

국내 표준연료(휘발유) 도입 필요성 검토 연구

강형규 · 성상래 · 송호영 · 황인하 · 하종한 · 나병기[†]

한국석유관리원, [†]충북대학교 화학공학과
(2016년 11월 22일 접수; 2016년 12월 28일 수정; 2016년 12월 29일 채택)

A feasibility study on Introducing the Reference Fuel(Gasoline) for Testing Vehicles in South Korea

Hyungkyu Kang · Sangrae Seong · Hoyoung Song · Inha Hwang · Jonghan Ha · Byungki Na[†]

Korea Petroleum Quality & Distribution Authority,
[†]*Department of Chemical Engineering, Chungbuk National University*
(Received November 22, 2016; Revised December 28, 2016; Accepted December 29, 2016)

요약 : 2015년 기준 자동차 등록대수는 약 2,100만대를 넘어 1가구당 1.07대를 보유하고 있는 실정이나[1], 국내 자동차용 표준연료에 대한 기준은 부재한 상황이다. 자동차용 표준연료(reference fuel)는 차량의 연비와 배출가스를 인증하거나 새로운 자동차를 개발할 때 차량의 성능 등을 평가하기 위해 사용하는 연료를 의미한다. 현재 국내에는 차량의 배출가스, 성능, 연비시험 등을 위해 유통연료를 사용하고 있으며, 유통연료는 석유 및 석유대체연료사업법과 대기환경보전법 상의 품질기준을 만족하지만 각 제조사의 원료와 공정 등에 따라 연료의 물성차이가 있어 차량 시험 시 편차가 발생할 수 있다. 본 연구에서는 국내 유통되는 휘발유 품질모니터링 분석결과를 바탕으로 표준연료 기준(안)을 설정하고, GDI와 MPI 연료 분사 방식의 차량에 적용하여 비교 평가한 결과, 실제 유통연료를 사용했을 때 최대 3.8%까지 발생하는 연비차이가 1.1%까지 감소함을 확인할 수 있었다.

주제어 : 가솔린, 표준연료, 가솔린 품질모니터링, 연비, 배출가스

Abstract : Although the number of registered cars in South Korea is above 21million and one family has about 1.07 cars, there is no national standard for automobile reference fuel in South Korea. Reference fuel is the fuel used for certificating vehicle performance, emissions and fuel economy. Now, domestic market fuels are used as reference fuel. However, the quality of domestic market fuel is constantly changing by seasonal and fuel manufacturers. It may effect vehicle performance, emissions and fuel efficiency test result. On this study, market fuel quality was monitored and reference fuel standard(draft) was set by reflecting market fuel monitoring result. Reference fuel standard(draft) was applied to GDI and MPI engine. As a result, the difference of

[†]Corresponding author
(E-mail: nabk@chungbuk.ac.kr)

fuel economy between fuels meeting the reference fuel standards(draft) was reduced to 1.1% while the difference of fuel economy between market fuels was 3.8%.

Keywords : Gasoline, Reference fuel, Gasoline quality monitoring, Fuel Economy, Emissions

1. 서론

자동차 표준연료는 자동차의 연비, 증발가스, 배출가스 등 인증시험에 사용하는 연료로서 미국, 유럽, 일본 등 자동차 선진국에서는 자동차 표준연료의 품질 기준을 법으로 정하고 있으며 자국의 유통 품질기준보다 강화된 형태로 운영하고 있다. 국내의 경우에는 인증시험에 사용하는 표준연료의 기준이 없으며, 석유 및 석유대체연료사업법과 대기환경보전법 기준을 충족하는 유통 연료를 사용하도록 규정하고 있다[2-4]. 그러나 국내 유통연료의 품질 기준은 계절적 특성(동절기, 하절기)에 따라 일부 항목이 다르게 규정되어 있고[3-4], 연료 제조사별 원유, 생산 공정, 배합기재 수급 등의 차이에 따라 연료의 품질 차이가 발생한다. 이러한 유통연료를 사용하여 인증시험을 진행할 경우, 자동차의 연비와 배출가스 시험 결과 등의 편차가 발생할 가능성이 상존한다. 본 연구에서는 국내 유통되는 보통휘발유의 품질 모니터링 결과를 바탕으로 휘발유 표준연료 기준(안)을 설정하였으며, 이 기준(안)을 검증하기 위해 휘발유 연료 3종을 GDI(Gasoline Direct Injection, 가솔린 직분사식) 엔진방식과 MPI(Multi Point Injection, 다분분사방식) 엔진방식의 국내 제작차량에 적용하여 연비, 배출가스, PM(Particle Matter, 입자상물질), PN(Particle Number, 입자개수) 등을 비교 평가하였다.

2. 표준연료 도입 필요성

2.1. 해외 자동차용 표준연료 기준

미국은 휘발유에 바이오에탄올 5%(E5), 또는 10%(E10)가 포함되는 연료를 표준연료로 사용하고 있으나, 유통연료(in-use fuel)로 E10의 사용이 확대됨에 따라 유통연료와 표준연료와의 차이를 최소화하기 위해 유통연료 품질모니터링 실시 결과를 바탕으로 향후 Tier 3 motor vehicle emissions 프로그램에 적용될 표준연료로 E10을 선정했다[5]. 신규 차량은 2016년 3월부터 모든 차량은 2018년 8월부터

E10은 배출가스, 연비 및 CO₂, 미규제 배출가스 시험(증발가스, refueling, leak detection test) 측정 시 표준연료로서 사용해야 하고, 환경규제가 엄격한 캘리포니아 주의 경우에는 별도의 표준연료 기준(California Phase 3, E10)을 설정하여 운영하고 있다[6]. 유럽의 휘발유 표준연료 기준은 Euro 5, Euro 6 Grade의 E5, E10 등급이 있으며[7], 일본의 휘발유 표준연료 기준은 보통(Regular)과 고급(Premium)으로 구분되어 있으며, 보통과 고급의 품질기준은 서로 옥탄가(ROD, MON)와 밀도를 제외하고 나머지 품질기준은 동일하다[8]. 각국의 대표적인 휘발유 표준연료 기준을 Table 1에 나타내었다.

