

환경조건 및 중량변화에 따른 차종별 에너지소비효율 변화 특성에 관한 연구

A Study on the Characteristics of Changes in Energy Consumption Efficiency by Vehicle Type according to Environmental Conditions and Weight Changes

박진성* † · 홍영진** · 임재혁* · 이민호***

Jin-Sung Park* †, Young-Jin Hong**, Jae-Hyuk Lim* and Min-Ho Lee***

(Received 29 August 2024, Revision received 11 October 2024, Accepted 14 October 2024)

초록 : 본 논문에서는 내연기관과 하이브리드 자동차의 에너지소비효율에 대해 환경조건 및 중량 조건의 영향을 분석하였다. 에너지소비효율이 높은 차량의 보급은 온실가스 감축 목표 달성에 중요한 요소가 되고 있다. 본 연구에서는 도심모드와 고속모드를 이용해 다양한 차종 및 조건에서의 에너지소비효율을 측정하였다. 그 결과, 저온 및 총중량조건에서 모든 차종의 에너지소비효율이 감소하는 경향을 보였으며, 총중량조건보다는 저온조건의 영향도가 컸다. 특히 하이브리드 자동차는 저온에서는 감소폭이 가장 컸으나 총중량조건에서는 가장 적어 다른 차종과 다른 경향을 보였다. 이러한 결과를 국내 친환경 자동차 보급을 활성화할 수 있는 제도 마련의 기초자료로 활용하고자 한다.

키워드 : 에너지소비효율, 하이브리드 자동차, 환경조건, 총중량조건

Abstract : This paper analyzes the impact of environmental and gross vehicle weight conditions on the energy consumption efficiency of various vehicles. The promotion of vehicles with high energy efficiency is becoming a crucial factor in achieving greenhouse gas reduction targets. This study measured the energy efficiency of various vehicle types and conditions using urban and highway driving modes. The results showed that energy efficiency decreased across all vehicle types under both conditions with the impact of low temperature being greater than gross weight condition. Notably, hybrid vehicles exhibited the largest decrease at low temperatures, but the smallest reduction under gross weight conditions. These results will serve as fundamental data for policies to promote the distribution of eco-friendly vehicles in Korea.

Key Words : Energy Consumption Efficiency, Hybrid Vehicle, Environmental Condition, Gross Weight Condition

* † 박진성(<https://orcid.org/0009-0007-1274-0486>) : 선임연구원,
한국석유관리원 미래기술연구소

E-mail : dofoman@kpetro.or.kr, Tel : 043-240-7959

** 홍영진(<https://orcid.org/0009-0003-5401-7086>) : 주임연구원,
한국석유관리원 미래기술연구소

* 임재혁(<https://orcid.org/0000-0002-0252-7012>) : 선임연구원,
한국석유관리원 미래기술연구소

*** 이민호(<https://orcid.org/0009-0003-5244-9790>) : 수석연구원,
한국석유관리원 미래기술연구소

* † Jin-Sung Park(<https://orcid.org/0009-0007-1274-0486>) : Senior
Researcher, Korea Petroleum Quality & Distribution Authority.

E-mail : dofoman@kpetro.or.kr, Tel : 043-240-7959

** Youn-Gjin Hong(<https://orcid.org/0009-0003-5401-7086>) :
Assistant Researcher, Korea Petroleum Quality & Distribution
Authority.

* Jae-Hyuk Lim(<https://orcid.org/0000-0002-0252-7012>) : Senior
Researcher, Korea Petroleum Quality & Distribution Authority.

*** Min-Ho Lee(<https://orcid.org/0009-0003-5244-9790>) : Chief
Researcher, Korea Petroleum Quality & Distribution Authority.

1. 서론

전 세계적으로 내연기관 자동차가 주요 온실가스 배출원으로 지적되고 있어 신규 개발 자동차의 전동화 및 순수 내연기관 자동차의 판매 종료를 선언한 국가가 증가하는 추세이다. 특히, EU에서는 2030년까지 1990년 대비 55% 저감하는 ‘Fit for 55’의 초안을 발표하여 2035년 실질적 내연기관 자동차의 판매를 금지하고 2050년도까지 실질적인 온실가스 배출량을 제로화할 예정이다.¹⁾

이러한 세계적 추세에 맞추어 국내에서도 ‘2050 탄소중립’ 및 ‘2030 국가 온실가스 감축목표 상향’ 전략에 따라 2030년까지 온실가스 배출량을 2018년 대비 35% 이상 감축하는 것을 목표로 설정하여 수송부문에서 2030년까지 61.0백만톤(37.8%)를 감축하는 계획을 수립하였다. 이에 따라 연계 대중교통 강화, 철도 중심 교통체계 확대 등 자동차 주행거리 감축을 위한 제도가 제안되고 있고, 전기·수소·하이브리드 자동차 등 온실가스 배출량이 적은 자동차에 대한 보급 확대를 국가적으로 추진하고 있다.²⁾

