

< 기술논문 >

휘발유 차량에서 배출가스에 미치는 올레핀의 영향

박 천 규^{1,2)} · 정 충 섭¹⁾ · 나 병 기^{*2)}

한국석유관리원 석유기술연구소¹⁾ · 충북대학교 화학공학과²⁾

The Effect of Olefin Contents on Exhaust Emissions from Gasoline Vehicles

Cheonkyu Park^{1,2)} · Choongsub Jung¹⁾ · Byungki Na^{*2)}

¹⁾Research Institute of Petroleum Technology, Korea Institute of Petroleum Management, 653-1 Yangcheong-ri, Ochang-eup, Cheongwon-gun, Chungbuk 363-883, Korea

²⁾Department of Chemical Engineering, Chungbuk National University, Chungbuk 361-763, Korea

(Received 18 June 2013 / Revised 29 August 2013 / Accepted 3 September 2013)

Abstract : Exhaust emissions were studied as a function of gasoline olefin composition in two vehicles-MPI and GDI engine equipped vehicles. Three different gasolines were tested which varied in olefin contents-12, 16 and 20 vol%. Exhaust emissions in two vehicles were affected by changes in gasoline olefin composition. Responses to changes in olefins were similar in both vehicles : reducing olefins lowered emissions of NOx and CO. Measured exhaust emissions included total hydrocarbons (THC), oxides of nitrogen (NOx), carbon monoxide(CO), carbon dioxide(CO₂), formaldehyde, benzene, toluene, xylene, 1,3-butadiene and acetylene.

Key words : Gasoline(휘발유), Olefin(올레핀), Emission(배출)

1. 서 론

우리나라는 급격한 산업발전을 통해 자동차의 도입이 증가되면서 대도시의 대기환경오염이 가시화되어졌다. 이를 해결하기 위한 방안으로 1990년 대기환경보전법 개정을 통해 그동안 자동차 성능을 충족하기 위해 관리해 왔던 자동차 연료품질기준을 대기 오염물질 저감을 위한 자동차 배출허용기준 차원에서 접근하기 시작하였다.^{1,2)} 이로써 1991년부터 연료로부터 기인되는 오염물질 저감을 위해 자동차용 휘발유와 경유에 적용되는 품질기준을 규정하였다.

전체적으로 연료의 기준항목은 국내 대기오염의 추세 및 외부 환경여건 변화에 따라 발전해 오고 있다. 그러나 실질적으로 자동차에서의 오염물질 저감과 연계된 항목의 설정은 2000년 이후에 시작되

었다고 볼 수 있다. 휘발유에 있어서 2000년부터 자동차 배출허용 기준의 강화추세와 함께 배출 후처리 장치의 성능 및 효율에 크게 영향을 주는 ‘황함량’ 이 항목에 추가되었고 대기오염의 오존(O₃; Ozone) 문제와 휘발성 유기화합물(VOCs; Volatile Organic Compounds) 저감을 위해 올레핀, 증기압 등이 새로운 항목으로 추가되면서 꾸준히 강화해오고 있다.

올레핀은 대기 중으로 휘발되어 오존 형성에 기여하며 연소시 독성이 큰 디엔화합물을 만든다. 올레핀을 20%에서 5%로 감소시킬 때 오존형성능력이 현저하게 줄어든다는 연구결과³⁾에 의하면 향후 몇 년 후 경량차량의 최대 오존 기여를 13~25% 정도 감소시킬 것으로 나타났으며, 이 효과의 70%는 프로펜, 부텐 등의 저분자 올레핀의 감소에 따른 것으로 보고되었다(Fig. 1).

