

# 교통부문의 온실가스 배출량 산정 방법 개선연구

## Improvement Study for Generated Greenhouse Gas(GHG) Amount Estimation from Transportation



김태호



이수일



주용진



손혁준

### I. 서론

#### 1. 연구의 배경 및 목적

국내의 기상 관측이 시작된 1910년을 기점으로 2006년까지 기온상승은 약 1.5℃로 세계평균보다 2배 높은 수준으로, 기후변화와 관련된 피해 역시 세계 평균보다 약 3배 높은 것으로 보고되고 있어 상당히 심각한 상황<sup>1)</sup>이라 판단된다. 이러한 상황의 중심에는 온실가스가 주요한 원인이 되고 있는 것으로 알려져 있다.

그동안 기후변화 대응을 위한 다양한 정책들이

국가 차원에서 논의<sup>2)</sup>되어 왔으며, 하였다.

하지만, 저탄소 녹색성장 정책을 효율적으로 추진하기 위해서는 각 부문별 CO<sub>2</sub>배출현황을 정확하게 파악하고 그것을 근거로 저감목표를 수립하는 것이 매우 중요하다고 판단된다. 하지만, 1990년 이후 정기적인 이동오염원 배출량을 산정방법에는 차량의 통행흐름 즉, 시공간적 특성을 반영하지 못하고 있다. 현재 사용되고 있는 방식으로는 실질적인 배출량 산정에 있어 효율적이지 못하다.

또한, 차량의 통행흐름을 고려할 경우 DB(도로 유형 및 차종별 교통량, 차량평균이동거리 등) 구득이 어려워 이를 반영하기는 상당히 제한적이고,

김태호 : 한양대학교 도시대학원 연구교수, traffic@hanyang.ac.kr, 직장전화:02-2299-2082, 직장팩스:02-2220-1214

이수일 : 현대해상 교통기후환경연구소 연구위원, sooillee@hi.co.kr, 직장전화:02-2210-5253, 직장팩스:02-2246-0186

주용진 : 서울시립대학교 도시과학연구원 융합도시연구센터, yijoo75@uos.ac.kr, 직장전화:02-2210-5253, 직장팩스:02-2246-0186

손혁준 : 서울대학교 공과대학 건설환경공학과 석사과정, sindeaf@gmail.com, 직장전화:02-2299-0335, 직장팩스:02-873-2684

1) 대기 중 이산화탄소 농도는 1970년 산업화 이전보다 약 35%(400ppm), 현재 추세 유지시 2100년에는 540~970ppm의 배출량 발생함.

2) 2009년 정부는 녹색성장(Green Growth)을 4대 국정운영 방향의 하나로 선정하고 2012년까지 총 50조원의 예산을 투입하여 지속적인 추진하겠다는 집행의지를 표명

자료 : 이동민(2009), 녹색성장시대, 도로의 뉴패러다임, 한국도로공사 도로교통연구원 세미나자료 내용을 재구성함.

매우 복잡하다.

따라서 본 연구에서는 현재 국내 및 국외지역에서 활용되고 있는 CO<sub>2</sub>배출량의 방법론과 실제 연구사례를 검토하여 현재 적용방법의 문제점과 개선사항을 제시하고자 한다.

## II. 국내외 탄소배출량관련 현황분석

### 1. 교통수요전망

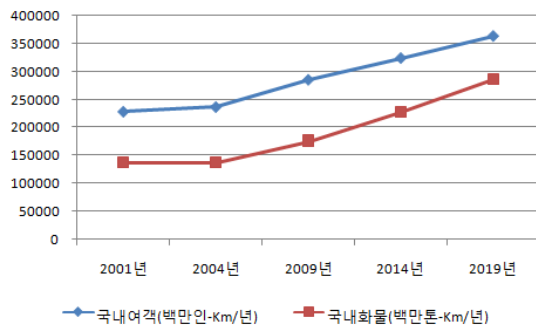
도로부문 에너지 소비와 직접적으로 연관된 교통수요 전망을 살펴보면 <표 1>과 같다.

2019년을 기준으로 살펴보면, 자동차 보유대수는 2,200만대, 국내 여객수요는 3,636억인-Km, 국내화물수요는 2,862억톤-Km로 지속적인 증가 추세를 보이는 것으로 나타났다. 따라서 향후 국내의 교통수요는 여객과 화물부문에서 2배에 가까운 지속적인 증가추세를 유지할 것으로 판단된다.

<표 1> 국내외 교통수요 전망치 비교표

구분	2001년	2004년	2009년	2014년	2019년
자동차보유대수(천대)	12914	14934	18213	20510	21900
국 여객(백만인-Km/년)	228091	236491	285264	324196	363555
내 화물(백만톤-Km/년)	137977	137701	176321	228280	286257
국 여객(백만인-Km/년)	77072	90146	122744	155969	198232
계 화물(백만톤-Km/년)	4739548	6217164	7570019	8227154	9515464

자료 : 국가기간교통망계획 수정연구, 한국교통연구원, 2007.



