

차량 검사 데이터를 활용한 서울시 자동차 유형별 배출 가스량 원단위 산정

Emission Rates Estimation by Vehicle Type in Seoul Using the Vehicle Inspection Data

이 효 선* · 한 여 희** · 박 신 형*** · 황 호 현**** · 김 영 찬***

* 주저자 : 서울시립대학교 교통공학과 석사과정

** 교신저자 : 서울시립대학교 교통공학과 연구교수

*** 공저자 : 서울시립대학교 교통공학과 교수

**** 공저자 : 한국교통안전공단 빅데이터센터 차장

Hyosun Lee* · Yohee Han* · Shin Hyoung Park* · Ho Hyun Hwang** ·
Youngchan Kim*

* Dept. of Transportation Eng., Univ. of Seoul

** Dept. of Transportation Safety Education, Korea Transportation Safety Authority

† Corresponding author : Yohee Han, yoehee@gmail.com

Vol.20 No.6(2021)

December, 2021
pp.177~191

pISSN 1738-0774
eISSN 2384-1729
<https://doi.org/10.12815/kits.2021.20.6.177>

Received 9 August 2021
Revised 30 August 2021
Accepted 1 November 2021

© 2021. The Korea Institute of
Intelligent Transport Systems. All
rights reserved.

요 약

전 세계가 직면한 심각한 대기오염의 주요 원인 중 하나는 도로 이동원의 배출 가스이다. 차량 배출 가스 저감을 위해 여러 국가가 노력하고 있으며 서울시는 2030년까지 온실가스 배출 40% 감축 목표를 설정하여 활발한 배출 가스 감축 정책을 실시하고 있다. 이러한 정책의 시행을 위해서는 실질적인 정책적 지표가 필요하다. 국내 배출 가스량은 대부분 환경부 산하 국립환경과학원의 속도 함수인 배출계수에 의해 산정되지만 동적 변수인 속도는 친환경차량 목표 보급 대수 산정 지표로 활용하기에 한계가 있다. 따라서 본 연구는 서울시 자동차 등록 정보와 한국교통안전공단 자동차 검사 정보를 활용하여 서울시 배출 가스량 원단위를 산정하였다. 차중, 연료, 주행거리 등 주요 변수에 따른 배출 가스 경향성을 파악하여 그룹화하고 자동차 검사에서 측정하는 일산화탄소, 탄화수소, 질소산화물, 매연을 기준으로 하였다. 그 결과 모델연도와 주행거리에 따라 배출 가스량 원단위가 유의미한 추세를 보였다. 이는 서울시 친환경 차량 전환 시 모델연도가 오래되고 주행거리가 긴 영업용 차량을 우선적으로 전환하기 위한 정책적 지표로 활용할 수 있을 것이다.

핵심어 : 배출 가스, 배출계수, 영업용 차량, 대기오염, 주행거리

ABSTRACT

One of the major causes of serious air pollution worldwide is emissions from road transportation. A number of countries are working to reduce vehicle emissions, and the Seoul Metropolitan Government is also implementing active policies to reduce emissions by setting a target of 40% by 2030. Implementing these policies requires the introduction of practical indicators. Most of the domestic emissions are calculated by the emission coefficient, a function of speed at the National Institute of Environmental Research under the Ministry of Environment, but the dynamic variable speed is limited to being used as an indicator of the number of eco-friendly vehicles. Therefore, this study calculated the emission rates in Seoul using the vehicle registration data of Seoul and the

vehicle inspection data from the Korea Transportation Safety Authority. The tendency of emissions was determined according to key variables such as vehicle type, fuel and mileage. Emissions were based on carbon monoxide, hydrocarbons, nitrogen oxides and particulate matter measured by vehicle inspection from the Korea Transportation Safety Authority. As a result, the emission rates showed a significant trend according to the model year and mileage. This can be used as a policy indicator to preferentially switch commercial vehicles with old model years and long mileage when switching eco-friendly vehicles in Seoul.

Key words : Emissions, Emission coefficient, Commercial vehicles, Air pollution, Mileage

I. 서 론

오늘날 대기오염은 전 세계가 직면한 심각한 환경오염 중 하나로 대기오염의 주요 원인 중 하나는 도로이동오염원으로 인한 배출 가스이다. 2018년 기준 총 온실가스 배출량 중 19.2%가 수송부문에 의한 배출량이었다. 또한 2017년 오염물질별 배출원 대분류별 주요 배출원 및 배출량 기여율을 보면 일산화탄소(CO), 질소산화물(NOx) 모두 도로이동오염원이 29.0%, 35.6%로 일산화탄소(CO), 질소산화물(NOx) 배출에 가장 많은 영향을 끼친다는 것을 알 수 있다.(Ministry of Environment, 2020) 이를 인지하고 많은 국가들이 차량 배출 가스 저감을 위해 정책적 노력을 하고 있다. 국내 서울수도 지속적인 배출 가스 증가로 인한 문제점 해결을 위해 2050 온실가스 감축전략을 추진하고 있다. 서울시는 2005년에 2030년까지 온실가스 배출 40% 감축 목표를 설정하여 공공부문인 영업용 차량을 위주로 친환경 차량을 도입하여 친환경 차량의 인프라를 조기 구축하고 장기적으로 내연기관 차량의 신규 등록을 금지할 계획을 내세웠다. 또한 2021년 전기차 보급계획을 발표하여 전기차 대중화 선도 및 대기질 개선에 기여하고자 계속 온실가스 감축 계획을 추진하고 있다.

배출 가스 저감 정책 및 전기 차 도입 정책을 더 세부적으로 추진하기 위해서는 2030년까지 영업용 차량이 전기차와 수소차 등 친환경 차량으로 몇 대가 전환되어야 서울시의 목표 수치만큼 배출 가스를 감축할 수 있는지 파악이 필요하다. 따라서 이러한 지표에 대한 실질적인 연구가 필요하다. 대기오염물질에는 일산화탄소(CO), 탄화수소(HC), 질소산화물(NOx), 미세먼지(PM) 등이 있으며 국립환경과학원에서는 이를 차종과 연료별 속도-배출량 함수로 산정하여 제시하고 있다. 국립환경과학원 배출계수 식은 가상의 차량시험을 통해 도출된 식으로 속도 정보가 있어야만 배출계수 산정이 가능하다. 하지만 서울시에서 친환경차량 목표 보급 대수 산정하기 위한 정책적 지표를 마련하기 위해서 현존하는 데이터를 활용하여 정적인 배출 가스량 원단위를 도출할 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 서울시 자동차 등록 정보와 한국교통안전공단 자동차 검사 정보를 토대로 서울시 배출 가스 저감 정책에 실질적으로 활용될 배출 가스량 원단위를 도출하였다.

