



탄소평형법을 적용한 천연가스 자동차의 연비 산출 방법 고찰

†한정옥 · 채정민 · 이동원*

한국가스공사 가스연구원, *아주자동차대학 자동차계열
(2017년 8월 28일 접수, 2017년 10월 27일 수정, 2017년 10월 28일 채택)

A Study on Fuel Economy Determination of Natural Gas Vehicle Using Carbon Balance Method

†JeongOk Han · JungMin Chae · DongWon Lee*

Research Institute of KOGAS, 1248 Suinro, Ansansi, Gyeonggi-do, 15328, Korea
*AJOU Motor College, Dept. of Automobile, Chungnam-do, 33415, Korea
(Received August 28, 2017; Revised October 27, 2017; Accepted October 28, 2017)

요 약

본 연구는 천연가스를 기반으로 하는 가스연료 자동차의 연비산출방법에 대해 미국과 유럽의 기준을 조사하고 적합성을 분석하여 국내에 적합한 자동차 연비 산출방법을 도출하는데 목적이 있다. 탄소평형법으로 유도되는 연료소비율 산출은 연료의 탄소중량비와 자동차 배출가스중 탄소성분의 평형 관계식에 의해 유도된다. 미국기준은 시험가스 조성의 제한이 없지만 유럽 기준은 기준 시험가스(G20, G23)를 사용하여야 한다. 국내 도시가스를 사용하는 NGV의 경우 유럽기준을 적용하면 시험가스의 차이로 연비가 약 12% 불리하게 나오는 것으로 확인되었다. 또한, 연비 산출시 필요한 연료물성을 발열량으로부터 결정하는 방법을 소개하고 이러한 방법을 기반으로 국내 천연가스 자동차 연비 산출방법을 제시하였다.

Abstract - This study is aimed to investigate the US code and European code on the evaluation of fuel economy of natural gas vehicles and deduce the formula suitable for domestic natural gas fuel. The fuel consumption formula have been derived by carbon balance relation between fuel composition and exhaust emission. The US code does not limit the composition of the test gas, but European code should be used the reference gases such as G20 and G23. In the case of NGV using domestic city gas, it is confirmed that the fuel economy determined by European code is 12% worse than that of US code because of difference of test gas. Also, a method of determining the fuel properties from the calorific value is proposed to evaluate the fuel economy of natural gas vehicles.

Key words : NGV, fuel economy, CNG, density, emission, carbon balance, CWF

1. 서 론

차량의 연비는 기준 시험모드에서 단위출력 또는 에너지당 주행거리로 표시되며 출력과 배출가스 이외에 차량의 에너지 효율을 평가하는 주요 지표이다. 자동차 연비를 측정하는 방법은 직접 연료사용량을 측정하는 방법과 배출가스로부터 탄소평형법을 적용

하는 방법 등이 알려져 있으며 국제적으로 탄소평형법이 많이 쓰이고 있다.

미국의 경우 2012년에 개정된 40 CFR 600.113-12에서 천연가스에 대한 연비 산출방법을 제시하고 있다. 미국은 탄소평형관계식을 이용하여 연비를 산출하는 방법을 제시하였고 이때 연료물성치인 밀도를 20℃를 기준으로 하였다¹⁾. 유럽의 경우 천연가스 차량의 연비는 2013년에 개정된 UNECE Regulation No. 101-Revision 3에 산출방법을 명시하고 연료밀도의 경우 15℃ 조건에서 정해진 시험연료의 평균밀도

†Corresponding author:johan@kogas.or.kr
Copyright © 2017 by The Korean Institute of Gas

(0.654 kg/m³)를 적용하고 있다²⁾. 이 경우 평균 밀도 값을 취함으로써 HCNG 차량의 경우와 같이 메탄 이외의 성분을 다량 포함된 경우에는 이 방법을 적용하는데 한계가 있다.

국내의 경우 산업통상자원부 고시 중 “자동차의 에너지소비효율 및 등급표시에 관한 규정”에는 휘발유, LPG, 디젤 및 전기자동차에 대한 연비 산출 방법은 제시된 반면 아직 NGV에 대한 연비 산출기준이 없는 상태이다³⁾. 천연가스와 LPG등 연료물성을 고려한 연비측정방법에 대한 연구는 시도되고 있지만^{4,5)} 아직도 천연가스 연료에 대한 연구는 부족한 상태이다. 본 연구에서는 천연가스 자동차에 대한 연비 산출방안에 대한 고찰을 통해 최적 방안을 제시하고자 한다.

