

자동차의 연료별 연비 및 배출가스 특성 평가

강 은 정 · 서 영 호*

자동차부품연구원

The vehicle's fuel economy and emission characteristics evaluation by fuel type

Eunjeong Kang · Youngho Seo*

Korea Automotive Technology Institute, 303, Pungse-ro, Pungse-myeon, Dongnam-gu, Cheonan-si, Chungcheongnam-do 133-791, Korea

(Received 2014. 04. 22 / Accepted 2014. 05. 16)

Abstract : The purpose of this study is analysis to vehicle's fuel economy and emission gas characteristics by fuel type. The test vehicle were selected to similar weight and performance, the test vehicle was used three representative mode(CVS-75, HWFET and NEDC) in order to evaluation fuel economy and emission gas. For reference, environment pollution cost was calculated on the basis of the exhaust emissions occurred in the test in progress.

Key words : Vehicle fuel(자동차 연료), Fuel economy(연비), Driving cycle(주행모드), Emission(배출가스), Greenhouse gas(온실가스), Environment pollution cost(환경오염비용), Chassis Dynamometer(차대동력계)

1. 서 론

대기 환경에 대한 사회의 관심이 높아지며, 대기오염물질의 배출원 중 가장 높은 비중을 차지하고 있는 도로이동오염원에 대하여 배출가스 규제는 갈수록 강화되고 있는 실정이다.¹⁾ EU는 2007년 12월에 EU 27개국에서 신규 등록되는 승용차의 CO₂ 배출량을 2012년부터 평균 130g/km로 규제하는 법안을 발표하고, 단계적 도입(phase-in) 방식을 적용하여 배출량 규제를 실시하였다. 또한 우리나라 정부는 2020년까지 기준 배출전망치 대비 30% 감축한다는 국가 중기온실가스 감축목표(BAU, Business As Usual)를 선제적으로 수립하고 대내외에 발표하였다.²⁾

현재 우리나라의 제작자동차 배출가스 허용기준은 휘발유 및 LPG자동차는 미국 캘리포니아주 기준을 따르고 있으며, 경유 자동차는 유럽의 기준을 따르고

있다.³⁾ 국내의 배출가스 측정 모드는 연료별 자동차에 대한 인증 방식이 상이하여 경유용 자동차와 LPG용 자동차의 배출가스 비교가 어려운 실정이다.

본 연구는 연료별 차량의 배출가스 인증모드시험(CVS-75 mode, NEDC mode)의 조건별 데이터를 기반으로 Cross Check를 하여 연비 및 배출가스의 특성을 설명하고, EU의 대기오염물질 단위당 피해비용을 통하여 각 연료별 배출가스 특성에 따른 주요 오염물질의 환경성비용을 산출하고자 한다.

2. 시험 및 해석 방법

2.1 시험 장치

본 연구의 실차 시험은 실내에서 실외와 같은 도로 조건을 모사하여 차량의 연비 및 배출가스 측정을 실시하기 위하여 자동차부품연구원의 차대동력계(AVL, 48inch Single roll 4WD)와 배기측정시스템(HORIBA, MEXA-7400LE 및 AVL, i60)을 사용하였다. Fig.1은 시

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

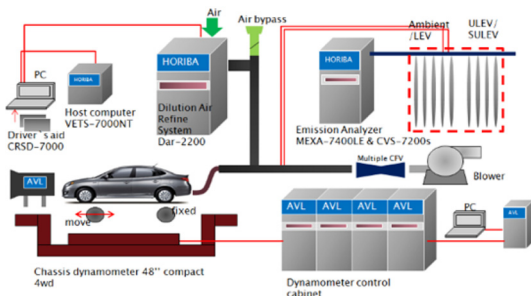


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus



Fig. 2 LPi fueled YF SONATA

험장비의 개요도를 나타낸다.

2.2 시험 차량 제원 및 특성

시험 대상 차량은 연료별로 유사한 크기 및 성능을 가지고 있는 차량(LPG차량: YF SONATA, 경유 차량: i40)이며 LPG 차량의 배출가스 수준은 ULEV, 경유 차량의 배출가스 수준은 EURO-5를 만족한다.