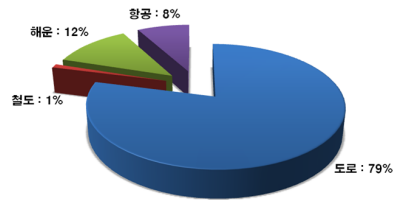
<그림 1> 국내의 수송부문 전망 그래프

### 2. 국내 에너지 소비추이 분석

국내의 2006년 기준 에너지 소비는 174백만



<그림 2> 산업부문별 에너지 소비구성비(2006)



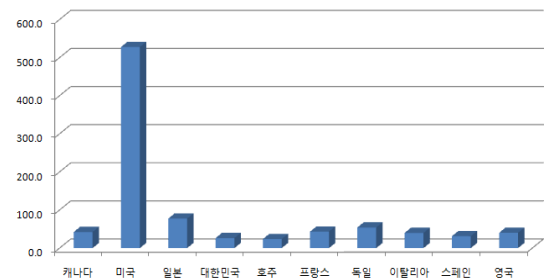
<그림 3> 교통수단별 에너지 소비 구성비(2006)

TOE가 발생하였으며, 이중 21%를 도로교통부문(수송)이 차지하는 것으로 나타났다.

수송부문 중 도로교통 분야가 79%를 차지하고 있어 가장 많은 에너지를 사용하고 있는 것으로 나타났다.

### 3. 탄소배출량 추이 국가별비교(OECD)

2004년을 기준으로 1인당 교통부문 에너지 소비는 0.71톤으로 여타 OECD국가에 비해 낮은 편이나 GDP로 환산해보면 1,880톤으로 일본과 유사한 수준임을 알 수 있다.



<그림 4> 교통수단별 에너지 소비 구성비(2006)

〈표 2〉 교통부문 국가별 에너지소비 비교표

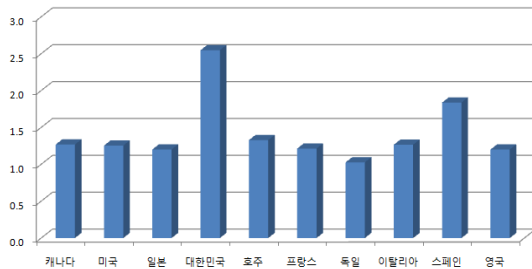
국가	항공	도로	철도	합계	1인당 소비량	GDP대비 소비량
캐나다	5.7	42.3	1.7	49.7	1.72	1.43
미국	82.0	527.9	11.6	621.5	2.16	14.53
일본	10.8	77.5	1.8	90.1	0.74	2.75
대한민국	3.5	26.3	0.5	30.3	0.71	1.88
호주	4.4	23.6	0.7	28.7	1.44	0.81
프랑스	7.1	43.3	1.0	51.4	0.85	1.46
독일	8.0	54.2	1.9	64.1	0.78	1.83
이탈리아	3.8	39.9	0.5	44.2	0.77	1.43
스페인	5.2	31.2	1.0	37.4	0.90	1.41
영국	12.7	40.2	0.9	53.8	0.91	1.40

자료 : OECD environment Data Compendium, 2006/2007.

〈표 3〉 교통부문 CO<sub>2</sub> 배출량 비교표

국가	1990년(A)	2005년(B)	증가량	증가율(B/A)
캐나다	129.8	164.7	34.8	1.3
미국	1553.8	1947.5	393.7	1.3
일본	241.1	289.5	48.4	1.2
대한민국	49.3	125.7	76.4	2.5
호주	68.1	90.5	22.4	1.3
프랑스	132.2	160.4	28.3	1.2
독일	182.1	186.8	4.8	1.0
이탈리아	111.5	141.2	29.7	1.3
스페인	79.1	145.4	66.3	1.8
영국	143.8	172.6	28.8	1.2
OECD	3118.22	4066.56	948.3	1.3

자료 : Greenhouse Gas Reduction Strategies in the Transport Sector : Preliminary Report OECD/ITF, 2008.



〈그림 5〉 교통부문 CO<sub>2</sub> 배출량 그래프

국가별 교통부문 CO<sub>2</sub>배출량을 살펴보면, 국내의 증가율은 1990년에 비해 2.5배 이상 증가한 것으로 나타났다.

로 나타났다. 이는 여타의 OECD국가들의 평균증가율 1.3보다 2배 정도 높은 것으로 나타났다.

### III. 도로부문 온실가스 배출량 산정방법 검토

#### 1. 도로부문 온실가스 종류

도로부문에서 온실효과 가스배출량 산정대상이 되는 가스는 교토의정서(Kyoto Protocol)에서 제시한 6종의 온실가스 중, 도로부문에서 발생될 것으로 판단되는 3종류의 온실가스에 국한될 것으로 판단된다. 온실효과 가스배출량이란 이들 물질의 배출량에 지구온난화계수를 곱하여 구한 양의 합계를 의미한다.

〈표 4〉 도로부문 온실가스 종류

종류	지구온난화계수	배출원 예시
이산화탄소(CO <sub>2</sub> )	1	건설기계, 자동차운행, 환기구 가동 등
메탄(CH <sub>4</sub> )	21	연료사용, 자동차 주행 등
이산화질소(N <sub>2</sub> O)	310	자동차 주행 등

#### 2. 국내 산정방법론 검토

국내의 온실가스 배출량 산정을 위한 방법은 기본적으로 IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change) Guideline<sup>3)</sup>에서 제시하고 있으며, 배출계수도 국내<sup>4)</sup>에서 개발된 내용을 제외하고는 IPCC에서 제시된 것을 사용하고 있다.