II. 국내외 자동차 연비 산출 기준

2.1 디젤 자동차 연비 산출 방법

미국 환경보호청(EPA)에서 규정하는 디젤자동차의 연비산출은 사용연료의 물성과 배출가스를 바탕으로 탄소평형법에 의해 산출된다. 연비는 아래 식으로 계산된다.

$$mpg = \frac{2778}{0.866 \times HC + 0.429 \times CO + 0.273 \times CO_2}$$

여기서,
mpg = 경유자동차연비(mile/gallon)
HC, CO, CO₂ = 배기가스중각성분의중량(g/mile)

유럽의 경우 바이오디젤 B5에 대해 아래 식을 적용하는 것으로 알려져 있다.

$$FC = (0.116/D) \times [(0.861 \times HC) + (0.429 \times CO) + (0.273 \times CO_2)]$$

여기서,
FC = fuel consumption(ℓ /100km)
D = density(kg/ℓ)
HC, CO, CO₂ = 배기가스 중 각 성분의 배출량(g/km)

국내의 경우 산업통상자원부의 “자동차의 에너지소비효율 및 등급표시에 관한 규정” 별표 1에 아래와 같이 산출식이 제안되어있다.³⁾

$$\text{연비}(km/l) = \frac{734}{0.866 \times HC + 0.429 \times CO + 0.273 \times CO_2}$$

여기서,

경유의 C/H 비율은 1.85이며 LHV는 8,420 kcal/ℓ, 각 배출성분 단위는 g/km이다.

위의 관계식은 탄소평형법을 기준으로 정리된 식이며 디젤자동차의 경우 배출가스 중 탄소가 포함된 배출성분을 HC, CO, CO₂로 한정하였고 직접 탄소입자로 배출되는 것은 무시하였다. 이것은 탄소평형법의 적용 시 오차 요인으로 지적될 수 있으며 실제 매연여과장치를 통해 측정되는 탄소성분이 존재하기 때문에 이에 대한 적절한 검토가 필요하다.

2.2 천연가스 자동차 연비 산출 방법

미국의 CNG차량의 연비에 대한 환경보호청(EPA) 기준(40 CFR 600-113-12)을 SI 단위계로 나타내면 아래와 같다.¹⁾

$$\text{연비} = \frac{CWF_{NG} \times D_{NG}}{A + B + C + D} \dots (km/m^3)$$

여기서,
A = 0.749 × CH₄
B = CWF_{NMHC} × NMHC
C = 0.429 × CO
D = 0.273 × (CO₂ - CO_{2NG})

CWF_{NG} = 천연가스연료의탄소중량비
D_{NG} = 천연가스연료밀도(kg/m³), ... at 20°C, 101.3kPa
CH₄, CO, NMHC, CO₂ = 배기가스각성분배출량(g/km)
CWF_{NMHC} = NMHC연료의탄소중량비
CO_{2NG} = FC_{NG} × D_{NG} × WF_{CO2}

$$FC_{NG} = \frac{0.749 \times CH_4 + CWF_{NMHC} \times NMHC + 0.429 \times CO + 0.273 \times CO_2}{CWF_{NG} \times D_{NG}}$$

= 천연가스연료소비량(m³/km)

CWF_{NG} = 천연가스연료의탄소중량비율
WF_{CO2} = 천연가스연료중 CO₂중량비율

천연가스 성분중 CO₂가 포함되지 않은 경우 위의 관계식은 아래와 같이 간단히 정리된다.

$$\text{연비} = \frac{CWF_{NG} \times D_{NG}}{A + B + C + D} \dots (km/m^3)$$

여기서,
A = 0.749 × CH₄
B = CWF_{NMHC} × NMHC
C = 0.429 × CO
D = 0.273 × CO₂

탄소평형법을 적용한 천연가스 자동차의 연비 산출 방법 고찰

CWF_{NG} = 천연가스연료의탄소중량비
 D_{NG} = 천연가스연료밀도(kg/m^3), ... 20℃, 101.3kPa
 $CH_4, CO, NMHC, CO_2$ = 각성분의배기가스중량(g/km)
 CWF_{NMHC} = NMHC연료의탄소중량비

