

신도시 계획단계에서의 교통부문 온실가스 배출량 산정 및 감축효과 분석방법론 연구

한상진* · 박경욱** · 박수진***

Estimation of Greenhouse Gas Emissions from Transport Sector
in New Town Development

Sang-Jin Han* · Kyung-Uk Park** · Su-Jin Park***

한국교통연구원(The Korea Transport Institute)

제출: 2013년 4월 4일 수정: 2013년 9월 30일 승인: 2013년 12월 5일

국문 요약

2020년까지의 국가온실가스 감축목표를 달성하기 위해서는 도시교통부문에서 상당한 감축노력이 필요하다. 특히 새롭게 개발되는 신도시의 온실가스 배출량을 줄이는 노력은 이러한 목표달성에 도움이 된다. 본 연구는 Schipper, celine, Roger(2000)가 개발한 교통부문 온실가스 배출량 산정의 일반모형을 토대로 신도시 개발 계획에 따른 교통부문의 베이스라인 온실가스 배출량을 산정한다. 이를 위해 우리나라에서 이용이 가능한 교통부문의 통계자료를 어떻게 활용할 수 있는지 제시한다. 이 과정에서 차종별, 대-km별 온실가스 배출원단위를 산정하였다. 아울러 다양한 교통부문의 온실가스 저감정책 효과를 분석하는데 개발된 모형이 활용될 수 있는지를 판단하기 위해 자전거 이용 활성화 정책을 사례로 온실가스 저감잠재량을 분석한다. 인천광역시 검단 1지구 신도시를 대상으로 적용한 결과 교통부문의 베이스라인 온실가스 배출량은 연간 약 36만 톤으로 추정되었고 자전거 이용 활성화 정책으로 5%의 자전거 수단분담율을 달성할 경우 연간 약 1,869톤의 온실가스를 줄일 수 있는 것으로 분석되었다.

주제어 온실가스 배출량, 베이스라인 온실가스 배출량, 온실가스 배출 원단위, 온실가스 저감정책

Abstract

This study estimates baseline greenhouse gas emissions from transport sector when a new town is developed. It has adopted a general greenhouse gas estimation model developed by Schipper, celine, Roger(2000) for the estimation, and showed how various transport related statistics can be utilized in detail. Particularly, it has produced unit greenhouse gas emission factor per vehicle types, vehicle-km, and trip-km. To evaluate effects of greenhouse gas reduction policies, it has calculated how much emissions will be reduced from bicycle promotion. It has turned out that about 369 thousand tons of carbon dioxide will be emitted from transport sector once the 1st Geomdan New Town is developed in Incheon metropolitan city. If the policy of bicycle promotion can attract people to use bicycle as much as 5% of total trips, then it can reduce about 1,869 tons of carbon dioxide.

* 세계교통포럼, 한국교통연구원 파견근무(Policy Analyst, OECD International Transport Forum), 교신저자: han@koti.re.kr

** 한국교통연구원 전문연구원(Associate Research Fellow, Korea Transport Institute)

*** 한국교통연구원 연구원(Researcher, Korea Transport Institute)

【Keywords】 Greenhouse Gas Emission, Baseline Greenhouse Gas Emission, Unit Greenhouse Gas Emission, Greenhouse Gas Reduction Policy

I. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

정부의 2020년 국가 온실가스 감축목표(Business As Usual 대비 33% 감축)를 달성하기 위해서는 교통부문에서도 상당한 감축 노력이 요구된다. 교통부문이 국가 전체의 온실가스 배출량에서 차지하는 비중은 14%(국토해양부, 2011)에 이르며 이 중 대부분은 도로부문에서 배출된다. 도로의 대부분이 도시부에 위치하고 많은 차량통행이 도시부에서 이루어지고 있음을 감안할 때 도시부에서 도로교통 온실가스 배출량을 줄이는 노력은 교통부문 온실가스 배출량 감축에서 가장 중요하게 다루어야 하는 대상이다. 특히 도시 차원에서는 교통부문의 온실가스 배출량이 가장 큰 비중을 차지한다. 가령 서울시를 예로 들면 전체 온실가스 배출량 중에서 약 40%가 도로교통부문에서 발생하고 있다(고준호 외, 2009).

이러한 차원에서 도시교통부문의 온실가스를 줄이려는 정책수단에 대한 관심이 높아지고 있다. 신도시를 개발할 때 차량이용을 원천적으로 줄일 수 있는 대중교통중심 도시개발(Transit Oriented Development)이나 압축도시(Compact City)와 같은 새로운 도시계획수법과 더불어 자전거 도로의 확충, 보행우선구역이나 보행자전용지구의 확대, 간선급행버스체계(Bus Rapid Transit) 등의 비동력 교통수단이나 대중교통 육성정책 등이 강조되고 있다. 이러한 정책은 차량이용의 필요성을 줄이거나 통행수단을 친환경 교통수단으로 전환시켜 온실가스를 줄이는 데 도움이 된다. 이와 더불어 전기자동차 등 친환경 차량의 도입도 늘려가고 있는 추세이다.

이렇게 다양한 정책들이 도시에서 발생하는 교통부문의 온실가스를 얼마나 줄일 수 있을지에 대한 추정은 정책의 우선순위를 정리하기 위해 반드시 필요하다. 가령, 정책 추진에 소요되는 비용과 온실가스 감축 효과가 어느 정도인지를 산출해야 단기적으로 추진해야 할 정책과 장기적으로 추진해야 할 정책이 어떤 것인지를 분류할 수 있다. 특히 신도시의 경우 개발 단계에서 수립되는 도시계획과 교통계획에 이러한 온실가스

저감정책을 반영할 수 있기 때문에 저감 정책별 온실가스 감축효과를 이해한다면 보다 비용효과적인 온실가스 정책을 도시개발 초기단계부터 고려할 수 있는 장점이 있다. 그러나 도시부의 교통부문에서 발생하는 온실가스 배출량을 구체적으로 산정한 연구는 매우 제한적이다.

이에 본 연구는 교통부문의 온실가스 배출량 산정 방법론을 신도시 개발 사업을 대상으로 정립하고 이를 기반으로 신도시의 베이스라인 배출량¹⁾과 다양한 교통정책별 온실가스 저감효과를 개략적으로 산정하고자 한다.

2. 연구의 범위

최근 추진하고 있는 신도시 중에서 이미 도시설계 및 교통영향평가가 이루어진 인천시 검단 1지구를 대상으로 교통부문의 온실가스 배출량을 산정한다. 계획인구, 차량등록대수, 통행발생량 등 온실가스 배출량 산정에 필요한 기초자료를 비교적 쉽게 구할 수 있기 때문이다. 그러나 온실가스 배출량 산정 방법론은 다른 신도시 개발에도 쉽게 적용할 수 있는 일반적 형태로 개발한다.

따라서 본 연구의 베이스라인 배출량 산정 방법론은 기존의 지역별 인구, 자동차 등록대수 등 사회경제지표 및 통계에 기반으로 한 하향식추정법(Top-down approach)의 범주에서 이해될 수 있다. 이는 개별 차량의 활동량을 기반으로 전체 배출 총량을 산출하는 상향식추정법(Bottom-up approach)과는 차이가 난다. 아울러 하향식 추정방식의 특성상 본 연구에서 개발하고자 하는 도시교통부문의 온실가스 배출량 산정방법론은 정확한 배출량 산정에 초점을 두기보다 다양한 온실가스 저감정책의 효과를 합리적으로 비교하는 데 초점을 둔다.