II. 선행 연구 검토

대한민국 국가 고유 배출계수로 현재 국립환경과학원 배출계수를 사용하고 있으며 국립환경과학원은 2001년 이후 대기오염물질의 자동차 배출계수를 지속적으로 갱신하여 제시하고 있다. 가장 최근 대기오염물질 배출계수는 2012년 대기오염물질 배출량 기준으로 13개의 배출원으로 분류하여 대기정책지원시스템을 기반으로 8개의 대기오염물질을 대상으로 산정하였다(National Institute of Environmental Research, 2015). 차종별 등록대수 비율이 높은 자동차를 시험 자동차로 선정하여 국내 도로 운행패턴이 반영된 NIER 모드를 통해 배출계수 계발 시험을 진행한다. 이 결과를 이용한 SPSS 통계분석을 통해 회귀모형을 도출하여 속도에

대한 차종별 배출계수 식을 도출한다(National Institute of Environmental Research, 2009a). 또한 대기오염물질과 구별되는 온실가스와 관련하여 국립환경과학원은 자동차 온실가스 배출계수를 산출하는 모델링 프로그램을 개발하였다(National Institute of Environmental Research, 2009b). 국립환경과학원 배출계수는 시험차량을 소수의 샘플로 선정하여 결과 값을 회귀분석을 통하여 일반화시킨 것이지만 본 연구에서는 서울시에 실제 주행하는 차량들을 대상으로 실시한 배출 가스 검사 데이터를 활용하였기 때문에 더 현실적인 배출 가스 원단위를 도출할 수 있을 것으로 기대된다.

또한 국립환경과학원 배출계수는 차종과 연료에 따라 각각 속도에 대한 함수로 제시되기 때문에 차량의 속도를 알지 못하면 사용하기 어려우며 Kim et al.(2012)는 배출량 산출 모형 중 평균 차속 모형의 한계와 개선방향을 제시하였다. 차종과 속도별로 배출량을 산출하는 경우 현실에서 발생하는 배출량과 많은 오차가 있음을 확인하고 향후 도로 유형과 교통 상황에 따라 구분하여 제시할 것을 제안하였다.

IPCC(2006)는 배출량 산정 식을 자료의 유효성과 배출원의 중요도에 따라 세 가지 방법으로 구분하여 제시하였다. Tier 1은 에너지 소비량에 대한 배출계수이며 Tier 2는 차종별 연비를 고려하여 산출한 연료 소비량을 기준으로 배출계수를 산정한다. Tier 3은 수단종류, 배출저감 기술, 주행환경 등 활동량과 연료 혼합비율 등에 기초하여 배출계수를 추정한다. The Korea Transport Institute(2014)는 IPCC가 제시한 방법 중 Tier 1을 활용해 전체 연료별 에너지 소비량을 기초로 하여 국내 도로부문 온실가스 배출량을 구축하였다. 하지만 실제로 지역별 도로에 통행하는 통행량과는 관계없이 연료 사용량만으로 집계하여 차량의 이동특성이 반영되지 않는 한계점이 있었다. IPCC 방법론 중 가장 정교한 방법인 Tier 3 배출계수는 차량별로 활동량 데이터 등 상세한 데이터를 필요로 한다. 하지만 이러한 데이터는 구하기 어려우며 IPCC 배출계수는 국가 고유의 실정을 반영하기에 어려움이 있다.

Bae and Kim(2014)은 지자체 단위 온실가스배출량을 산정할 수 있는 주행거리 기반 활동자료를 구축하고 이를 활용한 온실가스배출량 산정방법론을 제시하였다. 이때 배출계수는 국립환경과학원에서 제공하는 배출계수를 사용하여 배출량을 산정하였다. 하지만 활동 특성으로 사용된 데이터 간 차종분류와 배출계수 간 차종분류가 동일하지 않아 정확도가 감소했다는 한계가 있다.

국외에서도 자동차 배출계수 및 배출량을 도출하기 위한 연구들을 수행하고 있다. 미국은 기존에는 미국 환경청(US EPA)에서 개발한 MOBILE이라는 모델을 사용하여 배출계수와 배출량을 산출하였다. 그러나 MOBILE은 차종별 기본 배출률을 다양한 인자에 대하여 보정하여 배출계수를 산정하는 방식으로 실제 주행 시 배출 가스 특성을 반영하기 어렵다. 따라서 현재는 운전조건 함수를 사용해 다양한 실제 주행 패턴에서의 배출 가스 특성을 배출계수에 반영할 수 있는 MOVES라는 모델을 사용한다.(Vallamsundar and Lin, 2011) MOVES는 차량의 초 단위 속도와 가속도, 차량 중량, 도로 경사도에 따라 변하는 차량의 출력에 따라 배출량을 산정한다. Han et al.(2012)는 차량 가·감속을 반영하여 통행료 전자지불시스템 온실가스 배출량을 산정하였다. 미국의 MOVES 프로그램을 통해 산출된 자료를 기반으로 가속도별 온실가스 배출량 표를 작성하였다. 하지만 미국 주요 차종, 차량 세원, 도로조건 등을 기준으로 구축된 MOVES 프로그램에서 추출된 배출량 표에 근거한 효과분석 결과 값은 적용상에 일정 부분 한계가 있었다.

본 연구에서는 주기적으로 검사하는 교통안전공단의 배출 가스 정밀검사 중 실제로 배출하는 배출량을 토대로 하여 현실적인 배출량을 도출하였다. 이는 국내에서 검사한 데이터로 국외 배출 가스 모형을 사용하는 것보다 더 국내 상황을 잘 반영한다. 또한 가속도, 속도 등의 동적인 데이터를 사용하여 서울시 친환경차량 목표 보급 대수 산정 시 정책적 지표로 활용하는 것은 어려움이 있으므로 존재하는 정적 데이터를 최대한 활용하였다. 교통안전공단 차량검사 데이터의 배출 가스량 실측정치를 기반으로 서울시 차량 등록 데이터와 융합하여 배출 가스량 원단위를 산정하였다.

Ⅲ. 연구 방법론 및 기초 분석

1. 분석 데이터 전처리

서울시 배출 가스량 원단위를 산정하기 위해 2019년, 2020년 2년 간 서울시 자동차 등록 데이터와 한국교통안전공단 차량검사 데이터가 합해진 융합데이터를 사용하였다. 차량의 유종 중 휘발유나 경유 등 석유계 연료는 완전연소 시 수증기와 이산화탄소만 생성하지만 실제로는 불완전 연소하여 유해물질도 추가로 배출한다. 이 유해물질은 대부분 일산화탄소(CO), 탄화수소(HC), 질소산화물(NOx)로 이루어지며 경유는 매연 등이 추가로 생성된다.(Ministry of Environment, 2015) 따라서 본 연구에서는 한국교통안전공단에서 검사하는 배출 가스인 일산화탄소(CO), 탄화수소(HC), 질소산화물(NOx), 매연을 기준으로 배출 가스량 원단위를 분석하였다.

한국교통안전공단의 차량검사는 크게 종합검사와 정기검사 두 종류이고 두 검사 다 차종별로 6개월-2년마다 검사를 실시한다. 2019년 - 2020년 2년 치 검사 정보에는 동일 차량이 검사를 2번 이상 받은 경우도 존재하며, 2년 동안 검사를 받지 않은 차량도 존재한다. 본 분석에서는 고유 차량을 기준으로 분석하여 검사 이력이 존재하는 차량 중 중복되는 검사는 최신 검사일을 기준으로 하였고 재검사만 중복하여 받은 차량은 재검사 중 가장 먼저 실시한 검사인 1부 재검사를 기준으로 분석하였다. 종합검사와 정기검사 모두 차량의 연료에 의해 받는 검사가 달라지고 도로 주행패턴의 일부가 반영된 주행상태에서 배출되는 배출 가스를 측정하는 부하검사와 차량이 정지된 상태에서 엔진만 공회전 시켜 배출 가스를 측정하는 무부하검사로 나뉘며 그 기준과 검사에 따른 측정 배출 가스는 <Table 1>과 같다.

