

# HES를 활용한 대형자동차의 CO<sub>2</sub> 배출량에 영향을 미치는 차량 변수의 민감도 분석

서 지구<sup>1)</sup> · 김 자 룡<sup>2)</sup> · 김 남 용<sup>2)</sup> · 김 종 완<sup>2)</sup> · 박 성 욱<sup>\*1)</sup>

한양대학교 기계공학부<sup>1)</sup> · 한국교통안전공단 자동차안전연구원 친환경연구처<sup>2)</sup>

## Sensitivity Analysis of Vehicle Parameters Affecting CO<sub>2</sub> Emission of Heavy-duty Vehicles Using HES Program

Jigu Seo<sup>1)</sup> · Cha-ryung Kim<sup>2)</sup> · Namyong Kim<sup>2)</sup> · Jongwan Kim<sup>2)</sup> · Sungwook Park<sup>\*1)</sup>

<sup>1)</sup>Department of Mechanical Engineering, Hanyang University, Seoul 04763, Korea

<sup>2)</sup>Environment-friendly Research Office, Korea Automobile Testing & Research Institute, Korea Transportation Safety Authority,

200 Samjon-ro, Songsan-myeon, Hwaseong-si, Gyeonggi 18247, Korea

(Received 4 April 2022 / Revised 22 April 2022 / Accepted 26 April 2022)

**Abstract** : In Korea, the Heavy-duty vehicle Emission Simulator(HES) was developed to estimate CO<sub>2</sub> emissions of heavy-duty vehicles(HDVs). The HES program is based on vehicle dynamics and uses vehicle parameters to calculate CO<sub>2</sub> emissions. The major input variables of HES include the fuel consumption map, aerodynamic drag coefficient, rolling resistance coefficient, vehicle weight, and transmission loss maps. In this study, we analyzed the effects of these variables on the CO<sub>2</sub> emission of HDVs. The CO<sub>2</sub> emissions of four HDVs were calculated when the input variables were adjusted within ±20 %. The fuel consumption map had the greatest impact on CO<sub>2</sub> emissions, while vehicle weight showed the second greatest impact. We also analyzed the CO<sub>2</sub> emission changes depending on the vehicle type.

**Key words** : Heavy-duty vehicle(대형차), CO<sub>2</sub> emission regulation(CO<sub>2</sub> 배출량 규제), Heavy-duty vehicle emission simulator(HES 프로그램), Vehicle dynamics(차량 동역학), Sensitivity analysis(민감도 분석)

### 1. 서 론

수송부문은 주요 온실가스 배출원 중 하나로, 국가 온실가스 배출량의 15%가 발생하며,<sup>1)</sup> 이중 대부분은 자동차 배출가스에서 발생하고 있다. 전 세계적으로 자동차에서 발생하는 온실가스를 저감하기 위해 다양한 정책들이 시행되고 있다. 대표적으로 소형차를 대상으로 한 온실가스 규제는 우리나라를 포함하여 유럽연합, 미국, 캐나다, 유럽연합, 일본, 중국, 인도, 브라질 등 매우 많은 국가에서 시행되고 있다.

반면 대형차의 온실가스 규제는 미국 및 일본에서 시행되고 있으며 우리나라와 유럽연합에서는 아직 규제가 도입되지 않았다.<sup>2)</sup> 미국에서는 2014년부터 대형자동차의 온실가스 배출량에 대한 규제를 시작하였으며, 2021년부터 보다 강화된 배출기준을 적용하였다.<sup>3)</sup> 유럽에서

는 2025년부터 CO<sub>2</sub> 규제가 도입될 계획이며 2030년에 보다 강화된 배출 기준이 적용될 예정이다.<sup>4)</sup> 일본은 2015년부터 대형자동차의 연비를 대상으로 규제를 도입하였으며, 2025년부터 강화된 연비기준이 적용될 예정이다.<sup>5)</sup> 우리나라에서는 2021년과 2022년까지 판매된 대형차를 대상으로 CO<sub>2</sub> 배출현황을 파악하는 모니터링 제도를 도입하였으며, 2023년부터 2025년까지는 자발적 감축제도가 시행될 계획이다.<sup>10)</sup> 자발적 감축 제도에서는 기준연도(2021~2022년) 평균 온실가스 배출량 대비 2023년, 2024년 및 2025년에 각각 2%, 4.5% 및 7.5%를 초과하여 감축한 제작사에 CO<sub>2</sub> 감축 인센티브를 부여하며 별도의 페널티는 부과하지 않는다. 의무 감축제도의 도입 시기는 확정되지는 않았으나, 자발적 감축 제도 이후에 도입될 것으로 예상된다.<sup>6)</sup>