위의 관계식은 HCNG와 같이 연료가스에 수소나 그 밖의 미연(未燃) 탄화수소 성분이 포함된 경우에도 적용할 수 있고 연료의 탄소중량비와 그 연료의 밀도로 연료특성이 정해지며 연소후 배출가스의 탄소성분 평형관계로부터 연비를 산출하는 방법이다. 여기서 밀도 계산조건을 20℃, 101.3 kPa로 정한 것은 실제 사용조건인 상온으로 표시하기위한 것이며 연비를 단위 열량기준으로 표시할 경우는 기준으로 정한 온도조건을 발열량을 적용하므로 동일한 연비 값이 얻어진다. 따라서 온도조건을 상온조건으로 표시하든 표준조건(0℃, 101.3 kPa)으로 표시하든 연료체적에 대한 기준 문제이므로 온도, 압력조건을 명시할 필요가 있다.

한편 유럽의 연비 산출방법은 2013년에 개정된 UNECE Regulation No. 101-Revision 3 Annex6에 산출방법을 명시되어 있다.²⁾ 100 km당 연비($m^3/100km$)를 산출하는 방법을 아래 식으로 제시하고 있으며 이때 천연가스의 밀도를 15℃, 1기압 상태의 기준가스 평균밀도 0.654 kg/m^3 를 제시하였다.

$$FC = (0.1336/0.654) \times (0.749 \times HC + 0.429 \times CO + 0.273 \times CO_2)$$

여기서,

FC= 연비, 단위는 $m^3/100km$ 이며 각 성분의 배출가스 배출량은 g/km

연비 시험 시 기준연료(G20, G23)를 사용하여 성능을 평가할 경우에 적합하지만 일반적인 CNG 충전소의 연료를 사용할 때는 물성치가 달라져 위의 관계식

Table 1. Reference gas fuels specified in the European code for emission test(UNECE R83 Annex 10a)

Items		G20	G23	Average	Rem
Compositions(vol%)	CH ₄	100	92.5	-	
	N ₂	0	7.5	-	
Properties	CWF	0.7487	0.7487	0.749	
	Density (15℃)	0.6798	0.6286	0.654	kg/m^3

을 적용할 수 없다. 기준연료는 UNECE R83 Annex 10a에 명시되어있으며 Table 1과 같이 물성을 표시하였다. 여기서 G23의 질소성분은 CWF와 밀도 계산시 제외 하였으며 평균값을 구하면 위에 적용된 계수와 일치한다. 따라서 유럽기준을 적용할 경우 기준연료(G20, G23)를 사용하여 배출가스 시험을 수행하여야 한다.

천연가스에 수소를 혼합한 HCNG의 경우는 UNECE R 101-R3, Amendment 2에 아래와 같은 산출식이 제안되어 있다. 이는 수소 혼합비율에 따라 밀도가 다르기 때문이며 HCNG 연료 중 천연가스의 혼합비율(A)이 변수로 반영되어 있다.

$$FC = \left(\frac{910.4 \times A + 13.6}{44.655 \times A^2 + 667.08 \times A} \right) \times \left[\left(\frac{7.848 \times A}{9.104 \times A + 136} \right) \times HC + 0.429 \times CO + 0.273 \times CO_2 \right]$$

여기서,

FC= 연비($m^3/100km$)

A= HCNG 연료 중 천연가스의 혼합 비율(vol %)

HC, CO, CO₂= 배출가스 중 각성분의 배출량 (g/km)

Table 2. Comparison of the constant included in fuel consumption formulas of European and US code for CNG and HCNG fuel (see Table 4 for fuels)

Items	CNG		HCNG	
	US	EU	US	EU
Carbon weight fraction, CWF_{NG}	0.7556	0.7485 ¹⁾	0.7202	N.A
CWF, each component	THC	-	0.749	-
	CH ₄	0.749	-	0.749
	NMHC	0.809	-	0.809
	CO	0.429	0.429	0.429
Density	CO ₂	0.273	0.273	0.273
	20℃	0.733	-	0.538
	15℃	0.746	0.654	0.547
$CWF_{NG} \cdot Den$ ²⁾	0.554	0.490	0.387	0.417

¹⁾ The constant in the formula is expressed as 0.1336 instead of (=1/0.7485/10)

²⁾ Reference temperature of density(20℃ for US, 15℃ for EU)