<Table 1> Korea Transportation Safety Authority Vehicle Inspection Standards

	Fuel	Inspection type		Measured emissions
comprehensive inspection	gasoline, gas, alcohol	no load test(low speed/high speed idling)		CO, HC, air excess ration
		no load test(idling)		
	diesel	load test(low speed idling/ ASM-2525)		CO, HC, NOx
		no load test(sudden acceleration)		PM
		small/medium size	load test(KD-147)	PM
large size	load test(LUG_DOWN)	PM		
regular inspection	gasoline, gas, alcohol	no load test(low speed/high speed idling) no load test(idling)		CO, HC, air excess ration
	diesel	tickover (sudden acceleration)		PM

휘발유, 가스가 연료인 차량 중 버스를 제외한 차종은 ASM-2525 검사를 기준으로 일산화탄소(CO), 탄화수소(HC), 질소산화물(NOx)에 대해 분석하였다. ASM-2525는 측정대상 차량 상태가 정상으로 확인되면 차대동력계에서 25%의 도로부하로 40km/h의 속도로 주행하고 있는 상태에서 검사모드 시작 25초경과 이후 모드가 안정된 구간에서 10초 동안의 배출 가스를 측정하여 그 산술평균값을 최종측정치로 한다. 이는 속도와 도로 부하율을 고정하여 검사를 실시하기 때문에 동적으로 변하는 서울시의 교통 상황을 대표하기에는 한계가 있지만 공회전 상태에서 측정하는 그 외의 검사보다 실제 주행환경과 가장 유사하다고 판단하였다. 휘발유, 가스가 연료인 차량 중 버스는 무부하검사(저속/고속 공회전) 검사 차량이 113대, 무부하검사(정

지가동) 검사 차량이 6,189대로 표본 수가 많은 무부하검사(정지가동)을 기준으로 일산화탄소(CO), 탄화수소(HC)에 대해 분석하였다. 경유를 연료로 하는 차량의 경우는 차량의 규모(소/중형, 대형)에 상관없이 검사를 실시하는 무부하 급가속 검사를 기준으로 하여 측정 유해물질이 매연 한 종류이므로 매연에 대해서만 분석하였다. 차량 검사 데이터에서의 배출 가스는 배출농도(% , ppm) 형태로 매연을 제외한 유해물질은 배출 가스량(g/km)로 환산하여 사용하였다. 주소 정보가 주어진 서울시 전체 등록 차량 3,145,627대 중 배출 가스 검사 이력이 있는 차량은 1,998,824대이다. ASM-2525 검사(휘발유, 가스를 연료로 하는 버스 제외 차량 대상), 정지가동 무부하검사(CNG 버스), 급가속 무부하검사(경유 차량)를 대상으로 중복 차량을 제거하고 데이터 전처리 후 분석에 사용된 샘플 차량 수는 276,174대이며 차종, 연료 별로 해당하는 검사를 받은 차량 수는 <Table 2>과 같다.

<Table 2> The number of sample vehicles by vehicle type-fuel

Group		the number of sample vehicles (veh)
vehicle type	fuel	
bus	CNG	6,152
bus	diesel	262
bus	CNG+Electricity	37
taxi	LPG	7,669
taxi	diesel	9
taxi	gasoline+Electricity	2
taxi	gasoline	1
truck	diesel	2,827
truck	LPG	1,485
rental car	gasoline	1,159
rental car	LPG	842
rental car	diesel	830
rental car	gasoline+Electricity	65
general-purpose vehicle	gasoline	178,227
general-purpose vehicle	diesel	41,470
general-purpose vehicle	LPG	33,364
general-purpose vehicle	gasoline+Electricity	1,624
general-purpose vehicle	LPG+Electricity	148
general-purpose vehicle	CNG	1
total number of sample vehicles		276,174

2. 배출 가스량 환산 방법

일산화탄소(CO), 탄화수소(HC), 질소산화물(NOx)의 경우 배출농도를 배출 가스량으로 환산하는 기준(Lee and Park, 2016)을 활용하여 식 (1)을 토대로 원단위 배출 가스량(g/km)을 산출하였다. <Table 3>는 배출 가스별 부피 유량 계수이다. 일산화탄소(CO)는 % 단위의 농도를, 탄화수소(HC), 질소산화물(NOx)는 ppm 단위의 농도를 배출 가스량으로 환산하였다. 매연은 배출 가스량으로 환산하는 방법이 존재하지 않아 배출농도(%)

기준으로 분석하였다.

$$EM_i = EC_i \times (A_i \cdot IW^2 + B_i \cdot IW + C_i) \times CF_i \dots\dots\dots (1)$$

- EM_i : 배출가스 i 의 배출량(g/km)
- EC_i : 배출가스 i 의 배출농도(% or ppm)
- IW : 관성 중량($0.001 \cdot (\text{차량중량}(kg) + 136)$)
- CF_i : 질량보정계수
- A_i, B_i, C_i : 배출가스 부피 유량 계수

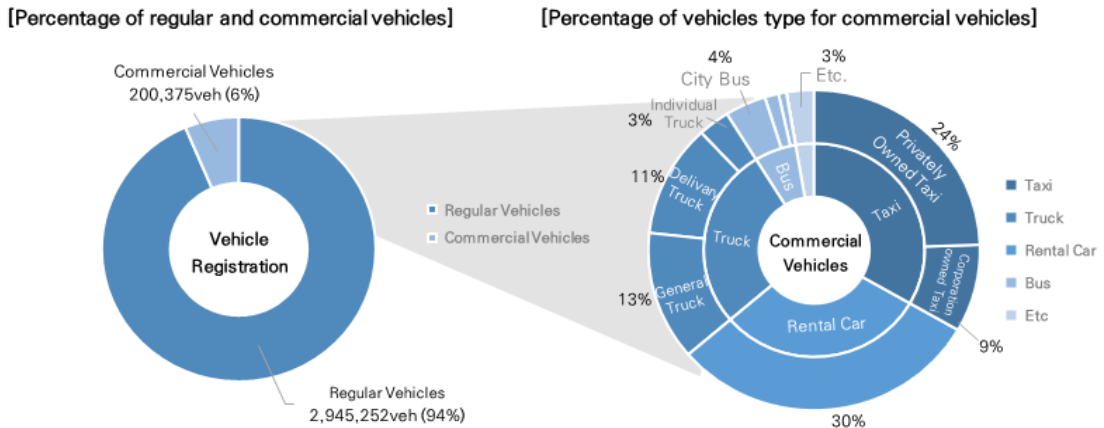
<Table 3> Emission volume flow factor

i	A	B	C	CF
CO	2.952	-2.374	8.689	1.24
HC	0.00091	-0.00073	0.0027	2.05
NOx	0.00048	-0.00039	0.0014	1.03

3. 기초 데이터 분석

1) 서울시 등록 차량 기준 차량대수

2019년, 2020년 2년 기준 서울시 전체 등록 차량 3,149,766 대 중 주소 데이터가 존재하는 차량은 3,145,627대이다. 이를 기준으로 분석한 서울시 등록 대수 기준 차량 비율은 <Fig. 1>과 같다.