2.2. 국내 유통 석유제품 성능평가 비교

국내에서 유통되고 있는 보통 휘발유 4종(Fuel A~D)을 동일한 차량(YF소나타, 2011, 2.0 DOHC(Double Over Head Cam)-VVT(Variable Valve Timing System), MPI 연료분사 방식, 자동6단 변속기)으로 연비를 측정한 결과, Fig. 1에서 보는 바와 같이 고속모드(HWFET mode) 연비에서 최대 3.8% 연비 차이가 발생했고 이는 인증시험을 위한 표준연료 도입 필요성을 입증한 사례라 할 수 있다.

3. 국내 자동차용 휘발유 표준연료 기준(안) 설정

표준연료가 유통연료의 품질을 반영하지 못한다면, 인증시험에서 측정되는 공인 연비와 배출가스는 소비자들이 실 도로를 운행할 때의 연비와 차이가 발생할 수 있다. 따라서 표준연료의 기준은 현재 유통되는 연료의 품질분석 결과를 반영하여 기준이 설정되어야 한다.

3.1. 국내 유통 품질 모니터링

국내 유통되는 보통휘발유의 품질을 분석하기 위해 국내 5개 정유사에서 생산되는 보통휘발유를 2014년 1월부터 2015년 12월까지 월 1회씩 시료를 확

Table 1. Foreign automobile reference fuel(gasoline) specifications

Fuel Property		US		EU	Japan
		EPA Tier 3, E10 (General testing)	California Phase 3 E10 Regular/Premium	Euro 5 & 6 E10	Regular/Premium
Research Octane Number(RON)		-	-	95.0 ~ 98.0	90 ~ 92 / 99 ~ 101
Motor Octane Number(MON)		-	-	85.0 ~ 89.0	80 ~ 82 / 86 ~ 88
Sensitivity(R-M)		7.5 이상	-	-	-
Octane (MON+RON)/2		87.0 ~ 88.4	87~88.4 / 91 이상	-	-
Distillation	10% evaporated(°C)	49 ~ 60	54.4 ~ 65.6	-	45 ~ 55
	50% evaporated(°C)	88 ~ 99	96.1 ~ 101.7	-	90 ~ 100
	90% evaporated(°C)	157 ~ 168	154.4 ~ 160	-	140 ~ 170
	evaporated at 70°C(vol.%)	-	-	34.0 ~ 46.0	-
	evaporated at 100°C(vol.%)	-	-	54.0 ~ 62.0	-
	evaporated at 150°C(vol.%)	-	-	86.0 ~ 94.0	-
	Final boiling point(°C)	193 ~ 216	198.9 ↓	170 ~ 195	215 ↓
Residue(vol.%)		2.0 ↓	2 ↓	2 ↓	-
Water and sediment(vol %)			0.05 ↓	-	-
Copper Strip Corrosion(50°C,3h)		1 ↓	1	-	-
Vapor Pressure(37.8°C, kPa)		60.0 ~ 63.4	47.6 ~ 49.6	56.0 ~ 60.0	56 ~ 60
Density(15°C, kg/m ³)		-	Report	743 ~ 756	720 ~ 734 / 740 ~ 754
Oxidation Stability(min)		-	1000 ↑	480 ↑	-
Solvent-Washed Gum Content(mg/100mL)		3.0 ↓	3.0 ↓	4 ↓	5 ↓
Sulfur Content(mg/kg)		8.0 ~ 11.0	8 ~ 11	10 ↓	10 ↓
Lead Content(g/L)		0.0026 ↓	0.0026 ↓	0.005 ↓	undetectable
Phosphorus Content(g/L)		0.0013 ↓	0.0013 ↓	0.0013 ↓	-
Total Aromatic Content(vol.%)		21.0 ~ 25.0	19.5 ~ 22.5	25.0 ~ 32.0	20 ~ 45
C6 Aromatics(Benzene)(vol.%)		0.5 ~ 0.7	0.6 ~ 0.8	1.0 ↓	1.0 ↓
C7 Aromatics(Toluene)(vol.%)		5.2 ~ 6.4	-	-	-
C8 Aromatics(vol.%)		5.2 ~ 6.4	-	-	-
C9 Aromatics(vol.%)		5.2 ~ 6.4	-	-	-
C10+ Aromatics(vol.%)		4.4 ~ 5.6	-	-	-
Olefin Content(vol.%)		4.0 ~ 10.0	4.0 ~ 6.0	6.0 ~ 13.0	15 ~ 25
Oxygen Content(wt%)		0.1 ↓ (Other than Ethanol)	3.3 ~ 3.7	3.7 ↓	undetectable
Ethanol(vol.%)		9.4 ~ 10.2	9.6 ~ 10.0	9.0 ~ 10.0	undetectable
Ether(≥C5, vol%)		-	0.05 ↓(MTBE)	-	undetectable
Carbon		-	Report	Report	-
Hydrogen		-	Report	Report	-

(안)(Reference fuel draft), 시험방법(Test method)