\*Corresponding author, E-mail: [parks@hanyang.ac.kr](mailto:parks@hanyang.ac.kr)

<sup>†</sup>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.

우리나라를 포함한 주요국 대형차 CO<sub>2</sub> 규제의 주요한 특징은 시뮬레이션 기법을 도입하여 대형차의 CO<sub>2</sub> 배출량 측정한다는 것이다. 차대동력계를 사용하여 연비 및 CO<sub>2</sub> 배출량을 직접 측정하는 소형차와 달리, 대형차는 차량의 구조(4x2, 4x4, 6x2, 6x4, 6x6, 8x2, 8x4 등) 및 적재함의 종류(카고, 덤프, 벤, 콘트리트 믹서, 펌프, 크레인 등)가 다양하기 때문에 실측을 통한 측정이 시간 및 비용 측면에서 비효율적이다. 이러한 점을 고려하여, 미국, 유럽에서는 모두 시뮬레이션 기법을 활용한 대형자동차의 CO<sub>2</sub> 배출량을 측정하는 방법을 도입하였다. 시뮬레이션 기법의 장점은 같은 부품을 공유하는 차량(e.g. 엔진, 변속기, 축, 휠, 보조기기류)은 입력 데이터를 공유함으로써 측정에 필요한 시간 및 비용을 절감할 수 있다.

미국에서는 Greenhouse gas Emission Model(GEM) 프로그램을 개발하였으며,<sup>7)</sup> 유럽에서는 Vehicle Emission Calculation Tool(VECTO)을 개발하였다.<sup>8)</sup> 우리나라에서는 Heavy-duty vehicle Emission Simulator(HES)가 개발되었다. 미국의 GEM, 유럽의 VECTO 및 한국의 HES는 모두 차량동역학을 기반으로 주행시뮬레이션을 통해 CO<sub>2</sub> 배출량을 계산한다. 세부적인 모델링 방법의 차이는 있으나, 3개의 프로그램 모두 차량의 공기저항력, 구름저항력, 등판저항력, 가속력, 동력전달손실 등을 고려하여 차량이 주행하기 위해 필요한 동력을 계산하고, 해당 동력을 공급하는 엔진의 운전점(엔진속도 및 엔진토크)을 매순간 계산한다. 계산된 엔진 운전점은 연료소비율 맵에 입력하여 연료소비량을 계산하는데 활용된다. 연료소비율 맵은 엔진의 속도(rpm) 및 토크(Nm)에 따른 연료소비율(g/s)을 나타낸다. CO<sub>2</sub> 배출량 계산을 위한 프로그램 입력 데이터로 차량 중량, 공기저항 계수, 구름저항 계수, 연료소비율 맵, 주행모드 등이 활용된다.

HES는 대형차의 CO<sub>2</sub> 배출량을 계산하기 위해 약 20여

종의 차량 제원을 활용한다. 이 중 CO<sub>2</sub> 배출량에 미치는 영향이 높은 주요 입력변수는 Table 1에 제시되어 있다. 연료소비율 맵은 대략 70개의 운전점(회전속도 및 토크)의 연료소비량 정보로 구성되어 있으며, 연료소비량을 계산하기 위한 핵심 변수이다. 공기저항 및 구름저항 계수는 HES의 차량동역학 모델에서 차량의 주행저항을 계산하기 위해 사용된다. 중량은 차량의 가속력, 등판저항력 및 구름저항력 등 차량의 전반적인 에너지 소비량과 관련되어 있다. 기어박스과 축 손실맵은 차량 내부의 동력전달손실을 계산하는데 활용되며, 해당 요소의 회전속도와 입력 토크에 따른 토크손실량을 나타낸다. 국내에서는 연료소비율 맵, 공기저항 계수 및 구름저항 계수 측정을 위해 별도의 측정법을 규정하고 있다.<sup>11)</sup> 국내 대형차 CO<sub>2</sub> 배출량 인증을 위해서, 대형차 제작사는 사전에 정의된 시험법에 따라 측정된 변수를 활용하여 CO<sub>2</sub> 배출량을 계산해야 한다.