2006년 IPCC Guideline 보고서에는 온실가스 배출량 산정을 위한 방법으로 Tier 1, Tier 2, Tier 3을 제시하고 있다.

국내의 도로부문 온실가스 배출량의 대부분을 차지하는 CO<sub>2</sub>배출량 산정시 IPCC(2006)에서 제

3) 2000년 "Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories"보고서 참조  
 4) 김기준(2010)의 연구에서 배출계수는 국립환경과학원(2007)의 대기오염물질 배출량 산정방법 편람을 참조하며, 국내 연구기관의 배출계수를 우선적으로 적용하고 국내 미개발 배출계수는 국외의 내용을 면밀히 검토하여 적용하고 있는 실정이라 언급함.

시하고 있는 연료소비량을 활용하는 Tier 1방법을 적용하고 있다. 하지만, 최근 미국을 포함한 일부 선진국에서는 자체적인 시험결과를 토대로 자국에 적합한 배출계수를 개발하고 있다.

**(1) Tier 1 방법**

Tier 1 방법은 에너지 부문의 배출량 산정방법과 동일하며, 기초자료의 확보가 어려울 때 주로 사용하는 방법이라 할 수 있다.

$$Emission = \sum_a Fuel_a \times EF_a \quad (1)$$

여기서,

Emission(Kg) : 배출량(CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O)

Fuel : 연료소비량(TJ)

EF : 배출계수(Kg/TJ)

a : 연료 종류(가솔린, 디젤, 천연가스, LPG 등)

에너지 소비량에 배출계수를 산출하는 가장 기본적인 산출방식으로 연료소비량은 해당 국가의 연료 형태별 소비총량을 추정하는 것으로 1차, 2차 연료소비량으로 구분된다.(<표 5>참조)

하지만 Tier 1 방법은 국가차원의 배출량 산정과 같은 거시적 측면에 사용되지만, 실제로 발생하는 이산화탄소 배출량 산정에 있어 사용하는 것은 부적합하다.<sup>5)</sup>

**(2) Tier 2 방법**

Tier 2 방법은 차종별 연비를 고려하여 연료소비량을 산정하고, 산정된 연료소비량을 바탕으로 Tier 1 방법과 동일하게 배출계수를 적용하여 산정하는 방법이다. 국립환경연구원에 따르면 Tier 1 및 Tier 2방법은 실제 도로상에서 운행되고 있는 차종별로 미시적 에너지 소비 자료를 이용하여

〈표 5〉 연료별 탄소 배출계수

연료구분			탄소배출계수		
			Kg C/ GJ	(ton C/ toe)	(TJ/ 103TON)
액체 화석 연료	1차 연료	원유	20	0.829	
		LNG	17.2	0.63	
	2차 연료	휘발유	18.9	0.783	44.8
		항공가솔린	18.9	0.783	44.59
		등유	19.6	0.812	44.75
		항공유	19.5	0.808	
		경유	20.2	0.837	43.33
		중유	21.1	0.875	40.19
		LPG	17.2	0.713	47.31
		납사	(20)(a)	0.829	45.01
		아스팔트	22	0.912	40.19
		윤활유	(20)(a)	0.829	40.19
	Petroleum Coke	27.5	1.14	31	
	Refinery Feedstock	(20)(a)	0.829	44.8	
고체 화석 연료	1차 연료	무연탄	26.8	1.1	
		원료탄	25.8	1.059	
		연료탄	25.8	1.059	
		갈탄	27.6	1.132	
		Peat	28.9	1.186	
	2차 연료	BKB & Patent Fuel	(25.8) (a)	1.059	
		Coke/Gas Oven	29.5	1.21	
		Coke Oven Gas	13(b)		
		Blast Funance Gas	66(b)		
		기체 화석 연료	LNG	15.3	0.637
고체바이오메스	29.9		1.252		
액체바이오메스	20		0.837		
기체바이오메스	(30)(a)		1.281		

계산된 배출량이 아니므로 온실가스 배출량과는 다소 차이가 있을 수 있으며, 국가의 세부저감대책을 수립하는데도 한계가 있다고 언급하였다.

$$Emission = \sum_{a,b,c} Fuel_{a,b,c} \times EF_{a,b,c} \quad (2)$$

여기서,

5) 1차 연료 소비량 = 생산량 + 수입량 - (국제병커링 + 재고 변동량) 특히, 국제 병커링은 국제민간항공, 해상선박에서 국제운송을 위해 사용된 연료를 의미하며, 온실가스 배출량은 연료 판매 국가에서 추정하도록 IPCC는 권고함.

- Emission(Kg) : 배출량(CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O)
- Fuel : 연료소비량(TJ)
- EF : 배출계수(Kg/TJ)
- a : 연료 종류(가솔린, 디젤, 천연 가스, LPG 등)
- b : 차종
- c : 배출제어기술

### (3) Tier 3 방법

Tier 3 방법은 차종별 평균이동거리에 따른 차종별 배출계수를 적용하여 산정하는 방법이다.

$$Emission = \sum_{a,b,c,d} Fuel_{a,b,c} \times EF_{a,b,c,d} \quad (3)$$

여기서,

- Emission(Kg) : 배출량(CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O)
- Fuel : 연료소비량(TJ)
- EF : 배출계수(Kg/TJ)
- a : 연료 종류(가솔린, 디젤, 천연 가스, LPG 등)
- b : 차종
- c : 배출제어기술
- d : 배출제어기술

현재 국내에서 제공되고 있는 교통안전공단 차량검사소의 차종별 평균이동거리를 적용하면 일정 부분 고려가 가능하다고 판단되나, 차고지 등록기준인 자동차 등록대수를 활용할 경우 다소 상이한 결과가 나타날 수 있다고 판단된다.

