

MTBE 가솔린기관의 배기가스 특성에 관한 연구

노 병 준* · 이 삼 구** · 김 규 철***

Emission Characteristics for the MTBE Gasoline Engine

Byungjoon Rho* · Samgoo Lee** · Kyuchul Kim***

ABSTRACT

This article is to provide reasonably accurate vehicle emission estimates for the four sampled fuels which are commercially available across the nation. Emission quantities are obtained by testing a vehicle on a chassis dynamometer and capturing a sample of the emissions from the tailpipe in vehicle. The vehicle is driven following a particular pattern of idle, acceleration, cruise, and deceleration. Shown here is the trace of the test cycle known as the CVS-75 Mode which is used to certify the emission performance standards. The mode of CVS-75 consists of a cold start cycle, a hot stabilized cycle, and a hot start cycle. Emissions for the pollutants are measured in vehicle testing. These are carbon monoxide (CO), oxides of nitrogen (NOx), and total hydrocarbon (THC). The test results summarized in this report indicate that the differences for the amount of emission are quantitatively minimal.

초 록

본 논문에서는 현재 시판되고 있는 주요 정유회사의 MTBE 가솔린을 이용하여 차량 배출 배기가스를 측정하였다. 배출 가스량은 차량 동력계상에 실제차량을 탑재하여 시험차량의 배기관에서 배출된 배출가스를 포집 하였으며, 우리나라의 공인배출가스 시험방법인 CVS-75 모드를 추적 주행하여 측정 하였다. CVS-75 모드는 cold start cycle, hot stabilized cycle 및 hot start cycle로 구성되며, 본 실험에서 분석한 배출가스는 일산화탄소, 질소산화물 및 탄화수소 등이다. 실험결과 배출 가스의 양에 있어서 근소한 차이만 보이고 있음을 알 수 있었다.

1. 서 론

내연기관에서 고효율 연소에 필요한 환경 친화적 연료를 개발하기 위하여 국내·외적으로

지속적인 연구¹⁾가 진행되고 있다. 가솔린에 합산소 첨가제를 이용하면 옥탄가를 향상시키고 연소효율을 높여주는 연료산화제인 MTBE (Methyl Tertiary Butyl Ether)를 이용한 가솔린은

* 전북대학교 기계항공시스템공학부

** 전북대학교 자동차신기술 연구소

***전북대학교 대학원

기존의 휘발유보다 엔진 청정성이 탁월하여, 연료분사장치 (Injector), 흡기밸브 (Intake Valve), 연소실 (Combustion Chamber) 등 엔진내부의 주요 장치들을 최적의 상태로 유지시켜 엔진에 끼여있는 퇴적물을 깨끗하게 제거하여 엔진을 최적의 상태로 유지시킬 수 있다고 믿어왔다.

그러나 최근에 MTBE 가솔린은 지표수 및 지하수 오염의 주원인²⁾이며, 유해성 물질 배출로 인한 악취와 피부 가려움증 및 엔진 마모의 주 오염원이라는 의구심을 낳고 있다. 실제로 1995년 8월 미국 캘리포니아주 로스앤젤레스의 1137 5번지 Westminster Avenue에 위치한 Charnock Wellfield의 상수원에서 MTBE 가솔린 첨가제 물질이 음용수로 쓰이는 상수원에 다량 함유된 사실³⁾이 밝혀져 수많은 음용수 관정을 폐쇄하기에 이르렀다. 왜냐하면 MTBE는 물에 쉽게 용해되어 자연 분해되기에는 어려운 물질이기에 지표수 및 지하수에 내재된 MTBE의 유해성으로 인하여, 미국 환경청(EPA)은 MTBE를 인체에 해로운 발암물질로 규정을 하였으며⁴⁾, 최근 미국 캘리포니아 주지사인 Gray Davis는 가솔린 첨가제로서의 MTBE 사용을 제지하는 법안을 마련중에 있다.