내용적으로는 우선 교통부문 온실가스 배출량 산정과 관련된 기존연구를 살펴보고 차종별 등록대수와 주행거리 등 계획단계에서 이용할 수 있는 자료를 기반으로 온실가스 배출량 산정 방법을 검토한다. 그 후 검단 1지구를 대상으로 교통부문의 베이스라인 배출량을 산정하고 교통정책별 온실가스 감축효과를 알아보기 위해 자전거 이용 활성화 정책을 사례로 분석한다.

1) 여기서 베이스라인 배출량이란 현재의 기술 수준이나 교통이용 행태가 지속될 것으로 가정할 때 배출되는 온실가스 배출량으로써 온실가스 저감정책의 시행으로 인한 온실가스 배출량의 변화를 계산할 때 기준이 되는 배출량을 의미한다.

II. 선행연구 검토

교통부문의 온실가스 배출량 산정과 관련된 국내 연구는 지금까지 국가 차원의 장래 배출량을 추정하는 연구가 많다. 이성원 외(2008)의 연구에서는 장래 교통부문의 에너지 소비량을 자동차대수 등의 예측을 통해 추정하였다. 한상진 외(2010)에서는 최근까지 시행된 국가 차원의 교통부문 온실가스 배출량 산정연구를 비교하고 시계열 분석 모형과 온실가스 배출원단위를 통한 장래 온실가스 배출량 추정방법을 제시하였다.

다양한 교통정책의 온실가스 감축효과를 분석한 문헌으로는 조준행 외(2006), 고준호 외(2009) 등이 있다. 조준행 외(2006)에서는 전통적인 교통수요분석 기법을 통해 교통수요관리 정책의 온실가스 감축효과를 제시하고 있다. 고준호 외(2009)에서는 교통정책의 온실가스 감축효과와 소요비용 등을 기존 연구결과를 이용하여 정리하였다. 아울러 서울시 가구통행실태조사 자료를 분석하여 온실가스를 많이 배출하는 통행의 특성을 구체적으로 분석하였다.

한편, 국외적으로 Schipper, celine, Roger(2000)에서는 교통부문의 온실가스 배출량 산정을 위한 일반모형을 제시하고 이를 활용한 개발도상국의 교통부문 온실가스 배출량 산정 및 정책효과 분석 방법을 Schipper, Maria, wei-shiuen(2007)에서 제시한 바 있다. ADB(2010)에서는 지방부 도로, 도시부 도로, 고속도로, 자전거 도로, 도시철도 및 경전철, 간선급행버스(Bus Rapid Transit), 그리고 철도 등 일곱 가지 교통사업에서 발행하는 온실가스 배출량 분석 방법론을 제시하고 있다. 이는 개별 교통사업이 시행될 경우 건설과 운영 단계에서 배출되는 온실가스 배출량을 전 과정(Life-cycle) 차원에서 추정하는 것으로 도시차원의 교통부문 온실가스 배출량을 종합적으로 산정하고 분석하지는 않았다.

이러한 관점에서 본 연구는 국가 차원이 아닌 도시 차원의 교통부문 온실가스 배출량 예측방법론을 Schipper, celine, Roger(2000)가 제시한 일반 모형 관점에서 정리하고 도시차원에서 적용할 수 있는 다양한 교통정책의 온실가스 저감효과를 우리나라에서 이용 가능한 자료를 활용하여 산정하고자 한다. 특히 계산과정을 포함시켜 유사한 연구를 진행할 때 구체적인 참고가 되도록 하고자 한다.

III. 신도시 교통부문 온실가스 배출량 산정

1. 배출량 산정방법

온실가스 배출량 산정은 '기후변화에 관한 정부 간 패널(IPCC, International Panel on Climate Change)'에서 제시한 대로 활동자료와 이에 상응하는 배출계수의 곱으로 계산된다. IPCC(2006)는 대체로 세 가지 수준(Tier)의 온실가스 배출량 산정방법을 제시한다. 교통부문에서는 도로, 철도, 항공, 해운 등 교통수단별 특성을 고려하여 이산화탄소(CO₂), 메탄(CH₄), 아산화질소(N₂O) 등에 대한 배출량 산정방법을 제시한다. 교통부문 온실가스의 대부분을 차지하는 이산화탄소를 예로 들면 대체로 제1수준(Tier 1)은 유류 등 에너지 사용량을 활동자료로 하고 IPCC 가이드라인에서 제시하는 에너지종류별 표준배출계수를 사용하여 배출량을 산정한다. 제2수준은 에너지 사용량에 국가별 고유 온실가스 배출계수를 곱하여 계산한다. 제3수준에서는 연료, 차량종류, 주행거리, 운행조건 등을 고려한 다양한 활동자료를 이용하여 온실가스 배출량을 산출한다. 하지만 활동자료가 복잡해질수록 배출계수 역시 이에 맞게 개발되거나 추정되어야 하기 때문에 수준이 올라갈수록 실제 적용에 어려움이 많다. 대체로 전체 온실가스 배출량은 단계가 낮을수록 계산이 용이하며, 단계가 올라갈수록 계산은 복잡해지나 다양한 정책이 온실가스 배출량에 미치는 효과를 분석하는 데 용이하다.

Schipper, celine, Roger(2000)은 교통부문의 온실가스 배출량 추정을 위해 ASIF 모형을 제안한 바 있다.

$$GHG = Activity \times Modal Share \times Energy Intensity \times Carbon Intensity of Fuel$$

여기서,

GHG = 교통부문의 온실가스 배출량

Activity = 활동도. 교통수단별 수송실적(인-km, 톤-km, 대-km)

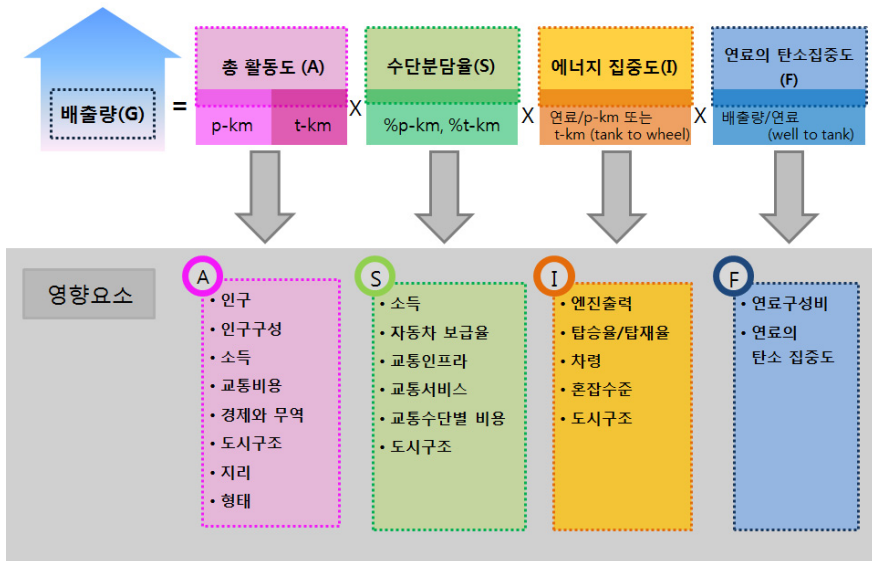
Modal Share = 교통수단별 여객 및 화물의 수단분담률

Energy Intensity = 에너지 집중도. 교통수단별 에너지 수요, 혹은 인-km, 대-km 당 연료소비량

Carbon Intensity of Fuel = 연료의 탄소집중도. 연료별 단위에너지소비 당 탄소 집중도를 의미

ASIF 등 각 설명변수에 영향을 미치는 요소와 단위는 <그림 1>에 정리되어 있다. 가령 활동도의 경우는 인구수, 인구구성, 경제구조 등의 요소에 영향을 받고, 수단분담율은 소득, 자동차 보급률, 교통 인프라 수준 등에 영향을 받는다. 에너지 집중도는 엔진 출력, 탑승율(loading factor)에 영향을 받고 연연의 탄소집중도는 연료의 특성에 영향을 받는다.

