

## 지역단위 도로교통 탄소배출 인벤토리구축 방법론

신용은\* · 고광희\*\*

Shin, Yong Eun\*, Ko, Kwang Hye\*\*

### Region-wide Road Transport CO<sub>2</sub> Emission Inventory

**ABSTRACT** : Due to its excessive CO<sub>2</sub> emissions, road transport sector becomes a target for emission reduction strategies. Although precise and reliable emissions inventories are necessary for evaluating plans and strategies, developing the region-wide inventory is a difficult task mainly because of a lack of data including travel patterns and modal volumes in the regional context. Most existing inventory methodologies employ fuel sale data within the target region, which ignores actual regional traffic patterns and thus not suited to its geographical context. To overcome these problems, this study develops region-wide CO<sub>2</sub> emissions inventory methodology by utilizing the Korea Transport DB (KTDB). KTDB provides a number of useful information and data, such as road network with which one can identify in and out trips over the entire region, traffic volumes of various modes, distance of travel, travel speed and so on. A model of equations that allow the computation of volume of CO<sub>2</sub> emitting from the road transport activities within the target region is developed. Using the model, numerical analyses are performed for the case of Busan Metropolitan City to demonstrate the applicability of the developed model. This study is indeed exploratory in the sense that using the existing data, it develops the CO<sub>2</sub> emissions inventory methodology which can produce better results than those from conventional fuel sales methodology. This study also suggests further research directions to develop more refined methodologies in region-wide basis.

**Key words** : CO<sub>2</sub> emission inventory, road transport, KTDB, energy intensity, Busan Metropolitan City, region-wide

**초록** : 기후변화에 대응하여 수송부문의 탄소배출 저감노력이 세계적인 이슈가 되고 있다. 특히, 지역단위의 수송부문 탄소배출 저감전략의 수립 및 효율 집행을 위해서는 정밀한 탄소배출 인벤토리 구축은 필수적이나, 현재 도로교통의 특성과 수단의 다양성, 통행패턴의 복잡성 등 자료수집 한계로 신뢰성 있는 지역단위 인벤토리는 개략적 산정에 그치고 있는 실정이다. 본 연구는 이와 같은 문제점을 극복하기 위해 국가교통DB의 자료를 활용하여 지역단위 도로교통 탄소배출 인벤토리 구축 방법론을 제시하였다. 이를 위해 국가교통DB 포함 자료 중 CO<sub>2</sub> 관련 속성을 파악하고, 이에 적합한 CO<sub>2</sub> 산정식을 도출하여 인벤토리 모형을 구축하였다. 구축된 모형의 적용성을 검토하기 위해 부산시를 사례로 2008년도 기준 도로부문의 탄소배출량을 산정하여 기존 연구결과와 비교분석하였다. 또한, 연구의 결과를 기초로 더욱 정밀한 인벤토리 구축을 위한 향후 연구방향을 제시하였다.

**검색어** : 온실가스 인벤토리, 도로교통, 국가교통DB, 배출계수, 부산시, 지역단위

\* 정회원 · 동의대학교 도시공학과 정교수 (Corresponding Author · Professor, Dongeui University · [yshin@deu.ac.kr](mailto:yshin@deu.ac.kr))

\*\* 동의대학교 공과대학원 도시공학과 석사 ([ko8407@nate.com](mailto:ko8407@nate.com))

Received October 5 2012, Revised October 22 2012, Accepted October 31 2012

## 1. 서론

### 1.1 연구 배경

제1차 지속가능 국가교통물류발전 기본계획(2011- 2020)에 의하면 2020년까지 교통부문의 온실가스 배출량을 BAU (Business As Usual)대비 34.3% 감축을 목표를 제시하고, 지자체별로 이를 달성하기 위한 감축계획을 수립·집행토록 권고하고 있다.

지역단위의 온실가스 감축 계획 수립과 효율적 집행을 위해서는 주기적 업데이트가 가능한 이산화탄소 배출 인벤토리(CO<sub>2</sub> Emission Inventory) 구축이 필수 조건이다. 인벤토리의 구축은 배출량의 파악이란 기초적 자료제공 외에 배출량 결정요소들의 상대적 영향력도 파악할 수 있기 때문에 감축계획 수립 시 정책의 효과분석 도구로 활용이 가능하다.

2009년도 온실가스종합정보센터의 국내 탄소 배출량 정보에 의하면 수송부문은 총배출량의 16.0%를 차지하고 있으며, 수송량 증가와 더불어 1990년부터 연평균 4.7%<sup>1)</sup>의 증가율로 세계 최고 수준으로 나타났다. 특히, 2008년 기준 도로부문은 수송부문 배출량의 94.7%를 차지하여 향후 감축계획의 핵심부문이 될 것으로 보인다.