이와 같은 조치들로 인하여, 자동차 보유수가 현저히 증가하고 필요한 가솔린을 전량 수입에 의존하고 있는 우리나라의 현 상황으로서는 연료 첨가제에 대한 연구가 절실히 요구되는 실정이며, 지금까지 MTBE에 관한 연구가 있었지만 현재 논란이 되고 있는 이슈에 만족스럽지 못하여 MTBE 첨가 가솔린의 수질, 대기 및 토양오염의 유해성과 신뢰성 있는 데이터 분석이 절실히 요구되는 실정이다. 이에 따라 본 연구에서는 MTBE 가솔린의 환경에 끼치는 유해성에 관하여 미국 캘리포니아 대학교 (UCR) 와 공동으로 연구를 수행⁵⁾하여, 얻어진 자료를 바탕으로 국내·외적으로도 신뢰성 있는 데이터 베이스를 구축 하고자 한다. 본 연구에서는, 국내 주요 정유회사에서 시판하고 있는 4종의 휘발유에 대하여 가솔린차량의 배출가스를 시험 평가하였다. 시험은 우리 나라 배출가스 인증모드인 시가지

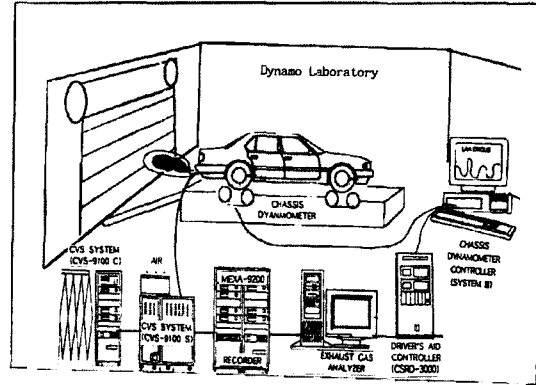


Fig. 1 Schematic Diagram of Emission Measurement System

주행모드, 즉 CVS-75 Mode를 이용하여 실시하였으며 시험차량은 국산 중형승용차를 사용하였다.

2. 시험장치 및 시험방법

2.1 시험장치

Figure 1은 시험차량의 배출가스를 측정하기 위한 시험설비를 보여주는 개략도이다. 본 설비는 크게 항온·항습 시험계, 새시 동력계 (Chassis Dynamometer), 운전보조장치 (Driver's Aid), 배출가스분석기 (Emission Analyzer) 등으로 구성된다. 새시 동력계는 차량이 도로상을 주행할 때의 노상주행 저항과 관성 등을 고려하여 롤러상에 설치된 시험차량이 도로를 실주행할 때와 비슷한 조건에서 운전되도록 설치하였다. 운전보조장치는 도로상의 실제 주행패턴을 모의한 모드(시간 - 차속선도), 기어변속위치 등을 모니터상에 지시하여, 운전자가 이를 보고 시험차량을 운전하도록 보조하는 기능을 가진다. 배출가스분석기는 크게 CVS시스템, 배출가스 분석기, 컴퓨터 시스템으로 구성된다. CVS시스템은 시험차량의 배기관에서 배출된 가스를 공기와 희석한 후, 정용량 펌프로 흡인하여 혼합된 배출가스의 일부를 샘플링백에 포집하는 기능을, 배출가스분석기는 이 CVS시스템의 샘플링백에 포

집된 배출가스중의 CO, NOx, HC 등을 분석하며, 컴퓨터시스템은 운전보조장치, CVS시스템, 배출가스분석기를 제어하고 얻어진 데이터를 분석하여 배출가스농도를 산출하는 기능을 가진다.

2.1.1. 새시동력계

새시 동력계는 차량중량 3톤미만의 경부하 자동차의 도로 부하를 측정할 수 있는 DC타입 동력계로서, 관성중량의 설정범위는 453~3118 kg이다. 본 동력계는 2 Roll Type (roller의 직경 219.7mm) 이고, 최고주행속도는 144 km/h이다. 동력계의 모든 제어 및 출력은 마이크로컴퓨터에 의해 실시되며, 주요 제원은 Table 1과 같다.

Table 1 Specification for the Chassis Dynamometer

Description	Specification
Model	Clayton Co., DCE - 80
Roll	Diameter of 219.7mm Overall length of 1981mm DC motor controller
Max. road load	40HP at 104 km/h
Max. road speed	144 km/h
Max. motoring capability	40HP at 104 km/h

2.1.2. 배출가스 분석기

배출가스 분석기는, 가솔린자동차 및 LPG 자동차와 천연가스 자동차의 연비와 배출가스를 측정할 수 있는 설비로서, 분석가능한 배출가스는 CO, NOx 및 THC등이다. 동 시스템의 주요 제원은 Table 2와 같으며, 시험차량에서 배출되는 배출가스는 CVS 시스템을 통과하는 도중에 외부공기와 희석되어 정용량 샘플링백 (Constant Volume Sampler)에 포집되어, 시험종료후에 배출가스 분석기에 의해 해당가스의 배출농도가 분석된다. 부속 컴퓨터 시스템에서는, CVS 시스템과 배출가스 분석기의 제어 및 분석과 아울러, 운전보조장치를 통하여 모니터상에 주행 모드와 기어 변속위치 등을 지시하는 기능을 가

진다.

