



HVO 및 HVO 혼합경유 사용에 따른 Euro 6d 규제 만족 국내 경유 차량의 배출가스 및 연비 특성 연구

김성우^{1),2)*} · 임재혁¹⁾ · 이미은³⁾ · 이민호⁴⁾ · 강형규⁵⁾ · 강염석⁶⁾

Effects of HVO and Its Blends on Emissions and Fuel Economy of a Euro 6d Diesel Passenger Car

Sungwoo Kim^{1),2)*} · Jea-Hyuk Lim¹⁾ · Mi Eun Lee³⁾ · Min-Ho Lee⁴⁾ · Hyungkyu Kang⁵⁾ · Yeumseok Kang⁶⁾

Received 19 May 2026 Revised 5 August 2026 Accepted 14 August 2026 Published online 16 September 2026

ABSTRACT This study evaluates the applicability of hydrotreated vegetable oil (HVO) and its blends to a Euro 6d diesel passenger vehicle. Emission and fuel economy tests were conducted using a chassis dynamometer under the Worldwide Harmonized Light Vehicules Test Cycle with four fuels: diesel without biodiesel (HBD0), HVO blends (HBD3 and HBD28), and neat HVO (HBD100). The results showed that gaseous (THC, CO, and NO_x) and particulate (PM and PN) emissions were comparable across all fuels. This is attributed to the advanced after-treatment systems used in the test vehicle. CO₂ emissions decreased with increasing HVO content, while fuel economy slightly decreased owing to the lower volumetric heating value of HVO. Overall, HVO and its blends had minimal impact on the emissions and fuel economy of modern diesel vehicles.

Key words HVO(수첨바이오오일), HBD(수첨바이오디젤), Exhaust gas(배기가스), Fuel economy(연비), Green house gas(온실가스)

Nomenclature

F.E : fuel economy, km/L
HC : measured emissions of hydrocarbons, g/km
CO : measured emissions of carbon monoxide, g/km
CO₂ : measured emissions of carbon dioxide, g/km
 ρ : density of the test fuel, kg/m³

Subscript

C/H : carbon/hydrocarbon
CFM : cubic feet per minute
CFPP : cold filter plugging point

- 1) Principal Researcher, Research Institute of Future Technology, Korea Petroleum Quality & Distribution Authority
- 2) Ph.D. Candidate, Department of Mechanical Engineering, Seoul National University
- 3) Senior Researcher, Research Institute of Future Technology, Korea Petroleum Quality & Distribution Authority
- 4) Center Leader, Research Institute of Future Technology, Korea Petroleum Quality & Distribution Authority
- 5) Team Leader, Research Institute of Future Technology, Korea Petroleum Quality & Distribution Authority
- 6) General Manager, Research Institute of Future Technology, Korea Petroleum Quality & Distribution Authority

*Corresponding author: ksw0020@kpetro.or.kr

Tel: +82-43-240-7952

Fax: +82-43-240-7969

CLD	: chemiluminescence detector
DPF	: diesel particulate filter
FFV	: flexible fuel vehicle
H.FID	: heated flame ionization detector
HBO	: hydro-treated bio-diesel
HVO	: hydro-treated vegetable oil
IGBT	: insulated gate bipolar transistor
LDV	: light duty vehicle
LNT	: lean NOx trap
MIM	: motor in the middle
NDIR	: non-dispersive infrared
NHV	: net heating value
PM	: particulate matter
PN	: particle number
RDE	: real driving emission
SCR	: selective catalytic reduction
SDPF	: SCR on diesel particulate filter
WLTC	: world-wide light duty vehicle test cycle

1. 서론

산업화 이후 온실가스 배출량 증가에 따라 지구 평균기온 상승, 해수면 상승 및 이상기후 현상 등 기후변화 문제가 심화되고 있다. 이에 따라 세계 각국은 수송 분야에서의 온실가스 배출 저감을 위하여 전기자동차 등 무탄소 배출 차량의 보급 확대를 추진하고 있다. 그러나 전기자동차 생산에 필요한 자원 확보, 높은 차량 가격, 충전 인프라 부족 등의 제약으로 인해 일부 국가를 제외하고 보급 속도는 제한적인 상황이다. 이러한 상황에서 내연기관 차량은 지속적으로 판매될 것으로 예측되며, 완전한 무탄소 배출 자동차의 보급이 이루어지기 전까지 운행되는 내연기관 자동차와 전동화가 어려운 중대형 화물자동차가 배출하는 온실가스를 저감할 수 있는 현실적인 방안이 필요하다.

바이오연료를 포함한 저탄소 또는 탄소중립 연료는 운행 자동차의 온실가스 배출량을 저감할 수 있는 현실적인 방안 중 하나이다. 현재 바이오에탄올, 바이오디젤이 상용화되어 온실가스 저감에 기여하고 있으나, 일부 국가에서 판

매되는 에탄올 전용 차량 또는 FFV를 제외하고, 일반 내연기관에 적용할 수 있는 한계로 인하여 바이오에탄올은 일반적으로 10 부피 % 이하, 바이오디젤은 7 부피 % 이하의 비율로 휘발유와 경유에 각각 혼합되고 있어 온실가스 배출량 저감에 기여할 수 있는 잠재력에 한계가 있는 것이 현실이다.

