehicle type and by region. - As the traveled distance calculation by road type is possible, mileage data per speed is available.
	Weakness	- It is not possible to calculate the mileage for driving on the small traffic volume roads. As measurement data, it is difficulty to identify fuel type.
	Vehicle and Road type	- Expressway, National Highway(general national road), Government-funded provincial road, provincial road, - Car(class 1), small-sized truck(class 3-4), mid-sized truck(class 5-7), large-sized truck(class 1-12)
ITS, Site Information Source	Strength	- As measured data, it is highly accurate. Calculation of mileage categorized by speed and vehicle type is possible.
	Weakness	- Available only where the ITS or UTIS is implemented. - Purpose of use, fuel type and manufactured year are not considered.
	Vehicle and road type	- Expressway, National Highway(general national road), major roads of local governments
Local Govern ments Speed check	Strength	- Speed per road type is available.
	Weakness	- Purpose of use, fuel type and manufactured year are not considered.
	Vehicle and Road type	- Expressway, National Highway(general national road), Government-funded provincial road, provincial road,

그러나 모든 활동특성이 반영된 단일 자료는 없으며 Tier 3를 적용한 주행거리 기반의 온실가스 배출량을 산정 할 경우 자료의 보완적 연계가 불가피하다. 따라서 연료별, 차종별, 통행패턴, 속도의 활동특성이 반영된 주행거리(통합데이터)가 필요하여 자동차 주행거리실태조사(교통안전공단), 도로교통량 통계연보(국토해양부), KTD B(한국교통연구원), 지방자치단체 정기속도 조사 자료를 연계·통합하여 본 연구에 적용하기로 한다.

**5) 배출계수**

배출계수는 환경부 산하 국립환경과학원 및 기타 연

구기관(대학 등)에서 정부고시 및 다양한 목적의 연구를 통해 제시되고 있다. 따라서 연구보고서 및 정부 고시에서 제시하고 있는 7가지의 자동차 온실가스 배출계수를 조사하였다.

조사된 7개 기관의 배출계수 중 본 연구의 온실가스 배출량 산정에 적용될 배출계수는 활동도 및 주행속도를 반영할 수 있으면서 동시에 지속적으로 관리할 수 있는 조건을 충족해야 한다. 따라서 『수송부문 온실가스 기후 변화대응 시스템 구축(2)-자동차온실가스 Bottom-up 배출계수개발(NIER(2009))』의 배출계수를 본 연구에 적용한다.

**Table 3.** Applicable scope and characteristics of GHG emission factor for vehicles

Division	Applicable scope	Characteristics
Survey on Greenhouse gas emissions of vehicle(NIER, 2001)	- Car, Bus, Truck - CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O	- It was developed long time ago, - Emission factors by car type and fuel type are not various.
Research on vehicle greenhouse gas Reduction measure(NIER, 2005)	- Car, Van, Bus, Truck, Special vehicle - CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O	- Applicable without speed data - It provides various emission factors by car type and fuel type. - Emission factor by speed is not considered.
Greenhouse gas emissions inventory and emission factor development in the environment sector(NIER, 2008)	- Van(Small and mid sized), Intra-city bus, Chartered bus, Small truck - CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O	- Emission factor by speed is applicable. - Absence of emission factor for all car types. - It was recently developed.
Analysis on greenhouse gas reduction by atmospheric policy performed by using GHG-CAPSS(NIER, 2008)	- Car, Bus, Truck - CO <sub>2</sub>	- It provides emission factor by speed, car type and fuel type.
Transport sector to respond to climate change greenhouse gas system (II) -Development on vehicle greenhouse gas emission factor in Bottom-up-(NIER, 2009)	- Car, Bus, Truck - CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O	- It provides relatively detailed emission factor by type of greenhouse gas, fuel and car and vehicle speed. - The application standards for application of emission factor by type of greenhouse gas, fuel and car are different(CO <sub>2</sub> :depends on speed, CH <sub>4</sub> /N <sub>2</sub> O: depends on manufactured year)
Transportation investment evaluation guidelines(MLIT, 2009)	- Car, Bus, Truck - CO <sub>2</sub>	- Noticed by Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs - It provides emission factor for CO <sub>2</sub> only. - The factor is not classified by size and fuel type
Guidelines on operate and Energy for Greenhouse Gas Target Management (ME, 2010)	- Car, Bus, Truck - CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O	- Noticed by Ministry of Environment - Emission factor by car type, ruel type and manufactured year - Absence of emission factor for CO <sub>2</sub>

Source: Korea Expressway(2012), Greenhouse Gas Inventories Deployment Research and Information Management.