그림 1 ASIF 모형의 영향요소



Schipper의 ASIF 모형은 집계자료(Aggregate data)와 비집계 자료(Disaggregate data) 모두에 대해 사용이 가능하며 변수의 사용도 탄력적으로 운영할 수 있다. 가령 IPCC 가이드라인에서 제시하는 Tier 1, 2, 3 방법론은 ASIF 모형을 통해 설명이 가능하다. 연료소비량을 기준으로 하는 Tier 1과 2의 배출량 산정은 Schipper 모형에서 에너지소비량을 나타내는(I)과 연료의 탄소함유량(F)을 이용하여 배출량을 산정하는 방식으로 이해할 수 있다. 보다 미시적 자료를 활용하는 Tier 3은 여기에 활동도를 의미하는 A와 S를 함께 고려하는 것으로 이해할 수 있다. 즉 총 활동도(A)에 수단별 구성비(S)를 곱하여 교통수단별 활동도를 계산한다. 교통수단별 기술특성은 I와 F 변수를 이용하여 반영할 수 있다. 따라서 ASIF 모형은 교통부문 온실가스 배출량 추정의 일반적인 틀을 제시한 것으로 이해할 수 있다.

이런 측면에서 국내 신도시 개발단계에서 교통부문의 장래 온실가스 배출량 추정 역시 Schipper의 일반모형 혹은 ASIF 모형을 활용하여 추정할 수 있다. 본 연구에서는 장래 신도시의 교통부문 온실가스 배출량 추정을 위해 식 (1)을 제시한다. 식 (1)은 교통부문의 온실가스 배출량은 차종별 대수에 연간주행거리와 단위주행거리별 온실가스 배출량을 곱하여 계산함을 의미한다. 가령 신도시에서 이용되는 온실가스 배출량은 교통수단별로 추정된 온실가스 배출량을 합하여 계산할 수 있다. 식 (1)은 ASIF 모형에서 총 활동자료(A)로 대-km, 수단 분담(S) 측면에서는 신도시 교통수단으로 예상되는 승용차, 버스, 화물차 등을 고려하였다. 특히 신도시에서는 여객과 화물의 통행량을 나타내는 인-km 혹은 톤-km의 총량 자료를 이용하기 어려워 총 활동자료는 대-km 단위로 정리한다. 신도시 계획단계에서 수행되는 교통영향평가 등 관련 연구 및 사업에서 주로 대-km 단위로 관련 분석을 시행하기 때문이다. 에너지 집중도(I)와 연료의 탄소집중도(F)는 별도로 고려하지 않고 차종별 온실가스 배출원단위 개념으로 통합하였다.

$$E_T = \sum_m (N_m \times L_m \times U_m) \quad (1)$$

여기서,

E_T = 신도시 교통부문 온실가스 배출량

N_m = 교통수단 m 의 차량대수

L_m = 교통수단 m 의 단위차량별 주행거리

U_m = 교통수단 m 의 단위주행거리당 온실가스 배출원단위

2. 베이스라인 온실가스 배출량 산정

베이스라인 배출량이란 현재의 기술 수준이나 교통이용 행태가 지속될 것으로 가정할 때 배출되는 온실가스 배출량을 의미한다. 흔히 BAU(Business-As-Usual) 상황의 온실가스 배출량을 의미한다. 식 (1)을 기반으로 베이스라인 배출량을 산출하기 위해서는 장래 목표년도(2016년)의 차종별 대수, 평균주행거리, 차종별 단위 주행거리 당 온실가스 배출원단위 등이 필요하다. 베이스라인 배출량의 정의상 목표년도의 인구 당 차량대수, 차종별 평균주행거리, 온실가스 배출원단위 등은 기준년도 자료와 같을 것으로 가정한다. 이는 현재의 교통수단별 이용행태, 연비 등 차량기술이 장래에도 변화

가 없다는 것을 의미한다.

만약 기존 도시에 대한 베이스라인 온실가스 배출량 추정인 경우에는 과거 교통부문의 온실가스 배출량 추이를 이용하여 시계열 모형을 구축하여 추정할 수도 있다. 그러나 본 연구는 신도시를 대상으로 하므로 과거의 배출량 정보를 알 수 없다. 이런 차원에서 식 (1)에 의한 방법으로 추정한다. 이를 위해 신도시의 장래 차종별 대수, 차종별 연간평균주행거리, 차종별 단위 주행거리당 온실가스 배출원단위 등의 자료가 필요하다. 이러한 자료의 산정 방법을 순서대로 정리한다.

1) 차종별 등록대수 추정

차종별 등록대수의 추정은 신도시 계획인구에 일인당 차량대수를 곱하여 계산하며 이를 차종별로 나누기 위해 차종별 구성비를 곱한다. 일인당 차량대수와 차종별 구성비는 분당과 일산의 평균치를 사용한다. 차종은 「2008년 에너지총조사보고서(에너지경제연구원, 2009)」를 기준으로 자가용과 영업용 차량 그리고 승용차, 버스, 화물차 등으로 구분한다.

$$N_m = P \times u_N \times r_m \quad (2)$$

여기서,

P = 인천 검단 1지구 추정인구(인)

u_N = 일인당 차량대수 원단위(대/인)

r_m = 신도시에서 차종 m 의 평균구성비(%)

인천광역시(2009)에서 추정한 2016년 기준 인천 검단 1지구의 계획인구는 177,000(인)이며, 신도시의 인구 일인당 차량 등록대수는 분당과 일산 신도시의 평균인 0.36(대/인)으로 가정하였다. 이러한 가정은 신도시의 입지에 따라 크게 영향 받을 수 있으므로 지역에 따라 다르게 적용될 필요가 있다. 식 (2)에 따라 인천 검단 1지구의 2016년도 차종별 등록대수를 추정한 결과는 <표 1>과 같다.

표 1 인천 검단 1지구의 장래 목표연도(2016년)의 차종별 대수 추정결과

차종구분		신도시 차종별 평균 구성비(%)	차종별 등록대수(대) ^{주)}
자가용	승용차 일반	0.697	44,413
	승용차 다목적	0.140	8,921
	승합차	0.049	3,122
	화물차	0.081	5,161
영업용	택시	0.017	1,083
	버스	0.009	573
	화물차	0.007	446

주: 177,000(인)×0.36(대/인)×신도시 차종별 평균 구성비(%).
 자료: 분당구 및 일산구 통계연보.

2) 차종별 연간 평균주행거리 산정

인천 검단 1지구에서 주행하게 될 차량들의 주행거리 특성은 검단 신도시가 행정구역상 속해 있는 경기도 지역의 차량 주행거리 특성과 동일하다고 가정하고, 교통안전공단(2008)에서 제시하는 차량 한 대당 일일 평균 주행거리(경기도)를 이용하여 연간 평균 주행거리를 산정하였다. 산정결과는 <표 2>와 같다.

표 2 인천 검단 1지구의 장래 목표연도(2016년)의 차종별 연간 평균주행거리 추정결과

차종구분		일일 평균주행거리(km/일)	연간 평균주행거리(km/년) ²⁾
자가용	승용차 일반	37.34	13,629
	승용차 다목적	51.96	18,965
	승합차	55.38	20,214
	화물차	54.43	19,867
영업용	택시1)	214.37	78,245
	버스	229.36	83,716
	화물차	139.07	50,761

주: 1) 렌터카는 제외하고 법인택시와 개인택시의 가중 평균값을 사용.

2) 1년은 365일로 가정.

자료: 교통안전공단(2008).