반면, 최근 일부 국가에서 상용화가 시작된 수첨바이오디젤(Hydro-treated vegetable oil; HVO 또는 HBD)는 경유와 혼합하여 사용할 수 있을 뿐만 아니라, HVO 100%를 경유 차량에 혼합할 수 있는 탄소중립 연료이다. HVO는 식물성 오일에 수소를 첨가하는 공정을 적용하여 생산되는 연료이며, 이성화 공정을 추가하게 되면 저온 유동성이 개선되기 때문에 바이오디젤의 단점으로 알려진 저온 시동성을 개선할 수 있다.^[1] HVO는 현행 경유 품질기준을 대부분 만족하는 물성을 가지고 있으나, 경유 대비 윤활성이 열악하고, 밀도와 C/H ratio가 낮으며, 세탄가가 높은 특징을 가지고 있다.^[2]

열악한 윤활성의 경우 윤활성 향상 첨가제 또는 바이오디젤을 혼합함으로써 개선이 가능하나, 경유 대비 낮은 밀도로 인하여 연료 단위 부피당 연비 또는 최대 출력이 감소될 개연성이 있으며, 낮은 C/H ratio와 높은 세탄가로 인하여 점화지연이 짧아지기^[3] 때문에 NOx 배출량 증가 잠재성을 가지고 있다.^[4]

따라서 HVO 100% 적용은 이러한 연료 간 차이를 극복할 수 있는 연소 제어 범위를 가진 엔진 기술 또는 배출가스 저감장치 적용이 필요하다. HVO 생산자는 HVO가 최신 자동차에 적용될 수 있음을 명시하고 있으며, 자동차 제작사는 자사의 자동차에 따라핀계 경유 품질기준(EN 15946)을 만족하는 연료 사용에 대한 보증을 발표하고 있다.

본 연구에서는 국내 승용 경유 차량에 대한 HVO 적용성을 검증하기 위하여, 국내 파일럿 플랜트에서 생산한 HVO를 따라핀계 경유 사용을 보증하지 않은 국내 최신 경유 차량에 주유하여 차량의 배출가스 및 연비에 미치는 영향을 분석하였다. 연료는 바이오디젤이 혼합되지 않은 경유와 이경유에 HVO를 3%, 28% 혼합한 혼합 연료, HVO 100% 연료이며, 차량은 국내 제작사의 2017년 10월 1일부터 적용되는 국내 경유 자동차 배출가스 허용 기준 및 RDE-LDV 기준을 만족하는 경유 승용차(Euro 6d equivalent)이고, 시

험방법은 국내 배출가스 경유 승용자동차 시험방법인 WLTC를 적용하였다.

2. 시험장치 및 방법

2.1 시험 연료 및 차량

시험용 연료는 총 4종으로 바이오디젤이 첨가되지 않은 경유(HBD 0)와 이 경유에 HVO를 3%, 28% 혼합한 혼합연료(HBD 3, HBD 28) 그리고 HVO 100%이다. 경유는 국내 품질기준을 만족하는 국내 생산 경유이며 바이오디젤의 간섭효과를 제외하기 위하여 바이오디젤을 혼합하지 않았다. HVO는 국내에서 이성화 공정을 포함하여 생산된 연료이며, 열악한 윤활성을 개선하기 위하여 윤활성 향상제가 첨가되어 있다. HBD 3은 국내 신재생연료 의무 혼합 기준

(RFS) 확대 방안에 따라 적용되는 HVO 혼합량을 평가하기 위한 목적이며, HBD 28은 HVO 혼합에 따른 국내 경유 품질기준을 만족하는 혼합물로서 평가대상에 포함하였다. 또한 국내 최신 차량에 HVO 적용성을 평가하기 위하여 100% HVO를 평가대상으로 선정하였다. 각 시험용 연료의 상세 물성 시험 결과는 Table 1에 나타내었다.

시험용 차량은 2025년 국내 제작사 제작 차량으로 2.2L 급 경유 엔진을 장착하고 있다. 이 차량은 2017년 10월 1일부터 적용되는 경유 자동차의 국내 배출가스 허용기준 및 RDE-LDV 기준을 만족하며, 이 기준은 유럽 배출가스 규제 중 Euro 6d 기준에 상응하는 기준이다. 이 기준 만족을 위하여 차량은 urea-SCR, SDPF가 장착되어 있다. 그러나 이 시험 차량의 제작사는 HVO 연료 사용에 대한 보증 승인을 하지 않았다. Table 2에 차량의 상세 제원을 표시하였다.

