

## 교통부문 온실가스 배출량의 지역별 할당 방법 비교분석\*

- 서울시를 사례로 -

박지훈\*\* · 고준호\*\*\*

### Comparing Methods for Apportioning Transport CO<sub>2</sub> Emissions to Sub-Regional Areas in Seoul\*

Jihun Park\*\* · Joonho Ko\*\*\*

**요약** : 교통부문의 온실가스 배출 감소를 위한 효과적인 정책을 개발하기 위해서는 지역별 수단별 온실가스 배출량 현황 파악이 선행되어야 한다. 현재 우리나라 교통부문 온실가스 배출량은 IPCC의 Tier1 기준으로 추정하고 있다. 그러나 Tier1 기준은 연료판매량만을 기준으로 추정한 값으로서 실제 통행패턴을 반영한 온실가스 배출량을 산정하기 어렵다는 문제점을 가지고 있다. 이에 본 연구에서는 서울시 가구통행실태조사 결과를 활용하여 통행패턴을 반영한 Tier3 수준에서 지역별로 온실가스 배출량을 추정하였다. 이를 위해 통행발생지 기준으로 타지역과의 통행량과 통행거리를 고려한 방법, 통행배정결과에 근거하여 지역내 도로망에서 발생한 온실가스 배출량을 집계하는 방법을 활용하였다. 이 두가지 방법으로 추정된 지역별 온실가스 배출량을 지역별 연료판매량 및 차량등록대수를 기준으로 배분된 결과와 비교하였다. 또한, 각 방법론별 활용방안 및 장단점을 제시하였다.

**주제어** : 온실가스, Tier3, 할당, 가구통행실태조사, 통행배정

**ABSTRACT** : In order to develop effective policy measures to reduce greenhouse gas emissions in the transportation sector, it is necessary to identify the accurate amount of the emissions by the area and transportation mode. Currently, the transportation emissions are estimated by the IPCC Tier 1 method in Korea. However, the approach is not truly able to reflect actual trip behaviors since it uses fuel sales data by the area. To mitigate this issue, this study estimates the amount of the emissions by the area using the Seoul household travel survey data. Two approaches are adopted for the aggregation by the area considering 1) the amount of trips and travel distances between the area of interest and other areas and 2) traffic made on the road network within the area of interest. The estimated amounts are compared with the ones computed by other approaches based on fuel sales and the number of registered vehicles for the area. Discussions are made concerning how to apply the results from the different approaches and their weaknesses and strengths.

**Key Words** : greenhouse gas emissions, Tier3, apportioning, household travel survey, trip assignment

\* 본 논문은 대한교통학회 제67회 학술발표회에서 발표된 논문을 수정·보완하여 작성되었습니다.

\*\* 서울시립대학교 교통공학과 박사수료(Ph. D. Candidate, Department of Transportation, University of Seoul)

\*\*\* 서울연구원 세계도시연구센터 센터장(Director, Megacity Research Center, The Seoul Institute), 교신저자(E-mail: jko@si.re.kr, Tel: 02-2149-1127)

## I. 서론

### 1. 연구의 배경 및 목적

세계적으로 기온의 지속적 상승, 이상기후, 지구온난화 등의 문제가 심각해짐에 따라 기후변화 대응에 대한 관심이 증대되고 있다. 이에 우리정부에서도 '저탄소 녹색성장'이라는 정책기조 아래 온실가스 감축을 위한 여러 노력을 강구하고 있는 가운데, 교통분야(수송부문)에서도 2020년 BAU 대비 34.3% 감축이라는 목표를 세우고 온실가스 감축을 위한 정책개발 및 집행을 위해 노력하고 있다.

이러한 감축목표 설정 및 효과평가를 위해서는 지역별 온실가스 배출량 현황 파악이 선행되어야 한다. 현재 우리나라 교통부문 온실가스 배출량은 IPCC의 Tier1 기준(지역별 연료판매량)으로 추정하고 있다. 그러나 Tier1 기준은 연료판매량만을 기준으로 추정한 값으로서 실제 교통행태를 반영한 온실가스 배출량을 산정하지 못한다는 문제점을 가지고 있다.

이에 본 연구에서는 Tier3 기준의 실제 교통행태를 반영한 온실가스 배출량을 추정할 수 있는 방안으로 가구통행실태조사결과를 활용하여 지역별로 온실가스 배출량을 할당하고자 한다. 가구통행실태조사결과를 활용한 온실가스 배출량 분석은 통행발생지 기준의 원단위법, 통행배정결과에 근거한 통행배정법의 2가지 방법으로 수행하였다. 추정한 지역별 온실가스 배출량(원단위법, 통행배정법)과 기존 연구결과(Tier1 기준의 지역별 연료판매량, 차량등록대수 기준) 총 4가지 방법론을 비교하여, 각 방법론별 장단점 및 활용방안을 검토하였다. 이러한 지역별 온실가스 배출량을 할당

하는 방법론 비교를 통하여 향후 정책대안별 지역별 온실가스 감축량 추정에 기여하고자 한다.

### 2. 연구의 내용 및 수행과정

#### 1) 연구의 주요내용 및 수행과정

연구 수행 절차는 다음과 같다.



〈그림 1〉 연구수행과정

- 수단별 온실가스 배출계수 추정
  - 국립환경과학원 CO<sub>2</sub> 배출량 산출식을 활용하여 대당·인당 CO<sub>2</sub> 배출계수 추정
- 원단위법, 통행배정법 온실가스 배출량 추정
  - 인당·대당 CO<sub>2</sub> 배출계수 및 2010년 수단 OD 활용하여 수단별 온실가스 배출량 추정
- 지역별 온실가스 배출량 추정
  - 추정된 수단별 온실가스 배출량을 지역별(서울시 자치구별) 할당
  - 기존 연구결과 검토(연료판매량 기준, 차량등록대수 기준 지역별 온실가스 배출량 할당)
- 방법론에 따른 지역별 온실가스 배출량 비교검토

- 4가지 방법론(원단위법, 통행배정법, 연료판매량 기준, 차량등록대수 기준)에 따른 지역별 할당결과 비교
- 방법론별 장단점 및 활용방안 검토

## 2) 연구의 주요전제

본 연구는 온실가스 중 CO<sub>2</sub>를 중심으로 분석을 수행하였다. IPCC에서는 온실가스를 6가지 종류로 규정 [CO<sub>2</sub>(이산화탄소), CH<sub>4</sub>(메탄), N<sub>2</sub>O(아산화질소), HFC<sub>s</sub>(수소불화탄소), PFC<sub>s</sub>(과불화탄소), SF<sub>6</sub>(육불화황)]하고 있는데, 이 중 교통부문에서는 CO<sub>2</sub>(이산화탄소), CH<sub>4</sub>(메탄), N<sub>2</sub>O(아산화질소)와 같은 3가지 종류의 온실가스만 배출되고 있다. 이 중 CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O는 CO<sub>2</sub>에 비해 분석방법이 복잡하며 그 양이 미미하기에, 본 연구에서는 CO<sub>2</sub>를 중심으로 분석을 수행하였다.

