

배출량 산정방법에 따른 지자체 도로수송부문의 온실가스 배출량 산정 비교

Comparison of Greenhouse Gas Emissions from Road Transportation of Local Government by Calculation Methods

김기동 · 고현기 · 이태정 · 김동술*

경희대학교 환경학 및 환경공학과

(2010년 12월 29일 접수, 2011년 5월 19일 수정, 2011년 6월 16일 채택)

Ki-Dong Kim, Hyun-Ki Ko, Tae-Jung Lee and Dong-Sool Kim*

Department of Environmental Science and Engineering, Kyung Hee University

(Received 29 December 2010, revised 19 May 2011, accepted 16 June 2011)

Abstract

The objective of this study was to compare greenhouse gas emissions from road transportation by calculation methods (Tier 1, Tier 2, and Tier 3). Tier 1 based on 2006 IPCC guidelines default emission factor and amount of fuel consumption. The Tier 2 approach is the same as Tier 1 except that country-specific carbon contents of the fuel sold in road transport are used. Tier 2 based on emission factor of guidelines for local government greenhouse gas inventories (Korea Environment Corporation), the fuel consumption per one vehicle, and the registered motor vehicles. The Tier 3 approach requires detailed, country-specific data to generate activity-based emission factors for vehicle subcategories (National Institute of Environmental Research) and may involve national models. Tier 3 calculates emissions by multiplying emission factors by vehicle activity levels (e.g., VKT) for each vehicle subcategory and possible road type. VKT was estimated by using GIS road map and traffic volume of the section. The GHG average emission rate by the Tier 1 was 728,857 tonCO₂eq/yr, while Tier 2 and Tier 3 were 864,757 tonCO₂eq/yr and 661,710 tonCO₂eq/yr, respectively. Tier 3 was underestimated by 10.1 and 20.7 percent for the GHG emission observed by Tier 1 and Tier 2, respectively. Based on this study, we conclude that Tier 2 is reasonable GHG emissions than Tier 1 or Tier 3. But, further study is still needed to accurate GHG emission from Tier 3 method by expanding the traffic survey area and developing the model of local road traffic.

Key words : Transportation, Greenhouse gas, IPCC, Emission method, Traffic volume

*Corresponding author.

Tel : +82-(0)31-201-2430, E-mail : atmos@khu.ac.kr

1. 서 론

유엔기후변화협약이 1992년 6월 리우환경회의에서 채택된 이후 각국은 온실가스 배출량 저감을 위해 노력하고 있다. 특히, 지난 1997년 12월 채택된 교토의정서에서는 이산화탄소(CO₂), 메탄(CH₄), 아산화질소(N₂O), 수소불화탄소(HFCs), 과불화탄소(PFCs), 육불화황(SF₆) 등 6종의 온실가스 배출량에 대한 감축을 주요 내용으로 하고 있으며, 의무감축국가인 부속서 I 국가는 2008~2012년까지 온실가스 배출량을 1990년 대비 평균 5.2%를 감축하도록 하고 있다(Song *et al.*, 2007; Kheshgi *et al.*, 2005). 2002년 11월 8일 교토의정서를 비준한 우리나라는 비부속서 국가에 포함되어 2012년까지는 의무감축 대상 국가는 아니지만, 주요 온실가스인 이산화탄소 배출량이 세계 9위 국가로서 높은 순위를 차지하고 있다.

이에 정부는 1999년부터 현재까지 4차례에 걸쳐 기후변화협약 대응 정부종합대책을 수립하여 시행하고 있다. 2009년 11월에는 2020년까지 2005년 대비 4% 감축, 2020년 국내 온실가스 BAU (business as usual) 대비 30%를 감축하는 자발적인 온실가스 국가감축 목표치를 확정하였다. 온실가스 감축을 위한 국가목표가 결정됨에 따라 부문별로 온실가스 감축량 확보가 필요하게 되었으며, 더 나아가 지역별 감축을 위한 지방자치단체의 역할이 강조되고 있는 시점이다. 2010년 10월에 일부 개정된 “저탄소 녹색성장 기본법 시행령” 28조에 의하면 각 지방자치단체 역시 에너지 절약 및 온실가스 감축목표를 설정하도록 하였다. 또한, 온실가스 배출량 감축을 위하여 지자체의 지역적 특성과 여건을 고려한 다양한 감축 방법론의 개발 필요성을 강조하고 있다.

이동배출원은 지역적 대기오염에 원인이 되는 일산화탄소(CO), 비메탄계 휘발성유기화합물(NMVOCs), 이산화황(SO₂), 미세먼지(PM)와 질소산화물(NO_x)과 같은 여러 다른 오염물질뿐만 아니라, 다양한 연료 연소에 의해 직접배출 온실가스에 해당하는 CO₂, CH₄, N₂O를 배출한다. 이동배출원 카테고리 중 도로수송은 승용차, 소형트럭과 같은 소형차량, 트랙터 트레일러, 버스와 같은 중형차량과 도로용 오토바이를 포함하고 있다. 이 차량관련 집단은 여러 종류의 기상 또는 액상의 연료로 가동되며, 연료 연소에서 방출되는 배출량뿐만 아니라 촉매변환기와 관련된 배출량도

다루고 있다(IPCC, 2006). 도로수송 부문의 배출량 산정은 크게 활동자료(activity data)를 기준으로 연료소비를 이용하는 방법과 주행거리를 이용하는 방법으로 구분하고 있다(IPCC, 2006). 일반적으로 IPCC (2006)에서는 이동배출원의 온실가스 배출량을 산정할 때 CO₂ 배출량은 연료판매량을 이용하여 산정하며, CH₄와 N₂O는 차종별, 도로종류별 주행거리를 이용하도록 하고 있다. 하지만 연료판매량을 이용한 산정방법은 전체 국가 온실배출량 산정에는 적합하나, 지역단위 즉, 지자체별 온실가스 배출량을 산정할 때에는 해당지역의 연료판매량과 차량운행지역의 차이로 인해 산정된 배출량에 차이가 발생하게 된다.