Table 1. Properties of test fuels

Fuel	HBD 0	HBD 3	HBD 28	HBD 100
Item				
Pour point (°C)	-18	-18	-18	-24
Flash point (°C)	83	82	78	70
Viscosity (40°C, mm ² /s)	2.7	2.7	2.7	2.8
Distillation (T90, °C)	315	313	310	N/A
Carbon residue (on 10% distillation residue)	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Water & sediment (vol.%)	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Sulfur (mg/kg)	< 3.0	2	1	< 3.0
Ash (wt.%)	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Cetane index	55	56	63	93
Copper strip corrosion (100°C, 3h)	1	1	1	1 (@50°C)
CFPP (°C)	-19	-19	-21	-21
Lubricity (60°C, μm)	350	350	350	300
Density (15°C, kg/m ³)	828	827	815	781
Poly aromatics (wt.%)	5	2	1	-
Aromatics (wt.%)	23	22	18	< 0.8
NHV (MJ/kg)	42.88	43.04	42.99	43.49
C/H ratio (wt.%)	0.8584	0.8616	0.8533	0.8470

Table 2. Specifications of test vehicle

Model year	2025
Engine type	In-line 4 cylinder, Turbo
Displacement (L)	2,151
Transmission	8th dual clutch
Emission reduction system	LNT + SDPF + urea-SCR
Type approval regulation	Euro 6d equivalent

2.2 시험장치

시험용 연료와 차량을 시험하기 위하여 사용된 장치는 차대동력계(M4500, Burke E. Poter, USA)와 배출가스 분석기(MEXA-7400H, Horiba, Japan) 및 입자개수측정기

Table 3. Specifications of chassis dynamometer

Roll type & diameter	Single Roll (48inch MIM type)
Simulated vehicle weight	454 ~ 5 400 kg
Electric motor absorber type	AC IGBT Vector
Max. speed	200 km/h
Registration of actual speed value	± 0.01% km/h
Registration of actual tractive force value	± 0.1% Full scale (Full scale : 5 870N)
Measurement of driving distance	Encoder type
Max. flow rate of cooling fan	63 000 CFM

Table 4. Specifications of emission analyzer

Emission	Method	Range		Linearity & repeatability
		Min.	Max	
HC	H,FID	0 ~ 10 ppmC	0 ~ 500 ppmC	Within ± 2% of full scale
CO	NDIR	0 ~ 10 ppm	0 ~ 2 500 ppm	
CO ₂		0 ~ 1%	0 ~ 16%	
NO _x	CLD	0 ~ 10 ppm	0 ~ 500 ppm	
CH ₄	GC-FID	0 ~ 10 ppm	0 ~ 50 ppm	
NMHC	Calculated by subtracting CH ₄ from HC			

Table 5. Specifications of chassis particle number counter

Legal basis	EU ECE R83, R89
Particle number counter measurement range	0~104 #/cm ³ (calibrated) up to 5×104 #/cm ³ in single-count mode
Evaporation tube temperature	Adjustable from 300°C ~ 350°C (350°C default)
Particle concentration reduction factor (RCRF)	- Adjustable in range 100 ~ 20 000 - Primary dilution(hot) : 10 ~ 1 000 - Secondary dilution(cold) : 10, 15, 20

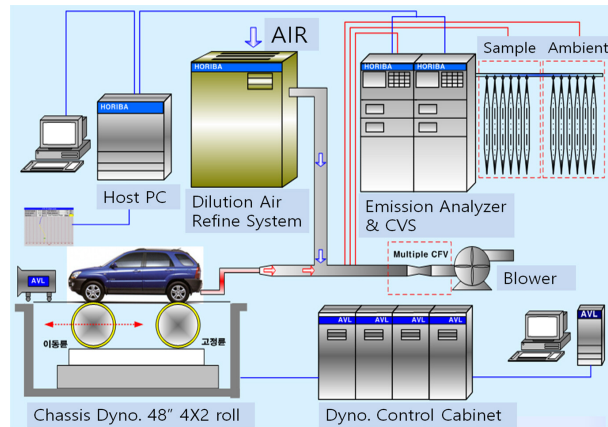


Fig. 1. Schematic the experimental system

(APC, AVL, Austria)로 구성되어 있다. 각 장치의 상세 제원은 Table 3~5에 나타내었고, 장치 구성 개략도는 Fig. 1에 나타내었다.

2.3 시험 방법

시험용 연료는 총 4종으로 바이오디젤이 첨가되지 않은 경유(HBD 0)와 이 경유 배출가스 및 연비 측정을 위하여 사용된 시험방법은 국내 경유차 및 유럽 배출가스 인증 시험 방법 중 하나인 WLTC 시험방법이다. 시험온도는 23°C

± 5°C 이며, 배출가스 측정 시험 전 WLTC 추종속도계획에 따라 예비 주행 후 동일 시험온도에서 6~36시간 주차(Soaking)뒤 냉간시동 조건에서 WLTC 추종속도계획에 따라 운전을 시작하여 배출가스 측정을 실시하였다. 시험 중 DPF 재생에 따른 이상결과 취득을 방지하기 위하여 연료 교체 후 DPF 강제 재생을 실시하였다.