간 도로부문 온실가스 인벤토리 구축은 UN의 기후변화정부간위원회(Intergovernmental Panel on Climate Change-IPCC)에서 제시한 이동오염원(Mobile Combustion)의 온실가스 배출량 산정법을 활용하여 연료소비량, 차량등록대수 및 연간통행거리 등을 적용하여 주로 국가단위의 인벤토리를 산정하여 왔다. 그러나 지역단위로는 지역 경계를 초월하는 통행의 복잡성, 화물차량을 포함한 교통수단의 다양성 및 통행패턴의 복잡성 등으로 인한 자료수집의 방대함과 어려움으로, 정밀하고 신뢰성 있는 인벤토리 구축이 이루어지지 못하고 있다. 현재 대부분의 지자체는 국가단위 배출량을 기준으로 지역별 소비량 비율, 지자체 등록차량 대수 및 연간 평균 통행거리를 적용한 개략적인 배출량 산정에 그치고 있는 실정이다.

신뢰성 있고 정밀한 이산화탄소 배출 인벤토리 구축은 지역단위의 종합적인 교통부문 기후변화 대응계획 수립과 집행에 필수적인 기초자료이기 때문에 지자체의 적극적인 교통부문 온실가스 저감노력이 요구되는 시점에 지역단위에서 발생하는 교통패턴과 특성이 고려된 이산화탄소 배출 인벤토리 구축 방법론의 제시가 절실하다고 하겠다.

### 1.2 연구 목적

Dututa와 Bishins(2010)는 지역단위의 교통부문 인벤토리

산정의 가장 큰 장애요인으로 방대한 자료량과 시간 소비적인 수집과정으로 지적하였다. 이와 같은 문제를 극복하기위해 본 연구는 국가교통DB(KTDB)를 활용하여 도로부문 지역단위 탄소배출의 배출 인벤토리 구축을 목적으로 한다. 또한 구축된 방법론을 기초로 부산광역시를 사례로 도로부문 배출량을 산정하여 제시된 방법론의 적용성을 검토한다.

KTDB는 국가에서 정기적으로 구축하여 제공되는 신뢰성 높은 자료이며, 탄소 배출량 산정 시 요구되는 활동량(통행거리, 통행속도, 수단별 교통량 등)을 포함하고 있고, 전국을 연결하는 광범위한 도로 네트워크 구축으로 지역 간 통행패턴의 파악이 가능하여 지역단위 인벤토리 구축 시 필요한 자료가 풍부하다고 할 수 있다. 더욱이 기존자료의 활용으로 자료수집에 따른 시간·비용의 절감이 가능하고, 정밀하게 제작된 도로 네트워크를 활용함으로써 지역단위의 통행특성, 수단별 교통량, 통행거리 등을 보다 용이하게 고려할 수 있다는 장점이 있다.

## 2. 기존 GHG 배출량 산정식

지역단위 배출량 산정방법을 검토하기 전에 우선 일반적으로 활용되는 온실가스(GHG)배출량 산정방법을 살펴본다.

IPCC 지침은 배출량 산정식을 3가지(Tier 1, Tier 2, Tier 3)로 구분하여 제시하고 있다. 방법의 선택은 자료의 유효성과 배출원의 중요도에 따라 결정될 수 있는데, Tier 3이 가장 정교하나 반면 자료수집량이 방대하여진다.

Tier 1은 에너지부문 산정식과 동일한 방법으로 연소기술을 고려하지 않고 기초 자료가 미비할 때 사용하며, 연료별 소비량과 연료소비량에 대한 배출계수를 이용하여 탄소배출량을 산정한다. Tier 2은 Tier 1방법과 동일하게 연료소비량을 기준으로 하나, 배출량 산정에 영향을 미치는 요인(연료 및 수단의 종류 혹은 배출저감기술 등)을 반영하기 때문에 Tier 1과 비교할 때 보다 정밀한 방법이라 할 수 있다. 마지막으로 Tier 3의 경우 차량의 활동량(수단종류, 배출저감기술, 주행환경 등)과 연료혼합 비율 등의 고려한 배출계수와 주행거리 및 차량의 공회전으로 발생하는 배출량 등 다양한 요소들을 고려하기 때문에 앞선 두 방법에 비해 정밀한 탄소배출량 산정이 가능하나, 반면 매우 방대한 자료가 요구된다.

Schipper, Gorham and Marie(2000)는 ASIF(모형2)을 제시하였으며, 이는 (1)과 같이 표현된다.

$$G = A \times S \times I \times F \quad (1)$$

1) 녹색성장위원회, 2008년 교통부문 온실가스 배출량, 전년대비

2) Activity, Structure, Intensity, Factor(ASIF)

여기서,  $A$  : 총 교통 Activity(교통량)  
 $S$  : 주행거리 혹은 인-km  
 $I$  : 에너지 계수  
 $F$  : 배출량(단위당에너지/단위통행/단위거리)

Shipper 등은 온실가스 배출량은 활동계수, 수단분담률, 운전행태 등의 함수이며, 배출량 산정의 정확성을 높이기 위해서는 1인당 온실가스 배출량, 통행속도 및 도시 내 혼잡수준 등을 고려해야 하나 자료수집의 어려움과 상황에 따라 유연성을 지니기 때문에 연구자는 정확성과 용이성 사이에서 균형을 고려하는 것이 중요하다고 지적하였다.