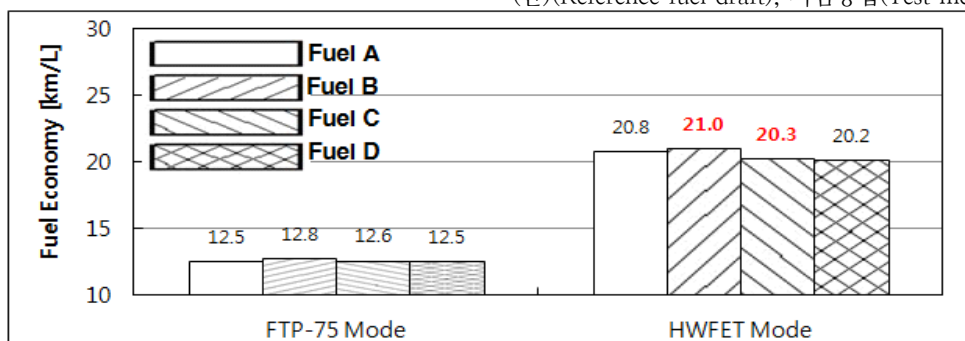


Fig. 1. Results of fuel economy test on domestic market gasolines(regular).

보하여 『석유 및 석유대체연료 사업법』에서 규정하는 품질기준 항목 등을 분석하였다[3]. 각 사별 연간 품질 변화추이는 Fig. 2에 나타냈으며, 항목별 품질기준, 시험방법[9~14]과 분석결과를 Table 2에 나타내었다

옥탄가(ROK)는 91~93, 증기압은 계절별 기준에 따라 여름은 낮게, 겨울은 높게 생산되며 전체적으로 50~90 kPa 범위에서 생산되고 있음을 확인하였다. 증류성상 중 10%, 50% 유출 온도는 여름은 높게, 겨울을 낮게 생산되며, 증기압과 반대되는 경향을 보이고 있다. 이는 증기압이 높은 연료는 휘발성이 높은 성분이 많아 증류성상의 온도가 낮아지기 때문이다. 황분은 8 mg/kg 이내, 벤젠은 0.7 vol% 이내, 총 방향족함량은 4~23 vol%, 올레핀함량은 4~16 vol%, 산소함량은 0~2.3 wt% 범위에서 생산되고 있다.

3.2. 표준연료 기준(안) 설정

표준연료의 연비와 배출가스 등이 유통연료와의 편차를 최소화하기 위해 국내 유통연료의 품질모니터링 분석결과를 바탕으로 표준연료 기준(안)을 설정하였다. 옥탄가, 증류성상, 증기압, 총방향족, 올레핀, 산소함량은 유통 범위 내에서 상한과 하한 기준을 설정했으며, 물과 침전물, 동판부식, 산화안정도, 세척현존검, 황분, 납, 인, 벤젠, 메탄올 기준은 유통품질 범위 및 석대법 품질기준을 고려하여 각각 상한 또는 하한 기준만을 설정하였다. 휘발유의 밀도 기준은 품질기준(석대법)에서는 언급하지 않지만, 연비계산식에 밀도값을 사용하기 때문에 별도의 기준을 설정하였다. 표준연료 기준(안)과 유통연료의 품질 범위를 비교하기 위해 항목별 품질기준(Limit), 평균값(Average), 유통범위(Range), 표준연료 기준

을 Table 2에 나타내었다.

4. 표준연료 및 시험조건

4.1. 표준연료 제조 및 분석

표준연료의 기준을 평가하기 위해 총 3종의 휘발유 시험연료를 선정하였다. 우선 국내 휘발유자동차의 연비 및 배출가스 시험방법 등이 미국(EPA) 기준을 따르고 있어 미국 휘발유 표준연료로서 EPA Tier II Gasoline(바이오에탄올 0%)(A)를 선정하였다. 나머지 2종은 표준연료 기준(안)을 평가하기 위해 각 품질기준 범위 내 상한과 하한에 근접한 표준연료(B, C)를 선정하여 각각 제조하였다. 이 2종의 표준연료는 석유 및 석유대체연료 사업법상의 자동차용 휘발유 20개 품질기준 항목 외에 밀도, 발열량, 탄소함량 등을 추가적으로 분석하였으며, 그 결과는 Table. 3에 나타내었다.

올레핀 함량 기준은 8~19 vol%이나 제조된 표준연료 범위는 9.0~12.1 vol%이다. 한국형 오토오일 프로그램 중 '자동차용 휘발유의 올레핀 함량 및 증기압 변화에 따른 차량환경성 평가 연구' 결과에서 올레핀 함량을 12 vol%, 16 vol%, 20 vol%로 변화시키면서 배출가스를 측정된 결과 미비한 차이를 나타냈으며[15], Maryam Hajbabaei의 연구결과에서도 올레핀 함량을 3 vol%에서 15 vol%로 변화시켜 15대의 차량에 적용 평가한 결과 NO_x, THC, NMHC, CO, fuel economy, CO₂ emissions에서 통계학적으로 의미 있는 차이점은 나타나지 않았기에[16], 표준연료 기준과 제조된 표준연료의 올레핀 범위 차이(7%)에 따른 연비 및 배출가스 영향은 미미할 것으로 판단하였다.