연비는 카본밸런스법으로 계산되었으며, HVO와 HVO의 변화하는 밀도를 반영하기 위하여 아래 식 (1)을 이용하였다.

$$F.E = \frac{\rho}{1.165 \times (0.858 \times HC + 0.429 \times CO + 0.273 \times CO_2)} \quad (1)$$

각 연료를 주유한 차량은 위 방법에 따라 3회 반복 시험하여 취득한 결과의 평균을 최종 결과로 사용하였으며, 오차는 3회 시험데이터의 표준편차를 구하여 오차막대로 표기하였다.

3. 결과 및 토의

3.1 가스상 물질

Fig. 2는 HVO 혼합량에 따른 총탄화수소(THC), 일산화탄소(CO), 질소산화물(NO_x) 및 탄화수소+질소산화물(NMHC+NO_x) 배출량을 나타내고 있다. Fig. 2 (a)에 나타낸 THC는 HBD 0, HBD 3, HBD 28은 0.050 g/km, HBD 100 연료는 0.048 g/km 배출되었다. 경유 대비 HVO가 3%, 28% 혼합된 연료는 배출량의 차이가 나타나지 않았고, HVO는 3.3%의 배출량 저감이 나타났다. HBD 0과 HBD 100의 시험 결과의 오차와 절대 변화량을 고려할 때 HVO 혼합에 따른 THC의 유의미한 변화는 나타나지 않은 것으로 판단된다.

Fig. 2 (b)에 나타낸 HVO 혼합량별 CO 배출량은 HVO 함량 증가에 따라 각 0.051 g/km, 0.049 g/km, 0.047 g/km, 0.048 g/km로 나타났으며 HBD 0 대비 HBD 3, HBD 28, HBD 100 연료는 각 3.9%, 7.8%, 5.9% 감소하였다. HVO 혼합 연료 중 HBD 28의 CO 저감율이 가장 크게 나타나 HVO 혼합량에 증가에 따른 선형적인 CO 배출량 감소는 나타나

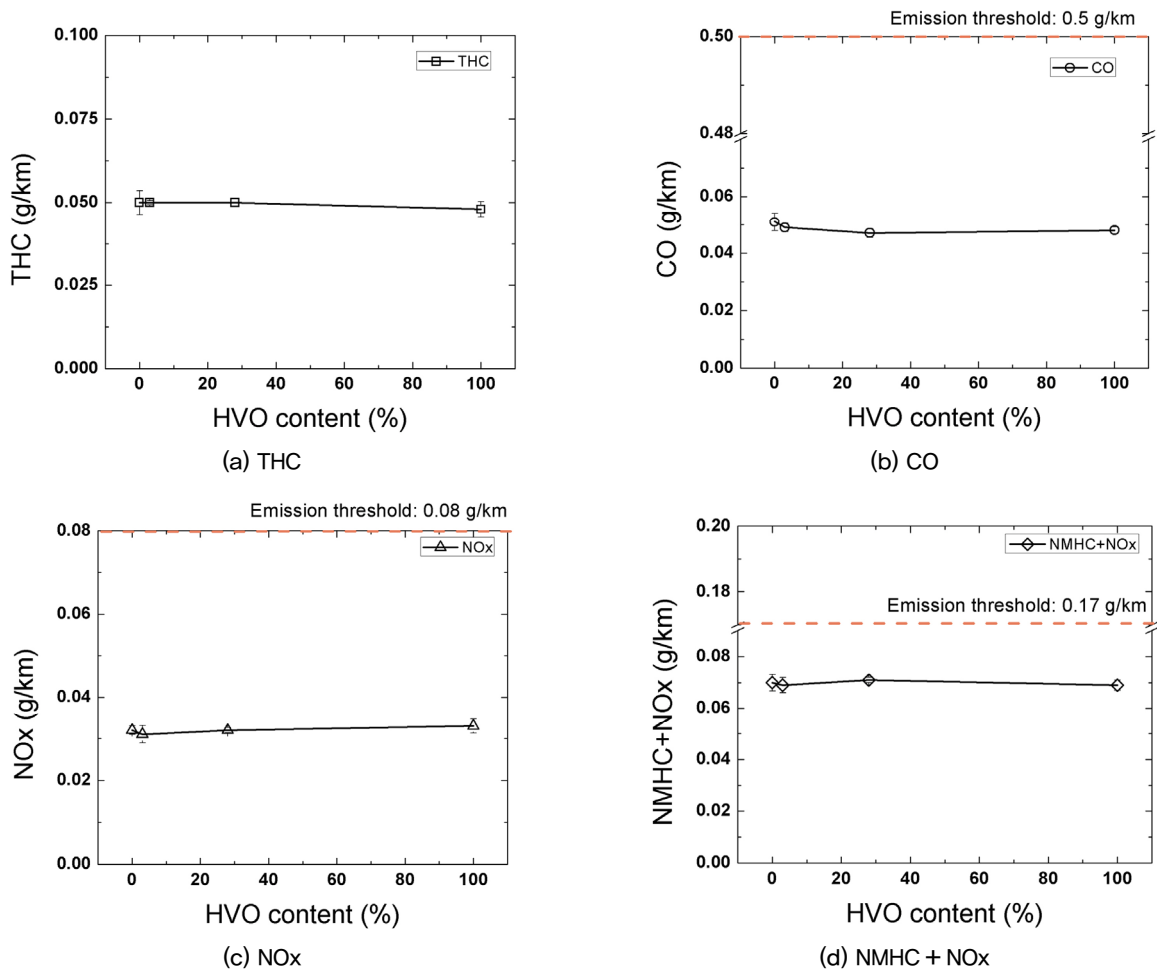


Fig. 2. Gaseous emission factors

지 않았으나 HVO의 혼합은 경유 대비 CO 배출량을 저감 되는 것은 명확한 것으로 판단된다.