### 3. 관련연구

그동안 국가단위 탄소배출량 산정에 차중하여 지역단위 탄소배출 인벤토리 구축 연구는 매우 제한적으로 이루어져 왔다.

한국교통연구원(2008년)은 IPCC의 배출량 산정방법으로 연간 광역시·도별 교통부문 온실가스 배출량 산정<sup>3)</sup>을 수행하였다. 이를 위해 석유류 수급통계자료와 IPCC 배출계수를 이용하여 Tier 1을 적용하여 차종별·지역별 탄소 배출량을 산정하였으나, 주유소 판매 연료소비량이 모두 교통부문으로 사용된다는 가정과 LPG 사용량이 제외되었다는 점에서 광역시·도의 정밀한 산정치로 간주하기에는 문제가 있다. 동일연구에서 Tier 2와 차종별 분류 및 연비를 적용하고, 지역별 차량등록대수 및 차량 통행거리 실태조사를 통하여 광역시·도별 온실가스 배출량을 산정하였으나, 그 결과 역시 전체 등록차량의 통행거리가 동일하다는 점과 시계 유출입통행에 대한 온실가스 배출량 산정이 배제되었다는 단점이 있다. 마지막으로 지점 통행량과 속도조사자료 및 차속별 배출계수를 이용한 Tier 3의 경우, 조사 자료가 지점조사로 한정되어 자료의 대표성이 낮아 신뢰성 있는 산정치로 간주하기에는 어려움이 있다.

천성문(2010)은 「서울지역 도로수송부문에서의 이산화탄소 배출량 추정연구」에서 간선도로와 이면도로의 탄소 배출량을 산정하였다<sup>4)</sup>. 위 연구에서는 각 교차로별 교통량 및 연간 총 주행거리를 기초로 간선도로 배출량을 산정하고, 연료판매량 기준 총 배출량과의 차이를 이면도로 배출량으로 간주하였다. 그 결과를 GIS를 활용하여 시 전역을 격자별로 구분하여 배출량으로 표현하였다. 그러나 소형과 대형만으로 구분된 차종구분의

단순성과 속도 등이 고려되지 못한 단점이 있다.

부산시(2007)는 온실가스 배출량 조사용역 보고서에서 배출원에 대하여 각 부문별·경로별 배출량 특성조사<sup>5)</sup>와 Tier 3 적용 및 각 차량별 배출량을 합산하여 총배출량을 산정하였고, 또한 시계 유출입통행 탄소 배출량 산정을 위하여 지점교통량(14개 지점)을 실측하여 배출량을 산정하였다. 그러나 전일 교통량이 아닌 13시간 교통량을 적용하고 차량별로 동일한 주행속도와 통행거리를 적용했다는 점에서 실제 배출량과는 다소 거리가 있다고 할 수 있다.

경기개발연구원(2008)은 시·군 단위 배출량 산정식을 검토하여 배출목록 평가시스템을 개발하였다<sup>6)</sup>. 평가시스템은 차종별로 연료소비, 운행특성, 배출제어 등 여러 요소들을 고려하고, 배출계수는 차종과 도로종류에 따라 상이하게 적용하는 등 정밀한 산정에 초점을 두었으나, 배출계수 산정시 동일한 평균 주행속도 및 통행거리의 적용과 시계 유출입통행으로 발생하는 배출량은 고려하지 못한 문제점이 있다.

국외의 경우 Dututa와 Bishins(2010)는 지역단위 교통부문 탄소 배출량 인벤토리 구축 방법의 사례연구를 통해 각 지역/도시들이 선택한 다양한 방법론을 제시하고, 방법론 선택 시의 정확성과 단순성 간의 trade-off에 따른 복잡성과 불가피성을 지적하면서도 궁극적으로 지역 혹은 도시간은 비교가 가능한 표준화된 방법론의 필요성을 주장하였다(Table 1 참조).

국제자치단체환경협의회(ICLEI)가 개발한 HEAT 프로그램은 차종별 총 통행거리(Vehicle kilometer traveled-VKT) 또는 연료소비량 등 특정 배출요인을 사용하여 여객 및 화물교통의 배출량을 산정하고, 일정한 경계 내에서 발생하는 모든 통행을 포함하여 지역단위에 적용이 가능하지만, 실제로 자료수집상의 문제로 고속도로 통행을 제외한 문제점과 유류판매량에 의존한 단점이 있다.

CST-India의 경우 대도시 지역 도시교통부문 탄소배출량 산정에 적용 가능한 자료를 수집하기 위하여 통행설문조사를 실시하였으며, 수집된 자료를 토대로 여객교통량을 도출하여 적용하였다. 그러나 설문조사시 1인당 1일 통행횟수에 대한 정보만을 수집하고, 통행거리 및 차량배기가스 등은 연구자의 주관적 판단으로 온실가스 배출량이 산정되었다. 즉, 기본적인 데이터 구축이 매우 미흡한 상태에서 연구결과가 도출되었다.