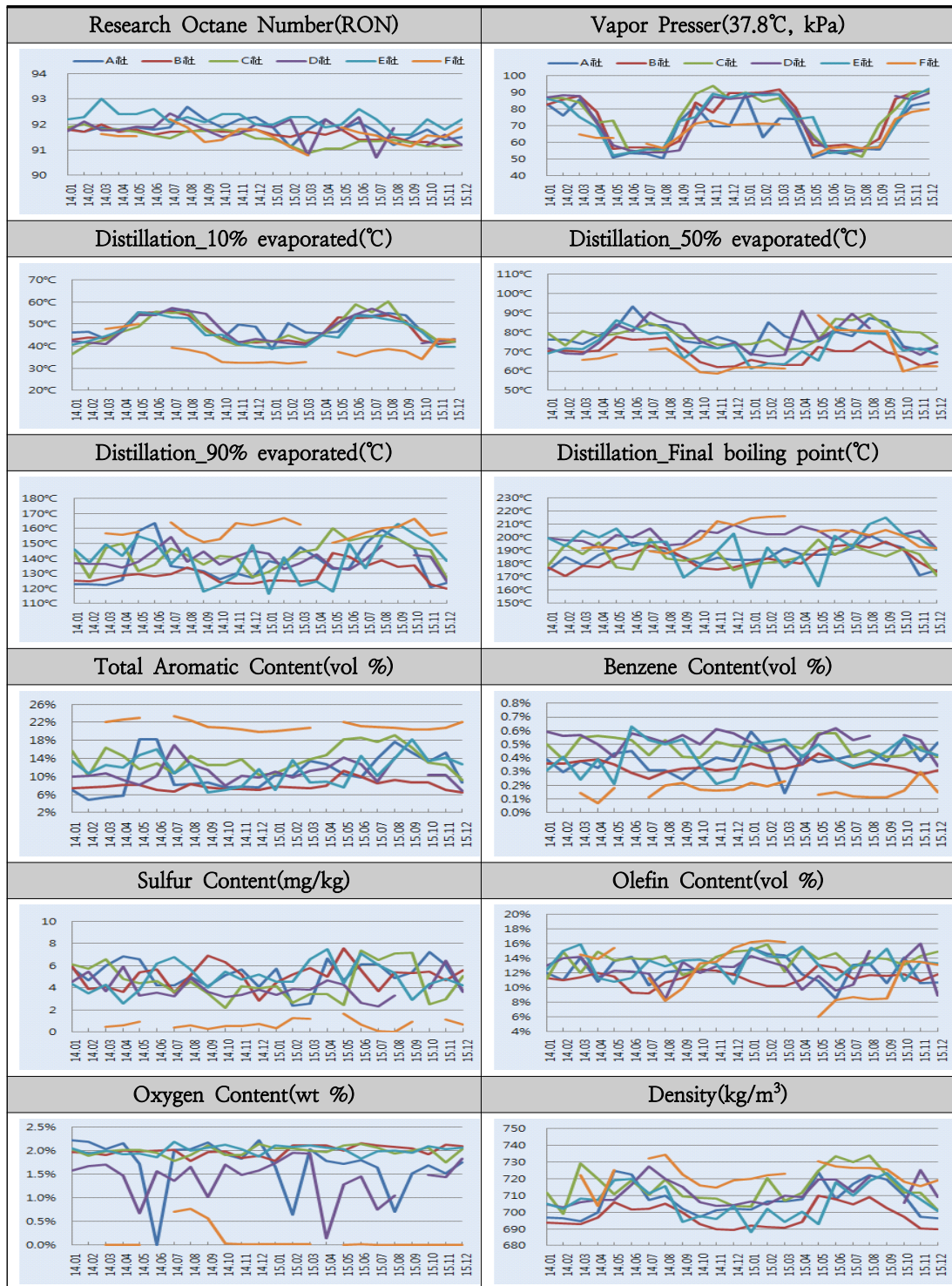


Fig. 2. Results of quality monitoring on gasoline(regular) in 2014~2015.

Table 2. Motor Gasoline(Regular) specification, Test Result, Test method and Reference fuel draft

Fuel Property	Limits	Result (Average)	Result (Range)	Reference fuel draft	Test method	
Research Octane Number(RON)	91~94	91.7	91.3~93.0	91~93	ASTM D2699	
Distillation	10% evaporated(°C)	70 ↓	46	32~60	40~60	ASTM D86
	50% evaporated(°C)	125 ↓	74	58~93	60~95	
	90% evaporated(°C)	170 ↓	140	117~167	125~155	
	Final boiling point(°C)	225 ↓	190	162~217	160~220	
	Residue(vol.%)	2.0 ↓	1	0.7~1.1	2.0 ↓	
Water and sediment(vol %)	0.01 ↓	0.005 ↓	0.005 ↓	0.01 ↓	KS M 2115	
Copper Strip Corrosion(50°C,3h)	1 ↓	1 ↓	1 ↓	1 ↓	KS M ISO 2160	
Vapor Presser(37.8°C, kPa)	44~82*	71.6 55(Summer), 81(Winter)	50.6~93.7	60~70	ASTM D5191	
Oxidation Stability(min)	480 ↑	480 ↑	480 ↑	480 ↑	KS M ISO 7536	
Solvent-Washed Gum Content(mg/100mL)	5 ↓	1 미만	0.0~1.2	1 ↓	KS M ISO 6246	
Sulfur Content(mg/kg)	10 ↓	4	0~7.6	10 ↓	ASTM D 5453	
Lead Content(g/L)	0.013 ↓	0.013 ↓	0.013 ↓	0.001 ↓	KS M 2402	
Phosphorus Content(g/L)	0.0013 ↓	0.0013 ↓	0.0013 ↓	0.0001 ↓	KS M 2403	
Total Aromatic Content(vol %)	22(19) ↓	11	4.8~23.3	6~18	ASTM D6839	
Benzene Content(vol %)	0.7 ↓	0.4	0.07~0.63	0.7 ↓	ASTM D6839	
Olefin Content(vol %)	16(19) ↓	12.6	4.4~15.9	8~19	ASTM D6839	
Oxygen Content(wt %)	2.3 ↓	1.8	0~2.23	1.0~2.3	ASTM D6839	
Methanol Content(wt %)	0.1 ↓	0.1 ↓	0.1 ↓	0.1 ↓	ASTM D6730	
Density(kg/m ³)	-	707.5	688.2~734.3	695~725	KS ISO 12185	