기존 연구들을 살펴보면 지역단위의 배출량을 산정할 때 대부분 연료소비량에 입각하여 배출량을 산정하였으며, 주행거리를 이용할 경우에는 자동차 등록대수와 광역지자체 수준의 차종별/연료별 평균 주행거리를 이용하여 산정하였다(Kim *et al.*, 2008). 따라서 기존의 배출량 추정방법들은 시공간적 분배에 적합하지 않고, 실제교통량을 반영하지 못하기 때문에, 이동오염원의 배출특성 파악이 어렵고 실질적인 배출량 저감정책을 수립할 경우에도 비효율적인 방법론이다. 이러한 이유로 ‘2006년 IPCC 지침(2006 IPCC Guideline)’에서도 총량개념이 아닌 구체화된 산정방법의 제시를 권고하고 있다. 반면, 실제교통량이 반영된 배출량 산정방법은 시공간적 분배차원에서는 대체적으로 정확하지만, 교통량과 관련한 활동자료의 확보가 어렵기 때문에 배출량의 산정에 어려움이 있다(Cheon, 2010).

향후 자동차 수요 증가로 인하여 도로수송 부문은 총 온실가스 배출량 중 큰 비중을 차지할 것으로 예상된다. 본 연구에서는 도로수송부문에서 배출되는 온실가스인 CO₂, CH₄, N₂O를 대상으로 지역단위의 배출량을 산정방법별(Tier 1, Tier 2, Tier 3)로 비교하였으며, 합리적인 온실가스 배출량 산정방법을 검토하였다. 본 연구의 대상지역으로는 수도권 남부에 위치하며 교통의 요충지대인 안양시를 대상으로 하였다.

2. 연구방법

2.1 연구대상 지역 선정

안양시의 인구는 630,688명이며 서울에서 남서쪽으로 약 25 km 지점에 위치하고 있고, 2구(만안구, 동

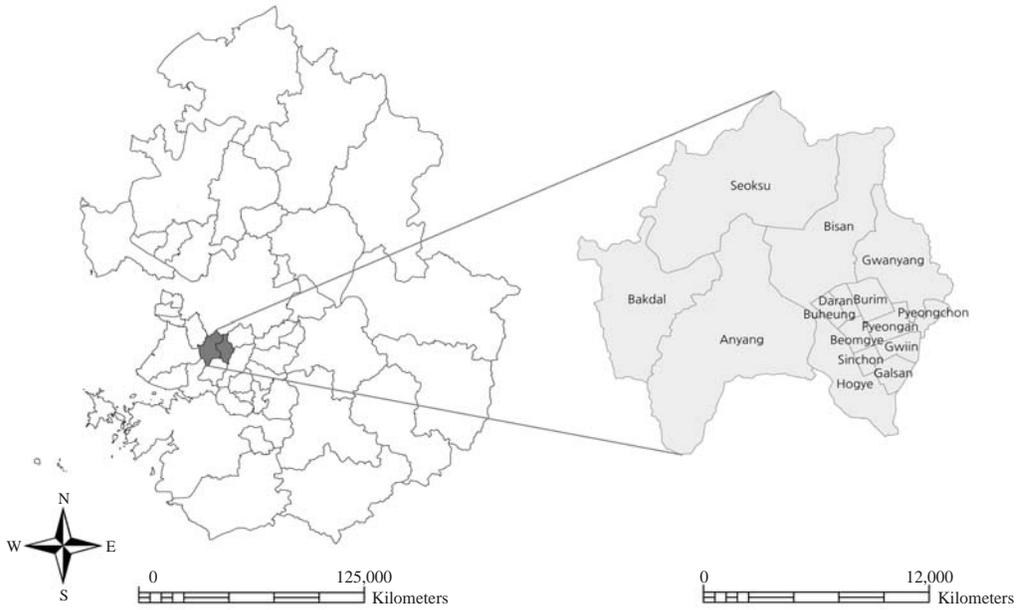


Fig. 1. Map of Anyang City.

안구) 31동으로 구성되어 있다(Anyang-si, 2009). 행정구역상 동쪽으로는 과천시와 의왕시가 접하고 있으며, 서쪽으로는 광명시와 시흥시가, 남쪽으로는 군포시와 북쪽은 서울특별시 금천구와 관악구가 접하고 있다.

안양시의 교통체계는 동서축으로 제2경인고속도로, 수도권전철(4호선)이 있으며, 남북축으로는 서해안고속도로, 경수산업도로, 경부고속철도, 경부선 철도 등이 있어 지리적으로 수도권 남부지역의 교통의 중심지로서의 중요한 역할을 수행하고 있다. 2007년 안양시 도로연장 392.1 km 중 고속도로 11.8 km, 일반국도 15.7 km, 지방도 4.8 km, 시·군·도 359.9 km로 조사되었으며, 포장율은 고속도로 100%, 일반국도 100%, 지방도 100%, 시·군·도 87.6%로 나타났다(Anyang-si, 2009). 안양시는 국도 1호선, 국도 47호선, 국가지원지방도 57호선, 서울외곽순환도로, 제2경인고속국도 등 지역 간 광역교통체계가 형성되어 있다. 2007년 안양시 자동차 등록현황 수는 총 188,423 대이고, 승용차 79.3%, 화물차 13.5%, 승합차 7.1%, 이륜자동차 6.5%, 특수차 0.1% 순으로 조사되었다(Anyang-si, 2009). 참고로 2007년 안양시의 수송부문 온실가스 배출량은 안양시 전체배출량 3,297,935

tonCO₂eq/yr 중 약 27%를 차지하였다(Kim, 2009), 전국의 수송부문의 기여율이 15%인 것을 감안할 때 안양시에서 수송부문이 차지하는 비중이 높음을 알 수 있다.

2.2 배출량 산정방법

전 세계적으로 온실가스 배출량은 IPCC가 제시한 방법론을 사용하여 산정하고 있다. 특히 “2006년 IPCC 지침”은 “1996년 IPCC 지침”, “GPG 2000(Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories 2000)” 및 “GPG-LULUCF(Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry)”의 구조를 개선한 것으로써, 가장 기본적인 Tier 1 방법론에서 가장 세부적인 Tier 3 방법론까지, 세 가지 수준의 산정법을 제시하고 있다.

