

LPG 직분사 엔진과 마일드 하이브리드 시스템 적용 차량의 CO₂배출 특성 연구

안영국* · 양병규 · 박진일†

A Study of CO₂ Emission Characteristics on the Vehicle with LPG Direct Injection and Mild Hybrid System

An Young kuk, Byeonggyu Yang, and Jinil Park

Key Words: Mild Hybrid Electric Vehicle(MHEV), LPG Direct Injection(LPDi), Simulation

Abstract

Recent vehicle regulations have become increasingly stringent in order to reduce greenhouse gases. Then not only movement to replace internal combustion engine vehicles with hybrid vehicles, but also studies of replacing internal combustion engine fuels with low-pollution fuels are increasing. In this study, the characteristics of a vehicle with LPG fuel engine and mild hybrid system is investigated. To avoid shortage of maximum power on LPG engine, a direct injection system of LPG is applied. In addition, P0 mild hybrid system is adopted to enhance the efficiency of the vehicle. The vehicle model is developed in order to predict fuel economy and CO₂ emission of LPDi MHEV.

기호설명

\dot{m}_f	: 단위 시간당 연료 유량 [kg/s]	P_{Motor}	: 모터 출력[kW]
$P_{Batt,48V}$: 48V battery 입/출력 일률 [kW]	$P_{Motor,in}$: 모터 구동에 필요한 입력 일률[kW]
P_{brake}	: 엔진 제동 동력[kW]	P_{pump}	: 엔진 펌핑 손실 동력 [kW]
$P_{DC/DCcon,in}$: DC/DC converter 입력 일률 [kW]	P_{rl}	: 차량의 주행저항 손실 동력[kW]
$P_{DC/DCcon,out}$: DC/DC converter 출력 일률 [kW]	P_{vi}	: 차량 관성 동력[kW]
$P_{DT,loss}$: 구동계 마찰 손실 동력[kW]	P_{wheel}	: 차량의 바퀴의 동력[kW]
P_{egf}	: 엔진 마찰 손실 동력[kW]	P_{brk}	: 브레이크 패드 손실 동력[kW]
P_f	: 엔진에 투입된 연료가 가진 일률 [kW]	$Q_{LHV,f}$: 연료의 저위발열량 [MJ/kg]
$P_{Ge(n,out)}$: 모터의 발전에 의한 발전 일률[kW]	T_{Motor}	: 모터의 토크[Nm]
P_{ind}	: 엔진 총 도시 동력 [kW]	T_{Wheel}	: 차량의 바퀴의 토크[Nm]
		V	: 차량의 속도 [km/h]
		Ω_{eng}	: 엔진의 크랭크 각속도 [rpm]
		Ω_{motor}	: 모터의 각 속도 [rpm]
		Ω_{wheel}	: 차량 바퀴의 각속도 [rpm]
		HEV	: Hybrid Electric Vehicle
		MHEV	: Mild Hybrid Electric Vehicle
		FCV	: Fuel Cell Vehicle
		EV	: Electric Vehicle

(Received: 15 Nov 2022, Received in revised form: 7 Dec 2022, Accepted: 12 Dec 2022)

*Ajou University

†책임저자, Ajou University

E-mail : jpark@ajou.ac.kr

TEL : (031)219-2351 FAX : (031)219-2352

FTP-75 : Federal Test Procedure
 HWFET : Highway Fuel Economy Test
 SOC : State of Charge