* Summer(Jul.~Aug) : 44~60, Winter(Oct.~Apr.) : 44 ~ 96

4.2. 시험 차량 및 시험모드

시험 차량은 연료 분사방식이 다른 GDI(Gasoline Direct Injection)와 MPI(Multi Port Injection) 방식의 차량 2대를 선정하였고, 상세 제원은 Table. 4에 나타내었다. 시험은 국내 연비 및 배출가스 인증시험모드인 시가지모드(FTP-75)와 고속모드(Highway Fuel Economy Test, HWFET)를 적용하였다. 차량의 환경변화에 따른 시험결과의 편차를 최소화하고자 차량별로 세 가지 유종의 시험을 마친 후 다음 차량의 시험을 진행하였으며, 차량 데이터의 신뢰성 확보를 위해 각 유종별 1차량 당 최소 2회 이상의 시험을 실시하여 평균값을 적용하였다. 그리고 시험결과의 최대 및 최소 범위는 error bar로 표

시하였다.

4.3. 분석 장치

시험분석에 사용된 차대동력계 및 배출가스 측정 장치의 전체적인 개략도를 Fig. 3에 나타내었다[17].

4.3.1 차대동력계

차대동력계는 자동차가 실제 도로를 주행할 때 정지, 가속, 정속, 감속 등을 반복하는 과정을 대표화한 실측 주행모드를 사용하여 주행할 수 있도록 자동차에 부하를 걸어주는 장치이다. 차대동력계, 관성중량(Inertia weight), 동력흡수계(Power absorption unit), 제어기(Controller)로 구성되어 있으며, 차대

Table 3. Result of test fuel analysis

Fuel Property	Limits	Reference fuel draft	Test fuel test Result			
			A	B	C	
Research Octane Number	91~94	91~93	96.5	93.3	90.9	
Distillation	10% evaporated(°C)	70 ↓	40~60	53	48	53
	50% evaporated(°C)	125 ↓	60~95	106	80	78
	90% evaporated(°C)	170 ↓	125~155	159	147	127
	Final boiling point(°C)	225 ↓	160~220	208	193	194
	Residue(vol.%)	2.0 ↓	2.0 ↓	1.0	1.0	1.0
water and sediment(vol %)	0.01 ↓	0.01 ↓	undetectable	0.005 ↓	0.005 ↓	
Copper Strip Corrosion(50°C,3h)	1 ↓	1 ↓	1a	1a	1a	
Vapor Presser(37.8°C, kPa)	44~82*	60~70	59.4	67	59	
Oxidation Stability(min)	480 ↑	480 ↑	480 ↑	480 ↑	480 ↑	
Solvent-Washed Gum Content(mg/100mL)	5 ↓	1 ↓	0.5 ↓	0.5 ↓	0.5 ↓	
Sulfur Content(mg/kg)	10 ↓	10 ↓	30	5	4	
Lead Content(g/L)	0.013 ↓	0.001 ↓	undetectable	0.001 ↓	0.001 ↓	
Phosphorus Content(g/L)	0.0013 ↓	0.0001 ↓	undetectable	0.0001 ↓	0.0001 ↓	
Total Aromatic Content(vol %)	22(19) ↓	6~18	31	17	7	
Benzene Content(vol %)	0.7 ↓	0.7 ↓	0.4	0.4	0.5	
Olefin Content(vol %)	16(19) ↓	8~19	0.3	12.1	9.0	
Oxygen Content(wt %)	2.3 ↓	1.0~2.3	0	2.1	1.2	
Methanol Content(wt %)	0.1 ↓	0.1 ↓	0.1 ↓	0.1 ↓	0.1 ↓	
Density(kg/m3)	-	695~725	743	729.9	710.7	
Net calorific value(MJ/kg)	-	-	42.705	42.272	43.497	
Carbon ratio(wt%)	-	-	-	0.838	0.839	

Table 4. Specifications of test vehicles

Fuel supply type	Gasoline Direct Injection (GDI)	Multi Port Injection (MPI)
Model	K7, KIA Motors	YF Sonata, Hyundai
Engine	Theta(θ) II	Nu(ν)
Engine Type	G4KJ, DOHC	G4ND, DOHC
Type and Model year	VG5B1-G,2012	YF5ABA-L-E-92, 2013
Displacement	2,359(cc)	1,999(cc)
Cylinder × bore × stroke	4 × 88 × 97 [No × mm × mm]	4 × 81 × 97 [No × mm × mm]
Compression ratio	11.3 : 1	10.3 : 1
Max. power [ps/rpm]	201/6300	172/6700
Max. torque [kg·m/rpm]	25.5/4250	20.5/4800
Mileage(km)	56,000	30,000

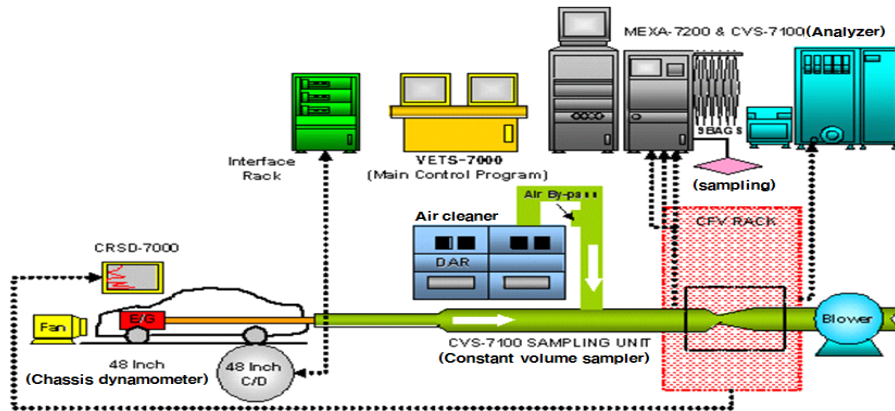


Fig. 3. Schematic diagram of gasoline vehicle emission measurement system.

