

국내 CNG 가스연료 자동차의 에너지소비효율 측정 및 계산절차에 관한 연구

서영호* · 권석주 · 강은정

자동차부품연구원

A Study on Energy Consumption Rate Measurement and Calculation Procedures of Domestic CNG Gaseous Fueled Vehicle

Youngho Seo* · Seokjoo Kwon · Eunjeong Kang

Korea Automotive Technology Institute, 303, Pungse-ro, Pungse-myeon, Dongnam-gu, Cheonan-si,

Chungcheongnam-do 133-791, Korea

(Received 2013. 10. 25 / Accepted 2013. 11. 15)

Abstract : The purpose of this study is to analysis of how to calculate fuel efficiency in major development countries (U.S. and Europe) and energy consumption formular derivation of domestic CNG fuel and prove by vehicle test. The formula of fuel consumption is different in mpg(mile per gallon), l/100km, and km/l each countries. CNG fuel has a significant impact on fuel density, composition, and Hydro-Carbon ratio. So, this study how to measurement and calculation procedures of CNG gaseous fueled vehicle energy consumption rate.

Key words : Vehicle fuel(자동차 연료), Energy consumption efficiency(에너지소비효율), Density(밀도), Fuel Composition(연료조성), Carbon balance method(탄소 균형법), CNG(Compressed natural gas, 압축천연가스)

Nomenclature

CWF : carbon weight fraction

C.C. : carbon contests

D : density, kg/l or kg/m³

SG : specific gravity, g/ml

NHV : net heating value, But/lb

NMHC : non methane hydrocarbon

S_f : standard fuel composition

F.E. : fuel economy, km/l or km/m³

1. 서론

전 세계적으로 주요 선진국들은 배출가스 저감을 위하여 다양한 연구를 수행하고 있으며, 이를 통한 자

동차 연비 및 배출가스 규제가 지속적으로 갱신되며 주행모드 연구 또한 지속적으로 수행되고 있다.¹⁾

미국은 EPA를 중심으로 Title 40 “Protection of environment” CFR(Code of Federal Regulations) Part 600 “Fuel economy and greenhouse gas exhaust emissions of motor vehicles”. 113-78에 전반적인 자동차의 주행조건, 연비계산 및 연료소모량 산정, 에너지 등급 라벨에 대한 내용을 포함하고 있다.²⁾ 유럽은 UNECE(United Nations Economic Commission for Europe) Regulation No. 101-Rev.3에 내연기관 및 하이브리드 승용차에 대한 에너지소비효율 측정방법을 표기하고 있다.³⁾ 국내의 자동차 에너지소비효율 및 등급은 산업통상자원부에서 관리 및 법률 제정을 담당 하고 있다. 국내의 연비계산 고시는 자동차의 연료를 휘발유, 경유, LPG만 규정되고 있으며 CNG에 대한 연비계산공식이 아직 부재한 상태이다.⁴⁾

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

본 연구는 국내의 CNG 연료의 에너지소비효율 공식의 자세한 공식 유도를 목표로 한다. 상기에 명시한 미국 및 유럽의 공식을 기반으로 하여 국내에 존재하지 않은 CNG 연비도출 공식을 설명한다.

2. 실험 및 해석 방법

2.1 실험 장치

본 연구의 실차 실험은 자동차부품연구원의 차대 동력계(AVL, 48Inch Single roll 4WD)와 배기측정기(HORIBA, MEXA-7400LE & CVS-7200s)를 사용하였다. 아래의 그림은 실험장비의 개요도를 나타낸다.

CNG 연료를 사용하는 현대 YF SONATA 차량을 사용하여 차량실험을 하였으며, 시가지 주행모드로 실험하여 발생된 배출가스로 실제 차량의 에너지소비효율 연비계산을 수행하였다.

2.2 연비계산 해석

미국과 유럽의 LPG, CNG 연비계산방법을 분석하여 각 계산공식에서 상수가 포함하는 의미를 유추하고 그

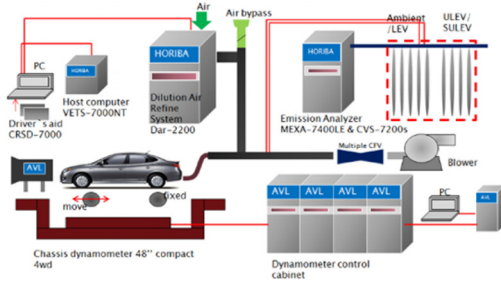


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus



Fig. 2 CNG gaseous fueled Hyundai YF SONATA

근거를 바탕으로 국내의 CNG 연료의 탄소 균형법(carbon balance method) 공식을 유도하였다.