Table 3. Relations with composition according to calorific value of city gas

Calorific value, HHV(MJ/Nm ³)		41.0	42.0	43.0	44.0
Compositions (mol%)	C1H4	96.71	94.58	92.44	90.35
	C2H6	2.35	3.62	4.85	5.99
	C3H8	0.57	1.12	1.72	2.37
	iC4H10	0.07	0.23	0.38	0.52
	nC4H10	0.10	0.25	0.40	0.55
	iC5H12	0.00	0.01	0.02	0.02
	nC5H12	0.00	0.00	0.00	0.00
	N2	0.19	0.19	0.20	0.21
H/C		3.923	3.863	3.806	3.754
CWF _{NG}		0.750	0.753	0.756	0.758
CWF _{NMHC}		0.806	0.808	0.809	0.809
den, (kg/m ³)	0°C	0.744	0.765	0.786	0.807
	20°C	0.693	0.712	0.732	0.752

Table 2에 CNG와 HCNG 연료에 대해 미국과 유럽에서 적용하고 있는 연비산출식의 계수 값을 비교하였다. 유럽의 경우 연료의 탄소중량비를 메탄 값으로 하고 밀도는 기준가스(G20, G23)에서 질소를 제외함으로써 질소함량에 무관한 관계를 가지게 되어있다.

국내의 경우 아직 천연가스자동차에 대한 연비기준이 산업통상자원부 고시에 반영되어있지 않으나 위에서 제시된 방법을 검토하여 기준 설정이 필요할 것으로 보인다. 미국과 유럽 기준을 살펴볼 때 시험연료의 경직성 및 조성변화에 따른 영향 반영용이성 등을 고려하면 미국기준이 국내 현실에 더 적합할 것으로 보인다. 국내 CNG, HCNG 연료에 대해 위에서 검토된 두 가지 방법에 대해 차량 연비를 3.1절에 비교하였다.

2.3. 도시가스 열량과 조성과의 관계

국내의 경우 도시가스는 2012년부터 열량거래제도 도입으로 지역별 공급열량이 고시 되고 있다⁶⁾. 따라서 열량으로부터 연비산출에 필요한 연료 밀도와 탄소중량비 산출에 필요한 조성 관계를 도출⁷⁾할

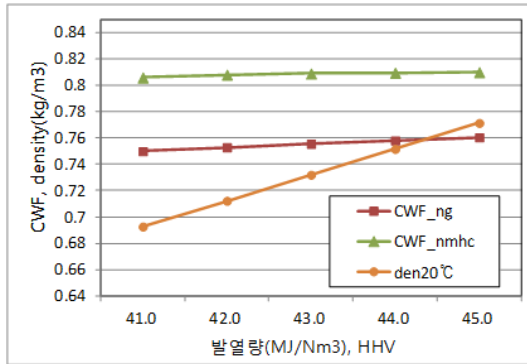


Fig. 1. Relationship between heating value and carbon weight fraction(CWF_{NG}).

수 있다면 앞에서 살펴본 연비산출 관계식을 적용할 수 있다. 과거 10년간의 공급 천연가스를 기준으로 열량과 조성과의 관계를 Table 3에 정리하였다. 도시가스는 원산지가 다른 액화상태의 LNG를 인수기지에서 저장하여 공급하는 형태이며 열량과 조성과의 관계를 정리한 것이다. 열량별 조성으로부터 연비 산출에 필요한 탄소중량비와 밀도 값을 표시하였다.

Fig. 1은 발열량과 탄소중량비에 대한 관계를 그래프로 나타낸 것이다. 도시가스의 탄소중량비(CWF_{NG})는 메탄을 포함한 경우(CWF_{NG})와 포함하지 않은 경우(CWF_{NMHC}) 모두 발열량과 선형적인 관계를 보임을 알 수 있다. 따라서 국내 공급되고 있는 도시가스의 발열량으로부터 탄소중량비를 유도할 수 있다. 조성으로부터 계산된 탄소중량비 값과 선형 유도식으로 계산된 값이 0.1% 이내에서 일치하고 있다. HCNG와 같이 수소가 30% 포함된 가스연료의 경우 탄소중량비는 위에서 언급된 발열량 관계 보다 가스연료의 조성으로부터 직접 산출하는 것이 바람직하다.