## II. 기존연구 고찰

### 1. 국제기준(Tier1, 2, 3)<sup>1)</sup>

1996 IPCC 가이드라인에서는 도로부문의 온실가스 배출량 추정방법론으로 Tier1, 2, 3 세가지 방법을 권고하고 있다. Tier1과 Tier2 방법은 연료소비량을 기준으로 하는 방법이며, Tier3는 주행거리를 기준으로 배출량을 추정하는 방법이다. 우리나라에서는 현재 Tier1 방법에 의해 도로부문 온실가스 배출량을 추정하고 있다.

### 2. 기존연구 고찰

여러 연구기관에서 교통부문 온실가스 배출량을 추정하고 이를 발표하고 있다. 한국교통연구원(2011a)에서는 Tier1 방법을 적용하여 온실가스 배출량을 추정하였으며, 추가적으로 차종별 등록대수, 차종별 주행거리<sup>2)</sup> 및 차종별 평균 연비 자료<sup>3)</sup>를 활용하여 Tier3 방법으로 온실가스 배출량을 추정하였다. 또한 국토해양부(2011)에서는 Tier1 방법을 적용하여 온실가스 배출량을 추정하였고, 추가적으로 도로교통량<sup>4)</sup> 도로별 주행거리, 배출계수를 활용하여 Tier3 방법으로 온실가스 배출량을 추정하였다. 두 가지 연구 모두 공통적으로 Tier1 방법을 기반으로 하여 온실가스 배출량을 추정하였으며, 추가적인 연구방안으로 Tier3 방법을 적용하였다. 두 연구에서 적용한 Tier3 방법론은 실제 교통량과 평균 주행거리 등을 활용함으로써 교통행태를 반영했다는 성과가 있었다. 그러나 전반적으로 차종별 평균값 위주로 사용하거나, 교통량이 조사되지 않은 지점에 대해서는 가정을 통하여 온실가스 배출량을 추정하는 등의 한계를 가지고 있다.

온실가스 배출량 추정에 Tier3 방법론을 적용한 연구는 여러차례 이루어져 왔다. 오일환 외(2009)는 창원시를 대상으로 Tier1, Tier3 방법으로 추정한 이산화탄소 배출량을 비교 평가하였다. Tier3 방법에서는 창원시 등록 차종별 평균주행거리 자료를 활용하여 분석을 수행하였다.

김기동 외(2009)는 안양시를 대상으로 Tier1,

1) 환경부·환경관리공단(2008) 및 IPCC(2006) 인용 재정리  
 2) 교통안전공단에서 매년 발표하는 주행거리 실태조사 자료 활용  
 3) 에너지관리공단의 자동차 연비등급분석 보고서 자료 활용  
 4) 도로교통량 통계연보 자료 활용

Tier2, Tier3 방법을 비교하였다. Tier3의 경우 실측교통량, 실측 평균주행속도, 국립환경과학원의 온실가스 배출계수 산출식을 사용하였다.

한시원(2013)은 기존의 연구보다 정확한 읍면동 단위의 지자체별 이산화탄소 배출량 추정을 위하여 내부준의 통행속도, 평균통행시간, 평균통행거리를 현실적으로 적용하여 Tier3 기준으로 이산화탄소 배출량을 추정하였다. Tier3 적용시에는 가구통행실태조사자료를 이용하여 통행배정모형을 적용한 교통량과 KT 속도자료(2010년 6월 기준 평일평균 통행속도)를 이용하였다.

백바름(2014)은 Tier3의 통행배정법을 활용하여 이산화탄소 배출량을 추정하였으며, 기종점 통행량과 통과통행량을 구분하여 이산화탄소 배출량을 구분하여 추정하였다.

김영국·우승국(2014)은 통행배정모형 기반의 Tier3 방법론을 통하여 온실가스와 대기오염물질 배출량을 추정하였으며, 이를 GIS에 표출하였다. 또한 교통수요가 5%, 10% 증가한 시나리오를 구성하여 배출량 변화를 추정하고 시사점을 논하였다.

위와 같이 다양한 연구에서 Tier3 방법론을 적용하였으며, 분석자료로 실측값 혹은 통행배정모형 결과값을 사용하였다.

### 3. 기존연구와의 차별성

본 연구에서는 활동도 자료를 이용하여 온실가스 배출량을 추정한다는 점에서 기존 연구와 유사하나 배출계수의 추정 및 비교, 서울시를 대상으로 원단위법과 통행배정법을 활용한 Tier3 적용, 온실가스 배출량의 지역별 할당 및 기존 방법론과의 비교 수행 등과 같은 차별성을 가지고 있다.

우선적으로는 국립환경과학원의 배출계수 산출

식을 바탕으로 각 교통수단별 배출계수를 추정하였으며, 이때 차종분류에 따라 가중평균하여 수단별 배출계수를 추정하였다. 또한 이를 원단위법과 통행배정법에 적용하기 위하여 인당 배출계수, 대당 배출계수로 구분하였다. 이렇게 추정한 배출계수를 다른 해외도시의 배출계수와 비교하여 그 적정성을 검토하였다.

또한 본 연구에서는 Tier3 방법론의 활동도로 기존의 통행배정 결과값(통행배정법) 뿐만아니라, 개별통행의 기종점 자료값(원단위법)을 적용하여 온실가스 배출량을 추정하고 이를 비교하였다.

마지막으로 서울시 온실가스 배출량을 지역별로 배분하고 다른 방법론(연료판매량 기준, 차량등록대수 기준)과 비교 후 각 방법론의 장단점을 정리하였다.