2.2. 시험방법

시험은 항온항습이 유지된 시험실내 (항온 $24 \pm 1^\circ\text{C}$, 항습 상대습도 $60 \pm 5\%$)에서 공인연비 측정방법인 대기환경보전법 제3조 제1호에서 규정한 CVS-75 모드 측정방법에 의해 실시되었다.

Table 2 Emission Analyzer for Gasoline Fuels

	Description
Model	HORIBA, MEXA-9200
NOx Analyzer	Model : CLA-150 Principle : CLD Range : 0-5000 ppm Reliability of $\pm 1\%$
CO Analyzer	Model : AIA-120 Principle : NDIR Range : 0-2500 ppm Reliability of $\pm 1\%$
THC Analyzer	Model : FIA-120 Principle : FID Range : 0-5000 ppm Reliability of $\pm 1\%$

즉, 새시동력계 상에 시험차량을 위치시킨 후, Fig. 2의 CVS-75 모드를 추적 주행하여, 이때에 배출되는 배출가스중의 일산화탄소 (Carbon Monoxide, CO), 탄화수소 (Total Hydrocarbons, THC), 질소산화물 (Oxides of Nitrogen, NOx) 등을 측정하였다. 이때 새시동력계에는 시험차량이 80.5 km/h로 주행할 때의 도로부하를 재현할 수 있도록, 각 시험차량에 대한 도로부하력과 차량 중량에 맞춘 등가관성중량을 설정하였다.

2.2.1. CVS-75 모드 측정방법

CVS-75 모드 측정방법에서는, 실온 $20 \sim 30^\circ\text{C}$ 의 시험실 내에 엔진이 정지된 상태의 시험차량을 12~36 시간동안 정차 (Soaking) 시킨후 엔진이 정지된 상태 그대로 시험차량을 새시동력계 상에 위치시켜, Fig. 2의 CVS-75 모드를 추적하

여 차량을 운전한다.

동 주행모드는 총 3개의 Phase로 구성되어 있으며 Phase 1은 저온 시동상태에서의 주행을 모의한 것으로 저온 시동시험 초기단계 (Cold Segment)로 불리우며 505초동안 5.78 km를 주행한다. Phase 2는 냉시동후 엔진의 운전조건이 안정된 상태에서의 주행을 모의한 것으로 저온 시동시험 안정단계 (Stabilized Segment)로 불리우며 865초동안 6.29 km를 주행한다. Phase 3는 phase 2 주행후 9분~11분간 엔진을 정지시켰다가 다시 주행하는 구간으로서, 고온 시동 시험 초기단계 (Hot Segment)로 불리우며, 전술한 Phase 1 구간과 동일한 모드이다. 이상 3 Phase의 총 주행시간은, 10분간의 휴지시간을 포함하여 42.3분으로서, 총 주행거리는 17.84 km이다.

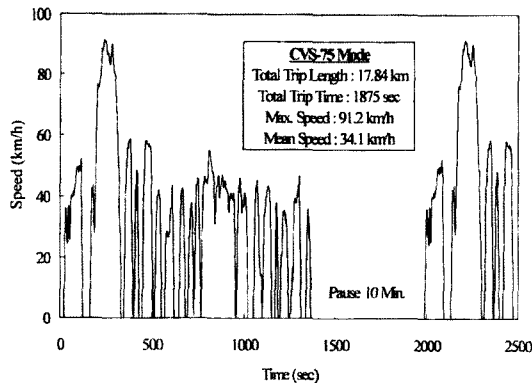


Fig. 2 Trace of the test Cycle

2.2.2 시험차량 및 연료물성치

시험차량은 국산 중형 승용차량을 이용하였으며 제원은 Table 3과 같다.

시험연료유는, A사, B사, C사 및 D사 등 국내 주요 정유회사에서 시판하고 있는 4종의 MTBE 첨가 가솔린을 사용하였으며, 이들 연료는 모두 각 정유회사의 직영점에서 자사제품인지의 여부를 확인한 후에 구입하여 사용하였다. 이들 시험 연료의 물성치는 각 사에서 제공한 것으로 Table 4와 같다. 각각의 연료에 대한 배기 배출가스를 시험하기 전에 연료 및 엔진

오일을 교체하고 플러싱 (flushing) 작업을 실시하였다.