III. 분석 결과

3.1 연비 산출

천연가스 자동차의 연비 산출을 위해 Table 4에 국내 공급되고 있는 도시가스와 수소가 30%(천연가스 70%) 혼합한 HCNG 연료에 대해 대표 조성과 발열량을 표시하였다. 배출가스 중 탄소와 관련된 성분, 즉 메탄(CH₄), 일산화탄소(CO), 이산화탄소(CO₂) 및 탄화수소성분에 대한 배출농도를 측정하면 2.2절에 소개된 관계식으로부터 연비를 산출할 수 있다.

탄소평형법을 적용한 천연가스 자동차의 연비 산출 방법 고찰

Table 5는 연비 산출을 위해 CNG버스와 HCNG 버스에 대한 배출가스 측정 자료를 인용하였다⁸⁾. 이 자료로부터 미국에서 제안된 방법(40 CFR 600-113-12)과 유럽에서 제시한 방법(UNECE R101 R3)에 대해 연비를 산출할 수 있다.

연료물성과 배출가스 자료를 바탕으로 CNG버

Table 4. Domestic city gas composition and calorific values including HCNG fuel

구 분	HCNG	city gas	Remark
C1	64.63	92.33	mol %
C2	3.44	4.91	
C3	1.22	1.75	
i-C4	0.27	0.38	
n-C4	0.29	0.41	
i-C5	0.01	0.02	
n-C5	0	0.00	
N2	0.14	0.20	
H2	30.0	0.0	
Sum	100.0	100.0	mol %
LHV, 0°C	30.41	38.87	MJ/Nm ³
LHV, 20°C	28.32	36.19	MJ/m ³
HHV, 0°C	33.93	43.06	MJ/Nm ³
HHV, 20°C	31.60	40.09	MJ/m ³

Table 5. Typical emission data for CNG and HCNG buses

Items		CNG	HCNG
Emissions (g/km)	CH ₄	0.717	0.320
	NMHC	0.054	0.045
	CO	0.014	1.858
	CO ₂	610.34	485.73
	NO _x	0.844	0.075

스와 HCNG버스의 연비를 Table 6에 비교하였다. 연비 산출방법에 따른 결과를 보면 유럽기준이 미국기준에 비해 다소 낮은 값을 보여주고 있다. 이는 적용한 밀도의 차이에서 발생하는 것으로 유럽기준을 적용할 경우 기준가스(G20, G23)를 사용하지 않고 국내 공급가스를 사용함으로써 차이가 발생됨을 알 수 있다. 유럽기준으로 산출할 경우 미국기준에 비해 CNG버스의 연비는 약 12% 낮게 나오며 HCNG버스의 경우는 14% 낮은 값을 보여준다. 이러한 결과는 산출기준 적용이 얼마나 중요한가를 보여주는 사례이며 시험연료의 물성치(탄소중량비, 밀도)를 직접 적용하는 것이 가장 정확한 연비를 산출하는 것임을 보여주는 것이다. 따라서 국내의 도시가스를 사용하는 천연가스 버스의 경우 연비 산출시 정확한 기준이 필요하다.

CNG와 HCNG버스의 연료별 연비 비교는 단위 체적에 대한 발열량이 서로 다르기 때문에 직접 비교하는 것은 무리가 있으며 등가 열량으로 환산하여 비교하는 것이 바람직하다.

Table 6. Fuel economy of CNG and HCNG buses based on US and European codes

Items	CNG	HCNG	Remark ¹⁾
US code (40 CFR 600-113)	3.31	2.90	km/m ³
EU code (UNECE R101)	2.93	2.49	km/m ³
Difference	12%	14%	

¹⁾ Reference temp is 20°C in US code and 15°C in EU code

Table 7. Fuel consumption results according to reference temperature change(case of CNG)

temp.	Item	calorific value (LHV)	density	fuel consumption	
		MJ/m ³	kg/m ³	voulme based	energy based
				km/m ³	km/GJ
temp	0°C	38.87	0.787	3.56	91.5
	15°C	36.83	0.746	3.37	91.5
	20°C	36.19	0.733	3.31	91.5

3.2 기준온도 조건에 따른 연비 민감도

가스연료의 체적은 온도와 압력에 따라 포함하는 연료 질량이 변하기 때문에 단위체적당 주행거리로 표시하는 연비 값은 온도를 정확히 명시할 필요가 있다.