본 연구에서는 국내 대형차 CO<sub>2</sub> 배출량 산정프로그램 HES를 활용하여, HES 주요 입력 변수가(Table 1) CO<sub>2</sub> 배출량에 미치는 민감도를 분석하였다. 해당 변수들은 별도의 시험법을 통해 측정되므로 측정 오차에 따라 CO<sub>2</sub> 배출량의 편차가 발생할 수 있다. 따라서 해당 변수가 CO<sub>2</sub> 배출량에 미치는 영향을 정량적으로 분석함으로써, 추후 대형차 CO<sub>2</sub> 규제 도입 시 해당 변수의 측정 허용오차 설정을 위한 기반 자료를 확보할 수 있다. 본 연구에서는 총 4대의 차량 데이터를 기반으로 주요 입력변수의 수치를 ±20 % 범위에서 조정하였을 때 CO<sub>2</sub> 배출량의 변화량을 산정하였다.

## 2. 연구 방법

### 2.1 HES 프로그램 구조

HES는 2015년에 본격적인 개발에 착수하여 2016년에 최초로 배포되었다. 2017년에는 산업통상자원부의 연비시뮬레이션 프로그램 KEES와 통합되었으며,<sup>9)</sup> 2018년에는 사용자 편의성 증진을 위해 GUI가 마련되었다. HES는 차량시험 결과와 비교 분석을 통해 프로그램 정확도가 검증되었다.

HES는 차량동역학을 외부 주행저항과 내부 동력전달손실을 고려하여 엔진에서 필요한 출력을 계산하며, 고려하는 요소는 다음 수식과 같다.

$$P_{eng} = P_{acc} + P_{slope} + P_{air} + P_{RR} + P_{aux} + P_{inertia, engine} + P_{inertia, wheel} + P_{loss, gearbox} + P_{loss, axle} + P_{loss, retarder} \quad (1)$$

where,  $P_{eng}$  : engine power (W),  $P_{acc}$  : acceleration power

Table 1 Major input variables of HES

Input variables	Unit
Fuel consumption map	Speed [rpm], Torque [Nm], Fuel rate [kg/h]
Aerodynamic drag coefficient	Coefficient [m <sup>2</sup> ]
Rolling resistance coefficient	Coefficient [N/N]
Vehicle weight	Weight [kg]
Gearbox loss map	Speed [rpm], Input torque [Nm], Torque loss [Nm]
Axle loss map	Speed [rpm], Input torque [Nm], Torque loss [Nm]

(W),  $P_{slope}$  : power loss or gain due to road grad (W)  $P_{air}$  : power loss due to aerodynamic drag (W),  $P_{RR}$  : power loss due to rolling resistance (W),  $P_{aux}$  : power consumption of auxiliaries (W),  $P_{inertia,engine}$  : Power loss or gain due to engine inertia (W),  $P_{inertia,wheel}$  : Power loss or gain due to wheel inertia (W),  $P_{loss,gear}$  : Transmission loss at the gearbox (W),  $P_{loss,axle}$  : Transmission loss at the axle gear (W), and  $P_{loss,retarder}$  : Transmission loss at the retarder (W)

엔진에서 필요한 출력은 식 (1)을 통해 계산된다. 공기 저항 계수와 구름저항 계수는 각각 식 (2) 및 (3)과 같이 공기저항력과 구름저항력에 계산에 반영된다.

$$F_{air} = 0.5 \cdot Cd \cdot A \cdot v^2 \quad (2)$$

where,  $F_{air}$  : aerodynamic drag force (N),  $Cd$  : aerodynamic drag coefficient (-),  $A$  : frontal area (m<sup>2</sup>),  $v$  : vehicle speed (m/s)

$$F_{RR} = RRC \cdot m \cdot g \quad (3)$$

where,  $F_{RR}$  : rolling resistance force (N),  $RRC$  : rolling resistance coefficient (N/N),  $m$  : vehicle mass (kg),  $g$  : Gravitational acceleration (m/s<sup>2</sup>)

