

## 환경친화적자동차 연료소비율 시험방법에 대한 고찰

\*임 종순<sup>1)</sup>, 권 해봉<sup>2)</sup>, 용 기중<sup>3)</sup>,맹 정열<sup>4)</sup>

### Consideration of Fuel Economy Measurement Method for Environmentally Friendly Vehicles

\*Jongsoon Lim, Haeboung Kwon, Geejoong Yong, Jeongyoel Maeng

**Abstract** : Fuel consumption measurement of Environmentally Friendly Vehicles is considerably different from internal combustion engine vehicle such as Carbon balance method. A practical method of fuel Consumption measurement has been developed for Hydrogen fuel cell vehicles and Electricity Vehicles. The purpose of this research is to measure the fuel consumption of hydrogen fuel cell vehicles and Electricity Vehicles on chassis-dynamometer and to give information when the research is intended to develop method to measure Energy consumption.

**Key words** : Environmentally Friendly Vehicles(환경친화적자동차), Hydrogen Fuel Cell Vehicle(HFCV, 수소연료 전지자동차), Electricity Vehicle(전기자동차)

## 1. Introduction

자동차의 연료소비율은 경제성 및 에너지 효율화 측면에서 매우 중요하다. 기존의 화석에너지 고갈 및 온실가스 발생 문제로 인하여 세계적인 해결방안 노력이 활발히 진행되고 있으며, 자동차 분야에서는 대체에너지를 사용하는 자동차의 등장을 절실히 요구하고 있는 상황이다. 환경친화적 자동차는 하이브리드 자동차뿐만 아니라, 유해배출 가스가 없는 무공해자동차인 수소연료전지자동차 및 전기자동차를 포함하고, 가까운 미래에는 일반 소비자들이 구매할 수 있도록 양산 체계가 갖추어질 전망이다.

화석연료를 사용하는 자동차의 연료소비율 측정방법인 '탄소균형법(Carbon Balance Method)'을 수소연료전지자동차와 전기자동차에 적용할 수 없는 문제점이 있다. 다른 방식의 연료소비율 측정방법이 필요하다.

환경친화적자동차의 정의는 '환경친화적 자동차의 개발 및 보급촉진에 관한 법률'에서 찾아볼 수 있다. 이 법률에서 정한 환경친화적 자동차란 전기자동차·태양광자동차·하이브리드자동차·연료전지자동차·천연가스자동차 또는 클린디젤 자동차 및 「수도권 대기환경개선에 관한 특별법」에 따른 저공해자동차를 지칭한다.

기존의 연구 결과들을 바탕으로 자동차별로 시험 방법을 살펴보고 특성을 파악하여 향후 환경친화적자동차 연료소비율에 대한 평가기술 도출을 위한 기초자료로 활용하기 위하여 본 연구를 수행하였다.

## 2. 연료소비율 시험방법

본 연구에서는 기존 내연기관 자동차인 저공해 자동차, 클린디젤자동차의 연료소비율 측정방법과 하이브리드자동차, 수소연료전지자동차, 전기자동차의 연료소비율 측정방법을 하나씩 살펴본다.

### 2.1 내연기관 자동차

현재 내연기관 자동차 연료소비율 측정방법은 수십 년간 세계적으로 '탄소균형법'을 사용해 왔으며 앞으로도 지속될 전망이다.

1) 교통안전공단 자동차성능연구소  
E-mail : jongsoon@ts2020.kr  
Tel : (031)369-0415 Fax : (031)357-4982



Figure 1. Fuel Economy test for IC Engine

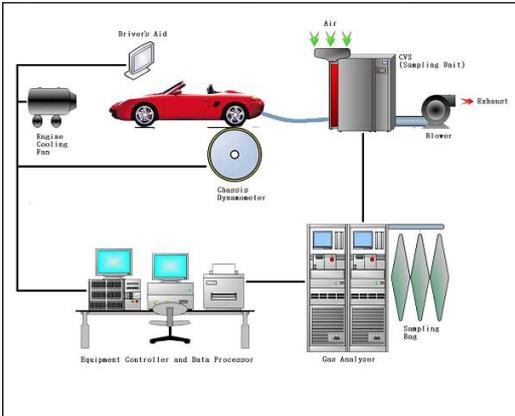


Figure 2. Diagram of Emission & Fuel Economy test

국내 연료소비율 시험은 지식경제부고시 “자동차의 에너지소비효율 및 등급표시에 관한 규정” 의해서 행하여지고 있다.