### 3. 국외의 산정방법론 검토

국외의 온실가스 산정방법도 IPCC Guideline에서 제시된 방법을 기본으로 사용하고 있으나 각 나라별로 산출방법과 자료수준(활동수준, 차종,

도로조건, 배출계수 등)에 따라 자국의 실정에 맞게 선택하여 사용하고 있다.

#### 1) 미국의 온실가스 산정방법

도로부문의 CO<sub>2</sub>배출량은 앞서 언급한 Tier 1을 활용하고 있으며, Non-CO<sub>2</sub>배출량은 각각의 연료 및 운송수단 종류별 활동량 추정치에 배출계수를 곱하여 추정한다. 범주에 따라서는 활동량 자료에 연료소비량, 차량주행거리(VMT : Vehicle Miles Traveled)를 포함한다.

차량 이용행태를 반영하여 고속도로 차량과 비고속도로 차량으로 구분하여 접근하는 점이 특이하다. 고속도로 차량의 경우 연료(휘발유, 경유)별로 차량주행거리와 차종별·연료별·연식별·제어기술별 배출계수에 기초하여 배출량을 추정한다.

대체연료차량(Alternative Fuel Vehicle : AFVs)의 배출량은 차량주행거리와 차종별·연료별 배출계수에 기초한다. 비고속도로 차량의 경우는 연료소비량에 연료별 배출계수를 곱하여 추정한다. 미국 뉴욕시의 경우 온실가스 배출량 산정을 위해 CACP(Clean Air and Climate Protection) 소프트웨어와 MOVE2010<sup>6)</sup>을 활용하고 있으며 도로부문 기본 산정식은 다음과 같다.

$$Emission = VMT_{a,b} \times Fuel_{연비} \times EF_{a,b} \quad (4)$$

여기서,

- Emission(Pound) : 배출량
- VMT : 차량주행거리(miles)
- Fuel평균연비 : 평균연비(miles/gallon)
- EF : 배출계수(pounds/gallon)
- a : 연료 종류(가솔린, 디젤, 천연가스, LPG 등)
- b : 차종

또한, IVE는 개발도상국의 자동차 배기가스 추정

6) 김기준(2010)의 연구에서 Clean Air Act에 의해 EPA가 개발한 MOBILE6을 사용하다 최근 수백만 건의 배기가스 검사결과와 배기가스에 대한 과학적 이해의 개선을 기초로 최근 개발된 새로운 모형이며, National Research Council

을 위해 University of California at Riverside CE-CERT, Global Sustainable System Research (GSSR), 그리고 International Sustainable System Research Center(ISSRC)에 의해 개발되었고 연구비 지원은 미국 EPA가 담당하고 있다.

IVE는 각 배기가스 관련 자료의 축적이 미비한 국가(도시)를 대상으로 실측을 통해 수집된 자료를 기초로 각국에 적합한 모형을 개발하였다. 사용한 조사방법은 GPS를 이용한 차량주행패턴조사, 주차장 조사를 통한 차량기술 분포조사, 비디오카메라를 이용한 교통량조사, 선별된 차량을 대상으로 실시하는 차량시동패턴조사이다.

현재 개발도상국 9개 도시에 대해 모형이 구축되었다. IVE는 선진국에서 사용하는 배기가스 추정모형을 개발도상국에서 사용할 경우 부정확성이 크다는 인식 하에 단기간의 조사를 통해 각 도시의 배기가스 모형을 개발하여 사용토록 한 것이다. IVE는 대규모의 조사보다는 도시단위의 조사를 통해 최소한의 현장조사로 비교적 정확한 도시별 Emission Factor를 도출하는데 그 목적이 있다.

국내에서도 이러한 시도를 통해 배기가스 모형에 대한 자료축적을 시도할 필요가 있으며, 이를 활용한 Simulation 개발이 필요하다고 판단된다.

**(3) 유럽의 산정방법**

유럽의 경우도 IPCC Guideline에서 제시된 방법을 기본으로 사용하고 있다.

특히, 영국의 경우 환경부(Department for Environment, Food & Rural Affairs)에서 온

〈표 6〉 유럽지역 도로부문 온실가스 추정방법 비교

구분	적용수준 (IPCC Guideline)	자료수집 수준	
		활동도	배출계수
핀란드	Tier 2	국가DB 제공	국가별 자체 온실가스 배출계수 정립
독일	Tier 1		
아일랜드	Tier 1		
네덜란드	Tier 1		
스웨덴	Tier 1		
영국	Tier 3		

〈표 7〉 영국의 도로부문 연료소비 계수(예시)

Emission Standard	연료소비계수			
	Urban	Rural	Motorway	
Petrol Cars	ECE 15.01	77.9	65.1	76.8
	ECE 15.02	73.1	61.0	72.0
	ECE 15.03	73.1	61.0	72.0
	ECE 15.04	66.7	55.7	65.7
	Euro I	65.4	58.2	68.2
	Euro II	63.0	59.7	72.2
	Euro III	59.2	56.1	67.8
Diesel Cars	Euro IV	52.8	50.0	60.5
	Pre-Euro I	64.5	51.0	60.5
	Euro I	63.4	55.8	71.6
	Euro II	61.1	56.0	74.3
	Euro III	54.5	49.9	66.3

실가스 배출량을 산정하며 도로부문에 적용하는 배출계수를 도로유형, 차종, 연료소비에 따라 세분화하여 제시하고 있으며, 다음은 영국의 도로부문의 연료소비 계수의 예시를 제시한 것이다.