3) 차종별 온실가스 배출원단위 산정

차종별 온실가스 배출원단위 ($\text{gCO}_2/\text{대}\cdot\text{km}$)는 차종별 온실가스 배출 총량을 차종별 연간 총 주행거리로 나누어 계산할 수 있다. 그러나 국내에서 차종별 온실가스 배출 총량과 이에 상응하는 차종별 연간 총 주행거리는 공식적 통계자료로 구할 수 없다. 따라서 본 연구에서는 에너지경제연구원(2009)의 차종별 에너지 사용량에 순발열량, 석유환산계수, 탄소배출계수, CO_2 전환계수 등을 적용하여 차종별 차량 한 대당 온실가스 배출량($\text{tCO}_2/\text{대}\cdot\text{년}$)을 계산한 후 여기에 차종별 등록대수(대)를 곱하여 차종별 온실가스 배출총량을 계산하였다. 차종별 등록대수는 교통안전공단(2008)에 근거한다. 그리고 이를 교통안전공단(2008)에서 구한 차종별 연간 총 주행거리($\text{대}\cdot\text{km}/\text{년}$)로 나누어 차종별 단위거리당 온실가스 배출원단위를 산정하였다. 차종별 연간 총 주행거리는 에너지총조사보고서에 근거한 추정치보다 교통안전공단에서 구한 추정치가 더 많은 표본을 기반으로 하기 때문에 신뢰도가 더 높을 것으로 보인다. 이를 수식으로 정리하면 식 (3)과 같고, 산정결과는 <표 3>에 제시되어 있다. 10^6 은 gram 단위를 ton으로 전환하기 위해 도입되었다. 이렇게 구한 차종별 온실가스 배출원단위는 전국 단위의 차종별 에너지 소비량, 차종별 등록대수, 차량주행거리에 기반으로 하여 산출된 것이므로 국가차원의 원단위로 볼 수 있다. 만약 지역별로 유사한 자료를 산출할 수 있다면 지역단위의 차종별 단위주행거리당 온실가스 배출원단위를 도출할 수 있다. 그러나 최근의 에너지총조사보고서에 따르면 자가용차량에 대한 에너지 소비량은 지역별 구분이 가능하나 택시를 제외한 영업용 차량의 에너지 조사량은 알 수 없어 본 연구에서는 우선 국가차원의 원단위를 사용한다. 다만, 지역별 차종별 온실가스 배출원단위 역시 식 (3)에 의거하여 계산할 수 있다.

$$U_m = [e_N \times N_m] \div L_m \times 10^6 \quad (3)$$

여기서,

e_N = 차량 한 대당 온실가스 배출량($\text{tCO}_2/\text{대}\cdot\text{년}$)

N_m = 차종별 등록대수(대)

L_m = 차종별 연간주행거리($\text{대}\cdot\text{km}/\text{년}$)

표 3 인천 검단 1지구의 장래 목표연도(2016년)의 차종별 온실가스 배출원단위 산정결과

차종구분		차량 한 대당 연간 온실가스 배출량 (tCO ₂ /대·년)	차종별 자동차 등록대수(대)	차종별 연간 온실가스 배출량(tCO ₂ /년)	차종별 연간 주행거리 (대·km/년)	차종별 온실가스 배출원단위 (gCO ₂ /대·km)
자가용	승용차 일반	3.14	8,930,443	28,038,256	1,119,433,618,445	234.76
	승용차 다목적	8.18	1,794,584	14,671,080	33,303,624,920	440.55
	승합차	7.83	999,730	7,828,459	19,738,845,220	396.63
	화물차	7.14	2,806,920	20,035,363	52,145,324,595	384.20
영업용	택시	22.61	404,890	9,154,710	26,034,357,555	351.65
	버스	59.95	92,450	5,542,645	8,006,367,710	692.27
	화물차	42.62	291,966	12,444,496	15,576,880,525	798.90

4) 차종별 온실가스 배출량 산정

식 (1)과 같이 차종별 등록대수 추정치, 차종별 연간 평균 주행거리, 차종별 온실가스 배출원단위를 이용하여 산정한 2016년 기준 인천 검단 1지구 교통부문의 BAU 온실가스 배출량은 약 36만 톤일 것으로 추정되었다. 구체적 내용은 <표 4>와 같다. 국가 단위, 지역단위, 혹은 다른 신도시의 교통부문 베이스라인 배출량도 이와 유사한 방법으로 산출할 수 있다. 지역 특성에 맞는 차종별 단위거리당 온실가스 배출원단위를 활용할 수 있다면 그 값을 사용할 수도 있다.

표 4 인천 검단 1지구의 장래 목표연도(2016년)의 교통부문 온실가스 배출량 추정결과

차종구분		차종별 등록대수 (대)	연간 평균 주행거리(km/년)	차종별 온실가스 배출원단위 (gCO ₂ /대·km)	차종별 온실가스 배출량(tCO ₂ /년)
자가용	승용차 일반	44,413	13,629	234.76	142,118
	승용차 다목적	8,921	18,965	440.55	74,575
	승합차	3,122	20,214	396.63	25,027
	화물차	5,161	19,867	384.20	39,408
영업용	택시	1,083	78,245	351.65	29,797
	버스	573	83,716	692.27	33,207
	화물차	446	50,761	798.90	18,085
합계					362,217

IV. 온실가스 저감정책 효과평가

Schipper, celine, Roger(2000)의 방법론을 기반으로 제시한 식 (1)은 교통부문의 온실가스 감축전략으로 제시되는 ASI(Avoid, Shift, Improve: 감축, 전환, 개선) 전략별 정책효과를 평가하는 데도 매우 유용하다. 가령, 원격근무 등 통행량 감축(Avoid) 정책을 통해 차량통행량(N)이 얼마나 감축되었는지 추정할 수 있다면 식 (1)을 통해 온실가스 감축효과를 계산해낼 수 있다. 압축도시와 같은 정책은 통행거리(L)의 변화를 이용하여 온실가스 감축효과를 추정할 수 있다. 혹은 자전거 이용확대 정책을 통해 다른 교통수단으로부터 얼마나 많은 통행이 자전거로 전환(Shift)되었는지를 파악할 수 있다면 식 (1)에서 교통수단별 N의 변화량을 통해 온실가스 감축효과를 계산할 수 있다. 전기자동차, 수소연료 전기차와 같은 기술의 개선(Improve)을 통한 온실가스 배출량 감축 효과는 식 (1) 차종별 온실가스 배출원단위(U)를 수정하여 평가할 수 있다.

다만 통행 발생량의 감소 혹은 교통수단별 수단분담률 변화, 평균통행거리 등의 변화는 4단계 모형 등 기존의 교통수요분석 모형을 통해 계산해내거나 합리적인 가정을 통해 추정해야 한다. 본 연구에서는 이러한 교통수요분석 모형의 적용은 생략한다. 이는 본 연구의 범위를 벗어난다.²⁾ 대신 합리적 수준의 시나리오를 설정하여 식 (1)에 의한 온실가스 감축효과를 계산하는 방법을 구체적으로 제시한다. 특히, 감축정책이나 개선 정책에 비해 상대적으로 계산이 복잡한 전환정책에 대해 온실가스 저감효과의 계산과정을 설명하기 위해 자전거 이용 활성화 정책을 선정하였다. 추가적으로 하이브리드 버스 도입 즉 기술개선에 따른 온실가스 배출량을 산정한다. 식 (1)에 의한 온실가스 감축 잠재량은 대중교통 환승시설개발, 자동차 공동이용 도입 등 다른 교통정책에 대해서도 산정할 수 있다. 이러한 다양한 정책별 온실가스 감축잠재량의 비교평가는 그 양이 많아 별도의 논문을 통해 정리하는 것이 바람직할 것으로 보인다.

