

ICEV의 차량 형식과 주행 환경 조건의 반영이 가능한 실제 도로 주행 DB 기반 Trip CO₂ 배출량 예측 계산 방법에 관한 연구

정재우* · 이범호 · 이시원 · 최승현 · 김덕진

한국자동차연구원 하이브리드동력연구센터

A Study on the Real Road Driving DB-based Trip CO₂ Emission Prediction Calculation Method that Can Reflect the Vehicle Type and Driving Environment Conditions of the ICEV

Jaewoo Chung* · Bumho Lee · Siwon Lee · Seunghyun Choi · Dukjin Kim

Advanced Powertrain R&D Center, Korea Automotive Technology Institute, 303 Pungse-ro, Pungse-myeon,
 Dongnam-gu, Cheonan-si, Chungnam 31214, Korea

(Received 30 May 2022 / Revised 15 June 2022 / Accepted 24 June 2022)

Abstract : The need to monitor CO₂ emission of vehicles on the road continues to increase recently. Therefore, it is essential to understand the CO₂ emission characteristics of vehicles and to construct a ‘real-world’ emission prediction model. This study supplemented the trip CO₂ emission prediction model developed in the previous study and presented a calculation method that can predict and calculate trip CO₂ emission according to changes in the driving environment of various vehicles without detailed powertrain specifications and performance. Using the model, the effect of changes in the driving environment of various ICEVs(gasoline passenger car, VAN, SUV, Light duty truck, BUS) on trip CO₂ emissions was also investigated. To this end, real road driving DB analysis and model verification were performed for a total of 13 vehicles, including gasoline passenger cars, diesel SUVs, and buses. In order to understand the effect of changes in engine coolant temperature and ambient temperature on trip CO₂ emission in three vehicle types, the trip CO₂ emission calculation results in 13 NIER modes were presented.

Key words : Trip(트립), Real road driving(실제도로주행), CO₂(이산화탄소), Mean value model(평균값 모델), ICEV(엔진차)

Nomenclature

A	: vehicle cross area	C_{ref}	: reference coefficient
$c_{rolling}$: Rolling resistance coefficient	d	: distance
c_d	: aero drag coefficient	E_{fuel}	: fuel energy
C_{warmup}	: experimental warm-up coefficient	E_{Idle}	: energy loss during idling
$C_{cooling,air}$: experimental coefficient for engine air cooling loss calculation	E_{aircon}	: energy loss for air-conditioning system
$C_{cooling,radi}$: experimental coefficient for radiator loss calculation	$\Delta E_{cooling}$: additional cooling loss compared with reference condition
C, a, C_{power}, β	: coefficient	E_{brake}	: energy loss during vehicle braking
		E_{PT}	: vehicle driving(traction) energy
		$E_{loss,cooling}$: engine cooling loss energy

*A part of this paper was presented at the KSAE 2021 Spring Conference

*Corresponding author, E-mail: jwchung@katech.re.kr

*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.

$E_{loss,ref}$: cooling loss energy at reference condition
E_{warmup}	: engine warm-up loss energy
$E_{cooling,air}$: cooling loss at engine surface
E_{radi}	: cooling loss at radiator
g	: gravitational acceleration
m	: vehicle mass
P_{output}	: output power
P_{input}	: input power
P_{loss}	: loss power
$P_{max,eff}$: power at maximum efficiency
PKE	: positive kinematic energy
RCS	: relative cubic speed
RRG	: relative road gradient
ΔT_{radi}	: coolant temperature difference between radiator inlet and outlet
ρ_{air}	: air density
V_d	: displacement volume
$V_{d,ref}$: displacement volume of a reference engine
η_{max}	: maximum efficiency

1. 서론

지구온난화에 대응하기 위해 최근 세계 각국은 탄소 중립 선언과 함께 도로수송부문의 탈탄소화가 추진 중에 있다.

대표적으로는 FCEV, BEV 등 무탄소 배출 차량에 대한 개발과 보급과 함께 유럽과 일본 등은 향후 내연기관 장착 차의 탄소중립방안 제시를 위한, E-fuel 활용에 대한 기술적 접근이 이루어지고 있다.¹⁾

이러한 기술동향의 배경에는 앞으로도 한동안 내연기관 차량에 대한 CO₂ 배출 관리 등은 실질적인 탄소배출 관리의 핵심에 있음을 의미한다.

또한 최근의 자동차 배출규제는 실제 도로 상에서의 CO₂ 배출 모니터링 규제 검토가 꾸준히 진행되고 있어,¹⁾ 적극적인 탄소중립과 배출물 관리를 위한 내연기관 차량의 실제 도로 상 CO₂ 배출 특성에 대한 이해와 효과적인 예측기술 개발은 중요하다.

그간, 실제로 도로 상에서의 CO₂ 배출량 모델은 사용 목적에 따라 다양한 방법으로 구성되어 왔다.

많은 상용시뮬레이션 모델에서는 차량 동력학 모델과 정교한 엔진모델 그리고 동력전달계 모델로 구성된 차량 모델을 이용하여 실시간 배출 성능을 예측하며, 차량 제어 및 성능 예측과 제어 개발에 활용되고 있다.

또한, 실험 기반 평균값 차량 모델을 이용한 실시간 배출 성능 예측 모델이 있으며, 엔진 및 각종 부품의 일부 성능 데이터의 생략이 가능한 장점을 가진다.^{9,10)} 그러나 전자는 정교한 입력데이터의 요구, 후자는 효율변화를 고려하지 못하며, 따라서, 다양한 차종에 대한 실도로 주행 환경 반영이 어려운 문제점이 존재한다.

차량 개발 및 작동 거동 분석이외에, CO₂ 배출량 관리 또는 간단히 배출량을 산정하기 위해 많은 경우에 배출 계수를 사용한다.³⁾

배출관리에 사용되는 배출계수는 주로 평균속도에 대한 배기배출량으로 정의되며, 차대동력계상의 주행모드 실험을 통하여 얻어진다.