Fig. 2 (c)에 나타낸 NOx는 HBD 0, HBD 3, HBD 28, HBD 100 연료에서 각각 0.032 g/km, 0.031 g/km, 0.032 g/km, 0.033 g/km 배출되었으며, 경유 대비 HBD 3은 3.1% 감소, HBD 28은 변화없음, HBD 100은 3.1% 증가한 수치이다. NOx 배출량의 변화가 있었으나 혼합량에 따른 경향은 나타나지 않았으며 각 조건의 오차범위를 고려할 때 유의미한 변화는 나타나지 않은 것으로 판단된다.

Fig. 2 (d)에 나타낸 NMHC+NOx 배출량 역시 HVO 혼합량 증가에 따른 유의미한 변화는 나타나지 않았다. 특히 Fig. 2 (b)~(d)에 나타낸 배출가스 항목별 허용 기준은 각 시험 연료의 시험 결과보다 매우 높은 수준임을 고려할 때, 최신 규제 만족 차량의 경우 단기적인 HVO 또는 혼합연료

의 사용이 배기가스 배출량 변화에 미치는 영향은 매우 적은 것으로 판단된다.

이러한 결과는 시험 차량이 최신 배출가스 규제를 만족하는 차량이라는 점이 가장 큰 요인으로 작용한 것으로 판단된다. 과거 배출가스 규제를 만족하는 차량으로 연구한 선행 문헌들을 살펴보면 HC와 CO의 경우 주로 감소하고 질소산화물은 차량에 따라 감소하거나 증가하는 것으로 보고한다.

본 연구와 동일한 WLTC 모드에서 경유(또는 B7)와 HVO의 배출가스 변화를 비교한 Jaworski 등은 Euro 3 규제 만족 경유 자동차를 대상으로 B7 대비 HVO는 CO 68%, HC 53%, NOx 8% 감소하였다고 보고하고 있으며,^[5] Suarez-Bertoa 등은 Euro 6b 만족 두 대의 차량(SCR 장착 차량 1대(D1), LNT 장착 차량 1대(D2))을 대상으로 한 연구에서

경유 대비 HVO는 D1, D2에서 각각 CO 4%, -19%, THC -50%, -15%, NO_x 139%, -11%의 변화율을 나타내었음을 언급하고 있다.^[6] 그리고 NEDC 모드로 유럽 배출가스 규제 기준(Euro 3 ~ 6) 만족 차량별 배출가스 특성을 연구한 Signer 등의 연구에서는 대부분의 차량이 HVO 사용 시 HC와 CO는 감소하였으나 NO_x는 증가한 결과를 제시하였다.^[7]

HVO는 일반 경유가 포함하고 있는 CO 및 HC 배출량 증가의 원인으로 알려진 (다고리)방향족을 함유하지 않기 때문에 일반적인 관점에서 CO와 THC 감소가 나타나는 것은 합리적인 결과인 것으로 판단된다. 그러나 HVO의 높은 세탄가 및 낮은 CH ratio의 영향으로 NO_x 증가의 잠재성을 가지고 있으나, 차량에 따라 HVO 사용에 따른 NO_x 배출량의 증감과 그 정도는 다른 것으로 판단된다.

그러나 위 연구에 사용된 차량들은 최근 적용된 실도로 주행 NO_x 규제(RDE-LDV)를 만족하지 않는 차량이기 때문에 HVO 사용에 따른 NO_x 변화율이 크게 나타나고 있으나, 본 연구에 사용된 RDE-LDV NO_x 규제 만족 차량은 굳건한 NO_x 배출량 저감 제어로 인하여 엔진 배출 NO_x 배출 증감에 상관없이 HVO 사용에 따른 변화가 나타나지 않은 것으로 판단된다.

Demuyne 등의 연구에서 Euro 6b 대응 차량에 LNT와 두 개의 SCR을 부착하여 B7과 HVO 사용 시 배출가스를 비교한 결과 두 연료의 NO_x 배출량은 측정오차 수준 이내의 차이를 보인 것^[8]은 NO_x 저감 장치로 인하여 HVO의 영향이 나타나지 않은 추정을 뒷받침해 준다.