미국은 CNG연료를 Natural Gas라는 이름으로 아래의 계산공식이 있으며 LPG는 존재하지 않는다.

$$\frac{121.5 \times CWF_{HC/CNG} \times D_{NG}}{(0.749 \times CH_4) + (CWF_{NAHC} \times NMHC) + (0.429 \times CO) + (0.273 \times (CO_2 - CO_{2NG}))}$$

where CWF : carbon weight fraction

D : density of CNG fuel

유럽은 LPG와 CNG에 대한 에너지소비효율이 잘 설명되어 있으며 아래의 공식으로 나타내 보았다. 유럽의 LPG 연료의 CH비율은 $C_1H_{2.525}$ 이고 밀도는 $D : 0.538kg/l$ 로 가정하였으며, CNG 연료의 조성은 100% CH_4 로 밀도가 $0.654kg/m^3$ 로 가정하였다.

$$LPG \text{ F.E.}[l/100km] = C_f \times \frac{0.1212}{D} \times [(0.825 \times HC) + (0.429 \times CO) + (0.273 \times CO_2)]$$

$$CNG \text{ F.E.}[l/100km] = \frac{0.1336}{D} \times [(0.749 \times HC) + (0.429 \times CO) + (0.273 \times CO_2)]$$

한국은 LPG의 에너지소비효율 계산식만이 존재하며 아래 공식으로 유도된다.

$$F.E. [km/l] = \frac{483}{(0.827 \times HC) + (0.429 \times CO) + (0.273 \times CO_2)}$$

2.3 연비계산 공식근거

에너지소비효율 계산공식 중 분모는 HC, CO, CO_2 의 배출량을 나타내고 각 배출가스 중 포함된 계수는 각 연료별 탄소 포함량을 나타낸다. 한국의 LPG 계산 공식 중 HC 앞의 0.825는 “C분자량/HC분자량”이며 LPG의 CH비율이 2.5이므로 계산공식은 아래와 같다. 다른 배출가스도 동일하게 계수를 산출한다.

$$\frac{C\text{분자량}}{HC\text{분자량}} = \frac{12}{12 + 2.5 \times 1} = \frac{12}{14.5} = 0.8275 \dots \quad (1)$$

$$\frac{C\text{분자량}}{CO\text{분자량}} = \frac{12}{12 + 16} = \frac{12}{28} = 0.4285 \dots \quad (2)$$

$$\frac{C\text{분자량}}{CO_2\text{분자량}} = \frac{12}{12 + 2 \times 16} = \frac{12}{44} = 0.2727 \dots \quad (3)$$

유럽의 에너지소비효율 계산공식 중 LPG의 C_f 는

표준 상태의 HC비율을 의미하여, 기본인 LPG는 1이고 만일 HC비율이 다를때는 $C_f = 0.825 + 0.0693 \times HC_{ratio}$ 공식을 사용하여 C_f 값을 계산한다. 분자의 0.1212는 CC 상수로 정의하고 분모의 HC계수의 역수이다.

국내의 LPG 계산공식에서 분자의 483을 유럽방식과 동일하게 CC 상수와 밀도(D)로 나타내면 아래의 공식과 같다.

$$483 = \frac{584g/l}{0.121} \times 0.001 = \frac{0.584kg/l}{1/0.827} = \frac{Density}{CC} \quad (4)$$

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 CNG 에너지소비효율 계산절차

한국가스공사 CNG 물성 및 조성 예측 보고서⁴⁾를 참조하여 연료혼합물을 C₁H₄ 92%, C₂H₆ 6%, C₃H₈ 2%로 가정하였다. 한국의 CNG 밀도는 산업통상자원부 법령 2013년 3월 23일 시행 “에너지법 시행규칙” 별표 “에너지열량 환산기준”⁵⁾을 기준으로 0°C의 CNG 밀도를 0.7998kg/Nm³로 가정하였다. 국내의 에너지소비효율 시험 기준온도가 20°C에서 30°C 사이이므로 본 공식에서는 20°C의 CNG 밀도를 이상기체방정식으로 유도하여 0.745kg/m³를 얻었고, 이 값을 연비계산공식에 사용하면 아래와 같은 CNG 에너지소비효율 공식이 유도된다.