1. 서 론

온실가스 중 철도 및 항공 수송을 제외한 도로수송은 총 CO₂ 배출량의 17%를 차지하고 있다⁽¹⁾. 도로수송은 OECD 국가들이 발생시키는 오염물질 중 배출가스를 발생시키는 주요 대기 오염원이다. 따라서 전 세계적으로 차량의 연비 및 배출물 규제를 점점 강화하는 추세와 함께 저공해 차량의 개발 요구가 늘어나고 있다⁽²⁾. LPG 연료는 인프라 구축의 어려움으로 인해 Fuel Cell Vehicle(FCV)나 Electric Vehicle(EV)로의 대대적인 대체가 불가능 현실점에서 휘발유나 디젤과 비교하여 상대적으로 적은 CO₂ 배출을 기대할 수 있으므로 CO₂ 저감의 중간다리 역할을 할 수 있을 것으로 기대된다. 또한, 차량의 종류별 CO₂ 배출량과 비용을 비교한 연구에서 Hybrid Electric vehicle(HEV)은 FCV나 EV와 같은 다른 저공해 차량과 비교하여 CO₂ 배출량과 비용에서 큰 차이가 없으며, 다른 저공해 차량의 인프라 구축에 드는 시간과 비용을 고려하면 경쟁력이 있다고 할 수 있다⁽³⁾. HEV 차량 중, 저용량 배터리와 모터를 사용하는 Mild Hybrid Electric Vehicle(MHEV)은 저 비용으로 연비를 향상하는 것을 목적으로 하며, 기존의 내연기관을 대체하여 다른 저공해 차량과 함께 점유율이 증가할 것으로 예상된다. MHEV 차량에 관한 연구는 MHEV 차량의 연비에 대한 시뮬레이션 검증 연구⁽⁴⁾, MHEV 시스템의 배터리의 용량에 따른 연비 향상 효과에 관한 연구⁽⁵⁾, MHEV 차량의 구조에 따른 연료 감소 효과에 관한 연구^(3,4) 등이 진행되었으나, 대부분이 전통적인 휘발유, 디젤 내연기관 차량의 MHEV에 관한 연구에 집중되어 있다. 따라서 본 연구는 LPG직분사(LPG Direct injection, LPDi)엔진 차량에 MHEV System을 적용하였을 때, Base LPDi 차량과 LPG P0 MHEV 차량의 시뮬레이션 결과를 비교 분석하여 CO₂ 감소 효과를 파악하기 위해 수행하였다.

2. 차량 시뮬레이션 구성

2.1 P0 Mild Hybrid System

P0 MHEV 차량의 구조는 Fig. 1과 같이 표현할 수 있

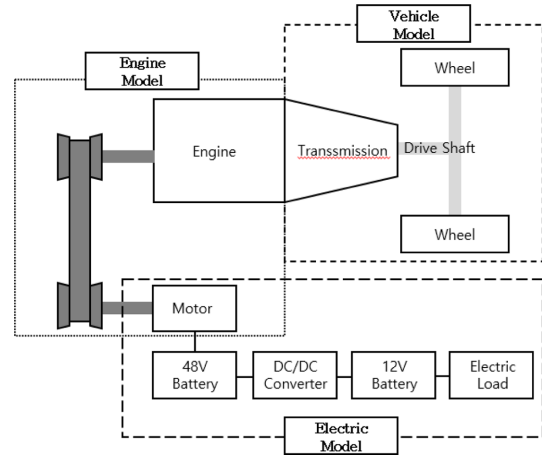


Fig. 1 P0 MHEV system

다. P0 MHEV 차량은 내연기관 차량과 동일하게 엔진에서 발생한 동력이 변속기로 전달된 후 바퀴를 통해 차량이 구동된다⁽⁴⁻⁶⁾. 여기에 추가로 모터에서 발생하는 동력이 엔진과 함께 전달되어 연비 이득을 취할 수 있는 구조이다. 본 연구에서는 시뮬레이션을 구성하기 위해 해당 시스템을 선행시험과 기존 연구⁽⁷⁻⁹⁾들을 이용하여 Engine Model, Electric Model, Vehicle Model로 나누어 P0 MHEV System을 구성하였다.

2.1.1 Engine Model

엔진 모델은 엔진에 투입된 연료가 동력으로 전환되는 과정을 아래와 같이 정의할 수 있다. 엔진에 투입된 일률(Power)은 투입된 연료량과 연료의 저위발열량에 관한 식 (1)으로 정리된다.

$$P_f = \dot{m}_f Q_{LHV,f} \quad (1)$$

엔진의 총 도시 동력(P_{ind})과 펌핑 손실 동력(P_{pump})는 엔진 실린더의 압축-팽창과 배기-흡기 과정에서 발생하며 선행시험을 통해 측정된 실린더 압력(P_{cyl})과 엔진 각속도(Ω_{eng})를 이용하여 아래 식 (2), (3)과같이 정의한다⁽¹⁰⁾.

$$P_{ind} = \frac{\Omega_{eng}}{n_R} \int_{BDC,in}^{BDC,exh} P_{cyl} dV_{cyl} \quad (2)$$

$$P_{pump} = \frac{\Omega_{eng}}{n_R} \int_{BDC,exh}^{BDC,in} P_{cyl} dV_{cyl} \quad (3)$$

모터의 출력(P_{motor} , $P_{motor} > 0$)과 모터의 발전 동력(P_{motor} , $P_{motor} < 0$)은 strain gauge sensor를 이용하여 측