3.2 입자상 물질

Fig. 3은 HVO 혼합량에 따른 시험 차량의 입자상 물질 배출량을 나타내고 있다. Fig. 3 (a)에 나타난 입자상 물질(PM)의 배출량은 모든 연료에서 0.0001 g/km의 배출량을 나타내어 HVO 혼합에 따른 변화는 나타나지 않았다.

또한 Fig. 3 (b)에 나타난 입자 개수(Particle number: PN)는 HBD 0, HBD 3, HBD 28, HBD 100 연료에서 각 2.77E9 #/km, 2.81E9 #/km, 2.90E9 #/km, 2.87E9 #/km 배출되어, HBD 0 대비 각 1.4%, 4.7%, 3.6% 증가한 수치지만, 입자 개수 측정장치의 오차 수준(정확도 $\pm 5\%$ reading)을 고려할 때 모든 연료가 동등 수준의 입자 개수를 배출하였다고 보는 것이 합리적이다.

앞서 언급한 것과 같이 HVO는 파라핀계 연료이며, 입자상 물질 생성의 전구체인 다고리방향족을 포함하지 않고 있으므로 엔진에서 배출되는 입자상 물질은 충분히 저감될 것으로 예측할 수 있다. 그러나 본 연구에 사용된 차량은 DPF 장착 차량이기 때문에 HVO 사용에 따른 입자상 배출물의 저감을 나타내지 않았다.

반면 DPF가 장착되지 않은 차량을 대상으로 경유 대비 HVO의 입자상 물질 배출량을 비교한 Singer 등의 연구에서는 HVO의 입자상물질 배출량이 약 20~80% 감소했다고 언급하고 있으며, DPF가 장착된 차량에서는 측정 정확도에 비하여 매우 작은 차이를 나타내었다^[7]고 보고하고 있는 점은 본 연구의 결과와 동일 선상에 있다.

다만, HVO의 사용에 따라 엔진 배출(Engine-out) 입자상물질 배출량이 감소한다면, DPF에 축적되는 양도 적기

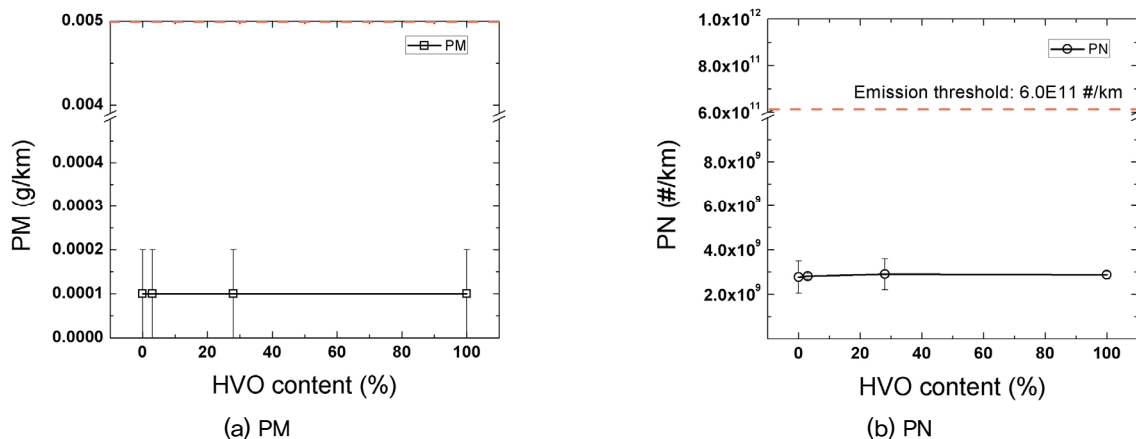


Fig. 3. Particulate emission factors

때문에 DPF 재생 빈도가 낮아짐에 따른 부가적 효과를 획득할 수 있을 것으로 판단된다.

3.3 온실가스 및 연비

Fig. 4는 온실가스 중 이산화탄소(CO_2) 및 메탄(CH_4) 배출량과 연비(Fuel economy)를 나타내고 있다. Fig. 4 (a)에 나타난 CO_2 는 HBD 0, HBD 3, HBD 28, HBD 100 연료 순으로 각 156,688 g/km, 154,600 g/km, 156,749 g/km, 151,594 g/km 배출되어, HBD 0 대비 HBD 3, HBD 100 연료는 각 1.3%, 3.3% 감소되었으며 HBD 28 연료는 변화가 없었다. HVO는 경유 대비 CH ratio가 작기 때문에 CO_2 배출량이 경유보다 적은 것으로 판단된다.

앞서 언급한 Euro 6b 이전 차량을 대상으로 한 선행 문헌에서도 HVO 함량 증가에 따라 CO_2 는 감소(~4%)하거나 동등 수준을 배출하는 것으로 나타났다.^[5~7]

Fig. 4 (b)에 나타난 CH_4 는 HBD 0가 0.011 g/km 배출하였고, 나머지 연료는 0.012 g/km 배출되었다. HVO 및 HVO 혼합연료가 경유 대비 9.1% 많은 CH_4 를 배출하였으나 정량적 변화와 시험 오차를 고려하였을 때 배출량의 변화는 없는 것으로 보는 것이 합당하다.