## III. 수단별 CO<sub>2</sub> 배출계수 추정

### 1. 수단별 CO<sub>2</sub> 배출계수 추정 방법론

#### 1) 도로부문 CO<sub>2</sub> 배출계수 추정 방법론



〈그림 2〉 도로부문 CO<sub>2</sub> 배출계수 추정 방법론

〈표 1〉 도로부문 CO<sub>2</sub> 배출계수 추정 방법론 및 결과(승용차의 경우)

차종	차량 크기	연료종류	배출계수 산출식		배출량 (원단위) (g/대km)	차종 및 연료비율	대당 배출계수 (g/대·km)	재차인원	인당 배출계수 (g/인·km)
			계수(α)	계수(β)					
승용	경형	휘발유	887.1	-0.570	144.8	5.3%	238.0	1.20	198.3
		소형	휘발유	1,313.7	-0.600	195.2			
	경유	1,133.1	-0.587	175.4	4.2%				
	중형	휘발유	1,555.5	-0.578	247.8	25.8%			
		경유	1,818.1	-0.664	220.2	17.3%			
		LPG	1,539.4	-0.575	247.7	12.1%			
	대형	휘발유	1,970.1	-0.619	275.8	19.8%			
		LPG	1,849.8	-0.616	260.8	9.3%			

주: 배출계수 산출식 : 국립환경과학원 배출량 산출식 활용 [ $\alpha \times (\text{통행속도})^\beta$ ]  
 통행속도 : 전체차량 통행속도 24km/h 가정 (2010년 서울시 평균 승용차 통행속도)  
 차종 및 연료비율 : 국토해양부 자동차등록대수 자료 활용(2010.06 서울시 기준)  
 (단, 버스의 경우 사업용 승합차 비율 및 가구통행실태조사 비율[시대 및 시외, 기타 버스] 적용)  
 재차인원은 수도권교통본부(2011)의 서울지역 스크린·코든라인조사 결과값 적용  
 (단, 화물차의 재차인원은 국토해양부(2009)의 수도권 지역값 적용)

도로부문 CO<sub>2</sub> 배출계수는 국립환경과학원(2009) 배출계수 산출식을 이용하여 개별차종별(차종별, 차량크기별, 연료종류별) 배출계수를 추정 후 차종별 등록대수자료를 활용(가중평균 합계)하여 차종별 대당 배출계수를 추정하였다(승용차의 경우 238.0g/대·km). 또한 재차인원 자료를 활용하여 차종별 인당 배출계수를 추정하였다(승용차의 경우 198.3g/인·km)(〈표 1〉, 〈그림 2〉). 도로부문 CO<sub>2</sub> 배출계수 추정식은 다음과 같다.

여기서,

- $EF(V)$  : 대당배출계수 (g/대·km)
- $EF(P)$  : 인당배출계수 (g/인·km)
- $\alpha, \beta$  : 국립환경과학원 배출량 산출식 계수
- $Speed$  : 통행속도 (km/h)
- $Car$  : 차량등록대수
- $Load Factor$  : 재차인원 (인/대)
- $A$  : 교통수단 (승용차, 버스, 택시, 트럭)
- $a$  : 차량크기 (경형, 소형, 중형, 대형 등)
- $b$  : 연료종류 (휘발유, 경유, LPG, CNG)

$$EF(V)_A = \frac{\sum_{a,b} [\alpha_{A,a,b} \times Speed^{\beta_{A,a,b}}] \times Car_{A,a,b}}{Car_A} \quad (1)$$

$$EF(P)_A = \frac{EF(V)_A}{Load Factor} \quad (2)$$

2) 지하철 CO<sub>2</sub> 배출계수 추정 방법론<sup>5)</sup>

국립환경과학원 산출식은 차량(도로부문)만을 대상으로 한 식으로 주요 교통수단 중 하나인 지하철 CO<sub>2</sub> 배출계수를 추정할 수 없는 한계를 가지고 있다. 이에 지하철 CO<sub>2</sub> 배출계수 추정을 위하여 국토해양부(2011)에서 추정된 지하철 온실가

5) CO<sub>2</sub> 배출계수 추정, 온실가스 배출량 추정 등의 과정에서는 지하철을 포함하여 분석을 수행하였으나, 최종적으로 총량분석 결과값을 기준연구와 비교하는 과정에서는 지하철을 제외하였다. 이는 기존연구와의 대상범위 동일화를 위한 것으로, 그 결과 온실가스 총량비교 및 지역별 온실가스 배출량 비교 시 본 연구와 기존 연구 모두 도로부문에 한정하여 비교하였다.

스 배출량 총량을 기준으로 2009년 지하철 운행현황 자료(운행횟수, 차량편성, 노선길이 등)를 활용하여 차량당 배출계수를 추정하였다(지하철의 경우 1,763.0g/량·km). 또한 지하철 운행현황 자료(운행횟수, 혼잡률, 재차인원 등)를 활용하여 인당 배출계수를 추정하였다(지하철의 경우 26.0g/인·km).

## 2. 수단별 CO<sub>2</sub> 배출계수 추정결과 및 비교

### 1) 수단별 CO<sub>2</sub> 배출계수 추정결과

수단별 대당·인당 CO<sub>2</sub> 배출계수 추정결과 승용차의 경우 238.0g/대·km, 198.3g/인·km로 추정되었다(〈그림 3〉). 버스와 지하철의 대당 배출계수는 승용차에 비해 높게 나타났으나, 재차인원 적용으로 인당 배출계수는 승용차에 비해