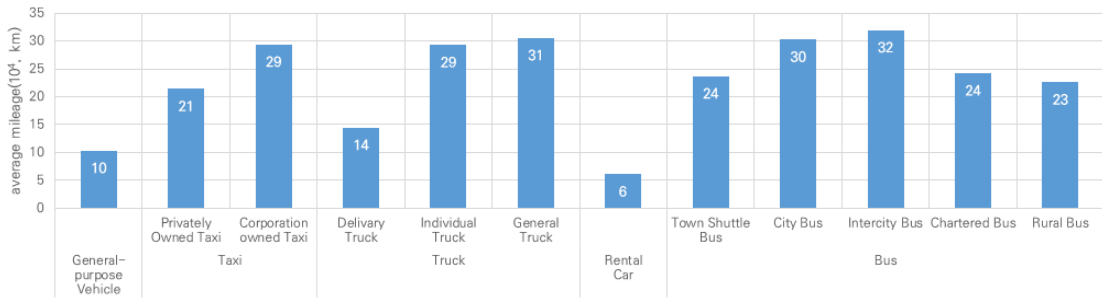
<Fig. 1> The percentage of vehicle types among registered vehicles in Seoul

이중 일반 차량이 94%로 대부분은 일반 차량이다. 영업용 차량 중에는 택시가 33%, 자동차 대여사업이 30%, 화물차가 27%, 버스가 6%이다. 택시는 개인택시와 일반택시(법인택시)로 나뉘고 개인택시가 영업용 차량 중 24%로 일반택시보다 많다. 화물차는 개별, 용달, 일반화물차로 나뉜다. 화물자동차 운수사업법에 따르면 용달화물차는 1톤 이하의 소형 특수자동차, 개별화물차는 1톤 초과 5톤 미만의 중형 특수자동차, 일반화물차는 5톤 이상의 대형 특수자동차이다. 버스는 마을버스, 시내버스, 시외버스, 전세버스, 농어촌버스가

있다. 기타에는 특수여객, 특수차 등 포함된다.

2) 검사이력 존재 차량 기준 평균주행거리

차량의 주행거리는 차량 검사 시 발생하는 데이터로 주소 정보가 주어진 서울시 전체 등록 차량 3,145,627 대 중 주행거리 값이 존재하는 차량은 1,998,824대이다. 이를 토대로 분석한 차종별 평균주행거리는 <Fig. 2> 와 같다.



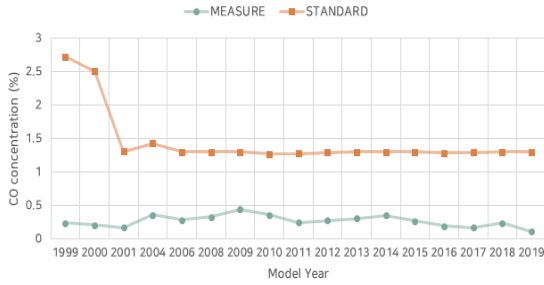
<Fig. 2> The average mileage by vehicle type

버스 중 시외버스와 화물차 중 일반화물차가 약 32만km와 31만km로 가장 높은 평균 주행거리를 갖는다. 시내버스, 개별화물차, 일반택시는 적은 차량 대수에 비해 평균주행거리는 약 29-30만km로 높다. 반대로 차량대수는 일반 차량이 가장 많지만 평균주행거리는 약 10만km로 작다.

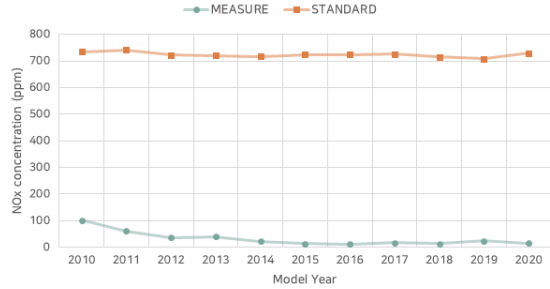
3) 배출농도 기준 모델연도에 따른 측정치와 기준치 차이

한국교통안전공단의 차량 검사 시 배출농도는 측정치와 기준치 두 가지로 나뉘는데 측정치는 차량 검사 시 측정하는 배출 가스 농도이며 기준치는 측정치의 적합, 부적합 여부를 판단하기 위한 기준이 되는 배출 가스 농도이다. 측정치와 기준치 중 어느 배출 가스를 기준으로 배출 가스량 원단위를 산정할지 파악하기 위해 동일 차종, 동일 유종의 모델연도별 기준치와 측정치를 비교하였다. <Fig. 3>은 휘발유 일반차량의 일산화탄소(CO) 농도를 비교한 결과로 2000년 이후 일반 차량의 배출 가스 규제가 강화되어 이에 따라 기준치는 2001년에 급감하고 그 이외에는 큰 변동이 없다. 하지만 이에 반해 측정치는 차량의 주행거리, 배기량 등 여러 요인에 의하여 모델연도에 따른 변동 폭이 크다. <Fig. 4>는 LPG 개인택시의 질소산화물 농도로 기준치는 모델연도에 따라 거의 일정한 값을 가지지만 측정치는 모델연도가 최신일수록 감소하는 경향을 보인다. <Fig. 5>는 CNG 시내버스의 탄화수소(HC) 농도를 비교한 결과로 기준치는 2010년부터 2020년까지 고정된 400ppm인 것에 반해 측정치는 모델연도가 변화함에 따라 변화가 있다. <Fig. 6>은 경유 일반화물차의 매연 농도로 2007년 기준으로는 측정치와 기준치가 약 17% 차이가 나는 반면 2011년에는 12% 차이가 나므로 모델연도에 따라 측정치와 기준치의 차이가 상이하다.

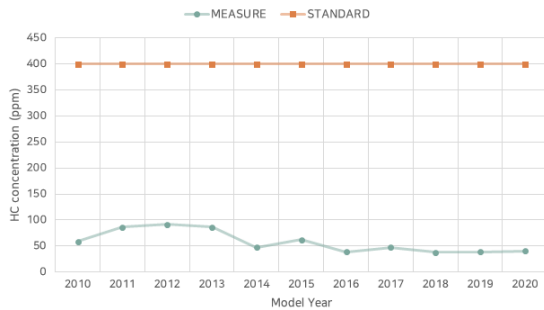
기준치는 규제 강화 년도 등 특정 모델연도를 제외하면 모델연도에 따라 편차가 크지 않은 반면 측정치는 다양한 요인에 의하여 모델연도에 따라 기준치보다 변동 폭이 크다. 모델연도별로 측정치와 기준치 차이가 있으므로 실제 차량들이 배출하는 배출 가스 농도인 측정치를 기준으로 배출 가스량 원단위를 산정하였다.