온실가스는 CH₄, N₂O 등 다양한 배출물질이 있지만 가장 큰 비중을 차지하는 것은 CO₂(이산화탄소)이다. 자동차에서는 CO₂의 배출량이 적을수록 에너지소비효율이 증가하는데, 이는 연료가 연소할 때 연료에 포함된 탄소 성분이 CO₂로 바뀌어 배출되기 때문이다. 따라서 에너지소비효율이 좋은 차량이 많이 보급될수록 온실가스 배출량이 줄어들게 되고, 국가 및 자동차 제작사에서는 에너지소비효율을 증가시키기 위한 기술 개발에 많이 투자하고 있다.

이러한 에너지소비효율은 다양한 외부 조건에 의해 영향을 받는 것으로 알려져 있는데, 많은 영향인자 중 특히 환경 및 중량조건의 변화가 큰 영향을 미치는 것으로 알려져 있다.³⁾ 다만, 기존의 순수 내연기관 차량과 하이브리드와 같은 친환경 차량에서 그 영향이 어느 정도인지는 명확하게 알려지지 않았다.

본 논문에서는 순수 내연기관 자동차와 하이브리드 자동차에 대해서 환경조건(저온) 및 중량조

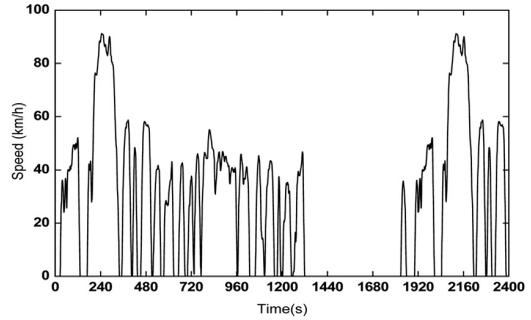


Fig. 1 FTP-75 mode (Urban test mode)

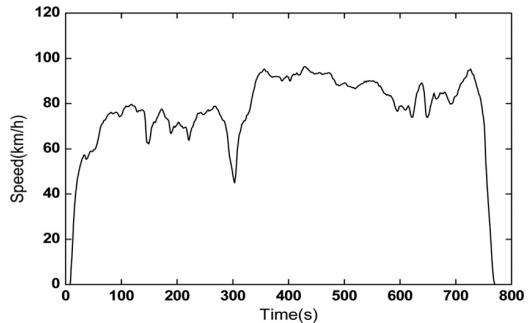


Fig. 2 HWFET mode (Highway test mode)

건이 에너지소비효율 미치는 영향에 대해서 분석하였다. 이를 통해 에너지소비효율이 좋은 차량의 보급을 확대하여 온실가스 배출량을 감소시키기 위한 자동차 관련 제도 마련의 기초자료로 사용하고자 하였다.

2. 시험방법 및 시험장치

2.1 시험방법

시험방법은 국내 에너지소비효율 측정 공인 시험방법인 산업통상자원부 고시 제2022-14호 「자동차의 온실가스 배출량 및 연료소비율 시험방법 등에 관한 고시」에 따라 실시하였다.

해당 고시에 따르면, 에너지소비효율 측정은 도심 주행을 모사한 FTP-75모드(도심모드)와 고속도로 주행을 모사한 HWFET모드(고속모드)를 이용한다. 해당 시험모드의 속도 프로파일을 Fig. 1과 Fig. 2에 나타내었다.

에너지소비효율은 시험모드 주행 시 발생하는

탄소 성분의 배출가스(THC, CO, CO₂)를 통해 연료 소모량을 계산하는 카본-밸런스법을 적용하여 1L의 연료로 주행 가능한 거리를 계산하게 된다. 계산 방법은 가솔린 차량(하이브리드 포함)을 식 (1)에 디젤 차량은 식 (2)에 나타내었다.

$$\begin{aligned} & \text{Gasoline F.E. (km/L)} \\ & = \frac{3,179 \times 10^4 \times CWF \times SG}{(CWF \times THC + 0.429 \times CO + 0.273 \times CO_2) \times (0.6 \times SG \times NHV) + 12,722} \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} & \text{Diesel F.E. (km/L)} \\ & = \frac{707}{0.858 \times THC + 0.429 \times CO + 0.273 \times CO_2} \end{aligned} \quad (2)$$

여기서, CWF는 연료의 탄소 함량(%), SG는 연료의 밀도(kg/m³), NHV는 연료의 저위발열량(J/g)을 의미하고 THC, CO, CO₂는 시험 간 발생한 각 배출가스의 배출량(g/km)를 의미한다.

