

시험용 연료 특성에 따른 자동차 연비측정 방법 개선에 관한 연구

이민호[†] · 김정환

한국석유관리원 석유기술연구소

(2014년 4월 3일 접수, 2014년 11월 7일 수정, 2014년 11월 10일 채택)

The Study on the improvement of vehicle fuel economy test method according to the characteristics of test fuel

Minho Lee[†] · Jeonghwan Kim

Korea Petroleum Quality & Distribution Authority, Research Institute of Petroleum Technology

(Received 3 April 2014, Revised 7 November 2014, Accepted 10 November 2014)

요약

시험방법 중 현재 국내 자동차 연비계산 방법은 차대동력계에 시험차량을 설치한 후, 주어진 시험모드(FTP-75 & HWFET 모드 등)에 따라 차량을 주행하여 측정되어지는 배출가스 결과를 가지고 계산에 의해 연비를 구하는 방식인 카본밸런스 측정법(Carbon balance method)을 이용하고 있다. 이때 사용하고 있는 카본밸런스 측정법은 시험방법 개발 당시의 표준연료에 대해 연료물성을 구하고, 이때 구하여진 상수 값과 시험에서 측정되어진 THC, CO, CO₂ 값을 가지고 계산하게 된다. 그러므로 시험할 때마다 매번 바뀌게 되는 사용 연료의 연료물성 특성은 정확히 고려되지 않게 된다. 주어진 시험연료에 따라 엔진성능 및 배출가스 결과가 변하게 되고, 많은 대체연료가 나오고 있는 현 시점에서 시험연료의 물성 특성을 연비계산 시에도 고려해야만 된다고 생각된다. 본 연구에서는 기존에 사용하고 있는 카본밸런스법과 실제 시험에 사용된 연료의 유량을 측정하는 유량측정 방법을 이용한 결과를 비교하여, 시험에 사용된 연료의 물성 특성을 고려할 수 있는 방법을 연구함으로써, 다양해지고 있는 연료의 물성 특성을 고려해 줄 수 있는 개선된 연비측정 방법을 검토해 보고자 한다.

주요어 : 카본밸런스법, 연료유량측정법, 국내 공인연비 시험모드(FTP-75, HWFET), 연료물성 특성, 저위발열량(순발열량), 밀도, 탄소-수소 비율

Abstract - These test methods, the current domestic vehicles fuel economy calculation method is tested on a dynamometer for vehicles after you have installed the vehicle, given the test mode(FTP-75 & HWFET mode, etc.) are measured by vehicle emissions and fuel economy by seeking to have the results approach, the carbon balance method. At this point, using the carbon balance method is a test method was developed seeking fuel for a standard fuel properties, where the value of the constant and saved test was measured in THC, CO, CO₂ has a value calculation. Therefore, use fuel which is changed every time you test the fuel properties characteristics are not considered exactly. In this study, using the carbon balance method and fluid flow rate of the fuel used in the actual test is measured by comparing the results with the flow measurement methods, properties of the fuel used for the test attribute to study ways that can be considered, taking into account the physical attributes of a more diverse fuel line and fuel economy improved measurement methods that can be reviewed.

Key words : Carbon-Balance method, Fuel flow metering method, FTP-75 mode, Fuel property, LHV(Low heating value), Density, C-H ratio

[†]To whom corresponding should be addressed.

Kpetro, Research Institute of Petroleum Technology
Tel : 043-240-7952 E-mail : lice92@kpetro.or.kr

1. 서 론

전 세계적으로 에너지 자원 고갈에 대한 문제와 지속적으로 강화되고 있는 배출가스 규제가 적용되어지면서, 더욱 향상된 효율의 엔진시스템 연구와 대체에너지 자원인 수송용 대체연료의 개발이라는 많은 기술력 확보를 필요로 하고 있다. 특히 자동차 제작사들은 연비 및 CO₂ 배출량 규제에 대응하기 위하여 다양한 연비개선 기술에 대하여 연구하고 있으며, 몇몇 나라에서는 현재 실도로 교통 상황을 반영한 차량 시험법을 개발하려고 노력하고 있다.^{1,2,3,4} 이러한 시험법은 차대동력계상에서 실제 도로 상황과 동일한 조건을 구현하여 다양한 형태의 환경 조건에 따른 속도로 일정한 거리를 주행하는 시험모드로 이루어지고 있다. 차량에 있어서 연비 표시는 크게는 기술 개발의 유도나 에너지 관리의 지표로서 활용되고 있고, 다른 한편으로는 소비자에게 정보를 제공하는 일익을 담당하고 있으나, 환경 주행조건 특성에 따라 차량 연비 및 CO₂ 배출량은 다양한 형태의 결과 차이를 보이고 있으므로 측정 방법이 중요하게 된다.

위와 같이 시험모드에 따른 연비 특성도 중요하지만, 다양한 시험모드를 적용함에 있어서 항상 문제가 되고 있는 것이 기존 측정방법의 정밀도 및 재현성에 대한 문제들 이라고 할 수 있다. 기존의 시험방법으로 측정이 되지 않거나 실제 측정값과 오차를 가지고 있는 다양한 방법 들이 아직도 사용되고 있다. 현재 국내 자동차 연비측정 방법은 차대동력계에 시험차량을 설치한 후, 주어진 시험모드(FTP-75, HWFET mode)에 따라 차량을 주행하여 측정되어지는 배출가스 결과를 가지고 계산하는 방식인 카본밸런스 측정법(Carbon balance method)^{5,6,7}을 이용하고 있다. 이때 연비측정 계산에 사용하고 있는 카본밸런스법은 2000년대 초 표준연료라고 생각되어지는 연료에 대

한 평균 물성을 가지고 구한 상수 값을 가지고 만든 계산식이며, 연비 결과는 시험에서 측정되어진 THC, CO, CO₂ 값을 이용하여 계산하게 된다. 그러므로 실제 시험차량에 사용한 연료물성 특성은 정확히 고려하지 못하게 된다. 주어진 시험연료에 따라 엔진성능 및 배출가스 결과가 다양한 형태로 변하게 되고, 또한 대체연료가 시중연료에 혼합되어지면서 다른 물성을 가진 연료가 존재하게 되므로, 연비 측정 시 실제 시험에 사용된 연료의 물성 특성을 연비측정 시에도 고려를 해야만 한다.