연료의 올레핀은 배출가스의 올레핀과 매우 밀접한 관계를 가지고 있다. 올레핀은 오존형성의 조건

*Corresponding author, E-mail: nabk@chungbuk.ac.kr

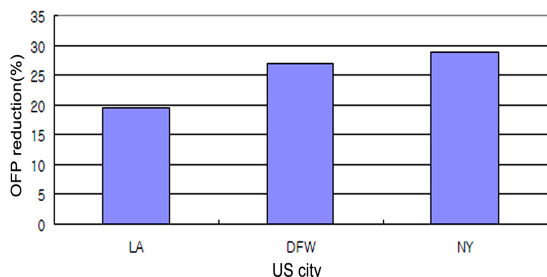


Fig. 1 OFP (Ozone Forming Potential) according to olefin content (20→5vol%)

에서 반응성이 매우 높기 때문에, 올레핀 함량이 낮아질수록 배출가스의 특정 반응성도 낮아지는 방향으로 따라간다. 독성 배출물질에 대한 올레핀의 하나의 큰 영향은 1,3 butadiene를 줄이는 것이었다.

또 다른 연구결과⁴⁾에서는 39대의 1989~1990년도 사용 중인 차량을 12종의 연료와 함께 시험하였다. 올레핀 함량이 낮은 연료는 NOx는 저감되나 CO는 동등하며 HC에는 영향을 미치지 않는다고 결론지었다.

상기와 같이 선진국 등에서는 연료품질과 자동차 기술과의 상관성 연구를 통하여 분석결과를 기준 설정에 반영하고 있으나, 국내에서는 동 분야의 상관성에 대한 체계적인 연구는 진행되고 있지 않다.

본 연구에서는 현행 휘발유 차량 엔진방식별 (MPI, GDI)로 올레핀 함량을 변화시키면서 배출특성을 평가하여 연료 품질기준 설정에 대한 기초자료를 확보하고자 한다.

2. 실험

2.1 실험 시료 및 품질분석

자동차용 휘발유는 400~500여 가지의 화합물로 임의의 조제가 어렵기 때문에 「석유 및 석유대체연료사업법」(이하 “석대법”) 상의 품질기준을 준수시키면서 올레핀 함량을 충족시키도록 특정 정유사에 의뢰하여 올레핀 및 방향족 함량 등을 고려하여 Table 1과 같이 조제하였다. 평가시 올레핀만의 영향을 평가하기 위하여 방향족 함량은 19부피%로 고정하였다.

품질분석은 석대법 상의 자동차용 휘발유 품질기준에 근거하여 각 품질항목별 한국산업규격(KS) 및

Table 1 Test fuel

	Blending ratio (vol%)			Others
	Fuel A	Fuel B	Fuel C	
Olefin contents	12	16	20	· Aromatics : 19vol%

Table 2 Gasoline quality spec. and test method

Property	Spec.		Test method
	regular	Premium	
RON	91~94	94 ↑	KS M 2039
DIST. (°C)	T10	70 ↓	KS M ISO 3405
	T50	125 ↓	"
	T90	170 ↓	"
	FBP	225 ↓	"
	Residue (vol%)	2.0 ↓	"
water & sediment (vol%)	0.01 ↓		KS M 2115
Copper corrosion (50°C/3h)	1 ↓		KS M 2018
Vapor Pressure (37.8°C, kPa)	44~82(S:44~65, W:44~96)		KS M ISO 3007
Oxidation stability (min)	480 ↑		KS M 2043
Gum (mg/100mL)	5 ↓		KS M 2041
Sulfur (mg/kg)	10 ↓		KS M 2027
Color	Yellow	Green	
Lead contents (g/L)	0.013 ↓		KS M 2402
Phosphorus (g/L)	0.0013 ↓		KS M 2403
Aromatics (vol%)	24(21) ↓		KS M 2407
Benzene (vol%)	0.7 ↓		KS M 2407
Olefin (vol%)	16(19) ↓		KS M 2455
Oxygen (mass%)	0.5~2.3(W:1.0~2.3)		KS M 2408
Methanol (mass%)	0.1 ↓		KS M 2408

최신 규격으로 품질분석을 실시하였으며, Table 2에 품질기준 및 시험방법을 나타내었다.