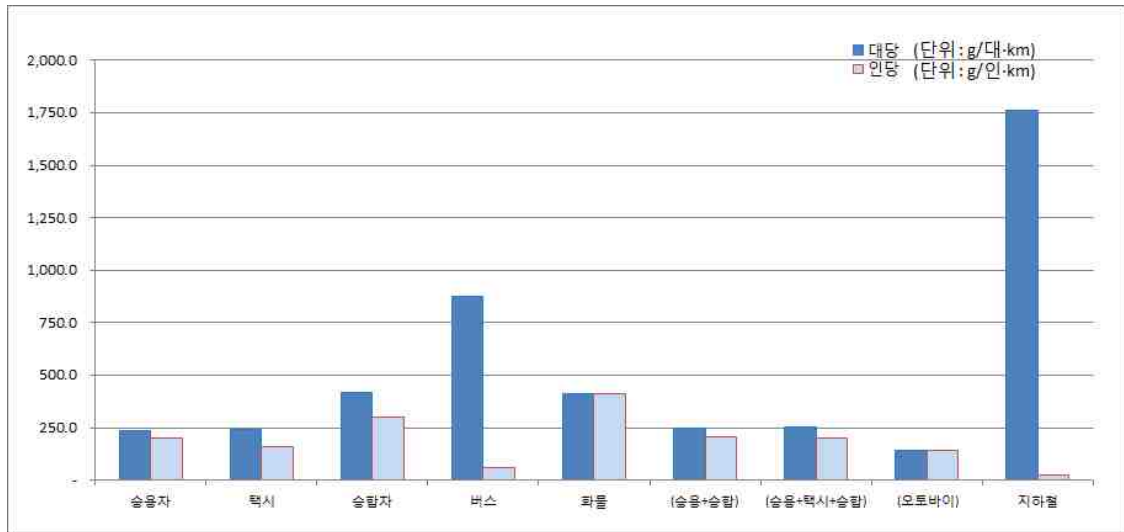
낮게 나타났다. 이때 차종별 통합 배출계수(승용+승합 등)는 차종별 등록대수를 기준으로 가중평균값을 사용하였다.

### 2) 기존 연구의 배출계수와 비교

국내에서 수단별 CO<sub>2</sub> 배출계수를 추정하는 연구는 많지 않으나, 대표적 연구로 한국교통연구원(2011b)이 있다. 본 연구에서 분석한 승용차 198.3g/인·km와 지하철 26.0g/인·km와 기존연구의 기준년도, 수단분류 기준, 기초자료 및 추정방법론 등이 다르기 때문에 절대적으로 비교할 수는 없지만 대략적으로 비슷한 수준인 것으로 나타났다.<sup>6)</sup>

### 3) 해외도시의 배출계수와 비교

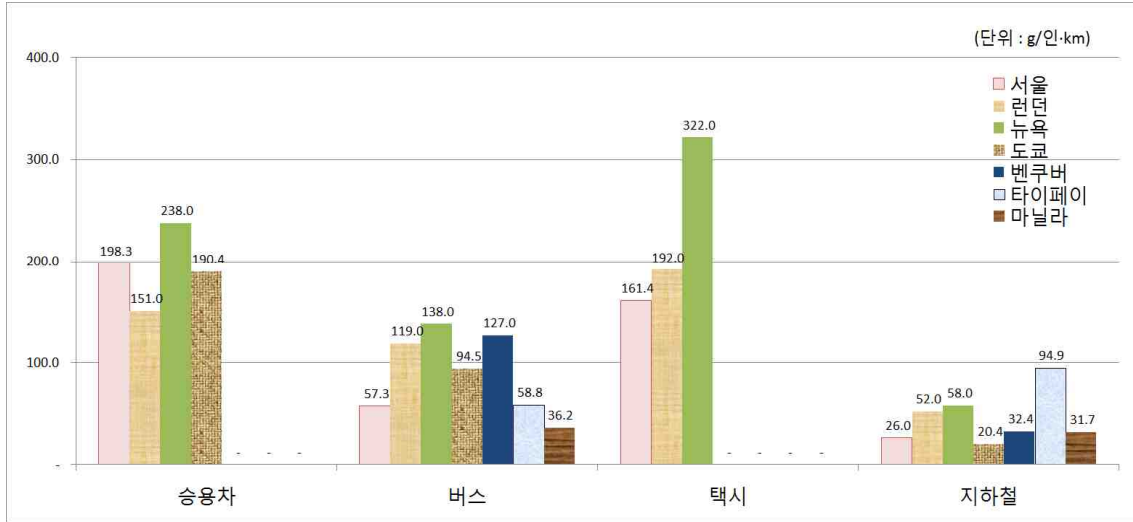
해외 여러 도시<sup>7)</sup>에서 추정된 수단별 온실가스



〈그림 3〉 수단별 CO<sub>2</sub> 배출계수 추정결과

6) 기존 연구에서는 CO<sub>2</sub> 배출계수를 도로부문을 166tCO<sub>2</sub>/백만통행·km(=166g/통행·km), 철도부문 6tCO<sub>2</sub>/백만통행·km(=6g/통행·km)으로 추정하였다. 단 철도부문은 디젤 열차만을 고려한 값으로 전력부문을 고려하면 약 30.6tCO<sub>2</sub>/백만통행·km(=30.6g/통행·km) 수준으로 분석되었다.

7) 서울시정개발연구원(2009)에서 그림을 재인용하였다. 런던과 뉴욕의 값은 McKinsey & Company(2008)에서 인용하였다. 도쿄, 밴쿠버, 타이페이, 마닐라의 값은 APERC(2008)에서 인용하였다. 단 도쿄의 승용차 값은 APERC(2008)의 주행거리 자료를 바탕으로 계산한 결과이며 2004년 값이다.



주: 일부 도시 및 교통수단의 경우 자료의 부재로 인하여 존재하는 자료만으로 그림을 구성함.

〈그림 4〉 주요도시의 교통수단별 온실가스 배출계수

배출계수와 비교 결과 도시별 시점, 방법론, 수단 분류 등이 다소 상이하여 절대적 비교는 어려웠다. 다만 승용차는 150~250g/인·km 수준으로 비슷한 것으로 나타났으며, 대중교통의 경우 다른 해외도시에 비해 낮은 수준인 것으로 나타났는데 이는 서울의 효율적 대중교통 운영(높은 재차인원 및 이용률)으로 인한 것으로 추측된다.

#### IV. 온실가스 배출량 추정 및 지역별 할당

##### 1. 분석방법론

본 연구에서는 Tier3 방법론에 기초하여 온실가스 배출량을 추정하였다. Tier3 방법론은 여러 가지 자료를 활용할 수 있으나, 본 분석에서는 2010년에 수행된 가구통행실태조사 자료의 결과

인 2010년 기준 수도권 통행 OD<sup>8)</sup>를 활용하였다. 수단 OD 자료를 활용한 Tier3 분석은 원단위법, 통행배정법 2가지 방법으로 분석가능하다.

원단위법은 소존별 통행발생량, 소존간 최단통행거리, 수단별 배출계수의 곱으로 온실가스 배출량을 추정한 방법이며, 통행배정법은 수단별 OD를 교통분석용 네트워크에 통행배정한 결과인 수단별 링크교통량과 링크길이, 속도별 수단별 배출계수의 곱으로 온실가스 배출량을 추정한 방법이다.