## 주행거리 기반의 온실가스 배출량 산정방법론

### 1. 차량의 주행거리 산출

총 주행거리는 교통안전공단의 주행거리실태조사 자료와 차량등록통계를 통해 지역별 등록차량의 주행거리 산출이 가능하다. 하지만 도로유형이 고려되지 않은 주행거리는 활동특성인 속도가 반영되어 있지 않으며, 차량등록지와 실주행지역의 구분이 불가능하며, 이때 지역의 통행패턴이 고려되지 않았다. 즉, 지자체 유·출입 교통량의 주행거리는 포함되지 않아 KTDB를 통해 지역통행패턴이 반영된 지자체 범위내 주행거리의 산출이 필요하다. 해당지역 주행거리에는 지역내 교통량주행거리, 즉 내부교통량의 주행거리( $L_i$ )와 유출·입 교통량의 주행거리( $L_o, L_I$ : 유출·입 교통량이 해당지역 내에서 주행한 거리)로 구분된다. 내부교통량 주행거리는( $L_i$ ) 교통안전공단의 주행거리를 기반으로 산출됨에 따라 세부 도로 및 이면도로의 주행거리를 포함하며, 유출·입 교

통량의 지역내 주행거리( $L_o, L_I$ )는 KTDB를 기반으로 산출함에 따라 통행패턴이 반영되어 지역별 배출기준별로 산출이 가능하다.

#### 1) 등록차량의 총 주행거리( $Distance_{ts}$ ): 교통안전공단 주행거리

매년 교통안전공단에서 실시하는 자동차 검사를 통해 지역별, 차종별, 연료별로 주행거리를 알 수 있으며 차종별 평균거리 산출 후 지역별 차종별 등록대수와 곱하고 검사차량의 연료별 차종의 비율을 적용하여 지역별, 차종별, 연료별 주행거리를 산출한다.

$$Distance_{ts} = \sum 365 * (d_{a,b} \times \text{차량등록대수}) \quad (1)$$

여기서,

$d$  : 일평균주행거리

$a$  : 차종

$b$  : 연료종류

2) 지역별 유출입 교통량의 주행거리( $L_{TO}$ ,  $L_{TI}$ )

지역별 통행패턴(유출·입 통행)을 반영하기 위하여 국가교통DB자료의 전국 지역별(165존 기준) O/D 교통량에 지역 간 거리를 적용하여 주행거리를 산출한다. 지역 간 거리는 산출하고자 하는 지역의 중심에서 타 지역 중심까지의 거리임을 가정한다.

$$Distance_{KTDB}(L_{TO}) = \sum 365(L_{ij} \times V_{a_{ij}}) \quad (2)$$

$$Distance_{KTDB}(L_{TI}) = \sum 365(L_{ji} \times V_{a_{ji}}) \quad (3)$$

여기서,

$L_{TO}$  : 유출교통량의 총 주행거리

$L_{TI}$  : 유입교통량의 총 주행거리

$L_{i,j,ji}$  :  $i-j, j-i$  지역간거리

$V_{a_{i,j}}$  :  $i-j, j-i$  교통량

$a$  : 차종

3) 지역내 교통량 주행거리 : 유출입교통량의 해당지역 주행거리, 내부교통량 주행거리 ( $L_O$ ,  $L_I$ ,  $L_i$ )

식(1)를 통해 산출된 주행거리에는 이면도로 및 세부도로를 주행한 거리, 내부교통량 및 유출교통량의 주행거리가 포함되어 있다. 그리고 유출교통량의 주행거리에는 해당지역 외 지역의 주행거리가 포함되어있으며 유입교통량의 주행거리가 포함되어 있지 않다. 따라서 식(2), 식(3)을 통해 산출된 유·출입교통량의 주행거리를 연계하여 내부교통량 주행거리( $L_i$ )를 산출한다.