2.2 실험장치 및 방법

2.2.1 평가차량

올레핀 함량에 따른 환경성 평가를 위하여 현행의 휘발유 엔진 방식에 따라 MPI (Multi-Point Injection)과 최근 개발되어 상용화된 GDI (Gasoline Direct Injection) 방식의 차량을 각각 1대씩 선정하여 성능을 평가하였으며, 그 제원을 Table 3에 나타내었다.

Table 3 Specification of experimental vehicle

	GDI engine equipped vehicle	MPI engine equipped vehicle
Model Year	2011	2011
GVW (kg)	1,695	1,055
Transmission	6AT	4AT
Displacement (cc)	2,384	1,596
Max. Power (ps/rpm)	185/6,700	108/6,200
Max. Torque (kg.m/rpm)	24.0/4,900	13.9/5,000
Fuel tank (L)	73	43
F.E. (km/L)	10.6 (AT)	18.0 (MT) / 16.1 (AT)

2.2.2 차대동력계 및 배기가스 분석장치

차량 성능 및 환경성 평가에 사용된 차대동력계 (Chassis Dynamometer - 4WD) 시스템은 항온항습실, 차대동력계, Driver's Aid, 희석터널, 배출가스 분석장치, 보조운전장치 등으로 구성된 시스템으로 국내 차량 총중량 3.5톤 미만의 자동차에 대하여 배출가스 및 연료소비율을 측정할 수 있도록 형식승인된 시험장비이다. 아래 Fig. 2에 시험에 사용된 차대동력계 시스템 개략도를 나타내었다.

배출가스 측정 장치(MEXA-7400LE)는 배출가스 중 CO, THC, NOx, CO₂을 분석할 수 있는 장치로서, 분석원리는 CO 및 CO₂가 비분산적외선분석법(NDIR, Nondispersive Infrared), THC는 열식불꽃이온화검출기법(HFID, Heated Flame Ionization Detector), NOx는 화학발광법(CLD, Chemiluminescence Detector)을 사용하였다.

1,3-부타디엔 등 미규제물질은 FT-IR 분광기 (spectroscopy)를 이용하여 측정하였으며 적외선 영역 4000~400cm⁻¹의 영역에서 ±2% 이내의 선형성을 가지며, ppm 단위로 농도를 연속적으로 측정하였다.

2.2.3 시험방법 및 시험모드

시험은 항온이 유지된 시험실 내(항온 25±5°C)에서 대기환경보전법 제3조제1호에 규정된 국내 제작 자동차 공인시험모드인 CVS-75모드 및 HWFET모드를 사용하여 배출가스 항목 (CO, HC, NOx, CO₂)을 측정하였으며, 연료소비효율은 산업통상자원부 고시 제 2008-162호(자동차의 에너지소비효율 및 등급표시에 관한 규정)에 의거한 에너지소비효율을 측정하였다.

모든 시험은 정확도를 고려하여 3회 실시하였다. 각각의 운전조건에 따라 배출가스(CO, THC, CO₂, NOx), 연비 및 미규제 배출가스 특성 등을 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 연료 물성

실험연료의 연료적 품질특성에 대한 분석은 Table 4와 같이 석대법상 품질기준 항목에 의거하여 올레핀 표준시료를 분석한 결과, 방향족은 18~19 부피%이며, 올레핀은 각각 12, 16, 20 부피%로 분석되었으며, 기타 물성 항목은 석대법상 휘발유 품질기준을 만족하였다.