정한 모터 토크(T_{motor})와 모터의 각속도(Ω_{motor})를 이용하여 계산하며, 양의 값을 가질 때는 구동계에 동력을 전달하고, 음의 값을 가질 때는 엔진이나 차량 관성으로부터 동력을 전달받아 발전을 통해 전기에너지를 생산한다. 모터의 제동 동력(P_{brake})은 엔진의 플라이휠에서 Torque telemetry를 이용하여 측정된 토크와 엔진 각속도(Ω_{eng})를 이용하여 계산한다. 마지막으로 엔진 마찰 손실 동력(P_{egf})은 P_{ind} 에서 P_{pump} , P_{brake} , (P_{motor} , $P_{motor} < 0$)를 제외한 나머지 항이다.

$$P_{motor} = T_{motor}\Omega_{motor} \quad (4)$$

$$P_{brake} = T_{brake}\Omega_{eng} \quad (5)$$

$$P_{egf} = P_{ind} - P_{pump} - P_{brake} + P_{motor} \quad (6)$$

2.1.2 Electric model

Electric Model은 Motor/Generator와 DC/DC Converter, Battery 모델로 구성되며 각 모델의 입력 및 출력 에너지에 관련된 수식은 아래와 같이 표현할 수 있다. 모터의 출력(P_{motor})의 경우 식 (6)으로 위에서 정의하였다. 모터가 동력원으로 사용될 때 필요한 모터의 입력 일률($P_{motor,in}$)과 발전기로 사용될 때의 모터 발전 일률($P_{Gen,out}$)은 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$P_{motor,in} = V_{motor}I_{motor}(P_{motor} > 0) \quad (7)$$

$$P_{Gen,out} = V_{motor}I_{motor}(P_{motor} < 0) \quad (8)$$

모터에서 손실되는 에너지는 구동 시 손실 일률($P_{motor,loss}$)과 발전 시 손실 일률($P_{Gen,loss}$)로 구분되며 아래와 같이 정량화할 수 있다.

$$P_{motor,loss} = P_{motor,in} - P_{motor}(P_{motor} > 0) \quad (9)$$

$$P_{Gen,loss} = P_{motor} - P_{Gen,out}(P_{motor} < 0) \quad (10)$$

DC/DC Converter의 입력 및 출력 일률은 측정된 입, 출력 전압과 전류에 의해 다음과 같이 정의된다.

$$P_{DC/DCcon,in} = V_{DC/DCcon,in}I_{DC/DCcon,in} \quad (11)$$

$$P_{DC/DCcon,out} = V_{DC/DCcon,out}I_{DC/DCcon,out} \quad (12)$$

$$P_{DC/DCcon,loss} = V_{DC/DCcon,in}I_{DC/DCcon,out} \quad (13)$$

48V 배터리의 전류 입출력에 따라 손실 및 저장되는 에너지는 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$P_{batt,48V} = P_{Gen,out} - P_{motor,in} - P_{DC/DC,in} \quad (14)$$

2.1.3 Vehicle Model

Vehicle Model은 Transmission과 Drive Shaft로 구성된 Drive Train model과 차량 바퀴의 구동과 제동을 결정하는 Wheel Model로 구성되며 엔진의 동력이 차량의 구동계를 통해 바퀴로 전달되어 차량을 구동시키는 과정을 아래와 같이 정의할 수 있다.

구동계 마찰 손실 동력($P_{DT,loss}$)은 구동계에서부터 바퀴 전단의 Driveshaft까지 에너지가 전달되는 과정에서 마찰로 발생하는 손실이며 다음과 같이 정리한다.

$$P_{DT,loss} = P_{brake} - P_{wheel} \quad (15)$$

차량 바퀴의 동력(P_{wheel})은 Driveshaft에서 Strain gauge를 이용해 측정된 차량의 바퀴의 토크(T_{wheel})를 측정하고 차량 바퀴의 각속도(Ω_{eng})를 이용해 아래와 같이 정의할 수 있다.

$$P_{wheel} = T_{wheel}\Omega_{wheel} \quad (16)$$

주행저항 손실 동력(P_{rl})은 차량의 Coast down Test를 통해 측정된 a_0 , a_1 , a_2 를 이용하여 다음과 같이 정의한다.

$$P_{rl} = a_0 + a_1V + a_2V^2 \quad (17)$$

$$P_{rl} = F_{rl}V \quad (18)$$

차량의 관성 동력(P_{vi})는 차량 중량과 차량의 가속도를 이용하여 계산된다.

$$P_{vi} = (m_{vehicle}a_{vehicle})V \quad (19)$$

브레이크 패드 손실 동력(P_{brk})은 차량의 브레이크 작동 시 브레이크 패드에 의해 손실되는 에너지로 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$P_{brk} = P_{wheel} - P_{rl} - P_{vi} \quad (20)$$

