

5-cycle 모드 특성에 따른 온실가스 배출특성 및 배출량 보정식 개발 연구

A Study on the Developments of Emission Correction Formula and Emission Characteristics of Greenhouse Gas by 5-Cycle Mode

박진성*† · 임재혁* · 이민호** · 김기호***

Jin-Sung Park*†, Jae-Hyuk Lim*, Min-Ho Lee** and Ki-Ho Kim***

(Received 31 October 2017, Revision received 05 December 2017, Accepted 06 December 2017)

Abstract: Due to the environmental problems caused by the greenhouse effect, regulation of CO₂ emissions is getting stronger day by day. In particular, regulations of automobiles CO₂ emissions are being strengthened. However, existing CO₂ measurement methods do not reflect the environment and operating conditions on actual roads. Emissions of CO₂ can be increased by various conditions such as environmental condition(temperature and humidity) and driver's tendency(aggressive and passive). Therefore it is necessary to reflect the conditions of various actual roads such as 5-cycle test method on behalf of the existing CO₂ emission measurement method. The 5-cycle measurement method has five test modes; FTP-75, HWFET, US06, SC03, Cold FTP-75. The method reflects the following three environments and operating conditions as compared to conventional method; Using heater at low temperature, Aggressive driving such as rapid acceleration or deceleration, Using air conditioner at high temperature. Because of these various conditions of each test cycle, the 5-cycle method can reflect actual environments and operating conditions. This paper attempt to analyze CO₂ emission characteristics based on the results measured through the 5-cycle mode and develop the correction formula that can derive the results of the 5-cycle test method using existing test methods. As a result, the developed correction formula is expected to reduce CO₂ emissions and cut down expense for testing 5-cycle mode.

Key Words : CO₂ emission test, FTP-75 mode, HWFET mode, US06 mode, SC03 mode

*박진성(교신저자) : 한국석유관리원 석유기술연구소

E-mail : dofoman@kpetro.or.kr, Tel : 043-240-7959

*임재혁 : 한국석유관리원 석유기술연구소

**이민호 : 한국석유관리원 석유기술연구소

***김기호 : 한국석유관리원 석유기술연구소

*Jinsung Park(corresponding author) : Korea Petroleum Quality & Distribution Authority

E-mail : dofoman@kpetro.or.kr, Tel : 043-240-7959

*Jaehyuk Lim : Korea Petroleum Quality & Distribution Authority

**Minho Kim : Korea Petroleum Quality & Distribution Authority

***Kiho Kim : Korea Petroleum Quality & Distribution Authority

1. 서 론

세계 각 국은 온실가스에 의한 환경문제 발생으로 대기질 개선을 위해 자동차 배출가스의 규제를 단계적으로 강화하고 있는 추세이다. 이에 따라 자동차 제작사들은 강화된 온실가스 배출규제에 대응하기 위하여 배출가스 감축과 관련한 기술 개발에 많은 예산을 투입하고 있다. 이와 더불어 일부 국가에서는 시험실의 제한된 환경조건 외에 실제 도로의 환경 및 운전조건을 반영한 시험결과를 얻고자 하였고, 이로 인해 차대동력계상에서 실제의 환경조건과 운전조건을 반영하여 일정한 거리를 주행하는 시험모드의 개발이 활발하게 이루어지고 있다.⁴⁾

실제 도로의 환경조건 및 운전조건을 시험모드에 반영하기 위해 진행된 기존의 연구를 살펴보면 미국에서는 CRC 프로그램을 통해 25대의 차량을 대상으로 에어컨 가동에 대한 배출가스 변화를 평가한 결과, 온실가스 배출량이 크게 증가한 것을 확인하였고¹⁾, 국내 연구를 통해서도 과도한 가속이 온실가스에 미치는 영향을 확인하기 위해 40개의 주행패턴을 평가하였는데, 정속 주행패턴 대비하여 과도한 과속이 19~56% 많은 온실가스를 배출하는 것을 확인하였다.⁵⁾