그러나, Trip CO₂ 배출량에 영향을 미치는 주위 온도 (에어컨 가동), 냉각수 온도 등과 같은 주행 환경에 대한 반영에 불가능하여, 실제로도 주행과의 편차가 발생됨이 제시된 바 있다.⁴⁾

이러한 문제점을 바탕으로 이전 연구에서 디젤 SUV의 실제주행 데이터 분석을 바탕으로, 냉각수 온도, 엔진 및 차량 효율 변화와 같은 실제 도로 주행 중의 작동 조건을 반영하여 Trip 당 CO₂ 배출 및 NOx 배출량 모델이 제시된 바 있다.²⁾

개발 모델은 자세한 파워트레인 제원 및 성능 맵을 필요로 하지 않으며, 간단한 구성, 대량 주행 DB의 용이한 활용과 확대 적용이 가능하도록 구성되었다.

이에 본 연구에서는 이전 연구²⁾에서 개발된 Trip CO₂ 배출량 예측모델을 다양한 차량에 적용이 가능하도록 보완하여 다중 차량의 대규모 주행 DB에 적용이 용이하면서도, 실제로도 환경에서의 Trip CO₂ 배출량 예측이 가능한 계산방법¹¹⁾을 제공하고자 하였다.

이를 위하여, 가솔린 승용차, 디젤 SUV 및 버스 등 총 13대에 대한 실제주행 DB 분석과 모델 검증이 수행되었으며, 가솔린 승용차, 디젤 경승합 및 승용 그리고 버스 등 3가지 차종군의 냉각수 온도, 주변 온도 변화 시 13가지 NIER 모드에서의 Trip CO₂ 배출량을 계산하여 그 효과를 파악하였다.

2. 실험 방법 및 내용

2.1 대상 차종 및 주요 제원

총 13개 차종(디젤 SUV 3종, RV1종, Van 1종, 디젤 경형 트럭 1종, 버스 2종, 가솔린 승용 5종)에 대한 실제도로환경의 CO₂ 배출 성능 예측 프로그램의 결과적합성 및 배출 특성을 검토하였다. Table 1에 모델 검증에 사용된 차량의 주요제원을 제시하였다.

Table 1 Specifications of test vehicles

Type		Model year	Transmission	Weight (kg)	Passenger (payload)	Engine displacement volume (cc)	Engine power (kW)
Diesel LDV	RV	2018	Auto 6	2,865	11	2199 (TC)*	149
	VAN	2017	Auto 5	3,075	12	2479 (TC)	128
	SUV1	2015	Auto 6	2,085	5	1995 (TC)	135
	SUV2	2019	Auto 8	2,120	5	1995 (TC)	137
	SUV3	2016	Auto 6	1,965	5	1995 (TC)	137
	LDT (light duty truck)	2018	Manual 6	2,975	3 (1,000 kg)	2497 (TC)	98
HDV	BUS1	2015	Auto 5	5,880	22	3933 (TC)	125
	BUS3	2015	Manual 6	15,460	47	12742 (TC)	323
Gasoline LDV	GPC1	2017	Manual 4	1,235	5	998	56
	GPC2	2018	Auto 6	1,615	5	1591	97
	GPC3	2018	Auto 7	1,705	5	1591 (TC gdi)	150
	GPC4	2015	Auto 6	1,785	5	1999	123
	GPC5	2014	Auto 6	1,915	5	2999	199

* TC : Turbocharger

2.2 데이터 취득 방법 및 주행 환경

시험 차량은 일반 시민 또는 연구원들이 자유롭게 주행하였으며, 실제의 운전 패턴이 반영될 수 있도록 하였다. 차량의 주행 분석용 데이터 취득을 위해 PEMS 대비 저비용으로 유사한 기능을 수행할 수 있는 차량용 데이터 모니터링 장치를 구성하였다.

구성된 차량용 데이터 모니터링 장치는 차속, 연료소

모량, 엔진속도, 냉각수온도, 대기온도 등의 OBD 신호, GPS 신호 등을 1 Hz 주기로 측정하며, 장치 내 저장과 동시에 데이터 서버에 원격 송신 저장되었다.

취득된 실시간 데이터는 1개 Trip 단위의 총량 또는 평균값으로 재처리되며, 모델 검증에 위한 CO₂ 배출량 산정은 OBD로 부터 취득된 연료소모량에 연료별 CO₂ 배출량 환산계수를 곱하여 계산되었다.

Table 2 Test vehicle driving conditions

Type	No. of trip	Distance (km)	Trip mean speed (km/h)		Ambient temp.(°C) (from OBD)				Trip mean coolant temperature (°C)				
			Mean	Median	Min.	Max.	Mean	Median	Min	Max	Mean	Median	
Diesel LDV	RV	724	6,546	25.35	26.03	3	45	21	21	26	90	76	77
	VAN	442	2,669	17.78	16.37	1	37	18	18	21	93	70	74
	SUV1	899	14,244	30.70	24.83	-3	44	16	15	23	91	72	76
	SUV2	518	19,474	44.64	34.04	-8	37	12	12	14	88	66	77
	SUV3	727	10,777	27.52	20.79	2	50	21	21	25	91	74	79
	LDT	466	5,064	32.34	30.95	-4	32	16	16	12	92	73	80
HDV	BUS1	651	12,820	18.11	18.16	-4	24	10	10	14	79	66	69
	BUS3	271	14,751	34.58	37.45	-8	29	11	11	15	86	69	70
Gasoline LDV	GPC1	903	24,564	25.27	18.53	-3	58	24	24	29	91	80	85
	GPC2	760	8,976	22.31	17.93	-1	59	25	25	27	91	78	82
	GPC3	415	16,088	40.68	36.52	-2	66	23	23	25	97	76	81
	GPC4	252	3,360	27.53	18.93	-3	52	20	20	37	92	77	81
	GPC5	459	13,316	35.00	24.84	-3	59	21	20	19	96	78	82
Representative value	Total		Average										
	7,487	152,649	29	25	-3	46	18	18	22	91	73	78	