2.2 시뮬레이션 환경 구성

구성된 P0 MHEV System의 모델들을 이용하여 모터와 엔진의 동력분배에 초점을 두기 때문에 오차를 최소화할 수 있는 Backward 시뮬레이션 방식을 이용하여 시뮬레이션 환경을 구성하였다⁽⁸⁾. Backward 방식은 차량의 속도패턴에서부터 요구동력을 계산하기 때문에 시뮬레이션의 검증에도 유리한 장점이 있다. 시뮬레이션은 MathWork 社의 MATLAB 소프트웨어에 포함된 Simulink 프로그램을 이용하여 구성하였다. 구성된 시뮬레이션은 유럽과 미국에서 대표적으로 사용되는 WLTC, FTP-75, HWFET 주행 모드의 속도패턴을 이용하여 해

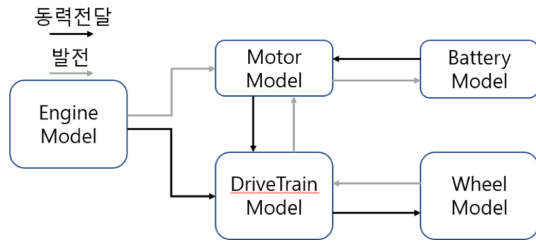


Fig. 2 P0 MHEV Simulation Energy flow schematic

석을 진행하였으며, FTP-75 모드의 결과와 HWFET 모드의 결과를 이용해 계산되는 Combined 해석결과도 제시하였다.

2.2.1 시뮬레이션의 에너지 흐름

시뮬레이션에서 각 모델 간의 에너지 전달은 동력전달과 발전으로 나눌 수 있으며, 동력 에너지의 흐름과 발전 에너지의 흐름을 나타낸 시뮬레이션 개략도는 Fig. 2와 같다. 시스템을 구성하는 각 모델에 대하여 설명하면 다음과 같다.

Engine model은 Drive Train model에 전달되는 동력의 주 동원이며, 배터리 충전 상태(State of Charge, SOC)가 부족할 경우 모터에 동력을 전달해 발전을 담당하기도 한다. Motor model은 MHEV의 모터 어시스트 시 배터리에서 DC/DC converter를 통해 모터로 전력이 전달되고 모터에서 기계적인 동력으로 전환되어 동력계로 전달된다. 발전으로 동작할 경우, 주로 엔진에서 동력을 전달받아 발전하는 경우와 차량 감속 시 차량의 관성 에너지를 동력전달계를 통해 전달받아 발전하는 회생 제동으로 구분된다.

Battery Model은 Electric model을 구성하는 요소 중 모터를 제외한 나머지 48V 배터리, DC/DC Converter, 12V 배터리, 전장 부하로 구성되며, 차량에서 소모되는 기본적인 전장 부하와 모터의 구동/발전에 의한 배터리의 충·방전에 의한 배터리의 SOC를 계산한다.

Drive train Model은 엔진과 모터로부터 전달받은 동력을 바퀴로 전달하며, 감속 시 차량 관성 에너지를 모터로 전달하는 과정 역시 구성되어있다.

Wheel Model은 차량의 속도패턴에 따라 바퀴에 걸리는 주행저항 에너지와 차량의 관성 에너지를 계산한다.

2.2.2 시뮬레이션 검증

본 연구에서는 P0 MHEV System 추가로 인한 CO₂ 감소 효과를 예측하는 데 목적이 있으므로, 기존 내연기

Table 1 Vehicle specifications

Engine	Displacement [cc]	1999
	Type	4 stroke
	Power [kW/RPM]	113/6000
	Type of injection	LPDi
Electric Parts	AC 3 phase Motor [kW]	12kW
	48V Lithium ion Battery[Ah]	9.5Ah
Transmission	Gear stage [-]	6stage AT
Weight	ETW [kg]	1495

관의 실제 차량시험 연비(CO₂ 배출) 결과와 시뮬레이션의 연비(CO₂ 배출) 결과의 비교검증이 필요하고, 배터리 SOC는 모터와 엔진의 동력 배분에 따라 값이 변하기 때문에, 동력 배분 검증을 위해 실제 차 시험결과와 시뮬레이션의 결과 비교검증이 필요하다.

본연구에서 시뮬레이션 작성에 사용된 차량의 제원은 Table 1에 기재하였다.