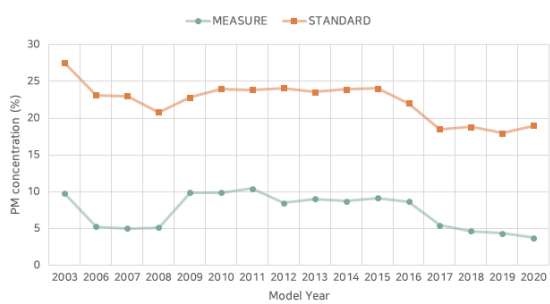
<Fig. 3> CO concentration in gasoline general-purpose vehicles



<Fig. 4> NOx concentration in LPG privately owned taxi



<Fig. 5> HC concentration in CNG city bus



<Fig. 6> PM concentration in diesel general truck

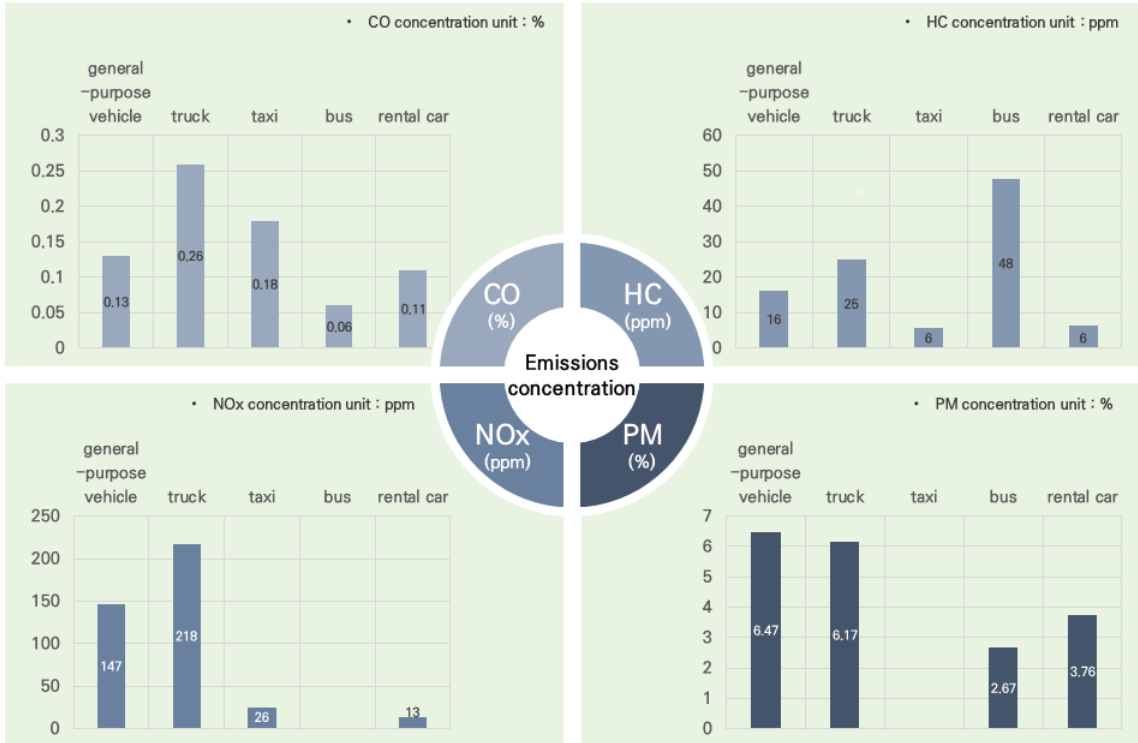
IV. 서울시 배출 가스량 원단위 산정

1. 서울시 배출 가스 농도 경향성 분석

서울시 배출 가스량 원단위를 산정하기 전에 차종별 배출 농도를 기준으로 경향성을 분석하였다. 이때 특수차, 특수여객은 제외하고 분석하였으며 표본이 30개 미만인 그룹은 통계적 추정이 무의미하다 판단해 제외하였다. 분석은 일반차량(General-purpose Vehicle), 화물차(Truck), 택시(Taxi), 버스(Bus), 자동차 대여사업 차량(Rental Car) 5개의 차종을 대상으로 실시하였다.

일반차량과 자동차 대여사업은 LPG, 휘발유, 경유를 연료로 하는 차량이 대부분이고 화물차는 LPG, 경유를 연료로 하는 차량이 대부분이다. 택시는 LPG 택시, 버스는 CNG 버스가 대부분이다. 위 차종별로 배출 가스 농도를 분석한 결과는 <Fig. 7>과 같다.

일산화탄소(CO) 농도와 질소산화물 농도는 화물차가 가장 크다. 탄화수소(HC) 농도는 버스가 가장 크고 다른 차종과 약 2배 차이를 보인다. 이를 제외한 배출 가스 농도는 친환경 가스인 천연가스 CNG를 연료로 하는 버스가 가장 작다. 매연은 첫 번째로 일반 차량, 두 번째로 화물차가 높은 배출농도를 갖는다. 전체적으로 화물차의 배출 가스 농도가 높은 편이며 버스는 탄화수소(HC)를 제외하고 배출 가스 농도가 가장 낮다.



