한국동력기계공학회지 제20권 제4호 pp. 52-62 2016년 8월 ISSN 1226-7813(Print) ISSN 2384-1354(Online)
Journal of the Korean Society for Power System Engineering http://dx.doi.org/10.9726/kspse.2016.20.4.052
Vol. 20, No. 4, pp. 52-62, August 2016

연료품질 및 연비계산 방법 변화에 따른 연비특성 분석
Analysis of fuel economy characteristics depending on the fuel quality and calculation method changed

이민호*† · 임완규* · 임재혁* · 김기호*
Min-Ho Lee*†, Wan-Gyu Lim*, Jae-Hyuk Lim* and Ki-Ho Kim*

(Received 16 May 2016, Revision received 18 July 2016, Accepted 19 July 2016)

Abstract: Nowadays, emissions of a vehicle are been getting by testing on a chassis dynamometer and a test modes. Also, fuel efficiency is calculated by carbon-balance method that is applying the emissions(CO, THC and CO_2) to the fuel calculation formular. In Korea, before 2014, the formular did not include the fuel factors (density, net heat value and carbon weight fraction), but the constants were based on the fuel properties of 2000s. So, this formular did not consider a characteristic of test fuel property that was changed when progressing fuel efficiency test. The characteristics of test fuel property which was distributed in domestic have a difference of quality depending on production regions and oil-refining facilities. Because the fuel properties are variable value during refineries, crude oils and blending contents of a bio-fuel, vehicle fuel is changed for each test. Therefore, the fuel qualities need to apply for a fuel economy test.

In this paper, changing patterns of a fuel properties were reviewed during history of fuel standards. Also, the appropriateness of the methods was discussed by calculating and comparing fuel economies with the fuel factors and the constants.

Key Words : Fuel economy calculation method, Fuel quality characteristics, Low heating value, Density, C-H ratio

1. 서 론

전 세계적으로 에너지 자원 고갈에 대한 문제와 강화되고 있는 배출가스 규제로 인해, 더욱 효율이 향상된 엔진 시스템과 수송용 대체에너지 연료 등 많은 기술력 확보를 필요로 하고 있다. 특히 자동차 제작사들은 연비 및 온실가스 배출량 규제에 대응하기 위해 연비개선 기술을 다양하게 연구하고 있다. 하지만, 몇몇 나라에서는 규제를 강화하기 위해 실도로 교통 상황을 반영한 차량 시험법을 개발하려고 노력하고 있다[1~3]. 이러한 이유는 환경 및 주행조건에 따라 차량 연비 및 온실가스 배출량이 다양한 차이를 보이고 있어, 측정방법 개선이 중요하게 되었다. 개선된 시

*† 이민호 : 한국석유관리원 석유기술연구소
E-mail : lice92@kpetro.or.kr, Tel : 043-240-7952
*임완규, 임재혁, 김기호 : 한국석유관리원 석유기술연구소

*† Min-Ho Lee : Research Institute of Petroleum Technology, Korea Petroleum Quality & Distribution Authority
E-mail : lice92@kpetro.or.kr, Tel : 043-240-7952
*Wan-Gyu Lim, Jae-Hyuk Lim, Ki-Ho Kim : Research Institute of Petroleum Technology, Korea Petroleum Quality & Distribution Authority

험방법은 차대동력계상에서 실제 도로 상황과 동일한 조건을 구현하여 다양한 형태의 조건에 따른 속도로 일정한 거리를 주행하는 시험모드 개발이다. 그리고 시험에 사용된 실제 연료품질(물성) 특성을 반영하도록 하는 것이다.

하지만, 시험방법을 개선하고자 하는 노력들이 전 세계적으로 활발히 연구되고 있음에도 불구하고, 항상 문제가 되고 있는 것이 기존 측정 및 계산 방법의 정밀도, 재현성에 대한 문제, 실도로 주행조건과의 오차, 시험 방법의 차이들이라고 할 수 있다. 국내에서는 연비 측정의 문제점을 줄이는 방안으로 산업부, 국토부, 환경부 3 개 부처에서 동일한 시험방법을 적용한 공동고시를 2014년에 제정하여 운영하게 되었다.

공동고시에서 개선한 연비측정 방법은 차대동력계에 시험차량 설치하는 방법, 실도로 주행저항을 고려한 Coast-down 진행 방법, 주어진 인증 시험모드(도심 (FTP-75), 고속(HWFET))에서 측정된 배출가스 결과를 가지고 계산하는 방식인 카본발란스법(Carbon-balance method) 변경[4,5] 등이다. 이 중에서 수정된 카본발란스법은 공동고시 전에는 2000 년대 초 유통 연료에 대한 평균물성 상수 값을 가지고 만든 상수 계산식을 사용하였다. 이는 단순히 시험에서 측정되어진 THC, CO, CO_2 값만을 이용하여 연비를 계산하게 된다. 하지만, 공동고시에서 제정한 신규 연비계산 방법은 휘발유는 시험연료 물성을 대입하여 계산하는 연비 계산식[6~8]이고, 경유는 2011～2013년 연료의 평균물성을 반영한 상수 계산식(이전 식과 동일한 상수식)을 사용하는 것이다. 즉 휘발유 차량 연비는 실제 시험에 사용된 연료의 물성특성이 반영되지만, 경유 차량 연비는 아직도 실제 사용된 연료의 물성특성이 반영되지 못하고 있는 실정이다. 사용된 연료의 품질은 차량 엔진 및 배출가스 저감 장치에 직접적으로 영향을 미쳐 배출가스 수준을 좌우하고 이는 연비 및 온실가스 결과에도 영향[9,10]을 주게 되므로 연비 계산 시 실제 연료물성을 대입하여 주는 것이 필요하다.

본 연구에서는 연료 생산단계의 정유공장과 유통 단계의 저유소, 대리점, 주유소 등 국내에서 유통되고 있는 휘발유, 경유 연료품질 변화 특성을 자동차 연비 및 배출가스에 가장 영향을 많이 주는 연료제조기준 항목에 따라 살펴보고자 하였다. 또한 공동고시 전에 사용해 왔던 기존 연비 상수 계산식과 새롭게 제정된 연비 계산식, 해당년도 연료물성으로 만든 상수 계산식 등의 연비결과 비교를 통해, 연비계산 방법 변경에 따른 연비차이 특성을 분석하였으며, 이를 통해 시험연료 물성을 대입하여 연비를 계산하는 것이 실측연비를 보다 정확하게 구할 수 있음을 확인하고자 하였다.

