



소형 경유차량에서 OBD 데이터를 통한 실제주행 CO₂ 배출량 예측 연구

유 영 수 · 정 준 우 · 전 문 수 · 차 준 표*

한국교통대학교 자동차공학과

A Study on Prediction of Real-driving CO₂ Emissions for OBD of Light-duty Diesel Vehicle

Young Soo Yu · Jun Woo Jeong · Mun Soo Chon · Junepyo Cha*

Department of Automotive Engineering, Korea National University of Transportation, Chungbuk 27469, Korea
(Received 15 October 2019 / Revised 30 October 2019 / Accepted 31 October 2019)

Abstract : In addition to a laboratory for the reduction of harmful gas emitted by diesel vehicles, various research studies on real driving conditions have been carried out by the governments of each country. Recently, there have been constant reports of vehicles regarding compliance with exhaust emission regulations for nitrogen oxides and particulate number, both in real driving emissions tests and in-lab certification tests. However, current emission regulations for carbon dioxide from vehicles are being conducted only through in-lab tests aside from a real driving emissions test. Therefore, it is necessary to carry out various research studies on the emission characteristics of carbon dioxide emitted from vehicles in real driving conditions. In this study, a small diesel vehicle was selected in order to carry out real driving tests using the portable emission measurement system(PEMS) on the routes developed by the National Institute of Environment Research(NIER). The data obtained via real driving test was classified by the 5 km/h of vehicle speed section. After a vehicle speed classification, vehicle power and trip duration according to the speed section were calculated in order to obtain vehicle work. This study attempted to predict the real driving CO₂ emissions by using vehicle work. Based on the results, the correlation coefficient between the predicted CO₂ emissions and the real driving CO₂ emissions was observed to be over 0.96, which has proven to be highly reliable.

Key words : RDE(실제도로 주행 배출가스), PEMS(이동식 배기가스 측정장비), OBD(자기진단장치), Fuel efficiency(연비), CO₂(이산화탄소)

1. 서론

국내는 글로벌 신 기후체제에 대응하고 국제적 합의에 따라 2030년 배출량 전망치(BAU) 대비 37%를 감축하는 목표를 확정하였으며, 구체적인 감축목표는 국내 에너지 분야의 8개 부문에서 25.7%, 국외에서 11.3%를 수립하여 감축하고자 하였다.¹⁾

하지만, 국외에서 감축하고자하는 국외감축량 목표치가 과다 설정되었고, 감축 주체 및 이행 수단 등의 불확실하다는 평가에 의해 국외감축목표를 11.3%에서 7%로 감소하고, 국내 에너지 분야의 감축목표를 25.7%에서 30%로 변경하여 발표하였다.²⁾

국내 에너지 분야의 8개 부문 중 수송부문은 환경부 산

하 온실가스종합정보센터의 보고서에 의하면 온실가스 배출량이 지속적으로 상승하는 추이를 보이고 있으며, 국내 수송부문 중 도로수송 부문의 비중이 약 90% 이상을 기록하고 있다고 발표하였다. 또한, 도로수송부문의 온실가스 배출량은 1998년부터 2016년까지 지속적으로 상승하고 있어 문제가 되고 있다.³⁾ 그리하여 국내 에너지 분야의 온실가스를 감축하기 위해 도로수송부문의 온실가스를 저감해야한다. 그리하여 국내는 전기자동차 및 수소연료전지차 등의 친환경차 보급, 현재 승용차에만 적용되는 평균연비제도를 중·대형차까지 확대하는 등 저탄소 에너지정책으로의 전환을 목표로 계획하고 있다.

현재 수송부문의 국내 자동차들은 대부분 내연기관을 적용한 차량들이며, 내연기관 차량의 온실가스 측정은

*Corresponding author, E-mail: chaj@ut.ac.kr

¹⁾This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium provided the original work is properly cited.