Table 3 NIER mode for vehicle CO₂ emission calculation

Driving model	Trip distance (km)	Trip mean speed (km/h)	Trip mean drive speed (km/h)	Trip RCS (m ² /s ²)	Trip PKE (m/s ²)
NIER02	1.95	8.08	15.04	46.20	0.55
NIER03	2.63	10.97	18.01	72.30	0.56
NIER04	3.34	13.61	20.54	87.90	0.49
NIER05	4.14	17.57	25.12	115.81	0.53
NIER06	4.55	19.78	27.25	108.69	0.51
NIER07	5.99	25.02	32.34	155.33	0.52
NIER08	6.96	27.62	33.89	134.76	0.48
NIER09	8.77	34.24	39.32	183.39	0.41
NIER10	11.81	46.47	49.38	244.50	0.35
NIER11	13.62	53.72	53.78	254.84	0.27
NIER12	14.95	64.06	64.14	346.65	0.28
NIER13	18.24	77.36	77.45	500.07	0.24
NIER14	23.83	93.57	93.67	714.68	0.15

Key on에서 Key off를 1개 Krip으로 정의하며, 모든 계산은 원칙적으로 1개 Krip을 기준으로 수행되어진다.

대기온도와 냉각수 온도와 같이, 엔진 효율에 영향을 미치는 인자 등의 대상 차량 별 대표 주행 환경은 Table 2에 정리하여 제시하였다. 단, 이때 대기온도는 차량의 OBD 신호를 기준으로 하며, 차량의 온도 센서 장착위치에 따라, 엔진룸 온도 등으로 제시될 수 있으며, 실제 대기온도와 편차가 발생할 수 있다.

분석에 사용된 13개 차종의 총 주행 Krip수는 7,400개 이상, 총 주행거리는 15만km 이상이며, 평균 주행 속도는 29 km/h 였다.

13개 차량 주행 중에 OBD로 부터 취득된 평균 대기 온도 범위는 -3 °C ~ 46 °C 그리고 평균값은 18 °C 였다.

평균 Trip 평균 엔진 냉각수 온도범위는 22 °C ~ 91 °C이며, 평균값은 78 °C 였다.

취득된 데이터는 차량모델의 검증에 사용되었으며, 구성된 차량모델을 이용하여 NIER 모드별 평균속도에 대한 CO₂ 배출량을 산정하여, 속도별 기준값으로 제시하였다.

Table 3에는 본 연구에서 계산에 활용된 NIER 모드의 특성값²⁾을 제시하였으며, 식 (2)의 구동에너지 계산의 기본 데이터로 활용되었다.

참고로 Table 3의 Trip평균주행속도(Trip mean drive speed)는 아이들 등의 정지시간을 제외한 실제 주행시간을 사용하여 계산하며, Trip평균주행속도와 Trip평균속도의 차이는 정지기간의 차이에 기인한다.

Table 4 Test vehicle driving conditions for CO₂ emission calculation

Conditions	
Standard	Ambient temperature 20 °C Initial coolant temperature 80 °C
Cold start	Ambient temperature 20 °C Initial coolant temperature 20 °C
A/C On	Ambient temperature 35 °C Initial coolant temperature 35 °C
Heater On	Ambient temperature -5 °C Initial coolant temperature -5 °C

주행 조건에 대한 CO₂ 배출 영향도 계산 조건은 Table 2에 제시된 실제 도로 주행 환경을 고려하여 Table 4의 4 가지 조건으로 설정하였다.

3. 모델 구성 및 개선

기존 모델의 실험 계수들은 2리터급 디젤 SUV를 대상으로 구성되었다.²⁾ 이에 모델의 범용성 확대를 위해 주요 실험 계수는 엔진크기에 따른 스케일링 방법으로 확장되었으며, 아래에 모델 보완에 대하여 간략히 정리하였다.

3.1 기본 모델의 구성과 특징

본 연구에서는 제조사의 제원 공유 없이도 실제 도로 주행 중인 내연기관차의 Trip 단위 CO₂ 배출량을 추정하는 범용성 있는 모델 개발과 검증을 목표로 한다.

범용성과 편의성 확보를 위해 입력 데이터는 최소화되며, 이미 알려져 있는 동력시스템의 작동 특성, 계수 및 정의식을 적극적으로 활용하도록 구성되었다.

Trip 단위의 배출 성능을 목표로 하며, 이는 기존 실시간 성능 예측 방법과 개념 및 관련 정의식 모두에서 차별화를 가지고 구성된다.

단, 이러한 계산은 활용 가능한 각종 제원의 제한과 설정된 가정에 의한 오차가 존재하며, 기존의 정밀한 입력 데이터를 활용하는 실시간 계산 방식에 비해 예측 정확성은 낮은 한계를 가진다.