샌프란시스코시는 여객 및 화물통행에 대한 자체적 배출인벤토리를 구축하고 있다. 이를 위해, 통행의 출발지와 목적지에 따라 배출량 산정식을 다르게 적용하고 있고, 통행유형을 내부

3) 한국교통연구원, 2008년 「국가교통수요조사 및 DB구축사업」 교통부문 온실가스 배출량 조사  
 4) 천성문, 서울지역 도로수송부문에서의 이산화탄소 배출량 추정연구, 2010

5) 부산시, 온실가스 배출량 조사용역(최종보고서), 2007  
 6) 경기개발연구원, 경기도 온실가스 배출량 산정 시스템 개발, 2008

Table 1. Studies on CO<sub>2</sub> Inventory Methodologies (WRI 2010)

Inventory name	Scale	Data required	Collection method	Limitations
HEAT	City	VKT, Fuel sale	Not specified	Ignore in&out freeway traffic
CST-India	Metro.	VKT, Occupancy, em. factors	Travel surveys, assumptions	Poor data availability
SF	City	VKT by trip type, transit emission	Not specified	Possible inaccuracy of transit emission
COPERT	Any scale	VKT, vehicle composition	Not specified	Not include occupancy counts
Portuguese Model	City	GPS data, trip model	Aerial tracking, GPS collection, counts & survey	Not include occupancy counts
IVE	Any scale	VKT, vehicle composition, activity data	Travel surveys, counts	Too small sample
World Bank	Any scale	Vehicle inventory, fuel efficiency, VKT	Varied by location	Not for cross-city comparison
GEF	Metro.	Modal split, avg. distance, vehicle composition	HH travel survey or counts	Method not consider boundary crossing traffic

통행과 외부통행, 통과통행의 3가지로 구분하였다. 통행유형별 배출량 산정식은 내부통행의 경우  $VKT \times \text{배출계수} / \text{통행거리}$ 로 적용하고, 외부통행은 내부통행의 절반만을 고려하며, 통과통행은 배출량에서 제외하였고, 또한 대중교통부문에 대한 산정이 부정확한 문제점이 있다.

그 외 World Bank, 포르투갈, IVE에서 다양한 방법으로 지역단위 배출량 산정을 시도하였으나 여러 가지 이유로 정밀한 산정에는 한계를 나타내고 있다. 요약하면 국내외를 막론하고 인벤토리구축의 가장 큰 장애요인을 필요자료의 부족 및 자료수집의 한계로 지적하고 있다.

이에 따라 본 연구는 자료수집의 한계 극복의 방법으로 KTDB를 활용토록 하였으며, KTDB 활용의 가장 큰 장점은 기존연구에서 문제점으로 지적된 통과교통(유출입교통량 포함), 통행거리, 차종구분 및 속도변수 등을 고려할 수 있다는 점이다.

## 4. GHG 인벤토리 모형

### 4.1 국가교통DB(KTDB) 개요

국가교통DB센터를 통하여 정기적으로 구축 및 제공하는 KTDB는 교통관련 시설(도로, 철도, 항만, 물류 등) 및 수단의 운영실태, 교통량, 네트워크 등에 관한 기초자료를 수집되며, 교통정책 및 계획수립, 관련 연구 등에 유용하게 활용될 수 있는 자료들로 구성되어 있다.

KTDB에는 「전국 지역 간 네트워크」와 「전국지역간 여객 O/D」 및 「전국 톤급별 자동차 교통량 O/D」를 포함하고 있으며, 가장 최신 자료로는 장래수요분석용으로 제공되는 2008년 말 기준의 「전국 지역 간 네트워크」, 장래분석을 위해 5년 단위(2011년, 2016년, 2021년, 2026년, 2031년, 2036년)로 수정·보완된 네트워크이다.

네트워크는 도로와 철도네트워크로 구분되어 있으며, 구간별로 거리를 포함한 다양한 속성값이 주어져 있다. 여객교통량은 2008년 말 행정구역상 시·군·구 단위를 기준으로 「165개 존 O/D」와 「248개 존 O/D」로 구분 제공되고, 화물교통량은 「전국 톤급별 자동차 교통량 O/D」로 제공된다. 도로화물 물동량 O/D와 화물자동차 O/D는 존 내부통행을 포함하고, 차종의 구분은 소형화물차, 중형화물차, 대형화물차로 구분하여 제공되고 있다.

### 4.2 연구접근방법

본 연구는 KTDB 2008년 기준 「전국 지역 간 네트워크」에 「248개 존 O/D」 여객교통량자료와 「전국 톤급별 자동차 교통량 O/D」를 기초로 Trans-Cad를 활용하여 각 Link에 목표연도의 차종별 교통량을 배정한 후 Fig. 1에 제시된 4단계 과정으로 연구를 진행한다.