원단위법 및 통행배정법의 온실가스 배출량 산출식은 다음과 같다.

$$EU_i = \sum_j \sum_A [G_{ijA} \times SD_{ij} \times EF(P)_A] \quad \forall i \neq j \quad (3)$$

8) 수도권교통본부(2011) 배포자료를 활용하였다.

여기서,

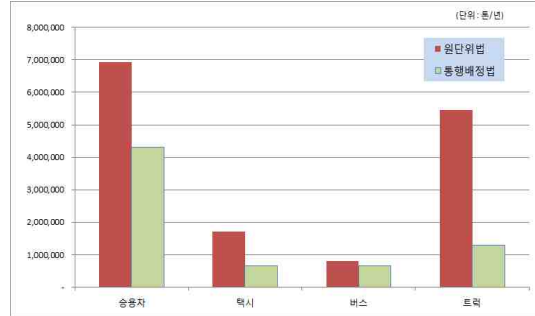
$EU_i$  : 원단위법에 의한 존*i*에서의  $CO_2$  배출량( $g$ )

$G_{i,j,A}$  : 존*i*에서 존*j*까지의  $A$ 수단 통행발생량(통행)

$SD_{i,j}$  : 존*i*에서 존*j*까지의 최단거리( $km$ )

$EF(P)_A$  :  $A$ 수단의 인당  $CO_2$  배출계수( $g/인 \cdot km$ )

$A$  : 교통수단(승용차, 버스, 택시, 트럭)



〈그림 5〉 수단별 온실가스 배출량 비교

$ET_i$

$$= \sum_{l \in L_i} \sum_A [V_{lA} \times LD_l \times EF(V)_{AS_l}] \quad (4)$$

여기서,

$ET_i$  : 통행배정법에 의한 존*i*에서의  $CO_2$  배출량( $g$ )

$V_{lA}$  : 링크*l*에서의  $A$ 수단 교통량(대)

$LD_l$  : 링크*l*의 길이( $km$ )

$EF(V)_A$  :  $A$ 수단의 대당  $CO_2$  배출계수( $g/대 \cdot km$ )

$L_i$  : 존*i*에 포함되는 링크의 집단

$A$  : 교통수단(승용차, 버스, 택시, 트럭)

$S_l$  : 링크*l*의 통행속도( $km/h$ )

## 2. 수단별 온실가스 배출량 추정 결과 및 검증

온실가스 배출량 추정결과 원단위법은 1,490만 톤/년, 통행배정법은 695만톤/년으로 분석되었으며, 수단별로 살펴보면 승용차가 가장 많은 온실가스를 배출하는 것으로 분석되었다.(〈그림 5〉).

온실가스 배출량 추정은 기존에도 다양한 방법

(Tier1, 2, 3)으로 이루어져 왔다. 기존 연구와 비교결과 기존 연구<sup>9)</sup>에서는 950만톤/년~1,000만톤/년으로 분석된 반면, 본 연구의 원단위법 결과는 과대 추정(1,490만톤/년), 통행배정법 결과는 과소 추정(695만톤/년)된 것으로 파악된다.

이러한 원인은 원단위법과 통행배정법의 근본적 한계 및 분석대상을 어떻게 정의하느냐에 따른 것으로 판단된다. 우선적으로 원단위법을 살펴보면 분석대상 통행량을 기점 기준으로 선정하였다. 즉 서울시를 기점으로 하는 전체 통행량을 분석대상으로 함으로써 서울 → 서울 간의 통행뿐만 아니라, 서울 → 경기·인천, 서울 → 수도권외곽지역의 통행 모두가 서울시의 온실가스 배출에 직접적으로 포함되어 과대추정되는 문제가 발생한다.<sup>10)</sup> 한편 통행배정법의 경우에는 교통분석용 네트워크의 특성상 서울시의 주요도로 위주로 구축되어 있어 일부도로가 제외된다는 점, 교통분석 존 내부통행량이 반영되지 않는다는 점 때문에 상대적으로 과소 추정된 것으로 판단된다.

9) 기존 연구와의 비교과정에서는 기존 연구에 항공, 해운, 철도 등이 포함되어 있어 지하철을 제외하고 도로부문에 한정하여 비교를 수행하였다. 여기서 검토한 기존연구는 국토해양부(2011), 한국교통연구원(2011a), 서울특별시(2010) 이다.

10) 분석대상을 현재의 기준인 서울→전국으로 설정한 경우 1,490만톤/년의 온실가스 배출량이 추정되며, 서울→수도권으로 한정할 경우 1,100만톤/년, 서울→서울로 한정될 경우 500만톤/년으로 추정되어 분석대상의 범위를 분석목적에 맞게 선택할 필요성이 있는 것으로 판단된다. 이러한 분석대상 범위 설정 문제는 통행비율을 고려하여 개선(보정) 가능할 것으로 판단되나, 본 연구에서는 이에 대해 상세히 분석을 수행하지 못하였다.



위와 같이 온실가스 배출량 총량값이 분석방법론, 배출계수, 분석대상 등에 의해서 다르게 추정되고 있다. 이러한 문제 때문에 지역별 온실가스 배출량 비교과정에서는 지역별 배출 비율을 활용하는 것이 합리적이라 판단된다.