차량의 중량은 가속력, 등판저항, 구름저항력등 여러 요소에 영향을 미치며, 기어박스 손실맵과 축 손실맵은 동력전달손실을 계산하는데 활용된다. 세부적인 HES의 구조, 프로그램 입력값 산출 방법 및 프로그램 사용 방법은 환경부에서 발간한 ‘중대형 상용차 에너지소비효율 및 온실가스 배출량 산정방법 기술지침서<sup>11)</sup>에 기술되어있다.

## 2.2 민감도 분석 방법

본 연구에서는 4대의 차량 데이터를 활용하여 민감도 분석을 수행하였다. 4대 차량 제원은 Table 2와 같다. 화물차3대와 승합차1대를 활용하였으며, 국내에서 활용되

Table 2 Vehicle specifications

	Engine	Maximum power	Vehicle weight
Truck 1	6.3 L diesel	280 PS	8,300 kg
Truck 2	6.3 L diesel	280 PS	9,800 kg
Truck 3	12.7 L diesel	530 PS	27,500 kg
Bus	12.7 L diesel	440 PS	14,000 kg

는 대형차 분포를 적절히 고려할 수 있도록 280마력의 트럭 2대와 400마력의 버스 1대, 530마력의 트럭 1대를 선정하였다.

4대의 차량은 CO<sub>2</sub> 배출량을 계산을 위한 주행모드로 Fig. 1에 제시된 K-WHVC 주행모드를 활용하였다. K-WHVC 주행모드는 우리나라의 대형차 CO<sub>2</sub> 인증을 위해 개발된 주행모드로 시내주행, 교외주행 및 고속도로 주행이 복합적으로 고려된 주행모드이다. K-WHVC에서 4대 차량의 기본 CO<sub>2</sub> 배출량은 다음과 같다.

Truck 1:	480 g/km,	5.45 km/L
Truck 2:	515 g/km,	5.08 km/L
Truck 3:	939 g/km,	2.79 km/L
Bus:	649 g/km,	4.03 km/L

민감도 분석을 위해 Table 1에 제시된 차량 변수 6종의 수치를 조정했을 때 CO<sub>2</sub> 배출량의 변화량을 계산하였다. 민감도 분석 범위는 국내외 관련 기준을 고려하여 연비맵, 공기저항 계수, 중량, 기어박스 손실맵, 및 축 손실맵은 ±20 %, 구름저항 계수는 ±1.2 N/kN 범위에서 CO<sub>2</sub> 배출량의 편차를 분석하였다. 단일 수치데이터인 공기 저항 계수, 구름저항 계수 및 중량은 위에 제시한 범위에서 변수를 조정하였다. 연료소비율 맵은 엔진 속도와 엔진 토크 데이터는 변동 없이 연료소비율만 조정하였으며, 기어박스 손실 맵과 축 손실 맵 데이터에서는 회전속도 및 입력 토크값의 변동 없이 토크손실값만 조정하여 민감도 분석을 수행하였다.

유럽연합에서는 제작사에서 신고한 연비맵의 연료소비율 허용 오차를 최대 3 %, 공기저항계수의 최대 허용 오차를 7.5 %로 제시하고 있다.<sup>3)</sup> 검증을 위해 추가적으로 측정된 값과 제작사의 신고값을 비교하여 허용오차를 초과할 경우 검증에 실패한 것으로 간주한다. 구름저항 계수의 경우 우리나라의 ‘자동차용 타이어의 에너지 소비효율 측정 및 등급기준 표시 등에 관한 규정’의 ‘별표 5 사후관리 검사항목 및 허용오차’에 따라 허용오차

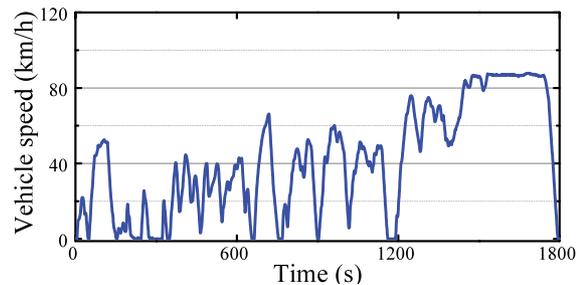


Fig. 1 K-WHVC

범위를 0.3 N/kN으로 제한하고 있다. 따라서 본 연구에서는 허용오차범위를 충분히 포함할 수 있는 범위에서 민감도 분석을 수행하였다.