2.2.1 Tier 1

Tier 1 방법론은 배출계수와 관련하여 기초자료의 확보가 어려울 때 주로 사용하는 기본적인 방법론으로, 안양시의 연료별 소비량과 2006 IPCC 가이드라인에서 제시한 연료별 배출계수를 곱하여 추정한다. 따라

서 모든 연료에 대해 각각 오염물질의 배출량을 산정한 후 합산한다. Tier 1 방법은 국가차원의 배출량을 산정할 때 적합하지만, 지자체 차원에서 산정할 때에는 부적합하다. Tier 1에 의한 배출량 산정은 식 (1)과 같다(IPCC, 2006).

$$\text{Emission} = \sum_a \text{Fuel}_a \times \text{EF}_a \quad (1)$$

따라서 배출량(kg)은 연료 a의 소비량(또는 판매량)(TJ)에 연료 a의 배출계수(kg/TJ)를 곱한 후, 모든 연료 중에 대해 합산하여 계산한다(IPCC, 2006). 2006 IPCC G/L 연료 중별 배출계수는 표 1과 같다.

2.2.2 Tier 2

Tier 2는 Tier 1과 비교하여 활동자료를 정확하게 반영할 수 있고, 국가 배출계수를 사용한다는 점에서 우수한 방법론이다. 이 산정법은 연료소비량을 차종 및 배출제어기술에 따라 세분하여 계산한다. 우선 차종은 승용차, 경량 또는 중량 차량, 오토바이 등으로 분류하며, 가급적 배출제어기술 별로 차량의 분류가 가능하도록 차량을 세분하여야 한다. Tier 2는 활동자료로서 연료소비량을 이용하는 점에서는 Tier 1과 유사하지만, 차량 1대당 연료소비량과 차량등록대수를 곱하여 연료소비량을 산출한 점에서 차이가 있다. 본 연구에서 CO₂ 배출계수는 국내에서 개발된 배출계수를 적용하였다. 하지만 Non-CO₂ 배출계수는 국내에서 개발된 배출계수가 없으며, 또한 “2006년 IPCC 지침”에서도 유종별 및 차량별 배출계수가 부재하여 “1996년 IPCC 지침”에서 제시한 배출계수를 적용하였다. 우리나라에서는 1988년 이후 삼원촉매 장치의 장착이 의무화되었기 때문에, 제작 자동차 배출허용기준을 만족해야 하는 자동차의 경우, 전 차량에 대해 삼원촉매장치가 부착된 것으로 가정하였다(Korea Environment Corporation, 2010). Tier 2에 의한 배출량 산정은 식(2)와 같다(IPCC, 2006).

$$\begin{aligned} \text{CO}_2 \text{ Emission} &= \sum_a \text{Fuel}_a \times \text{EF}_a \\ \text{Non-CO}_2 \text{ Emission} &= \sum_{a,b,c} \text{Fuel}_{a,b,c} \times \text{EF}_{a,b,c} \end{aligned} \quad (2)$$

따라서, CO₂ 배출량(kg)은 Tier 1과 배출계수만 다르고, 산정방법은 같다. Non-CO₂의 배출량(kg)은 모든 연료종류(a: 가솔린, 디젤, 천연가스, LPG 등), 차종(b), 배출저감장치(c: 삼원촉매장치 등)을 고려하여 연료소비량을 산정하고 동일한 조건을 만족하는 배

Table 1. Road transport default CO₂ emission factors and uncertainty ranges by IPCC Guideline (2006)*.

Fuel type	Default (kg/TJ)	Lower (kg/TJ)	Upper (kg/TJ)
Motor gasoline	69,300	67,500	73,000
Gas/Diesel oil	74,100	72,600	74,800
Liquefied petroleum gases	63,100	61,600	65,600
Kerosene	71,900	70,800	73,700
Compressed natural gas	56,100	54,300	58,300
Liquefied natural gas	56,100	54,300	58,300

*Source: IPCC, 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (2006)

Table 2. CO₂ emission factors by Korea Environment Corporation Guidelines (2010)*.

Fuel type	Default (kg/TJ)
Gasoline	72,333
Gas/Diesel	72,600
Propane	64,533
Butane	66,366
Liquefied petroleum gas	64,900
Compressed natural gas	56,467
Liquefied natural gas	56,467

*Source: Korea Environment Corporation, Guidelines for Local Government Greenhouse Gas Inventories (2010)

출계수를 선정하여 곱한 후 합산한다(IPCC, 2006).

CO₂ 배출계수는 국내에서 연구된 국가고유의 배출계수를 적용하였고, Non-CO₂ 배출계수는 차량의 종류, 연소기술, 배기가스 저감장치에 따른 국가 고유 배출계수 연구가 진행되지 않았다. 또한, 2006 IPCC 가이드라인에서도 유종 및 차량별 Non-CO₂ 배출계수를 제시하고 있지 않아 1996 IPCC 가이드라인에서 제시한 배출계수를 적용하였다. CO₂ 배출계수는 표 2, Non-CO₂ 배출계수는 표 3과 같다.