2. 분석 대상 차량 및 연비 측정 계산식 비교

본 연구의 분석 차량은 차대동력계에서 시험할 수 있는 차량(3.5 ton 미만)으로서 2014 년도부터 2016 년까지의 출시 차량을 대상으로 하였다. 대상차량은 휘발유 차량 30 대, 경유 차량 40 대였으며, 전체 차량을 대상으로 연비 계산식 변경(상수 계산식 및 연료물성 대입 식)에 따른 연비 특성을 분석하고자 하였다. 연비 계산식은 공동고시 전에 사용해 왔던 기존 연비 계산식(2011년 이전 상수 계산식)과 새롭게 제정된 연비 계산식(연료물성 대입 계산식), 해당년도의 연료 물성을 반영하여 만든 계산식(상수 계산식) 등으로 하였으며, 이러한 계산식을 이용한 연비결과를 비교하였다.

2.1 기존 연비 상수 계산식 (카본발란스법)[4,5]

기존 연비 상수 계산식(카본발란스법)은 산업통상자원부 고시인「자동차의에너지소비효율및등급표시에관한규정」에 의거하여 산출하게 되며, 식의 산출과정은 다음과 같다. 이러한 기존 연비 상수 계산식은 유통연료의 평균으로 만든 상수 계산식으로 THC, CO, CO_2 만을 이용하여 연비를 계산하는 식이 된다. 아래의 식은 경유 차량에 대한 연비 계산식을 나타낸 것이다.

(1) CH 비가 1.85일 때, 연료 중의
카본 중량비 = 12.011/[12.011+(1.85x1.008)]
= 0.866

여기서, 12.011는 탄소무게, 1.008는 수소무게

연료 리터당 카본의 그램수는 연료밀도 x 연료 속의 카본 중량 값이므로,

⇒ 847.6 x 0.866 = 734

(2) 배출가스 중에 카본을 계산하면, HC에 포함된 C의 질량은

C의 질량 = (단위거리당 배출된 HC)x(HC 분자 속의 카본중량값)

= HC (g/km) x 0.866

CO에 포함된 C의 질량은

C의 질량 = (단위거리당 배출된 CO)x(CO분자 속의 카본중량값)

= CO (g/km) x 0.429

※ 0.429 = 12.011 / (12.011 + 16)

CO_2에 포함된 C의 질량은

C의 질량 = (단위거리당 배출된 CO_2)x(CO_2분자 속의 카본중량값)

= CO_2 (g/km) x 0.273

※ 0.273 = 12.011 / (12.011 + 16 x 2)

(3) 배출가스 중의 Total C의 질량은

= 0.866 x HC + 0.429 x CO + 0.273 x CO2

따라서 경유자동차 연비 계산식은 다음과 같다.

$$\text{연비}(\text{km/L}) = \frac{734\ (\text{g}/\ell)}{0.866\times HC+0.429\times CO+0.273\times CO_2} \quad (1)$$

2.2 신규 제정된 연비 계산 방법[6~8)]

공동고시에서 새롭게 제정된 계산식은 휘발유 경우 사용된 시험연료의 물성 (저위발열량, 밀도, CWF)을 계산식에 대입하여 연비를 계산하도록 되어있고, 경유는 이전 방식과 동일하게 상수계산식으로 되어 있지만, 적용된 연료 평균은 2011년부터 2013년까지의 국내 유통연료에 대한 분석결과를 통해 새롭게 연비계산식을 만들었다.

(1) 휘발유 연비 계산식

휘발유 경우에는 시험연료에 대한 연료물성 변수를 고려할 수 있도록 아래의 식으로 카본발란스법을 변경하여 실제 차량에서 소비되는 연료의 연비를 구할 수 있도록 하였다.

$$\text{연비 (km/L)} = \frac{3{,}179 \times 10^4 \times CWF \times Density}{(CWF\times HC+0.429\times CO+0.273\times CO2)\times (0.6 * Density \times LHV+12{,}722)} \quad (2)$$

여기에서, CWF는 연료 Carbon weight fraction, LHV는 연료 저위발열량 (순발열량)이다.

(2) 경유 연비 계산식

경유 경우에는 2011년부터 2013년까지의 국내 유통연료 평균에 대한 상수 계산식으로 연비 계산식은 다음과 같다.

$$\text{연비}(\text{km/L}) = \frac{707\ (\text{g}/\ell)}{0.858\times HC+0.429\times CO+0.273\times CO_2} \quad (3)$$

3. 자동차 연료제조기준 변천 과정 및 연료품질 변화 특성 분석

대기환경보전법에서 규정하고 있는 자동차용 연료제조기준은 연료로 사용 시 대기 중에 배출되는 성분을 중심으로 규제하고 있다. 휘발유 제조기준은 방향족 화합물과 벤젠 함량 규제 등 총 9 개 항목을 규제함으로 연료 연소 시 대기오염을 일으키는 오염성분을 최소화하였고, 경유 제조기준은 총 7 번에 걸쳐 항목의 추가 및 기준 강화를 진행하였다.

연료제조기준 항목은 전체적으로 국내 대기오염 추세 및 외부 환경여건 변화에 따라 발전해 오고 있다. 그러나 실질적으로 자동차의 오염물질 감소와 연계된 항목 설정은 2000 년 이후에 시작되었다고 볼 수 있다. 휘발유에 있어서 2000 년부터 자동차 배출허용기준의 강화추세와 함께 배출가스 후처리 장치의 성능 및 효율에 크게 영향을 주는 '황 함량'이 항목에 추가되었고, 대기오염의 오존 (O_3 : ozone)과 휘발성 유기화합물 (VOCs :

Table 1 Fuel standard of domestic automotive gasoline (Clean air conservation act)