이러한 문제점을 없애기 위하여 본 논문에서는 현재 사용하고 있는 카본밸런스법과 실제 시험에 사용된 연료의 양을 측정하는 유량측정 방법을 이용한 결과를 비교하여 보고, 실제 시험에 사용된 연료의 물성특성을 고려할 수 있는 방법^{8,9,10}을 적용함으로써 다양해지고 있는 연료의 물성특성을 가지고 정확한 연비를 계산할 수 있도록 하는 개선 방법을 적용하여 보고자 하였다.

2. 시험장치 및 방법

2-1. 시험용 차량

본 시험에 사용된 차량은 차대동력계에서 시험할 수 있는 차량(3.5ton 이하)중에서 가장 많은 빈도를 가지고 있는 배기량을 선택하여 가솔린 차량은 2,400 cc급, 경유 차량은 2,900 cc급으로 선정하였고, 차량 기술의 발전단계를 고려하여 가솔린 GDI 엔진, 경유는 CRDi 엔진을 고려하여 시험하였다. 시험에 사용된 차량의 엔진제원은 Table 1과 같다.

2.2 차량 연비 및 배출가스 시험 장비, 유량측정 장치

차량 연비 및 배출가스를 측정할 수 있는 차대동력계 및 배출가스 분석 장치의 전체적인 개략도를 Fig. 1에 나타내었다.

Table 1. Specification of experimental vehicle(engine)

원동기 형식	SIDI engine	J-3 engine
실린더수×내경×행정 (mm)	4×88.5×97.0	4×97.1×98.0
공회전수 (rpm)	750 ± 100	800 ± 100
연료 분사 방식	직접분사 (GDI engine)	고압분사 (CRDi)
작동 연료	휘 발 유	경 유
총배기량 (cc)	2,384	2,902
최대출력 (ps / rpm)	185 / 6,700	192 / 3,800
최대토크 (kgm / rpm)	24.0 / 4,900	36.5 / 2,000~3,500
분사압력 (bar)	160	1600

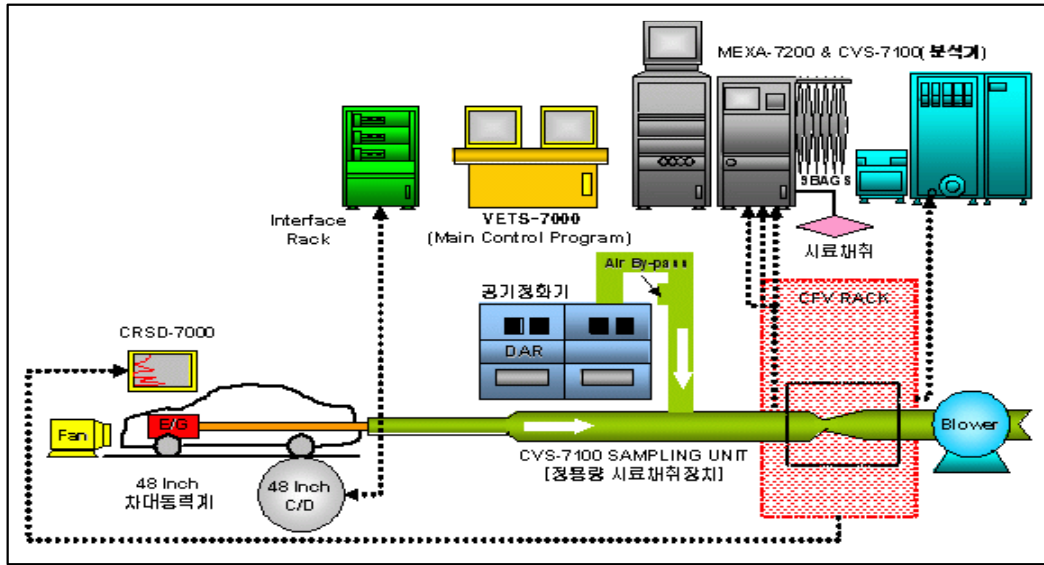


Fig. 1. Schematic diagram of vehicle emission and fuel economy measurement system

차량 연비 및 배출가스 측정은 CVS 터널 및 배출가스분석기(MEXA-7400LE, 7200H)로 수행하였으며, 시험차량을 일정한 온도조건에서 12시간이상 soaking시킨 후 차대동력계에서 해당 주행모드로 차량을 운전하고 주행 속도별 실시간 배기가스 및 차량의 데이터를 획득하였다. 또한, 배출가스가 담긴 포집백 분석을 통하여 최종 연비 결과를 분석하였다.

본 연구에서는 실제 차량에서 소비되는 연료와 카본발란스법, 보완된 연비 시험방법에서 구하여진 연비를 각각 비교하여 보기 위하여 시험 차량에 유량측정 장치를 연료라인에 설치하여 소비되는 연료를 직접 측정하였다. 이때 사용한 연료측정 장치(유량계)의 제원은 Table 2와 같다.