Figure 3은 시뮬레이션 데이터가 측정데이터의 엔진 속도, 엔진 토크, 배터리 SOC의 거동을 추종하는지 나타낸 그래프이다. 엔진 속도를 살펴보면 시뮬레이션은 토크컨버터의 슬립의 영향을 작게 반영하여 토크컨버터의 슬립 제어가 일어나는 구간의 실시간 엔진 속도는 차이를 보이지만 전체적인 거동은 실제 측정데이터를

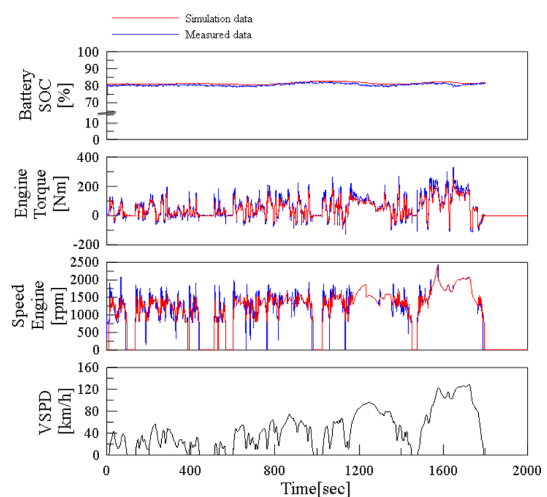


Fig. 3 Comparative verification of simulation data with measured data

Table 2 Simulation verification result

WLTC	Measured	Simulation	Difference [%]
Total Fuel [g]	705.2	694.6	1.5
Fuel Consumption [km/L]	13.49	13.70	-1.5
Engine Brake efficiency [%]	40.3	40.2	0.1
Average SOC difference [%]	1.8%		

잘 추종하고 있는 모습을 보인다.

엔진 토크는 양의 값은 엔진의 구동을 나타내며, 음의 값은 차량이 감속할 때 엔진의 작동이 멈추고 차량 관성에 의한 역토크가 발생하는 상황이다. 시뮬레이션 데이터의 엔진 토크 거동 역시 측정데이터의 거동과 유사한 모습을 보인다.

배터리 SOC의 경우 측정데이터는 측정된 배터리 전압과 전류를 통해 도출된 배터리 전력의 입 출력 누적값과 배터리 용량을 고려한 계산 값이다.

시뮬레이션의 배터리 SOC 거동 또한 측정데이터의 거동을 추종하는 모습을 보인다.

시뮬레이션과 실차 모드시험의 연비 결과는 아래 Table 2와 같다. 차량시험과 시뮬레이션 간의 연비 기준 오차가 약 2% 정도 차이가 남을 확인할 수 있다.

SOC의 경우 특정 지점의 값을 도시하는 의미가 없으므로 전체구간의 SOC의 평균 오차 값을 도시하였다. SOC의 평균 오차는 1.8%를 보이며 실시간 거동 또한 시뮬레이션이 측정값을 잘 추종하는 모습을 보이므로 시뮬레이션을 통한 LPDi Base 차량과 LPDI P0 MHEV 차량을 연비(CO₂ 배출)특성을 예측하기에 적합할 것으로 판단된다.

3. LPDi Base & MHEV Simulation Result Comparison

3.1 LPDi Engine Base Vehicle

LPDi 엔진을 사용하는 Base 차량의 시뮬레이션 환경은 Table 1에 도시된 차량의 LPDi 2.0L 엔진을 가진 차량 제원을 기준으로 구성되었으며 해당 LPDi 엔진의 Bsf Map은 Fig. 4와 같다. Bsf Map은 엔진 단품시험 진행이 불가능하여 부득이하게 모드 주행 테스트를 통