첫째, 지역 혹은 지자체로 구분되는 연구지역이 결정되면, 전국 행정구역 Layer와 네트워크 Layer를 겹쳐 정확히 대상지를 설정한다. Fig. 2는 부산광역시를 사례지역으로 대상지를 설정한 경우이다.

둘째, 도로 Network은 Fig. 3과 같이 구간별로 다양한 속성값이 주어져 있다. 이와 같은 속성값 중에 탄소배출량 산정 시 필요한 속성값으로 차종별 교통량, Link 거리(km) 및 통행시간을 선택하였다. 즉, 설정된 지역 내 네트워크에 Link 별 차종별 교통량을 배정하면, Fig. 3과 같이 탄소배출량 산정에 필요한 구간통행속도 및 구간의 차종별 교통량이 구해진다.

셋째, 산정식에 적용할 배출계수를 결정한다. 이상적으로는 KTDB의 차종별 구분과 일치하는 차종별 배출계수를 적용해야 하나, 현재까지 이와같은 계수는 존재치 않는다<sup>7)</sup>. 따라서 본

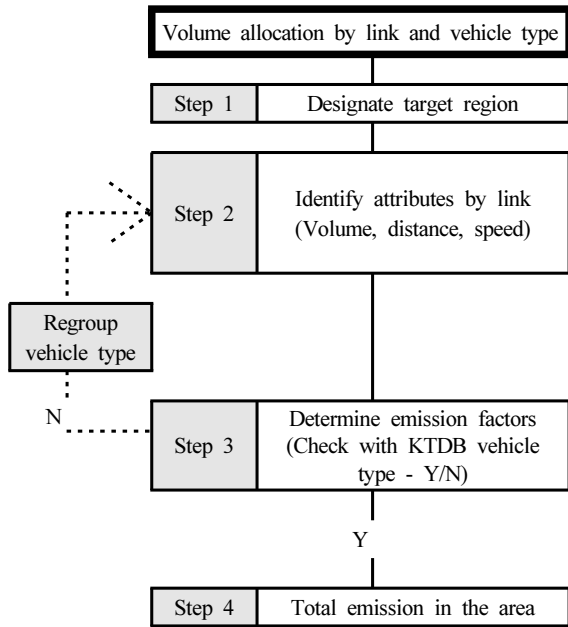


Fig. 1. CO<sub>2</sub> Inventory Process



Fig. 2. Example of Study Area

연구에서는 KTDB의 차종을 재분류하여 현재까지 국내에서 제시된 가장 근사한 차종별 배출계수를 적용하였다.

마지막으로 교통량, 통행거리, 배출계수 자료를 활용하여 아래 제시될 GHG 산정식을 적용하여 지역단위 도로교통 탄소 배출량을 계산한다.

### 4.3 탄소배출량 산정식

본 연구가 KTDB의 자료를 활용하여 지역단위 GHG 인벤토리

7) IPCC에서는 교통부문 탄소배출량 산정을 위한 차종별 배출계수를 제시하고 있으나 연구 방법 및 목적, 국가, 기관 등에 따라 상이한 수치가 적용될 수 있다고도 지적하고 있음.

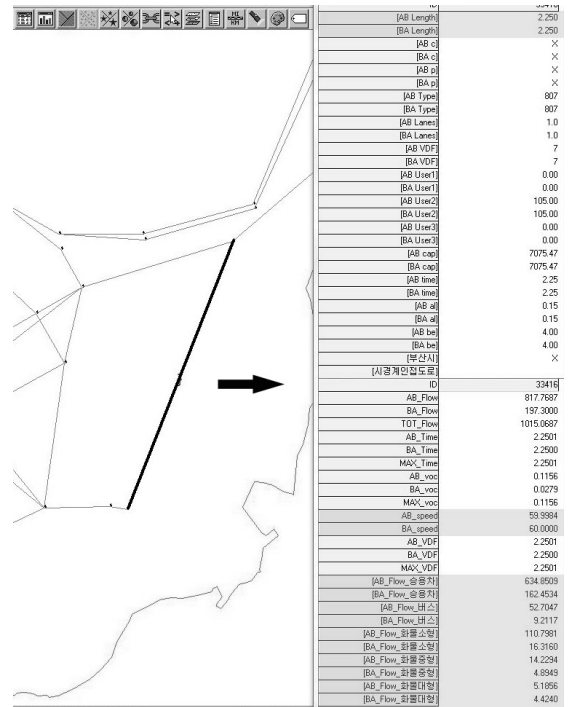


Fig. 3. Example of 33416 Link Attributes

리 구축을 목적으로 하므로 이에 적합한 탄소배출량 산정식이 요구된다. 위에서 설명하였듯이, Link별/차종별로 배출량을 산정하며, 이 경우 설정된 지역 내의 모든 Link/차종별 배출량의 합이 총배출량이 된다. 또한, 지역경계를 가로지르는 Link 상의 교통량은 지역 내 통행과 지역 외 통행(즉 시계 유출입 통행)으로 구분되기 때문에 지역 내 탄소배출량과 시계 유출입통행 탄소배출량으로 구분되어 계산되어야 한다.