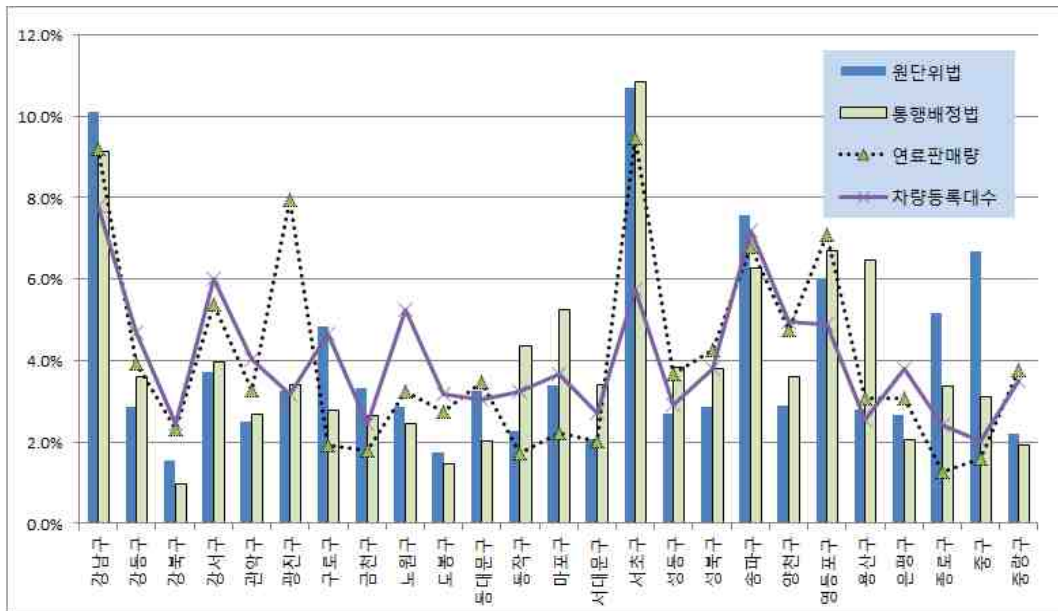
### 3. 방법론에 따른 지역별 온실가스 배출량 비교

#### 1) 방법론에 따른 지역별 온실가스 배출량

본 연구에서는 Tier3 방법론(원단위법, 통행배정법)을 기반으로 지역별 온실가스 배출량을 추정하였다. 추정한 결과를 기존 지역별(서울시 구별) 할당 방법인 연료판매량 및 차량등록대수에 의한 방법과 비교하였다(〈그림 6〉).<sup>11)</sup>

비교결과를 간략히 살펴보면 교통량이 집중되

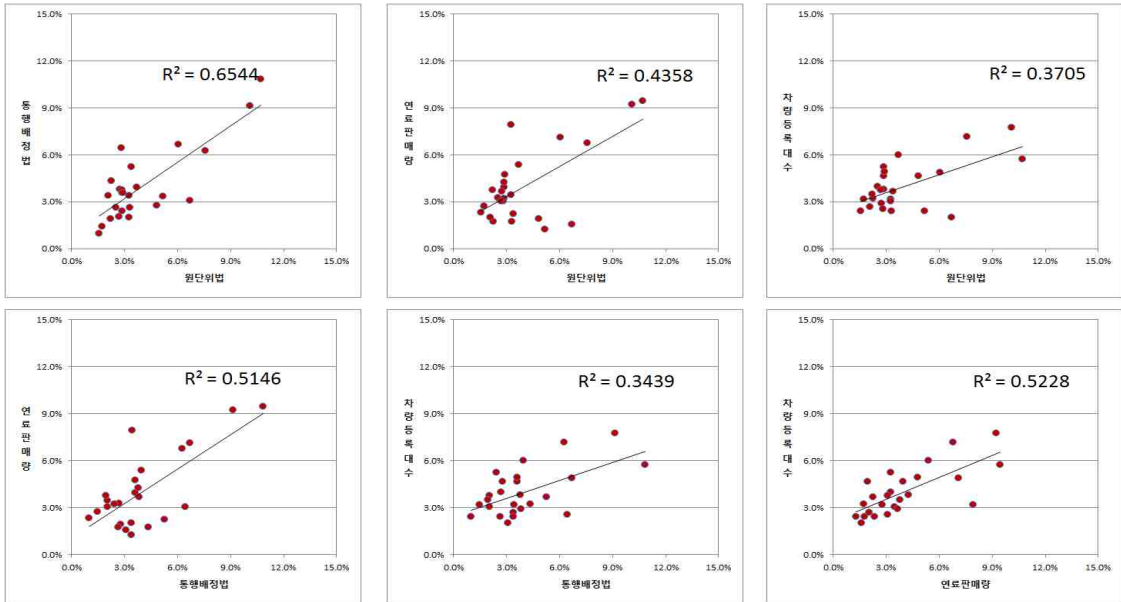
는 중심지인 강남구, 서초구, 중구 등의 온실가스 배출량이 원단위법에서 많은 것을 알 수 있다. 또한 중구의 경우 통행배정법과 원단위법의 차이가 상대적으로 많이 나는데 이는 중구에서의 통행발생량은 많으나, 실제 중구의 면적 및 도로망 길이가 다른 지역에 비해 짧기 때문인 것으로 해석된다. 한편 광진구의 경우 연료판매량 방법론에 의한 온실가스 배출량이 상대적으로 많은 것으로 나타나는데, 이는 광진구에 통행발생량에 비해 상대적으로 주유소가 많이 위치해 있기 때문이다.<sup>12)</sup> 또한 다른 방법론에 비해 차량등록대수에 의한 온실가스 배출량 비율이 거주지역이 많은 구(노원구, 중랑구 등)가 높은 것을 알 수 있는데, 이는 차량등록이 실제 거주지를 중심으로 이루어지기 때문으로 해석된다.



〈그림 6〉 방법론에 따른 지역별 온실가스 배출량 비율 비교

11) 이때 분석방법론에 따라서 서울시의 총온실가스 배출량이 상이하므로 구별 온실가스 배출량 비율 값을 활용하여 비교하였다.

12) 실제 광진구의 통행발생량은 서울시 25개구 중 20위인 반면, 광진구에 위치한 주유소수는 25개구 중 9위이다.



〈그림 7〉 방법론에 따른 지역별 온실가스 배출비율 비교

방법론간의 차이정도 분석은 카이제곱 검정, 상관관계 분석, RMSE(Root Mean Square Error) 분석 세가지 방법으로 수행하였다. 방법론별 비교 결과 통계적 검증에서는 큰 차이가 없는 것으로 나타났으나, 방법론별로 차이정도는 다르게 나타났다(〈그림 7〉).