2.2.3 Tier 3

Tier 3은 Tier 2보다 실제 활동도를 반영하기 때문에 가장 구체화된 배출량 산정 방법론이다. Tier 3은 크게 두 가지 산정방식으로 나눌 수 있다. 첫째는 실제 교통량에 입각하여 배출량을 산정하는 방식이다. 이 방식은 자동차의 총주행거리(VKT: vehicle kilometer travelled)를 이용하며, 실제 활동도 결과를 기초로 추정된 배출계수를 곱하여 배출량을 산정한다. 실측자료를 반영하기 때문에 시공간적 배출분배에 적합하고 차종별 연비기술을 반영시킨 가장 합리적 방법론이

다. 둘째는 일평균 주행거리에 입각하여 배출량을 산정하는 방식이다. 이 방법은 차량의 주행기록계를 바탕으로 광역단체단위의 차종별 일일평균주행거리를 산정한 후, 해당 지역의 자동차 등록대수를 고려하여 지역별로 할당하고, 배출계수를 적용하여 산정하는 방식이다. 현재 환경부에서는 두 번째 방식에 입각하여 차량에서 배출되는 각종 대기오염물질량을 산정하고 있다 (Park *et al.*, 2001). 하지만 이 산정방식은 차종별 배출계수가 차종과 연식에 크게 의존하기 때문에 일반적으로 적용할 경우 큰 오차를 유발하는 문제점이 있다 (Cheon, 2010). 본 연구에서는 경기도 교통 DB센터와 안양시청에서 측정된 실제 교통량 자료를 바탕으로 배출량을 산정하였다. Tier 3과 관련한 배출량 산정식은 식 (3)과 같다 (Kim and Lee, 2009).

$$\text{Emission} = \sum_{a,b,c} [\text{VKT}_{a,b,c} \cdot \text{EF}_{a,b,c}] + \sum_{a,b,c} C_{a,b,c} \quad (3)$$

따라서, 배출량 (kg)은 연간 총주행거리 (VKT, km · 대)에 배출계수 (EF, kg/km)를 곱한 후 산정한다. 이때 모

든 차량종류 (a: 승용차, 승합차, 화물차 등), 연료종류 (b: 휘발유, 경유, LPG 등), 속도 (c: km/h)를 고려하여 VKT와 동일한 조건을 만족하는 배출계수를 선정하여 곱한 후 합산한다 (Kim, 2009). $C_{a,b,c}$ 는 엔진이 가열되지 않았을 때인 예열 중의 배출량을 의미하며, 차량의 총 배출량에 대해 상당한 비중을 차지하는 것으로 보고되고 있다 (IPCC, 2006). Tier 3에 의한 non-CO₂의 총배출량에는 엔진운전 (hot) 상태의 배출량과 예열단계 (cold start)의 배출량을 합하여 계산해야 하나 본 연구에서는 예열단계의 배출계수와 연간 차량당 시동횟수 자료가 부족하여 non-CO₂의 총배출량 산정 시 예열단계의 배출량은 고려하지 못했다.

Tier 3 배출계수는 국내에서 아직까지 공식적으로 지정한 배출계수가 없는 관계로 국립환경과학원에서 발간한 “자동차의 온실가스 배출량 조사”에 나온 배출계수 산출식을 인용하였다. 이 배출계수 산출식은 평균주행속도의 함수이며, 온실가스 종류별로 표 4~6에 나타내었다. 평균주행속도는 경기도청에서 발간

Table 3. Non-CO₂ emission default factors by IPCC Guideline (2006)*.

Category	Default (kg/TJ)							
	Gasoline		Diesel		LPG		CNG	
	CH ₄	N ₂ O						
Cars	9.0	10.0	1.0	2.0	10	0.2	290	3.0
Light-duty Trucks	7.0	10.0	2.0	5.0	10	0.2	300	3.0
Heavy-duty Trucks/Bus	5.0	43.0	3.0	2.0	10	0.2	300	3.0
Motorcycles	42.0	1.0	NA	NA	NA	NA	NA	NA

*Source: IPCC, 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (1996)

Table 4. Estimation of vehicle's CO₂ emission factors*.

	Type	Emission factor (g/km · Number)	R ²
Cars	Gasoline	$177.7 \times V^{(-0.5151)}$	0.97
	Taxi	$1,397.4 \times V^{(-0.5475)}$	0.98
Bus	Light-duty (Diesel)	$1,103.7 \times V^{(-0.413)}$	0.89
	Middle-duty	$0.1251 \times V^{(2)} - 15.385 \times V + 646.05$	0.84
	Heavy-duty	City Bus < 50 km/h, $2804.7 \times V^{(-0.3105)}$	0.88
		$6,240.3 \times V^{(-0.3829)}$ (Except for City Bus)	
Truck	Light-duty (Diesel)	$1,073.8 \times V^{(-0.4009)}$	0.86
	Middle-duty	$0.1029 \times V^{(2)} - 14.937 \times V + 798.9$	0.89
	Heavy-duty	$6,240.3 \times V^{(-0.3829)}$	0.97

*Source: Motor Vehicle Emission Research Laboratory, An Investigation of Green House Gas Emission From Automobiles (2000)
V=both direction average speed by road section (km/h)

Table 5. Estimation of vehicle's CH₄ emission factors*.

	Type	Emission factor (g/km · Number)	R ²
Cars	Gasoline	$0.4406 \times V^{\wedge} (-0.7581)$	0.99
	Taxi	$0.7098 \times V^{\wedge} (-0.8604)$	0.99
Bus	Light-duty (Diesel)	$0.185 \times V^{\wedge} (-1.0453)$	0.98
	Middle-duty	$0.2221 \times V^{\wedge} (-0.6478)$	0.82
	Heavy-duty	City Bus < 50 km/h, $0.455 \times V^{\wedge} (-0.6839)$ $0.402 \times V^{\wedge} (-0.6197)$ (Except for City Bus)	0.99
Truck	Light-duty (Diesel)	$0.3796 \times V^{\wedge} (-0.9561)$	0.96
	Middle-duty	$0.4064 \times V^{\wedge} (-0.6478)$	0.99
	Heavy-duty	$0.402 \times V^{\wedge} (-0.6197)$	0.98

*Source: Motor Vehicle Emission Research Laboratory, An Investigation of Green House Gas Emission From Automobiles (2000)
V=both direction average speed by road section (km/h)

Table 6. Estimation of vehicle's N₂O emission factors*.