따라서 본 연구에서는 지역 내 탄소배출량 산정식과 시계 유출입통행 탄소배출량 산정식을 구분하여 식 (2)와 식 (3)과 같이 각각 도출하였다.

$$E_a = \sum_d \sum_j \sum_i (e_{ijd}(v) \times \left(\frac{P_{ijd}}{O_{ijd}}\right) \times L_{jd}) \quad (2)$$

여기서,  $E_a$  : 지역 내 탄소배출량(g/일)  
 $e_{ijd}(v)$  : j구간에 i수단의 방향별 배출계수(g대·km)  
 $P_{ijd}$  : j구간에 i수단의 방향별 1일 사람통행(인일)  
 $O_{ijd}$  : j구간에 i수단의 방향별 평균 재차인원(인대)  
 $L_{jd}$  : j구간의 방향별 길이(km)

$$E_b = \frac{1}{2} \sum_d \sum_k \sum_i (e_{ikd}(v) \times \left(\frac{P_{ikd}}{O_{ikd}}\right) \times L_{kd}) \quad (3)$$

여기서,  $E_b$  : 시계 유출입통행 탄소배출량(g/일)  
 $e_{ikd}(v)$ : k구간에 i수단의 방향별 배출계수(g/대·km)  
 $P_{ikd}$  : k구간에 i수단의 방향별 1일 사람통행(인/일)  
 $O_{ikd}$  : k구간에 i수단의 방향별 평균 재차인원(인/대)  
 $L_{kd}$  : k구간의 방향별 길이(km)

식 (3)에서  $\frac{1}{2}$ 을 적용한 이유는 KTDB의 네트워크상에서 시계 유출입통행의 경계 내부 및 외부 구간거리의 파악이 불가능하여 이를 보정하기 위한 보정계수로서 단순히 Link 거리의 절반거리를 가정한 것이다.

따라서 지역단위 도로교통 탄소배출량 산정식은 단순하게 지역 내 탄소배출량과 시계 유출입통행 탄소배출량을 합한 식 (4)와 같이 표현할 수 있다.

$$E_T = E_a + E_b \quad (4)$$

여기서,  $E_T$ : 지역단위 탄소배출량(g/일)

## 5. 사례적용(부산시)

### 5.1 개요

본 연구에서 제시한 탄소배출 인벤토리 모형의 수치적 적용성을 검토하기 위해 부산시를 사례로 도로교통부문의 탄소배출량을 산정하였다.

위 제시된 과정에 따라 우선 KTDB 「전국 지역 간 네트워크」의 전국 Link 수 37,901개 중 부산시의 연관된 Link 수인 1,423개를 이용하여 대상지를 설정하였다. 이는 Fig. 4와 같이 표현되며, 시계 유출입통행 Link 수는 총 14곳으로 파악되었다.

다음 단계로 1,413개 Link 상의 필요 속성값들을 파악하고, 통행속도를 고려하기 위해 「철도투자평가편람」에서 제시된 배출계수를 활용하였다. 단, KTDB의 차종별 분류와 「철도투자평가편람(2006)」의 차종별 분류가 일치하지 않기 때문에<sup>8)</sup> 지역의 차종별 비율을 적용하여 KTDB의 차종을 선택된 배출계수에 적합하게 Table 2와 같이 재분류하였다.

여기서 KTDB의 승용차와 소형승합차의 합을  $Q_{a+b}$ 로 정의하고, 지역의 승용차 비율(A%)을 적용하여 승용차  $q_a$ 와 소형승합차  $q_b$ 로 재구분한다. 버스는 중형버스와 대형버스의 합을  $Q_{c+d}$ 로 하며, 지역의 중형버스 비율(B%)을 적용하여 중형버스

8) KTDB는 승용차(승용차+승합차), 버스(중형버스+대형버스), 소형화물차, 중형화물차, 대형화물차로 구분되나 「철도투자평가편람(2006)」은 승용차, 소형승합차, 중형승합차, 대형승합차, 소형화물차, 중형화물차, 대형화물차로 분류하고 있다.



Fig. 4. Road Network in Busan

Table 2. Vehicle Composition in Busan

KTDB		
$Q_{a+b}$ : Passenger car + Multi-purpose car		
$Q_{c+d}$ : Minibus + Regular bus		
$Q_T$ : Truck		$q_e$
		$q_f$
		$q_g$
↓		
Vehicle composition		
$Q_{a+b} \times 91.6\% = q_a$		
Multi-purpose car	Small	$Q_{a+b} \times (100\% - 91.6\%) = q_b$
	Medium	$Q_{c+d} \times 19\% = q_c$
	Full	$Q_{c+d} \times (100\% - 19\%) = q_d$

Source: Busan vehicle registration (2008)

$q_c$ 와 대형버스  $q_d$ 로 재구분한다. 마지막으로 화물차는 KTDB와 「철도투자평가편람」의 분류가 동일하여 별도의 과정을 거치지 않으며, 지역의 승용차 및 중형버스 비율은 지역의 등록차량대수를 활용하였다.