(1) 카이제곱 검정

카이제곱 검정은 적합도 검정이라 불리며 계산된 이론값과 실제값의 적합도를 검정하는 경우에 주로 사용되는 방법이다. 본 분석에서는 실제값이 존재하지 않고, 4가지 방법 모두 계산된 이론값을 대상으로 방법론간의 적합도 검정을 수행하였다. 카이제곱 검정 수식은 다음과 같다.

$$\chi^2_0 = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^k \frac{(O_{ij} - E_{ij})^2}{E_{ij}} \quad (5)$$

여기서,

$O_{ij}$  :  $r \times k$  행렬에서  $i$ 행  $j$ 열의 관측빈도

$E_{ij}$  :  $r \times k$  행렬에서  $i$ 행  $j$ 열이 교차하는 기대빈도

카이제곱 검정 결과 원단위법-통행배정법, 연료판매량-차량등록대수 방법론이 상대적으로 보다 유사한 것으로 나타났다. 이는 각 방법론간의 근본적인 특성 때문인 것으로 판단된다. 즉 원단위법과 통행배정법은 통행실태 조사자료를 기반

〈표 2〉 방법론간 카이제곱 값

구분	원단위법	통행배정법	연료판매량	차량등록대수
원단위법	-	-	-	-
통행배정법	6.4	-	-	-
연료판매량	12.0	10.3	-	-
차량등록대수	9.7	9.7	7.0	-

으로 하며, 연료판매량과 차량등록대수의 경우 실제 등록차량이 많은 지역에 주유수가 많이 분포할 가능성이 높기 때문이다. 한편 전반적인 유의수준은 1% 내에서 모두 채택되어 통계적으로는 방법론간의 차이가 없는 것으로 나타났다.

(2) 상관관계 분석

상관관계 분석은 두 변수간의 상관정도를 판단하는 분석기법이다. 상관관계 분석결과는 상관계수를 이용하여 해석할 수 있는데, 일반적으로 상관계수가 0.6 이상일 경우 상관성이 높은 것으로 판단한다. 방법론간 비교결과 모든 조합에서 상관계수가 0.6 이상으로 나타났으며, 특히 원단위법-통행배정법은 0.8, 통행배정법-연료판매량, 연료판매량-차량등록대수는 0.7 이상으로서 상대적으로 상관정도가 높은 것으로 나타났다.

〈표 3〉 방법론간 상관계수

구분	원단위법	통행배정법	연료판매량	차량등록대수
원단위법	1.0	-	-	-
통행배정법	0.8	1.0	-	-
연료판매량	0.7	0.7	1.0	-
차량등록대수	0.6	0.6	0.7	1.0

(3) RMSE 분석

RMSE는 방법론간의 일반적 차이를 판단하기 위하여 두 값의 차이를 다룰 때 흔히 쓰이는 방법론이다. n개로 구성된 집단간의 RMSE 수식은 다음과 같다.

$$SE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [A_i - B_i]^2} \tag{6}$$

여기서,

$A_i$  : A방법론에서 i번째 관측값

$B_i$  : B방법론에서 i번째 관측값

분석결과 앞의 결과와 유사하게 원단위법-통행배정법이 상대적으로 가장 유사한 결과(RMSE : 1.45)를 보였으나, 원단위법-연료판매량은 상대적으로 큰차이(RMSE: 1.95)를 보였다.

〈표 4〉 방법론간 RMSE 값

구분	원단위법	통행배정법	연료판매량	차량등록대수
원단위법	-	-	-	-
통행배정법	1.45	-	-	-
연료판매량	1.95	1.73	-	-
차량등록대수	1.90	1.86	1.62	-

2) 방법론별 장단점 및 활용방안 검토

분석방법론별 장단점을 살펴보면 다음과 같다. 연료판매량과 차량등록대수를 활용한 방법은 실제 교통행태를 반영하지 못하며, 주유소가 밀집되거나 주요 거주지역에 온실가스 배출량이 과대 추정되는 단점이 있지만, 쉽고 정확한 온실가스 배출량을 추정할 수 있는 장점이 있다. 그래서 현재 가장 많이 사용되는 방법이며 공인된 방법이다. 반면 원단위법과 통행배정법은 교통행태를 반영할 수 있다는 측면에서 큰 장점이 있다. 이를 더 상세히 살펴보면 원단위법은 통행발생 자체를 관리하는 측면에서 장점이 있으나, 장거리통행이 많

〈표 5〉 방법론별 장단점

구분	장점	단점
원단위법	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 실제 교통행태 반영 가능</li> <li>◦ 통행발생 관리 가능</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 해당지역 이외에서 발생한 배출량이 해당지역의 배출량으로 추정</li> <li>◦ 분석대상지역 설정방법론에 따라서 배출량 차이 발생</li> <li>◦ 장거리통행 많은 지역 과대추정</li> <li>◦ 평균통행속도 및 최단거리 활용으로 실제값과 차이가능성</li> </ul>
통행배정법	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 실제 교통행태 반영 가능</li> <li>◦ 관할구역내 도로 관리 가능</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 수요추정(통행배정)의 불확실성 내포</li> <li>◦ 구관리 대상 벗어난 도로도 포함</li> <li>◦ 존 내부통행에 대한 온실가스 배출량 미포함</li> <li>◦ 주요도로만 네트워크가 구축되어 있어 소규모 도로에서 발생하는 배출량 미포함</li> </ul>
연료판매량	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 추정이 쉬움</li> <li>◦ 대규모지역 정확한 배출량 추정</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 실제 교통행태 반영 못함</li> <li>◦ 주유소 밀집지역 과대추정</li> </ul>
차량등록대수	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 추정이 쉬움</li> <li>◦ 대규모지역 정확한 배출량 추정</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 실제 교통행태 반영 못함</li> <li>◦ 거주지역 과대추정</li> </ul>

은 지역(예를들어 터미널, 환승거점)에 다량의 배출량이 배정되며, 분석대상지역을 어떻게 설정하느냐에 따라 배출량 차이가 발생하는 점, 서울을 벗어난 지역 배출량도 계산(예를들어 경기지역) 되는 점, 평균통행속도와 최단거리를 활용함으로써 실제 통행속도와 통행거리와 차이가 나는 점 등의 단점이 있다. 한편 통행배정법은 실제 관할 구역내 도로의 교통량 및 소통상황 관리 측면에서 장점이 있으나, 기본적으로 수요추정의 불확실성을 내포하고 있는 점, 자동차전용도로 등 일부도로는 구관리 대상이 아닌 점,<sup>13)</sup> 존 내부통행에 의해서 발생하는 온실가스 배출량이 포함되지 않는 점 등의 단점이 있다.

위와 같이 방법론별 그 특성차이가 확연히 나타나며, 그 결과값도 상이하므로 온실가스 배출량 추

정시에는 방법론에 따른 장단점을 잘 고려하고 활용하여야 할 것이다. 예를들어 교통정책에 따른 온실가스 감축효과를 분석할 때에는 통행행태가 반영된 Tier3 방법인 원단위법과 통행배정법을 평가방법에 맞게 사용하는 것이 바람직 할 것이다.