동력계는 B.E.P.사의 M4500 model 장비를 사용하였다[18].

4.3.2 배출가스 분석기

배출가스 분석기는 시험자동차가 차대동력계의 롤러 위에서 주행할 때 배기관으로부터 배출되는 가스를 정용량 시료채취장치(CVS, Constant volume sampler)로 일정량의 공기를 희석한 후, 채취백에 채취한 배출가스를 분석하는 장치이다. 배출가스 분석기(HORIBA사 MEXA-7200H)는 자동차의 배출가스 중 CO, THC, NO_x, CO₂, CH₄를 분석할 수 있는 장치로서, CO와 CO₂는 비분산적외선분석법(NDIR, Nondispersive Infrared), THC는 열식불꽃이온화검출기법(HFID, Heated Flame Ionization Detector), NO_x는 화학발광법(CLD, Chemiluminescence Detector), CH₄는 GC-FID(Gas chromatography-FID)를 적용하고 있다[18].

4.3.3 입자상물질(PM) 측정

PM(Particulate matter)은 국내 배출가스 인증시험모드인 FTP-75 모드 수행 중에 51.7 °C 이하의 공기로 희석되어 필터에 포집된 자동차 배출성분 중 응축수분을 제외한 모든 배출성분(Fines, Dust, Soot, Mist, Fog, Smog 등이 포함됨)을 필터에 포집된 PM의 중량을 측정하여 산출한다[18].

4.3.4 입자개수(PN) 측정

2.5 μm 이하의 입자직경을 갖는 PM의 개수인 PN 측정은 TSI사의 CPC 3790 model의 GPMS(Golden PM measurement system : CPC, Diluter, vacuum

pump) 장비를 사용하였다[18].

5. 시험결과

Fig. 4는 FTP-75 Mode에서 차량별(GDI, MPI) 3종의 휘발유 표준연료를 사용했을 때 CO, NO_x, NMHC, CH₄, CO₂, 연비, PM, PN 시험결과를 나타내었다. 휘발유의 해외 표준연료로 미국 EPA Tier 2의 표준연료인 Indolene을 A(▨), 국내 휘발유 표준연료 기준(안)의 상한을 B(▨), 하한을 C(▨)로 표시하였다.

GDI(K7) 차량의 FTP-75 mode 시험결과

1) 해외 표준연료(A)는 국내 표준연료(B, C)보다 연비는 낮게 측정되고, 배출가스는 높게 측정됐으며, 이는 해외 표준연료가 국내 표준연료보다 방향족 함량과 황분 함량이 높아 촉매 피독현상 등이 발생하여 차이가 난 것으로 보인다.

2) 국내 표준연료 B와 C를 이용한 시험에서는 CO, NO_x, NMHC, CH₄, PM, PN의 결과에서 큰 차이가 없었다. 특히, 연비의 경우에는 연료 간 약 0.8%의 미세한 차이로 연료에 따른 차이가 거의 없는 것으로 나타났다.

MPI(YF 소나타) 차량의 FTP-75 mode 시험결과

1) 해외 표준연료(A)는 국내 표준연료(B, C)보다 연비는 낮게 측정되고, 일부 배출가스(NMHC, CO₂, PN)는 높게 측정됐으며, 이는 GDI(K7) 차량 시험결과와 같이 방향족 함량과 황분 함량이 높은 것이 원인으로 판단된다.