식(2), 식(3)에 의해서 산출된 유·출입교통량의 주행거리에는 해당 지역 외 지역에서 주행거리가 포함된 주행거리로 온실가스를 산출하고자 하는 해당지역 내 주행거리를 산출하기 위해 유·출입교통량이 해당지역에 내에서 주행한 거리를 산출한다. 유·출입차량의 해당지역 내에서 주행한 거리는 지역중심에서 지역경계까지임을 가정하며 지역중심에서 지역 경계까지의 거리는 지역면적과 면적 산출공식( $\pi r^2$ )을 통해 해당지역 반경을 도출하고 이 값을 해당 지역내 거리  $r$ 값으로 설정한다.

$$L_O = L_{TO} - \sum (L_{TO} \times \frac{V_{ij}}{\sum V_{ij}} \times \frac{L_{ij} - r_i}{L_{ij}}) \quad (4)$$

$$L_I = L_{TI} - \sum (L_{TI} \times \frac{V_{ji}}{\sum V_{ji}} \times \frac{L_{ji} - r_i}{L_{ji}}) \quad (5)$$

여기서,

$L_O$  : 유출교통량 해당지역 내 주행거리

$L_I$  : 유입교통량 해당지역 내 주행거리

$V_{i,j,ji}$  :  $i-j, j-i$  교통량

$L_{i,j,ji}$  :  $i-j, j-i$  지역간 거리

$r_i$  :  $i$  지역 반경

2. 주행거리 차종구성

1) 주행거리 차종구분 및 비교 매칭

식(1)-(5)을 통해 산출된 주행거리는 교통안전공단 주행거리와 KTDB자료의 연계를 통한 주행거리자료이다. 자료간의 차종구분이 상이함에 따라 주행거리 산출 이전에 차종의 재구성이 필요하다.

두 자료의 차종분류를 일치시키기 위해 자동차 등록대수 비율로 재구성하며 버스의 유·출입 교통량 주행거리는 고속버스 주행거리만을 적용, 내부교통량 주행거리는 시내버스 주행거리만을 적용한다.

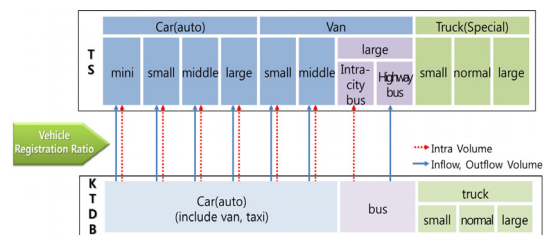


Figure 3. Vehicle composition of TS mileage and KTDB mileage

2) 주행거리자료와 배출계수의 차종구분 및 비교 매칭

교통안전공단 주행거리 차종구분과 배출계수의 차종구분이 상이하여 배출계수의 직접적인 적용이 불가능하다. 차종별 온실가스 배출량을 산출하기위해 '주행거리 자료'

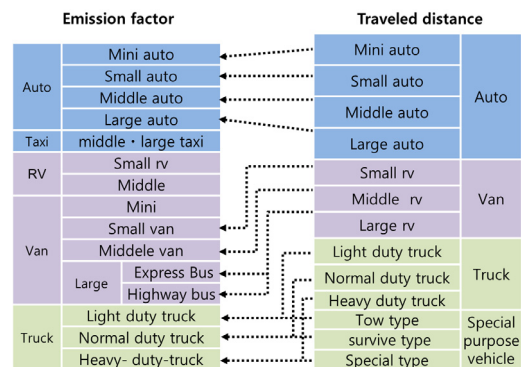


Figure 4. Vehicle composition of mileage and emission factor

와 '배출계수식 차종구분'을 비교하여 매칭(matching)이 필요하다.

승용차 및 승합차 그리고 화물차는 차량규모에 따른 각각의 배출계수가 구축되어있어 이를 적용하고, 승합대형은 버스로 구분하여 적용한다. 또한 특수차량의 경우 배출계수가 없음에 따라 차량규모가 유사한 화물차량의 배출계수를 적용한다.