차량의 에너지소비효율을 정확하게 측정하기 위해서는 사전에 차량을 준비하는 작업이 필요하다. 우선 시험 차량을 차대동력계에 설치한 후 차량 예열(80 km/h 속도로 30분 주행)을 수행한다. 차량의 예열이 종료되면 차량의 주행저항을 차대동력계에 재현하게 된다. 주행저항이란 차량이 외부에서 주행할 때 차량이 받는 저항인데 이를 수치화한 실도로 부하력 계수를 이용하여 주행저항 재현을 하게 된다. 실도로 부하력 계수는 f₀(N), f₁(N/(km/h)), f₂(N/(km/h)²) 세 가지 수치로 되어 있고, 차량이 특정 속도에서 받는 부하(N)는 식 (3)과 같이 계산된다.⁴⁾ 해당 계수는 각 자동차 제작사가 각 차량의 에너지소비효율 인증을 위해 실제 도로에서 측정한 데이터를 제출받아 적용하였다.

$$F_{vehicle} (N) = f_0 + f_1 \times v + f_2 \times v^2 \quad (3)$$

주행저항 재현이 끝나면, FTP-75모드의 1, 2 구간을 주행하는 예비 주행을 수행하고, 종료되면 20~30°C 조건에서 12~36시간 차량을 식히는 Soaking을 진행한다. Soaking이 종료되면 FTP-75모드를 수행하고 FTP-75모드 종료 후 3시간 이내에 HWFET모드를 수행하여 각 시험모드 별로 에

너지소비효율을 최종적으로 계산한다.

에너지소비효율 인증에서의 환경조건은 20~30°C 이고 공조 장치나 기타 부가기기를 작동시키지 않고 측정한다. 본 논문에서는 환경조건 및 중량 조건 변화에 따른 에너지소비효율 변화 특성을 보고자 하였다. 따라서 인증 시험방법에 따른 상온조건에서의 시험 결과와 저온조건(-7°C), 중량조건에서의 결과를 각각 도출하여 비교를 진행하였다.

저온조건에서는 국내 저온 배출가스 시험 고시인 「제작자동차 시험검사 및 절차에 관한 규정」에 따라 각 실도로 부하력 계수를 1.1배 하여 주행저항을 재현하였고, -7°C에서 12~36시간 Soaking을 진행한 후 공조 장치를 작동(22°C, AUTO)한 상태에서 본 시험을 진행하였다.

충중량조건은 국내 고시에 별도의 시험방법이 정해져 있지 않아 유럽의 EURO Green NCAP 문서를 근거로 실도로 부하력 계수 중 중량 증가와 관련된 f₀값을 국내 인증 시험방법 기준인 공차중량+136 kg의 등가 관성 중량 대비 충중량에서의 등가 관성 중량 증가율을 기준으로 값을 증가시켜 주행저항을 재현시키는 방법을 사용하였다. 충중량 기준 f₀를 계산하는 식을 식 (4)에 나타내었다.

$$f_0'(GVW) = f_0 \times \frac{ETW(GVW)}{ETW(Curb Weight + 136kg)} \quad (4)$$

하이브리드 차량의 경우 고전압 배터리의 전류 변화량을 측정 및 적산하여 배터리의 영향이 낮은 시험 결과(고전압 배터리 순에너지 변화량 1% 이하)를 측정하여 비교하였다.

2.2 시험장치

본 연구에서는 차량의 에너지소비효율을 계산하기 위해 측정이 필요한 THC, CO, CO₂를 측정하기 위한 배출가스 분석장치(Horiba MEXA)와 차량을 설치하여 실도로와 유사하게 주행할 수 있는 장치인 차대동력계(AVL Zollner)를 사용하였다. 또한 시험 진행 간 환경조건(25°C, -7°C) 모사할 수 있는 환경챔버 내에서 시험을 진행하였고, 하이브리드 차량의 고전압 배터리 영향도를 측정할 수 있는 전력적산계 및 전류클램프를 사용하

였다. 시험장비의 전체적인 구성은 Fig. 3과 같고 차대동력계의 제원은 Table 1, 배출가스 분석기의 제원은 Table 2에 나타내었다.