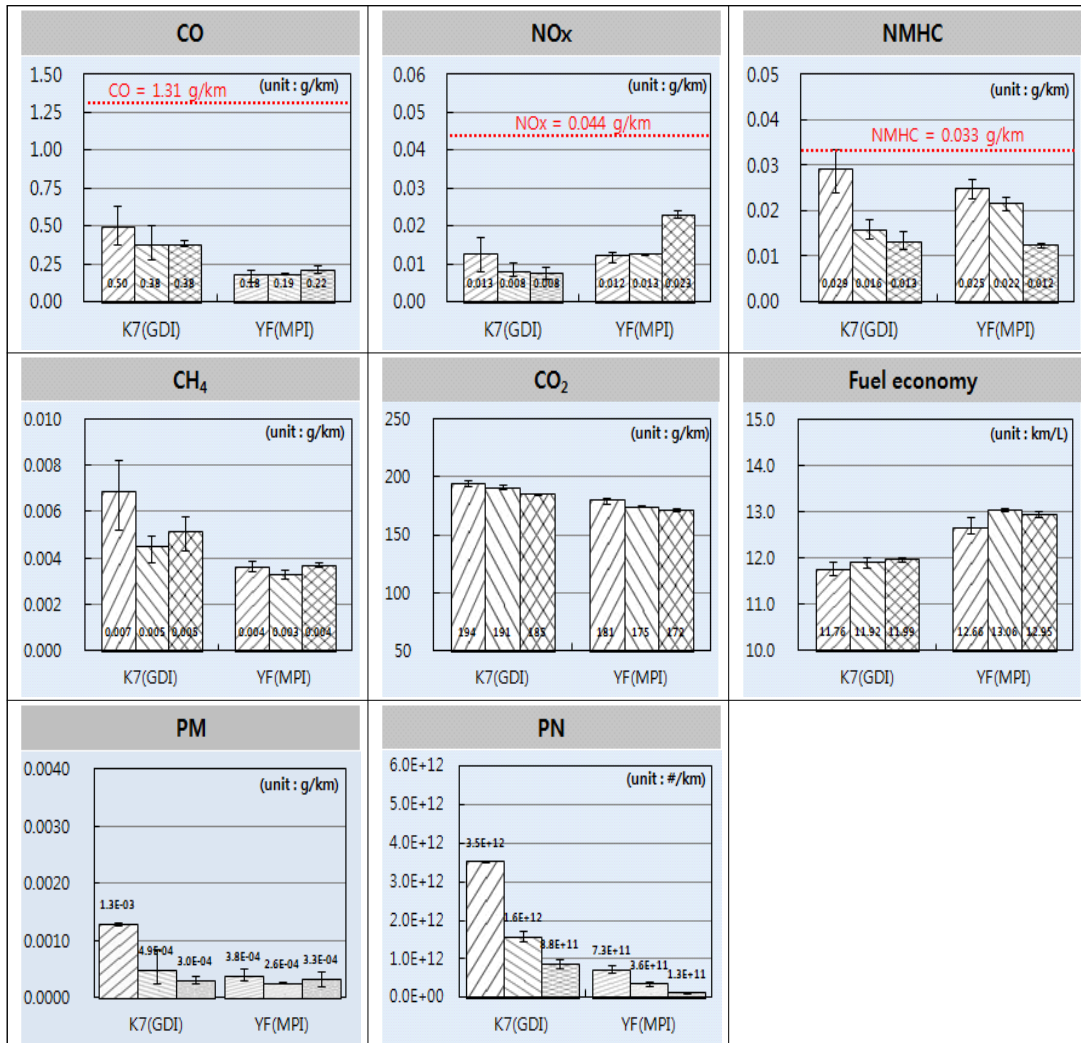


Fig. 4. Results of vehicle test at FTP-75 Mode for using the K7(GDI) and YF(MPI).

2) 국내 표준연료 B와 C를 이용한 시험에서는 CO, CH₄, 연비(약 0.8% 차이), PM, PN에서는 큰 차이를 보이지 않았으나, NO_x 배출량은 차이가 나타났다. 이는 C 연료가 B 연료에 비해 연료의 50% 및 90% 유출온도가 낮아 연료의 증발이 빠르고 더 균일한 혼합기가 형성되어 연소 효율이 높아지며 발열량 또한 상대적으로 높다. 따라서 화염의 연소온도는 상승하고 결과적으로 Thermal NO_x 발생량이 증가할 수 있으며 반대로 NMHC와 CO₂는 감소할 수 있다. 하지만 이러한 연소적 특성도 NO_x 배출량에 영향을 미치지만 가솔린 차량에서는 배기가스 재순

환장치(EGR, Exhaust Gas Recirculation)의 밸브 개도량 차이에 따른 영향이 더 크게 나타나는 것으로 사료된다. 결과적으로 MPI 차량의 NO_x 배출량 차이는 연료의 물성적인 측면과 후처리장치에 의한 영향이 복합적으로 작용했기 때문인 것으로 판단된다.

Fig. 5는 고속모드(HWFET Mode)에서 차량별(GDI, MPI) 표준연료(3종)를 사용했을 때 CO, NO_x, NMHC, CH₄, CO₂, 연비, PM, PN 시험결과를 보여준다.