차대동력계를 이용하고 있는 현황이다. 국내 휘발유 및 경유 차량들의 연비 측정 시험은 FTP-75(Federal Test Procedure) 모드 측정 연비와 HWFET(Highway Fuel Economy Cycle) 모드 측정 연비를 시험을 통해 측정된 후 가중 평균하여 산출하고 있다.⁴⁾

하지만 이러한 차대동력계를 이용한 실내인증 주행모드에서 측정된 CO₂ 배출량 값과 실제도로 주행에서 측정된 CO₂ 배출량에는 많은 차이가 있다는 연구가 지속적으로 발표되고 있다.

그 중 T&E는 차대동력계의 기존 실내 인증 시험모드인 NEDC 모드에서 폭넓은 가·감속영역이 반영된 WLTC 모드로 변경하여 규제를 강화하였지만, 모드 변경을 통해 온실가스 배출량을 일시적으로 저감할 수는 있지만 완전히 해결하지 못할 것으로 전망하였다.⁵⁾

이러한 실내 인증시험과 실제도로 주행 배출가스 시험의 온실가스 배출량 차이는 실내 인증시험에서 브레이크 페드 조정, 변속기 변경, 배터리 충전 상태, 주행저항 설정 등에 의한 것으로 조사되었으며,⁵⁾ 실제도로 주행에서는 주행경로가 가지는 고도 특성, 외기온도 조건, 가·감속 등에 의한 것으로 보고되었다.⁶⁾

그리하여 PEMS(Portable Emissions Measurement Systems)를 이용하여 실제도로 주행 배출가스 시험을 수행하여 CO₂ 배출량을 직접 측정하여 실내 인증시험과 비교 분석하거나,⁷⁾ 실제도로 주행에서 차량의 자기진단장치(OBD, On-Board Diagnostic)을 통해 산출할 수 있는 주행인자를 통해 회귀방정식을 도출하여 실제도로 주행 CO₂ 배출량과의 상관관계를 분석하는 연구 등 다양한 방법으로 수행되고 있다.⁸⁾

본 연구에서는 소형 경유차량의 자기진단장치(OBD)를 통해 측정된 차량 출력 데이터를 통해 주행 일을 산출하여 국내 주행조건이 반영된 실제도로 주행 CO₂ 배출량을 예측하고자 하였다. 예측한 CO₂ 배출량과 PEMS를 통해 측정된 CO₂ 배출량을 비교하여 상관성을 검증하고자 하였다.

2. 시험내용 및 방법

2.1 시험 차량 및 장비

본 연구에서 사용된 시험 차량은 EURO 6b의 규제를 만족하는 SUV형 경유 차량이며, 배기가스 후처리 장치 등에 대한 자세한 제원을 Table 1에 나타내었다. 실제도로 주행에서 배출가스를 측정하기 위하여 이동식 배출가스 측정 장비(PEMS)를 사용하였으며, 장비에서 측정된 배기가스들의 주요 분석원리에 대해 Table 2에 정리하였다. 시험 장비는 배기가스 농도 분석기(SCS 모듈, GAS

Table 1 Specifications of test vehicle

	Vehicle
Vehicle type	SUV
Max. power [hp]	260
Displacement [cc]	3,000
Emission regulation	Euro 6b
After treatment	DOC + DPF + SCR

Table 2 Principles of exhaust gaseous in PEMS

Item	Principle	Range
CO	Heated NDIR	0 ~ 8 vol %
CO ₂	Heated NDIR	0 ~ 18 vol %
NO, NO _x	NDUV	0 ~ 3,000 ppm
Exhaust flow	Pitot flow	0 ~ 670 kg/h
Standard signal measurements	GPS Signal, Exh. temp Atm temp. and humidity	

Table 3 Specifications of PEMS equipment

Item	Specifications
Operating temp.	- 10 ~ 45 °C
Dimensions [mm]	SCS module : 435(W)×410(D)×105(H)
	GAS module : 437(W)×312(D)×135(H)
	EFM module : 365(W)×105(D)×90(H)
Weight [kg]	SCS module : 8.9
	GAS module : 8.9
	EFM module : 8.9

모듈)와 배기가스 유량 측정기(EFM 모듈)로 구성되어 있으며, 이에 대해 Table 3에 정리하였다.