Contents	'91.2~ '92.12	'93.1~ '95.12	'96.1~ '98.3	'98.4~ '99.12	'00.1~ '01.12	'02.1~ '05.1	'05.2~ '08.12	'09.1~ '14.12	'15.1~
Aromatics (V %)	-	55 ↓	50 ↓	45 ↓	35 ↓	35 (30) ↓	30 (27) ↓	24 (21) ↓	22 (19) ↓
Benzene (V %)	-	6 ↓	5 ↓	4 ↓	2 ↓	1.5 ↓	1.0 ↓	0.7 ↓	
Lead (g/L)	0.3 ↓	0.013 ↓							
Phosphorus (g/L)	0.0013 ↓								
Oxygen (Wt %)	-	0.5 ↑	0.75 ↑	1.0 ↑	1.3 ~ 2.3 (Summer : 2.3 ↓)	1.0~2.3 (Summer : 2.3 ↓)		2.3 ↓	
Olefin (V %)	-				23 ↓	18 (23) ↓	18 (21) ↓	16 (19) ↓	
Sulfur (㎎/㎏)	-				200 ↓	130 ↓	50 ↓	10 ↓	
Vapor Pressure (37.8℃, kPa)	-				82 ↓	70 ↓	65 ↓	60 ↓	
Distillation (℃) (90 vol%, max.)	-				175 ↓			170 ↓	

voolatile organic compounds) 감소를 위해 올레핀, 증기압 등이 새로운 항목으로 추가되면서 꾸준히 강화해오고 있다.

Table 1은 국내 자동차용 휘발유 연료제조기준 변천 과정을 나타낸 표이다. 국내 대기환경보전법상 자동차용 휘발유의 연료제조기준 변천 과정을 보면 옥탄가는 자동차용 연료의 노킹 특성(anti-knock)과 연관되는 지표로서, 옥탄가가 높으면 연비와 출력을 향상시킬 수 있다. 기존에는 옥탄가 향상제로 납 화합물(사에틸납, tetraethyl lead)을 사용했으나, 연소과정에서 납 화합물이 대기 중으로 배출되게 되고, 대기 중의 납 화합물은 호흡기 질환이나 그 밖의 정신적 장애를 일으킬 수 있는 독성물질이기 때문에 1991년부터 사용이 엄격히 규제되기 시작하였다. 납 화합물을 대체한 옥탄가 향상제로 국내에서는 함산소 화합물인 MTBE (methyl tert-butyl ether)를 이용함으로써 휘발유내의 산소 함량을 다시 규제하기 시작하였다. 방향족 화합물 연소 시 발암성 물질인 벤젠 화합물이 발생하기 때문에 자동차용 휘발유의 연료제조기준 변천과정을 보면 점차 방향족 화합물과 벤젠 함량이 낮아짐을 볼 수 있다.

이러한 특징은 Fig. 1의 2006 년 이후 국내 유통 연료에 대한 품질기준 항목인 방향족 화합물과 올레핀 동향을 보면 알 수 있다. 일반적으로 방향족 화합물은 휘발유의 좋은 옥탄가 향상 성분이며 고에너지 밀도의 연료분자이지만 연료 속의 방향족 함량은 엔진의 침전물을 증가시키고 이로 인해 배기관 배출이 증가하게 하는 경향이 있다.

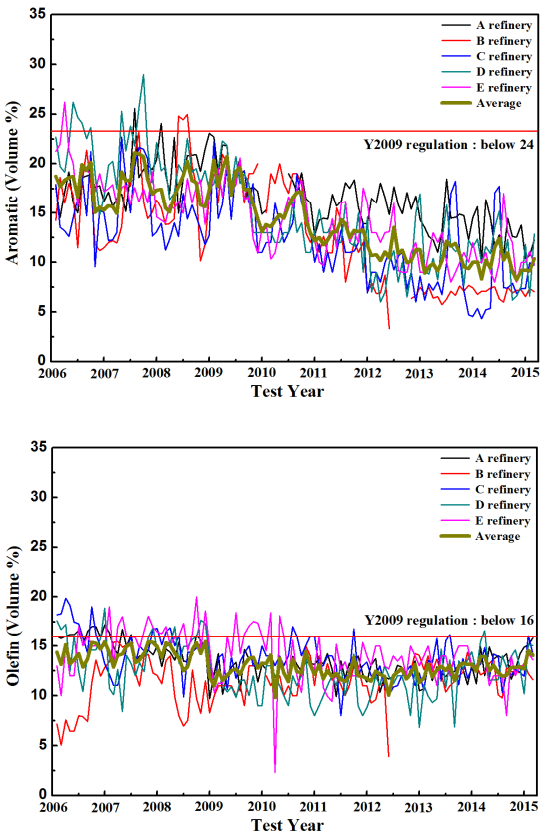


Fig. 1 Fuel quality measuring result of gasoline test fuel (Aromatic and olefin content)

Table 2 Fuel standard of domestic automotive diesel (Clean air conservation act)

Contents	'91.2 ~ '92.12	'93.1~ '95.12	'96.1~ '98.3	'98.4~ '01.12	'02.1~ '05.12	'06.1~ '08.12	'09.1~
Carbon Residue 10%(Wt%)	0.20 ↓	0.15 ↓					
Density (15℃, kg/m3)	-				815 ~ 855	815 ~ 845	815 ~ 835
sulfur (mg/kg)	4,000 ↓	2,000 ↓	1,000 ↓	500 ↓	430 ↓	30 ↓	10 ↓
Polyaromatics (wt%)	-					11 ↓	5 ↓
Lubricity@60 ℃ (HFRR, μm)	-					460 ↓	400 ↓
Aromatics (Wt%)	-						30 ↓
Cetane Index	-						52 ↑

이러한 방향족 화합물 기준 동향은 2006년 보다 지속적으로 감소하여 연료제조기준인 24 (21) 부피%보다 적은 경향을 가지고 있다. 최근에는 최소 4.29 부피%, 최대 18.48 부피%, 평균 10.34 부피%를 나타나며, 평균적으로 10 부피%로 유지되고 있다. 이와 같이 품질기준 대비 현저히 낮은 상태로 유통되고 있음을 알 수 있다.

올레핀은 불포화 탄화수소로서 옥탄가를 향상시키는 역할을 한다. 그러나 방향족 화합물과 동일하게 침전물 형성을 증가시키고 배출가스 중 오존형성 물질과 유해배출을 증가시킨다. 또한 올레핀은 대기 중으로 휘발되어 오존 형성에 기여하며 연소 시 독성이 큰 디엔화합물을 만든다.

올레핀을 20 %에서 5 %로 감소하게 되면, 오존형성 능력이 현저하게 줄어든다는 연구결과가 있다. 증기압과 마찬가지로 오존발생과 밀접한 관계가 있는 올레핀은 2006년 이후 감소하다가 2011년부터 일정한 수준의 함량을 보이고 있는데, 평균적으로 12 부피% 이하로 유지되고 있는 것을 볼 수 있다.