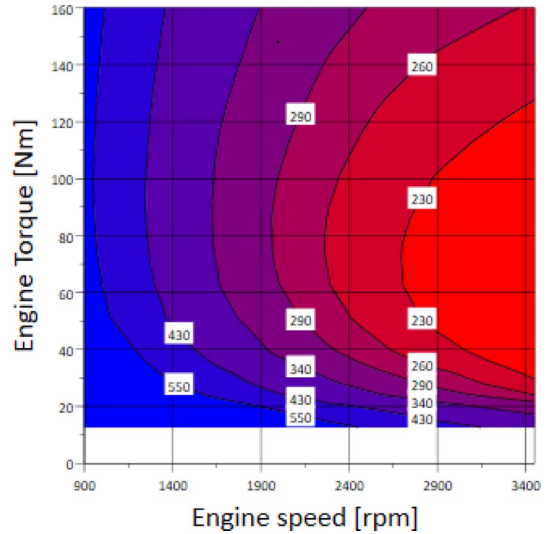


Fig. 4 LPDi Engine Bsf Map

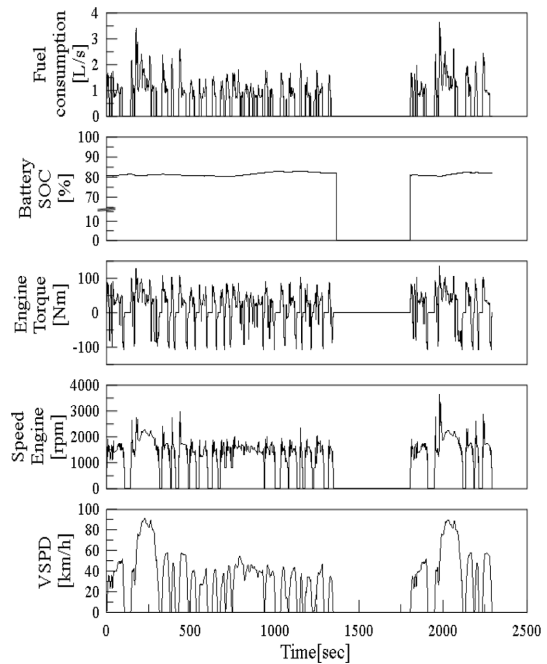


Fig. 5 Base LPDi Vehicle simulation data

해 수집된 데이터를 이용하여 작성되었으며, 따라서 모드 주행 시 엔진이 운전되는 일부 영역에 대해서만 Map이 작성되어있다.

Figure 5는 FTP-75 모드 시험 시뮬레이션에서 도출되는 결과들을 그래프로 나타낸 것이다. LPDi Base 차량의 경우 기존 내연기관과 같은 구조를 가지므로 배터리

Table 3 Base LPDi Simulation Result

Mode test	Fuel consumption [km/L]
WLTC	13.63
FTP-75	13.35
HWFET	16.53
Combined	15.15

는 차량의 전동 부품을 구동하는데 평균 10A 내외의 적은 에너지를 사용한다. 따라서 Fig. 5의 배터리 SOC의 거동과 같이 SOC의 10% 내외를 보인다.

배터리 SOC가 일정 레벨 이하로 떨어질 때 Base 차량은 벨트로 연결되어 엔진의 동력으로 구동되는 Alternator에서 차량의 전장 소모를 감당하므로 이때는 전장 부하에 필요한 출력을 엔진에서 더 부담하게 된다. 각 주행모드에 대한 연비 결과는 Table 3에 기재하였다.

3.2 LPDi P0 MHEV

LPDi P0 MHEV 시뮬레이션은 기존 LPDi 2.0 차량 시뮬레이션에 P0 MHEV System의 모터와 Electric model을 추가하여 시뮬레이션을 구성하였으며, P0 Mild Hybrid System의 경우 기존의 엔진의 Alternator를 대체하여 Motor/Generator가 장착되며 48V Electric System이 추가로 설치되지만, 해당하는 추가장치의 무게는 등가 관성 증량에 변화를 줄 정도는 아니라고 판단되기 때문에 무게 변화는 무시한다.

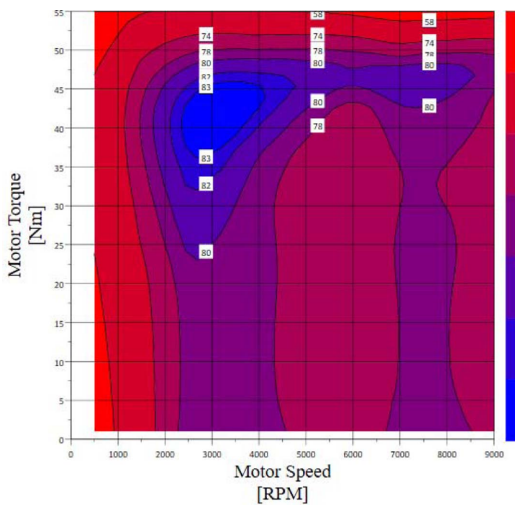


Fig. 6 P0 MHEV Motor Efficiency

P0 MHEV 시뮬레이션에 사용된 엔진은 Base 차량과 동일한 LPDi 엔진을 사용하는 것을 가정하므로 동일한 Bsf map을 사용한다. 하지만 MHEV 시스템을 적용할 경우 동일한 Bsf map을 가진 엔진이라도 일부 고 부하 동작 영역을 모터 어시스트를 이용하면 효율이 좋은 중 부하영역 운전대로 바뀌어서 연료 절감 효과를 기대할 수 있다. P0 MHEV 시뮬레이션에 사용된 모터의 효율은 Fig. 6와 같다. 모터 효율은 실제 거동을 모사하기 위해 실제 차량과 같이 벨트와 벨트 풀리를 함께 사용하여 시험하였으며, 실제 차량에서 사용되는 영역만을 시험한 결과이다.