Fig. 1에 제시된 CO₂ 계산 과정은 식 (1)에 제시된 바와 같은 각 항의 소요 연료량을 산출하는 과정으로 구성되었다.

$$E_{fuel} = E_{fuel,traction} + \Delta E_{cooling} + E_{idle} + E_{aircon} + E_{brake} \quad (1)$$

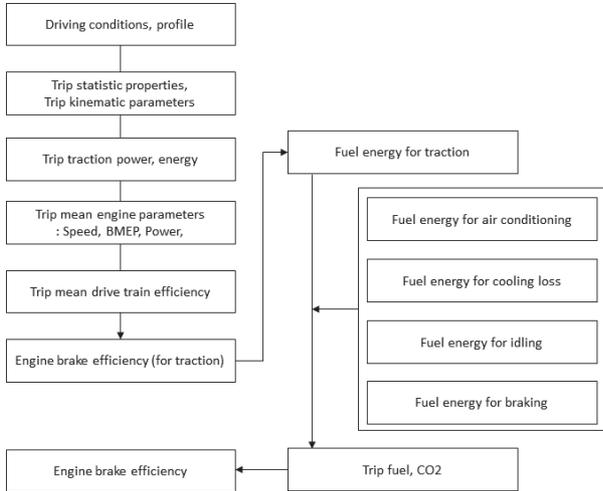


Fig. 1 Trip CO₂ calculation process(EURO 6 Diesel SUV) - Base model²⁾

3.2 범용성 확대를 위한 기본 모델의 변경

본 모델의 범용성 확대를 위해 몇몇 핵심 계산과정의 보완을 수행하였으며, 주요 내용을 아래에 제시하였다.

3.2.1 Trip 당 구동에너지 산정 방식의 단순화

기존의 경우, 차량의 Trip 구동출력은 속도 프로파일로 계산되는 RCS(Relative Cubic Speed), PKE(Positive Kinematic Energy)^{2,5)}와 거리 당 고도차(RGS, relative road gradient)²⁾로 계산된다. 이러한 계산에서는 속도가 0보다 큰 경우에는 차량의 구동 출력이 존재하는 결과를 제시한다. 그러나, 실제 속도가 0보다 크더라도 에너지 소모가 요구되는 차량의 요구구동력이 0보다 작은 조건(관성주행 등)이 존재하며, 따라서, 식 (2)에 제시된 단위거리당의 구동에너지 계산 결과는 연료에너지를 소모가 필요한 구동 출력이라고 할 수 없다.⁶⁻⁸⁾

따라서 베이스 모델에서는 실시간 모델 분석을 통하여 차량구동력이 0 이상인 경우에 대하여 모델을 수행하였으나, 대용량 및 다중 차량의 모델 적용 시에는 모든 속도 프로파일을 분석하는 것은 한계가 존재하므로, 이에 계수(C_{power})를 곱하여 보정하는 방식이 적용되었다.²⁾

$$\frac{E_{PT_{pos}}}{d_{pos}} = [c_{rolling}mg + \frac{1}{2}\rho_{air}c_dA \cdot [RCS] + \frac{1}{2}m \cdot [PKE] + g \cdot m \cdot [RRG]] \times C_{power} \quad (2)$$

아래에는 2리터급 SUV의 식 (1)로 계산된 구동 에너지와 실시간 차량 구동 에너지 계산으로 얻어진 구동 출력을 비교한 결과이다.

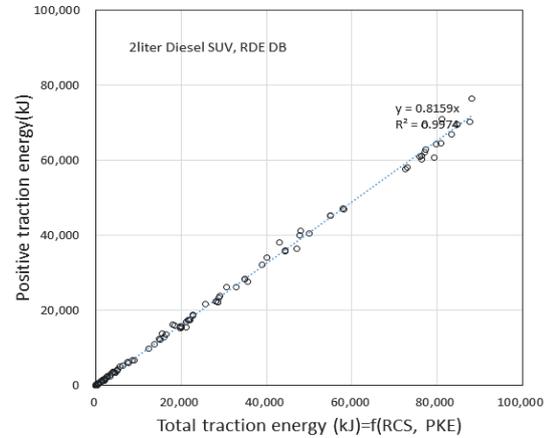


Fig. 2 Comparison between real-time drive energy calculation method and drive energy calculation method using equation (2)

두 개 계산 결과의 비례계수(C_{power})는 대략 0.7 ~ 0.8 범위며, 승용차, SUV 그리고 경상용 차량은 0.8 이상, 대형 트럭 및 버스 등은 0.7 ~ 0.75의 값을 사용한다.

3.2.2 엔진 및 동력전달 효율 산정을 위한 계수 추정 방법의 보완

엔진 효율과 동력 전달 효율은 식 (3)의 선형 출력 관계를 기반으로 식 (4)의 효율관계식으로 정리되며, 이때 계수 a 의 산정은 식 (5)를 사용한다.

$$P_{output} = a \times P_{input} - P_{loss} \quad (3)$$

$$\eta = \frac{P_{output}}{P_{input}} = a - \frac{P_{loss}}{P_{input}} \quad (4)$$

$$a = \eta_{max} + \frac{P_{loss}}{P_{max,eff}} \quad (5)$$

식 (4)의 η_{max} 와 $P_{max,eff}$ 는 최대 효율과 최대 효율이 발생하는 동력조건을 의미하며, 이 값은 실험값 또는 일반적인 경험값으로 가정이 가능하다.

엔진의 손실 출력은 아이들 손실량을 의미하며, 각 차종의 평균 차속과 엔진 속도관계식의 상수항을 아이들 회전속도로 설정하며, 아이들 NMEP를 통하여 설정한다. 이때 가솔린 차량은 대략 NMEP 1.2 ~ 1.5 bar, 디젤차량은 NMEP 2.5 bar수준의 값을 사용한다.

동력 전달 손실 출력은 차량 출발시의 소요 동력과 관련되며, 초기 출발 가속도를 가정하여 차량 동력함수로 설정하였다. 이때, 소형차량의 경우 출발 가속도는 0.8 ~ 1.2 m/s² 수준, 대형차량의 경우는 0.1 ~ 0.25 m/s²의

값을 사용하였다.

동력전달 효율이 최고효율에 도달되는 출력점은 엔진 효율 최고 도달 출력(SUV 기준 BMEP 6 bar, 엔진 회전속도 1,500 rpm, 대형 차량의 경우 별도값 사용)의 0.75 배 이상 수준으로 임의 설정하였다.