### 3. 민감도 분석 결과 및 고찰

#### 3.1 연비맵 민감도 분석 결과

Fig. 1은 연료소비율 맵의 변수 조정에 따른 4 차량의 CO<sub>2</sub> 배출량 변화율을 나타낸다. 연료소비율 맵은 연료소비량 및 CO<sub>2</sub> 배출량과 직결된 변수로, 엔진의 운전 상태에 따른 연료소비율을 계산하는데 활용된다. 따라서 연료소비량 변화량은 CO<sub>2</sub> 배출량에 직접적으로 반영된다. Fig. 2에서 연료소비율 맵 변화량과 CO<sub>2</sub> 배출량 변화량은 정비례하였으며, 차종에 따른 차이는 거의 발생하지 않았다. 연료소비율 맵  $\pm 20\%$  범위에서 조정했을 때 4 차량의 평균 CO<sub>2</sub> 편차는  $-20.2\%$  및  $+20.4\%$  범위에서 분포하였다. 유럽연합의 연료소비량 허용 오차 3%에서의 CO<sub>2</sub> 배출량 편차는 3%로 산정되었다.

#### 3.2 공기저항 계수 민감도 분석 결과

공기저항 계수에 따른 CO<sub>2</sub> 변화량은 Fig. 2에 제시되었다. 공기저항 계수 조정에 따른 CO<sub>2</sub> 배출량의 변화량은 연료소비율보다는 작게 발생하였다. 차종별로 버스의 CO<sub>2</sub> 변화량이 가장 크게 발생하였으며, 트럭의 CO<sub>2</sub> 변화량이 상대적으로 적었다. 차종 간 편차가 발생한 원인은, 공기저항력이 전체 주행 에너지소모량에서 차지하는 비중이 차량마다 다르기 때문이다. 공기저항력이 전체 차량의 에너지 소모량에서 차지하는 비중이 클수록, 공기저항계수 조정에 따른 CO<sub>2</sub> 배출량 편차가 크게 발생하였다. 유럽연합의 공기저항계수 허용 오차 7.5%에서의 4 차량의 CO<sub>2</sub> 배출량 편차의 평균은 1.03%로 산정되었다.

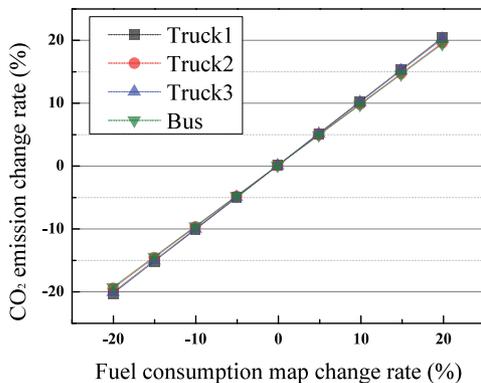


Fig. 2 CO<sub>2</sub> emission sensitivity analysis result of fuel consumption map