	Type	Emission factor (g/km · Number)	R ²
Cars	Gasoline	$0.67 \times V^{\wedge} (-0.7636)$	0.92
	Taxi	$1.8768 \times V^{\wedge} (-1.196)$	0.96
Bus	Light-duty (Diesel)	$0.139 \times V^{\wedge} (-0.8121)$	0.98
	Middle-duty	$0.0522 \times V^{\wedge} (-0.5206)$	0.87
	Heavy-duty	$2.0311 \times V^{\wedge} (-0.8501)$	0.99
Truck	Light-duty (Diesel)	$0.0522 \times V^{\wedge} (-0.5206)$	0.87
	Middle-duty	$0.0522 \times V^{\wedge} (-0.5206)$	0.87
	Heavy-duty	$2.0311 \times V^{\wedge} (-0.8501)$	0.99

*Source: Motor Vehicle Emission Research Laboratory, An Investigation of Green House Gas Emission From Automobiles (2000)
V=both direction average speed by road section (km/h)

한 “경기도 주요 도로별 차량통행속도조사 결과”에서 조사한 도로구간별 속도를 양방향 평균 속도로 계산한 값을 의미한다.

3. 결과 및 고찰

3.1 교통량 산정

교통량은 한 시간당 특정 지점을 통과하는 차량의 대수를 말하며, 시간대별 · 차종별로 파악하여 대기오염물질의 배출량을 산정할 때 사용되는 기본자료이다. 본 연구에서는 안양시를 통과하는 서울외곽순환고속국도와 서해안고속국도, 제2경인고속국도 교통량

은 경기도 교통DB센터 (Gyeonggi-do Transportation DB Center, 2010)에서 구축한 DB를 이용하였고, 경수산업대로, 관악로, 흥안로, 시민로, 중앙로의 교통량은 안양시청 교통행정과에서 조사한 자료를 이용하였다. 입수한 교통량 정보를 GIS (geographic information system: 지리정보시스템) 도로맵을 바탕으로 DB 구축방식으로 입력하였다.

교통량 산정결과는 그림 2와 같다. 안양시의 교통특성은 서울외곽순환고속국도가 통과하는 갈산동, 호계2동, 안양8, 9동의 통행량이 높게 조사되었으며, 그밖의 서해안 고속국도 및 제2경인고속국도가 통과하는 석수2동, 안양1, 2동, 비산1, 2동 등의 통행량이 높게 조사되었다.

3.2 연간 차종별 총주행거리 산정

차종별 평균 주행거리를 이용하는 배출량 추정방법은 현재 적용할 수 있는 가장 합리적 방법이다. 안양시에서의 도로별 주행거리는 차종별/도로별로 교통량 자료를 이용하여 추정하였다. 안양시청에서 조사한 차종별 비율 및 국토해양부 자동차생활과에서 조사한 안양시의 차량등록대수를 바탕으로 차종별 분배작업을 수행하였다. 단, 고속국도에서는 택시 및 시내버스의 통행량이 거의 없으므로 운행되지 않는 것으로 가정하였다. 주행거리는 호계1동, 안양9동이 높은 것으로 분석되었다. 특히, 호계1동의 경우 서울외곽순환고속국도와 경수산업국도가 통과하므로 교통량이 많아 주행거리가 높았고, 안양9동 역시 고속국도가 통과하여 주행거리가 높게 분석되었다. 그림

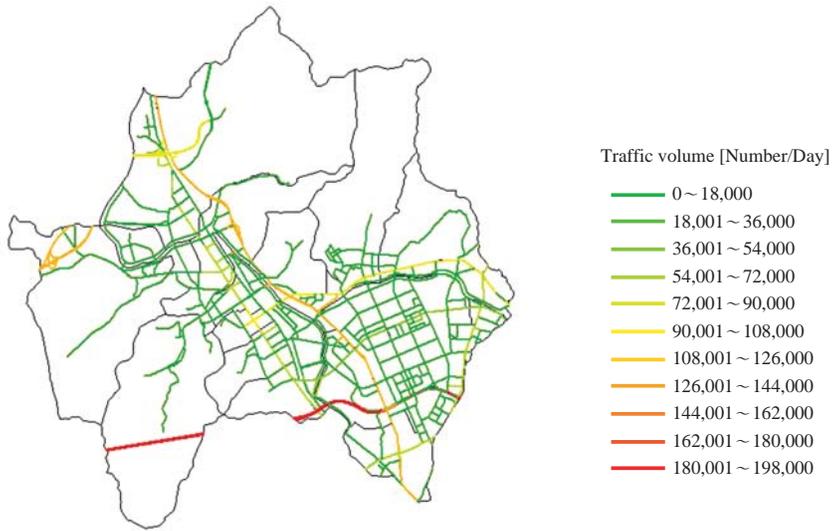


Fig. 2. Traffic volumes in Anyang City constructed on the basis of GIS road mapping.

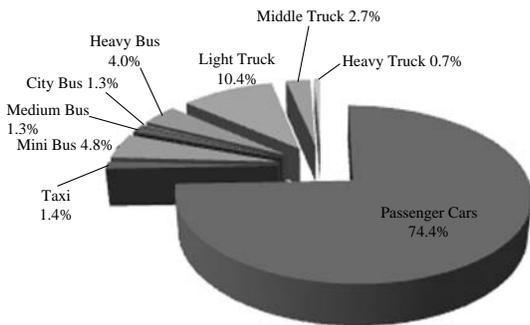


Fig. 3. Vehicle types apportioned on the basis of VKT in Anyang City.

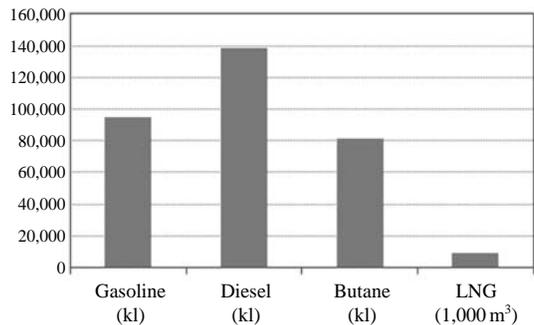


Fig. 4. The amounts of fuel consumed in Anyang City.

3은 안양시의 차종별 주행거리의 비율을 도식한 것이다. 승용차가 74.4%로 가장 비율이 높았고, 소형트럭 10.4%, 소형버스 4.8%, 대형버스 4% 순이었다.