연료의 분석결과, 배출가스에 영향을 주는 주요

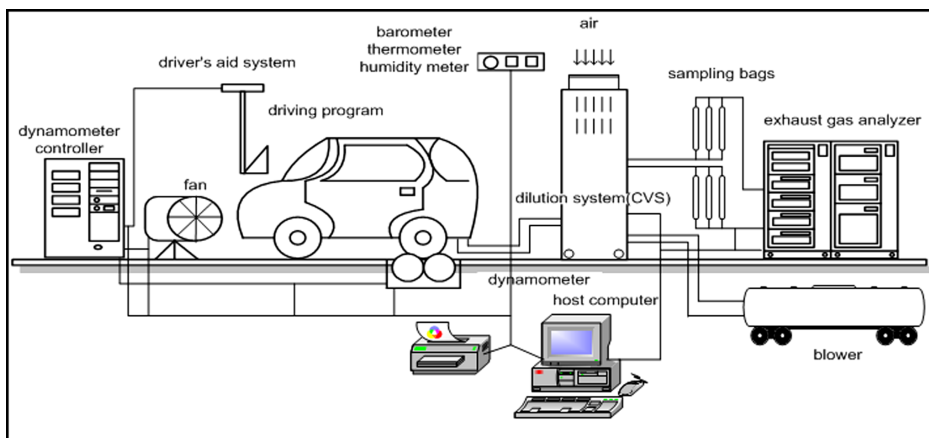


Fig. 2 Schematic diagram of gasoline vehicle emission measurement system

Table 4 Properties of test fuels

Property		Spec.	Fuel A	Fuel B	Fuel C
Octane No.		91~94	91	91	91
DIST. (°C)	T10	70 ↓	55	55	55
	T50	125 ↓	84	81	78
	T90	170 ↓	162	163	164
	FBP	225 ↓	200	200	198
	Residue (vol%)	2.0 ↓	1.0	1.0	1.0
Copper corrosion (50°C/3h)		1 ↓	1 ↓	1 ↓	1 ↓
Vapor Pressure (37.8°C, kPa)		44~82	59	59	59
Oxidation stability (min)		480 ↑	480 ↑	480 ↑	480 ↑
Gum(mg/100mL)		5 ↓	1 ↓	1 ↓	1 ↓
Sulfur (mg/kg)		10 ↓	4	5	5
Color		Yellow	Yellow	Yellow	Yellow
Lead contents (g/L)		0.013 ↓	0.001 ↓	0.001 ↓	0.001 ↓
Phosphorus (g/L)		0.0013 ↓	0.0001 ↓	0.0001 ↓	0.0001 ↓
Aromatics (vol%)		24(21) ↓	18	19	18
Benzene (vol%)		0.7 ↓	0.5	0.6	0.7
Olefin (vol%)		16(19) ↓	12	16	20
Oxygen (mass%)		2.3 ↓	1.9	1.9	2.0
Methanol (mass%)		0.1 ↓	0.1 ↓	0.1 ↓	0.1 ↓

항목으로는 옥탄값의 경우 91, 벤젠과 방향족은 3가지 연료 모두에서 동등한 결과값을 나타내었으며, 배출가스의 주요 증가요인으로 작용하는 황분함량은 4~5 mg/kg으로 sulfur-free 수준으로 분석되었다. 표준시료 분석결과에서 올레핀 성분만 변화됨을 알 수 있으며, 배출가스 등 측정값에서 올레핀 함량 감소에 따른 배출가스 저감을 예측할 수 있다.

3.2 배출특성

올레핀 함량변화에 따른 배출가스 측정의 신뢰도 향상 및 정확도를 높이기 위하여 3회 측정을 기본으로 수행하나, 시험 오차값이 클 경우 반복시험 수행하였다.

휘발유 중 올레핀 함량에 따른 규제물질별 배출가스 특성은 Fig. 3, 4에서와 같이 2.4L GDI 차량 및 1.6L MPI 차량 모두에서 fuel C(올레핀 함량 20%) 연료 대비 올레핀 함량감소에 따라 적게 배출되었다. 이러한 결과는 연료의 물성 분석결과에 의한 배출가스 예측과 동일한 결과를 나타내었다.