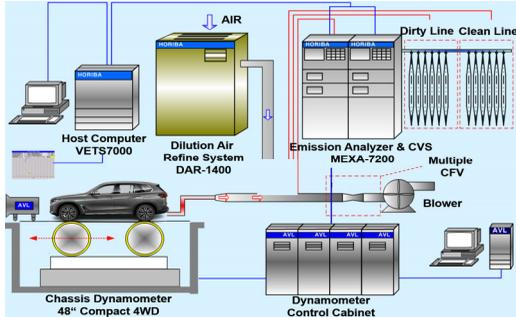


Fig. 3 Schematic diagram of chassis dynamometer

Table 1 Specification of the chassis dynamometer

Category	Specification
Roller type and diameter	Single Roll 48 inch (MIM type)
Inertia weight	1,000 ~ 15,000 lbs
Maximum Speed	253 km/h
Speed error	± 0.01% F.S.
Torque error	± 0.01% F.S.

Table 2 Specification of the emission analyzer

Emission	Method	Range	Linearity and repeatability
THC	HFID	0~500 ppmC	Withing ±2% of full scale
CO	NDIR	0~500 ppm	
CO ₂	NDIR	0~6%	

2.3 시험용 차량

본 연구에서는 가솔린 차량 3종, 디젤 차량 3종, 하이브리드 차량 2종에 대해 시험을 실시하였다. 시험용 차량은 2022년 및 2023년에 연도별로 등록 대수가 많은 차량을 기준으로 하였고, 엔진 형식(MPI, GDI), 차량 타입(Sedan, SUV, RV), 배기량, 차량 중량 등 다양한 종류의 차량으로 선정하여 차종별로 환경조건과 중량조건이 에너지소비효율에 미치는 영향을 평가하고자 하였다. 선정된

Table 3 Specifications of test vehicles

Vehicle Spec.	V1	V2	V3
Injection type	MPI	MPI+GDI	GDI
Displacement(cc)	1,598	2,497	3,470
Max. power (ps)	123/6,300	198/6,100	294/6,400
Max torque (kg·m)	15.7/4,500	25.3/4,000	36.2/5,000
Curb Weight	1,250	1,635	2,000
Gross Weight	1,575	1,960	2,585
Tire	195/65R15	245/45R19	235/60R18
Type/Year	Sedan / 2023	Sedan / 2023	RV / 2021

(a) Test Vehicle (Gasoline)

Vehicle Spec.	V4	V5	V6
Injection type	CRDi	CRDi	CRDi
Displacement (cc)	2,151	2,199	2,157
Max. power (ps)	194/3,800	177/3,800	202/3,800
Max torque (kg·m)	45.0/1,750~2,750	44.0/1,500~2,500	45.0/1,600~2,600
Curb Weight	1,800	2,240	2,100
Gross Weight	2,255	2,825	2,905
Tire	235/60R18	215/65R17	255/50R20
Type/Year	SUV / 2023	RV / 2023	RV(Truck) / 2021

(b) Test Vehicle (Diesel)

Vehicle Spec.	V7	V8
Injection type	GDI	GDI
Displacement (cc)	1,598	1,598
Max. power (ps)	180/5,500	180/5,500
Max torque (kg·m)	27.0/1,500~4,500	27.0/1,500~4,500
Curb Weight	1,650	1,775
Gross Weight	1,975	2,100
Tire	245/45R18	235/65R17
Type/Year	Sedan / 2022	SUV / 2022

(c) Test Vehicle (Hybrid(Gasoline+Electric))

8개 차종의 제원을 Table 3에 나타내었다.

2.4 시험용 연료

시험용 연료는 연료 물성 변화에 따른 시험 결과의 편차를 최소화하기 위해 차량 유종별로 같

은 연료를 사용하였으며, 특히 휘발유는 에너지소비효율 계산에 물성값이 적용되기 때문에 밀도, 탄소 함량, 저위발열량에 대한 물성 분석을 별도로 실시하여 적용하였다. 물성 분석 결과는 Table 2와 같다.

Table 4 Specifications of test fuel(Gasoline)

Item	Value
Density (@15°C) (kg/m ³)	0.7141
Elementary analysis (C) ((m/m)%)	0.8368
Net heat value (J/g)	42,550

3. 결과 및 고찰

3.1 차종별 시험모드별 에너지소비효율 특성

3.1.1 도심모드 에너지소비효율 측정 결과

1) 에너지소비효율 측정 결과

Fig. 4에 차종별로 도심모드(FTP-75모드)를 저온조건과 총중량조건에서 측정한 에너지소비효율 결과를 나타내었다. 도심모드에서는 하이브리드 자동차인 V7과 V8 차량이 상온조건에서 각각 22.3 km/L, 22.1 km/L로 측정되어 가장 좋은 에너지소비효율을 보였고, 3.5 L 대배기량의 가솔린 차량인 V3 차량이 가장 좋지 못한 결과를 보였다.

전반적으로 에너지소비효율이 상온조건 대비하여 저온조건에서 큰 폭으로 하락한 결과를 보였으며, 총중량조건은 저온조건 수준이 아니지만 상온조건 대비 다소 하락한 결과를 보였다.