핀란드는 도로교통부문 배출모형(LIISA)을 이용하여 도로부문 온실가스 배출량을 추정한다. 이 모델은 VTT Technical Research Center of Finland의 LIPASTO의 부분 모델로 에너지 연소로 인한 온실가스 배출량은 물론 일반 대기오염 물질 배출 추정 시에도 활용되고 있다.

도로부문 온실가스 배출량 산정방법은 IPCC Tier 3에 상응하는 방법으로써 배출량은 차량의 연료소비량과 고정 배출계수를 사용하여 산정한다. 배출량은 도로차량의 연료소비에 기초하여 산정하고 연료소비 개념은 연료판매량에 기초하고 있다. 도로수송용 연료는 기본적으로 개질휘발유(Reformulated Gasoline)와 경유가 사용되며, 개질휘발유는 도로용 이외에 작업용 장비, 레저보트 등의 연료로도 사용된다. 반면 경유는 대부분 자동차용으로만 판매된다. 또한 최근 들어 소량의 바이오 에탄올을 휘발유(Motor Gasoline)에 혼합하여 사용하는 경우도 있다.

일부 천연가스 자동차가 있으나 소비량이 적어 ILMARI모델을 이용하여 온실가스 배출량을 추정한다.

**(4) 일본의 산정방법**

일본의 CO<sub>2</sub>배출량은 IPCC의 Tier 3방법을 사용하며 차종별 및 연료별 국가고유배출계수를 적용하고 있다. 배출량 산정은 정부가 발표한 운행거리 및 연료효율 자료를 이용한다.

천연가스 자동차의 Non-CO<sub>2</sub>배출량 산정은 차종별 운행거리에 각 주행속도 구간별 주행거리 비율에 의해 가중평균 실측자료에 기초한 속도구간별 배출계수의 평균값을 사용하여 개발된 차종별 배출계수를 곱하여 산정한다. 이륜차에서의 배출량은 예열출발과 냉간출발로 구분하여 사용한다. 예열출발의 경우 이륜차종별 배출계수에 각 연간 운행거리를 곱하여 추정하며, 냉간출발의 경우는 이륜차종별, 출발구간별 배출계수에 이륜차별 연간 엔진스타트업 회수를 곱하여 산정한다.

**(5) 호주의 산정방법**

수송용 연료 소비를 특수 ANZSIC<sup>7)</sup>로 배분하는 시스템을 채택하고 있어 고정배출원 인벤토리로 배분된다는 점에서 다른 나라와 큰 차별성을 갖는다. 그러나 등록되지 않은 험로용바이크, 여행용

〈표 8〉 온실가스 산출방법 종합비교표

구분	방법론 (IPCC)	Simulation 개발	자료수집 수준			
			주행거리	속도	차종구분	배출계수
대한민국	Tier 1	×	△	×	○	○
미국	Tier 3	○	○	×	○	○
핀란드	Tier 2	○	×	×	○	○
독일	Tier 1	×	×	×	○	○
아일랜드	Tier 1	×	×	×	○	○
네덜란드	Tier 1	○	×	×	○	○
스웨덴	Tier 1	×	×	×	○	○
영국	Tier 3	×	○	×	○	○
일본	Tier 3	×	○	×	○	○
호주	Tier 2	×	×	×	○	○

차량, 경주용 차량, 이동형 작업차량, 군용수송수단 등과 같은 기타 오프로드 이동원으로부터의 배출량만 수송부문에 포함된다. 이동배출원에서 Tier 2방식을 채택하고 있다.

지금까지 국내외 온실가스 산정방법론을 비교하여 보았다. IPCC Guideline에서 제공하고 있는 기본 단계를 활용하여 각 나라별로 다양한 형태로 적용되고 있는 것을 알 수 있었으며, 비교결과는 〈표 8〉과 같다.

**IV. 국내의 사례연구(Case Study)**

**1. 국립환경과학원 사례**

국립환경과학원(2008)에서는 도로부문의 온실가스 배출량 산출시 다음의 수식을 활용하고 있다.

$$Emission = \sum_{a,b,c} VKT_{a,b} \times EF_{a,b} \quad (5)$$

$$VKT_a = REG_a \times VKT_a \times 365^8) \quad (6)$$

여기서,

Emission(Kg) : 배출량(CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O)

VKT : 총주행거리

REGa : 차종별 등록대수(대/년)

VKTa : 차종별 일평균주행거리

a : 차종(승용차, 택시, 버스, 화물)

b : 도로종류(고속국도, 국도, 지방도, 특별시도, 시군도)<sup>9)</sup>

365 : 연간운행일수

배출계수는 국립환경과학원에서 개발한 차종별, 연료별 배출계수로서 대상 차량을 실측한 자료를 바탕으로 산출되었다. (〈표 9〉참조)

전체 주행거리 산정(TVKT)을 위해서는 도로별

7) 호주, 뉴질랜드 표준산업분류, Australian and New Zealand Standard Industrial Classification

8) 계산을 위한 각종 통계 및 자료는 다음과 같이 해당기관별로 활용이 가능함.