마지막으로 통행거리는 「전국 지역 간 네트워크」의 Link 속성값 중 Link 길이(Length)가 된다.

### 5.2 탄소배출량 산정결과

제시된 식 (2), (3) 및 (4)를 활용하여 2008년도 기준 부산시 도로교통 탄소배출량을 산정하였다. 2008년도 기준 부산시 도로교통에서 발생하는 탄소배출량을 산정하였다. 그 결과 부산시의 연간 도로교통 탄소배출량은 2,163,660.31 TCO<sub>2</sub>이며, 그 중 여객통행에 의해서는 59.83%인 1,294,601.31 TCO<sub>2</sub>, 화물통행

은 40.17%인 869,058.98 TCO<sub>2</sub>로 파악되었다.

수단별 탄소배출량(Table 4 참조)을 살펴보면 승용차 비율이 42.0%로 대부분을 차지하고 있으며, 중형승합차는 1.2%로 가장 낮은 비율을 차지하였다. 화물수단 중에서는 대형화물차의 비중이 가장 높게 나타났으며, 이는 물류허브인 부산시의 특성 상 컨테이너 화물수송을 위한 화물차운행의 인한 결과로 설명할 수 있다.

여기서 대형승합차 대부분은 대중교통인 시내버스라고 간주할 수 있으며, 승용차와 비교할 시 탄소배출량이 1/4 수준임을 알 수 있다.

마지막으로 지역별 구분은(Table 5 참조) 지역 내 통행에 의한 탄소배출량이 2,138,388.23 TCO<sub>2</sub>(98.83%)이며, 시계 유출입통행에 의한 탄소배출량은 25,272.08 TCO<sub>2</sub>(1.17%)로서 시계 유출입통행 탄소배출량의 영향력은 매우 미비한 것으로 나타났다.

본 연구결과와 한국교통연구원의 「교통부문 온실가스 배출량조사」 결과를 비교하면, 한국교통연구원에 의한 부산시 도로 부문 Tier 1 적용 시 탄소배출량은 4,746,206 TCO<sub>2</sub>, 그리고

Tier 2 적용 시 4,093,370 TCO<sub>2</sub>로 각각 제시되었으며, 본 연구의 결과와 큰 차이를 보인다. 그 이유는 KTDB 「전국 지역 간 네트워크」는 중간선도로 및 보조간선도로의 정보만을 제공하며, 집산도로 및 국지도로와 같은 이면도로의 정보는 포함하지 않아 실제 본 연구가 집산 및 국지도로의 교통량을 산정치 못한 단점이 있기 때문이다. 향후 KTDB에서 전국의 모든 도로정보를 포함한 네트워크를 구축하여 제공할 시 더욱 정밀하고, 신뢰성 있는 결과를 얻을 수 있을 것으로 사료된다.

마지막으로 승용차와 대형화물차의 배출량이 가장 많은 비중을 차지하는 것으로 파악되었으며, 따라서 향후 부산시 감축정책의 초점을 승용차와 대형화물차의 배출량 감축에 두어야 할 것으로 판단된다.

## 6. 결론

지나친 탄소배출에 따른 기후변화와 에너지 문제가 세계적 이슈화되고 있으며, 이에 따라 수송부문에 관한 탄소배출 저감을 전 세계적 정책적 노력이 적극 진행 중이다. 수송부문 탄소배출 문제를 효율적으로 다루기 위해 탄소배출량의 대부분을 차지하는 도로부문의 탄소배출 인벤토리 구축이 필수적인 사항이나, 아직 도로교통의 이동특성과 수단의 다양성, 통행의 복잡성 및 자료수집 한계로 신뢰성 있는 인벤토리 구축을 위한 정밀한 산정보다는 개략적 산정에 그치고 있다.

본 연구는 자료수집의 어려움을 극복하기 위해 KTDB를 활용한 배출량 산정으로 더욱 정밀하고 신뢰성 있는 탄소배출 인벤토리를 구축하기 위한 방법론을 제시하고자 하였다. 기존 국가교통DB를 활용함으로써 시간·비용의 절약 외에 연료소비량 위주의 배출량 산정과 달리 도로 네트워크상의 속성값들을 기반으로 지역단위의 통행특성, 수단별 교통량, 통행거리 등을 고려함으로써 보다 정밀한 산정이 가능하여 졌다.

도출된 모형의 적용성 검토를 위해 부산시를 사례로 도로교통부문의 탄소배출량을 산정하였고, 2008년 기준 약 2,163,660.31 TCO<sub>2</sub>로 파악되었다. 비록 기존 한국교통연구원 연구의 결과와는 큰 차이를 보이나, 이는 KTDB에서 제공하는 「전국 지역 간 네트워크」가 집산도로와 국지도로 등 이면도로에 대한 정보를 포함하지 못한 결과로 볼 수 있다.