2.2 시험 주행경로

본 연구에서 PEMS를 통해 실제도로에서 배출가스를 측정할 주행경로는 국립환경과학원(NIER)이 개발한 Route 1, 2, 3, 4에서 수행하였다. 개발된 주행경로는 유럽에서 발표한 RDE-LDV 관리제도의 규정을 기반으로 주행도로의 구성, 주행거리, 주행시간 등과 같은 경로요건 및 외기온도, 주행경로가 가지는 고도 특성과 같은 환경조건을 모두 만족하는 주행경로이다.⁹⁾

시험차량에 PEMS 장비를 탑재하여 각 주행경로에서 계절별로 총 4회 시험을 수행하였으며, 경로 별 주행거리, 주행시간 및 주행속도에 대해 Table 4에 정리하여 나타내었다.

2.3 시험장비(PEMS)의 데이터 신뢰성 검증

PEMS 장비에서 측정되는 배출가스 데이터의 신뢰성을 검증하기 위해 실내 주행모드에서 차대동력계의 CVS 장비와 동시에 배출가스를 측정하였다. 본 연구에서 수행한 실내 주행모드는 국립환경과학원에서 국내 서울시

Table 4 Trip summaries of RDE Routes

	Route 1	Route 2	Route 3	Route 4	
Trip distance (km)	Urban	28.0	26.5	32.7	32.3
	Rural	21.9	19.7	29.0	26.8
	Motor	25.7	27.4	28.9	28.7
Trip duration (min)	Urban	73.3	71.8	59.6	67.1
	Rural	18.1	15.9	22.7	20.4
	Motor	14.5	15.5	16.7	16.5
Avg. vehicle speed (km/h)	Urban	22.9	22.1	32.9	28.9
	Rural	72.6	74.6	76.6	78.9
	Motor	106.2	106.1	104.1	104.6

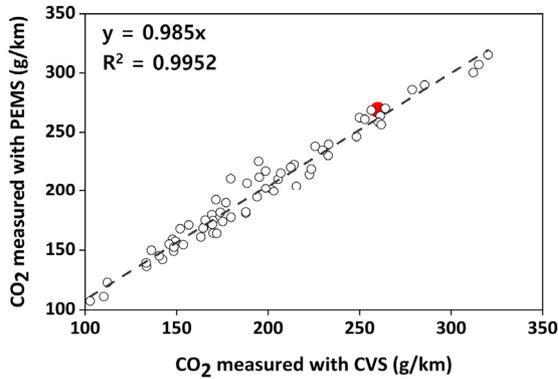


Fig. 1 Correlation of emissions between CVS and PEMS equipment

내 주행 특성을 반영하여 개발한 NIER 07 모드에서 시험을 수행하였다.

Fig. 1은 본 연구에서 사용한 시험 장비에서 측정된 배출가스의 신뢰성을 확인하기 위한 상관성 시험의 결과를 나타낸 그래프이며, 시험차량에 PEMS를 통해 측정된 결과와 CVS에서 측정된 결과에 대해 붉은색 원형으로 표시하였다. 시험결과 기존의 시험결과인 하얀색 원형과 동일한 수준으로 배출되었으며, CO₂의 결정계수가 0.97 이상으로 나타난 것으로 보아 PEMS에서 측정된 배출가스가 차대동력계의 CVS 장비에서 측정된 배출가스와 상당히 높은 상관성을 가지고 있다는 것을 확인하였다.

위의 결과를 통해 PEMS에서 측정되는 배출가스 데이터가 차대동력계의 CVS 장비와 비교하였을 때 높은 신뢰성을 가지고 있는 것을 확인하였다.

2.4 시험차량의 OBD 데이터 신뢰성 검증

시험차량의 자가진단장치(OBD) 데이터를 통해 측정된 차량속도 데이터와 흡기유량 및 연료소모량을 통해 산출한 배기유량을 GPS 신호에서 취득한 차량속도와 PEMS 장비의 유량계에서 취득한 배기유량 데이터를 비교하여 상관성을 검증하였다.