2.3 시험용 연료 : 휘발유와 경유

본 연구에 사용된 시험용 연료의 물성 특성은 Table 3, 4와 같다. 먼저, 휘발유 연료는 시중에서 보

급되고 있는 일반휘발유와 고급휘발유로 나누어서 시험을 하였다. 휘발유 연료를 비교하여 보면, 일반휘발유가 고급휘발유에 비해 밀도가 낮고 순발열량(저위발열량)이 높은 것을 볼 수 있다. 이러한 결과는 휘발유 제조시에 사용되는 기체의 함량에 따른 특성이라고 할 수 있다. 고급휘발유는 일반휘발유보다 옥탄가가 높은 연료로서 옥탄가를 높이기 위한 혼합기체가 일반휘발유 보다 높게 배합된 결과라 할 수 있다.

경유 연료는 시중에서 보급되는 연료와 연료물성을 쉽게 변경해 줄 수 있고, 현재 시중에서 혼합되어 나오는 바이오디젤을 이용하여 「석유및석유대체연료사업법」 상 석유대체연료로서 적용할 수 있는 최대 혼합율을 기준으로 일정한 혼합율(BD3, BD5, BD10, BD20)에 따라 경유에 혼합하여 사용하였고, 또한 바이오디젤 원료에 따라서 어떠한 특성을 보이는지에 대하여 연구를 하기 위하여 다른 종류(대두유와 자트로파)의 바이오 디젤에 대해서도 시험을 하였다.

Table 2. Specification of Fuel flow metering device

Maker		Ono Sokki
Model		MF-3200 (FP-2140H), FM-2500
Measure Range	Flow rate	0.3 to 120 L/h
	Pressure	0 to 980 kPa
	Temperature	0 to 99.9 °C
Accuracy	Flow rate	Within ±0.02% of reading
	Pressure	±0.5% of F.S.
	Temperature	Class B
Analog output		0~10V / 0~100 L/h
Applicable fluids		경유, Bio-diesel

Table 3. Comparison of test fuel property : Gasoline

구 분		일반휘발유	고급휘발유
밀도(kg/m ³)		704.90	727.22
원소분석	C	82.633	82.860
	H	16.226	16.572
발열량 (MJ/kg)	총발열량	-	-
	순발열량	42.607	42.508

Table 4. Comparison of test fuel property : Diesel and Bio-diesel

구 분	경유	바이오디젤 (대두유)	바이오디젤 (자트로파)
유동점 (°C)	-40.0	-22.5	-22.5
인화점 (°C)	68	70	70
동점도 (40°C, mm ² /s)	2.628	2.836	2.89
증류성상 (°C)	초류점	159.2	168.5
	10%	193.3	202.4
	50%	263.6	288.3
	90%	332.9	339.6
	종말점	361.4	357.5
황분 (mg/kg)	10.7	8.6	8.9
세탄값(세탄지수)	51.5	52.1	52.7
밀도(kg/m ³)	832.5	842.7	841.8
CFPP (°C)	-33.0	-20.0	-11.0
수분(칼피셔) (mg/kg)	20.9	74.816	58.67

구 분	경유 + 바이오디젤 (대두유)				경유 + 바이오디젤 (자트로파)				
	BD3	BD5	BD10	BD20	BD3	BD5	BD10	BD20	
밀도(kg/m ³)	834.2	835.0	837.5	842.7	834.0	834.7	837.0	841.8	
원소 분석	C	85.755	85.230	85.030	83.780	85.739	85.429	85.244	83.818
	H	14.027	14.019	13.908	13.463	13.579	13.639	13.292	13.596
발열량 (MJ/kg)	총발열량	45.550	45.541	45.165	44.621	45.735	45.660	45.508	45.134
	순발열량	41.668	41.476	41.166	39.698	42.700	42.600	42.500	42.100

연료의 특성을 살펴보면, 바이오디젤 함량이 증가할수록, 밀도가 증가하고, C 함량과 순발열량(저위발열량)이 감소한다. 이러한 특징은 대체연료인 바이오디젤이 가지고 있는 순수한 특성 때문이다. 전체적인 연료특성 경향은 약간의 차이는 가지고 있지만 두 원료의 바이오디젤에서도 동일한 특성임을 확인할 수 있다.

3. 연비 계산법

3.1 탄소밸런스법 (Carbon-balance method)^{5,6,7}

연비산출 방법인 탄소밸런스법은 산업통상자원부 고시인 「자동차의에너지소비효율및등급표시에관한규정」에 의거하여 산출하게 되며, 식의 산출과정은 다음과 같다. 이 경우는 경유에 대한 연비 계산식을 나타낸 것이다.

① CH비가 1.85일 때, 연료중의

$$\text{카본 중량비} = 12.011 / [12.011 + (1.85 * 1.008)] = 0.866$$

여기서, 12.011는 탄소의 무게, 1.008는 수소의 무게 연료리터당 카본의 그램수는 연료밀도 * 연료속의 카본 중량값이므로,

$$\Rightarrow 847.6 * 0.866 = 734$$

② 배출가스 중에 카본을 계산하면, HC에 포함된 C의 질량은

$$\begin{aligned} \text{C의 질량} &= (\text{단위거리당 배출된 HC}) * (\text{HC 분자속의 카본중량값}) \\ &= \text{HC (g/km)} * 0.866 \end{aligned}$$

CO에 포함된 C의 질량은

$$\begin{aligned} \text{C의 질량} &= (\text{단위거리당 배출된 CO}) * (\text{CO} \\ &\quad \text{분자속의 카본중량값}) \\ &= \text{CO (g/km)} * 0.429 \\ * 0.429 &= 12.011 / (12.011 + 16) \end{aligned}$$