시뮬레이션으로 도출되는 데이터는 FTP-75 모드 시험을 대표로 Fig. 7에 도시하였다. LPDi P0 MHEV의 경우 모터가 엔진과 벨트로 연결되어 있으므로, 엔진의 On/off 제어는 불가능하여(EV모드 불가) Fig. 7에서와같이 모터 속도가 항상 엔진 속도와 연동되는 거동을 보인다. Fig. 7의 모터 토크는 모터의 구동 시에는 양의 값을 가지고 발전 시에는 음의 값을 가지며 발전은 주로 차량 감속 시의 회생 제동으로 이루어지는 것을 확인할 수 있다. MHEV 시스템은 모터의 Assist에 의한 배터리 에너지 소모와 발전기 용량의 크기로 인한 회생 제동 에너지가 커짐에 따라 Base 대비 배터리 SOC의 증가/감소 폭이 크며 Fig. 7의 배터리 SOC 거동에서 이를 확인할 수 있다.

각 모드에 대한 연비 결과는 Table 4에 기재하였다.

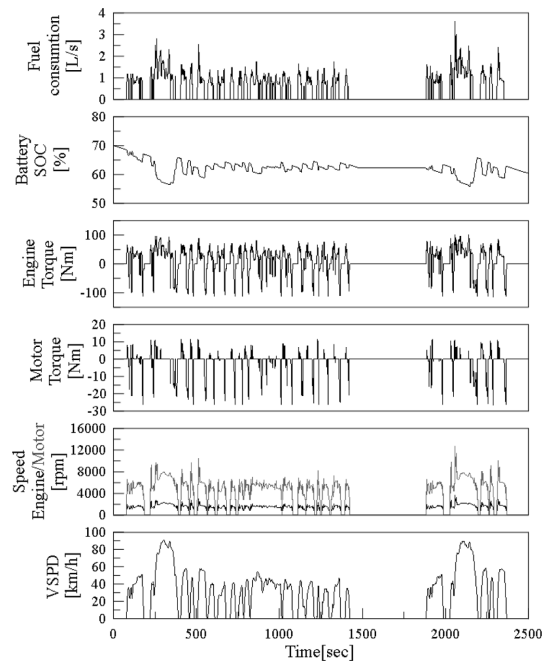


Fig. 7 LPDi P0 MHEV simulation data

Table 4 LPDi MHEV simulation result

Mode test	Fuel consumption [km/L]
WLTC	14.60
FTP-75	14.67
HWFET	17.23
Combined	16.27

3.3 CO₂ 저감 기대효과 분석

Figure 8은 FTP-75모드의 일부 구간의 LPDi P0 MHEV 차량과 LPDi Base 차량의 토크와 연료 분사를 비교한 그래프이다. Fig. 8에서 LPDi P0 MHEV 시뮬레이션의 토크 데이터는 모터 어시스트로 인해서 Base 차량 대비 토크 저감이 이루어졌고, 그에 따라서 연료 분사량 역시 감소했음을 볼 수 있다.

Table 5는 WLTP, FTP-75, HWFET, Combine 주행 모드를 시뮬레이션하였을 때 LPDi Base차량과 LPDi P0 MHEV 차량의 CO₂ 배출 결과이다.

LPDi Base 차량과 P0 MHEV 차량의 CO₂ 배출을 비교할 경우 WLTP와 FTP-75와 같이 저속구간이 많은 모드 테스트의 경우 각각 7%와 8.9%로 감소 효과가 크지만, 고속모드인 HWFET의 경우 모터의 어시스트 개입 비율이 떨어지기 때문에 약 3.7%로 효과가 상대적으로 낮은 것으로 파악된다.