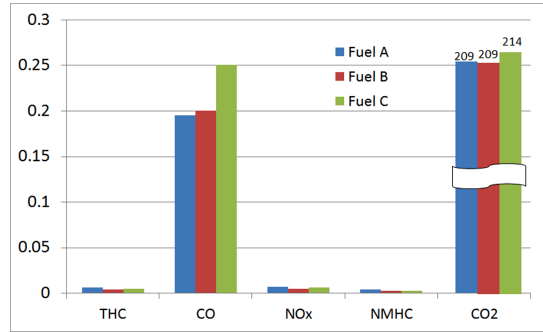


Fig. 3 Emissions(g/km) by CVS-75 mode (2.4L GDI engine equipped vehicle)

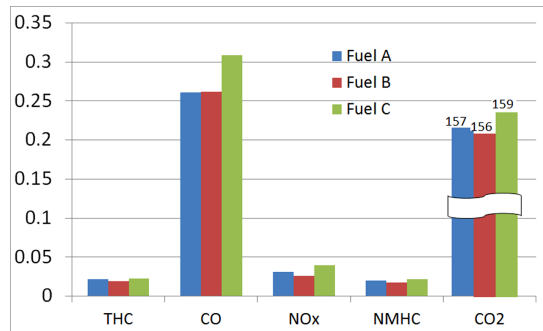


Fig. 4 Emissions(g/km) by CVS-75 mode (1.6L MPI engine equipped vehicle)

올레핀 함량 감소(20→12부피%)에 따른 배출가스 평가결과, 일산화탄소(CO), 이산화탄소(CO₂)는 일정하게 감소하는 경향을 나타내었으나, 그 외의 배출가스는 경향성을 확인할 수 없었다. 메탄(CH₄) 및 비메탄탄화수소(NMHC)는 올레핀 함량이 12부피%, 20부피%, 16부피%의 순으로 증가하는 경향이 며, 전탄화수소(THC) 및 질소산화물(NOx)는 20부피%, 12부피%, 16부피%의 순으로 증가하는 경향으로 평가되었다.

2.4L GDI 방식 차량은 올레핀 함량에 따라 CO, CO₂의 증가경향을 나타내었으나, THC, NOx, CH₄, NMHC와 관련하여 증감의 상관성은 나타나지 않았다. CRC (Coordinating Research Council)의 연구보고서⁵⁾에 의하면 올레핀 함량 증가에 따라 CO가 증가하는 것으로 보고되고 있으며, 본 평가에서도 올레핀 증가(12→20%)에 따라 CO(CVS-75모드 0.06 g/km, HWFET 모드 0.07 g/km)가 증가하였다. 또한 CRC 및 다양한 연구보고서^{6,7)}에 의하면 올레핀 증가는

NOx의 감소와 HC의 증가를 발생시키는 것으로 보고되고 있으나, 본 평가에서는 이러한 경향을 확인할 수 없었다.

1.6L MPI 방식 차량에서는 올레핀 함량에 따라 CO (CVS-75모드 0.05 g/km, HWFET 모드 0.04 g/km)가 증가하는 경향을 나타내었으나, CO₂, THC, NOx, CH₄, NMHC와 관련하여 증감의 상관성을 확인할 수 없었다.

이러한 배출가스 저감 요인으로는 휘발유 구성성분 중 이중결합을 지니는 올레핀은 일반적으로 파라핀 성분대비 연소과정에서 반응성이 좋으나, 올레핀 저감에 따라 올레핀을 대체하는 파라핀 성분이 완전연소가 유도되어 CO 등의 배출가스가 낮게 된다.

3.2.1 엔진기술별 배출가스 저감효율

엔진기술별 배출가스 저감효율은 Fig. 5, 6에서와 같이 일산화탄소(CO), 전탄화수소(THC) 등 모든 배출가스 항목에서 GDI 엔진 탑재차량의 배출가스 저감효율이 보다 높게 나타났다.