#### 3.3 구름저항 계수 민감도 분석 결과

구름저항계수를  $\pm 1.2$  N/kN 범위에서 조정하였을 때의 CO<sub>2</sub> 배출량 변화량은 Fig. 3과 같다. 구름저항력은 타이어에 작용하는 수직항력과 구름저항 계수에 비례하므로, 차량 중량이 증가할수록 전체 주행 에너지 중에서 구름저항력이 차지하는 비중이 커진다. 따라서 중량이 무거운 트럭3의 구름저항력에 따른 CO<sub>2</sub> 배출량 편차가 가장 크게 발생하였으며, 그 다음으로 버스의 CO<sub>2</sub> 편차가 크게 발생하였다. 4 차량의 구름저항 계수를  $\pm 1.2$  N/kN 범위에서 조정한 결과 평균 CO<sub>2</sub> 배출량 편차는  $-2.8\%$ 에서  $2.72\%$ 까지 발생하였으며, 이는 공기저항에 CO<sub>2</sub> 배출량에 미치는 영향과 비슷한 수치이다. 우리나라의 '자동차용 타이어의 에너지소비효율 측정 및 등급기준 표시 등에 관한 규정'의 '별표 5 사후관리 검사항목 및 허용오차'에 따라 구름저항 계수 허용오차 0.3 N/kN에서의 CO<sub>2</sub> 배출량 편차는 4차종 평균 0.76%이다.

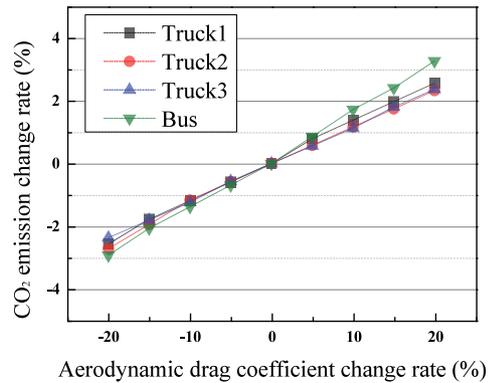


Fig. 3 CO<sub>2</sub> emission sensitivity analysis result of aerodynamic drag coefficient

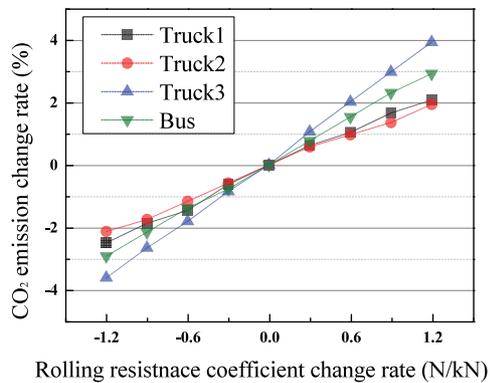


Fig. 4 CO<sub>2</sub> emission sensitivity analysis result of rolling resistance coefficient

### 3.4 중량 민감도 분석 결과

Fig. 5가 나타내는 바와 같이, 중량이 CO<sub>2</sub> 배출량에 미치는 영향은 공기저항 및 구름저항계수보다 컸다. 이는 중량이 가속력, 등판저항, 구름저항 등 다양한 요소에 영향을 주기 때문에, 공기저항 및 구름저항 단일 요소보다는 CO<sub>2</sub> 배출량에 영향이 큰 것으로 분석된다. 차종별 분석결과, 중량이 무거운 차량일수록 중량에 따른 CO<sub>2</sub> 배출량 변화율도 증가하였다. 가장 무거운 차량인 Truck3의 CO<sub>2</sub> 변화율이 가장 컸으며, 그 다음으로 Bus의 CO<sub>2</sub> 변화율이 컸다. 중량이 무거운 차량일수록 주행 에너지에서 중량이 CO<sub>2</sub> 배출량에 미치는 영향력이 커지는 것으로 원인이다. 다만, 중량은 다른 변수와 달리 측정법이 상대적으로 간단한 변수이므로, 실제 측정 시 오차 발생 정도가 다른 변수(연료소비율 맵, 공기저항 계수, 구름저항 계수, 기어박스 손실 맵, 축 손실 맵) 보다 낮을 것으로 예상된다.