미국의 산출기준을 토대로 기준 온도 변화에 따른 연비관계를 Table 7에 비교하였다. 20 °C를 기준으로 할 때 보다 15 °C의 경우 체적기준으로 약 1.7% 높게 계산되지만 열량기준으로 환산하면 동일한 연비 값을 가지게 된다. 가스연료의 경우 기준 온도는 체적 내 물질의 양과 관계가 크기 때문에 중요하며 거래조건에서 사용되는 표준상태(0 °C, 101.3 kPa)로 정하는 것이 소비자와 공급자간 마찰을 줄일 수 있으며 국내 기준 제정 시 충분히 논의할 필요가 있다.

3.3 국내 연비 산출방식 제안

앞에서 살펴본 미국과 유럽의 연비기준은 기준 온도의 차이와 시험연료의 물성적용 방법이 다소 차이가 있음을 확인하였다. 국내에 천연가스를 연료로 하는 자동차 연비 기준은 연료조성의 변동성과 시험기관의 연료조성 선택 용이성 및 타 연료의 산출방법 연관성 등을 고려할 때 미국연비 산출방식을 적용하는 것이 합리적인 것으로 판단된다.⁹⁻¹⁰⁾ 가솔린, 경유 및 LPG의 경우도 탄소평형법을 기준으로 연비를 산출하고 있으며 국내 사용되는 연료 물성을 기준으로 적용하면 무리가 없을 것으로 본다. 도시가스의 경우 열량거래제도의 도입으로 열량이 지역별 월별로 공시되는 만큼 연료 물성에 대해서는 시험기관에서 적절한 데이터베이스를 구축하면 신뢰성 있는 연비를 산출할 수 있을 것이다. 아래에 도시가스를 연료로 하는 자동차의 연비 산출식을 제안하였다.

$$\text{연비} = \frac{CWF_{NG} \times D_{NG}}{A + B + C + D} \dots (km/m^3)$$

여기서,
 $A = 0.749 \times CH_4$
 $B = CWF_{NMHC} \times NMHC$
 $C = 0.429 \times CO$
 $D = 0.273 \times (CO_2 - CO_{2NG})$
 CWF_{NG} = 천연가스연료의탄소중량비
 D_{NG} = 천연가스연료밀도(kg/m^3), ... at 20°C, 101.3kPa
 $CH_4, CO, NMHC, CO_2$ = 배기가스각성분배출량(g/km)
 CWF_{NMHC} = NMHC연료의탄소중량비
 $CO_{2NG} = FC_{NG} \times D_{NG} \times WF_{CO_2}$

여기서,

$$FC_{NG} = \frac{0.749 \times CH_4 + CWF_{NMHC} \times NMHC + 0.429 \times CO + 0.273 \times CO_2}{CWF_{NG} \times D_{NG}}$$

= 천연가스연료소비량(m^3/km)
 WF_{CO_2} = 천연가스연료중 CO_2 중량비율

도시가스 연료중 CO_2 성분이 포함된 경우는 배출가스중 연료에 의한 CO_2 배출량을 빼주는 방법이며 PNG 또는 바이오 가스와 같이 CO_2 가 포함된 연료를 사용할 경우 적용 가능하다. 그러나 LNG를 기반으로 하는 도시가스와 같이 CO_2 가 포함되지 않은 경우 위의 관계식은 아래와 같이 간단히 정리된다.

$$\text{연비} = \frac{CWF_{NG} \times D_{NG}}{A + B + C + D} \dots (km/m^3)$$

여기서,
 $A = 0.749 \times CH_4$
 $B = CWF_{NMHC} \times NMHC$
 $C = 0.429 \times CO$
 $D = 0.273 \times CO_2$
 CWF_{NG} = 천연가스연료의탄소중량비
 D_{NG} = 천연가스연료밀도(kg/m^3), ... 20°C, 101.3kPa
 $CH_4, CO, NMHC, CO_2$ = 각성분의배기가스중량(g/km)
 CWF_{NMHC} = NMHC연료의탄소중량비

IV. 결론

천연가스를 기반으로 하는 가스연료 자동차의 연비산출방법에 대해 미국과 유럽의 기준을 소개하였다. 두 방법에 대한 분석을 통해 연비 산출방법의 적합성을 분석하고 국내 적용방안을 고찰하였다.