CO₂에 포함된 C의 질량은

$$\begin{aligned} \text{C의 질량} &= (\text{단위거리당 배출된 CO}_2) * (\text{CO}_2 \\ &\quad \text{분자속의 카본중량값}) \\ &= \text{CO}_2 \text{ (g/km)} * 0.273 \\ * 0.273 &= 12.011 / (12.011 + 16 * 2) \end{aligned}$$

③ 배출가스 중의 Total C의 질량은

$$= 0.866 * \text{HC} + 0.429 * \text{CO} + 0.273 * \text{CO}_2$$

따라서 경유자동차의 연비 계산식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \bullet \text{ 에너지소비효율} &= \\ &\quad (\text{km/L}) \\ &\quad \frac{734(\text{g/L})}{0.866 \times \text{HC} + 0.429 \times \text{CO} + 0.273 \times \text{CO}_2} \end{aligned} \quad (1)$$

3.2 보완된 연비 계산 방법^{8,9,10}

기존의 연비산출방식인 카본밸런스법은 시험연료를 표준 연료로 간주하여 모든 변수를 상수로 만들어 THC, CO, CO₂ 만을 식에 대입하여 계산을 하게 된다. 하지만, 시험연료에 대한 연료물성 변수를 고려할 수 있는 아래의 식으로 카본밸런스법을 보완하여 실제 차량에서 소비되는 연료와의 상관관계를 살펴보고자 하였다.

$$\begin{aligned} \bullet \text{ 에너지소비효율} &= \\ &\quad (\text{km/L}) \\ &\quad \frac{3,179 * 10^4 * \text{CWF} * \text{Density}}{(\text{CWF} \times \text{HC} + 0.429 \times \text{CO} + 0.273 \times \text{CO}_2) * (0.6 * \text{Density} * \text{LHV} + 12,722)} \end{aligned} \quad (2)$$

여기에서, CWF는 연료의 Carbon weight fraction, LHV는 연료의 순발열량(저위발열량, Low Heating Value)이다.

4. 결과 및 고찰

4.1 연료물성 측정 결과

Fig.2는 시험에 사용된 휘발유에 대하여 국내에서

유통되고 있는 4개 정유사 연료의 연료물성을 월별로 측정하여 연료변화 추이를 살펴본 결과이다. 결과를 비교하여 보면, 4개 정유사의 휘발유는 매월, 계절별, 정유사별로 다양한 특성을 보이고 있음을 볼 수 있다. 특히, 밀도, 저위발열량은 더 큰 변화를 가지고 있음을 볼 수 있다. 이러한 저위발열량과 탄소 함량은 2006년과 비교하여 1.8% 이상 감소하는 특성을 보이고 있다. 이러한 결과를 통하여 어느 정유사, 계절, 월의 연료를 사용하였느냐에 따라서 차량 배출가스도 변하게 되고, 연비 특성도 다르게 나타나게 될 것이라는 것을 생각할 수 있다. 하지만, 현행 연비계산법은 이러한 특성을 고려하지 못하는 단점을 가지고 있다고 있다. 이에 반해 보완된 연비 계산방법은 위의 특성을 고려하여줌으로서 좀 더 현실 연비에 더 가깝게 나타날 수 있을 것으로 사료된다.

국내 시중에서 유통되고 있는 바이오디젤의 특성을 살펴보면, 바이오디젤 원료 및 함량별에 따른 연료품질에 있어서 유동점과 저온 필터막힘점을 제외하고 자동차용 경유 및 바이오디젤연료유의 품질기준을 만족하였다. 위의 결과에서 바이오디젤 혼합 연료유의 FAME 함량이 겨울용 기준인 10 부피%일 때 유동점은 -17.5 °C이하, 저온 필터막힘점은 -16 °C이하의 기준을 가지지만, 팜유 BD10의 경우 유동점이 -12.5 °C, 저온 필터막힘점이 -15 °C로 기존의 자료와 마찬가지로 특성이 떨어지는 것으로 나타났다.

연료에 대한 여러 물성결과 중 보완된 카본밸런스법에 적용되는 저위발열량과 밀도 결과를 살펴보면 Fig.3과 같은 경향을 가지고 있다. Fig.3은 국내에서 유통되고 있는 바이오디젤의 원료 종류에 따른 함량별 밀도와 저위발열량의 물성특성을 측정된 것이다. 바이오디젤의 원료 종류에 상관없이 함량이 증가함에 따라 밀도는 증가하는 경향을 보이고, 저위발열량은 감소하게 된다. 이러한 결과는 위에서 나타난 시험용 연료의 연료물성과 동일한 결과임을 알 수 있다. 저위발열량은 BD100의 저위발열량이 경유보다 적어서 바이오디젤의 함량이 증가할수록 원료에 따라 값의 차이는 있지만 전체적으로 감소하여 나타나게 되는데, 최소 3.7%에서 최대 6.8%까지 감소한다. 바이오디젤 함량 증가에 따른 저위발열량 감소와 밀도 증가는 엔진의 효율을 저하하게 되고 또한 차량 연비도 악화시키는 특성을 나타나게 된다.