<Fig. 7> Emissions concentration by vehicle type

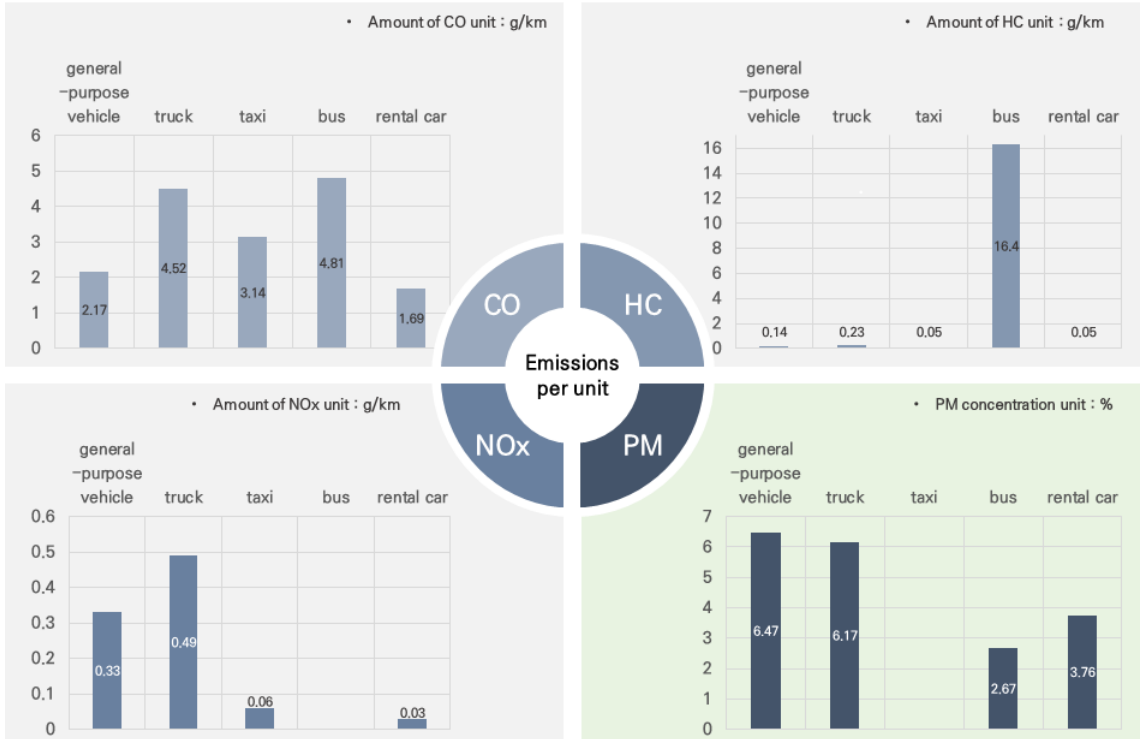
2. 서울시 배출 가스량 원단위 산정

검사한 배출 가스량 값과 다른 변수들 간의 상관성 분석을 한 후 유의미한 변수들을 기준으로 카테고리화 하여 배출 가스량 원단위를 산정하였다.

1) 차종별 배출 가스량 원단위

일산화탄소(CO), 탄화수소(HC), 질소산화물(NOx)는 배출농도를 배출 가스량으로 환산하여 산정하였고 매 연은 배출농도를 배출 가스량으로 환산하는 것이 불가능하므로 농도 단위로 원단위를 산정하였다. 표본 수가 30개 미만인 그룹은 통계적 추정이 무의미하다 판단하여 제외하고 차종별 배출 가스량 원단위를 산정한 결과는 <Fig. 8>과 같다.

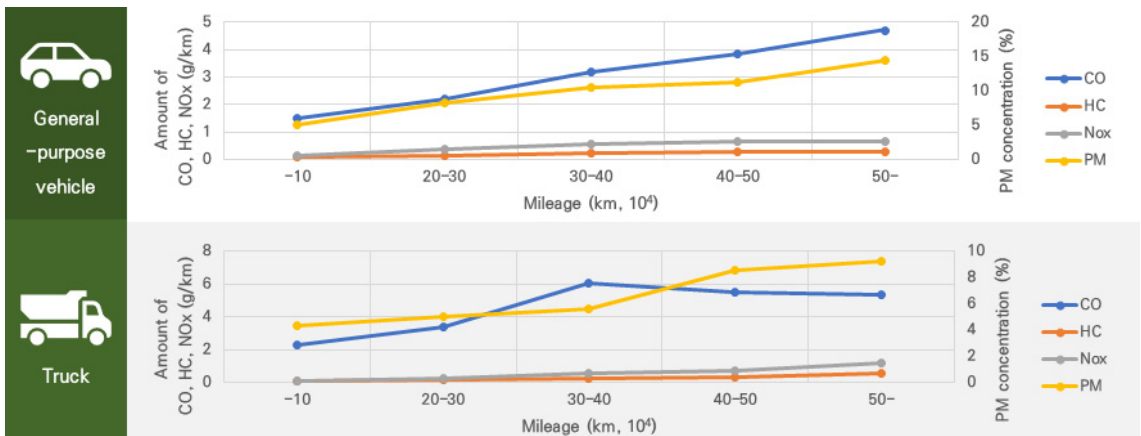
농도와 다르게 일산화탄소(CO)와 탄화수소(HC) 모두 버스가 가장 많은 배출 가스량 원단위를 가진다. 탄화수소(HC)의 경우 버스가 다른 차종에 비해 70배 이상 큰 값을 가진다. 질소산화물은 농도와 동일한 양상을 띠며 첫 번째로 화물차, 두 번째로 일반 차량이 배출 가스량 원단위가 가장 크다. 버스의 경우 배기량과 중량이 커서 배출 가스량이 배출 가스 농도와 다르게 큰 값을 가진다.

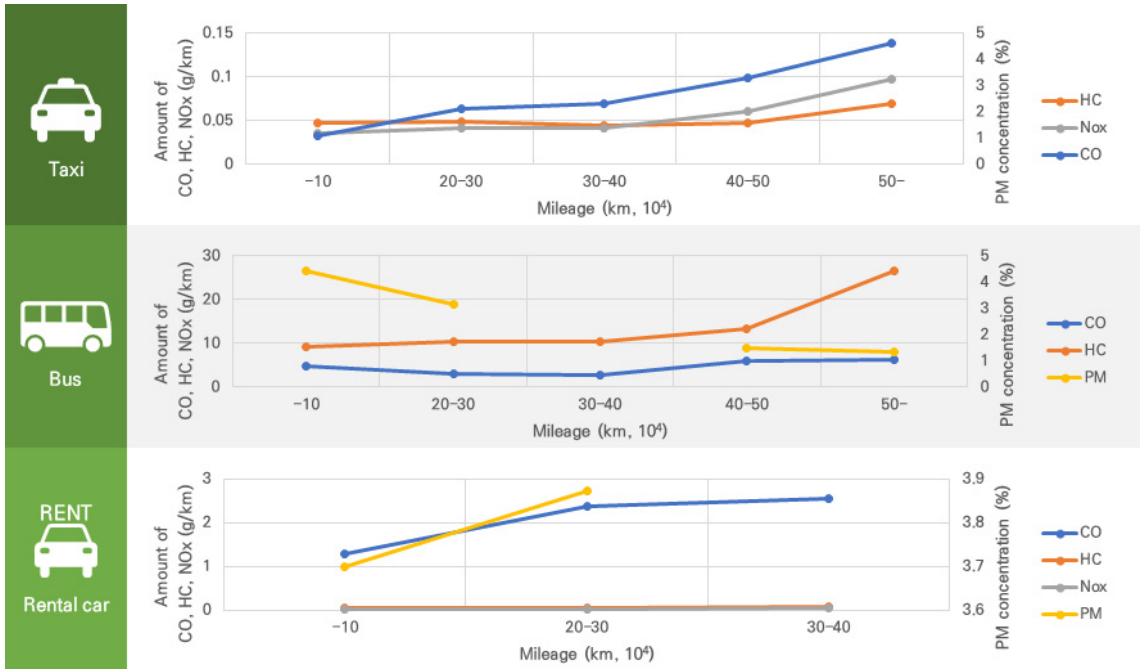


<Fig. 8> Emission rates by vehicle type

2) 차종-주행거리별 배출 가스량 원단위

더 세부적으로 그룹을 나누어 차종-주행거리별로 원단위를 분석한 결과는 <Fig. 9>와 같다. 일산화탄소(CO)는 화물차와 버스를 제외한 차종이 주행거리가 길수록 배출 가스량 원단위가 크고 탄화수소(HC)와 질소산화물은 모든 차종이 주행거리가 길수록 배출 가스량 원단위가 크다. 버스는 주행거리가 40만 km 미만일 때보다 40만 km 이상일 때 2배 이상의 큰 탄화수소(HC)량 원단위를 가진다. 배출 농도 기준의 매연은 일반차량과 화물차의 경우 주행거리가 길수록 매연 농도가 크다. 경유 버스는 주행거리가 길수록 매연농도가 감소하는 경향을 보인다.