2) 상온조건 대비 에너지소비효율 감소율

Fig. 5에는 상온조건에서 진행되는 도심모드 인증 시험방법 대비 저온조건 및 총중량조건 에너지소비효율 감소율을 나타낸 것이다.

저온조건에서는 하이브리드 자동차의 에너지소비효율이 35.7%, 32.1% 감소하는 등 다른 차종에 비해 큰 하락폭을 보였다. 하이브리드 차량 다음으로는 디젤 차량, 가솔린 차량 순으로 하락폭이 줄어들었다.

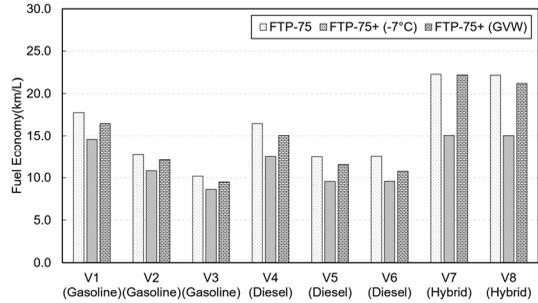


Fig. 4 Fuel Efficiency Test Result (FTP-75 mode)

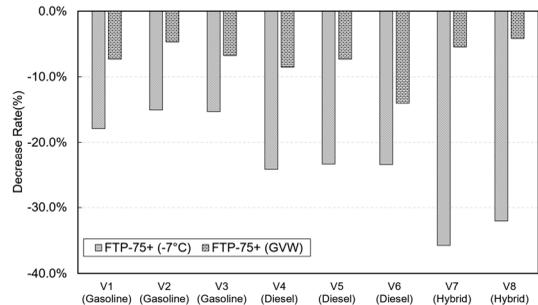


Fig. 5 Decrease Rate of Each Test Mode (FTP-75 mode)

총중량조건에서는 대부분이 10% 이내의 감소율을 보였으나 화물 픽업트럭 디젤 차량인 V6 차량만 14.0% 감소하는 결과를 보였다. 이는 화물차량 특성상 적재함의 중량까지 총중량으로 고려되기 때문에 다른 승용차량 대비하여 총중량이 상대적으로 높아진 영향이다.

3.1.2 고속모드 에너지소비효율 측정 결과

1) 에너지소비효율 측정 결과

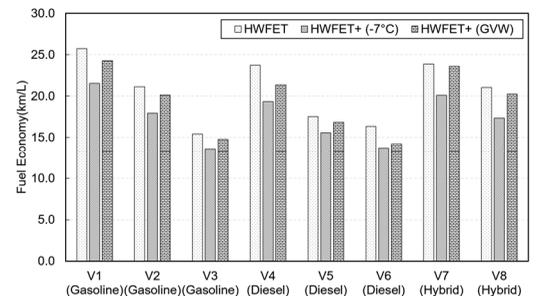


Fig. 6 Fuel Efficiency Test Result (HWFET mode)

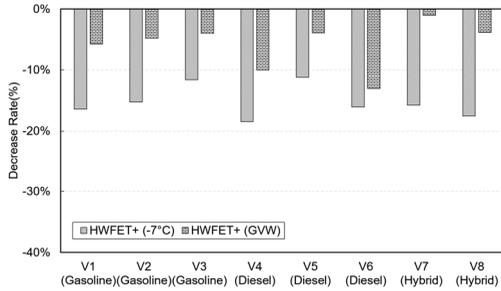


Fig. 7 Decrease Rate of Each Test Mode (HWFET mode)

Fig. 6에 차종별로 고속모드(HWFET모드)를 저온과 총중량조건에서 측정한 에너지소비효율 결과를 나타내었다. 고속모드에서는 MPI 엔진의 저배기량인 V1 차량이 상온조건에서 25.7 km/L로 가장 높았고, 도심모드와 마찬가지로 대배기량의 가솔린 차량인 V3가 가장 좋지 못한 결과를 보였다.

고속모드에서도 도심모드와 마찬가지로 상온조건 대비 저온 및 총중량조건에서는 에너지소비효율이 감소하는 결과를 보였지만 도심모드 대비하여 감소폭이 작았고, 총중량조건보다는 저온조건 의 영향이 더 큰 것을 확인 할 수 있었다.

2) 상온조건 대비 에너지소비효율 감소율

Fig. 7은 상온조건에서 진행되는 고속모드 인증 시험방법과 대비하여 저온조건 및 총중량조건 의 에너지소비효율 감소율을 나타낸 것이다.