Table 4 Fuel Properties of Sampled Gasolines

Test Item	Sample A	Sample B	Sample C	Sample D
COLOR	YELLOW	YELLOW	YELLOW	YELLOW
Cu-strip, 3Hr 50°C	1이하	1이하	1이하	1이하
API, Gravity @60°F	61.7	61.4	59.5	59.6
DENSITY, @15°C, kg/l	0.735	0.738	0.74	0.745
Dist., EVA 10%, °C	54.4	52.9	55.5	53.5
Dist., EVA 50%, °C	84.2	87.5	91.5	91.6
Dist., EVA 90%, °C	163	159	150	173
Dist., END POINT, °C	192	193	184	212
Dist., RESIDUE, vol%	1.0	0.9	1.1	0.9
UNWASHED GUM mg/100ml	29.5	43.5	13.3	38.7
INDUCTION PERIOD, min	510+	510+	510+	510+
SULFUR, mass%	0.007	0.010	0.004	0.002
AROMATICS, vol%	21.1	21.4	25.4	24.1
Benzene vol%	0.53	0.72	1.39	0.53
Oxygen wt%	1.15	1.45	1.15	1.59
TOLUENE vol%	3.12	4.38	6.34	2.72
OLEFIN vol%	17.07	17.02	10.45	18.05

먼저, 연료탱크 내에 있는 잔류 연료를 모두 제거한 후 시험연료를 주입하고, 엔진오일과 오일필터를 교체한 후, 연료공급라인에 잔류하는 기존 연료를 모두 제거하기 위하여, 3~5분간 공회전 운전을 실시하였다. 그 후 새시동력계상에서 CVS-75 모드에 의한 예비주행(Pre-Run)을 1회 실시한후 엔진오일과 오일필터를 교환한 다음 3~5분간 공회전을 실시하였다.

3. 시험결과

3.1 Carbon Monoxide

Figure 3에 A사, B사, C사, 및 D사 등 국내 주요 정유회사에서 시판하고 있는 4종류의 시료에 대하여 평가한 가솔린차량의 일산화탄소 배출가스 시험결과를 나타내고 있다.

일산화탄소는 탄화수소 연료의 연소과정중

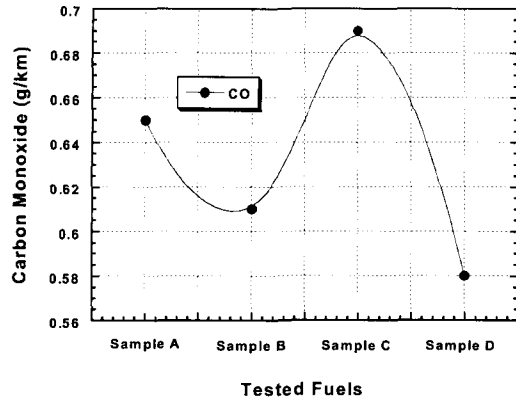


Fig. 3 Comparison of Measured CO Emissions

산소가 부족한 상태에서 연료의 불완전 연소에 의하여 생성되는 무색·무취의 독가스이다. 일산화탄소 배출은 추운 날씨에 공기 공급이 제한된 차량 시동시 공기와 연료의 낮은 혼합비에서 현저하게 증가한다.

그림에서 보여주듯이, 일산화탄소 배출가스는 A사의 시판유가 0.65 g/km, B사는 0.61 g/km을 보였으며, C사의 경우 0.69 g/km, D사의 경우는 0.58 g/km를 나타내었다. 이와같이, 시험에 사용된 주요 시판유의 일산화탄소 배출농도는 상대적으로 변화폭이 크지 않고, 모두 환경부의 신규 제작차량의 일산화탄소 배출가스 허용 인증 기준치인 2.11 g/km이하로 만족하고 있음을 보여준다.

3.2 Total Hydrocarbon

배기가스중의 HC라는 것은 미연 또는 일부만 연소한 각종의 탄화수소의 총칭이며, 휘발유가 연소되지 않은 상태에서 배출되거나 연소에 의하여 크래킹(Cracking)을 일으킬 때 주로 발생하며 NO₂와 혼합될 경우 강렬한 햇빛에 의하여 광화학 스모그를 생성하게된다.