(1) 차종별 일일평균 주행거리 : 교통안전공단의 연도별 자동차 주행거리(km) 실태 조사연구

(2) 차량등록 대수 : 통계청의 전국 자동차 등록대수 또는 시군구별 자동차 등록대수

9) 도로별 교통량 자료는 고속국도, 일반도, 지방도 교통량 측정자료, 광역시별 교통량 관련 통계자료 활용

〈표 9〉 자동차 온실가스 배출계수  
(단위 : g/km · 대)<sup>10)</sup>

구분	연료명	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	
승용차	경형	휘발유	137.8	0.03	0.03
	소형	휘발유	180.9	0.02	0.05
	중형	휘발유	212.9	0.02	0.06
	대형	휘발유	235.7	0.02	0.04
		경유 <sup>1)</sup>	243.3	0.00	0.01
		LPG	231.0	0.04	0.04
		기타 <sup>2)</sup>			
택시+렌터카	LPG	231.0	0.04	0.04	
승합차	소형	휘발유	251.7	0.03	0.06
		경유	243.3	0.00	0.01
		LPG	190.2	0.03	0.03
		기타 <sup>2)</sup>			
	중형	경유	315.1	0.02	0.01
	대형	경유	1,382.4	0.04	0.10
특수승합차 <sup>3)</sup>	경유	1,357.5	0.04	0.09	
버스	시내버스	경유	1,382.4	0.04	0.10
	시외버스	경유	1,382.4	0.04	0.10
	전세버스	경유	1,382.4	0.04	0.10
	고속버스	경유	1,382.4	0.04	0.10
화물	소형	휘발유	247.3	0.03	0.06
		경유	245.5	0.01	0.01
		LPG	187.9	0.03	0.03
		기타 <sup>2)</sup>			
	중형	경유	334.9	0.03	0.01
대형	경유	1,388.2	0.04	0.08	
특수차량 <sup>4)</sup>	경유	812.2	0.03	0.04	

자료 : 국립환경과학원, 대기오염물질 배출량 산정방법 편람, 2007

로 교통량이 필요한데, 도로별 교통량은 대상구간에서 전부 관측되지 않으므로 차종별 차량 등록대수와 평균 주행거리를 이용하여 차량 주행거리(VKT)를 산정한다.(식(5) 참조)

이를 교통량이 관측되는 도로와 비실측 도로로 나누어 공간 배분을 하며, 이 결과를 배출계수에 적용하여 도로별 배출량을 산정하게 된다.

특히, 교통량 비실측도로에 대해서는 다음의 단계를 활용하여 추정을 한다.

- ① 교통량 비실측도로는 지역단위로 주행거리가

산정되며, 이 주행 거리는 비실측도로의 “차선길이” 비율을 기준으로 배분

- ② 전국 총 주행거리 및 실측도로 주행거리를 고려하여 비실측도로 주행거리를 산정.  
(비실측  $VKT = TVKT - 실측VKT$ )

- ③ 다음 조건에 해당하는 시군구에만 비실측도로 주행거리를 할당.

- ④ 상기 조건에 해당하는 시군구의 할당계수는 다음과 같다.

$$\text{③에 해당하는 시군구 할당계수} = \frac{\text{특정 행정구역 총주행거리}}{\text{③에 해당하는 시군구 총VKT}}$$

자동차관련 대기오염물질 배출량 산정을 위한 차종 분류는 〈표 10〉과 같이 분류한다.

국립환경과학원에서 제안하고 있는 방법은

〈표 10〉 국내 자동차 분류체계 비교

자동차관리법		배출량 산정 편람 분류	
승용차	경형(800cc 미만)	승용차	경형(800cc 미만)
	소형(800~1500cc)	승용차	소형(800~1500cc)
	중형(1500~2000cc)	승용차	중형(1500~2000cc)
승합차	경형(800cc 미만)	승합차	경형(800cc 미만)
	소형(15인승 이하)	승합차	소형(15인승 이하)
	중형(16~35인승)	승합차	중형(16인승 ~35인승)
	대형(36인승 이상)	승합차	대형(36인승 이상)
화물차	경형(80cc미만)	화물차	소형(총중량 3톤이하)
	소형(총중량 3톤이하)	화물차	중형(총중량 3~10톤)
	중형(총중량 3~10톤)	화물차	대형(총중량 10톤이상)
	대형(총중량 10톤 이상)	화물차	특수형(화물특수용)
특수차	구난형	특수차	구난차
	특수작업형	특수차	견인차
	일반형	특수차	기타
이륜차	소형(100cc 이하)	이륜차	경형(50cc 미만)
	중형(100~260cc이하)		소형(50~100cc)
	대형(260cc 초과)		중형(100~260cc)
버스의 경우 승합차에 포함됨.		버스	대형(260cc초과)
			시내버스
			시외버스
			전세버스
			고속버스
	기타(농어촌버스, 마을버스)		

10) 김태호, 송병근, 이수일, 이재명(2010), 탄소배출량과 사회경제적 관계 실증분석(서울특별시 중심), 교통기술과 정책 제7권 제2호.의 연구결과에서도 일부 도로별 측정자료이나, 서울특별시 평균보다 높은 지역으로 종로구, 중구, 구로, 강남, 송파구이며, 평균이하지역으로 용산, 광진, 강북, 영등포, 동작구로 나타나 Tier 1을 적용한 결과와는 다소 차이가 있는 것으로 판단됨.