엔진기술의 발달에 따른 배출가스 저감 효과는 시험차량 2대의 배기량 및 모델이 상이하어 직접적인 비교는 불가하나 간접적인 저감효과는 비교가 가능하다고 판단된다. 직접분사방식을 적용한 자동차가 간접분사방식 보다 배출가스가 적게 나타나는 것으로 나타났다.

따라서 차량의 마일리지 및 촉매의 상태에 따라 상이하기 때문에 일반화되기는 어려우나, 간접분사방식 차량이 점차 사라지고 이미 양산되고 있는 직

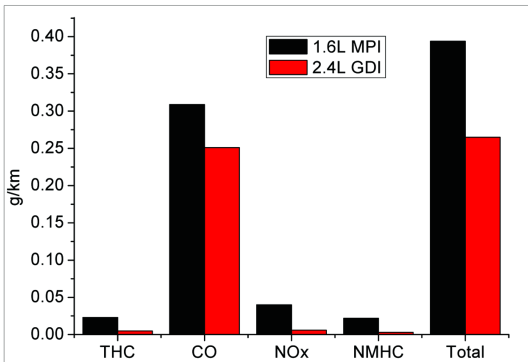


Fig. 5 Emissions of GDI engine compared with MPI engine in Fuel C (olefin contents 20%)

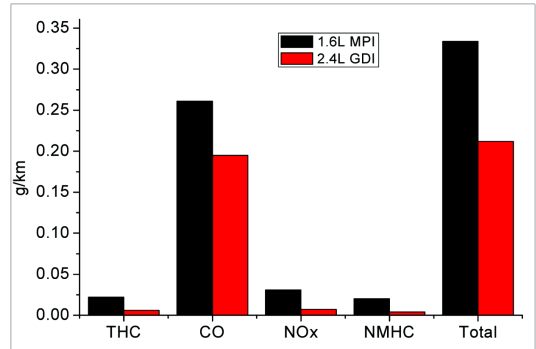


Fig. 6 Emissions of GDI engine compared with MPI engine in Fuel A (olefin contents 12%)

접분사 방식 차량이 늘어날 수록 배출가스 저감효과는 더 커질 것으로 예상할 수 있다.

3.2.2 미규제물질 배출특성

Table 5, 6에 올레핀 함량에 따른 미규제물질 분석 결과를 나타내었다. 2.4L GDI 차량의 경우, 아세틸렌(Acetylene), 1,3-부타디엔(1,3 butadiene)은 미량 감소하였으나, 포름알데히드(Formaldehyde), 자일렌(Xylene), 벤젠 (Benzene), 톨루엔(Toluene)은 동등 수준으로 평가되었으며, 1.6L MPI 차량에서는 포름알데히드, 벤젠, 아세틸렌은 미량 증가하였으나 톨루엔, 자일렌, 1,3 부타디엔은 표준편차내 동등수준의 결과로 평가되었다. 올레핀은 열에 불안정하여 엔진내 검 형성 및 퇴적물을 일으키며 연소생성물로는 디엔(Diene)이 형성된다. 그러나, 2.4L GDI 차량에서의 1,3 부타디엔 감소 및 1.6L MPI 차량에서의 동등수준의 결과로 이러한 상관성을 확인할 수 없었다.

3.2.3 연료소비효율

올레핀 함량변화에 따른 연료소비효율은 산업통상자원부 고시 ‘자동차의 에너지소비효율 및 등급 표시에 관한 규정’에 의거하여 복합 에너지소비효율로 아래 식을 사용하여 산출하였다.

$$\text{복합 에너지 소비효율 (km/ℓ)} = \frac{1}{\frac{0.55}{\text{도심주행 에너지소비효율}} + \frac{0.45}{\text{고속도로주행 에너지소비효율}}}$$

연료소비효율 측정결과, Fig. 7에서와 같이 연료

Table 5 Unregulated emissions test results of 2.4L GDI equipped vehicle (unit : ppm)