이러한 다양한 조건에서의 시험방법 개발 노력에도 불구하고 측정방법의 정밀도와 재현성의 문제, 시험방법의 차이 등이 문제점으로 드러나고 있는 실정이다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 국토부, 산업부, 환경부에서는 2014년 공동고시를 통해 도심모드인 FTP-75모드와 고속도로 모드인 HWFET모드에서 측정된 결과를 복합하여 값을 산출하는 시험방법을 운영하고 있고, 최근에는 5개의 시험모드(FTP-75, HWFET, SC03, US06, Cold FTP-75)로 구성된 미국의 5-cycle 시험방법을 도입하여 실제의 도로 조건을 반영하고자 하였다.²⁾

그러나 5-cycle 시험방법을 국내에 출시되는 모든 차량에 적용하는 경우, 비용 및 시간에 대한 부담이 커지기 때문에 FTP-75모드와 HWFET모드의 시험 결과만 가지고도 5-cycle 시험결과를 얻을 수 있는 보정식의 개발이 필요해졌다.

본 연구에서는 온실가스 배출량에 영향을 줄 수 있는 실제도로의 환경조건과 운전특성이 고려된 시험방법(5-cycle 시험법)을 국내 판매중인 차량에 적용하였다. 이를 통해 각 시험모드에 따른 국내 자동차의 온실가스 배출 특성을 확인하고, 5-cycle 시험모드의 결과 값을 대신할 수 있는 온실가스 배출량 보정식을 산출해 내고자 한다.

2. 시험장치 및 방법

2.1 시험용차량

시험차량은 2011년 국내에서 판매되는 자동차 중 등록대수가 가장 많은 모델과 배기량을 고려하였고, 사용 유종별로는 국내에서 사용 중인 연료 전체인 가솔린, 경유, LPG를 사용하는 차를 선정하였다. 그리고 친환경차인 하이브리드 자동차를 포함하여 총 30대의 차량을 가지고 시험을 진행하였다.

시험에 사용된 차량은 Fig. 1과 같은 분포를 가지고 있다. 선정된 30대의 차량이 국내에서 판매되는 전체 차량을 대표할 수는 없겠지만, 판매량 기준으로 볼 때 국내에서 운용중인 차량의 많은 부분을 차지하고 있으며, 3,000 km부터 30,000 km 사이의 운행거리를 가지고 있는 경형부터 대형, 승합까지 다양한 차량들을 대상으로 하여 신뢰성을 높이고자 하였다.

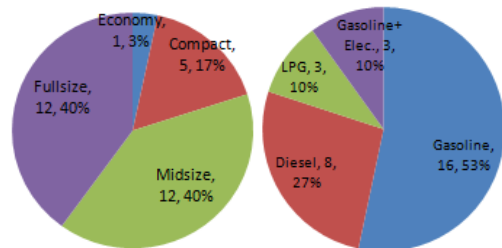


Fig. 1 Distribution of test vehicles

2.2 시험장치 및 방법(모드)

연구에서 온실가스 측정을 위해 사용된 차대동력계 및 배출가스 분석 장치의 전체적인 개략도를 Fig. 2에 나타내었다. 차량의 배출가스 측정은

CVS 터널 및 배출가스 분석기(MEXA-7 series)로 수행하였다. 차대동력계에서 해당 주행모드로 운전하여 주행속도별 실시간 배출가스 및 차량 데이터를 수집하였고, 배출가스가 담긴 시료 채취백의 분석을 통해 배출가스 물질에 대한 최종 결과를 분석하였다.

시험모드는 5-cycle 모드로서 실제 도로 조건에서 일어날 수 있는 상황을 반영한 모드이다. Table 1에 5-cycle 시험모드의 평균차속, 최대차속, 가속을 및 환경조건을 나타내었다. 이 시험방법은 도심을 모사한 FTP-75 및 고속도로를 모사한 HWFET와 급가감속 모드인 US06, 고온의 환경조건에서 에어컨을 사용하는 SC03, 저온 조건에서 히터 혹은 성애제거장장을 사용하는 Cold-FTP-75 모드를 포함한다.