배출계수는 차량의 주행속도에 영향 받으므로 지역별, 도로유형별의 속도조사가 필요하다. 도로법에 따라 관리주체별 도로의 분류는 고속도로, 일반국도, 특별시도, 광역시도, 지방도, 시도, 군도로 구분되며 본 연구에서는 도로교통량 통계연보와 연계를 위해 고속국도, 일반국도, 국지도, 지방도로로 구분한다.

본 연구에서는 지자체에서 조사된 속도자료 활용을 위해 산출된 주행거리에 도로유형별 교통량 비율을 적용하여 속도별 주행거리를 산출 하였다. 여기서 도로교통량통계의 도로유형은 고속국도, 일반국소, 지방도, 국지도로 구분되고, 지자체 속도 조사보고서의 도로유형의 구분은 도시고속도로 주간선도로 보조간선도로로 구분됨에 따라 지방도 및 국지도의 교통량을 보조간선도로의

교통량으로 대체하여 매칭을 Figure 5와 같이 한다.

Figure 6은 최종 온실가스 배출량산정의 과정의 흐름을 나타낸다.

## 사례적용 및 산정결과 검증

### 1. 본 연구의 방법론 적용

본 연구는 대도시권이면서 차량통행이 가장 많고, 교통관련 데이터의 획득이 용이한 서울시를 분석대상지로 선정하여 도로부문 온실가스 배출량을 산정하였다.

#### 1) 등록차량의 총 주행거리 산출

주행거리자료와 자동차등록통계를 식(1)을 이용하여 (일 평균 주행거리×차량등록 대수×365) 서울시에 등록되어있는 차량 2,981,353대(전기차 제외)의 주행거리를 산출할 수 있다.

교통안전공단 차량검사자료를 통해 차종별, 연료별 1대당 평균주행거리를 산출할 수 있으며 산출 값은

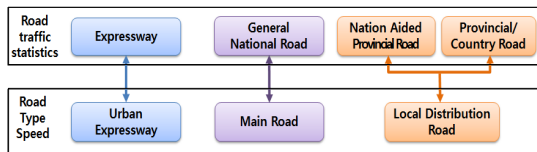


Figure 5. Road type matching(road traffic statistics - data of speed)

Table 4. Vehicle composition, size, fuel average mileage per vehicle(Auto) (Unit:km/veh)

Mini		Small		Middle		Large				
Gasoline	Gasoline	Diesel	LPG	Gasoline	Diesel	LPG	CNG	Gasoline	Diesel	LPG
27	26	41	95	26	41	100	78	27	41	97