Table 2는 국내 자동차용 경유 연료제조기준 변천 과정을 나타낸 표이다. 2009년부터 새로이 강화된 자동차용 경유가 생산 유통되고 있는데 PM과 연계된 세탄가와 밀도, 황산화물 형성 및 자동차부품 부식, 후처리 촉매의 기능상실과 연계된 황분, 기기의 마찰마모와 연계된 윤활성, 배출가스 중 발암물질의 발생정도와 밀접한 관계가 있는 방향족 화합물, 그리고 자동차의 출력과 연비에 영향을 줄 수 있는 세탄지수(또는 세탄가)가 추가 또는 강화되었다.

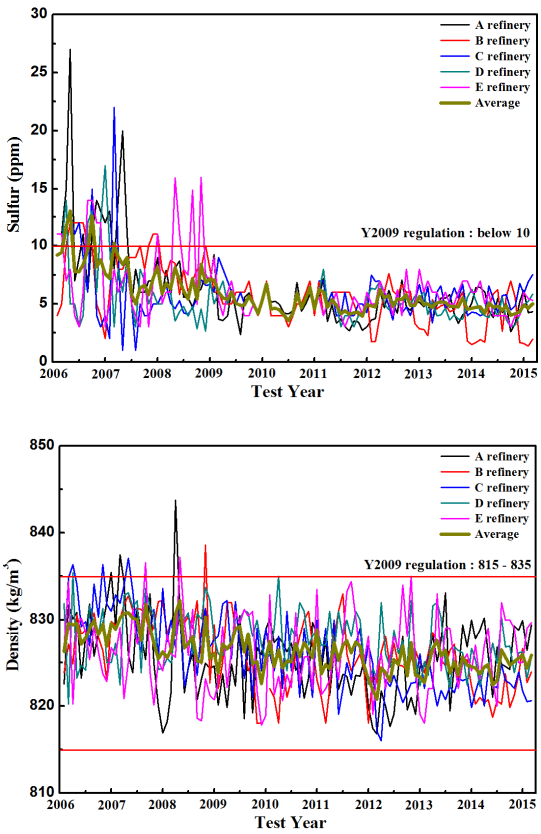


Fig. 2 Fuel quality measuring result of diesel test fuel (Sulfur and density content)

이러한 특징은 Fig. 2의 2006년 이후 국내 유통 연료에 대한 품질기준 항목인 황분과 밀도 기준 동향을 보면 알 수 있다. 황 함량은 석유제품의 정제도를 가늠하는 척도로서 활용되었으나, 최근에는 경유에서의 유황성분이 미세 PM 형성과 대

기 중에서 또는 배출가스에서 sulfate 형성의 한 원인으로 규명되고 있고, 엔진시스템 부식과 내구성에 영향을 주며, 성분 증가는 후처리장치 시스템의 효율을 감소시킬 수 있다. 하지만, 유황 성분의 함량이 감소할수록, 연료 안정성에 대해 특별한 주의가 요구된다. 연료의 부적절한 열적 안정성은 연료필터의 막힘을 야기할 수 있다. 그러므로 연료분사 시스템의 압력 / 온도가 증가함에 따라 연료 저장안정성 만을 측정하는 것보다 연료의 열적 산화안정성도 측정되어져야 한다.

황분기준 동향은 90년대 초부터 지속적으로 강화하였으며, 특히 2006년 이후 30 mg/kg 이하의 초저유황 경유로 관리되고 있음을 알 수 있다. 황분은 지속적으로 감소하여 연료제조기준인 10 mg/kg보다 적은데, 현재 평균적으로 5 mg/kg으로 유지되고 있는 것을 볼 수 있다. 각 정유사 연평균 기준도 2.6 mg/kg ~ 6.9 mg/kg의 값을 보여 저황분화 추세에 부응하고 있다.

경유 밀도는 15℃에서 시료체적당 질량을 말하며, 석유제품의 밀도는 탄화수소 구조를 추정하는데 활용되고 중량 및 용량을 계산할 때 필요하다. 경유에서는 유해배출가스 저감을 위해 낮은 밀도를 요구하고 있으며, 배출가스 영향 시험에서 밀도가 낮을수록 PM 감소에 영향이 있는 것으로 보고되고 있다[11]. 유해배출가스 감소를 위해 비중 즉 밀도가 낮은 것이 요구되지만, 너무 낮을 경우 연료 분사량이 많아져 연비가 낮아지는 단점을 지닌다. 경유의 밀도는 2006년 이후 감소하는 경향을 가지고 있으며, 최근에는 정유사 월평균 기준으로 820.7 ~ 827.2 kg/m^{3}의 범위를 가졌고, 평균적으로 824.0 kg/m^{3}의 결과로 나타났다.

4. 연료물성 및 연비 특성 분석

4.1 월별 / 계절별 연료물성 측정 결과

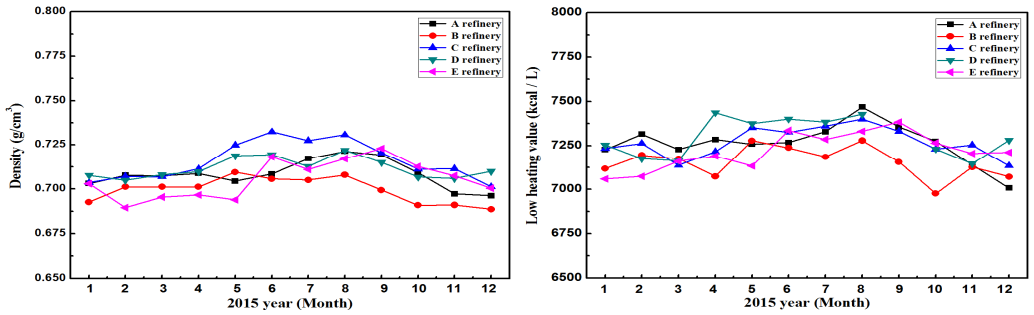
Fig. 3은 2015년 국내에서 유통되고 있는 5개 정유사 휘발유 연료물성을 월별로 측정하여 연료 변화 추이를 나타낸 결과이다. 결과를 비교하여 보면, 정유사 휘발유는 매월, 계절별, 정유사별로 다양한 특성을 보이고 있다. 특히 밀도, 저위발열량은 더 큰 변화를 가지고 있음을 볼 수 있다. 이러한 저위발열량과 탄소 함량은 2006년과 비교하여 1.8 % 이상 감소하는 특성을 가진다. 결과를 통하여 정유사, 계절별, 월별의 어떤 연료를 사용하였느냐에 따라서 차량 배출가스도 변하게 되고, 연비 특성도 다르게 나타나게 될 것이라는 것을 생각할 수 있다. 하지만, 기존의 연비 상수 계산식은 이러한 특성을 고려하지 못하는 단점을 가지고 있다고 할 수 있다. 이에 반해 새롭게 개정된 연비 계산식은 위의 특성을 고려하여줌으로써 좀 더 실측 연비에 더 가깝게 나타날 수 있을 것으로 사료된다.