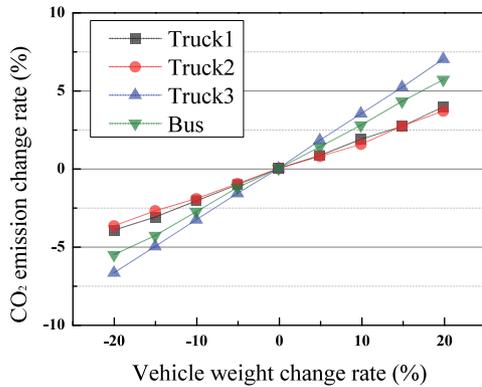


Fig. 5 CO<sub>2</sub> emission sensitivity analysis result of vehicle weight

### 3.5 기어박스 손실 맵 분석 결과

기어박스 손실은 변속기에서 발생하는 동력전달 손실

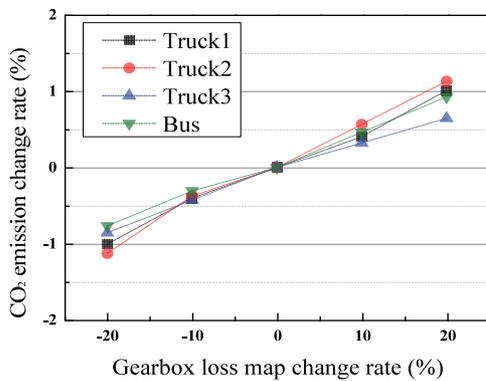


Fig. 6 CO<sub>2</sub> emission sensitivity analysis result of gearbox loss map

을 의미하며, CO<sub>2</sub> 배출량에 미치는 결과는 Fig. 6과 같다. 기어박스 손실을 ±20 % 범위에서 조정했을 때, CO<sub>2</sub> 배출량 변화율은 ±1 % 내외로, 다른 변수대비 CO<sub>2</sub> 배출량에 미치는 영향을 낮았다. 이는 기어박스 손실이 전체 차량의 에너지 소비량에서 차지하는 비중이 다른 요소(가속력, 공기저항력 및 구름저항력)대비 낮은 것을 의미한다.

### 3.6 축 손실 맵 분석 결과

축 손실은 차량 축에서 발생하는 동력전달 손실을 의미하며 민감도 분석 결과는 Fig. 7과 같다. 축 손실 조정에 따른 CO<sub>2</sub> 배출량 변화율은 기어박스 손실의 영향과 비슷하거나 약간 컸다.

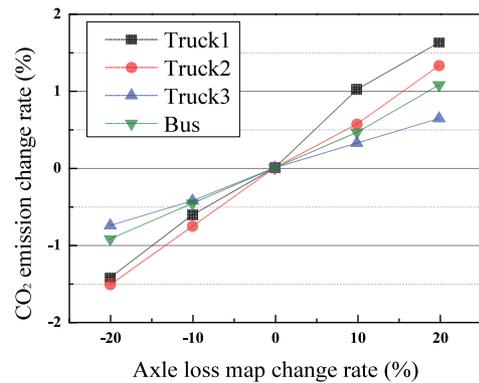


Fig. 7 CO<sub>2</sub> emission sensitivity analysis result of axle loss map

### 3.7 결과 종합

Table 3은 4차량의 평균 CO<sub>2</sub> 변화량을 나타낸 것이다. 구름저항을 제외한 변수는 ±20 % 범위에서 조정하였으며, 구름저항 계수는 ±1.2 N/kN 범위에서 민감도 분석을 수행하였다. 분석 결과 연료소비율 맵의 영향이 가장 높았다. 연료소비율 맵은 HES의 차량동역학 모델에 별다른 영향을 주지 않는다. 반면, CO<sub>2</sub> 배출량을 계산하는 직접 활용되었기 때문에, 연료소비율 맵 변화율과 CO<sub>2</sub> 배출량 변화율은 정비례하였다. 그 다음으로는 차량 중량,

Table 3 Summary of the sensitivity analysis

Variables	CO <sub>2</sub> emission change rate
Fuel consumption map	-20~20 %
Aerodynamic drag coefficient	-2.65~2.64 %
Rolling resistance coefficient	-2.8~2.72 %
Vehicle weight	-4.98~5.09 %
Gearbox loss map	-0.94~0.93 %
Axle loss map	-1.16~1.17 %

구름저항 계수, 공기저항 계수, 축 손실맵, 기어박스 손실맵 순서대로 CO<sub>2</sub> 배출량 민감도가 높았다. 구름저항 계수와 공기저항계수의 효과는 비슷하였으며, 기어박스 손실 맵과 축 손실 맵의 효과도 유사하였다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 HES 주요 입력 변수가(Table 1) CO<sub>2</sub> 배출량에 미치는 영향을 정량적으로 산정하였다. 본 연구에서는 총 4대의 차량 데이터를 기반으로 주요 입력변수의 수치를  $\pm 20\%$  범위(구름저항 계수의 경우  $\pm 1.2$  N/kN)에서 조정하였을 때 CO<sub>2</sub> 배출량의 변화량을 산정하였다.