Figure 4에 국내 주요 정유회사에서 시판하고 있는 4종의 시료 연료에 대하여 시험한 가솔린 차량의 THC 배출가스결과를 나타낸다. A사의 시판유는 0.141 g/km, B사의 경우는 0.139 g/km, C사의 시판유가 0.135 g/km, D사의 경

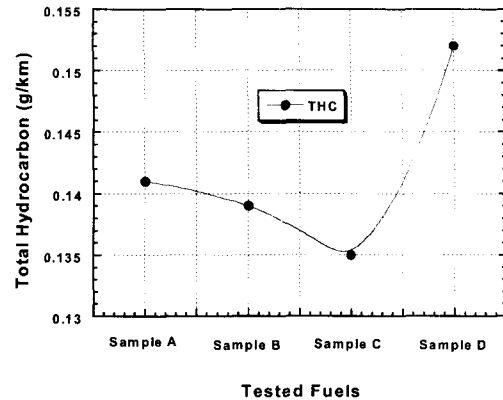


Fig. 4 Comparison of Measured THC Emission

우는 0.152 g/km을 나타내었다. 즉, 시험에 사용된 주요 시판유의 THC 배출농도는 그의 변화폭이 그다지 크지 않고, 모두 환경부의 신규 제작차량 THC 배출가스 허용인증 기준치인 0.25 g/km이하를 만족한다.

3.3 Nitrogen Oxide

실린더 내에서 생성되는 질소산화물은 주로 NO로 공기중의 질소와 산소가 화합하기 때에

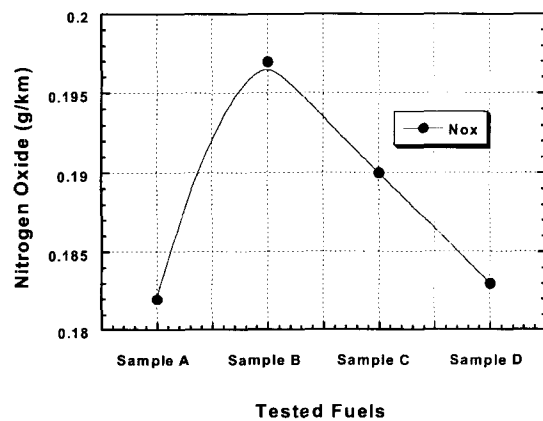


Fig. 5 Comparison of Measured Nox Emissions

약 1500° C 이상의 고온에서만 발생하며 고온

이 될수록 급증한다. 일산화탄소나 탄화수소와 달리 자동차의 연료가 엔진 내에서 가장 잘 탈 때 많이 발생한다.

Figure 5에 국내 주요정유회사에서 시판하는 4종의 가솔린에 대한 가솔린차량의 NOx 배출가스 시험결과를 나타낸다. A사의 시판유가 0.182 g/km, B사의 시판유가 0.197 g/km, C사의 시판유가 0.190 g/km, D사의 시판유가 0.183 g/km를 나타내었다. 이와같이 시험에 사용된 주요 시판유의 NOx 배출농도의 변화폭은 현저한 차이가 없으며 샘플시료 모두 환경부의 신규 제작차량 NOx 배출가스 허용인증 기준치인 0.40 g/km를 만족하고 있음을 알 수 있다.

4. 결 론

국내 주요정유회사 MTBE 첨가 가솔린의 배기배출가스 실험결과 다음과 같은 결론을 얻었다. 일산화탄소, 탄화수소 및 질소산화물의 배출가스 농도에 있어서 시판유에 따라서 극소량의 배기 배출농도 차 (CO의 경우 5% 이내, THC의 경우 7% 이내 그리고 NOx의 경우는 4% 이내)를 나타내고 있다. 이와같이 배출가스량의 변화폭이 크지 않았으며, 4개의 시료 모두 환경부의 신규 제작 차량 배출가스 인증 기준

허용범위 이하의 값을 나타내고 있음을 알 수 있었다.

후 기

본 연구는 2000년도 전북대학교의 지원 연구비에 의하여 연구되었음.

참 고 문 헌

1. Albert M. Hochhauser, Jack D. Benson, and Robert A. Gorse, "The Effect of Aromatics, MTBE, Olefins and T90 on Mass Exhaust Emissions from Current and Older Vehicles", SAE 912322, 1991
2. George Palmer, "Supply and Cost of Alternatives to MTBE in Gasoline", Public Hearing of the Fuels and Transportation Committee, State of California Energy Resources and Conservation and Development Commission, Nov. 13, 1998
3. John E. Reuter, "Lake Tahoe Moving Beyond the Conflict", Tahoe Research Group, UC, Davis, 1999