1. 자전거 통행전환 목표

1) 목표 및 가정

인천시 검단 1지구 도시개발사업에서는 자전거도로 13km 설치를 계획하고 있다. 자

2) 따라서 본 연구에서 개발한 온실가스배출량 산정 모형의 정확성은 교통수요분석모형의 정확성에 달려있다. 그러나 신도시 계획단계에서 검토될 수 있는 ASI 차원의 여러 가지 온실가스 저감정책별 효과를 추정하는데 필요한 자료의 유형과 활용방법을 구체적으로 제시한다는 차원에서 의의가 있다.

전거 도로의 설치를 통해 얼마나 많은 승용차 혹은 버스 통행자가 자전거로 수단을 전환할 것인지는 별도의 교통수요분석 모형을 이용해 추정해야 한다. 그러나 이는 본 연구의 범위를 벗어난다. 따라서 본 연구에서는 「녹색성장 5개년 계획, 2009」에서 제시한 자전거 수단분담율 5% 목표가 검단 1지구 신도시에서 달성되었을 경우의 온실가스 감축 효과를 추정하여 본다. 이러한 목표를 달성하기 위해서는 자전거 도로의 건설뿐만 아니라 자전거도로의 네트워크 체계 구축, 다른 교통수단과의 연계, 공용자전거제도의 도입 등 자전거 이용 활성화 정책이 병행되어야 할 것으로 보인다.

이와 더불어 자전거로 수단을 변경한 통행자들은 기존에 2%는 승용차³⁾, 23%는 버스, 35%는 도시철도, 보행 29%, 기타 교통수단이었던 것으로 가정하였다. 이러한 가정은 런던의 공용자전거시스템 도입 이후 설문조사내용(TfL, 2011)에 기반으로 한다. 이러한 런던의 조사내용은 자전거로 통행을 전환하는 사람들의 대다수는 대체로 단거리 통행자이며 통행비용이 적은 대중교통 이용자들 혹은 보행자들이라는 점을 잘 나타낸다. 이러한 경향은 미국의 워싱턴 DC에서도 나타난다(LDA Consulting, 2012).

2. 온실가스 저감잠재량 분석

자전거 이용 활성화 정책을 통한 온실가스 저감 잠재량을 계산하기 위해 우선 자전거 통행량을 산정한 후 이들 통행량이 기존에 어떤 교통수단을 이용했는지를 계산한다. 그 후 식 (1)에 기반으로 하여 수단별 통행량 변화가 온실가스 감축에 얼마나 기여했는지를 계산한다.

1) 자전거 통행량 산정

2016년 기준 인천 검단 1지구의 자전거 통행량은 총통행량에 자전거 수단분담률 목표 5%를 적용하여 계산할 수 있다. 여기서, 2016년 검단 신도시 총통행량은 인천광역시(2009) 자료를 인용하였다.

$$1,101,360(\text{통행}) \times 5\% = 55,068(\text{통행}\cdot\text{인}/\text{일})$$

3) 카세어링 포함.

2) 승용차부문 온실가스 저감잠재량 산정

승용차 부문의 온실가스 저감 잠재량은 식 (1)을 활용하여 계산할 수 있다. 우선 얼마나 많은 승용차 이용자들이 자전거로 전환했는지 계산한다. 이는 자전거 통행량의 2%로 가정하였다. 이후 이들 통행량을 승용차 평균 재차율(1.48인/대)(인천광역시, 2009)로 나누어 차량대수로 전환한다. 이후 차량대수에 내부통행(72%) 혹은 외부통행(28%)(인천광역시, 2009)인지에 따라 평균통행거리를 다르게 적용(내부 3.78km/통행, 외부 16.55km/통행)(인천광역시, 2009)하고 승용차 평균 온실가스 배출원단위(승용차 일반과 승용차 다목적 원단위의 가중평균 269.2 gCO₂/대·km)를 적용하여 승용차 부문의 온실가스 저감량을 계산한다. 이를 수식으로 정리하면 식 (4)와 같다.

$$ER_A = \sum_i [(T_{CA} \div OCC_A) \times R_{Ai} \times L_{Ai} \times U_A] \times 365 \div 10^6 \quad (4)$$

여기서,

ER_A = 승용차부문 온실가스 저감잠재량(tCO₂/년)

T_{CA} = 승용차에서 자전거로 전환된 통행량(통행·인/일)

OCC_A = 승용차 재차율(인/대)

R_{Ai} = i 유형 통행비율(%)

L_{Ai} = 승용차통행당 통행거리(km/통행)

U_A = 승용차 온실가스 배출원단위(gCO₂/대·km)

$i = 1$ 또는 2 , 1은 내부통행, 2는 외부통행

식 (5)에 의하면 승용차 부문의 온실가스 저감량은 내부통행과 외부통행에 대해 각각 199와 339 tCO₂으로 계산되며 이를 합하면 연간 538tCO₂이 저감된다.

내부통행: $55,068 \times 0.02 \div 1.48 \times 0.72 \times 3.78 \times 269.2 \times 365 \div 10^6 = 199(\text{tCO}_2/\text{년})$

외부통행: $55,068 \times 0.02 \div 1.48 \times 0.28 \times 16.55 \times 269.2 \times 365 \div 10^6 = 339(\text{tCO}_2/\text{년})$

3) 버스부문 온실가스 저감잠재량 산정

버스 부문의 온실가스 저감 잠재량은 다음 식 (5)와 유사하게 계산할 수 있다. 버스에서 자전거로 전환된 통행량은 12,666(55,068×23%)으로 계산되었다. 버스의 경우 온실가스배출 원단위를 통행-km 단위 (27.0gCO₂/인·km)(고준호 외, 2009)로 계산할 수 있어 재차율로 나누는 과정을 거치지 않았다. 내부통행과 외부통행의 비율, 평균통행거리 등은 승용차부문과 같이 적용하였다. 자전거 도로 도입에 따른 버스 부문의 온실가스 저감 잠재량은 918(tCO₂/년)으로 계산되었다.

$$\text{내부통행: } 55,068 \times 0.23 \times 0.72 \times 3.78 \times 27.0 \times 365 \div 10^6 = 340(\text{tCO}_2/\text{년})$$

$$\text{외부통행: } 55,068 \times 0.23 \times 0.28 \times 16.55 \times 27.0 \times 365 \div 10^6 = 578(\text{tCO}_2/\text{년})$$

4) 도시철도부문 온실가스 저감잠재량 산정

도시철도 부문의 온실가스 저감 잠재량 역시 다음 식 (5)와 유사하게 계산할 수 있다. 도시철도에서 자전거로 전환된 통행량은 19,274(55,068×35%)으로 계산되었다. 도시철도의 온실가스배출 원단위 역시 버스와 유사하게 통행-km 단위(8.0gCO₂/인·km)(경기개발연구원, 2009)로 계산할 수 있어 재차율로 나누는 과정을 거치지 않았다. 내부통행과 외부통행의 비율, 평균통행거리 등은 승용차부문과 같이 적용하였다. 자전거 도로 도입에 따른 도시철도 부문의 온실가스 저감 잠재량은 414(tCO₂/년)으로 계산되었다.

$$\text{내부통행: } 55,068 \times 0.35 \times 0.72 \times 3.78 \times 8.0 \times 365 \div 10^6 = 153(\text{tCO}_2/\text{년})$$

$$\text{외부통행: } 55,068 \times 0.35 \times 0.28 \times 16.55 \times 8.0 \times 365 \div 10^6 = 261(\text{tCO}_2/\text{년})$$

5) 총 온실가스 저감잠재량

인천 검단 1지구에서 자전거도로 도입에 따라 승용차부문, 버스부문, 도시철도부문에서 예상되는 온실가스 저감 잠재량은 538+918+413=1,869(tCO₂/년)으로 추정된다.