측정방법은, 항온 항습을 유지한 시험실내에서, 도로저항을 구현해주는 차대 동력계, 시험모드를 운전자가 볼 수 있는 운전자 보조 장치, 배출가스분석기 등을 사용하여, 차대동력계 상에 위치한 시험차량이 연비측정모드(그림 3 참조)를 추적하여 주행할 때에 배출되는 CO<sub>2</sub>, CO, THC, NO<sub>x</sub>, PM 등의 배출가스를 측정한다.(그림 2 참조)

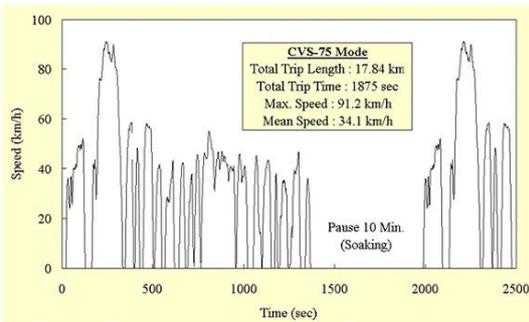


Figure 3. CVS-75 Mode(Drive Schedule)

이중 탄소성분을 함유한 CO<sub>2</sub>, CO, THC의 단위주행거리당 배출량(g/km)에 의해, 탄소균형법에

의해 산출한다. 이와 같이 탄소균형법에 의해 구한 연비는, 연료유량계를 사용하여 직접 측정된 연비와 거의 차이가 없으며, 연료유량계를 사용하는 방식보다 간편하기 때문에, 전 세계적으로 모드 연비는 이러한 방법을 사용하여 측정된다. 탄소균형법에서 사용하는 공인연비 산출식은 아래와 같으며, 가솔린, 경유, LPG 등 연료에 따라서 물성이 다르기 때문에, 연료의 종류에 따라 산출식을 다르게 사용한다.

① 휘발류사용 자동차의 경우

$$\text{연비} = \frac{640(\text{g/l})}{(\text{km/l}) \quad 0.866 \times \text{HC} + 0.429 \times \text{CO} + 0.273 \times \text{CO}_2}$$

단, 1) CH비는 1.85임

2) HC, CO, CO<sub>2</sub> 는 각각 배출가스 농도(g/km)임

② LPG사용 자동차의 경우

$$\text{연비} = \frac{483(\text{g/l})}{(\text{km/l}) \quad 0.827 \times \text{HC} + 0.429 \times \text{CO} + 0.273 \times \text{CO}_2}$$

단, 1) 시험용 LPG는 부탄 100% 기준임

2) CH비는 2.5임

3) HC, CO, CO<sub>2</sub> 는 각각 배출가스 농도(g/km)임

③ 경유사용 자동차의 경우

$$\text{연비} = \frac{734(\text{g/l})}{(\text{km/l}) \quad 0.866 \times \text{HC} + 0.429 \times \text{CO} + 0.273 \times \text{CO}_2}$$

단, 1) CH비는 1.85임

2) HC, CO, CO<sub>2</sub> 는 각각 배출가스 농도(g/km)임

## 2.2 하이브리드 자동차

하이브리드자동차의 연료소비율의 측정방법은 2.1 자동차 배출가스 측정방법(CVS-75모드 측정방법)에 추가하여 적용한다. 하이브리드자동차는 배터리에 전기에너지를 저장하여 보조 동력원으로 전기모터를 사용하므로 배터리 초기상태에 따라 전류수치가 변하는 특성을 고려를 하여야 한다. 시험자동차에는 전류계 및 충전상태모니터를 미리 장착하여야 한다.



Figure 4. Fuel Economy test for Hybrid Vehicle

초기 배터리의 충전상태에 따라서 전류수지가 플러스 또는 마이너스의 값을 가질 수 있는 하이브리드자동차는 플러스측과 마이너스측을 포함하여 4회 이상의 측정시험을 실시하고, 각 시험 후 전류수지 및 에너지소비효율, 이에 의해 도출한 Eq.(1)로 나타나는 보정에너지소비효율 1차 회귀식, 1차 회귀식에 의해 산출한 전류수지 제로의 연료소비율을 산출한다.