Fig. 2 및 Fig. 3은 시험차량에서 측정된 OBD 데이터의

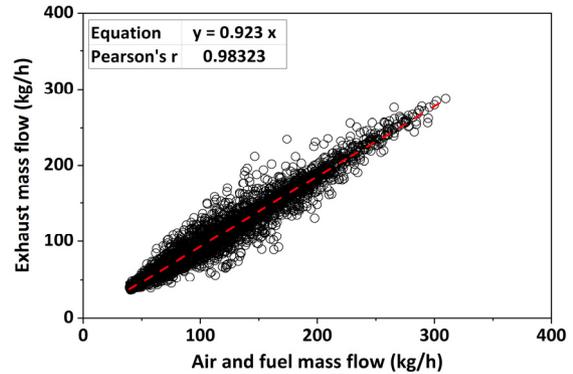


Fig. 2 Correlation of exhaust mass flow between OBD and PEMS equipment

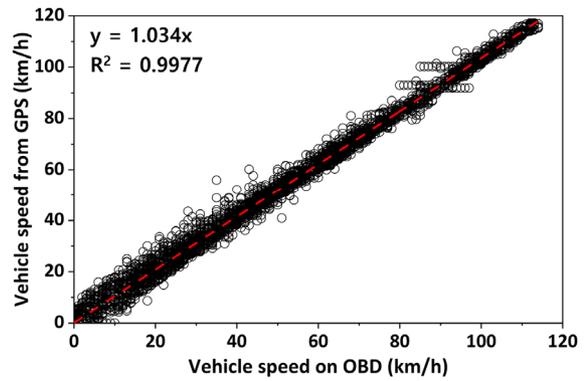


Fig. 3 Correlation of vehicle speed between OBD and PEMS equipment

신뢰성을 확인하기 위한 상관성 시험의 결과를 나타낸 그래프이다. 두 그래프는 높은 선형성을 나타내고 있으며, 결정계수가 0.98 이상으로 매우 높은 신뢰성을 가지고 있는 것으로 나타났다. 이를 통해 시험차량이 제공하는 OBD 데이터의 신뢰성을 확인할 수 있었다.

3. 시험 결과 및 고찰

3.1 차량 출력을 이용한 실제주행 CO₂ 배출량 회귀분석 결과

본 연구는 차량의 OBD 데이터를 통해 실제로도 CO₂ 배출량을 예측하고자 하였다.

차량의 OBD에서 측정된 예측변수는 Ericsson¹⁰⁾이 제시한 62가지의 도로 주행 인자 중 CO₂ 및 연료소모량에 큰 영향을 주는 가속을 위해 요구되는 차량출력, 기어 변속특성, 차량속도의 3가지 특성을 고려하였다.

실제로도 주행 시험에서 측정된 약 7,200개의 차량속도, 차량 가속도, 엔진 회전속도, 차량 출력을 예측변수로 고려하여 종속변수인 CO₂ 배출량과의 관계를 Minitab 프로그램을 통해 상관관계 분석하였다. 이러한 결과를 Fig. 4에 예측변수들과 CO₂ 배출량의 상관관계를 나타내었다.

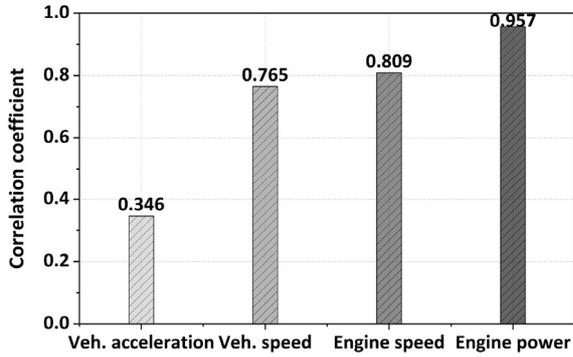


Fig. 4 Correlation coefficient between real-driving CO₂ emissions and prediction parameters