앞서 언급한 Euro 6b 이전 차량을 대상으로 한 선행 문헌에서도 HVO 함량 증가에 따라 CH_4 는 감소(0.001 g/km 수준)하거나 동등 수준을 배출하는 것으로 나타났다.^[6]

Fig. 4 (c)는 연비 결과를 도시하고 있다. HVO 함량 증가 순으로 16,595 km/L, 16,789 km/L, 16,324 km/L, 16,180 km/L의 연비를 보였다. 이 결과는 경유 대비 각 연료는 각 1.2%, -1.6%, -2.5%의 변화율을 보여 HBD 3 연료를 제외하고 HVO 함량 증가에 따른 감소 경향을 나타내고 있다. HVO 함량 증가에 따른 연비의 감소는 HVO가 경유 대비 낮은 밀도를 가지고 있기 때문으로 판단된다. 앞서

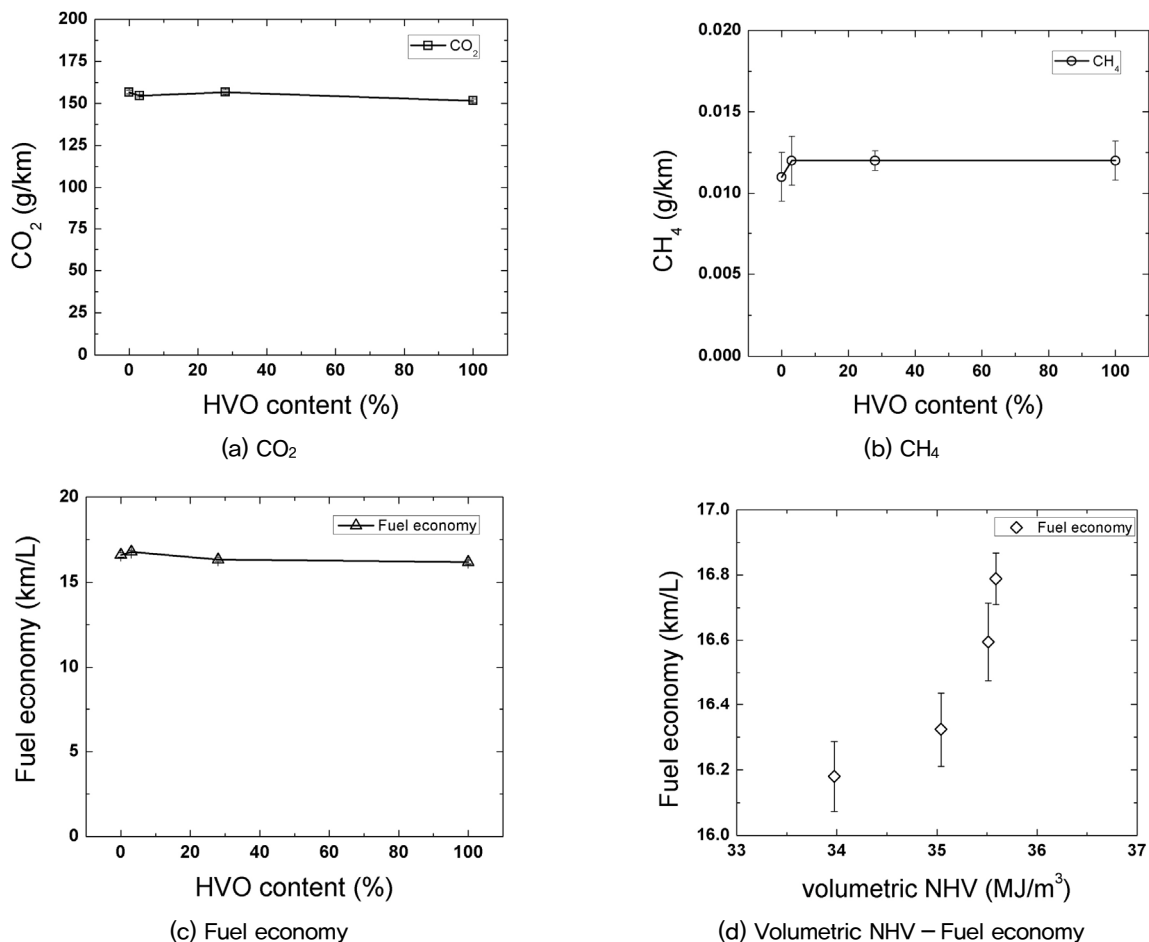


Fig. 4. Green house gases emission factor, fuel economy and NHV

언급한 CO₂는 HVO의 낮은 C/H ratio로 인하여 감소하였기 때문에 식 (1)의 카본밸런스법 적용 시 연비 계산값 상승하는 요소로 작용하였으나, HVO의 밀도는 경유 대비 작은 요소가 더 크게 작용하여 연비 값이 감소한 것이다. 본 연구에 사용된 단위 질량당 참발열량(NHV)은 HVO가 경유보다 크지만, 밀도를 반영한 단위 부피당 참발열량은 작기 때문에 동일 운전조건 및 부하에서 동일 에너지를 분사하기 위하여 다소 많은 부피의 연료 분사기 필요했을 것으로 판단된다. Fig. 4 (d)는 HVO 함량별 단위 부피당 참발열량을 나타내고 있고, 변화의 경향은 연비 경향 변화와 일치하고 있다.