시험 대상인 두 차량은 모두 유사한 주행거리(약 3,000km) 및 동일한 6단 자동 변속기가 적용된 차량이다. i40의 경우 엔진 다운사이징으로 인해 엔진 배기량이 YF SONATA보다 314cc 낮으나 디젤 엔진의 특성과 터보차저 장착으로 인해 최대 토크가 YF SONATA 대비 낮은 RPM 영역에서 약 65% 높은 성능을 가지고 있다.



Fig. 3 Diesel fueled i40

2.3 시험 방법

본 연구에서 연비 및 배출가스 특성을 평가하기 위하여 총 3개의 대표 모드를 사용하였다.

CVS-75 mode는 국내의 승용자동차 연비/배출가스

인증시험 모드이며 NEDC mode는 유럽 주행시험 모드로 국내 승용디젤 차량의 배출가스 공인모드이다. HWFET는 국내 공인연비 모드로 고속도로의 주행 흐름을 모사한 연비 측정 모드이다. 한편 여름철에 에어컨을 가동시키며 주행하는 운행패턴을 모사하기 위하여 에어컨을 가동시킨 조건(A/C ON)으로 배출가스 시험을 실시하여 기본조건의 연비 및 배출가스와 비교할 수 있도록 하였다.

시험은 산업통상자원부 고시 제 2013-4호 “자동차의 에너지소비효율 및 등급표시에 관한 규정” 및 환경부고시 제2013-38호 “제작자동차 인증 및 검사 방법과 절차 등에 관한 규정”을 기준으로 수행되었으며, 시험이 진행되는 동안 시험실 온도 및 습도는 각각 20~30°C(68~86°F), 30~70 R.H.%를 유지하였다.

모드의 주행특성은 아래의 Fig.4에 시간별 속도 프로파일로 나타내었다.

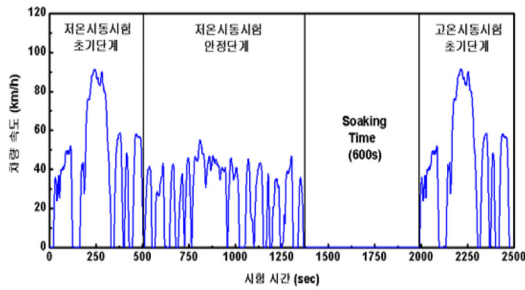
Table 1 Specifications of test vehicles

구분	YF SONATA	i40
엔진형식	2.0 LPi	1.7 VGT
변속기형식	6단 자동	6단 자동
사용연료	LPG	경유
배기량(cc)	1,999	1,685
최고출력 (ps/rpm)	157 /6,200	140 /4,000
최대토크 (kg · m/rpm)	20.0 /4,200	33.0 / 2,000~2,500
공인연비(km/L)	10.5	18
CO ₂ (g/km)	169	149

3. 시험 결과 및 고찰

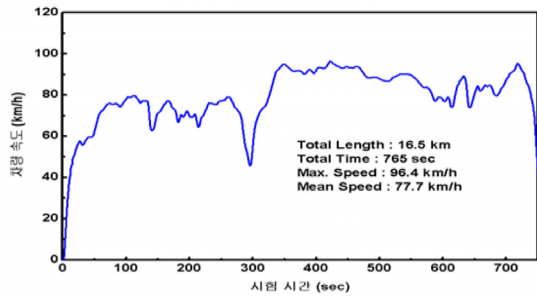
3.1 연료별 자동차 배출가스 특성

Fig.5는 연료별 시험 차량의 배출가스 배출량을 나타낸 그래프이다. 배출가스는 HC, CO, NOx, PM을 측

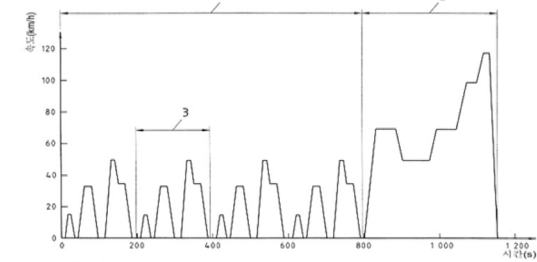


	시간	평균속도	거리	상태
Phase1	505초	40.41km/h	5.79km(5cycle)	냉간시동
Phase2	865초	25.63km/h	6.25km(13cycle)	고온안정화
Soaking	600초	-	-	휴지시간
Phase3	505초	40.41km/h	5.79km(5cycle)	온간시동