- 1) 미국과 유럽의 연비 산출 식에 포함된 계수는 연료물성을 기반으로 계산되며 미국기준은 시험가스 조성의 제한이 없지만 유럽 기준은 기준가스(G20, G23)를 사용하여야 한다.
- 2) 연료물성인 탄소중량비와 밀도는 LNG를 기반으로 하는 도시가스의 경우 발열량과 선형관계가 있으므로 직접 분석이 아닌 데이터베이스를 적용할 경우 0.1% 이내의 오차를 보였다.
- 3) 국내의 도시가스를 사용하는 CNG 차량의 경우 유럽기준 적용 시 미국기준 보다 연비가 약 12% 불리하게 산출됨을 확인하였다.
- 4) 천연가스를 기반으로 하는 국내 도시가스 연료에 대해 자동차 연비 산출방법을 제안하였으며 외국기준과 주요 특성을 비교하면 다음 표와 같다.

Items	US code	EU code	Proposed in Korea
Principle	carbon balance	←	←
Test gas	Flexible	Limited (G20, G23)	Flexible
Ref. temp	20℃	15℃	0℃
Code	40 CFR 600.113-12.	UNECE R101 r3	N/A

사용 기호

Nm³ : 표준상태(0℃, 101.32kPa) 체적
 HHV : 고위발열량(high heating value)
 LHV : 저위발열량(low heating value)
 MJ, GJ : 메가 줄(10⁶ joule), 기가 줄(10⁹ joule)
 H/C : 수소 탄소 몰비(hydrogen/carbon)
 CWF_{NG}: 천연가스연료의 탄소중량비

$$= \frac{\sum_{i=1}^m \text{탄소포함성분}(i=1\dots n) \text{의 몰분율}_i \times \text{탄소원자수}_i \times 12.011}{\sum_{i=1}^m \text{연료전체성분}(1\dots m) \text{ 몰분율}_i \times \text{분자량}_i}$$

CWF_{NMHC}: 메탄제외 탄화수소 성분의 탄소중량비

$$= \frac{\sum_{i=1}^m \text{메탄제외탄소포함성분}(i=1\dots n) \text{ 몰분율}_i \times \text{탄소원자수}_i \times 12.011}{\sum_{i=1}^m \text{메탄제외탄소포함성분}(i=1\dots n) \text{ 몰분율}_i \times \text{분자량}_i}$$

약어

i : components(i=1...n)
 NG : natural gas
 NMHC: non methane hydrocarbon

REFERENCES

1) 40 CFR 600.113-12, "Fuel economy, CO₂ emis-

sions, and carbon related exhaust emission calculations.", www.ecfr.gov , 2017.
 2) UNECE regulation No 101- revision3, Annex6. "Method of measuring emission of CO₂ and fuel consumption of vehicles powered by an IC engine only", www.unece.org, 2017
 3) MOCIE Regulation of Korea, "Regulation on energy efficiency and rating of automobiles" Attached table 10, http://www.law.go.kr/, 2017.
 4) Y. J. Lee and G. C Kim, "Effect of Gas Compositions on Fuel Economy and Exhaust Emissions of Natural Vehicles", Transactions of KSAE, Vol.7, No.8, pp123~131, 1999.
 5) H. G. Kim, I. O. Kim and I. y. Ohm, "Experimental Study on Natural Gas Conversion Vehicle(1) - Fuel Economy, Emission and Roadability", Transactions of KSAE, Vol.23, No.4, pp410~419, 2015.
 6) Natural gas information/ calorific value/, http://www.kogas.or.kr/, 2017.
 7) Y. C. Ha, S. M. Lee, J. Y. Her, K. J. Lee and S. J. Lee, "Separation,Thermodynamic ; Correlations between the Important Physical Properties of NaturalGas", Korean Chemical Engineering Research, Vol.47 No.5, pp 599~607, 2009.
 8) Project Report, "A Development of Engine and Fueling Station for HCNG Fueled City Bus", KOGAS, 2016.
 9) D. W. Lee, J. M. Chae and J. O. Han, "Study on the Fuel Consumption Calculation Method of Natural Gas Vehicle", KIGAS Fall Conference Proceedings, 2015.
 10) J. O. Han, J. M. Chae and D. W. Lee, "Evaluation of Natural Gas Vehicle Fuel Consumption Using Carbon Balance Method", KSAE Spring Conference Proceedings, 2017.