저온조건에서는 에너지소비효율은 차량 대부분 이 10~20% 수준으로 감소하였고, 도심모드와는 달리 하이브리드 차량보다 디젤 차량의 감소폭이 더 큰 차량도 확인되었으나 대체로 유사한 감소 폭을 보였다.

총중량조건에서도 도심모드와 마찬가지로 대 부분이 10% 이내의 감소율을 보였으나 화물 디젤 차량인 V6 차량이 13.0% 감소하는 결과를 보였다.

그에 비해 하이브리드의 경우는 총중량에 대한 영향도가 1~4% 수준으로 다른 차종에 비해 낮은 것을 확인할 수 있었다.

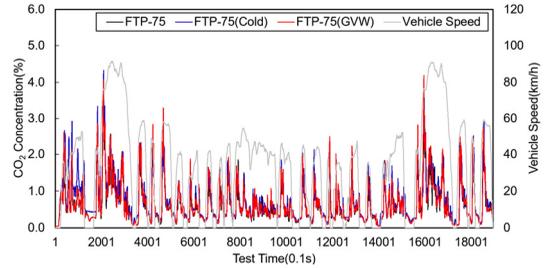


Fig. 8 Real-time CO₂ Emission of the Gasoline Vehicle (FTP-75 mode)

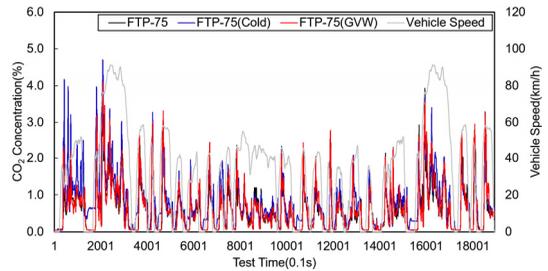


Fig. 9 Real-time CO₂ Emission of the Diesel Vehicle (FTP-75 mode)

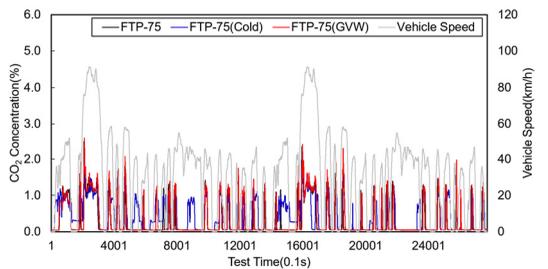


Fig. 10 Real-time CO₂ Emission of the Hybrid Vehicle (FTP-75 mode)

3.2 차종별 시험모드별 CO₂ 배출 특성

다음으로는 앞서 3.1 항의 시험 결과가 나온 원 인을 파악하기 위하여 에너지소비효율 계산에서 가장 큰 영향도를 가지는 CO₂ 배출량을 실시간으 로 분석하였다.

3.2.1 도심모드 실시간 CO₂ 배출 특성

시험모드 별 CO₂ 배출 특성을 실시간으로 확인 하기 위해 Fig. 8에 가솔린 차량(차량: V3)에 대한

CO₂ 배출량을 그래프로 나타내었다. V3 차량은 저온조건에서 15.3%, 총중량조건에서 6.8% 감소하였는데, 저온조건에서는 첫 번째 가속구간을 포함한 초기 구간에서 CO₂ 배출량이 두드러진 것을 확인할 수 있었다. 총중량조건에서는 구간 대부분에서 상온조건과 유사하였지만 가속할 때 CO₂ 배출 상한이 다른 조건에 비해 다소 높은 것을 확인할 수 있었다.

Fig. 9는 디젤 차량(차량: V5)의 시험모드별 CO₂ 배출량을 실시간으로 나타내었다. 가솔린 차량과 마찬가지로 구간 대부분에서 유사한 CO₂ 배출량을 보였으나 특히 저온 시험 초기 구간에서 상온 대비 2배 이상의 배출량을 보였고, 첫 번째 가속구간에서만 배출량이 많았던 가솔린 차량과는 달리 두 번째 가속구간에도 지속해서 CO₂ 배출량이 높은 것을 확인할 수 있어 저온에 대한 영향성이 가솔린 차량보다 디젤 차량에 더 높다는 것을 확인할 수 있었다.

Fig. 10은 하이브리드 차량(차량: V8)의 시험모드별 CO₂ 배출량을 실시간으로 나타내었다. 하이브리드 차량의 경우, 가솔린이나 디젤과 같은 일반 내연기관 차량과는 달리 초기 가속구간에서도 저온조건 CO₂ 배출량이 상온조건과 유사하였다. 하지만 엔진이 작동하여 주행하는 구간(시험모드 간 CO₂가 배출된 구간)이 상온조건 대비하여 저온조건에서 7군데 이상 발생하여 전체적인 CO₂ 배출량을 증가시켰고, 이에 따라 에너지소비효율이 감소함을 확인할 수 있었다.