(a) CVS-75 mode



(b) HWFET mode



- 1 도시 주행 절차
- 2 도시 외 주행 절차의 사이클
- 3 기본 도시 주행의 사이클

	시간	최고속도	평균속도	거리
ECE15 cycle	780sec	50 km	19km/h	4.05km
EUDC cycle	400sec	120 km	62.6km/h	6.95km
NEDC	1,180sec	-	-	11.0km

(c) NEDC mode

Fig.4 Fuel economy & Emission test cycle

정하였으며, 참고적으로 모드별 크게 두 가지 조건으로 시험을 수행하였다. 두 가지 조건은 기본 조건 및 에어컨을 작동시키며 주행한 A/C ON 조건이다.

3.1.1 HC 배출특성

시험차량의 배출가스 중에 HC는 일반적으로 불완전연소에 의해 생성된다.

Fig.5의 모드별 HC 배출량의 그래프를 참조하면 CVS-75 모드에서는 LPG차량의 HC 배출량이 더 적게 나오는 반면 NEDC모드에서는 경유 차량의 HC 배출량이 더 적게 나왔다. 이는 연료별 각 배출가스 규제 모드(휘발유,LPG:CVS-75모드, 경유:NEDC모드)에 맞춘 공연비 제어 및 점화시기 등의 엔진운전제어 최적화 선정과 관련된 것으로 판단된다.

3.1.2 CO 배출특성

Fig.5의 모드별 CO 배출량 그래프에서 LPG차량의 CO 배출량은 경유 차량 대비 최소 약 3배에서 최대 약 13배 높게 나왔다. 이는 차량의 연비 및 배출가스 시험 전에 12시간 이상 차량을 soaking 시킨 후에 차량 시험을 실시하는데 LPG차량의 연소 특성상 저온시동시 능후한 연료공급으로 인해 CO가 많이 발생된 것으로 판단된다.

3.1.3 NOx 배출특성

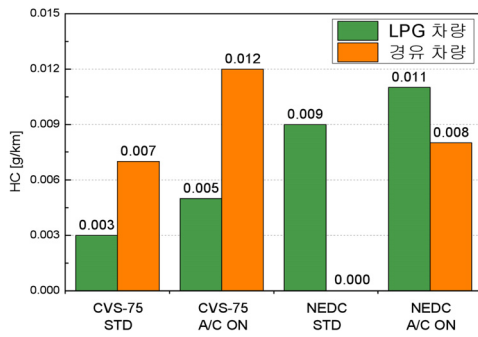
Fig.5의 모드별 NOx 배출량 그래프에서 NOx가 거의 발생하지 않은 LPG 차량에 비해 경유 차량의 NOx 배출량은 LPG 차량 대비 약 20배~60배 정도 높게 나왔다. 이는 ECU mapping을 통해 최적의 분사시기 및 분사량 제어에 따라 NOx 배출의 편차가 크게 나타나기 때문인 것으로 판단된다.

3.1.4 PM 배출특성

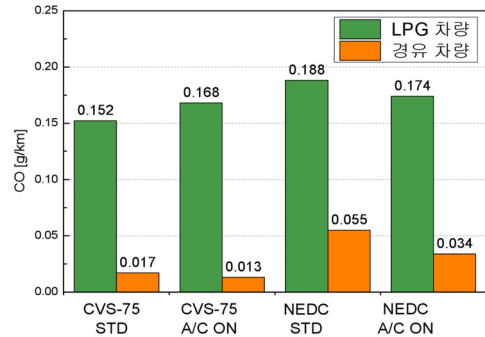
Fig.5 모드별 PM배출량 그래프에서 PM 배출량은 LPG 차량 및 경유 차량에서 거의 배출되지 않는다. 이론적으로 LPG 차량에서는 이론공연비로 잘 조정되어 있기 때문에 PM은 크게 문제시되지 않는다. 또한 경유 차량은 DPF 기술의 발달로 PM의 양은 극히 소량 배출되는 경향이 있다.