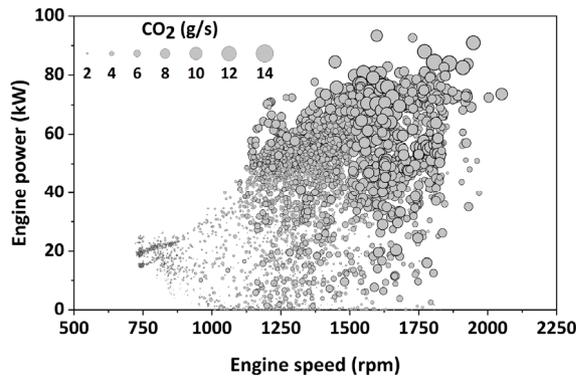


Fig. 5 Impact of CO₂ emissions both engine speed and engine power

가속을 위해 필요한 차량출력은 공기와 연료로 구성된 혼합기가 연소를 통해 연소실 내 온도를 높여 압력을 증가시켜 발생하는 힘이다. 이러한 힘은 엔진 회전속도가 빠를수록 커지게 되며, 그로인해 CO₂ 배출량이 많아지게 된다.

Fig. 5는 엔진 회전속도가 빠를수록 차량 출력이 증가하여 CO₂ 배출량이 많이 배출되는 것을 원형의 크기를 통해 확인할 수 있다.

이상의 결과로부터 예측변수들과 종속변수와의 상관관계에서 엔진 회전속도와 차량 출력이 높은 상관계수를 나타내는 것을 확인하였다. 본 연구에서는 가장 높은 상관관계를 가지는 차량출력을 통해 실제로도 CO₂ 배출량을 예측하고자 하였다.

본 연구에서는 실제로도 주행 배출가스 시험을 통해 측정된 데이터를 5 km/h의 속도 구간으로 구별하여 구간별 주행시간, 주행거리 및 차량출력 등을 계산하였다. 이때 구간별로 계산한 차량출력에 주행시간을 곱하여 주행일을 구하였으며, 최종적으로 주행거리 당 주행 일(kJ/km)과 주행거리 당 CO₂ 배출량(g/km)을 통해 식 (1) 및 (2)와 같은 1차 방정식을 도출하여 CO₂ 배출량을 예측하고자 하였다.

$$y_1 = 0.0504x_1 + 98.561 \tag{1}$$

$$y_2 = [0.0504x_1 + 98.561] * Distance (km) \tag{2}$$

여기서 y₁는 주행거리 당 CO₂ 배출량(g/km)이고, y₂는 예측한 CO₂ 배출량이며, x₁는 주행거리 당 주행 일(kJ/km)을 사용하였다.

Fig. 6에 나타난 그래프와 같이 주행거리 당 주행일(kJ/km)과 주행거리 당 CO₂ 배출량(g/km) 간의 결정계수가 98 % 이상으로 나타났으며, 이를 통해 두 변수가 높은 상관성을 보이는 것을 확인하였다.

그리하여 식 (1)에 각 속도별 주행거리를 곱하여 계산한 식 (2)는 주행거리 당 주행 일을 통해 실제로도 CO₂ 배출량을 예측하고자 하였다.

식 (2)를 통해 예측한 Reg. CO₂ 총 배출량(kg)은 18.047 kg으로 PEMS에서 측정한 CO₂ 총 배출량(kg)인 18.044 kg과 오차가 2 %으로 분석되었으며, 이를 Fig. 7에 정리하였으며, Reg. CO₂ 배출량과 PEMS에서 측정한 CO₂ 배출량 간의 결정계수가 96 % 이상인 것으로 보아 CO₂ 배출량에 대한 회귀 분석이 가능하다는 것을 확인하였다.