국내 유통연료에 대한 특성을 반영하여 기존 카본밸런스법에서 적용한 상수를 현재 국내 유통연료 물

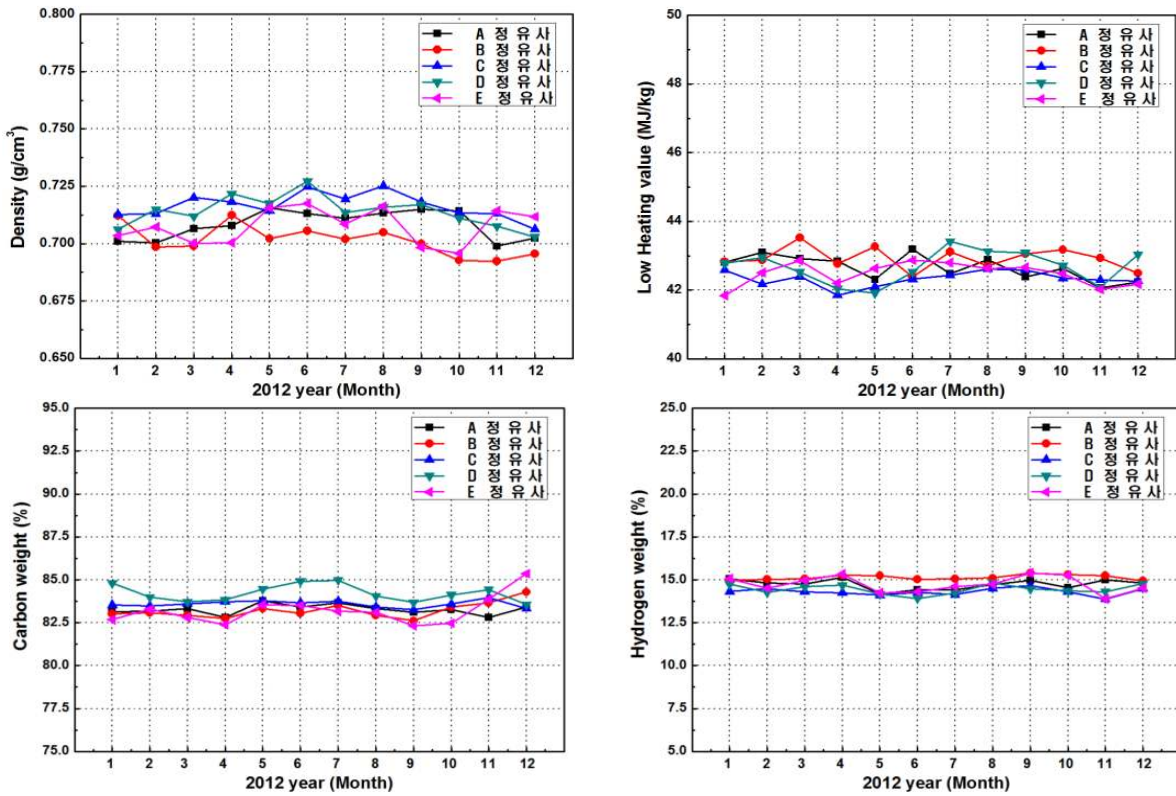


Fig. 2. Fuel property measuring result of gasoline test fuel

: Density, Low heating value, Carbon weight, Hydrogen weight

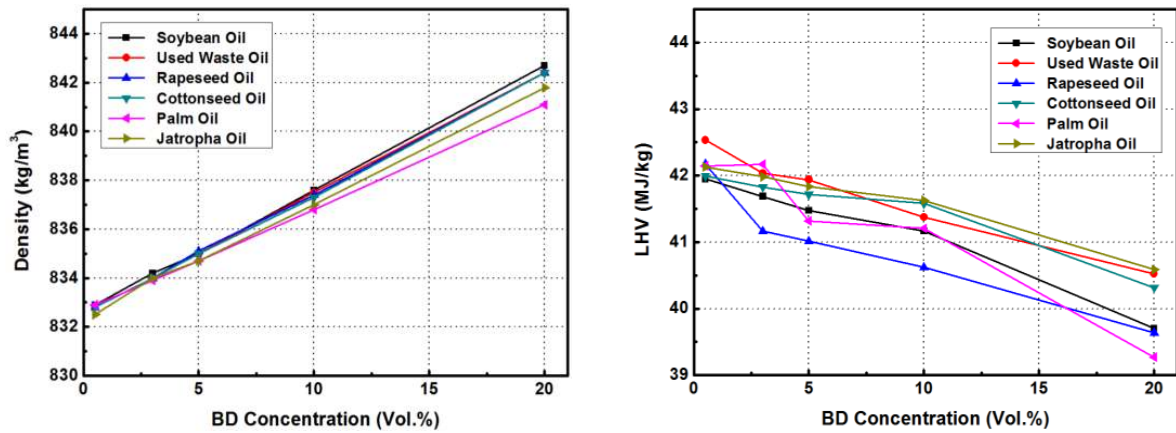


Fig. 3. Density and LHV measuring result of bio-diesel test fuel

성의 결과와 비교하여 보면 다음 Table 5와 같은 결과를 보이고 있다.

Table 5에서 볼 수 있듯이 전체 유종의 CH 비가 많이 증가되어 있음을 볼 수 있고, 연료 1L당 C 함량, Carbon weight factor이 기존보다 감소되어 있는 것을 볼 수 있다. 이러한 결과의 상수를 가지고 배출가스 결과가 동일하다는 가정에서 연비 결과를 유추해 보면, 휘발유는 4.4%, 경유 3.5%, LPG 2.9%가 감소되어 나타나게 된다.¹¹ 이러한 결과에서도 볼 수

있듯이 연비를 측정함에 있어 실제 사용된 연료 물성을 수식에 대입하여 주는 것이 실제 소비된 연료를 측정할 수 있을 것이다.