4.2 연도별 연료물성 측정 결과

Fig. 4는 2006년부터 2015년까지 국내에서 유통되고 있는 정유사 연료의 저위발열량과 밀도 평균 결과를 월별로 분석하여 나타낸 것이다. 각각 연료 물성이 큰 차이를 보이는 이유는 월별 또는 계절별 연료품질 기준과 자동차 연료제조 기준의 차이에 의한 결과이며, 또한 생산년도 별 물성이 변화하고 있는 이유도 마찬가지로 자동차의 발전과 저감장치 장착, 배출가스 기준 강화 등 환경적인 문제에 의한 것이라고 할 수 있다.

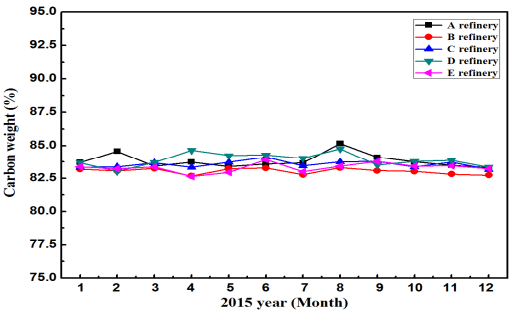
휘발유는 수백 개 단일화합물의 혼합물로 혼합비율에 따라 발열량, 밀도 등의 물성 차이를 가지는데, 이는 개별공정에서 생산되는 반제품 등을 토대로 구성 성분의 적절한 배합을 통해 생산되며, 생산시설, 원유도입선 및 수급구조, 생산성 향상 등에 의해 다양한 형태의 물성 특성을 가지고 있다고 할 수 있다. 연도별 연료물성 특성은 연료 저위발열량이 매년 크게 감소하는 추세를 가지며, 또한 밀도도 감소하는 경향을 가진다[12].

이는 품질 및 제조 기준이 2009년 이후에 엄격해 짐에 따라 제조에 사용되는 다양한 배합유의 선택이 제한되어 저위발열량 변동 폭이 감소되었고, 방향족 화합물의 함량이 낮아 저위발열량 값이 감소한 것으로 생각된다. 이러한 감소 경향과 월별 특성에 따라 연료를 사용하는 자동차 연비도 매번 바뀌게 되며, 연료 저위발열량과 밀도는 연비에 큰 영향을 주게 되므로 자동차 연비는 매

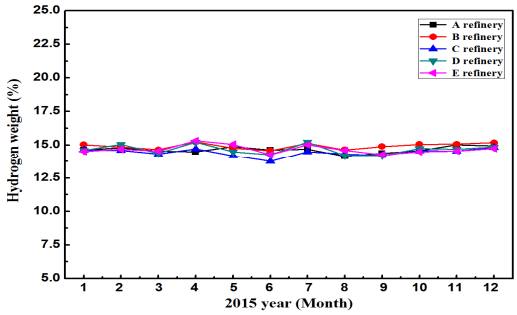


(a) Density

(b) Low heating value

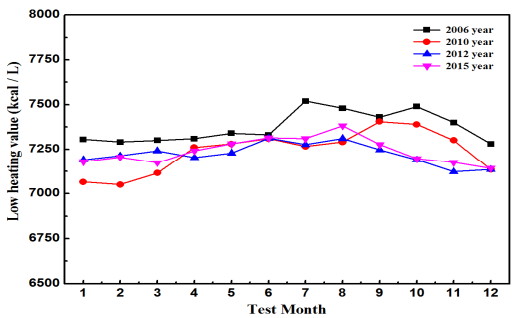


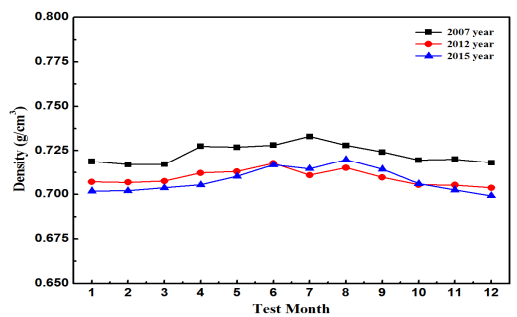
(c) Carbon weight



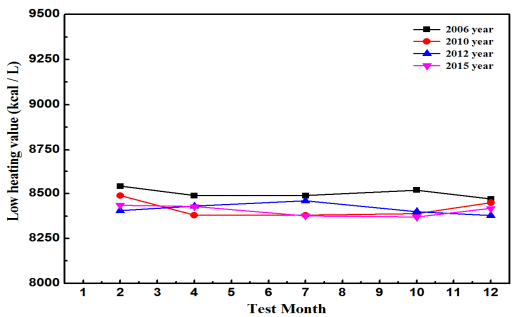
(d) Hydrogen weight

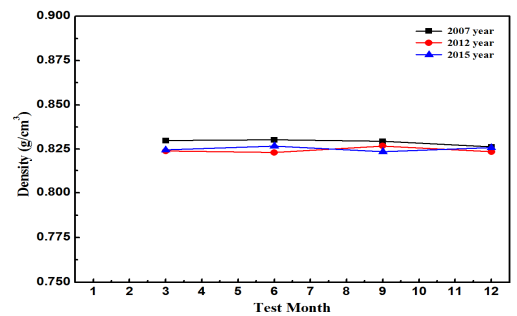
Fig. 3 Fuel property measuring result of gasoline test fuel (Density, Low heating value, Carbon weight, Hydrogen weight)





(a) Gasoline fuel





(b) Diesel fuel

Fig. 4 Fuel property measuring result of test fuel (2006 ~ 2015 year) (Density, low heating value)

년 감소하는 경향을 보였음을 생각할 수 있다.