본 연구는 자료수집의 한계를 극복하기 위해 기반으로 기존의 연료소비량에 의한 방법에 비해 지역단위의 탄소배출 인벤토리 구축에 보다 신뢰성 있는 산정을 시도한 실험적인 연구라고 할 수 있다. 그러나 더욱 정밀한 인벤토리의 구축을 위해서는 향후 다음 내용을 보완한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

첫째, 「전국 지역 간 네트워크」 구축 시 간선도로뿐만 아니라

Table 3. CO<sub>2</sub> Emissions by Passenger and Freight Traffic  
Units : TCO<sub>2</sub>/year, %

Type	Yearly emissions	%
Passenger	1,294,601.31	59.83
Freight	869,058.98	40.17
Total	2,163,660.31	100.0

Table 4. CO<sub>2</sub> Emissions by Vehicle Type  
Units : TCO<sub>2</sub>/year, %

Vehicle type	Yearly emissions	%
Passenger car	908,903.18	42.0
Small MPC	97,783.46	4.5
Medium MPC	25,109.95	1.2
Full MPC	262,804.72	12.2
Small truck	184,263.99	8.4
Med. truck	74,786.43	3.5
Full truck	610,008.56	28.2
Total	2,163,660.31	100.0

Table 5. CO<sub>2</sub> Emissions by Inner and Cross-cordon Traffic  
Units : TCO<sub>2</sub>/year, %

Traffic type	Yearly emissions	%
Inner	2,138,388.23	98.83
Cross-cordon	25,272.08	1.17
Total	2,163,660.31	100.00

이면도로 등 모든 도로를 포함한 네트워크 구축이 요구된다.

둘째, 정밀한 배출량 산정을 위해서 KTDB의 차종별 분류에 따른 배출계수가 제공되어야 할 것이다.

셋째, 시계 유출입 도로구간을 시내와 시외 구간으로 구분하여 거리 산정이 가능하도록 해야 할 것이다.

마지막으로 본 연구는 KTDB의 활용에 초점을 두었으며, 수송부문 중 도로교통만을 대상으로 연구를 진행하였기 때문에 교통부문의 전체 배출량을 산정하지 못한 단점이 있다. 하지만 제시된 방법론은 향후 철도, 해운, 항공 등 기타 부문에도 유사하게 적용할 수 있을 것으로 판단된다.

### 감사의 글

이 논문은 2011학년도 동의대학교 교내연구비에 의해 연구되었음(과제번호 2011AA153).

### References

Busan Metropolitan City (2007), Survey for GHG Emission Inventories, Final Report.  
 Cervero·Robert (1996), "Trends and Impacts in the San Francisco Bay Area", Journal of the American Planning Association 62, no 4, pp. 492-511. USA.  
 Chun, Sungmoon (2009), A Study on the Generated Carbon Dioxide Amount Estimation from Road Transportation Part in Seoul, Thesis, Master of Science, University of Seoul.  
 Hong, Jihyung (2008), Development of Greenhouse Gas Inventory and Emission Factors, National Institute of Environmental Research.

IEA (2010), IEA Key World Energy Statistics OECD, Paris, France  
 IPCC (1996), Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, UN, USA.  
 IPCC (2006), 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (Mobile Combustion, Vol. 2: Energy), UN, USA.  
 Jeonbuk Development Institute (2010), Comprehensive GHG Reduction Strategies for Local Governments in Jeonbuk, Considering Region-Specific Emission Characteristics  
 Kim, Dong Young (2008), Development of GHGs Emission Inventory System for Gyeonggi-Do, Gyeonggi Research Institute.  
 Ko, Kwang Hye (2012), Method of Calculating Regional Road Transport Greenhouse Gas Emissions Inventory, using KTDB, Thesis, Master of Science, Dongeui University.  
 Korea Transport Institute (2009), 2008 National Transport DB Construction Project, Transport GHG Emission Survey.  
 Korean Society of Transportation (2006), Improvement of Rail Investment Assessment Methodology.  
 Newman Peter and Kenworthy, J (1999), "Sustainability and Cities: Overcoming Automobile Dependence", Island Press, Washington DC, USA.  
 Schipper, Lee (2001), "Kyoto Roadmap: Indicators of Carbon Emissions in Industrialized Countries." The Environment Canada Policy Research Seminar Series, Canada.  
 Shin, Yong Eun (1997), "Analysis of City/Transportation System Relationship via Land Consumption", Department of City and Regional Planning University of Pennsylvania Philadelphia, PA19106. pp. 22-35.  
 WRI (2009), World Greenhouse Gas Emissions in 2005, Washington DC, USA.  
 WRI (2010), Citywide Transportation Greenhouse Gas Emissions Inventories: A Review of Selected Methodologies, Washington DC, USA.