3.2 연료별 자동차 온실가스(CO₂) 특성

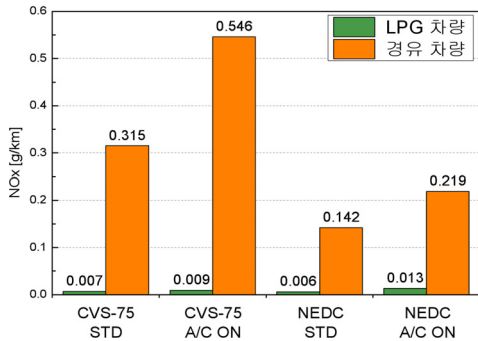
Fig.6 모드별 CO₂ 배출량 그래프에서 CO₂ 배출량은 LPG 차량 및 경유 차량이 비슷한 수준으로 나타난다. 그러나 에어컨을 작동시키며 시험한 A/C ON 조건에서는 고부하로 운행되는 구간이 많아지면서 경유 차량의 CO₂ 배출량이 각 모드의 기본조건보다는 약간 더 증가한 것으로 보인다.



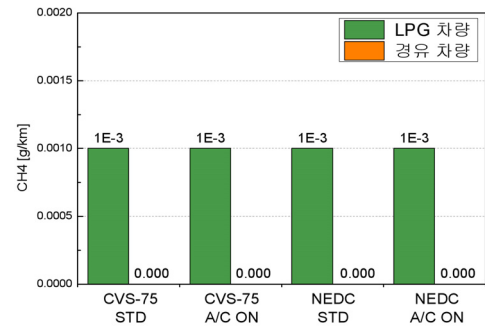
(a) HC Emission on each driving cycle



(b) CO Emission on each driving cycle



(c) NOx Emission on each driving cycle



(d) CH4 Emission on each driving cycle

Fig.5 Emission on each driving cycle

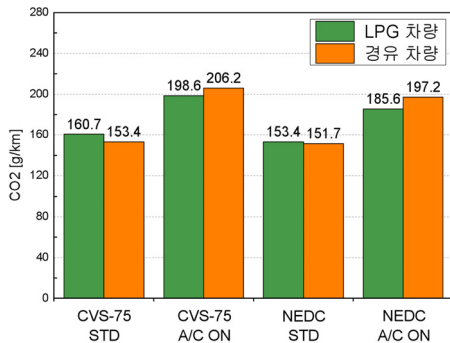


Fig.6 Greenhouse gas(CO₂) on each driving cycle

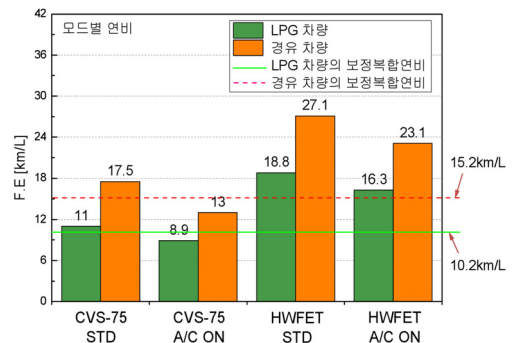


Fig.7 Fuel economy on each driving cycle

3.2 연료별 자동차 연비 특성

Fig.7는 연료별 각 모드의 연비를 나타낸 그래프이다. LPG 차량의 모드별 연비는 A/C ON 조건 대비 기본조건에서 약 24~47% 정도의 차이가 났으며 경유 차량의 모드별 연비는 A/C ON 조건 대비 기본조건에서 약 35~48% 정도의 차이가 났다. 모드별 A/C ON 조건 대비 기본조건에서의 연비 수준은 CVS-75모드에서

경유차량의 격차가 약간 더 크며 HWFET 모드에서는 비슷한 수준으로 나타난다.

3.3 연료별 자동차의 환경성 평가

Fig.8은 연료별 각 모드의 환경오염비용을 참고하여 나타낸 그래프이다. 환경오염비용은 EU의 대기오염의 사회적 한계비용 계산식을 사용하였다.^{4),5)} Table

2의 환경오염비용 지수 및 2012년 자가용 1일 평균주행거리⁵⁾를 활용하여 모드별 LPG차량과 경유 차량의 환경오염비용을 산출하였다.