경유는 비점이 200 ~370 ℃ 범위에 속하며 등유 다음으로 유출되는 유종으로 전체 수요의 17.4 %를 차지하고 있다. 연료 성분 중 정파라핀 탄화수소는 다른 탄화수소에 비해 비중이 작고 발열량이 크며 연소성이 우수하여 세탄가가 높은 반면, 방향족 탄화수소는 다른 성분에 비해 비중이 크고 발열량이 작으며 열적으로 매우 안정하여 세탄가가 낮다. 이러한 연료성분의 함량에 따라 비중, 세탄가 및 발열량 등이 차이가 나게 된다. 휘발유의 경우와 마찬가지로 생산년도에 따라 저위발열량과 밀도가 감소하나 그 폭은 크지 않음을 알 수 있고, 또한 계절별로 비교해보아도, 차이를 보이고는 있지만, 변동 폭은 크지 않아 휘발유에 비해 경유 경우 연료물성 변화에 대한 연비 변동의 차이는 크지 않음을 예측할 수 있다.

4.3 연료물성을 적용한 연비계산식 비교 결과

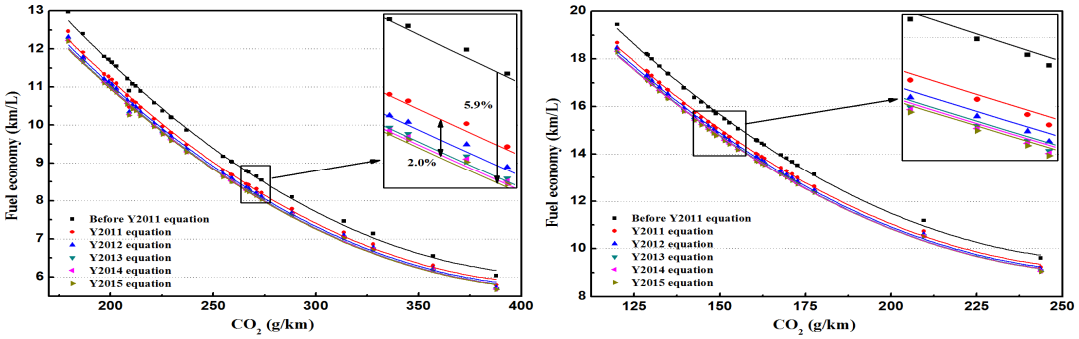
Table 3은 2011년부터 2015년까지의 국내 유통 연료에 대한 연료물성 특성을 각각 반영하여 만든 연비 상수 계산식을 적용된 기준에 따라 비교한 것이다. 기존 연비 상수 계산식에서 적용한 상수 (2011년 이전 식)와 국내 유통 연료물성의 결과 (2011 ~2013년 평균물성 적용 식, 2014년 평균물성 적용 식, 2015년 평균물성 적용 식)에 의해 만든 상수 계산식의 차이를 볼 수 있다. 전체 유종의 CH 비가 많이 증가되어 있음을 볼 수 있고, 연료 1L 당 C 함량, Carbon weight factor이 기존보다 감소되어 있는 것을 볼 수 있다. 이러한 결과는 기존 연비 상수 계산식 (2011년 이전식)과 2015 년 물성 적용 상수 계산식을 비교하여 보면 더 뚜렷하게 나오는 것을 알 수 있다. 동일한 시험차량이고, 동일한 연료라 하더라도 적용되는 연비 계산식의 상수 차이에 의하여 연비 차이가 발생할 수 있다는 것을 생각할 수 있다.

동일 시험차량 배출가스로 연비 상수 계산식 차이를 비교해 보면, 휘발유 차량 (THC : 0.015 g/km, CO : 0.515 g/km, CO_2 : 219.93 g/km)의 경우 기존 상수 계산식과 2015년 물성 적용 상수 계산식이 5.3 %의 연비 차이를 보이게 되고, 연료물성의 최대 / 최소를 기준으로 하면 연비 차이는 6.1 % 차이를 가진다. 경유 차량 (THC : 0.009 g/km, CO : 0.026 g/km, CO_2 : 202.623 g/km) 경우는 기존 상수 계산식과 2015년 물성 적용 상수 계산식이 3.5 %의 연비 차이를 보이고 있고, 연료물성의 최대 / 최소를 기준으로 하면 연비 차이는 2.9 % 차이를 가진다.

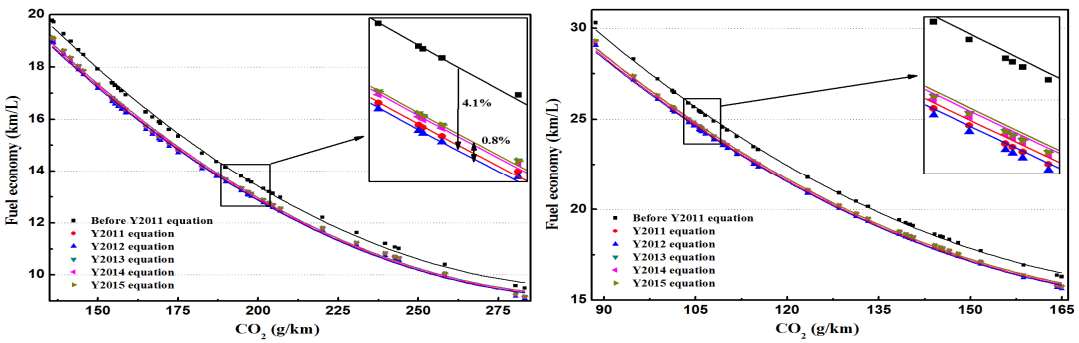
위의 결과 차이는 자동차 연비 면에서 큰 결과 차이라고 할 수 있다. 그러므로 연비를 계산함에 있어 이전 상수 계산식과 동일하게 상수로 만든 계산식을 적용하는 데는 많은 문제점이 있음을 알 수 있다. 이에 공동고시에서 새롭게 제정된 연비 계산식은 실제 사용된 연료 물성을 대입하여 줄 수 있어서, 실제 소비된 연비를 좀 더 정확하게 예측할 수 있을 것으로 판단된다.