- 1) 민감도 분석 결과 연료소비율 맵이 CO<sub>2</sub> 배출량에 미치는 영향이 가장 높았으며, 차량 중량, 구름저항 계수, 공기저항 계수, 축 손실 맵, 기어박스 손실 맵 순으로 CO<sub>2</sub> 배출량 민감도가 높았다.
- 2) 현재 국내외에서 대형자동차의 입력 변수의 허용오차 한도로는 유럽연합의 연료소비율 맵(허용오차 3%), 유럽연합의 공기저항 계수(허용오차 7.5%) 및 국내 타이어 구름저항 계수(허용오차 0.3 N/kN) 조건이 있다. 최대 허용오차 조건에서 4 차량의 평균 CO<sub>2</sub> 배출량 편차는 연료소비율 맵 3%, 공기저항 계수 1.02%, 구름저항 계수 0.76%이다.
- 3) 추후 국내 대형자동차 CO<sub>2</sub> 제도 및 사후관리 제도 도입 시 HES의 주요 변수에 관한 허용 오차 기준설정이 필요할 것으로 판단된다.

#### 후 기

본 연구는 한국교통안전공단 자동차안전연구원의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

#### References

- 1) R. K. Pachauri, M. R. Allen, V. R. Barros, J. Broome, W. Cramer, R. Christ, J. A. Church, L. Clarke, Q. Dahe and P. Dasgupta, Climate Change 2014: Synthesis Report, Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC, 2014.
- 2) S. Park, "Global Trend of Greenhouse Gas Regulation of Heavy-duty Vehicles," Auto Journal, KSAE, Vol.41, No.6, pp.58-61, 2019.
- 3) Environmental Protection Agency, Greenhouse Gas Emissions and Fuel Efficiency Standards for Medium- and Heavy-Duty Engines and Vehicles, Phase 2, 2016.
- 4) European Commission, Commission Regulation (EU) 2019/1242 of the European Parliament and of the Council of 20 June 2019 Setting CO<sub>2</sub> Emission Performance Standards for New Heavy-duty Vehicles and Amending Regulations (EC) No 595/2009 and (EU) 2018/956 of the European Parliament and of the Council and Council Directive 96/53/EC. Official Journal of the European Union, 2019.
- 5) B. Sharpe, Second-phase Fuel Economy Standards for On-road Heavy-duty Vehicles in Japan, ICCT Report, 2019.
- 6) S. Kwon, "The Domestic Regulation on Greenhouse Gas Emission from Heavy-duty Vehicles," Auto Journal, KSAE, Vol.43, No.6, pp.19-22, 2021.
- 7) K. A. Newman, P. Dekraker, H. Zhang, J. Sanchez and P. Gururaja, "Development of Greenhouse Gas Emissions Model (GEM) for Heavy-and Medium-Duty Vehicle Compliance," SAE 2015-01-2771, 2015.
- 8) G. Fontaras, M. Rexeis, P. Dilara, S. Hausberger, and K. Anagnostopoulos, "The Development of a Simulation Tool for Monitoring Heavy-duty Vehicle Co2 Emissions and Fuel Consumption in Europe," SAE 2013-24-0150, 2013.
- 9) H. Lee, H. Choi, M. Park, K. Min, N. Lee, J. Park and J. Lee, "Development of KESS for 2017 Medium-and Heavy-duty Commercial Vehicle Fuel Efficiency Standards," KSAE Annual Conference Proceedings, p.208, 2015.
- 10) 환경부, 중·대형 상용차 평균에너지소비효율기준 및 온실가스 기준의 적용·관리 등에 관한 지침, 2020.
- 11) 환경부, 중대형 상용차 에너지소비효율 및 온실가스 배출량 산정방법 기술 지침서, 2021.