3.2.2 고속모드 실시간 CO₂ 배출 특성

Fig. 11은 고속모드에서의 가솔린 차량(차량: V3)에 대한 CO₂ 배출량을 그래프로 나타내었다. 고속모드의 경우, FTP-75모드 시험 이후에 진행하고, 시험 전 HWFET모드를 1회 주행하여 차량이 예열된 상태에서 본 시험이 진행된다. 그로 인해 초반 가속 시에도 시험모드 별로 유사한 CO₂ 배출량을 보여 도심모드 대비 저온조건에서 에너지소비효율 감소율이 적은 것을 확인할 수 있다.

Fig. 12는 고속모드에서의 디젤 차량(차량: V5)에 대한 CO₂ 배출량을 그래프로 나타낸 것인데,

구간 대부분에서 시험모드 별로 유사한 경향을 가져가고, 저온조건 및 총중량조건에서 조금 더 높은 배출량을 지속해서 보이는 것을 확인할 수 있다.

Fig. 13은 고속모드에서의 하이브리드 차량(차량: V8)에 대한 CO₂ 배출량을 그래프로 나타낸 것인데, 저온에서 차량 시동이 걸리는 구간이 조건별로 다르기는 하지만 도심모드처럼 특별하게 CO₂의 배출량이 증가하는 구간은 없는 것으로 확인하였다.

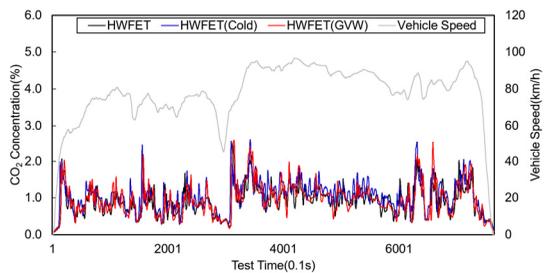


Fig. 11 Real-time CO₂ Emission of the Gasoline Vehicle (HWFET mode)

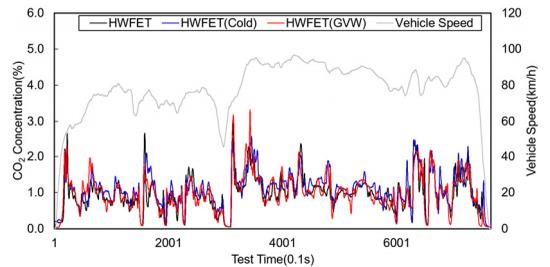


Fig. 12 Real-time CO₂ Emission of the Diesel Vehicle (HWFET mode)

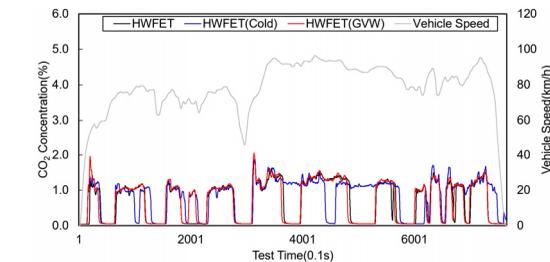


Fig. 13 Real-time CO₂ Emission of the Hybrid Vehicle (HWFET mode)

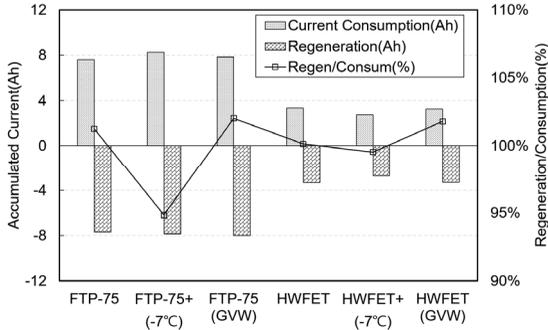


Fig. 14 Cumulative current changes in hybrid vehicle

3.3 하이브리드 차량 전류 변화 특성

하이브리드 차량의 경우 도심모드에서의 에너지소비효율 감소폭이 다른 가솔린이나 디젤 차량에 비해 컸는데, 원인 분석을 위해 고전압 배터리 사용량 및 회생 제동량을 시험모드별로 비교하였다. Fig. 14에 시험 간 사용된 전류량과 회생 제동을 통해 충전된 전류량을 나타내었다.

전류 소모는 저온의 도심모드에서 가장 많이 하였고, 저온의 고속모드에서 가장 적게 하였다. 회생 제동으로 인한 충전은 총중량조건에서의 도심모드에서 가장 많았고, 저온조건 고속모드에서 가장 적었다.