시험차량의 준비는 <산업통상자원부고시 제 2011-182호> 「자동차의 에너지 소비효율, 온실가스 배출량 및 연료 소비율 시험방법 등에 관한 고시」에 의거하여 진행하였다. 시험차량에 대해 기본적인 점검을 한 다음, 연료 물성에 따른 시험변수를 최소화하기 위하여 시험연료로 교체한 후에 200 km 이상 주행하여 차량상태를 일치시키도록

하였다.³⁾ 또한 실제로 상황과 동일한 주행저항 조건을 설정하기 위하여 차대동력계에서 Coast-down을 실시하였다. FTP-75 모드의 경우 Coast-down을 실시한 후에는 차량의 상태를 동일한 조건으로 유지하기 위하여 FTP-75 모드 운전 조건으로 1회 운전하는 Preconditioning을 하였다. 이 과정을 거친 시험 차량은 실내온도가 20~30℃ 유지되는 시험실 내에서 엔진이 정지되어 있고, 모든 전기장치가 가동되지 않은 상태 12시간에서 36시간 동안 정차(soaking)시킨 후, 시동을 걸지 않은 상태로 차대동력계에 차량을 옮겨 시험을 진행하였다.

Cold FTP-75 모드인 경우에는 -6.7℃ 조건에서 Preconditioning을 실시하고 동일한 온도 조건에서 12시간 이상 정차한 이후 시험을 하게 된다. 그 외 HWFET, US06, SC03은 차량이 예열된 상태에서 시험이 진행이 되기 때문에 시험 전, Preconditioning 모드로 주행하고 본시험을 시행하였다. 차량의 설치에 소요되는 불필요한 시간을 줄이기 위해 시험 순서는 Soaking 후 시험을 진행하는 FTP-75(혹은 Cold FTP-75)모드를 먼저 실시하고, 예열이 필요한 HWFET, US06, SC03 모드를 뒤이어 시험하였다.

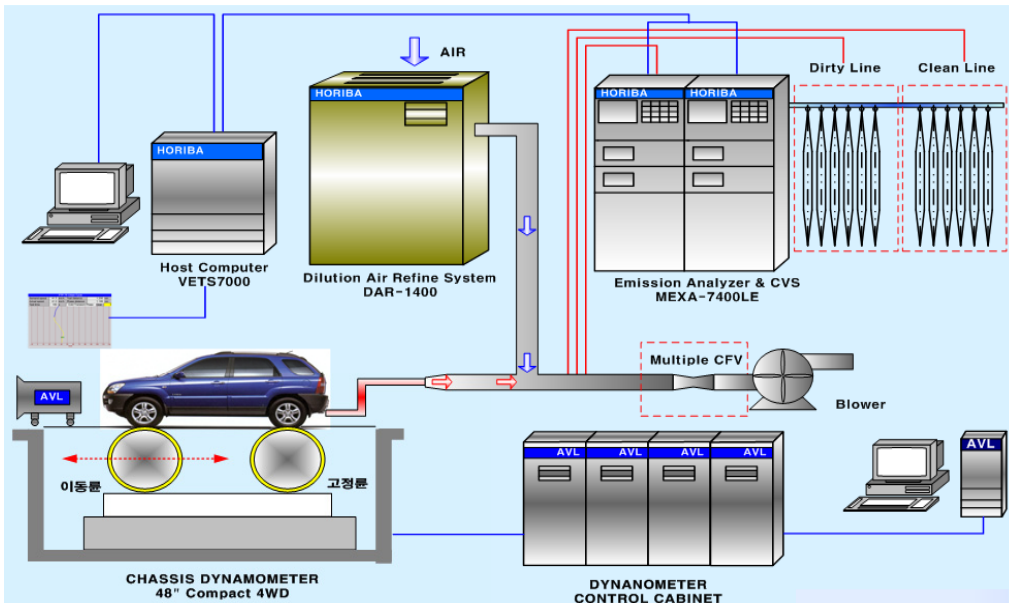


Fig. 2 Schematic diagram of gasoline vehicle emission measurement system

Table 1 Key features of the five fuel economy test mode

Mode	Average Speed (km/h)	Maximum Speed (km/h)	Maximum Acceleration (km/h/s)	Condition (°C)
FTP -75	34	93	5.3	24
HWFET	77	96	5.3	24
US06	77	128	13.6	24
SC03	35	88	8.2	35
Cold FTP-75	34	93	5.3	-7°C

3. 결과 및 고찰

3.1 온실가스 배출특성

3.1.1 저온 환경조건에 따른 온실가스 배출 특성

Fig. 3은 저온(-6.7°C) 환경조건이 시험차량의 CO₂배출량에 미치는 영향을 평가하기 위하여 기존의 FTP-75 모드와 Cold FTP-75 모드를 비교한 것이다. FTP-75 모드의 경우 에어컨이나 히터 등과 같은 전자장치를 사용하지 않으나 Cold

FTP-75 모드는 -6.7°C에서 히터를 작동시키게 되며, 주행저항을 10% 추가하여 시험이 진행된다.