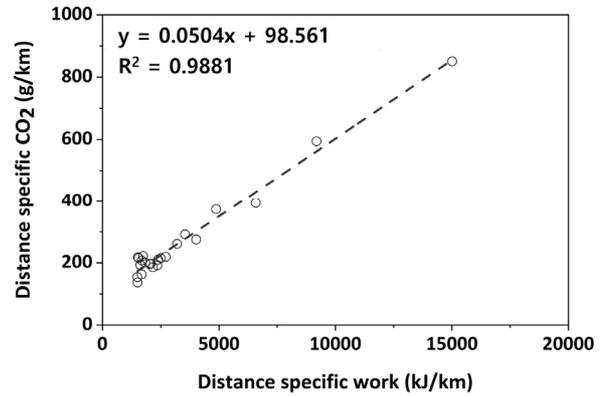


Fig. 6 Results between distance specific work from OBD and distance specific CO₂ emissions measured with PEMS

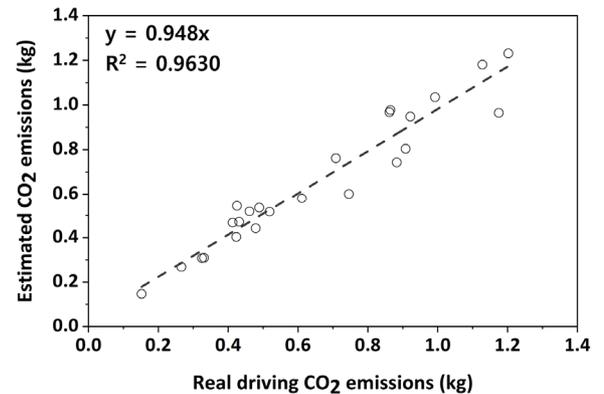


Fig. 7 Correlation between Real driving CO₂ emissions and Estimated CO₂ emissions

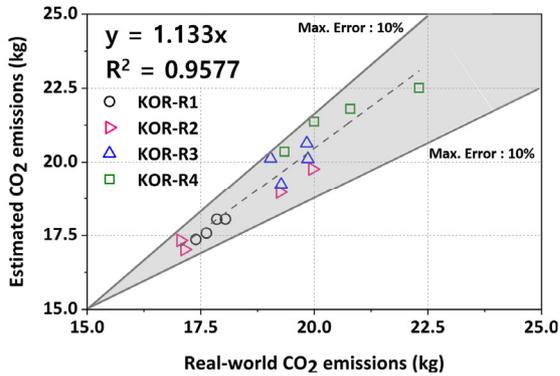


Fig. 8 Correlation of real driving CO₂ emissions and estimated CO₂ emissions in RWE routes

Table 5 Comparison between RWE CO₂ and Estimated CO₂

		RWE CO ₂ [kg]	Est. CO ₂ [kg]	Error [%]
KOR-R1	01	17.86	18.04	-1.0
	02	18.04	18.05	-0.1
	03	17.63	17.58	0.3
	04	17.39	17.36	0.2
KOR-R2	01	17.06	17.33	-1.6
	02	19.25	18.96	1.5
	03	19.96	19.77	1.0
	04	17.14	17.02	0.7
KOR-R3	01	19.84	20.63	-4.0
	02	19.04	20.12	-5.7
	03	19.86	20.11	-1.3
	04	19.27	19.24	0.2
KOR-R4	01	20.00	21.37	-6.9
	02	20.79	21.80	-4.9
	03	22.34	22.51	-0.8
	04	19.34	20.35	-5.2

Fig. 8은 앞서 설명한 방법을 사용하여 실제도로 배출 가스 주행경로인 NIER-Route 1, 2, 3, 4에서 계절별로 시험하여 측정된 실제도로 CO₂ 배출량과 예측된 CO₂ 배출량을 비교하여 나타내었다. 또한 Table 5에 실제도로 주행 CO₂ 배출량과 예측한 CO₂ 배출량의 값과 두 배출량간의 오차를 정리하여 나타내었다.

그 결과 다양한 주행경로에서도 기울기가 1에 매우 가깝고, 결정계수가 95 % 이상인 것으로 나타났다. 실제도로 CO₂ 배출량과 예측한 CO₂ 배출량간의 오차는 최소 0.1 %에서 최대 6.9 %까지 측정되었으며, 이를 통해 본 연구에서 추정된 차량출력을 이용한 실제도로 CO₂ 배출량을 예측하는 것은 충분히 가능하다고 판단된다.