3.2.3 냉각손실 관련 계수의 설정

냉각손실 에너지는 전형적인 엔진 성능 시험 조건(냉각수온도 80 °C, 대기온도 25 °C)에서의 열손실과 실제 도로 주행 환경에서의 열손실과의 차이로 가정하였다.

$$\Delta E_{cooling} = E_{loss,cooling} - E_{loss,ref} \quad (6)$$

엔진 냉각손실은 엔진 Warm up, 대기 열손실과 라디에이터 냉각수 냉각 손실의 합으로 정의하였으며, 자세한 계산식은 정재우 등²⁾에 제시되었다.

$$E_{loss,cooling} = E_{warmup} + E_{cooling,air} + E_{radi} \quad (7)$$

엔진의 워업 동안 열손실과 주행 중 열손실을 산정하기 위해 내연기관 차량의 냉각수 순환 조건은 80 °C로 고정하였다.

정재우 등²⁾에 제시된 각각의 손실 계산에 필요한 3가지 계수는 식 (8)과 같이 베이스 모델의 기준 배기량(2리터)에 대한 대상 차량의 배기량 비율로 제시되었으며, 가솔린, 디젤, 소형, 대형에 상관없이 동일 기준을 적용하였다.

$$C = C_{ref} \times \left(\frac{V_d}{V_{d,ref}} \right) \quad (8)$$

4. 계산 모델 검증 및 분석

4.1 모델 성능 검증

모델 결과의 정확성은 측정 및 계산결과 사이의 선형 계수 β 를 이용하여 확인하며, 모델 결과의 정밀도 또는 분산도는 R^2 (Coefficient of determination)값을 이용하여 검토하였다.

$$Test\ result = \beta \times Calculation\ result \quad (9)$$

13개 차량의 실제 도로 주행 조건에서의 모델 계산결과와 측정 결과의 정확성과 정밀성은 Table 6에 제시하였으며, Fig. 3에는 차량 형식별 Trip CO₂ 계산 결과 예제를 제시하였다. 제시된 결과를 바탕으로 모든 차량의 Trip CO₂, 연료소모량, 아이들 연료량, 평균 냉각수 온도가 비교적 잘 예측 계산이 수행됨을 확인하였다.

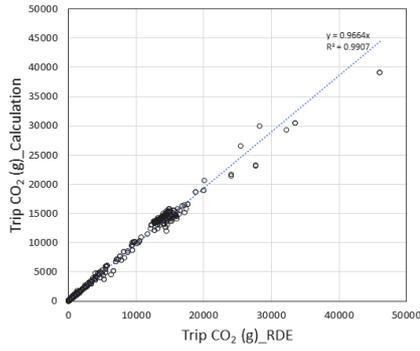
Fig. 4에는 Trip평균속도(Trip mean vehicle speed)에 대한 Unit CO₂량의 계산 결과와 측정 결과를 비교 제시하였다.

Table 5 Reference coefficients(C_{ref}) and ΔT_{radi} for cooling loss calculation

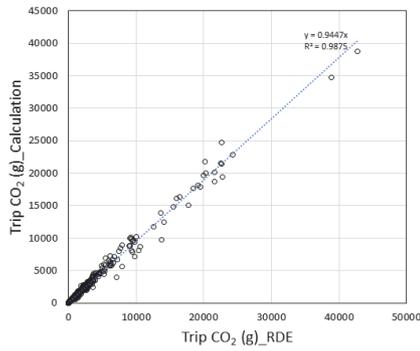
Coefficients	Unit	Reference value (2liter engine)
C_{warmup}	kJ/K	71
$C_{cooling,air}$	kJ/(K · s)	0.134
$C_{cooling,radi}$	kJ/(K · s)	0.7
ΔT_{radi}	K	5 (fixed value in the model)

Table 6 Verification of the accuracy of the real road trip CO₂ calculation model of 13 vehicles(eq.9)

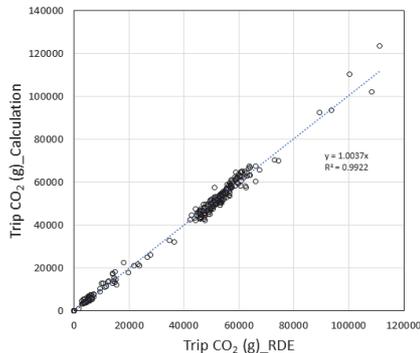
Vehicles		Trip CO ₂		Trip fuel economy		Trip idle fuel amount		Trip mean coolant temp	
		β	R ²	β	R ²	β	R ²	β	R ²
Diesel LDV	RV	1.01	0.93	0.93	0.65	0.90	0.91	0.98	0.87
	VAN	1.04	0.96	0.91	0.79	0.90	0.90	0.94	0.91
	SUV1	0.99	0.99	0.91	0.87	1.00	0.86	0.97	0.89
	SUV2	0.97	0.99	0.98	0.88	0.84	0.73	0.96	0.96
	SUV3	0.96	0.99	0.99	0.87	1.10	0.93	0.97	0.82
	LDT	0.94	0.99	0.95	0.60	1.30	0.93	0.92	0.87
HDV	BUS1	0.96	0.98	1.00	0.87	0.93	0.88	1.10	0.85
	BUS3	1.00	0.99	0.97	0.92	0.91	0.95	0.95	0.64
Gasoline LDV	GPC1	0.98	0.98	0.94	0.89	0.84	0.94	0.93	0.76
	GPC2	1.03	0.99	0.92	0.90	0.64	0.96	0.95	0.92
	GPC3	1.03	0.99	0.95	0.91	0.69	0.92	0.95	0.94
	GPC4	0.99	0.99	0.99	0.94	0.94	0.96	0.93	0.75
	GPC5	0.98	0.99	0.99	0.95	1.30	0.93	0.88	0.84
Average		0.99	0.98	0.96	0.85	0.95	0.91	0.96	0.85