	Formaldehyde (HCHO)	Benzene (C ₆ H ₆)	Toluene (C ₇ H ₈)	Xylene (C ₈ H ₁₀)	1-3Butadiene (C ₄ H ₆)	Acetylene (C ₂ H ₂)
Fuel A	0.350 (0.037)	1.582 (0.195)	1.015 (0.042)	0.469 (0.034)	0.583 (0.021)	0.659 (0.118)
Fuel B	0.367 (0.015)	1.143 (0.052)	0.017 (0.006)	0.453 (0.046)	0.692 (0.029)	0.391 (0.036)
Fuel C	0.233 (0.072)	1.052 (0.283)	0.107 (0.031)	0.524 (0.022)	0.742 (0.018)	0.332 (0.013)

주) () 안은 표준편차임.

Table 6 Unregulated emissions test results of 1.6L MPI equipped vehicle (unit : ppm)

	Formaldehyde (HCHO)	Benzene (C ₆ H ₆)	Toluene (C ₇ H ₈)	Xylene (C ₈ H ₁₀)	1-3Butadiene (C ₄ H ₆)	Acetylene (C ₂ H ₂)
Fuel A	0.261 (0.035)	0.366 (0.058)	0.116 (0.041)	0.379 (0.062)	0.639 (0.069)	0.513 (0.016)
Fuel B	0.314 (0.006)	0.840 (0.015)	0.081 (0.021)	0.447 (0.048)	0.671 (0.042)	0.474 (0.006)
Fuel C	0.383 (0.030)	0.932 (0.017)	0.208 (0.074)	0.479 (0.068)	0.769 (0.030)	1.071 (0.005)

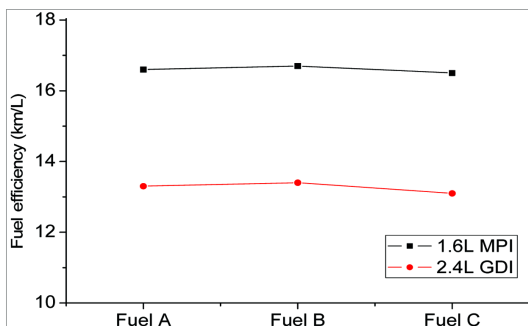


Fig. 7 Fuel efficiency test results by combined mode

의 기본적인 품질은 변화되지 않았으며, 옥탄가, 발열량 등 연비에 기여하는 연료물성 차이가 없기 때문에 3가지 연료에서 연료소비효율의 차이는 없으며, 동등수준으로 평가되었다.

3.3 올레핀 함량에 따른 배출가스 상관성

올레핀 함량변화에 따른 배출가스 상관성 연구는 미국 등의 오토오일프로그램(AQIRP, Air Quality Improvement Research Program)에서 체계적인 연구를 수행하여 왔다. 동 연구결과⁸⁾에 따르면, 올레핀 함량을 15% (20→5%) 저감시 HC는 7.1% 증가, NO_x는 6.1% 저감, 1,3 부타디엔은 31.6% 저감된다는 결과를 보고하였다.

Table 7 Effects of reducing olefin contents

	AQIRP results ¹⁾	Olefin change 20 ⇒ 12%	
		2.4L GDI	1.6L MPI
HC	+7.1	-20 (NS)	-8 (NS)
CO	+1.5 (NS)	-22	-15
NO _x	-6.1	+17 (NS)	-17 (NS)
1,3 Butadiene	-31.6	-21	-17
Formaldehyde	+1.3 (NS)	+50 (NS)	-32 (NS)
CO ₂		-2	-1

1) Percent Change in Emissions 20%→5% Olefins

본 평가에서는 Table 7에서 나타낸 바와 같이 올레핀 8% 저감에 따라 HC 8~20% 저감, CO는 15~22% 저감, NO_x는 +17 ~ -17%, 1,3 부타디엔은 -17~21% 저감으로 약간 상이한 결과가 도출되었다. 여기서 인용된 AQIRP 데이터는 1989년식의 기화기 방식 차량을 대상으로 한 평가이며, 본 평가는 MPI 및 GDI 엔진 탑재차량을 대상으로 직접적인 비교는 어렵지만, 올레핀 감소에 따라 1,3 부타디엔이 약 20% 이상 저감되는 공통적인 결과가 도출되었다. 또한, 이산화탄소 배출량도 1~2% 저감되어 온실가스 저감에도 기여할 것으로 판단된다.