2. 하이브리드-전기버스 도입

1) 기본가정

신도시를 개발할 때 현재 일반적으로 사용되는 CNG버스를 전기버스로 아예 대체하도록 관련 인프라시설을 제공하고 이를 충실히 이행할 경우 예상되는 온실가스 감축잠재량을 분석한다. 우선 개발예정인 인천시 검단1지구 신도시에서 버스의 평균통행거리는 경기개발연구원(2009)에 의거하여 7.41(km/통행)로 가정한다. 버스의 통행량(T_C)은 인천광역시(2009)에 근거하여 236,392 (통행·인/일)로 가정한다. 버스의 연료유형별 온실가스 배출원단위는 <표 5>와 같이 가정한다.

표 5 버스 연료유형별 온실가스 배출원단위

차종	배출원단위(gCO ₂ /인·km)
디젤버스	32.4
CNG버스	27.0
하이브리드·전기버스	18.9

자료: 이동민(2010); 고준호(2009); US DOT(2010).

2) 온실가스 저감잠재량 분석

하이브리드 전기버스의 도입에 따른 온실가스 저감 잠재량은 해당 정책을 시행하지 않았을 경우의 온실가스 배출량과 정책 시행시의 온실가스 배출량의 차이로 산정할 수 있다.

가) 기존 CNG버스 이용 시 온실가스 배출량 산정

현재의 기술과 사람들의 행태 등이 현재와 큰 차이가 없다고 가정한다면 즉 CNG버스가 장래에도 계속 이용된다면 온실가스 배출량은 식 (5)와 같이 버스의 통행량, 버스의 평균통행거리, 그리고 CNG버스의 주행거리당 온실가스 배출량의 곱으로 나타낼 수 있다.

$$E_B = T_B \times M_B \times U_B \times 365 \div 10^6 \quad (5)$$

여기서,

E_B = 정책 미시행시 온실가스 배출량(tCO₂/년)

T_B = 버스 통행량(통행·인/일)

M_B = 버스 평균통행거리(km/통행)

U_B = 버스 온실가스 배출원단위(gCO₂/인·km)

기본 가정에 의해 기존 CNG버스를 이용할 경우 버스의 통행량(TB) 236,392(통행·인/일), 버스의 평균통행거리(MB)와 온실가스 배출원단위(UB)는 각각 7.41(km/통행)과 27.0(gCO₂/인·km)을 적용할 수 있다. 이렇게 하면 CNG버스 운행에 따른 온실가스 배출량을 산정은 17,263(tCO₂/년)으로 추정된다.

$$236,392 \times 7.41 \times 27.0 \times 365 \div 106 = 17,263(\text{tCO}_2/\text{년})$$

나) 하이브리드-전기버스 도입 시 온실가스 배출량 산정

모든 버스를 하이브리드-전기버스로 대체할 경우의 온실가스 배출량 역시 식 (5)를 적용하여 계산할 수 있다. 버스의 통행량, 평균통행거리 등은 CNG버스와 같은 236,392(통행·인/일)과 7.41(km/통행)을 똑같이 적용할 수 있으며 온실가스 배출원단위는 기본 가정에 따라 18.9(gCO₂/인·km)를 대입할 수 있다. 이렇게 하면 하이브리드-전기버스 도입에 따른 온실가스 배출량은 12,084(tCO₂/년)가 된다.

$$236,392 \times 7.41 \times 18.9 \times 365 \div 106 = 12,084(\text{tCO}_2/\text{년})$$

따라서 인천 검단 1지구에서 하이브리드-전기버스 도입에 따른 온실가스 감축잠재량은 5,179(=17,263-12,084)(tCO₂/년)가 된다.

V. 결론 및 토의

본 연구에서는 Schipper, celine, Roger(2000)가 제안한 ASIF 기반의 교통부문 온실가스 배출량 산정 모형을 변형하여 신도시의 교통부문 베이스라인 온실가스 배출량

산정에 활용하였다. 아울러 다양한 교통부문의 온실가스 저감정책 효과를 분석하는데 개발된 모형이 활용될 수 있는지를 판단하기 위해 자전거 이용 활성화 정책을 사례로 온실가스 저감 잠재량을 분석하였다. 본 연구의 의의와 주요 시사점을 정리하면 다음과 같다.

첫째, 본 연구는 Schipper, celine, Roger(2000)가 제시한 교통부문의 온실가스 배출량 산정모형을 국내도시의 교통부문 온실가스 배출량 산정에 어떻게 활용할 수 있는지를 구체적으로 제시했다는 측면에서 의의가 있다. 특히, 국내에서 이용가능한 자동차 등록대수, 차량주행거리 등의 통계자료와 신도시 계획 시 기본이 되는 계획인구, 교통영향평가 등의 자료를 베이스라인 온실가스 배출량을 추정에 어떻게 활용할 수 있는지를 구체적으로 제시하였다.

둘째, 교통부문 온실가스 배출량 산정 과정에서 차종별 단위거리당 온실가스 배출원단위를 국가단위의 통계를 이용하여 산출하였다. 다만 자료의 한계로 지역단위의 배출원단위를 산정하지 못하였다. 만약 지역별로 모든 차종에 대한 에너지 소비량과 차종별 연간주행거리를 구할 수 있다면 지역단위에서도 해당 온실가스 배출원단위 산출이 가능하다. 지역별, 차종별 배출원단위에 대한 비교연구는 향후 교통부문의 온실가스 배출량 인벤토리가 구축된 후 수행될 필요가 있다.

셋째, 교통부문의 온실가스 감축 전략인 감축, 전환, 개선(ASI, Avoid, Shift, Improve) 전략이 온실가스 배출량 산정모형과 어떻게 연관되는지를 설명하였다. 이는 본 연구에서 제시한 온실가스 배출량 산정식을 다양한 온실가스 저감정책의 효과를 평가하는데 활용할 수 있음을 의미한다.

넷째, 교통부문의 온실가스 감축정책 효과분석 사례를 구체적으로 보여주기 위해 자전거 이용 활성화 정책과 하이브리드 전기버스 도입 시 온실가스 감축량 산정의 구체적인 계산과정을 제시하였다. 따라서 본 연구에서 제시한 온실가스 배출량 산정 방법은 신도시 및 기존도시에서 적용할 수 있는 다양한 교통정책의 온실가스 감축효과를 객관적으로 분석하는 데 도움이 될 것으로 보인다. 향후 연구에서는 지역 혹은 도시 차원에서 적용 가능한 다양한 온실가스 감축정책의 효과를 비교 분석한다면 온실가스 저감정책의 우선순위 분석에 도움이 될 것으로 보인다.

다섯째, 본 연구에서 제시한 온실가스 배출량 산정 모형의 신뢰성은 교통수단별 통행량 및 통행거리 등의 입력 자료를 정확하게 알 수 있어야 한다. 대체로 이들 자료는 전통적인 교통수요분석 모형에 기반으로 하여 도출할 수밖에 없다. 따라서 온실가스

배출량 산정의 신뢰성은 결국 교통수요분석 모형의 신뢰성에 달려있다고 할 수 있다.

여섯째, 대체로 온실가스 배출량 산정모형은 이용 가능한 활동자료가 세부적으로 다양하게 분류될수록 각종 정책이나 제도가 온실가스 배출량에 미치는 효과를 다양한 방식으로 분석할 수 있다. 가령, 지역별, 유종별, 차종별 대수, 평균주행거리 등을 구체적으로 알면 정책의 효과를 보다 미시적으로 분석할 수 있다. 이러한 차원에서 교통부문의 활동자료 분류체계를 정리하고 이에 맞는 온실가스 배출원단위 혹은 배출계수를 개발하는 작업이 지속적으로 이루어져야 할 것으로 보인다. 이를 위해서는 관련 정부 부처별로 서로 다른 통계분류체계를 통합·조정하는 표준화 작업이 필요하다. 가령, 부처별로 다른 차종분류체계의 통합노력이 한 예가 될 수 있다.