앞서 언급한 Euro 6b 이전 차량을 대상으로 한 선행 문헌에서도 HVO 함량 증가에 따라 연비는 감소(약 4% 내외)하거나^[6] 동등수준^[5]을 배출하는 것으로 나타났다.

다만, 본 연구에서 보인 연비 감소율은 국내 제작자동차 연비 사후관리 기준(> -5%)과 공인시험기관 상관성 검토 기준(중위수의 $\pm 2.5\%$ 이내)에 비하여 작은 수치로, 변화의 수준은 높지 않은 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구에서는 국내 승용 경유 차량에 대한 HVO 적용성을 검증하기 위하여 국내 파일렛 플랜트에서 생산한 HVO와 HVO 혼합 경유를 따라핀계 경유 사용을 보증하지 않은 국내 최신 경유 차량(Euro 6d 만족)에 주유하여 차량의 배출가스 및 연비에 미치는 영향을 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) **가스상 물질:** HVO 혼합 경유와 HVO는 경유 사용 시 배출되는 THC, CO, NO_x와 동등 수준의 배출량을 나타내었다.
- 2) **입자상 물질:** HVO 혼합 경유와 HVO는 경유 사용 시 배출되는 PM, PN과 동등 수준의 배출량을 나타내었다.
- 3) **온실가스 및 연비:** 온실가스 중 CO₂와 연비는 HVO 함량 증가에 따라 감소하는 경향을 나타내었으며, CH₄는 변화가 나지 않았다.

실도로배출가스 규제를 만족하는(Euro 6d) 최신경유 차량은 HVO와 HVO 혼합경유를 사용하여도 배출가스 및 연비에 큰 영향을 미치지 않을 것으로 판단된다. 그러나 본 연구에서 사용된 시험차량 1대의 결과를 전체를 대표하기 어렵다. 따라서 HVO 100% 연료가 국내에 상용화되기 위해서는 예상치 못한 문제 발생 시 소비자의 권익을 위하여 국내 자동차 제작사의 HVO 연료 사용에 대한 보증 승인이 함께 이루어져야 할 것을 제언한다.

감사의 글

본 연구는 산업통상부의 지원을 받아 수행되었습니다.

References

- [1] Hancsók, J., Krár, M., Magyar, S., Boda, L., Holló, A., and Kalló, D., 2007, "Investigation of the production of high cetane number bio gas oil from pre-hydrogenated vegetable oils over Pt/HZSM-22/Al₂O₃", Microporous and Mesoporous Mater., **101**(1-2), 148-152.
- [2] No, S., 2014, "Application of hydrotreated vegetable oil from triglyceride based biomass to CI engines – A review", Fuel, **115**, 88-96.
- [3] Marasri, S., Ewphun, P.-P., Srichai, P., Charoenphonphanich, C., Karin, P., Tongroon, M., and Kosaka, H., 2019, "Combustion characteristics of hydrotreated vegetable oil-diesel blends under EGR and low temperature combustion conditions", In. J. Automot. Technol., **20**(3), 569-578.
- [4] Szeto, W., and Leung, D.Y.C., 2022, "Is hydrotreated vegetable oil a superior substitute for fossil diesel? A comprehensive review on physicochemical properties, engine performance and emissions", Fuel, **327**, 125065.
- [5] Jaworski, A., Kuszewski, H., Szpica, D., Woś, P., Balawender, K., Ustrzycki, A., Krzemiński, A., Jakubowski, M., Mieczkowski, G., Borawski, A., et al., 2025, "Comparative study on the effects of diesel fuel, hydrotreated vegetable oil, and its blends with pyrolytic oils on pollutant emissions and fuel consumption of a diesel engine under WLTC dynamic test conditions", Energies, **18**(18), 5038.

- [6] Suarez-Bertoa, R., Kousoulidou, M., Clairotte, M., Giechaskiel, B., Nuottimäki, J., Sarjovaara, T., and Lonza, L., 2019, “Impact of HVO blends on modern diesel passenger cars emissions during real world operation”, *Fuel*, **235**, 1427-1435.
- [7] Singer, A., Schröder, O., Pabst, C., Munack, A., Bünger, J., Ruck, W., and Krah, J., 2015, “Aging studies of biodiesel and HVO and their testing as neat fuel and blends for exhaust emissions in heavy-duty engines and passenger cars”, *Fuel*, **153**, 595-603.
- [8] Demuynck, J., Dauphin, R., Yugo, M., Mendoza Villafuerte, P., and Bosteels, D., 2021, “Advanced emission controls and sustainable renewable fuels for low pollutant and CO₂ emissions on a diesel passenger car”, *Sustainability*, **13**(22), 12711.