결과를 보면 전체적으로 평균 16.8% 정도 CO₂의 배출이 증가하였고, 시험 대상별로 최소 12.5%에서 최대 32.6%까지 분포를 보였다. 유종별로 보면 가솔린은 14.3%, LPG는 14.7%, 디젤은 18.1%, 하이브리드는 28.4% 순으로 CO₂ 배출량이 증가하였다. CO₂ 배출량 증가폭이 가장 큰 하이브리드 차량의 경우는 배터리가 저온에서 성능이 떨어지기 때문으로 판단된다.⁷⁾

전체적인 결과를 봤을 때 유종별로 CO₂ 배출량 증가폭이 차이가 나지만, 저온이라는 환경조건과 히터 작동이라는 운전조건이 CO₂ 배출량 증가에 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

3.1.2 고온 환경조건 및 에어컨 작동에 따른 온실가스 배출 특성

Fig. 4는 고온의 온도조건과 에어컨의 사용이

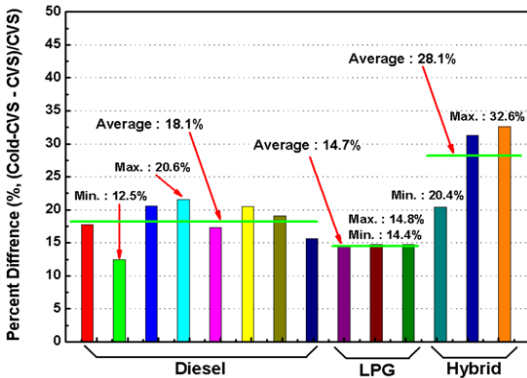
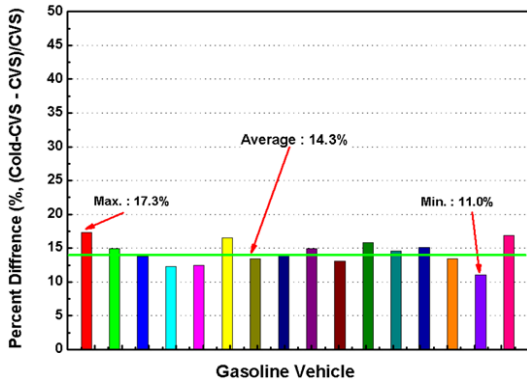


Fig. 3 Cold temperature impacts

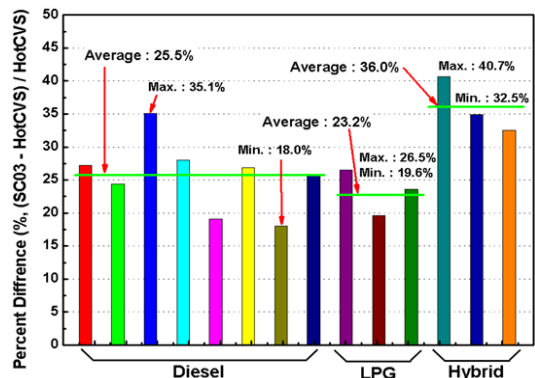
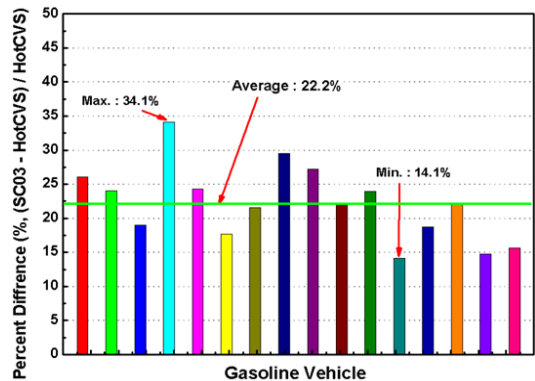


Fig. 4 Air conditioning impacts

차량의 CO₂ 배출량에 미치는 영향을 비교하기 위해, SC03결과와 차량의 예열상태 및 시험모드의 주행 패턴이 유사한 FTP-75의 3phase 구간에서의 결과를 비교한 것이다. 고온의 환경조건과 에어컨 사용으로 인해 평균적으로 24.6% 정도 CO₂의 배출이 증가하였고, 유종별로는 가솔린이 22%, LPG가 23.2%, 디젤이 25.5%, 하이브리드가 36%로 증가폭은 하이브리드가 가장 컸다.