LPG차량의 연간환경오염비용은 최소 약 94천원에서 최대 약 115천원정도 산출되었으며 경유 차량의 연간환경오염비용은 최소 약 98천원에서 최대 약 175천원까지 산출되었다.

경유 차량의 NOx 배출량이 NEDC 모드를 제외한 각 모드에서 상당히 두드러지게 배출됨으로써 환경비용의 증가에 지배적인 영향으로 작용한 것을 볼 수 있다. 따라서 환경성 비용의 저감을 위하여 경유 차량의 NOx 저감기술의 개선은 필수적이라고 판단된다.

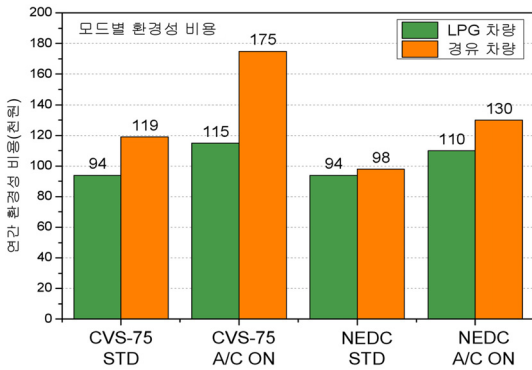


Fig.8 Environmental pollution cost on each driving cycle

Table 2 Environmental pollution cost

환경오염비용(원/kg)				
HC	CO	NOx	CO ₂	PM
9,500	7,074	10,297	39	214,373

4. 결론

본 연구는 연료별로 유사한 크기 및 성능을 가지고 있는 차량을 선정하여 모드 및 조건별로 연비·배출가스 시험을 진행하였다. 이를 토대로 자동차의 연료별 배출가스 특성, 온실가스 특성 및 연비 특성에 대한 분석을 시행하였고 결과는 다음과 같다.

(1) 연료별 CO 배출량은 각 모드에서 경유 차량 대비 LPG차량에서 더 많이 발생하고 있으며 NOx, PM 배출량은 경유 차량에서 더 많이 발생하고 있음을 확인할 수 있다.

그러나 HC 배출량의 경우에는 CVS-75모드 및 NEDC 모드에서 연료별 배출량이 차이가 있다.

이는 차량시험모드의 속도프로파일을 분석하면 가속구간이 더 많은 CVS-75모드에서 경유 차량이 고부하로 운행되며 경유 차량의 HC 배출량이 더 많다고 판단된다.

(2) 온실가스인 CO₂ 배출량은 각 모드별 경유 차량 및 LPG차량이 비슷한 수준으로 나타나며 경유차량의 연비는 LPG 차량 대비 약 1.5배 정도 높게 나왔다.

이는 연료가 가지고 있는 물성치(연료 밀도)가 가장 큰 원인이지만, 이외에도 연료에 따르는 엔진의 연소특성과 적용기술의 차이에도 크게 기인한다.

(3) 참고로 환경오염비용을 산출함에 있어 LPG차량 및 경유 차량은 NOx를 제외한 유해물질 및 온실가스의 배출량은 비슷하거나 크게 차이하지 않는 것을 확인할 수 있다. 그러나 환경유해물질인 NOx가 두드러지게 배출됨에 따라 디젤차량의 환경오염비용 증가에 지배적인 영향으로 작용한 것을 볼 수 있다.

References

- 1) Seokjoo Kwon, "A study on Energy Consumption Rate Measurement and Calculation Procedures of Domestic CNG Gaseous Fueled Vehicle, Journal of Institute of Convergence Technology Vol. 3, No 2, pp. 57-60(2013)
- 2) 대통령령 제 24474호, "저탄소 녹색성장 기본법", 13.07.
- 3) 환경부 고시 제 2013-38호 "제작자동차 인증 및 검사 방법과 절차 등에 관한 규정", 2013.04.
- 4) EC DG environment, BeTa(Benefits Table database), Version E1. 02a,2005
- 5) KAIST, "청정연료 사용 지역 내에서 지역난방 사용연료의 함목적 선정에 관한 연구", 1998
- 6) 교통안전공단, "2012년도 자동차 주행거리 실태분석 연구", 2013.12.