<Fig. 9> Emission rates by vehicle type-distance

3) 차종-세부차종-연료-모델연도 그룹별 배출 가스량 원단위

유의미한 변수 중 하나인 모델연도를 기준으로 하여 차종-세부차종-연료-모델연도 그룹별로 원단위를 분석하였다. 매연은 배출 가스량이 없으므로 경유 차량은 제외하고 도출한 배출 가스량 원단위는 <Table 4>이다. 모델연도는 차종별로 배출 가스 규제가 강화된 시점을 기준으로 모델연도 그룹을 구분하였다. 그 결과 버스와 화물차, 자동차 대여사업은 2015년 이전과 2016년 이후 두 그룹으로 나누었고, 택시는 2013년 이전과 2014년 이후 두 그룹으로 나누었다. 일반차량은 2000년 이전, 2001년과 2013년 사이, 2014년 이후 세 그룹으로 나누었다. 각 차종과 연료에 따라 모델연도가 최근일수록 배출 가스 규제가 강화되어 실제 차량의 배출 가스량 원단위도 감소하는 경향을 보인다.

<Table 4> Emission Rates by vehicle type-detailed vehicle type-fuel-model year

Group				Emission Rates(g/km)			the number of sample vehicles (veh)
vehicle type	detailed vehicle type	fuel	model year	CO	HC	NOx	
bus	town shuttle bus	CNG	2010-2015	3.08	24.28	-	396
bus	town shuttle bus	CNG	2016-	4.32	7.87	-	473
bus	city bus	CNG	2010-2015	6.44	23.94	-	2,484
bus	city bus	CNG	2016-	3.35	9.47	-	2,743
bus	chartered bus	CNG	2010-2015	19.64	32.21	-	50
taxi	privately owned taxi	LPG	2009-2013	4.48	0.08	0.11	1,175
taxi	privately owned taxi	LPG	2014-	2.27	0.04	0.04	4,347

<Table 4> Continue

Group				Emission Rates(g/km)			the number of sample vehicles (veh)
vehicle type	detailed vehicle type	fuel	model year	CO	HC	NOx	
taxi	corporation owned taxi	LPG	2014-	4.18	0.05	0.08	2,147
truck	delivery truck	LPG	1994-2015	4.28	0.24	0.59	783
truck	delivery truck	LPG	2016-	2.56	0.11	0.15	391
truck	general truck	LPG	1994-2015	9.54	0.48	0.93	161
truck	general truck	LPG	2016-	4.29	0.14	0.14	142
rental car		LPG	2011-2015	2.35	0.05	0.04	324
rental car		LPG	2016-	1.06	0.05	0.02	518
rental car		gasoline	2011-2015	1.99	0.05	0.04	173
rental car		gasoline	2016-	1.81	0.05	0.03	986
rental car		gasoline+Electricity	2016-	0.59	0.07	0.03	64
general-purpose vehicle		LPG	1968-2000	6.58	0.73	1.58	4,513
general-purpose vehicle		LPG	2001-2013	3.36	0.18	0.34	25,949
general-purpose vehicle		LPG	2014-	2.31	0.1	0.11	2,902
general-purpose vehicle		gasoline	1968-2000	3.58	0.35	1.07	20,446
general-purpose vehicle		gasoline	2001-2013	1.7	0.1	0.22	141,634
general-purpose vehicle		gasoline	2014-	1.36	0.05	0.04	16,137
general-purpose vehicle		LPG+Electricity	2001-2013	1.06	0.06	0.1	146
general-purpose vehicle		gasoline+Electricity	2001-2013	2.58	0.06	0.06	903
general-purpose vehicle		gasoline+Electricity	2014-	1	0.05	0.05	721

4) 배출 가스량 원단위 검증 및 비교

<Table 4>에서 도출한 배출 가스량 원단위의 유의미성을 확인하기 위해 국립환경과학원의 2012년 배출량 기준 대기오염물질 배출계수(National Institute of Environmental Research, 2015)와 비교하였다. 모델연도 2009년 이후 2013년 이전 LPG 택시와 2000년 이전 LPG 일반 차량을 기준으로 하였고 일반 차량의 경우 경형, 소형, 중형, 대형 승용차의 평균값을 사용하였다. LPG 택시의 경우 본 연구에서의 2009년 이후 2013년 이전 CO 배출량 원단위는 <Table 5>와 같이 국립환경과학원 배출계수에서 2003년 이후 2005년 이전 모델 연도이고 속도가 5km/h와 25km/h일 때 배출계수의 차이 값을 갖는다. 또한 속도가 5km/h일 때 2003년 이후 2005년 이전 연식 배출계수와 2006년 이후 연식 배출계수의 차이 값을 갖는다. 일반 차량도 본 연구에서의 2000년 이전 CO, NOx 배출량 원단위가 국립환경과학원 배출계수에서 연식 1999년 이전, 속도가 5km/h와 25km/h일 때 차이 값을 갖는다.

국립환경과학원의 배출계수 식은 속도에 의해 결정되는데 정확한 주행속도 값이 없기 때문에 추가적으로 환경부 고시 자동차 총 오염물질 배출량 산정방법에 관한 규정 Regulations on the method of calculating total automobile pollutant emissions(2013) 자동차 차종별 배출계수와도 비교하였다. 이는 모델 연도별로 구분되어 있지 않고 차종-유종별로 하나의 값을 가지며 LPG 택시는 2012년 배출량 기준, LPG 일반차량은 2005년 배출량 기준으로 대조하였다. 2006년 이후 연식 LPG 택시 기준으로 속도가 25km/h일 때 CO 배출계수가 0.22g/km인 국립환경과학원 배출계수와 달리 환경부 고시 배출계수는 CO가 1g/km 이상의 값을 갖는다. 2000년 이전 연식 LPG 일반차량의 경우는 환경부 고시 배출계수가 본 연구의 배출계수와 국립환경과학원 배출

계수보다 가장 작은 값을 갖는다.

<Table 5> Comparison of Emission Rates of Existing Methods and New Methods

Group			new method			National Institute of Environmental Research				Ministry of Environment		
vehicle type	detailed vehicle type	fuel	model year	CO (g/km)	NOx (g/km)	model year	speed (km/h)	CO (g/km)	NOx (g/km)	model year	CO (g/km)	NOx (g/km)
taxi	privately owned taxi	LPG	2009-2013	4.48	0.11	2003-2005	5	5.14	0.77	-	1.31	0.043
						2003-2005	25	1.97	0.26			
						2006-	5	0.22	0.01			
						2006-	25	0.07	0.02			
general-purpose vehicle	LPG	1968-2000	6.58	1.58	-1999	5	15.13	2.59	-	1.58	0.38	
					-1999	25	4.67	0.95				

세 가지 방법으로 도출된 배출계수 중 본 연구의 배출계수와 국립환경과학원 배출계수는 유사한 값을 가지며 환경부 고시 배출계수는 나머지 두 배출계수와 차이를 보였다. 이는 환경부 고시 배출계수는 그룹을 세부적으로 분류하지 않고 배출계수를 도출했기에 발생하는 차이이며 세 가지 배출계수 값이 다른 원인은 배출 가스량 측정 방법이 상이하고 검사 차량의 연식 및 주행거리 등이 다르기 때문이다.