전체적인 결과를 보았을 때 고온의 환경조건과 에어컨 작동의 운전조건이 저온시험의 조건보다 더 크게 CO₂ 배출량에 영향을 미치는 것을 알 수 있고⁶⁾, 특히 하이브리드 차량의 경우 에어컨으로 인한 배터리 효율 저하의 영향이 크게 나타남을 알 수 있다.⁸⁾

3.1.3 급가감속 및 고속운전에 따른 온실가스 배출 특성

US06모드는 공격적인 운전습관을 표현하기 위

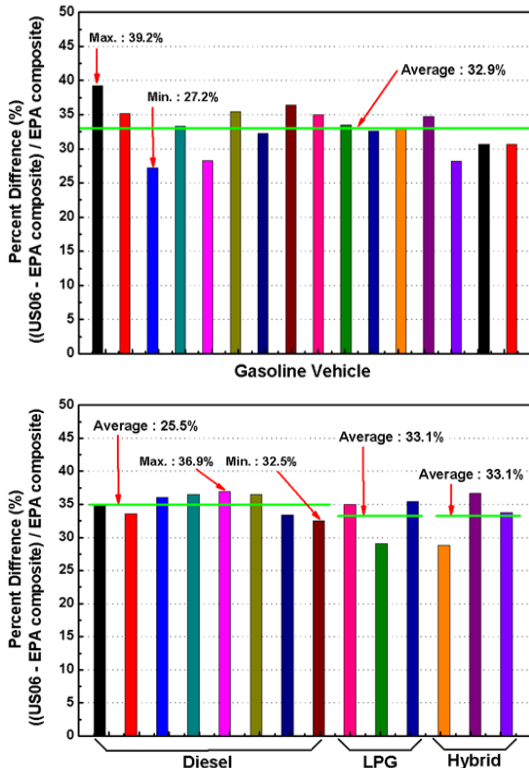


Fig. 5 High speed aggressive driving impacts

해 설계되었으며, 낮은 속도에서 급가속과 급감속을 이어서 하는 도심운행 구간과 130 km/h 정도의 높은 속도로 운전하는 구간을 포함하고 있다.

따라서 낮은 속도와 많은 가감속 주행패턴이 포함되어 있는 FTP-75와 고속 주행패턴이 주를 이루는 HWFET의 시험 결과를 조합한 데이터를 가지고 US06과 비교하였다.

Fig. 5는 US06모드의 공격적인 운행에 의한 각 차량의 특성 분포를 보여주고 있다. 평균적으로 US06모드에서의 연비는 FTP-75와 HWFET의 조합보다 33.5% 정도 높은 CO₂ 배출량을 보였다. 유종별로는 최소 27.2%에서 최대 39.2%까지의 분포를 보여 주었고, 디젤을 제외한 나머지 차량은 유사한 결과를 보였다. 디젤은 CO₂ 배출량 증가폭이 다른 연료에 비해 비교적 적었는데, 엔진 특성상 출력 토크가 크기 때문에 공격적인 운전 및 고속에 의한 영향을 적게 받은 것으로 보인다.

3.2 온실가스 배출량 보정식 개발

3.2.1 온실가스 배출 특성 비교

CO₂ 배출량에 영향을 주는 환경 및 운전조건 중 배출량의 증가폭이 큰 순서대로 보면 공격적인 운전조건, 고온의 에어컨 작동조건, 저온의 히터 동작 조건 순이었다. 실제 도로에서 주행 시, 이러한 변수들이 두드러지는 조건인 경우 CO₂ 배출량은 기존 모드에 의해 측정된 배출량에 비해 증가하게 될 것임을 알 수 있다.

Table 2 Comparison of CO₂ growth rate according to 5-cycle test method

Fuel type	CO ₂ (%)	
	City mode	Highway mode
Gasoline	27.3	39.8
Diesel	25.7	46.8
LPG	28.4	39.1
Average	28.0	41.6

Table 2는 5-cycle 시험방법 적용에 따른 CO₂ 증가율을 비교하여 나타낸 것이다. 표를 보면 전

체적으로 5-cycle 시험방법을 도입하게 됨으로써 도심모드에서 CO₂는 28.0%, 고속도로 모드에서는 41.6% 증가하는 결과를 나타내었음을 알 수 있다.