앞으로 전통적인 교통수요분석 모형과 온실가스 배출량 산정모형을 결합하여 각종 교통정책의 온실가스 저감효과를 다양한 시나리오에서 분석하는 노력이 필요할 것으로 보인다. 이러한 분석은 특히 압축도시, 대중교통중심도시개발 등 토지이용 정책을 통해 온실가스를 줄이려는 정책 효과를 분석하는 데 도움이 될 것으로 보인다. 새로운 토지이용 정책이 얼마나 통행량을 줄일 수 있는지, 사람이나 화물의 통행거리는 얼마나 줄어들지, 승용차 이용율은 얼마나 낮아질 수 있는지를 교통수요분석을 통해 도출하고 이를 기반으로 온실가스 배출량 변화를 보다 쉽게 계산할 수 있기 때문이다. 교통수요분석 모형에서 제시하는 통행발생량, 수단분담율, 통행거리 등의 정보가 신뢰성이 떨어지면 이에 기반으로 하여 추정되는 온실가스 배출량 역시 신뢰도가 떨어질 수밖에 없다. 이는 그동안 강조되어온 교통과 토지이용의 관계 설명 모형이 도시 차원의 온실가스 배출량 산정에서도 중요함을 의미한다.

참고문헌

- 경기개발연구원. 2009. 「경기도 버스서비스 개선방향」.
- 고준호, 김운수, 진상현, 이창. 2009. 「서울시 교통부문 탄소배출량 관리전략 개발을 위한 기초연구」. 서울연구원.
- 교통안전공단. 2008. 「2007년도 자동차 주행거리 실태조사」.
- 국토해양부. 2010. 「2008년도 교통부문 온실가스 배출량」.
- 국토해양부. 2011. 「제1차 지속가능교통물류발전 기본계획」.
- 녹색성장위원회. 2009. 「녹색성장 5개년 계획」.
- 에너지경제연구원. 2009. 「2008년도 에너지총조사보고서」.
- 이성원, 김건영. 2008. 「에너지 위기시의 교통부문 대응방안」. 한국교통연구원.
- 조준행 외. 2006. 「기후변화협약대비 교통부문 온실가스 저감정책의 효과분석(2단계)」. 한국교통연구원.
- 한상진, 조성희. 2010. 「교통부문 Post 2012 체제 대응방안 연구-육상교통을 중심으로」. 한국교통연구원.
- 한상진 외. 2011. 「지속가능 교통물류발전 기본계획 수립 연구」. 한국교통연구원.
- ADB(Asian Development Bank). 2010. Independent Evaluation Department. *Reducing Carbon Emissions from Transport Projects*.
- ITF/OECD. 2008. *Greenhouse gas reduction strategies in transport sector*.
- LDA Consulting. 2012. *Capital Bikeshare 2011 Member Survey Report*.
- IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change). 2006. “2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories”. *iGES*, 2: 3.10-3.32.
- Schipper, Lee., Celine Marie-Lilliu, and Roger Gorham. 2000. *Flexing the Link between Transport and Greenhouse Gas Emissions: A path for the World Bank*. World Bank
- Schipper, L., C. Maria, and N. Wei-Shiuen. 2007. *Measuring the Carbon Dioxide Impacts of Urban Transport Projects in Developing Countries*. World Resources Institute.
- Transport for London. 2011. *Travel in London, Report 4*.

분당구청. 경기도 분당구 통계연보. <http://www.bundang-gu.or.kr/> [2011.11.17].

에너지경제연구원. 2020년 기준 교통부문 온실가스 배출량. <http://www.keei.re.kr/> [2011.11.17].

일산동구청. 경기도 일산구 통계연보. http://www.goyang.go.kr/3gu/w_gu/ [2011.11.17].

일산서구청. 경기도 일산구 통계연보. http://www.goyang.go.kr/3gu/s_gu/ [2011.11.17].

<부록 A> 차종별 차량 한 대당 온실가스 배출량 산정

에너지경제연구원(2009)에서는 차종별 에너지사용량을 제공하고 있는데, 에너지사용량을 온실가스 배출량으로 환산하기 위해서 본 연구에서는 다음과 같은 수식을 이용하였다.

$$\text{온실가스 배출량(tCO}_2\text{/년)} = \text{에너지소비량(L/년)} \times \text{순발열량(kcal/L)}^4 \div \text{석유환산계수(kcal/TOE)}^5 \\ \times \text{탄소배출계수(tC/TOE)}^6 \times \text{CO}_2\text{전환계수(tCO}_2\text{/tC)}^7$$

1. 자가용부문의 온실가스 배출량 산정

자가용 차량은 휘발유, 경유, LPG 등을 연료로 사용하며, 연료별/차종별 에너지사용량에 따른 온실가스 배출량은 다음의 <부록 표 1>부터 <부록 표 3>까지 제시되어 있다.

부록 표 1 연료가 휘발유인 자가용 자동차의 차종별 온실가스 배출량

차종		에너지소비량 (L/년)	순발열량 ¹⁾ (kcal/L)	석유환산톤 ²⁾ (TOE/년)	탄소 배출계수 ¹⁾ (tC/TOE)	탄소 배출량 ³⁾ (tC/년)	온실가스 배출량 ⁴⁾ (tCO ₂ /년)
승용차 일반	1500cc 미만	3,392,519,700	7,400	2,510,465	0.783	1,965,694	7,207,543.803
	1500~1999cc	4,429,239,200	7,400	3,277,637	0.783	2,566,390	9,410,095.850
	2000cc	2,308,292,600	7,400	1,708,137	0.783	1,337,471	4,904,059.960
	소계	10,130,051,600	7,400	7,496,238	0.783	5,869,554	21,521,699.826
승용차 다목적		-	7,400	-	0.783	-	-
승합차	15인 이하	-	7,400	-	0.783	-	-
	16~25인	-	7,400	-	0.783	-	-
	26인 이상	-	7,400	-	0.783	-	-
	소계	-	7,400	-	0.783	-	-
화물차	1톤 이하	-	7,400	-	0.783	-	-
	1~4.9톤	-	7,400	-	0.783	-	-
	5톤 이상	-	7,400	-	0.783	-	-
	소계	-	7,400	-	0.783	-	-
합계		10,130,051,600	-	7,496,238	-	5,869,554	21,521,699.826

주: 1) IPCC(2006) 기준 적용.

2) 석유환산톤(TOE/년) = 에너지소비량(L/년) × 순발열량(kcal/L) ÷ 10⁷(kcal/TOE)

3) 탄소 배출량(tC/년) = 석유환산톤(TOE/년) × 탄소배출계수(tC/TOE)

4) 온실가스 배출량(tCO₂/년) = 탄소배출량(tC/년) × (44/12)

자료: 에너지소비량 자료, 에너지경제연구원(2009).

4) 순발열량은 총발열량에서 수증기의 잠열을 제외한 발열량을 말하며, IPCC(2006)에서는 온실가스 배출량을 계산할 때 순발열량을 기준으로 하도록 권고하고 있다.

5) TOE(Ton of Oil Equivalent)란 국제에너지기구(IEA)에서 정한 단위로 석유환산톤이라고도 한다. 1TOE는 107kcal이다.

6) IPCC(2006)의 기준을 적용하였다.

7) tC를 tCO₂단위로 변환하기 위한 계수로 CO₂분자량 44를 탄소원자량 12로 나눈 값을 말한다.