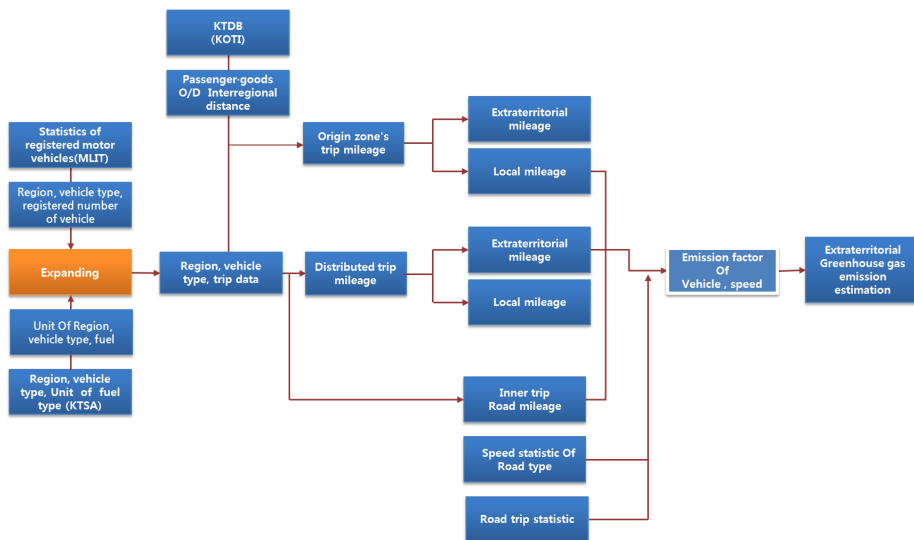


Figure 6. Greenhouse gas emission calculation process of this study



**Table 5.** Vehicle composition, size, fuel average mileage per vehicle(Van) (Unit:km/veh)

Small			Middle			Express bus		Large+ Highway bus	
Gasoline	Diesel	LPG	Gasoline	Diesel	LPG	CNG	Diesel	CNG	Diesel
22	35	49	34	63	56	0	98	167	181

**Table 6.** Vehicle composition, size, fuel average mileage per vehicle(Truck) (Unit:km/veh)

Light duty				Normal duty				Heavy duty			
Gasoline	Diesel	LPG	CNG	Gasoline	Diesel	LPG	CNG	Gasoline	Diesel	LPG	CNG
22	35	49	34	63	56	98	167	-	181	-	57

Table 4, Table 5, Table 6과 같다.

자동차등록통계자료는 차종은 구분되어 있다. 하지만 교통안전공단의 주행거리자료와 같이 차종, 연료가 구분이 되어 있지 않으므로 교통안전공단의 검사된 차량연료별 점유비율을 등록대수에 적용한다.

서울시에 등록되어있는 차량 2,981,353대가 1년간 주행한 거리는 총 54,459,495,037km이다.

**2) 유출입 교통량의 주행거리( $L_{TO}$ ,  $L_{TI}$ ) 산출**

서울시 유·출입교통량은 국가교통DB자료를 활용, 서울시중심과 타 지역의 중심까지의 거리를 통해 유·출입 교통량의 총 주행거리( $L_{TO}$ ,  $L_{TI}$ )를 산출한다.

서울시에서 타 지역으로 유출된 교통량은 승용차 1,539,220대/일, 버스 718,156대/일, 화물차(소형) 140,805대/일, 화물차(중형) 26,228대/일, 화물차(대형) 15,276대/일로 유출교통량 주행거리( $L_{TO}$ )는 35,693,221,639km/년이다.

타 지역에서 서울시로 유입된 교통량은 승용차 1,383,534대/일, 버스 709,387 대/일, 화물차(소형) 192,220대/일, 화물차(중형) 35,193대/일, 화물차

**Table 7.** Traffic volume(out, in) and mileage of Seoul

Trip	Auto	Bus	truck		
			Light duty	Normal duty	Heavy duty
Traffic volume (veh/d) out	1,539,220	718,156	140,805	26,228	15,276
in	1,383,534	709,387	192,220	35,193	13,551
mileage (km/d) out	55,205,962	34,669,502	4,915,468	1,781,132	1,217,584
in	53,864,140	34,240,328	7,021,944	2,382,191	965,089

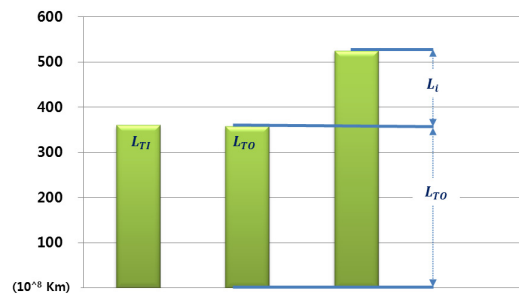
(대형)13,551 대/일로 유입교통량 주행거리( $L_{TI}$ )는 35,942,897,812km/년이다.