3.2.2 온실가스 보정식 개발

온실가스 배출량 보정식은 차량의 FTP-75와 HWFET 시험의 CO₂ 배출량 결과만 가지고 추가적인 시험 없이도 5-cycle 시험모드의 특징이 결과에 나타날 수 있도록 보정하여 주는 식이다. 이 보정식은 저온 조건의 운행, 고속 및 공격적인 운행, 고온의 에어컨 사용 영향을 포함하고 있다. 따라서 소요 비용과 시험 시간이 많이 드는 5-cycle 시험의 전체에 대해서 시험을 하지 않아도 보정식을 이용한 계산을 통해 위 세가지 환경 및 운전 조건을 반영할 수 있다.

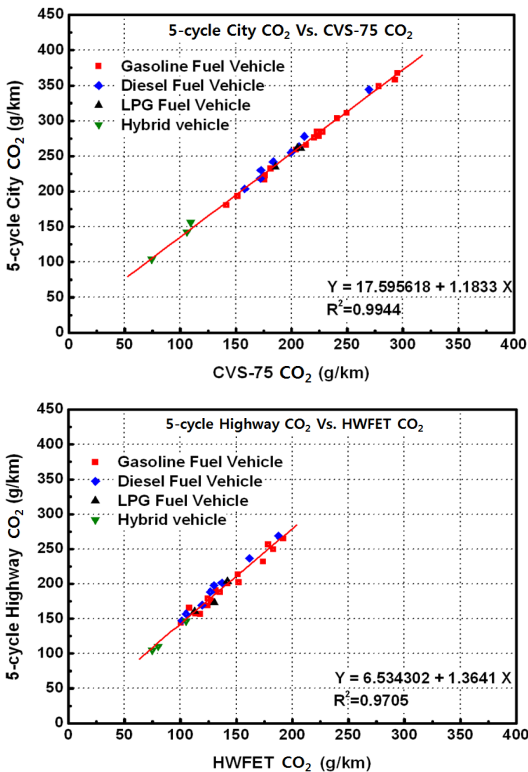


Fig. 6 CO₂ Correction formula of test vehicle

시험차량 30대에 대하여 얻은 CO₂ 결과 값을 토대로 회귀곡선을 그려 보정식을 산출하면 Fig.

6과 같다. 시험차량의 모델에 대한 5-cycle CO₂는 각각의 점들로 표시가 되어 있다. 수평축은 FTP-75모드의 CO₂와 HWFET모드의 CO₂이다. 이를 통해 도심 FTP-75 모드의 CO₂ 보정식을 구해 보면 다음과 같다.

CO₂ 도심 보정식 :

$5\text{-cycle FTP CO}_2 = 17.595618 + 1.1833 \times \text{FTP CO}_2$
 여기에서 FTP CO₂ 는 25℃ 대기 조건하의 FTP-75모드 시험 동안에 얻어진 g/km 단위의 CO₂ 값이다.

고속도로 CO₂ 값 역시 다음과 같은 보정식을 얻을 수 있다.

CO₂ 고속도로 보정식 :

$5\text{-cycle HWFET CO}_2 = 6.534302 + 1.3641 \times \text{HWFET CO}_2$

여기에서 HWFET CO₂는 25℃ 대기 조건하의 HWFET모드 시험 동안에 얻어진 g/km 단위의 CO₂ 값이다.

Table 3은 5-cycle 시험모드의 측정값과 회귀곡선을 통해 계산된 값의 차이를 백분율로 나타낸 것이다. 도심모드의 경우 최소 0%에서 최대 5.6%의 차이를 보였고, 고속도로 모드의 경우 최소 0.1%에서 최대 7.2%의 차이를 보였다. 회귀곡선의 결정계수 R² 값은 도심모드가 0.9944이고 고속도로 모드가 0.9705로서 보정식에 대한 신뢰도는 높은 것으로 판단되어진다.

이러한 보정식을 통하여 5-cycle 전체에 대해 시험을 진행하지 않아도 앞서 진행된 세가지 환경 및 운전조건을 결과값에 적용하여 줄 수 있을 것으로 예상된다.