4.2 차량 연비 시험 결과

Table 6은 가솔린과 경유자동차에 대해 차대동력계 시험을 통하여 측정된 배출가스 결과를 가지고 기존의 카본발란스법을 이용하여 계산한 연비 결과와 실제 연료량 측정 장치(연료유량계)를 가지고 구한

Table 5. Fuel factor value according to the characteristics of fuel property¹¹

구 분				CO ₂ 함량(g)		C함량(g)	CARBON weight factor			
유 종	화학조성	CH비	밀도 (g/리터)	연료1g당	연료 1L당	연료 1L당	HC	CO	CO ₂	
기존	휘발유	C1H1.85	1.85	739	3.18	2,348	640	0.866	0.429	0.273
	경유	C1H1.85	1.85	847	3.18	2,691	734	0.866	0.429	0.273
	LPG	C1H2.50	2.50	584	3.03	1,772	483	0.828	0.429	0.273
신규 (국내연료 특성반영)	휘발유	C1H2.06	2.06	719	3.08	2,211	613	0.853	0.429	0.273
	경유	C1H2.02	2.02	829	3.12	2,582	709	0.856	0.429	0.273
	LPG	C1H2.58	2.58	577	3.02	1,740	474	0.823	0.429	0.273

Table 6. Results of vehicle fuel economy : Gasoline and Diesel

구분 (km/L)	Gasoline		Diesel							
	FTP-75	HWFET	대두유				자트로파유			
			BD3	BD5	BD10	BD20	BD3	BD5	BD10	BD20
카본밸런스법	10.29	18.71	10.14	10.01	9.87	9.72	10.23	10.14	10.05	10.01
유량측정	9.96	17.63	9.43	9.35	9.25	9.13	9.50	9.47	9.42	9.41
오차 (%)	-3.3	-6.1	7.0	6.6	6.3	6.1	7.1	6.6	6.3	6.0

연비결과를 비교한 것이다.

먼저 휘발유의 결과를 살펴보면, 도심주행모드인 FTP-75 모드와 고속도로주행모드인 HWFET 모드 모두에서 연비가 기존의 카본밸런스법보다 실제 연료 유량 측정시 많이 감소되고 있는 것을 볼 수 있다. 이러한 이유는 앞에서 설명한 것과 마찬가지로 기존 계산식의 상수가 크게 고려되어 있어 실제 공급된 연료량을 측정할 수 없음을 알 수 있다. 위의 결과에서 도심주행모드 보다는 고속도로 주행모드에서 더 많은 감소가 있음을 알 수 있는데, 이러한 이유는 연료유량 측정 방식에서 오는 오차라 할 수 있다. 고속도로 주행모드는 시험이 2개 모드인 예열모드와 본 모드로 구성되어 있어 유량계가 예열모드에서부터 지속적으로 측정을 하여오고 있고, 또한 사용되는 연료가 연료시스템에서 일정하게 공급되고 소비되고 있기 때문

으로 생각된다. 하지만, 도심주행모드는 냉간에서 시동이 걸리면서 시험이 시작되는데 반해 연료량 측정 은 바로 시작이 되지 않고 일정한 시간 후에 측정이 되고 있는데 있다. 이는 엔진이 시동이 걸리면 바로 연료가 탱크로부터 엔진에 공급되는 것이 아니고, 일정한 양의 연료가 고압펌프 등의 연료시스템에 존재 하는 연료를 사용하기 때문이다.

경유 시험결과를 살펴보면, 기존의 연구에서 보는 것과 마찬가지로 바이오디젤의 함량 증가에 따라 연비가 감소하여 나타나고 있고, 경유와 비교하여 바이오디젤 함량 20부피%일 경우 대두유는 5.5%, 자트로파는 3.1% 정도 감소하였다. 이러한 결과는 바이오디젤 함량이 증가할수록 발열량 감소함에 따라 연소 효율이 저감된 것이라 할 수 있고, 자트로파 바이오디젤이 대두유 바이오디젤보다 발열량이 높아 저감량