3.3 배출량 산정결과

3.3.1 Tier 1에 의한 산정결과

도로수송부문에서 사용되는 에너지원은 비도로용 이동오염원의 연료사용량을 제외한 액체상의 휘발유와 경유, 기체상 부탄과 CNG로 나눌 수 있다. 안양시에서 2009년도 배출량을 Tier 1 방식으로 산정할 경우, 기본 활동자료인 연료소비량을 그림 4에 제시

Table 7. Greenhouse gas emissions calculated by Tier 1. (unit: tonCO₂eq)

Gas	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	Total
Emission	725,313	1,350	2,194	728,857

하였다. 우선 유류사용량은 국가석유정보시스템에서 자료를 조사하였다 (Korea National Oil Corporation, 2010). CNG의 경우, 지역에너지 통계연보와 안양시 통계연보에 수송부문의 도시가스 자료가 부재하기 때문에 차량등록대수와 차량 1대당 CNG 사용량을 이용하여 산정하였다. 최종 연료소비량은 가솔린의 경우 95,030 kl, 경유 138,546 kl, 부탄 80,931 kl, CNG

Table 8. Two different ways for classifying domestic vehicles types.

Classification in Korea		IPCC classification
Cars	> 800 cc	Cars
	800 ~ 1500 cc	
	1500 ~ 2000 cc	
	2000 ~ 3500 cc	
	3500 cc ≥	
Full-size Van	Passenger ≤ 15	Heavy-duty Truck & Bus
	16 ≤ Passenger ≤ 35	
	Passenger ≥ 36	
	City Bus	
	Intercity Bus Chartered Bus Express Bus Other Bus	
Truck	1 ton ≤	Light-duty Truck
	1 ~ 10 ton	Heavy-duty Truck & Bus
	10 ton ≥	
	Other	
Special Cars	Tow car	Heavy-duty Truck & Bus
	Wrecker	
	Other	
Motorcycle	50 cc <	Motorcycle
	50 ~ 100 cc	
	100 ~ 260 cc	

9,027 천m³으로 조사되었다. 이 연료소비량에 입각하여 최종 산정된 배출량을 표 7에 제시하였다.

3.3.2 Tier 2에 의한 산정결과

Tier 2 방식으로 배출량을 산정하기 위해, 한국환경공단의 “지자체 온실가스 배출량 산정지침”에 입각하여 안양시의 차량등록대수 자료와 세부분류/연료별 차량 1대당 연료소비량 자료를 이용하였다(Korea Environment Corporation, 2010). “자동차관리법 시행규칙, 별표 1. 자동차의 종류” 분류체계와 IPCC 분류체계가 다르기 때문에 본 연구에서는 표 8과 같이 차종을 분류하였다. IPCC에 의한 차종별 연료소비량은 표 9에 제시하였다.

안양시에서 IPCC 기준으로 분류한 차량의 등록대수는 승용차 163,562대, 소형트럭 18,971대, 중형트럭 및 버스 8,031대, 이륜자동차 12,204대로 조사되었다. 승용차의 경우 등록대수가 월등히 많았기 때문에 다른 차종과 비교하여 연료소비량이 가장 많았다. CNG를 제외한 차종별 유류사용량을 살펴보면, 승용

Table 9. The amounts of fuel consumed in Anyang City.

Vehicle type	Gasoline (KL)	Diesel (KL)	Butane (Ton)	CNG (1,000 m ³)
Cars	118,649	78,000	42,419	6,152
Light-duty Truck	114	38,456	2,482	66
Heavy-duty Truck & Bus	183	42,308	6,555	2,810
Motorcycle	556			
Total	118,946	158,764	51,456	9,027

Table 10. Greenhouse gas emissions calculated by Tier 2.
(unit: tonCO₂eq)

Type	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	Total
Cars	602,362	2,659	13,463	618,484
Light-duty Truck	106,394	98	2,131	108,623
Heavy-duty Truck & Bus	134,392	866	1,127	136,385
Motorcycle	1,245	15	5	1,265
Total	844,393	3,638	16,726	864,757

차의 경우 휘발유 소비량이 가장 많았으며, 전체유류 소비량의 약 49.6%를 차지하였다. 이륜자동차의 경우 연료 중 휘발유만 사용하였고, 소형트럭과 중형트럭 및 버스의 경우 경유사용량이 많았으며, 전체유류소비량의 93.7%와 86.3%를 각각 차지하는 것으로 분석되었다. 차종별 온실가스 배출량은 연료소비량이 가장 많은 승용차의 배출량이 총배출량의 71.5% 차지하여 가장 높았고, 중형트럭 및 버스 15.8%, 소형트럭 12.6%, 이륜자동차 0.1% 순이었다. 차종별 연료 소비량을 고려하여 산정된 도로수송부분의 온실가스 배출량은 표 10과 같다.

3.3.3 Tier 3에 의한 산정결과

Tier 3 방식으로 배출량을 산정하기 위해, 앞서 추정된 차종별 주행거리와 양방향 구간별 평균속도 자료를 활용하였다. 또한 Tier 3과 관련된 공식적인 배출계수가 없기 때문에 본 연구에서는 국립환경과학원(2000)에서 발간한 “자동차의 온실가스 배출량 조사”에서 제시한 배출계수를 사용하였다. 따라서 동단위로 교통량에 입각하여 산정한 온실가스의 배출량은 표 11과 같으며, 그림 5에 안양시 전체를 도식하였다. Tier 3에 의한 총배출량은 661,710 tonCO₂eq로 산정되었으며, 동별 배출량은 주행거리가 가장 긴 호계2동이 가장 많은 온실가스를 배출하였으며, 석수

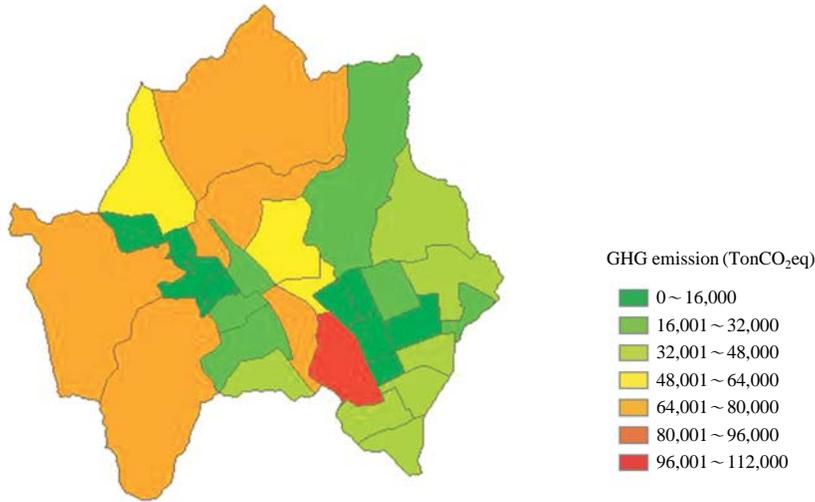


Fig. 5. Greenhouse gas emissions from each village (Dong unit) in Anyang City. Emissions were calculated on the basis of Tier 3.