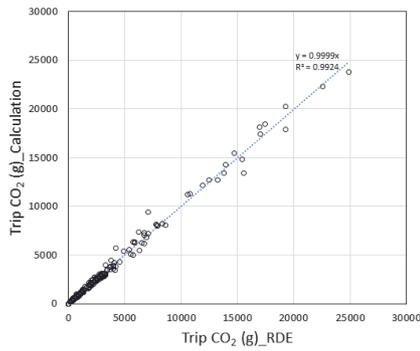
(a) SUV2



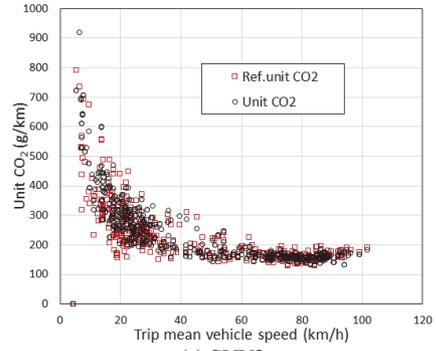
(b) LDT



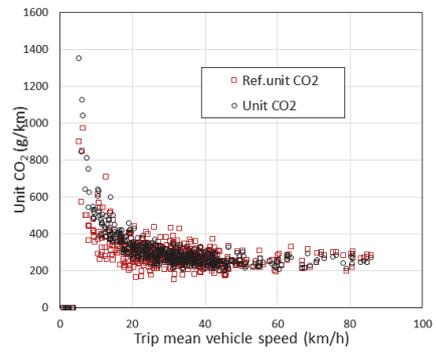
(c) BUS3



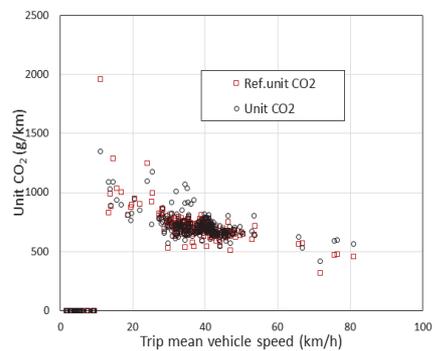
(d) GPC4



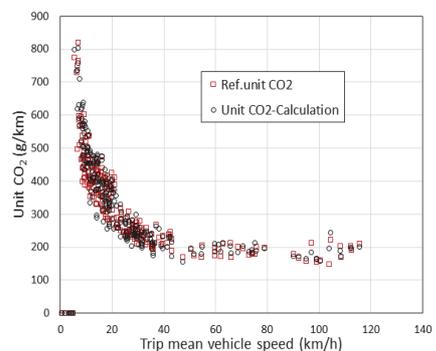
(a) SUV2



(b) LDT



(c) BUS3



(d) GPC4

Fig. 3 Comparison of trip CO₂ calculation results and measurement results in real road driving environment conditions(random driving) by vehicle type

Fig. 4 Comparison of trip CO₂ calculation results and measurement results according to trip mean vehicle speed in real road driving environment conditions (random driving) by vehicle type

모든 경우에 있어서, Trip 평균속도가 40 km/h 보다 적을수록 1 km 주행 당의 CO₂ 배출량(g)을 의미하는 Unit CO₂는 급격히 증가되는 특성을 제시하고 있다.

4.2 Nier 주행 모드에서의 주행조건(주변온도 및 냉각수 온도)이 CO₂ 배출에 미치는 영향 분석

많은 경우에 자동차의 배출 계수는 차량 평균 속도를 기준으로 제시하며, NIER 모드는 다양한 차속조건에 차량 배출 계수 측정을 위해 사용된다.

다양한 차종에 대한 환경조건(냉각수 온도 및 주변온도)에 대한 영향을 파악하기 위해 앞서, 13개 차량을 크게 가솔린 LDV, 디젤 LDV 그리고 디젤 HDV의 3가지 차종으로 구분하였다.

또한 구분된 3가지 차종의 기준 환경 조건에서의 Trip 평균 속도에 대한 Unit CO₂ 배출량을 기준데이터로 활용하고자 계산을 수행하였으며, 각 차종별 계산 결과는 Fig. 5에 제시하였다.

이때 주행 환경조건은 기준조건(냉각수 및 대기온도 각각 80 °C, 20 °C)이며, Fig. 6의 3가지 Trip CO₂는 각 차량 형식에 포함된 차량 결과의 산술평균값을 제시하였다.

이러한 결과는 운행차 관리 또는 배출량 산정을 위한 배출계수와 동일한 결과 제공방식이며 동일하게 활용이 가능하다.

Fig. 5에 제시된 Trip 평균속도에 대한 Unit CO₂는 저속에서 매우 높게 나타나고 있으며, 평균속도가 증가하여, 40 km/h 이상이 되는 경우 Unit CO₂ 배출은 최소화되는 경향성을 제시하고 있다. 이러한 현상은 저속에서의 낮은 엔진 출력과 이에 따른 낮은 엔진효율(상대적으로 높은 마찰 손실) 그리고 동일한 이유의 낮은 동력전달효율과 상대적으로 높은 열손실, 제동손실 등에 기인한다.²⁾

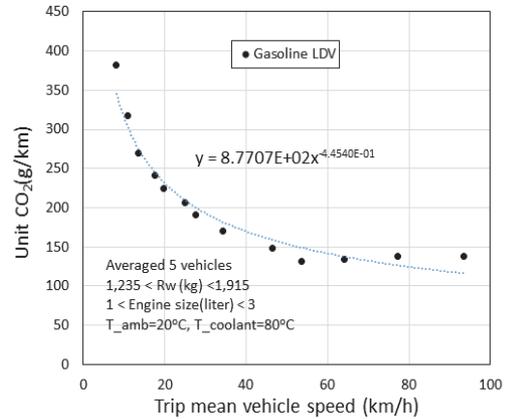
Table 2에 제시된 실제주행 Trip 평균속도는 평균적으로 29 km/h이며, 실제도로에서의 평균차속의 저감은 CO₂ 배출량 측면에서 좋지 않은 영향을 미치고 있음을 알 수 있다.