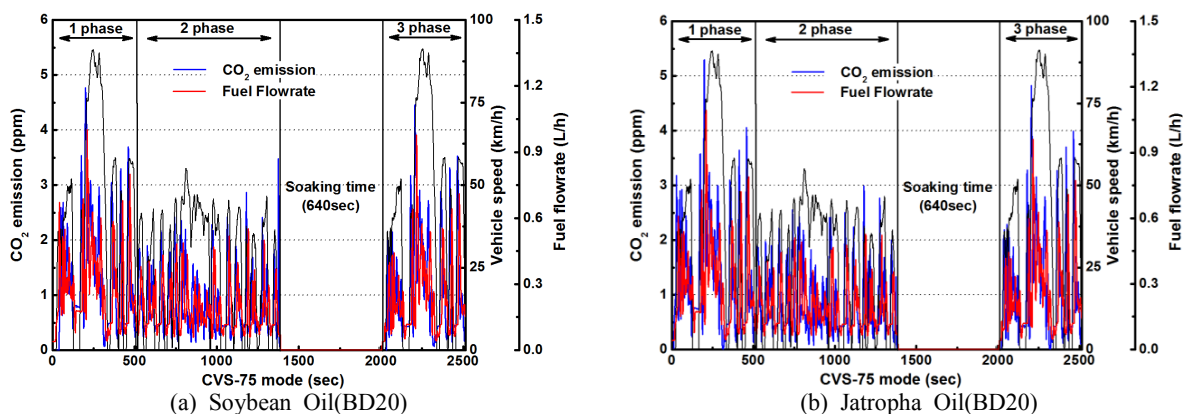


Fig. 4. Comparison of CO₂ emission and fuel flowrate according to the test mode

Table 7. Comparison of fuel economy calculation method : Gasoline and Diesel

구분 (km/L)	Gasoline		Diesel							
			대두유				자트로파유			
	FTP-75	HWFET	BD3	BD5	BD10	BD20	BD3	BD5	BD10	BD20
카본밸런스법	10.29	18.71	10.14	10.01	9.87	9.72	10.23	10.14	10.05	10.01
유량측정	9.96	17.63	9.43	9.35	9.25	9.13	9.50	9.47	9.42	9.41
오차(%)	-3.3	-5.8	7.0	6.6	6.3	6.1	7.1	6.6	6.3	6.0
보완된 계산방법	9.69	17.61	9.38	9.24	9.14	9.04	9.43	9.34	9.27	9.24
오차(%)	-5.8	-5.9	-7.5	-7.7	-7.4	-7.0	-7.8	-7.9	-7.8	-7.7
유럽계산식 (밀도 대입)	10.2	5.6	9.99	10.11	10.23	9.64	9.91	9.98	10.05	10.03
오차(%)	-0.9	-70.1	-1.5	1.0	3.6	-0.8	-3.1	-1.6	0.0	0.2

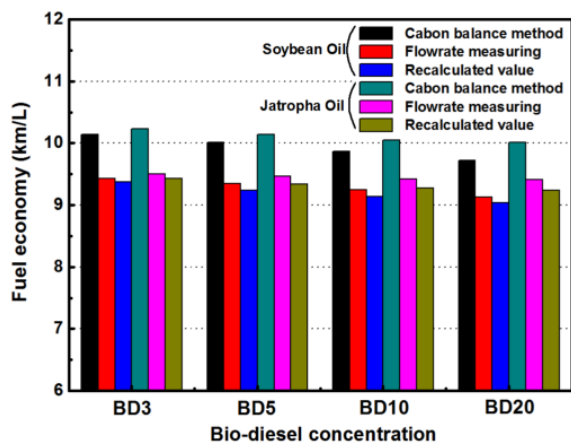


Fig. 5. Comparison of fuel economy results according to the bio-diesel concentration

도 상대적으로 적었다.

실제 측정 결과와 비교하여 보면 바이오디젤 함량에 따라 6.0% ~ 7.1%의 오차를 가지게 된다. 이런 결과는 기존의 카본밸런스법이 연료의 물성 특성을 반영시켜 주지 못하는 데서 발생하는 오차로 볼 수 있으며, 이런 오차를 줄이기 위해서는 연료 물성특성을 고려하여 계산하는 식을 사용하여야 한다.

Fig.4는 배출가스 중 연비와의 상관관계가 99% 이상인 CO₂와 실제 연료량 측정 장치에서 측정한 연료량 결과를 나타낸 것이다. 대두유나 자트로파 바이오디젤연료 모두 CO₂와 연료량의 상관관계가 높은 것을 재확인할 수 있다.

4.3 보완된 카본밸런스법에 의한 결과 비교

Table 7, Fig.5는 시험에서 측정된 배출가스 결과와 연료 물성(CWF, 저위발열량, 밀도)을 가지고 보완된 카본밸런스법에 대입하여 재계산한 결과를 앞에서 구한 연료량 측정결과와 비교한 것이다. 실제 연

료량 측정 장치에 의해 측정된 결과와 보완된 카본밸런스법에 의해 재계산된 결과를 비교하여 보면 오차율이 0.1%에서 2.6% 정도 나타내었다. 이러한 결과는 기존의 카본밸런스법에 의한 결과의 오차율 3.3% ~ 7.1% 보다 훨씬 적은 수치로서 실제 차량에서 소비되는 연료량을 어느 정도까지는 정확하게 측정할 수 있다는 것을 보여주고 있다. 이러한 시험 결과는 휘발유 보다 경유에서 좀 더 잘 측정되어지고 있고, 휘발유는 FTP-75모드에서 기존 카본밸런스법과 비교하여 오차율이 3.3%인데, 보완된 카본밸런스법은 5.8%의 차이를 보이고 있다. 전체적으로 기존의 카본밸런스법에 의한 결과와 보완된 카본밸런스법 결과를 비교하여 보면, 휘발유의 경우 기존 카본밸런스법 보다 5.9%정도 연비가 감소되고 있고, 경유의 경우는 바이오디젤 함유량 및 유종마다 차이는 있지만 크게 7.9%의 감소를 보이고 있다. 이러한 결과를 통하여 현재의 표시연비는 휘발유 5.9%, 경유 7.9% 정도 감소될 수 있을 것으로 생각된다.

기존의 연비 계산방법인 카본밸런스법을 보완하기 위하여 연료 물성 중 CWF, 저위발열량, 밀도 만을 추가하여 보완된 카본밸런스법에 대입하여 계산하기만 하여도 실제 차량에서 소비되는 연료량을 정확히 예측할 수 있을 것으로 생각된다. 이러한 계산방법과는 다르게 정책설명회 자료11에서 보았듯이 기존의 상수를 사용하는 계산식을 국내 연료물성 특성을 반영한 다른 상수로 바꾸어 적용함으로써 어느 정도는 해결될 것으로 보이는 한다. 하지만, 이렇게 구한 식도 국내에서 유통되고 있는 연료의 물성치를 모니터링 하여 평균을 취하여 구한 상수로서 실제 사용된 연료의 물성 변화를 다 고려해줄 수는 없다. 평균을 취하여 구한 상수와 보완된 카본밸런스법 결과의 차이는 휘발유에서 1.5%, 경유 3.4% 정도 보이고 있다.