4. 결론

본 연구에서는 소형 경유차량 1대를 통해 국립환경과학원(NIER)이 개발한 인증시험 주행경로에서 PEMS를

활용하여 실제도로 주행 시 측정된 CO₂ 배출량과 시험차량의 자가진단장치(OBD)를 통해 측정된 차량 출력 데이터를 통해 예측한 CO₂ 배출량을 비교분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 차량의 자가진단장치(OBD)에서 측정된 차량속도(km/h)와 배기유량(kg/h)은 GPS에서 측정된 차량속도(km/h)와 PEMS 장비의 유량계에서 측정된 배기유량(kg/h) 간의 결정계수가 0.98 이상으로 매우 높은 상관관계를 보였으며, 이를 통해 본 연구에서 사용한 시험차량이 제공하는 OBD 데이터는 매우 높은 신뢰성을 갖는 것으로 나타남
- 2) 실제도로 CO₂ 배출량에 영향을 주는 변수로 차량속도, 차량 가속도, 엔진 회전속도 및 차량 출력을 적용하였으며, 그 중 차량출력이 가장 높은 상관관계를 보였음. 이를 통해 차량 출력을 이용한 1차 방정식을 도출하여 실제도로 CO₂ 배출량을 예측함
- 3) 차량의 OBD 데이터 중 차량 출력을 사용하여 산출한 주행 일과 실제도로 CO₂ 배출량의 관계는 주행경로에 상관없이 결정계수가 0.95 이상이고 기울기가 1에 매우 근접했으며, 이를 통해 주행 일에 따른 실제도로 CO₂ 배출량을 예측하는 데 충분히 적용 가능함

후 기

본 연구는 한국산업기술평가관리원(20002762)의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

References

- 1) Department of Foreign Affairs and Climate Change Diplomacy, A Proposal of the National Policy Direction and Mid-term to Long-term National Strategies for Effective Climate Change Response with the New Climate Regime, Press Release, 2016.
- 2) Combined Related Ministries, Modification of the Basic Roadmap to achieve the National Greenhouse Gas Reduction Goal in 2030, Press Release, 2018.
- 3) Greenhouse Gas Inventory & Research Center of Korea, 2018 National Greenhouse Gas Inventory Report of Korea, 2018.
- 4) 2018 Vehicle Fuel Economy and CO₂ Emissions : Data and Analyses, Korea Energy Agency, 2018.
- 5) Transport and Environment, Mind the Gap - Why Official Car Fuel Economy Figures don't Match Up to Reality, 2013.
- 6) National Institute of Environment Research(NIER), Evaluations of Real Driving Emissions-Light Duty Vehicles(RDE-LDV) with PEMS, NIER-SP2016-

- 415, 2016.
- 7) Group PSA, Transport and Environment, France Nature Environment and Bureau Veritas, Real World Fuel Economy Measurements: Technical Insights from 400 Tests of Peugeot, Citroen and DS Cars, 2015.
 - 8) J. Park, J. Lee, S. Kim, J. Kim and K. Ahn, "The Characteristics of Driving Parameters and CO₂ emissions of Light-Duty Vehicles in Real-Driving Conditions at Urban Area in Seoul," Climate Change Research, Vol.4, No.4, pp.359-369, 2013.
 - 9) Commission Regulation (EU) 2017/1151 of 1 June 2017 supplementing Regulation (EC) No 715/2007, Amending Directive 2007/46/EC, Commission Regulation (EC) No 692/2008 and Commission Regulation (EU) No 1230/2012 and Repealing Commission Regulation (EC) No 692/2008, 2017.
 - 10) E. Ericsson, "Independent Driving Pattern Factors and Their Influence on Fuel-use and Exhaust Emission Factors," Transportation Research Part D, Vol.6, Issue 5, pp.325-345, 2001.