**3) 지역내 유·출입, 내부교통량 주행거리 ( $L_O$ ,  $L_I$ ,  $L_i$ ) 산출**

**(1) 내부교통량 주행거리( $L_i$ ) 산출**

유출교통량 주행거리와 등록차량의 주행거리를 차이를 통해 내부교통량 주행거리(세부도로 및 이면도로의 주행거리( $L_i$ ))를 산출하며 내부교통량 주행거리는 16,766,271,398km/년으로 산출된다.

$$L_i = 52,459,493,037km(Distance_{TS}) - 35,693,221,639km(L_{TO}) = 16,766,271,398$$



**Figure 7.** Origin-destination traffic volume, Internal traffic volume of base on distance traveled( $L_O$ ,  $L_I$ ,  $L_i$ ) calculation

**(2) 지역내 유·출입교통량 주행거리( $L_O$ ,  $L_I$ ) 산출**

서울시의 유·출입교통량 주행거리( $L_{TO}$ ,  $L_{TI}$ )에는 타 지역에서 주행한 거리가 포함된 거리로 지역간 거리 및 O/D비율을 통해 타지역에서 주행한 거리를 제외해준다. 서울시면적(605.25km<sup>2</sup>)을 통해 서울시의 반경 거리 18.9km( $r_i$ )를 유출입교통량의 서울시의 주행거리로 설정하며 서울시의 유출교통량 비율( $\frac{V_{ij}}{\sum V_{ij}}$ ), 유입교통량 비율( $\frac{V_{ji}}{\sum V_{ji}}$ ), 서울시 외 주행거리 비율( $\frac{L_{ij} - r_i}{L_{ij}}$ ), ( $\frac{L_{ji} - r_i}{L_{ji}}$ )을 활용하여 서울시 유·출입교통량의 서울시 내 주행거리를 산출한다. 유출교통량의 서울시내 주행거리는 19,878,574,880km이며, 유입교통량은 17,157,752,224 km로 산출된다.

**4) 도로유형별 속도적용**

서울시 도로유형별 통행량의 차종별 교통량비율을 산출된 주행거리( $L_O$ ,  $L_I$ ,  $L_i$ )에 적용하여 도로유형별, 차종

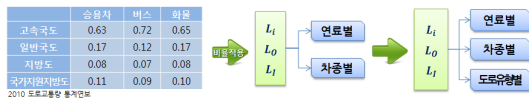


Figure 8. Application process of speed per road type

별, 연료별 주행거리 산출하고, 연료별, 차종별, 도로유형별 주행거리에 도로유형별 평균속도에 따른 배출계수 적용하여 온실가스 배출량을 산정한다.

## 2. 산정결과 및 비교

### 1) 서울시 도로부문 온실가스 배출량

본 연구에서 제시한 방법론을 적용한 결과 서울시의 도로부문에서 산출된 온실가스 배출량은 총 983.61만톤/년으로 나타난다. 이 중 서울시 내부교통량(세부도로 및 이면도로)이 배출한 온실가스는 299만톤/년, 유출교통량은 352만톤/년, 유입교통량은 332만톤/년으로 산정된다.

### 2) 산정결과 비교

주행거리 기반으로 한 온실가스 배출량 산정방법은 2가지 방법론<sup>2)</sup>으로 연구되었다. 실제교통량에 주행한 도로연장을 곱한 주행거리와 일평균 주행거리에 차량등록대수를 곱한 주행거리를 활용하여 산출하는 방법이다.

선행연구 중 『서울시 수송부문 온실가스의 상향식 인벤토리 구축에 관한 연구, 김진석, 2012』에서는 실제교통량에 주행한 도로연장을 곱하여 산출한 주행거리를 기반으로 배출량을 산정하였고 813만톤/년으로 산정되었다. 『Tier 3 수준의 도로부문 온실가스 배출량 산정, 신용일』에서는 일평균 주행거리에 차량등록 대수를 곱하여 산출된 주행거리를 기반으로 배출량을 산정하였고 950만톤/년으로 산정되었다.

또한 Tier 1 방법론인 연료판매량기준으로 산정한 온실가스배출량<sup>3)</sup>은 1,048톤/년으로 산정되었다.

Table 8. Comparison of the green house gas emission calculation result (Unit: million ton/yr)

Division	This Study	Fuel sale volume	Traffic volume × Road distance	Mileage/day ×NVR*
Greens gas Emission	983.61	1,048.00	813.00	950.37

\* NVR : The number of vehicles registered

2) 이론적 고찰 국내사례에서 제시함

3) 김진석(2012), 서울시 수송부문 온실가스의 상향식 인벤토리 구축에 관한 연구, 서울시립대학교 석사학위논문.