부록 표 2 연료가 경유인 자가용 자동차의 차종별 온실가스 배출량

차종		에너지소비량 (L/년)	순발열량 ¹⁾ (kcal/L)	석유환산톤 ²⁾ (TOE/년)	탄소 배출계수 ¹⁾ (tC/TOE)	탄소 배출량 ³⁾ (tC/년)	온실가스 배출량 ⁴⁾ (tCO ₂ /년)
승용차 일반	1500cc 미만	-	8,450	-	0.837	-	-
	1500~1999cc	-	8,450	-	0.837	-	-
	2000cc	-	8,450	-	0.837	-	-
	소계	-	8,450	-	0.837	-	-
승용차 다목적		4,103,019,600	8,450	3,467,052	0.837	2,901,922	10,640,381
승합차	15인 이하	1,415,504,500	8,450	1,196,101	0.837	1,001,137	3,670,835
	16~25인	57,432,100	8,450	48,530	0.837	40,620	148,939
	26인 이상	177,344,800	8,450	149,856	0.837	125,430	459,909
	소계	1,650,281,400	8,450	1,394,488	0.837	1,167,186	4,279,683
화물차	1톤 이하	5,088,526,700	8,450	4,299,805	0.837	3,598,937	13,196,102
	1~4.9톤	946,671,300	8,450	799,937	0.837	669,547	2,455,007
	5톤 이상	634,282,000	8,450	535,968	0.837	448,605	1,644,887
	소계	6,669,479,900	8,450	5,635,711	0.837	4,717,090	17,295,996
합계		12,422,780,900	-	10,497,250	-	8,786,198	32,216,060

주: 1) IPCC(2006) 기준 적용.

2) 석유환산톤(TOE/년) = 에너지소비량(L/년) × 순발열량(kcal/L) ÷ 10⁷(kcal/TOE)

3) 탄소 배출량(tC/년) = 석유환산톤(TOE/년) × 탄소배출계수(tC/TOE)

4) 온실가스 배출량(tCO₂/년) = 탄소배출량(tC/년) × (44/12)

자료: 에너지소비량 자료, 에너지경제연구원(2009).

부록 표 3 연료가 LPG인 자가용 자동차의 차종별 온실가스 배출량

차종		에너지소비량 (L/년)	순발열량 ¹⁾ (kcal/L)	석유환산톤 ²⁾ (TOE/년)	탄소 배출계수 ¹⁾ (tC/TOE)	탄소 배출량 ³⁾ (tC/년)	온실가스 배출량 ⁴⁾ (tCO ₂ /년)
승용차 일반	1500cc 미만	620,045,100	13,800	855,662	0.713	610,087	2,236,986
	1500~1999cc	852,955,500	13,800	1,177,079	0.713	839,257	3,077,276
	2000cc	333,250,300	13,800	459,885	0.713	327,898	1,202,294
	소계	1,806,250,900	13,800	2,492,626	0.713	1,777,243	6,516,556
승용차 다목적		1,117,224,200	13,800	1,541,769	0.713	1,099,282	4,030,699
승합차	15인 이하	977,196,800	13,800	1,348,532	0.713	961,503	3,525,511
	16~25인	-	13,800	-	0.713	-	-
	26인 이상	-	13,800	-	0.713	-	-
	소계	977,196,800	13,800	1,348,532	0.713	961,503	3,525,511
화물차	1톤 이하	405,528,100	13,800	559,629	0.713	399,015	1,463,056
	1~4.9톤	-	13,800	-	0.713	-	-
	5톤 이상	-	13,800	-	0.713	-	-
	소계	405,528,100	13,800	559,629	0.713	399,015	1,463,056
합계		4,306,200,000	-	5,942,556	-	4,237,042	15,535,822

주: 1) IPCC(2006) 기준 적용.

2) 석유환산톤(TOE/년) = 에너지소비량(L/년) × 순발열량(kcal/L) ÷ 10⁷(kcal/TOE)

3) 탄소 배출량(tC/년) = 석유환산톤(TOE/년) × 탄소배출계수(tC/TOE)

4) 온실가스 배출량(tCO₂/년) = 탄소배출량(tC/년) × (44/12)

자료: 에너지소비량 자료, 에너지경제연구원(2009)

2. 영업용부문의 온실가스 배출량 산정

영업용 차량은 부탄(택시의 경우)이나 경유(버스나 화물)를 연료로 사용하며, 연료별/차종별 에너지사용량에 따른 온실가스 배출량은 다음의 <부록 표 4>에 제시되어 있다.

부록 표 4 영업용 자동차의 차종별 온실가스 배출량

차종	에너지소비량 (L/년)	순발열량 ¹⁾ (kcal/L)	석유환산톤 ²⁾ (TOE/년)	탄소배출계수 ¹⁾ (tC/TOE)	탄소 배출량 ³⁾ (tC/년)	온실가스 배출량 ⁴⁾ (tCO ₂ /년)
택시	3,212,603,400	10,900	3,501,738	0.713	2,496,739	9,154,710
버스	2,206,645,000	8,450	1,864,615	0.837	1,560,683	5,722,504
화물차	4,880,880,300	8,450	4,124,344	0.837	3,452,076	12,657,610
합계	10,300,128,700	-	9,490,697	-	7,509,498	27,534,824

주: 1) IPCC(2006) 기준 적용. 순발열량과 탄소배출계수는 택시의 경우에는 부탄으로, 버스와 화물차의 경우에는 경유 기준으로 적용.

2) 석유환산톤(TOE/년) = 에너지소비량(L/년) × 순발열량(kcal/L) ÷ 10⁷(kcal/TOE)

3) 탄소 배출량(tC/년) = 석유환산톤(TOE/년) × 탄소배출계수(tC/TOE)

4) 온실가스 배출량(tCO₂/년) = 탄소배출량(tC/년) × (44/12)

자료: 에너지소비량 자료, 에너지경제연구원(2009).

3. 차종별 차량 한 대당 온실가스 배출량 산정

<부록 표 1> ~ <부록 표 4>에서 산정한 연료별/차종별 온실가스 배출량을 바탕으로 차종별 차량 한 대당 온실가스 배출량을 산정하면 다음의 <부록 표 5>와 같다.

부록 표 5 차종별 차량 한 대당 온실가스 배출량 산정 결과

구분	차종	차량대수(대)	온실가스 배출량 ¹⁾ (tCO ₂ /년)	한 대당 온실가스 배출량 ²⁾ (tCO ₂ /대·년)	
자가용	승용차 일반	1500cc 미만	3,903,989	9,444,530	2.42
		1500~1999cc	2,857,613	12,487,372	4.37
		2000cc	1,168,841	6,106,354	5.22
		승용차 소계	8,930,443	28,038,256	3.14
	승용차 다목적		1,794,584	14,671,080	8.18
	승합차	15인 이하	954,547	7,196,346	7.54
		16~25인	15,560	148,939	9.57
		26인 이상	26,652	459,909	17.26
		승합차 소계	996,759	7,805,194	7.83
	화물차	1톤 이하	2,338,527	14,659,158	6.27
		1~4.9톤	225,308	2,455,007	10.90
		5톤 이상	64,276	1,644,887	25.59
		화물차 소계	2,628,111	18,759,052	7.14
	자가용 소계		14,349,897	69,273,582	4.83
	영업용	택시	404,980	9,154,710	22.61
		버스	95,450	5,722,504	59.95
화물차		296,966	12,657,610	42.62	
영업용 소계		671,780	27,534,824	40.99	
합계	-	15,139,293	96,808,406	6.39	

주: 1) 자가용의 경우, <표 12>~<표 14>의 마지막 열에 있는 온실가스 배출량(tCO₂/년)의 합계임.

2) 한 대당 온실가스 배출량(tCO₂/대·년) = 온실가스 배출량(tCO₂/년) ÷ 차량대수(대)

자료: 차량대수 자료, 교통안전공단(2008).