Table 3 Percent difference between measurement CO₂ result and 5-cycle CO₂ result using correction formula

Stats	Difference(%)	
	City mode	Highway mode
Max.	5.6	7.2
Min.	0	0.1
Average	0	0.2

4. 결 론

본 연구에서는 5-cycle 모드 특성이 온실가스 배출량에 어느 정도의 영향을 미치는지 알아보고자 하였다. 또한 5-cycle 시험방법 전체에 대한 시험 없이도 그 영향을 온실가스 배출량에 반영하기 위해 시험차량 30대를 시험하여 보정식을 개발하고자 하였고, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 5-cycle 시험방법 중 SC03, US06, Cold FTP-75 모드에 대한 시험결과를 보면 차량별로 CO₂ 배출량 증가폭의 차이는 있었으나, 특정 환경 및 운전조건에서 배출량이 증가한다는 면에서 전체적으로 유사한 양상을 보였다. CO₂ 배출량 증가에 영향을 주는 조건은 고속 및 공격적인 운행(33.5%), 고온 및 에어컨사용 운전조건(24.6%), 저온 및 히터사용조건(16.8%) 순이었다.

2) 유종별로 보면 기존의 5-cycle 모드를 적용하는 경우 Combined 모드(FTP-75, HWFET만 측정)에 대비하여 CO₂ 배출량이 도심모드는 가솔린 27.3%, LPG 28.4%, 디젤 25.7% 증가하였으며, 고속도로 모드에서는 가솔린 39.8%, LPG 39.1%, 디젤 46.8% 증가하는 결과를 보였다.

3) 시험차량 30대에 대한 5-cycle 시험을 통해 얻어진 CO₂ 배출량을 토대로 회귀곡선을 그려 보정식을 만들면 다음과 같다.

$$5\text{-cycle FTP CO}_2=17.595618+1.1833\times\text{FTP CO}_2$$

5-cycle HWFET CO₂=6.534302+1.3641×HWFET CO₂
회귀곡선의 결정계수 R² 값은 도심모드가 0.9944이고 고속도로 모드가 0.9705이다.

4) 이 식을 이용하여 CO₂ 배출량을 보정하는 경우 기존 Combined 모드를 통해 산출된 CO₂ 배출량 대비하여 약 34.12% 정도 증가하는 결과를 가지게 된다. 또한 보정된 결과 값은 5-cycle 모드 전체에 대해 시험한 결과와도 유사한 결과 값을 가졌다.

5) 이 보정식은 환경 및 운전조건에 영향을 받으므로 자동차 기술의 발전에 따라 온실가스 배출량이 변동할 가능성이 있기 때문에 신규 차량에 대한 추가적인 시험을 통해 지속적인 업데이트

트가 필요하다.

후 기

본 연구는 2017년 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국에너지기술평가원 주관 “산업기술혁신산업(에너지기술개발사업, No. 20152010103660)”으로 수행되었으며, 관계 기관의 지원 및 협조에 감사드립니다.

References

1. J. S. Welstand, H. H. Haskew, R. F. Gunst and O. M. Bevilacqua, 2003, "Evaluation of the Effects of Air Conditioning Operation and Associated Environmental Conditions on Vehicle Emissions and Fuel Economy", SAE.
2. EPA Final Technical Support Document, 2006, "Fuel Economy Labeling of Motor Vehicles : Revisions to Improve Calculation of Fuel Economy Estimates", EPA.
3. Y. T. Kim, 2009, "Effect of Fuels on CO₂ Emission in CVS-75 Mode", KASE.
4. L. Breton, EPA Mechanical engineer, 2010, "Emissions and Fuel economy of vehicles and engines in the real world and on the road", Seminar Resource.
5. T. W. Lee, 2010, "Greenhouse Gas and Pollutant Emission from Light-Duty Vehicles Regarding the Relative Positive Acceleration", KASE.
6. K. H. Kim, 2014, "The Study on the Assessment Greenhouse Gases and Air Pollutants of Diesel Vehicle according to Ambient Temperature and Driving Condition", KSPSE.
7. K. H. Kim, 2014, "The Study on the Assessment Fuel Economy of Hybrid Vehicle on Test Mode", KSPSE.
8. K. H. Noh, 2015, "The Impact Study on Fuel Economy of Electric Vehicle According to the Test Mode Characteristics", KSPSE.