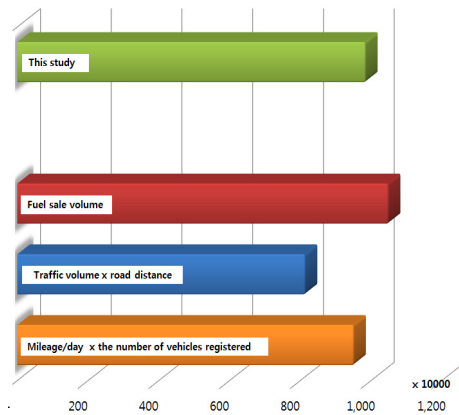


Figure 9. Comparison of the green house gas emission calculation result

## 결론 및 향후과제

### 1. 결론

본 연구에서 제시한 방법론을 서울시에 적용한 결과 연간 983.61만 톤의 온실가스가 배출되는 것으로 산정되었다. 기존 연구방법인 ‘교통량×도로연장’와 ‘평균주행거리×차량등록대수’는 연간 813만 톤, 950.37만 톤이 산출되는 것으로 산정되었으며 본 연구 방법론보다 적게 산정되었다. 이는 세부도로 및 이면도로의 교통량과 유입교통량이 고려되지 않아 적게 산정되었을 것으로 사료된다. 또한 연료판매량 기준으로 산정시 연간 1,048만 톤이 산출되었고 본 연구의 방법론을 적용하여 산출한 값 보다 높게 산정되었다. 이는 해당지역에서 주유를 하고 타 지역에서 주행을 하거나, 연료가 도로교통부에서 사용되지 않았을 경우 때문이라 추정된다.

본 연구는 활동도가 있는 교통관련데이터들의 통합·연계를 통해 지역별, 차종별, 연료별, 속도를 고려한 활동자료(주행거리)를 구축하였다. 따라서 기존 방법론보다 체계적이며 신뢰도 있는 도로부문의 온실가스 배출량 산정이 가능하고, 온실가스 배출기준인 지역별로 산정이 가능함에 따라 지자체별 온실가스 저감정책에 활용도가 높을 것으로 판단된다.

### 2. 향후과제

본 연구는 온실가스 배출기준인 지역별로 산정하기위

해 KTDB O/D 및 교통통계데이터를 통해 통행패턴 (유·출입 교통량, 내부교통량)을 고려한 tier3의 활동 자료(주행거리)를 개선하여 신뢰성 있는 주행거리구축을 목표로 하였다.

하지만, 정확한 온실가스 배출량 산정을 위해서는 다음과 같은 추가적인 연구가 필요하다. 첫째, 온실가스 배출량을 산정하고자 하는 지역의 통과교통량의 정확한 실제 데이터 확보가 어려워 본 연구에서는 통과교통량의 주행거리는 제외하였다. 따라서 향후 해당지역의 통과교통량을 포함한 주행거리 산출방안마련을 위해 심층적인 연구가 필요하다. 둘째, 본 연구에서 활용된 교통안전공단의 주행거리자료는 표본조사(등록차량의 30%조사, 등록일 부터 4년 이내 차량제외)를 통해 산정된 자료로 대표성에 문제가 있음에 따라 표본조정(통계보완 등)을 통해 향후 개선된 주행거리데이터를 활용한다면 보다 신뢰성이 있을 것이다. 셋째, 활동특성으로 사용되는 다양한 데이터 간 차종분류, 배출계수의 차종분류가 동일하지 않아 차종매칭 및 비율의 재분류를 통하여 온실가스 배출기준의 지역별, 도로유형별, 차종별, 연료별 주행거리를 산출함에 따라 정확도가 다소 결여될 수 있다. 따라서 온실가스 배출계수와 활동데이터들의 동일한 차종구분 구축이 필요하다.

마지막으로 지역간, 지역내 거리산정에 있어서 유출입 통행량이 각 존의 센트로이드(중심점)를 기준으로 주행함을 가정하였다. 중심점은 해당존의 활동 중심지에 위치하도록 구축하기에 연구결과에 미치는 영향을 최소화하였지만, 실제 모든 차량의 O/D가 중심점이 아님에 따라 배출량산정량이 과대·소 평가될 수 있는 한계점을 가지고 있다.