Table 11. Greenhouse gas emissions calculated by Tier 3. (unit : tonCO₂eq)

Gas	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	Total
Emission	634,639	1,214	25,857	661,710

1동, 안양2동 순으로 높게 나타났다.

3. 4 산정방법간 온실가스 배출량의 비교

안양시의 2009년도 도로수송부문에 대한 온실가스 배출량을 산정방법별(Tier 1, Tier 2, Tier 3)로 비교한 결과를 그림 6에 제시하였다. 총 배출량의 경우, Tier 2로 산정할 때 864,757 tonCO₂eq/yr로 가장 높게 계산되었으며, Tier 3로 산정할 때 661,710 tonCO₂eq/yr로 가장 낮게 계산되었다. 온실가스별로 비교할 경우, CO₂가 Tier 2로 산정할 때 844,393 tonCO₂eq/yr로 가장 높았고, CH₄는 Tier 2가 3,638 tonCO₂eq/yr로 역시 가장 높았다. 반면, N₂O는 Tier 3로 산정할 때 25,857 tonCO₂eq/yr로 가장 높았다. 이는 N₂O의 Tier 3 배출계수값이 Tier 2보다 값이 더 크기 때문에 N₂O 배출량 부문에서 Tier 3이 높게 산정되었다.

Cheon (2010)이 2006년 서울시 도로수송부문에 대한 온실가스 배출량을 비교한 결과를 보면, 실제 교통량에 입각하여 CO₂의 배출량을 산정한 Tier 3 방식이 유류사용량에 의한 Tier 1보다 21% 정도 낮게 분석

되었다. 2009년 안양시를 대상으로 산정한 본 연구에서는 Tier 3로 산정한 배출량이 Tier 1보다 약 10.1%, Tier 2보다 30.7% 낮게 분석되었다.

Tier 2로 산정한 온실가스의 총배출량이 가장 높은 이유는 우선, 연료소비량을 연료별로 비교할 때 부탄과 CNG를 제외한 휘발유와 경유의 소비량이 Tier 2가 많았기 때문이다. 이는 Tier 1은 국가석유정보시스템의 연료판매량을 그대로 인용하였지만, Tier 2의 경우 차량 1대당 평균 연료사용량과 차량 등록대수를 이용하여 연료소비량을 산정하였으므로 활동자료를 배출방법에 따라 연료사용량의 차이가 발생된다. 또한, Tier 3의 경우 주요 간선도로(고속국도, 일반국도, 국가지원지방도, 지방도)만이 계산에 포함되었고, 이면도로의 교통량 조사가 제외되었기 때문에 배출량이 과소산정되었다.

본 연구결과와 같이 Tier 1의 경우 국가전체 배출량을 산정할 때는 비교적 어려움 없이 적용할 수 있으나, 지자체 수준에서 배출량을 산정할 때 적합하지 않다. 이는 해당 지자체 내에서 판매한 연료량과 지자체 내에서 소비하는 연료량이 동일하지 않기 때문이다. 따라서 배출량을 산정할 때 과소 혹은 과다 평가될 여지가 있다. 또한 사용되는 배출계수도 “2006년 IPCC 지침”속의 기본계수를 이용하므로 불확도가 클 수 있다.

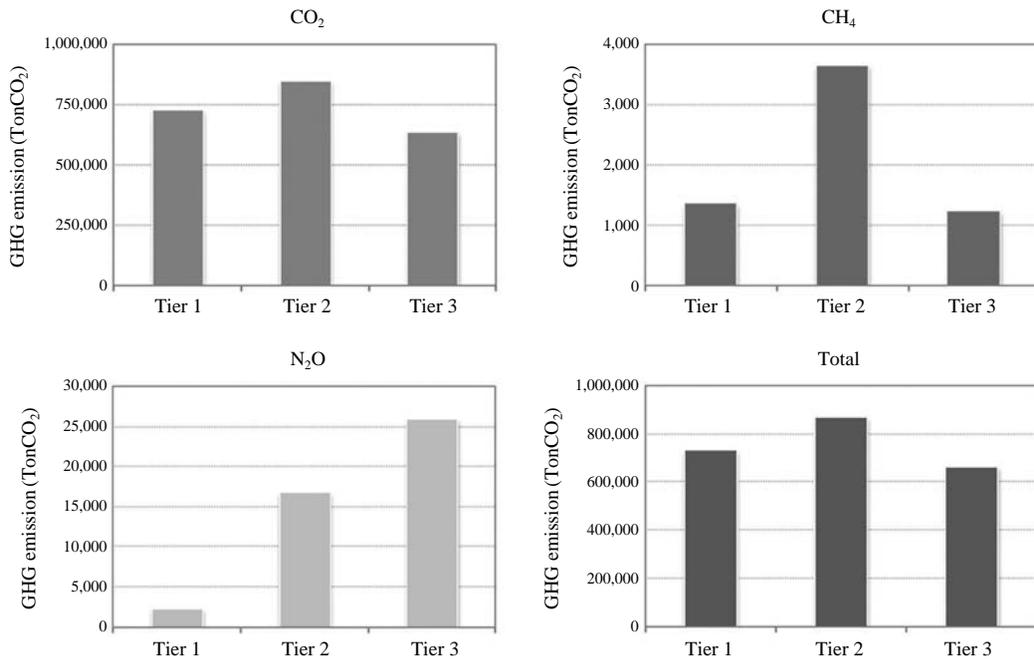


Fig. 6. Comparisons of greenhouse gas emissions among estimation methods, Tier 1, Tier 2, and Tier 3.