Fig. 6에는 기준 온도 조건(Standard)의 Unit CO₂에 대한 저온시동(Cold start), 히터가동(Heater on), 에어컨 가동(Aircon on) 조건에 대한 Unit CO₂의 비율(Unit CO₂ ratio)을 차량 그룹별 산술평균값을 제시하였다.

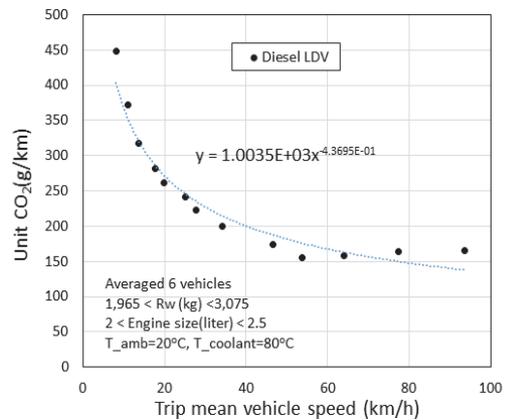
Fig. 6의 모든 경우에서 Trip 평균 차속이 낮을수록 Unit CO₂ ratio는 높아지며, 저온 시동, 히터 또는 에어컨 가동에 의한 추가적인 CO₂ 배출량은 급격히 증가되는 특성을 제시하였다. 특히 대부분의 경우에서 Trip 평균 차속이 40 km/h 보다 낮은 경우에 그 효과는 더욱 크게 나타났다.

Fig. 6(c)에 제시된 대형 차량의 결과는 저온시동, 에어컨 가동 그리고 히터작동의 영향이 소량 차량 상대적으로 적게 나타남을 볼 수 있다.

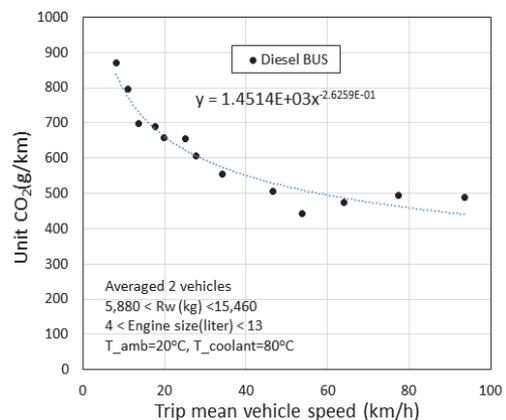
컨 가동 그리고 히터작동의 영향이 소량 차량 상대적으로 적게 나타남을 볼 수 있다.



(a) Gasoline LDV(5 passenger car average)



(b) Diesel LDV(RV, VAN, SUV, LDT including 6 vehicle average)



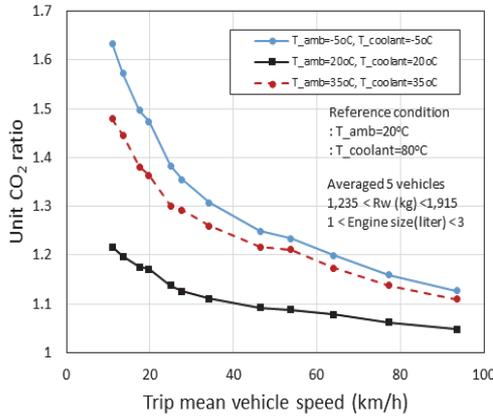
(c) Diesel HDV(2 Buses average)

Fig. 5 Unit CO₂ emission for vehicle type(NIER mode, calculation results)

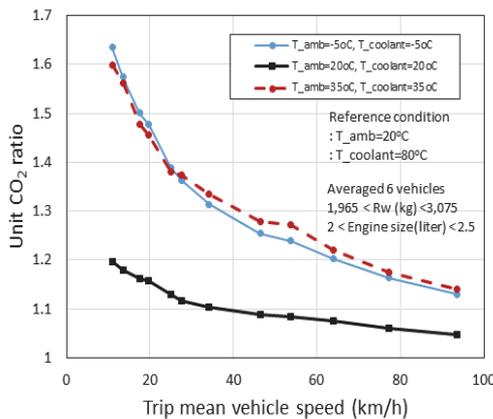
구체적으로 Fig. 6(a)를 기준으로 소형 차량의 경우 Table 2에 제시된 실제 주행 조건에 해당되는 30 km/h를 기준으로 저온 시동 시(대기 및 냉각수 온도 20 °C)와 에어컨 작동 시(대기온도 및 냉각수 온도 35 °C) 각각 10 %, 30 % 정도의 추가적인 CO₂ 배출이 예상되었다.

또한, 히터가동(영하 5 °C) 운전의 30 km/h 조건에서는 최대 30 % 이상의 추가적인 CO₂ 배출 증가가 예상되었다.

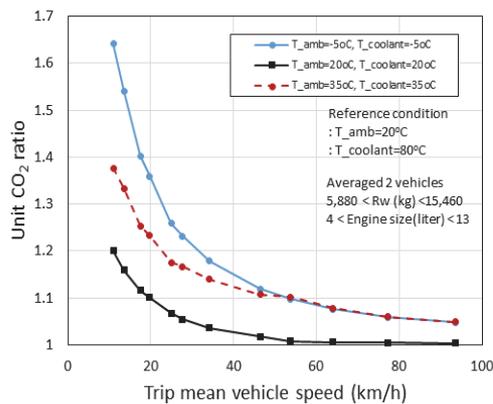
이의 연구를 통하여, 특히 실제 도로 주행 조건인 저속 구간 (Trip 평균속도 약 30 km/h)에서의 에너지 손실 관리가 매우 중요함을 확인할 수 있었으며, 본 연구에서 구상된 계산방식을 사용하여, 주행환경을 반영하면서도 대역량 주행 DB의 처리와 CO₂ 배출량 예측이 가능함을 확인하였다.