향후 위에서 제시한 연구가 진행될 경우, 활동특성이 반영된 다양한 데이터의 연계를 통해 온실가스배출량 산정에 있어 보다 신뢰성 높은 산정 결과의 도출이 가능해지고, 보다 합리적인 지자체 탄소배출 관리정책의 시행이 가능할 것이다.

## REFERENCES

- Bu-san si (2007), Greenhouse Gas Emission Reservice.
- Environment Management Corporation (2009), 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Application for Local Greenhouse Gas Emission Calculation Guidelines.
- Hwang B. K. (2010), Analysis and Prospect on Green House Gas Emission sin Korea by Using Bottom-Up Model, Keimyung University.
- IPCC (2008), 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Inventories.
- Kim J. G., Lee D. G. (2009), Estimation of the Greenhouse Gas Emission From Road Source by Utilization and Integration of Road, Traffic and Statistical Data, Eco-Frontier, Sustainability Issue papers, 113.
- Kim J. S. (2012), A Study on the Development of Bottom-Up Greenhouse Gas Inventory Data Base With Transportation Sector In Seoul, University of Seoul.
- Kim T. H., Lee S. I., Kim Y. I., Rho J. H. (2010), Comparison Study of Generated Greenhouse Gas(GHG) Amount Estimation From Road Transportation, Daewoo Construction Technology Report, 58(9), 68-73.
- Korea Expressway (2012), Greenhouse Gas Inventories Deployment Research and Information Management.
- Korea Transportation Safety Authority (2011), Analysis of Automobile Mileage of 2010.
- Ministry of Environment (2008), GHG Emission Inventory and Emission Factor Development in Environment Sector.
- Ministry of Land Transport and Maritime Affairs (2011), Sustainable National Transportation and Logistics Master Plan.
- Oh I. H., Lee S. H., Cheong J. P., Kim T. H., Seo J. Y. (2009), Evaluation of Greenhouse Gases by Transportation Using Traffic Census Results From Changwon City, Journal of the Environmental Sciences, 18(7), 747-754.
- Oh S. E. (2012), Development of Evaluation Model for Carbon Emission Reducing Policy in Transportation, Korea Aerospace university.
- Park S. K., Kim S. D., Lee Y. I. (2001), Comparative Study on the Methodology of Motor Vehicle Emission Calculation by Using Real-Time Traffic Volume in the Kangnam-Gu, J. Korean Soc. Transp., 19(4), 35-47.

- Reynolds A. W. (2000), Development of an Emissions inventory for Mobile source, Transportation Research Part D5, 77-101.
- Ryu B. Y., Bae S. H., Han S. Y., Kim G. Y. (2011), Comparative Study for Estimation of Greenhouse Gas for Local Government's Sustainable Transport, J. Korean Soc. Transp., 29(5), 55-65.
- Shin Y. I., Jung H., Lee J. K., Choi S. H., Jeong E. R., Lee H. J., Park Y. S. (2010), Estimation of the Greenhouse Gas Emission From Road Source by the Tier 3, KSAE 2010 Annual Conference, 699-704.
- The Korea Transport Institute (2007), A Framework for Sustainable Transport and Logistics Policies.
- The Seoul Institute (2009), Understanding CO2 Emissions From Transport Sector Toward Developing Reduction Strategies.

알림 : 본 논문은 2012년 공주대학교 학술연구지원사업의 연구비지원에 의하여 연구되었으며, 공주대학교 도시·교통공학과 배보람(2013) 석사학위논문(지도교수 김경석)을 수정·보완하여 작성한 것입니다.

- ☞ 주 작성자 : 배보람
- ☞ 교신저자 : 김경석
- ☞ 논문투고일 : 2013. 8. 19
- ☞ 논문심사일 : 2013. 9. 26 (1차)  
2014. 2. 11 (2차)
- ☞ 심사판정일 : 2014. 2. 11
- ☞ 반론접수기한 : 2014. 6. 30
- ☞ 3인 익명 심사필
- ☞ 1인 abstract 교정필