여기서, AQIRP의 연구결과와 비교하여 HC, NO_x 및 포름알데히드는 시험차종이 제한적이고 배출량도 극소량이기 때문에 시험결과의 정확성을 확인하

기는 어려운 측면이 있었다.

이에 따라, 본 평가는 2종류의 엔진 탑재차량만을 대상으로 수행한 것으로 정책의 기초자료에는 문제가 없을 것으로 예상되나 정확한 데이터 확보차원에서 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

4. 결론

올레핀 함량별 배출가스 특성을 파악하기 위하여 올레핀 함량에 따른 시료 3종 (12, 16, 20%) 및 2종의 평가차량(2.4L GDI방식, 1.6L MPI방식)으로 배출가스 특성시험을 수행한 결과 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

- 1) 올레핀 함량 감소(20→12부피%)에 따른 배출가스 평가결과, 일산화탄소(CO), 이산화탄소(CO₂)는 일정하게 감소하는 경향을 나타내었으나, 그 외의 배출가스는 경향성을 확인할 수 없었다.
- 2) 올레핀 함량변화는 연료소비효율에 큰 영향을 미치지 않았다.
- 3) 일산화탄소(CO), 전탄화수소(THC) 등 모든 배출가스 항목에서 GDI 엔진 탑재차량의 배출가스 저감효율이 보다 높게 나타났다.
- 4) 1,3 부타디엔의 경우, 2.4L GDI 차량에서는 감소되었으나, 1.6L MPI 차량에서의 동등수준의 결과가 도출되었으며, 다른 미규제물질은 이러한 상관성을 확인할 수 없었다.

References

- 1) Clean Air Act, Ministry of Environment, 2013.
- 2) K. R. Cho, The Trends of Exhaust Emission

- Standard for Gasoline Passenger Cars, Auto Journal, KSAE, Vol.30, No.2, pp.125-129, 2008.
- 3) C. H. Schleyer, W. J. Koehl, W. R. Leppard, A. M. Dunker, G. Yarwood, J. P. Cohen and A. K. Pollack, "Effect of Gasoline Olefin Composition on Predicted Ozone in 2005/2010 - Auto/Oil Air Quality Improvement Research Program," SAE 940579, 1994.
- 4) S. Mayotte, V. Rao, C. Lindhjem and M. Sklar, "Reformulated Gasoline Effects on Exhaust Emissions: Phase II: Continued Investigation of the Effects of Fuel Oxygenate Content, Oxygenate Type, Volatility, Sulfur, Olefins and Distillation Parameters," SAE 941974, 1994.
- 5) CRC Annual Report, Coordinating Research Council, 2009-2012.
- 6) A. M. Hochhauser, J. D. Benson, V. Burns, R. A. Gorse, W. J. Koehl, L. J. Painter, B. H. Rippon, R. M. Reuter and J. A. Rutherford, "The Effect of Aromatics, MTBE, Olefins and T90 on Mass Exhaust Emissions from Current and Older Vehicles - The Auto/Oil Air Quality Improvement Research Program," SAE 912322, 1991.
- 7) R. Stradling, R. Bazzani, S. D. Bjordal, P. Schmelzle, G. Wolff, N. Thompson, D. Rickeard, P. M. Martinez, P. Scorletti and P. J. Zemroch, "Fuel Effects on Regulated Emissions from Modern Gasoline Vehicles," SAE 2004-01-1886, 2004.
- 8) AQIRP Final Report, Air Quality Improvement Research Program, 1997.