이와 같은 이유로 현 시점에서 안양시의 차량등록 대수 및 차종별 연료소비량, 배출저감장치 등을 고려한 Tier 2의 사용이 Tier 1보다 바람직하다고 판단된다. 또한, Tier 2의 경우 CO₂의 배출량을 산정할 때 국내에서 개발된 배출계수를 사용할 뿐만 아니라 CH₄, N₂O의 배출량을 산정할 때에는 차종별 배출계수를 사용하므로 Tier 1보다 불확도가 크게 감소된다. 따라서 안양시의 실제 도로수송부문 온실가스 배출량을 산정할 때 Tier 2가 Tier 1보다 실제 배출량에 근접할 것으로 사료된다.

4. 결 론

국가단위가 아닌 지역단위, 즉 지자체별 온실가스 배출량을 산정 시 해당지역의 연료판매량과 차량운행지역의 차이로 인해 도로수송부문의 온실가스 배출량에도 차이가 발생하게 된다. 따라서, 본 연구에서는 지자체 도로수송부문의 온실가스 배출량과 관련하여, “2006년 IPCC 지침” 및 “지자체 온실가스 배출량 산정지침”, “도로교통량 통계연보를 활용한 도로

부문 온실가스 배출량 추정”에서 제시한 3가지 산정 방법(Tier 1, Tier 2, Tier 3)을 비교분석하였다. 이를 위해 안양시를 연구대상지역으로 선정하고 2009년 도로수송부문의 배출량을 계산하였다. 배출량을 3가지 방법별로 산정한 결과, 안양시에서의 배출량은 Tier 1 728,857 tonCO₂eq/yr, Tier 2 864,757 tonCO₂eq/yr, Tier 3 661,710 tonCO₂eq/yr이었다. 온실가스별로 비교할 경우, CO₂가 Tier 2로 산정할 때 844,393 tonCO₂eq/yr로 가장 높았고, CH₄는 Tier 2가 3,638 tonCO₂eq/yr로 역시 가장 높았다. 반면, N₂O는 Tier 3로 산정할 때 25,857 tonCO₂eq/yr로 가장 높았다.

이와 같이 차이가 발생하는 이유는 첫째, Tier 3은 주요 간선도로의 교통량에 입각하여 배출량을 산정하므로 이면도로를 비롯한 비실측 도로의 배출량 산정이 제외되었고, 둘째, Tier 1은 연료소비량과 2006 IPCC 가이드라인에서 제시한 공통계수인 연료별 배출계수를 곱하여 추정한다. 연료소비량은 국가차원에서 사용할 때는 방법론이 단순하지만 비교적 정확한 방식으로 간주할 수 있으나, 지자체 차원에서 산정할 때는 이동오염원의 규모, 차종, 연비, 저감장치의 특성을 반영하지 못하므로 실제 배출량과는 차이가 발

생한다. 또한, Tier 2 국가 고유한 배출계수를 사용한다는 특성이 있다. 따라서, 현 시점에서 안양시를 포함한 우리나라 지자체에서의 도로수송부문에 대한 온실가스 배출량을 산정할 때, Tier 2가 Tier 1이나 Tier 3보다 실제 배출량 추정에 가장 근접하고 불확도가 적은 방법론으로 판단된다.

그러나 추후 교통량 조사지점을 확대하고 상세한 교통량 활동자료를 확보하거나 이면도로와 같은 비실측도로의 교통량을 추정할 수 있는 모델링이나 시스템이 개발된다면 Tier 2 방식보다는 Tier 3로 전환하여야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 2009년 경기지역 환경기술개발센터의 과제(과제번호 2009-II-4) 『안양시 온실가스 및 미세먼지 저감 기반구축 방안연구』의 일환으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

Anyang-si (2009) 2009 Statistical Yearbook of Anyang.
 Cheon, S.M. (2010) A study on the generated carbon dioxide amount estimation from road transportation part in Seoul, Department of Environmental Engineering, Graduate School, The University of Seoul.
 Gyeonggi-do Transportation DB Center (2010) Traffic volume in Anyang City, <http://gtdb.gg.go.kr>.
 IPCC (2006) 2006 IPCC guidelines for national greenhouse

gas inventories.
 Kheshgi, H.S., S.J. Smith, and J.A. Edmonds (2005) Emissions and atmospheric CO₂ stabilization: long-term limits and paths, *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 10(2), 213-220.
 Kim, D.S. (2009) Studies on the development of management plans for reducing emissions of greenhouse gases and ambient PM₁₀ in Anyang City, Kyonggi Regional Environmental Technology Development Center.
 Kim, D.Y., Y.K. Kim, and J.S. Jo (2008) Development of GHGs emission inventory system for Gyeonggi-Do, Gyeonggi Research Institute.
 Kim, J.G. and D.K. Lee (2009) Estimate greenhouse gas emissions emitted from road transportation by statistical yearbook of traffic volume, Eco Frontier Carbon Business Team.
 Korea Environment Corporation (2010) Guidelines for local government greenhouse gas inventories.
 Korea National Oil Corporation (2010) Amount of oil used, <http://www.petronet.co.kr>.
 Motor Vehicle Emission Research Laboratory (2000) An investigation of greenhouse gas emission from automobiles, National Institute of Environment Research.
 Park, S.K., S.D. Kim, and Y.I. Lee (2001) Comparative study on the methodology of motor vehicle emission calculation by using real-time traffic volume in the Kangnam-Gu, Korean Society of Transportation, 19(4), 35-47.
 Song, H.D., J.H. Hong, Y.S. Um, S.B. Lee, D.G. Kim, and J.S. Kim (2007) A study on the estimation of emission factors for greenhouse gas (CO₂) in cement industry, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 23(2), 158-168.