IPCC Guideline의 Tier 1과 Tier 2의 중간단계 형태로 판단된다. 즉, Tier 1의 연료소비량 기준 보다는 차종 및 도로등급별 주행거리라는 활동개념을 일부 도입하고 있다. 하지만, 실제 주행거리 개념이라기 보다는 자료의 한계로 인하여 Tier 2 수준에 도달하지 못하고 있다. 또한, 차량의 이동 특성을 반영하기 위한 일부 노력은 진행되고 있으나, 실제 교통량과 주행거리에 대한 자료조사를 하고 있지 못하여 정확한 탄소배출량 산정을 하지 못하는 한계를 가지고 있다.

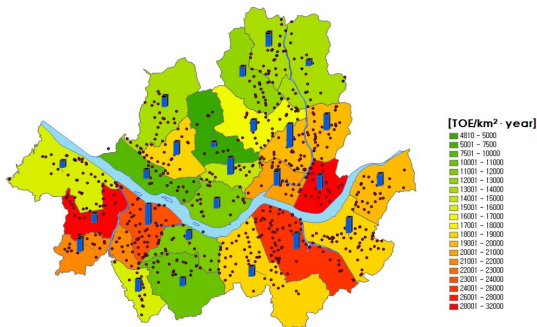
## 2. GIS를 활용한 사례연구(Case Study)

국내에서 현재 활용하고 있는 Tier1 방법을 적용하였을 경우 발생할 수 있는 문제점을 실제 서울특별시를 대상으로 분석하였다.

IPCC Tier 1의 방법을 적용하였을 경우 현실성이 결여될 수 있는 부분을 실증분석하였다.

주유소 유류 판매량에 탄소배출계수를 적용하여 산출된 서울특별시 행정구역별 탄소배출량의 GIS Map이며, <그림 6>과 같다.

석유판매량을 기반으로 분석한 탄소배출량 결과



<그림 6> 유류 판매량-탄소배출계수 GIS Map<sup>11)</sup>

를 살펴보면, 통행량이 상대적으로 집중되고 있는 강북지역(중구, 종로구, 동대문구), 강남지역(서초구)은 붉은색을 띠지 않는 것으로 나타났다. 이에 반해 양천구, 광진구에서 탄소배출량이 붉게 나타나는 것을 알 수 있었다.

이처럼 Tier 1을 토대로 분석한 결과 현실적으로 차량의 이동량을 고려하지 못한 결과가 도출된 것을 알 수 있다. 따라서 Tier 1단계를 활용한 탄소배출량 산정을 적용하기엔 다소 무리가 있어, 이를 보완하기 위한 다양한 DB자료 구축이 필요하다고 판단된다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서 서울특별시를 중심으로 한 지방자치단체에서는 간선도로에 대한 교통량 통계연보<sup>12)</sup>를 발간하고 있어 일부 활용이 가능할 것으로 판단된다.

간선도로의 교통량 자료를 활용할 경우 현재 국립환경과학원에서 차고지 기준의 자동차등록대수를 활용한 일부 시도되고 있는 차종별 평균 주행거리(M-VKT: Mean-Vehicle Kilometer Travelled)를 적용하는 것 보다는 이동성 즉 활동개념을 보다 세밀히 적용해 볼 수 있을 것이다.

다음은 현재 서울특별시 행정구역별 주요간선도로의 교통량과 속도를 GIS Map에 표출한 것이다.



<그림 7> 서울시 주요지점의 교통량(GIS Map)

11) 김태호, 송병근, 이수일, 이재명(2010), 탄소배출량과 사회경제적 관계 실증분석(서울특별시 중심), 교통기술과 정책 제7권 제2호.의 연구결과에서도 일부 도로변 측정자료이나, 서울특별시 평균보다 높은 지역으로 종로구, 중구, 구로, 강남, 송파구이며, 평균이하지역으로 용산, 광진, 강북, 영등포, 동작구로 나타나 Tier 1을 적용한 결과와는 다소 차이가 있는 것으로 판단됨.

12) 서울시 "차치구의 교통량 조사 보고서"와 서울지방경찰청의 "2007 서울특별시 교통량 조사자료"

구분	차치(구) 통계	서울특별시 통계
지점	차치구내 교차로	시계, 도심, 교량
시간	07시 ~ 20시	00시 ~ 24시
차종구분	소형, 대형	전 차종

## V. 결론 및 향후연구과제

본 연구는 교통부문의 탄소배출량(온실가스)을 산출하기 위한 국내의 대표적 방법을 검토하고 이를 바탕으로 향후 탄소배출량 산정방법 개선을 위한 시사점을 검토하여 보았다.

현재 국내의 교통부문 여건을 살펴보면, 탄소배출량이 지속적으로 증가할 것으로 판단되어 교통부문 탄소배출량 산정 방법론에 대한 보완연구가 필요하다고 판단된다.