V. 결 론

본 연구는 2019년부터 2020년까지 2년 간 서울시 자동차 등록 데이터와 한국교통안전공단 차량검사 데이터가 합해진 융합데이터를 활용하여 서울시 배출 가스량 원단위를 산정하였다. 기존 배출계수는 속도 함수 형태로 속도에 따라 배출계수가 달라지므로 서울시의 배출 가스 저감 정책에서 차량의 속도와 별개로 친환경 차량 전환 시 의사결정에 사용하기에는 한계가 있다. 이에 본 연구에서는 현존하는 빅데이터를 활용하여 서울시 환경적인 측면에서 정책에 활용할 수 있는 배출 가스량 원단위를 산정하였다. 배출 가스 농도 기준으로는 전체적으로 화물차가 높고 버스가 낮은 배출 농도를 보였으며 탄화수소(HC) 농도만 버스가 가장 큰 배출 농도를 가졌다. 매연을 제외한 입자물질 배출 가스 농도를 배출 가스량으로 환산하여 원단위를 분석한 결과 중량이 큰 버스가 배출 가스 농도 기준 분석과 달리 일산화탄소(CO), 탄화수소(HC) 모두 버스가 배출 가스량 원단위가 가장 큰 것을 확인할 수 있었다. 특정 차종을 제외한 대부분 차종이 주행거리가 길수록 차량이 노후화 되어 배출 가스량 원단위가 증가하는 경향을 보였다. 따라서 차종-유종-연식-속도 기준으로 배출계수를 산정하는 기존 국립환경과학원 배출계수에 주행거리에 따른 구분도 필요할 것으로 보인다. 또한 배출계수, 평균 속도 데이터와 평균 주행거리 데이터 등을 토대로 총 배출 가스량을 도출할 때 국립환경과학원 배출계수보다 본 연구의 배출 가스 원단위를 활용한다면 분석 과정이 더 간소화 될 것이다.

본 연구는 일부 샘플 차량을 대상으로 측정한 기존 배출계수와 달리 실제 서울시 도로를 주행한 다수의 차량을 대상으로 측정한 배출 가스량을 기준으로 하였다. 이를 통해 차량의 유종이나 모델연도 등이 동일해도 차량의 주행거리 등 주행 특성에 따라 배출 가스량 원단위가 상이함을 확인하였다.

기초 분석 결과 일반 차량이 영업용 차량에 비해 서울시 차량 등록 대수는 많지만 주행거리는 자동차대여

사업 차량을 제외하면 영업용 차량이 일반 차량보다 많다. 배출 가스는 주행거리가 길수록 많이 배출되므로 긴 주행거리를 갖는 영업용 차량을 우선적으로 친환경 차량으로 전환할 필요가 있다. 따라서 서울시에서 주행거리가 비교적 긴 영업용 차량을 친환경 차량으로 전환하는 정책을 시행할 때 일반 차량보다 영업용 차량에 보조금을 더 지급하는 과정에서 이 연구 결과를 근거 자료로 사용할 수 있을 것이다.

하지만 이는 한국교통안전공단 차량 검사 데이터를 기반으로 하여 도로 실주행 데이터에 기반하고 있지 않다는 측면에서 한계가 있다. 또한 실제 경유 차량은 매연 이외 일산화탄소(CO), 탄화수소(HC), 질소산화물(NOx)를 배출하지만 한국교통안전공단 차량 검사 시 매연만 측정하여 입자물질에 대한 분석은 하지 못하였고 분석 시 노후 차량의 개조 여부는 반영되지 않아 주행거리가 증가함에 따라 배출 가스량 원단위가 감소하는 경우 원인을 분석하는 것에 한계가 있었다. 향후 한국교통안전공단의 차량 검사에서 경유 차량의 질소산화물 검사도 실시할 예정이므로 향후 연구에서는 경유 차량의 입자물질에 대한 분석도 가능할 것이다.

본 연구에서 제시한 서울시 배출 가스량 원단위를 통하여 서울시 배출 가스 저감 정책의 다양한 지표로 사용하고 활발한 서울시의 친환경 차량 보급 정책으로 더 친환경적인 서울시를 만드는 데 연구 결과가 일조할 수 있기를 기대한다.

ACKNOWLEDGEMENTS

이 논문은 서울특별시 영업용 차량 데이터 개발 및 분석 과정과 2021년도 정부(경찰청)의 재원으로 과학치안진흥센터의 지원을 받아 수행하였습니다. (092021C29S01000, 네트워크 제어를 위한 교통정체 및 혼잡 운영관리 기술 개발).

본 논문은 2021년 한국ITS학회 춘계학술대회(2021.4.23)에서 발표된 내용을 수정 · 보완하여 작성된 것입니다.

REFERENCES

- Bae B. R. and Kim G. S.(2014), “A Study on Greenhouse Gas Emissions Estimation based on Mileage Through Accumulation of Activity Databases,” *Journal of Korean Society of Transportation*, vol. 32, no. 1, pp.1-12.
- Han D. H., Hong S. Y. and Lee S. B.(2012), “Development of CO₂ Emission Estimating Methodology of Electronic Toll Collection System Based on Instantaneous Speed and Acceleration,” *Journal of Transport Research*, vol. 19, no. 3, pp.63-76.
- IPCC(2006), *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories* (Mobile Combustion, vol. 2: Energy), UN, USA.
- Kim Y. H., Hong S. J., Lee T. W. and Park J. H.(2012), “Improvement of the Emission model Based on Average Speeds in the Transportation Sector,” *Journal of Korean Society of Transportation*, vol. 30, no. 2, pp.117-126.
- Lee T. W. and Park J. H.(2016), *U.S. Patent No. 10-1756789*, Republic of Korea: U.S. Patent and Trademark Office.
- Ministry of Environment(2015), *Eco-friendly Car-Hybrid Electric Vehicle, Plug-in Hybrid Electric*

Vehicle, Electric Vehicle, Hydrogen Vehicle.

Ministry of Environment(2020), *2017 National Air Pollutants Emission.*

National Institute of Environmental Research(2009a), *Establishment of Climate Change Responding System for Transportation Sector(II), Development of Bottom-up type GHGs Emission Factor for Vehicles.*

National Institute of Environmental Research(2009b), *Development of Automotive Greenhouse Gas Emission Coefficient Calculation Modeling Program (II).*

National Institute of Environmental Research(2015), *Air pollutant emission efficient-Based on air pollutant emissions in 2012.*

Regulations on the Method of Calculating Total Automobile Pollutant Emissions(2013), 2013-94.

The Korea Transport Institute(2014), *2014 National Transportation Survey and DB Construction Project-A Study on Transportation Cost and Greenhouse Gas Database.*

Vallamsundar S. and Lin J.(2011), "Moves versus Mobile: Comparison of Greenhouse Gas and Criterion Pollutant Emissions," *Transportation Research Record*, vol. 2233, no. 1, pp.27-35.