### V. 결론

본 연구에서는 교통수단별 온실가스 배출계수를 추정하고, 이를 기반으로 원단위법, 통행배정법으로 지역별 온실가스 배출량을 추정하였다. 추정결과 Tier1에 비해 과대·과소하게 추정되어 그 결과값을 바로 사용할 수는 없어 지역별 비율을 활용하여 보정 사용하는 것이 바람직 할 것으로 판단<sup>14)</sup>된다. 또한 본 분석결과는 지역별 온실가

13) 이러한 구관리 대상이 아닌 도로와 관련된 문제는 도로 유형을 명확히 분류(시관리 대상도로, 구관리 대상도로 등)함으로써 극복가능할 것이다.

14) 현재 우리나라에서는 Tier1 방법론에 의한 온실가스 배출량이 공식적으로 사용되고 있다. 이러한 Tier1 방법론에 의한 온실가스 배출량 추정은 일반적으로 서울시 단위에서 이루어진다. 만약 Tier1방법에 근거하여 25개 구별 온실가스 배출량을 추정한다면 앞서 언급한바와 같이 실제 교통행태를 반영하지 못하는 단점이 발생하게 된다. 한편 Tier3 방법론인 원단위법과 통행배정법은 실제 교통행태를 반영한다는 장점이 있으나, 총량 측면에서 Tier1과 상이하다는 문제점을 가지고 있다. 이를 극복하기 위하여 서울시 총량은 Tier1방법론의 결과를 사용하되, 자치구별 배출량을 산출할때는 원단위법 또는 통행배정법에 의해서 산출된 서울시 구별 온실가스 배출비율을 곱해서 사용하는 것이 바람직

스 배출량 추정에 대한 기초결과로서 이를 활용하여 여러 정책대안별 온실가스 감축량을 추정하는데 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

다만 본 연구는 다음과 같은 주요 한계점을 가지고 있으며 이를 해결하기 위한 추가 연구가 필요할 것이다. 첫째, 온실가스 배출량 총량이 기존 연구(Tier1)와 차이가 크다는 점이다. 이는 앞서 기술한 바와 같이 기존 연구의 총량을 기본으로 하되 본 연구의 결과 중 지역별 비율을 활용하여 보정 사용하는 방법으로 어느 정도 한계 극복이 가능하기도 하다. 다만 추가적으로 총량이 차이나는 원인과 개선방안(배출계수의 적정성, 분석대상의 설정 등)에 대한 검토가 필요할 것이다. 둘째, 수단 OD를 기초자료로 활용함으로써 실제 조사가 이루어지지 않은 택시의 공차문제가 발생한다. 즉 수단별 OD는 이용자의 입장에서 조사된 결과로서 실제로 이용되지 않은 빈 택시는 OD로서 구축되지 않기 때문에 택시의 배출량이 다소 과소 추정된 측면이 있다. 마지막으로 본 연구는 기존에 이루어지지 않은 Tier3 방법론을 활용하여 온실가스 배출량을 추정한 기초연구로서 여러 가지 가정들(통행속도, 교통량 등)이 단계별로 적용되었다. 이러한 가정들은 주어진 자료의 한계속에서 가장 합리적인 값을 선택하였으나 가정이라는 그 자체의 한계를 극복할 수는 없다. 보다 정확하고 합리적인 온실가스 배출량 추정을 위하여 온실가스 추정을 위한 기초자료 구축이 필요할 것이다.

## 참고문헌

- 국립환경과학원, 2009, 「수송부문 온실가스 기후변화대응 시스템 구축(Ⅱ) 자동차 온실가스 Bottom-up 배출계수 개발」.
- 국토해양부, 2009, 「제3차 교통시설 투자평가지침 개정안」.
- \_\_\_\_\_, 2011, 「2011년도 교통물류 온실가스 배출량 조사 보고서」.
- 김기동 · 이태정 · 김동술 · 조진식 · 구운서, 2009, “배출방법에 따른 경기지역 도로수송부문 온실가스 배출량 산정 비교”, 「한국대기환경학회 2009 추계학술대회 논문집」, 651~652.
- 김영국 · 우승국, 2014, “교통계획모형과 GIS를 이용한 지역간 도로의 온실가스 및 대기오염물질 배출지도 작성 방법론 연구”, 「교통연구」, 21(1), 1~15.
- 백비름, 2014, “지역별 자동차 이산화탄소 순배출량 추정 방안 연구”, 명지대학교 석사학위논문.
- 서울시정개발연구원, 2009, 「서울시 교통부문 탄소배출량 관리 전략 개발을 위한 기초연구」.
- 서울특별시, 2010, 「서울의 온실가스 인벤토리 구축 및 감축정책 제안」.
- 수도권교통본부, 2011, 「2010 수도권 가구통행실태조사」.
- 오일환 · 이승훈 · 정장표 · 김태형 · 서정운, 2009, “창원시 실제 교통량 자료를 이용한 도로수송부문 온실가스 배출량 평가”, 「한국환경과학지」, 18(7), 747~754.
- 한국교통연구원, 2011a, 「교통비용 및 온실가스 배출량 DB 구축」.
- \_\_\_\_\_, 2011b, 「지속가능 교통물류발전 기본계획 수립 연구」.
- 한시원, 2013, “자동차 이산화탄소 배출량 추정을 위한 통행배정모형 적용 방안 연구”, 명지대학교 석사학위논문.
- 환경부 · 환경관리공단, 2008, 「국가 온실가스 인벤토리 작성을 위한 2006 IPCC 가이드라인」.
- APERC, 2008, *Urban Transport Energy Use in the APEC Region: Benefits and Costs*.

할 것으로 판단된다. 즉, [A구의 온실가스 배출량] = [Tier1에서 산출된 서울시 총 온실가스 배출량] × [Tier3에서 산출된 A구의 온실가스 배출량 비율]이라는 식을 통하여 구별 온실가스 배출량 산출이 가능하다.

IPCC, 2006, *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*.

McKinsey & Company, 2008, *Sustainable Urban Infrastructure*.

원 고 접 수 일 : 2014년 9월 25일

1차심사완료일 : 2014년 10월 20일

최종원고채택일 : 2014년 11월 5일