Table 3 Fuel factor value according to the characteristics of fuel property

Contents					C (g)	CARBON weight factor		
Class		Composition	C/H	Dencity (g/L)	Fuel (1L)	HC	CO	CO_2
Before Y2011 equation	Gasoline	C1H1.85	1.85	739	640	0.866	0.429	0.273
	Diesel	C1H1.85	1.85	847	734	0.866	0.429	0.273
	LPG	C1H2.50	2.50	584	483	0.828	0.429	0.273
2011-2013 average equation	Gasoline	C1H2.09	2.09	716	610	0.852	0.429	0.273
	Diesel	C1H1.99	1.99	824	707	0.858	0.429	0.273
	LPG	C1H2.52	2.52	569	470	0.826	0.429	0.273
2014 equation	Gasoline	C1H2.12	2.12	710	604	0.850	0.429	0.273
	Diesel	C1H1.99	1.99	826	709	0.858	0.429	0.273
2015 equation	Gasoline	C1H2.11	2.11	708	602	0.850	0.429	0.273
	Diesel	C1H1.96	1.96	825	710	0.860	0.429	0.273



(a) Gasoline vehicle (City and Highway)



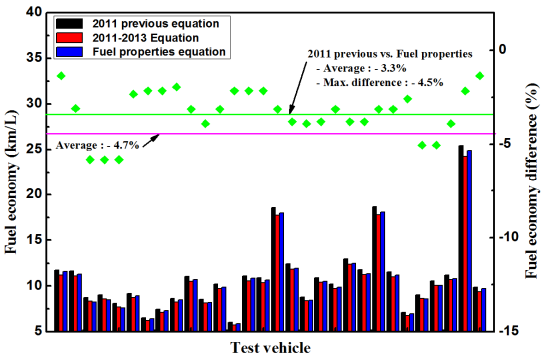
(b) Diesel vehicle (City and Highway)

Fig. 5 Comparison of Fuel economy according to different fuel calculation equation (2011 ~ 2015 year)

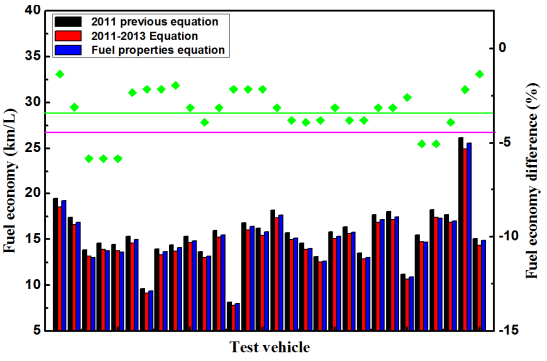
Fig. 5는 연구에 사용된 분석 차량의 실제 시험결과를 가지고 기존 연비 상수 계산식과 2011년부터 2015년까지의 매년 연료물성을 가지고 만든 연비 상수 계산식 간의 차이를 살펴보기 위하여 연비를 CO_2에 대해 나타낸 것이다. 결과를 보면, Table 3의 결과와 동일한 경향임을 확인할 수 있다. 휘발유의 경우, 기존 상수 계산식과 5.9 %의 연비 차이를 보이고 있고, 2011년 물성 적용 상수 계산식과 2015년 물성 적용 상수 계산식의 차이는 2.0 %이다. 도심연비 결과와 고속연비 결과를 비교하여 보면, 도심연비가 연비 계산식의 차이에 더 많은 영향을 받고 있을 것을 볼 수 있는데, 이는 시험차량이 고속연비 결과의 분포가 좁고, 시험결과의 차이가 적기 때문으로 생각된다. 경유 차량의 경우 기존 상수 계산식과 4.1 %의 연비 차이를 보이고 있고, 2011년 물성 적용 상수 계산식과 2015년 물성 적용 상수 계산식의 차이는 0.8 %이다. 경유의 결과에서 2011년과 2015년의 연비차이가 적은 이유는 앞의 Fig. 4와 마찬가지로 생산년도에 따라 저위발열량과 밀도가 감소하나 그 폭은 크지 않고, 계절별로 비교해보아도, 차이를 보이고는 있지만 변동 폭은 크지 않기 때문으로 생각된다. 하지만, 도심연비와 고속연비의 차이 경향은 휘발유의 결과와 동일함을 알 수 있다.

4.4 시험연료 물성을 대입하는 연비 계산식 비교 결과

Fig. 6은 분석 차량 중 시험연료 물성을 대입하여 주는 휘발유 차량(30대)의 연비 결과를 비교한 것이다. 이는 측정된 배출가스 결과와 실제 시험에 사용된 연료물성(CWF, 저위발열량, 밀도)을 가지고 새롭게 제정된 연비 계산식에 대입하여 구한 결과와 앞에서 설명한 연비 상수 계산식(기존 상수 계산식과 2011~2013년 평균물성 적용 상수 계산식)으로 구한 결과를 비교한 것이다.



(a) City mode



(b) Highway mode

Fig. 6 Comparison of Fuel economy according to different fuel calculation equation of gasoline vehicle (City and highway)

기존 연비 상수 계산식 결과와 새롭게 제정된 연비 계산식에 의해 계산된 결과를 비교하여 보면, 도심연비와 고속연비가 동일하게 평균적으로 -3.3 % 낮게 측정되는 것을 볼 수 있다. 이러한 결과는 기존 상수 계산식과 2011 ~ 2013년 평균 물성 적용 상수 계산식 결과의 평균 차이인 -4.7 % 보다는 낮음을 알 수 있다. 연비 차이에 있어서는 거의 비슷할 수도 있지만, 차량 각각의 연비차이 결과를 보면 차이가 많이 다른 경향을 보이고 있음을 알 수 있다. 연비 차이가 틀린 이유는 시험 차량의 연료물성이 다르고, 이에 따른 연비 결과 값이 다르기 때문이다.

시험차량의 연비결과 차이가 적고, 차량 각각의 연비 차이 경향이 많이 다른 것을 볼 때, 시험 차량에 사용된 실제 연료물성을 반드시 대입하여 연비를 계산하여 주어야만 함을 확인할 수 있으며, 또한 새롭게 제정된 연비계산식이 실제 차량에서 소비되는 연료량을 좀 더 정확하게 측정할 수 있을 것으로 생각된다.