국내의 교통부문 탄소배출량 산정방법은 IPCC에서 제안하고 있는 Tier 1방법과 국립환경과학원 방법을 활용하고 있다.

IPCC에서 제시하고 있는 Tier 1을 토대로 탄소배출량을 산정한 결과, 교통부문의 이동특성을 반영하지 못한다는 것을 알 수 있었다.

또한, 국립환경과학원에서 제공하고 있는 대기정책지원시스템(CAPSS)에서도 등록지 기준인 자동차 등록대수와 평균이동거리를 활용하는 산정방법과 큰 차이가 없을 것으로 판단된다.<sup>13)</sup>

이런 현재의 방법론을 토대로 가장 시급한 것은 교통부문의 온실가스 산출시 제공되는 통계의 수준에 따라 분석방법의 수준이 결정된다는 것이다.

국외의 사례를 살펴보아도 국가에서 제공하는 자료의 수준이 높으면 높을수록 적용하는 탄소배출방법의 수준도 높아지는 것을 알 수 있다.

따라서 Tier 3을 고려할 수 있도록 지속적인 자료의 수집가공 체계 구축이 시급하다고 판단해 볼 수 있다. 국외의 경우 이러한 자료 구축을 위한 노력의 일환으로 GPS와 Navigation의 Update시 접속한 차량을 통한 주행거리 자료수집 등 다양한 방법을 활용한 조사가 필요하다고 판단된다.

다음으로 국외는 DB조사를 활용한 Simulation 개발을 진행하고 있어, 실질적인 이동개념인 차종별, 속도별, 도로등급별 주행거리를 활용한 결과를 일부 도출하고 있다. 그 대표적인 예가 미국의 환경

부(EPA)에서 개발한 MOVE 2010을 들 수 있다.

아니면 국외에서 개발한 Simulation 모형의 배출계수를 적용하고 이를 활용한 Validation 연구가 이루어진다면, 쉽게 적용해 볼 수 있을 것이라 판단된 되며, 이동개념을 반영한 탄소배출량산정 결과의 초석을 만들 수 있을 것이라 판단된다.

지금까지 국내의 탄소배출량 산정을 위한 방법론을 검토하고 각 단계별 문제점을 제시하였으며, 일부 개선할 수 있는 방향을 제시하였다.

하지만, Tier 1을 개선한 선행연구를 토대로 차종, 속도, 교통량, 평균주행거리를 활용하는 것이 적절하다는 결론에는 도달하였으나, 본 연구는 개념적인 접근방법의 틀을 제시하였을 뿐 실질적으로 탄소배출량 산정을 하는 다양한 방법 중 실질적으로 어떠한 것이 좋은지에 대해서는 제시하지 못하여 이를 향후 연구과제로 제시한다.

## 참고문헌

1. 김태호·송병근·이수일·이재명(2010), 탄소배출량과 사회경제적 지표관계 실증분석(서울특별시 중심으로), 교통기술과 정책, 제7권 제2호, 대한교통학회, pp.63~69.
2. 유동헌(2010), 도로부문 온실가스 배출량 산정방법, 도로정책 Brief 제30호, 국토연구원.
3. 김기준(2010), 교통부문 배기가스 산정모형의 해외동향, 도로정책 Brief 제28호, 국토연구원.
4. 천성문(2010), 서울시 도로수송부문 탄소배출량 산정에 관한 연구, 서울시립대학교 석사논문.
5. 김기동·이태정·김동술·조진식·구윤서(2009), 배출방법에 따른 경기도 지역 도로수송부문 온실가스 배출량산정비교, 한국대기환경학회 2009 추계학술발표대회 논문집, 한국대기환경학회.

13) 실질적으로 사용되는 차고지 등록기준의 등록대수에 차종별 평균이동거리를 곱하여 산출된 결과는 Tier 1과 같이 지역간 이동 및 통과교통에 대한 고려가 미흡하므로 유사한 방식이라 판단됨.

6. 유형숙·석광설·임재현·이수빈·이성호·이지애·이설아·홍유덕(2009), Tier 3방법론에 의한 도로이동원 온실가스 배출량 산정, 한국대기환경학회 2009 추계학술발표대회 논문집, 한국대기환경학회.
7. 오일환·이승훈·정장표·김태형·서정윤(2009), 창원시 실제 교통량 자료를 이용한 도로수송부문 온실가스 배출량 평가, 한국환경과학회지, 제18권 제7호, 한국환경과학회.
8. 국립환경과학원(2009), 수송부문 온실가스 기후변화대응 시스템 구축(Ⅱ): 자동차 온실가스 Bottom-up 배출계수 개발.
9. 국립환경과학원(2008), 온실가스 대기오염물질 배출계수 통합관리 시스템개발.
10. 한국교통연구원(2008), 국가주요 교통통계.
11. 한국교통연구원(2007), 국가기간교통망계획 수정연구.
12. 국립환경과학원(2006), 온실가스 및 대기오염물질 배출계수 통합관리 시스템개발.
13. 국립환경연구원(2000), 자동차 오염물질 배출계수 산정에 관한 연구(Ⅱ).
14. ITF(2008), Greenhouse Gas Reduction Strategies in the Transport Sector : Preliminary Report OECD.
15. OECD(2006/2007), Environment Data Compendium.
16. 국립환경과학원 홈페이지 (<http://www.nier.go.kr/>)