$$\begin{aligned} CNG \text{ Fuel Efficiency} [km/m^3] &= \frac{(0.745kg/m^3) / 0.1318 \times 100}{(0.759 \times HC) + (0.429 \times CO) + (0.273 \times CO_2)} \\ &= \frac{565}{(0.759 \times HC) + (0.429 \times CO) + (0.273 \times CO_2)} \end{aligned}$$

Table 1 Emission and fuel economy of CNG fueled vehicle

FTP-75 배출가스	HC (g/km)	CO (g/km)	CO2 (g/km)
CNG	0.014	0.081	154.418

조건	연료조성	온도 (°C)	연비 (km/m ³)
1	C ₁ H ₄ (100%)	15	13.39
2	C ₁ H ₄ (80%), C ₂ H ₆ (7%), C ₃ H ₈ (5%)	15	13.48
3	C ₁ H ₄ (90%), C ₂ H ₆ (6%), C ₃ H ₈ (4%)	20	13.70
4(최종)	C ₁ H ₄ (92%), C ₂ H ₆ (6%), C ₃ H ₈ (2%)	20	13.25

3.2 CNG 차량 실험

CNG 연료를 사용하는 현대 YF SONATA 차량을 사용하여 차량실험을 하였으며, 시가지 주행모드로 실험하여 발생된 배출가스로 실제 차량의 에너지소비효율 연비계산을 수행하였다.

시가지 주행모드(FTP-75)의 배출가스 결과를 아래의 표로 나타내었고, 이를 이용하여 연료 조성변화에 따른 에너지소비효율 변화를 아래의 표로 나타내었다.

4. 결론

본 연구는 미국과 유럽의 연비계산방법 분석 및 국내 CNG 연료의 에너지소비효율 공식유도 및 실차시험실험을 수행하였고, 그 결과는 다음과 같다.

- 1) 국내 연비계산공식 중 아직 정의되지 않은 CNG 연료의 연비계산공식을 국내, 유럽, 미국의 계산공식을 토대로 작성을 하였다.
- 2) 각 연비계산공식은 연료의 조성 및 밀도에 의하여 다양하게 변화가 나타나며 그 차이는 최대 2.5% 최소 -1%의 차이로 나타났다.
- 3) 동일한 온도(15°C)에서 CNG 연료 조성의 메탄(CH₄)의 함량이 80, 100%로 변함에 따라 연비가 하강하는 결과를 나타내었고, 그 차이는 13.48, 13.39km/m³으로 나타났다.
- 4) 동일한 온도(20°C)에서 CNG 연료 조성의 메탄(CH₄)의 함량이 90, 92%로 변함에 따라 연비가 하강하는 결과를 나타내었고, 그 차이는 13.70, 13.25km/m³으로 나타났다.
- 5) 국내의 CNG 연비 조성은 한국가스공사 및 산업통상자원부 에너지법 시행규칙에 따라 C₁H₄ 92%, C₂H₆ 6%, C₃H₈ 2%가 가장 합당한 조성이라고 판단되었고, 이때의 연료 밀도는 0.745kg/m³이고 연비는 13.25km/m³으로 나타났다.

Acknowledgement

본 연구는 중소기업청 전담의 “정확진각제어기능이 내장된 2L급 CNG-LPG Bi-Fuel 시스템용 고성능 엔진제어장치(ECU) 개발”의 과제지원으로 진행되었으며 연구를 지원해주신 기관에 감사드립니다.

References

- 1) Yongjun Choi, Youngho Seo, "Fuel Economy Comparison according to Driving Mode Conditions of the Internal Combustion Engine Vehicles", Journal of Institute of Convergence Technology, Vol. 3, No. 1, pp. 25-29.
- 2) EPA, 40 CFR 600.113-78, "FUEL ECONOMY AND GREENHOUSE GAS...", 2012.09.
- 3) UNECE Regulation No.101-Rev.3, "Uniform provisions concerning the approval of passenger cars...", 2013.04.
- 4) 지식경제부고시 행정규칙, "자동차의 에너지소비 효율 및 등급표시에 관한 규정", 2013.01.
- 5) 한국가스공사, "발열량으로부터 LNG 물성 및 조성 예측(FromHV ver 1.0)", 2013.09.
- 6) 산업통상자원부 에너지법 시행규칙 별표, "에너지 열량 환산기준", 2011.12.