$$FCORR = FMEAS - K \cdot AhMB \quad (1)$$

여기에서,  
 FCORR : 보정 에너지소비효율 (km/ℓ)  
 FMEAS : 실측 에너지소비효율 (km/ℓ)  
 K : 회귀식의 기울기  
 AhMB : 전류수지 (Ah)

## 2.3 수소연료전지자동차

수소연료전지자동차는 현재까지 양산되어 판매되지 않고 있으나, 가까운 미래에는 일반 소비자 들이 구매할 수 있도록 양산 체계가 갖추어질 전망이다. 수소연료전지자동차의 경우 기존의 내연 기관에서 사용하던 연료소비율 측정 방법인 ‘탄소균형법’을 적용할 수 없는 문제점이 있다. 다른 방식으로 수소연료전지자동차 연료소비율 측정 방법이 필요하다.

연료소비율 측정방법은 크게 중량 측정법, 유량 측정법, 압력 측정법의 3가지로 알려져 있다.

### 2.3.1 Gravimetric Method

중량측정법은 시험자동차의 연료소비율 시험 전후의 연료탱크 무게를 측정하여 수소 사용량을 산정하는 방법이다. 이 방법은 측정 원리상 수소 사용량의 측정방법과 계산방법이 가장 쉬우면서도 정확한 측정 결과를 얻을 수 있고, 현장에서 바로 표준 질량 등을 이용해 장비의 교정이 가능한 장점이 있다. Eq. (2)은 측정 원리를 간단히 수식화하였다.

$$W = g_1 - g_2 \quad (2)$$

Here, W : Hydrogen consumption(g),  $g_1$  : The weight of hydrogen tank at the start(or completion) of the test

### 2.3.2 Flow Method

유량측정법은 연료파이프를 흐르고 있는 수소 유량을 적절한 유량계를 사용하여 직접 측정하는 방법으로 측정 원리는 Eq. (3)와 같이 간단히 표현될 수 있다.

$$W = \left( \sum b \right) \times \frac{m}{22.414} \quad (3)$$

Here, W : Hydrogen consumption(g),  $\sum b$  : Integrated flow of hydrogen at standard conditions(273K, 101.3 kPa), m : Molecular

weight of hydrogen (2.01588 g/mol)

유량측정법의 장점은 무엇보다 실시간 수소 사용량의 측정이 가능하다는 것이다. 그러나 공급되는 수소 유량과 압력에 따라 적절한 유량 센서를 선택하여야 보다 정확한 측정 결과를 얻을 수 있기 때문에 수소 유량 센서의 선택이 중요하다.

### 2.3.3 Pressure Method

압력측정법은 내부 용적이 알려져 있는 수소 연료 탱크의 시험전·후 압력과 온도를 측정하여 Eq. (4)에 의해 수소연료 사용량을 계산하는 방법이다.

$$W = m \times (n_1 - n_2) \quad (4)$$

$$= m \times \frac{V}{R} \times \left( \frac{P_1}{z_1 \times T_1} - \frac{P_2}{z_2 \times T_2} \right)$$

Here, W : Hydrogen consumption(g), m : Molecular weight of hydrogen (2.01588 g/mol), V : Volume(ℓ) of hydrogen tank, R : Gas constant (0.008314472 MPaℓ/molK), n, P, T : Mol number, Pressure(MPa), Temperature(K), z : Compression factor at P, T

압력측정법의 경우 정확한 수소탱크의 용적을 알고 있다면 압력과 온도를 정밀히 측정하고 해당 온도와 압력에 맞는 적절한 압축인자(Compression factor)를 사용함으로써 시험 결과를 얻을 수 있는 측정 방법이다.



Figure5. Fuel Economy test for Hydrogen fuel cell vehicle

## 2.4 전기자동차

전기 자동차의 에너지소비율 측정은 기존의 연료소비율 측정 방법이 대부분 준용되므로 그 측정 방법에서 사용되는 주행 사이클 (국내의 경우 CVS-75, 최고속도 약 91 km/h)을 주행할 수 있는 성능을 가진 전기자동차에 대해서만 적용이 가능하다. 아직 국내에서 위 성능을 만족하는 전기자동차가 없는 실정이다. 60km/h이하의 저속전기자동차의 에너지소비율을 측정할 경우 CVS-75모드가

아닌 다른 방식의 시험모드가 사용되어야 한다.  
전기 자동차 에너지소비율은 두 가지 방법으로 나뉜다.