이러한 값에서도 무시 못할 정도의 차이를 보이고 있으므로 전체적인 결과를 살펴볼 때 실제 시험에 사용된 연료물성을 가지고 계산하는 방식인 보완된 카본발란스법을 사용하는 것이 좋은 방법으로 생각된다. 향후 더 많은 물성 차이를 가지는 석유 및 석유대체 연료와 다양한 차종에 대하여도 추가적인 연구가 필요하겠지만, 현재로서는 보완된 연비측정방법의 도입이 가능할 것으로 사료된다.

5. 결 론

현재 국내에서 연비측정 방법으로 사용하고 있는 카본발란스법과 실제 시험에 사용된 연료의 양을 측정하는 유량측정 방법을 이용한 결과를 비교하고, 최종적으로 휘발유와 경유 연료를 적용하여 시험연료의 물성 특성을 고려할 수 있는 방법인 보완된 카본발란스법에 의하여 구한 결과를 비교 연구함으로써 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 국내에서 유통되고 있는 4개 정유사 연료의 물성을 월별로 측정하여 변화 추이를 살펴본 결과 4개 정유사의 휘발유는 매월, 계절별, 정유사별로 다양한 특성을 보이고 있음을 볼 수 있다. 특히, 밀도, 저위발열량은 더 큰 변화를 가지고 있고, 저위발열량과 탄소 함량은 2006년과 비교하여 1.8% 이상 감소하는 특성을 보이고 있다.
- 2) 국내에서 유통되고 있는 바이오디젤의 원료 종류에 따른 함량별 밀도와 저위발열량의 물성특성을 살펴보면, 바이오디젤의 원료 종류에 상관없이 함량이 증가함에 따라 밀도는 증가하는 경향을 보이고, 저위발열량은 감소하게 된다. 이러한 결과는 BD100의 저위발열량이 경유보다 적어서 바이오디젤의 함량이 증가할수록 감소하여 나타나게 되는데, 최소 3.7%에서 최대 6.8%까지 감소한다.
- 3) 실제 측정된 연비 결과와 비교하여 보면, 휘발유의 경우 시내주행모드에서는 3.3%, 고속도로 주행모드 6.1%의 연비 오차를 보이고 있고, 경유는 바이오디젤 함량에 따라 6.0%~7.1%의 오차를 가지게 있다. 이런 결과는 기존의 카본발란스법이 연료의 물성특성을 반영시켜 주지 못하는 데서 발생하는 오차로 볼 수 있으며, 휘발유와 경유 연료 모두 CO₂와 연료량의 상관관

계가 높은 것을 확인할 수 있었다.

- 4) 실제 연료량 측정 장치에 의한 결과와 보완된 카본발란스법에 의한 결과를 비교하여 보면 오차가 0.1%에서 2.6% 정도 나타났고, 이런 결과는 기존 카본발란스법에 의한 결과의 오차를 3.3%~7.1% 보다 훨씬 적은 수치로서 연료 물성을 고려하여 준 보완된 카본발란스법의 사용을 통하여 실제 차량에서 소비되는 연료량을 정확하게 예측할 수 있다는 것을 보여주고 있다.
- 5) 위의 보완된 계산방법에는 여러 가지가 있을 수 있다. 정책설명회 자료11에서 보았듯이 기존의 상수를 사용하는 계산식을 국내 연료물성 특성을 반영한 다른 상수로 바꾸어 적용함으로써 어느 정도는 해결될 것으로 보이기 는 한다. 하지만, 이렇게 구한 식도 휘발유에서 1.5%, 경유 3.4% 오차를 보이고 있다. 이러한 값에서도 무시 못할 정도의 차이를 보이고 있으므로 전체적인 결과를 살펴볼 때 실제 시험에 사용된 연료물성을 가지고 계산하는 방식인 보완된 카본발란스법을 사용하는 것이 좋은 방법으로 생각된다.

References

1. "Fuel Economy Labeling of Motor Vehicles : Revisions to Improve Calculation of Fuel Economy Estimates", EPA Final Technical Support Document, December, 2006
2. "Fuel Economy Labeling of Motor Vehicles : Revisions to Improve Calculation of Fuel Economy Estimates : Final Rule", EPA 40 CFR Parts 86 and 600, December, 2006
3. 최승환외 5명, “승용자동차의 운전조건이 연료 소모량에 미치는 영향에 관한 연구”, KSAE 2010 Annual conference,
4. 이정기외 5명, “자동차 급가감속에 따른 연비 및 온실가스에 미치는 영향”, KSAE 2010 Annual conference, pp.693~698, 2010
5. Albert M. Hochhauser, et al. "Fuel Composition Effects on Automotive Fuel Economy - Auto/Oil Air Quality Improvement Research Program", SAE paper No. 930138
6. John Nuskowski, et al. "Experimental and

- Error Analysis Investigation into Dilution Factor Equations.", SAE Paper No. 2007-01-0310
7. Hokil, Lee, et al. "The Correlation analysis of CO₂ emission and fuel economy for LPG vehicle", KSAE 08-S0101, 2008 Annual Conference & Exhibition
 8. 산업통상자원부 고시 제2013-4호 「자동차의 에너지소비효율 및 등급표시에 관한 규정」
 9. EPA, Title 40 Protection of Environment, Part.86, "Control of emissions from new and in-use highway vehicles and engines"
 10. EPA, Title 40 Protection of Environment, Part.600 "Fuel economy of motor vehicles"
 11. 국토해양부, 2012년 정책설명회 자료, “교통부 문 온실가스관리시스템(KOTEMS) 시연 및 정책설명회”, 2012.11