연비측정 편리성(물성 비측정)을 위해 기존 상수를 사용하는 계산식을 해당 년도의 국내 연료 물성을 반영한 다른 상수로 바꾸어 적용함으로써 연비 특성을 고려할 수 있다. 하지만, 이렇게 만든 상수 계산식도 국내 유통되고 있는 연료물성 평균을 취하여 만든 상수로서 실제 사용된 연료물성 변화를 반영하는 것이 힘들다. 또한 매년 바뀌게 되는 연비 상수 계산식에 의해 차량마다의 연비 차이를 비교하는 것이 불가능할 것이다. 그러므로 공동고시에서 새롭게 제정된 연비 계산 방법이 최선으로 판단된다.

이러한 연비 계산법 변경 검토는 향후 더 많은 물성 차이를 가지는 있는 석유대체연료가 보급되고, 이를 연료로 사용하는 다양한 차종에 대해서도 추가적인 연구가 필요할 것으로 보인다.

5. 결 론

국내에서 유통되고 있는 휘발유, 경유 연료품질(물성) 변화 특성을 연료제조기준 항목에 따라 살펴보고, 공동고시 전에 사용해 왔던 기존 연비 상수 계산식과 새롭게 제정된 연비 계산식, 해당년도의 연료 물성으로 만든 상수 계산식 차이를 비교함으로서, 연비 계산식 변경에 따른 연비 특성에 대해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 연료 품질기준은 국내 대기오염의 추세 및 외부 환경여건 변화에 따라 강화해 오고 있으며, 이러한 품질기준의 변화에 따라 국내에서 유통되고 있는 연료품질도 동일한 경향으로 변하고 있는 것을 볼 수 있다. 대부분 품질기준 항목에서 기준 값보다 더 많이 낮아진 값으로 유통되고 있는 것을 확인할 수 있었다.

2) 국내에서 유통되고 있는 정유사 연료물성을 월별로 측정하여 살펴본 결과, 휘발유는 매월, 계절별, 정유사별로 다양한 특성(밀도, 저위발열량 등)을 보이고 있으며, 저위발열량과 탄소 함량은 2006년과 비교하여 1.8 % 이상 감소하고 있다.

3) 경유는 휘발유와 비슷하게 생산년도에 따라 저위발열량과 밀도가 감소하나 그 폭은 크지 않음을 알 수 있다. 또한 계절별로도 차이는 있지만 변동 폭은 크지 않음을 확인할 수 있었다.

4) 연비 계산식 변경만으로 휘발유는 기존 사수 계산식과 5.3 %의 연비 차이를 보이고 있고, 연료물성 최대 / 최소의 연비 차이는 6.1 %이다. 경유는 기존 상수 계산식과 3.5 %의 연비 차이를 보이며, 연료물성 최대 / 최소의 연비 차이는 2.9 %이다. 이러한 차이는 자동차 연비 면에서 큰 결과 차이라고 할 수 있다.

5) 기존 상수 계산식과 새롭게 제정된 연비 계산식을 비교하여 보면 모든 시험모드에서 동일하게 평균적으로 낮은 차이를 가지고 있는 것을 볼 수 있고, 각각의 차량에서 연비 차이가 많이 틀린 경향을 가짐을 확인할 수 있다. 이러한 결과를 통하여 시험 차량에 사용된 실제 연료물성을 반드시 대입하여 연비를 계산하여 주어야만 함을 확인할 수 있다. 또한 새롭게 제정된 연비계산식이 실제 차량에서 소비되는 연료량을 좀 더 정확하게 측정할 수 있을 것으로 판단된다.

후 기

본 연구는 2015년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국에너지기술평가원 주관 "산업기술혁신산업 (에너지기술개발사업, No.20152010103660)"으로 수행되었으며, 관계 기관의 지원 및 협조에 감사드립니다.

References

1. U.S. Environmental Protection Agency, 2006, "Fuel Economy Labeling of Motor Vehicles : Revisions to Improve Calculation of Fuel Economy Estimates", EPA Final Technical Support Document, EPA420-R-06-017.
2. S. H. Choi, H. Jung, Y. B. Shin, Y. I. Shin, Y. S. Park, 2010, "A Study on the Effect of Driving Conditions of Passenger Cars on the Fuel Consumption", KSAE 2010 Annual conference, pp. 676-681.
3. J. K. Lee, B. S. Kim, D. S. Choi, H. M. Kim, H. B. Kwon, Y. S. Park, 2010, "Effect of Fuel Economy & Greenhouse Gases by Sudden Acceleration and Deceleration on Vehicle", KSAE 2010 Annual conference, pp. 693-698.
4. Ministry of Trade, Industry and Energy, Notice No.2015-63, 2015,「Regulation on the energy efficiency and green house gas, fuel consumption of vehicles」
5. U.S. Environmental Protection Agency, 2006 "Fuel economy of motor vehicles", EPA 40 CFR Parts 600.
6. A. M. Hochhauser, J. D. Benson, V. R. Burns, R. A. Gorse, W. J. Koehl, L. J. Painter, R. M. Reuter, J. A. Rutherford, 1993, "Fuel Composition Effects on Automotive Fuel Economy - Auto / Oil Air Quality Improvement Research Program", SAE Technical paper No. 930138.
7. J. Nuszkowski, G. J. Thompson, N Clark, "Experimental and Error Analysis Investigation into Dilution Factor Equations", SAE Technical paper No. 2007-01-0310, 2007.
8. Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2012, "The testing and policy briefing of Transport sector Greenhouse gas management system (KOTEMS)", 2012 Policy briefing.
9. C. S. Lim, J. H. Hong, J. S. Kim, J. T. Lee, Y. S. Lim, S. K. Kim, S. J. Jeon, 2011, "A Study on Reduction Effects of Air Pollutant Emissions by Automotive Fuel Standard Reinforcement", Journal of Korean Society for Atmospheric Environment, Vol. 27, No. 2, pp. 181-190.
10. S. C. Kim, E. A. Lee, S. R. Yong, 2013, "An experimental study on fuel economy effects from SG of the used fuel property for gasoline passenger car", KSAE 2013 Annual spring conference, pp. 328-335.
11. ACEA, Alliance, EMA and JAMA, 2013, "World Wide Fuel Charter", Research report, Fifth edition.
12. K. W. Youm, S. J. Kim, 2014, "A Study on Distillation Property of Automotive Gasoline and Diesel Fuel", The Korea Society for Power System Engineering, Vol. 18, No. 5, pp. 11-15.