### 2.4.1 AC 에너지 소비율

시험자동차의 구동용 배터리가 만충전인 상태에서 에너지소비율 측정을 위한 주행 사이클에서 시험 후 자동차의 모터 구동용 배터리를 다시 만충전하고, 이때 전력공급부에서 공급된 AC 에너지 사용량(Wh)을 측정하여 주행 사이클에서(국내 CVS-75)에서 주행한 거리로 나눈 값을 사용한다.

① 자동차의 AC 에너지 소비율 (AC Wh/km)

$$= \frac{\text{AC 에너지 충전량(AC Wh)}}{\text{주행 거리(km)}}$$

### 2.4.2 DC 에너지 소비율

자동차의 DC 에너지소비율은 전력측정기나 기타 동등의 데이터 기록장치를 사용하여 에너지소비율 측정을 위한 주행 사이클을 주행하는 동안의 DC 에너지 사용량을 측정하여 결정한다.

회생제동이 있는 자동차의 경우 2개의 전력 측정기를 사용하여 하나는 배터리에서 사용되는 에너지를, 또 하나는 회생제동에서 회수되는 에너지를 측정한다.

이 때 배터리에서 사용된 에너지를 주행거리로 나눈값을 총(Gloss) DC 에너지 소비율이라 하고, 배터리에서 사용된 에너지에서 회생제동으로 회수된 에너지를 제외한 것을 순(net) DC 에너지 소비율이라 하며, 두 값을 모두 기록한다.

② 자동차의 DC 에너지 소비율 (DC Wh/km)

$$= \frac{\text{DC 에너지 충전량(DC Wh)}}{\text{주행 거리(km)}}$$



Figure 6. Fuel Economy test for Electricity vehicle

## 3. Conclusion

하이브리드 자동차의 경우 기존의 내연기관에서 사용되어던 탄소균형법에 배터리 충전상태에

따른 전류수치를 고려하여 적용이 가능하다.

수소연료전지자동차는 탄소자체가 아예 사용되지 않으므로 기존의 탄소균형법 대신 연료소비율 측정방법은 현재 중량측정법, 유량측정법 및 온도압력측정법이 적용 가능하며, 산소균형법(Oxygen balance Method)등 다른 방식의 연구가 진행 중이다.

전기자동차는 현재 국내에는 연비 측정시 사용되는 주행 사이클에서 주행할 수 있는 전기자동차는 제작 판매되고 있지 않으며, 현재 저속전기차량의 경우에는 CVS-75 주행모드가 아닌 다른 방식의 주행모드가 필요하다. 또한 전기자동차의 에너지 소비율 측정방법을 정하기 위해서는 배터리 길들이기 및 충방전 방법과 소비된 에너지 측정을 위한 기술 장비에 대한 연구가 필요할 것이다.

## Postscript

본 연구는 한국건설교통기술평가원의 교통체계효율화 사업중 “수소·연료전지자동차의 안전성 평가기술 개발”에 대한 연구 일환으로 수행되었습니다.

## References

- [1] 지식경제부고시 제2008-7호, 2008.3.24, 자동차의에너지소비효율및등급표시에관한규정
- [2] 환경친화적 자동차의 개발 및 보급촉진에 관한 법률, 2009.5.21 법률 제9686호
- [3] ISO 23828, Fuel cell road vehicles - Energy consumption measurement - Vehicles fuelled with compressed hydrogen, 2008, International Organization for Standardization
- [4] SAE J2572, Recommended Practice for Measuring Fuel Consumption and Range of Fuel Cell and Hybrid Fuel Cell Vehicles Fuelled by Compressed Gaseous Hydrogen, 2006, SAE International
- [5] Yi Ding, John Bradley, Kevin Gady, Mith Bussineu, Tom Kochis, Ed Kulik and Virgo Edwards, Hydrogen Consumption Measurement for Fuel Cell Vehicles, 2004 SAE World Congress
- [6] Carl M. Paulina, Hydrogen Fuel Cell Vehicle Fuel consumption Testing at the U.S EPA National Vehicle and Fuel Emissions Laboratory, 2004 Powertrain & fluid Systems Conference and Exhibition
- [7] Eiji Kuroda, Kenzo Moriya, Masaru Yano, Shogo Watanabe, Hidenori Hirata, Kenji Otsuka, Development of Fuel Consumption Measurement Method for Hydrogen Fuel Cell Vehicles, 2006 SAE World Congress
- [8] <http://www.epa.gov/nvfel/testing/dynamometer.htm>