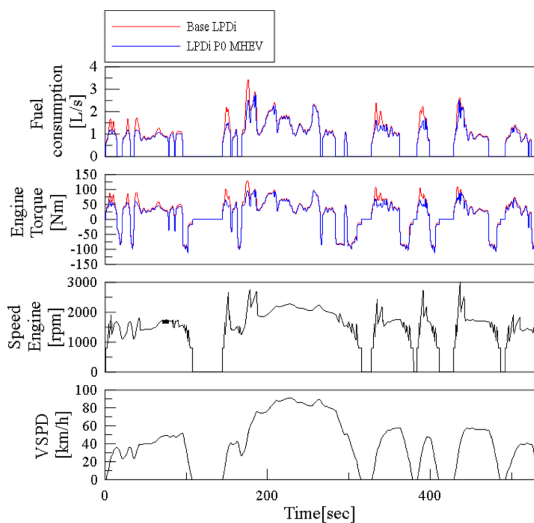


Fig. 8 Base & MHEV Engine Torque, Fuel consumption Comparison

Table 5 Comparison of CO₂ emission predictions

Mode Test	CO ₂ exhaust [g]		Difference [%]
	Base LPDi	LPDi P0 MHEV	
WLTP	177.66	165.2	7.0
FTP-75	129.2	117.7	8.9
HWFET	103.5	99.7	3.7
Combine	119.7	112.2	6.3

4. 결 론

본 연구에서는 LPDi 차량에 P0 Mild Hybrid system을 적용할 경우 기대되는 CO₂ 배출 감소 효과를 알아보기 위해, LPDi 차량과 P0 MHEV system의 거동을 모델링하고 시뮬레이션 환경을 구성하여 LPDi 내연기관 차량과 LPDi P0 MHEV 차량의 CO₂ 배출을 비교 분석하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

(1) Base 차량과 P0 Mild Hybrid system 각 부의 에너지 흐름을 Engine Model, Electric Model, Vehicle Model로 나누어 수식화하고 이를 이용하여 시뮬레이션 환경 구성하였다.

(2) 구성된 시뮬레이션 환경은 Base 차량 기준 2% 이내의 연비 오차를 보였으며, 시뮬레이션을 통해 Base 차량과 P0 MHEV 차량의 CO₂ 감소 효과를 예측할 수 있음을 확인하였다.

(3) Base 차량과 P0 MHEV 차량의 CO₂ 배출을 시뮬레이션을 통해 도출한 결과 FTP-75기준 약 8.9% HWFET 기준 약 3.6%의 CO₂ 감소 효과를 보인다.

후 기

본 연구는 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 대기 환경 관리 기술사업화 연계 기술개발 사업의 지원을 받아 연구되었습니다(2021003390002).

참고문헌

- (1) IEA, CO₂ Emissions from Fuel Combustion 2014, Organization for Economic Co-operation and Development

- ment, 2014; Part3.5.
- (2) J. Thomas, Vehicle Efficiency and Tractive Work: Rate of change for the Past Decade and Accelerated Progress Required for U.S. Fuel Economy and CO₂ Regulation, SAE Int. J, Vol. 9, 2016, 290~305.
- (3) P. Prevedouros and L. Mitropoulos, Life cycle Emission and cost study of light duty vehicles. transportation Research Procedia, Vol. 15, 2016, 749~760.
- (3) Bao, Ran, Victor Avila, and James Baxter. Effect of 48V Mild hybrid system layout on power train system efficiency and its potential of fuel economy improvement. No. 2017-01-1175. SAE Technical Paper, 2017.
- (4) S. Lee, J. Cherry, M. Safoutin, A. Neam, J. McDonald and K. Newman, Modeling and Controls Development of 48 V Mild Hybrid Electric Vehicles SAE Technical Paper (No. 2018-01-0413).
- (5) M. Schudeleit, C. Sieg and F. Küçükey, The potential of 48V HEV in real driving. Internationals Stuttgarter Symposium, 2016, pp. 837~854.
- (6) J. Junak, Development of vehicle drive train and its components-solutions for CO₂ reduction. In 2015 International Conference on Sustainable Mobility Applications Renewables and technology (SMART), IEEE, 2015, pp. 1~6.
- (7) In Chun Chung, Hyeheun Kang, Jinil Park, Jonghwa Lee, Fuel Economy Improvement Analysis of Hybrid Electric Vehicle. International Journal of Automotive Technology, Vol. 20, 2019, pp. 531~537.
- (8) H. Song, Modeling and Experiments for the breakdown of fuel consumption in a passenger car, Ajou university Ph.D Dissertation, 2002.
- (9) In Chun Chung, Study of energy management strategy for MHEV including engine characteristics and drivig pattern, Ajou university, Ph.D dissertation, 2020.
- (10) J. B. Heywood, Internal Combustion Engine Fundamentals, 1998, pp. 161~200.