(a) Gasoline LDV(passenger car)



(b) Diesel LDV(RV, VAN, SUV, LDT)



(c) Diesel HDV(BUS)

Fig. 6 Unit CO₂ emission ratio for vehicle type(NIER mode, calculation results)

5. 결론

본 연구에서는 내연기관 차량의 실제 도로 주행 중 Trip CO₂ 배출 성능 예측 모델의 범용성 확대를 위한 보완 및 13개 차량에 대한 적용을 통하여, 정확성 검토가 수행되었다.

또한 구성된 모델과 NIER 주행 모드를 활용하여, 에어컨 가동조건, 냉간시동, 히터 가동 조건이 CO₂ 배출량에 미치는 영향을 검토하여 제시하였으며, 아래에 본 논문의 결론을 간단히 정리하였다.

- 1) 본 연구의 실제도로 차량 주행 DB를 이용한 Trip CO₂ 배출량 산정 모델은 차량 제조사로 부터의 별도의 세부 성능 맵 제공이 없이도 계산이 가능한 구조를 가지며, 본 연구에서는 모델에 사용되는 각종 계수값의 배기량에 따른 계수 산정 방법을 제시함으로써, 모델 활용성을 개선하였다.
- 2) 13종의 차량에 대한 실제도로 주행 조건에서의 Trip CO₂ 배출 예측은 비교적 정확한 결과를 제시하고 있으며(실험 및 계산결과의 비례 계수 0.99, R² 0.98), 아이들 연료량, 냉각손실과 관련된 평균 냉각수 온도 등의 계산 결과에 대한 신뢰성을 확인하였다.
- 3) NIER 주행모드에서의 Trip CO₂ 배출량 모델 적용 계산을 통하여, 가솔린 LDV, 디젤 LDV, 디젤 HDV(버스)의 Trip 평균 속도에 대한 Unit CO₂ 배출량을 계산하였으며, 각 차량의 CO₂ 배출 계수를 산출하였다.
- 4) Trip 평균 차속이 낮은 경우, 저온 시동, 히터 또는 에어컨 가동은 추가적인 CO₂ 배출 증가 특성을 제시하였다. 특히 Trip 평균 차속이 40 km/h 보다 낮은 경우에 그 효과는 더욱 크게 나타났다.
- 5) 소형 차량의 30 km/h 기준(일반적인 실제도로 주행 Trip 평균 속도), 저온 시동(대기 및 냉각수 온도 20 °C) 과 에어컨 작동(대기온도 및 냉각수 온도 35 °C)은 각각 10 %, 30 % 그리고, 히터가동(영하 5 °C) 운전 또한 최대 30 % 이상의 CO₂ 배출 증가가 예상되었다.

후 기

이 연구는 2018년도 산업통상자원부 및 한국산업기술 평가관리원(KEIT) 연구비 지원에 의한 연구임(과제명 : 실제도로 CO₂ 및 미세먼지 개선을 위한 RDE DB 확보 및 활용 원천기술 개발, 과제번호 : 20002762).

References

- 1) A. Joshi, "Review of Vehicle Engine Efficiency and Emissions," SAE 2021-01-0575, 2021.
- 2) J. W. Chung, B. H. Lee, S. W. Lee, S. H. Choi and D. J. Kim, "Development of Prediction Model for CO₂ and NO_x Emissions for Diesel Engine Vehicles by Considering Real Road Driving Environment," Int. J. Automotive Technology, Vol.23, No.2, pp.541-554, 2022.
- 3) B. R. Bae and G. S. Kim, "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, 2014.
- 4) J. K. Lee, G. J. Yong, C. R. Kim and S. B. Eom, "The Study on Characteristic of Vehicle Greenhouse Gas Emission Applying Real Road Driving," Journal of Auto Vehicle Safety Association, Vol.10, No.3, pp.45-54, 2018.
- 5) T. J. Barlow, S. Latham, I. S. McCrae and P. G. Boulter, A Reference Book of Driving Cycles for Use in the Measurement of Road Vehicle Emissions, TRL, Published Project Report PPR352, 2009.
- 6) G. Sovran and D. Blaser, "A Contribution to Understanding Automotive Fuel Economy and Its Limits," SAE 2003-01-2070, 2003.
- 7) G. Sovran and D. Blaser, "Quantifying the Potential Impacts of Regenerative Braking on a Vehicle's tractive-Fuel Consumption for the U.S., European, and Japanese Driving Schedules," SAE 2006-01-0664, 2006.
- 8) G. Sovran, "Revisiting the Formula for Tractive and Braking on the EPA Driving Schedules," SAE 2013-01-0766, 2013.
- 9) T. J. LaClair, "Application of a tractive Energy Analysis to Quantify the Benefits of Advanced Efficiency Technologies for Medium- and Heavy-Duty Trucks Using Characteristic Drive Cycle Data," SAE 2012-01-0361, 2012.
- 10) B. H. Cho, D. Kees, N. Shah and V. d'Urbal, "A Methodology of Real-world Fuel Consumption Estimation: Part 1. Drive Cycles," SAE 2018-01-0644, 2018.
- 11) J. W. Chung, B. H. Lee, S. W. Lee, S. H. Choi and D. J. Kim, "Development of a Trip-based CO₂ Emission Calculation Model According to the Vehicle's Driving Characteristics," KSAE Spring Conference Proceedings, p.44, 2021.