회생 제동의 비율을 보기 위해 방전 전류량 대비 충전 전류량이 얼마나 되는지를 확인해 보면 도심모드의 경우, 총중량조건에서 102.0% 가장 많았고, 고속모드도 총중량조건에서 101.8%로 가장 많았다. 이는 차량 중량이 증가하였을 때 차량이 받는 부하가 증가하면서 회생 제동량에도 영향을 미쳤음을 보여 주고 있고, 이에 따라 하이브리드 차량의 중량 증가는 에너지소비효율 감소에 영향을 크게 미치지 못하는 것을 알 수 있게 해 준다.⁵⁾

그와는 반대로 저온조건에서는 도심모드의 경우 94.8%, 고속모드의 경우, 99.5%로 둘 다 충전량보다 방전량이 많았는데, 저온에서의 배터리 효율 하락과 히터 사용으로 인한 많은 배터리 소모가 하이브리드 자동차에서는 에너지소비효율 하락에 영향을 크게 미친 것을 확인할 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 차종별로 저온조건과 중량조건이 에너지소비효율에 어떠한 영향을 미치는지 확인하기 위해 8개의 차종을 대상으로 에너지소비효율을 측정 및 비교하였고, 그 결과는 다음과 같다.

1) 저온조건에서는 대부분의 차종에서 에너지소비효율이 크게 감소하였다. 특히 하이브리드 자동차의 에너지소비효율 감소폭이 가장 컸고, 디젤 차량, 가솔린 차량 순으로 영향도가 컸다.

2) 저온조건에서는 가솔린 차량과 디젤 차량 모두 시동 초기 가속구간의 CO₂ 배출량이 많았고, 가솔린보다는 디젤 차량이 더 높은 배출량을 보였다. 하이브리드 자동차는 시동 초기보다는 시험 대부분 구간에서 엔진 구동 범위가 증가하여 전체적인 배출량이 증가하였다.

3) 총중량조건 또한 대부분의 차종에서 에너지소비효율이 감소하였으나 감소폭은 저온조건에 비해 낮은 수준이었다. 특히 하이브리드 자동차의 경우 저온조건과는 달리 총중량조건에서는 다른 차종 대비하여 감소 폭이 가장 작았다.

4) 하이브리드 자동차의 경우는 배터리의 영향으로 저온에서는 CO₂ 배출 증가폭이 가장 컸지만 총중량조건에서는 가장 낮아 일반 내연기관 차량과는 다른 경향을 보였다.

5) 전체적으로 차량의 중량변화보다는 저온조건에 대한 에너지소비효율 영향도가 커 해당 영향인자에 대한 관리의 필요성을 확인할 수 있었다.

6) 본 연구에서는 에너지소비효율의 영향인자를 저온 및 총중량조건으로 제한하였는데, 후속 연구를 통해 차종별로 변별력 있는 결과를 도출할 수 있는 추가적인 영향인자를 검토할 필요가 있다.

후 기

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음. (과제번호 RS-2023-00243220)

Author contributions

J. S. Park; Conceptualization, Data curation, Formal analysis, Investigation, Methodology, Visualization, Resources, Writing-original draft. Y. J. Hong; Data acquisition, Investigation, Writing-review & editing. J. H. Lim; Supervision, Writing-review & editing. M. H. Lee; Funding acquisition, Project administration, Supervision, Validation, Writing-review & editing.

References

1. F. V. Malmborg, 2024, “Explaining differences in policy learning in the EU “Fit for 55”, climate policy package”, *European Policy Analysis*, 10(3), 412-448.
(<https://doi.org/10.1002/epa2.1210>)
2. S. K. Ha, S. H. Tae and R. H. Kim, 2019, “A study on the limitations of South Korea’s national roadmap for greenhouse gas reduction by 2030 and suggestions for improvement”, *Sustainability*, 11(14).
(<https://doi.org/10.3390/su11143969>)
3. K. H. Kim, S. W. Kim, M. H. Lee, S. K. Oh and S. H. Lee, 2014, “The Study on the Assesment Fuel Economy of ybrid Vehicle on Test Modes”, *Journal of the Korean Society for Power System Engineering*, 18(6), 70-76.
(<https://doi.org/10.9726/kspse.2014.18.6.070>)
4. P. Norrby, 2012, “Prediction of coast-down test result”, MS thesis, Chalmers University, Sweden.
5. J. H. Chung, J. S. Kim, J. W. Kim and J. W. Lee, 2016, “Study of Fuel Consumption Characteristics and Regenerative Braking Recovery Rate in a TMED Type Parallel Hybrid Electric Vehicle”, *Journal of Mechanical Science and Technology*, 40(8), 485-494.
(<http://doi.org/10.3795/KSME-B.2016.40.8.485>)