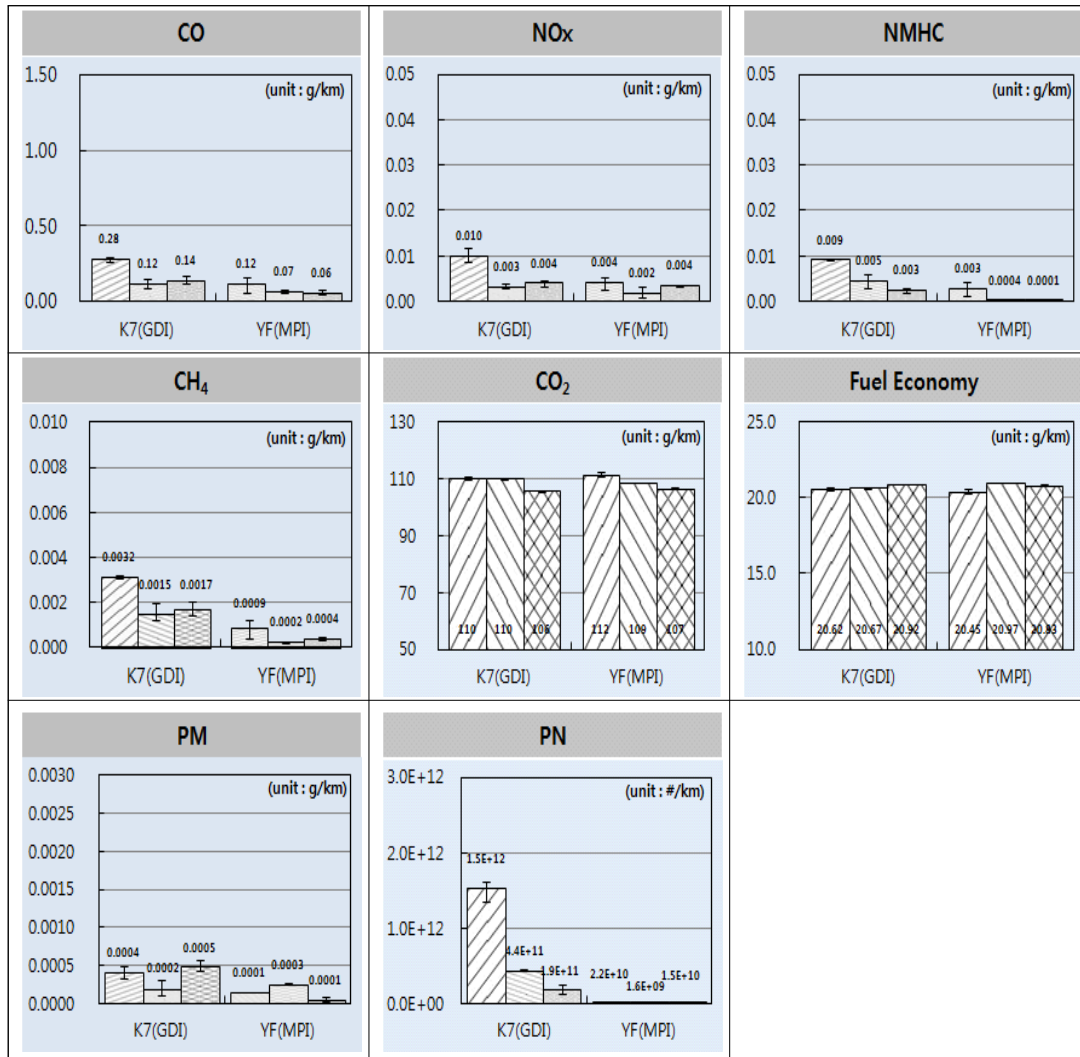


Fig. 5. Results of vehicle test at HWFET Mode for using the K7(GDI) and YF(MPI).

GDI(K7) 차량의 HWFET mode 시험결과

1) 해외 표준연료(A)는 국내 표준연료(B, C)와 PN를 제외한 CO, NOx, NMHC, CH₄, CO₂, PM에서 큰 차이가 나지 않았다.

2) 국내 표준연료 B와 C를 이용한 시험에서는 CO, NOx, NMHC, CH₄, CO₂, PM, PN는 의미 있는 차이를 보이지 않았으며, 특히 연비의 경우 연료 간 약 1.1%의 미세한 차이로 연료 간 차이는 없는 것으로 나타났다.

MPI(YF 소나타) 차량의 HWFET mode 시험결과

1) 해외 표준연료(A)는 국내 표준연료(B, C)와 CO, NOx, NMHC, CH₄, CO₂, PM, PN에서 의미 있는 차이를 보이지 않았으나, 연비의 경우 최대 2.4%의 차이가 나타났다.

2) 국내 표준연료 B와 C를 이용한 시험에서는 CO, NOx, NMHC, CH₄, CO₂, PM, PN 모두 의미 있는 차이를 보이지 않았다. 특히 연비의 경우 표준연료 간 약 0.6%의 미세한 차이로 연료에 따른 차이가 거의 없는 것으로 나타났다.

6. 결론

본 연구에서는 국내 표준연료(휘발유) 도입 필요성을 검토하고, 상세 표준연료 기준(안)을 설정하고 이를 평가하였다.

- 1) 국내 휘발유의 품질 모니터링 결과를 바탕으로 휘발유 표준연료 기준(안)을 설정하였으며, 이를 평가하기 위해 국내 표준연료 2종을 제조하고, 차량 2대(GDI, MPI)에 적용하여 연비 및 배출가스를 평가한 결과
- 2) 표준연료(2종) 간 배출가스는 유의미한 차이를 보이지 않았으며 연비는 0.6~1.1%로 미미한 차이를 나타냈다. 4개의 유통연료 간 연비가 최대 3.8% 차이가 발생한 결과를 비교하여 볼 때 표준연료를 사용함으로써 연료 간 연비오차가 감소함을 알 수 있다. 이러한 결과를 통해 국내에 표준연료 도입이 필요하며, 휘발유 표준연료 기준(안)이 적절히 설정됨을 확인할 수 있었다.

본 연구는 환경부와 오토오일위원회의 '5차년도 한국형 오토오일 사업'으로 수행됐으며, 국내 유통되는 자동차용 휘발유의 품질모니터링 결과를 바탕으로 휘발유 표준연료 기준을 설정·검증함으로써 표준연료 제도 도입을 위한 기초 자료로 활용가능하며, 이러한 기준은 향후 유통유의 트렌드 변화, 표준연료 생산 기관 및 사용자의 의견 등을 반영하여 보완하는 절차가 필요할 것이다.

References

1. Ministry of Land, Infrastructure and Transport, MOLIT STATISTICS SYSTEM, <http://stat.molit.go.kr>
2. Ministry of Trade, Industry and Energy, Energy consumption efficiency, Greenhouse gas emissions and Fuel efficiency Test Method (2015)
3. Ministry of Trade, Industry and Energy, Petroleum and Petroleum Substitute Fuel Business Act(2015)
4. Ministry of Environment, Clean Air Conservation Act (2016)
5. Federal Regulation Title 40:Protection of Environment - Chapter I - Subchapter U - Part 1065- Subpart H - § 1065.710
6. California Environmental Protection Agency (Air Resource Board), 'California 2015 And Subsequent Model Criteria Pollutant Exhaust Emission Standards And Test Procedures And 2017 And Subsequent Model Greenhouse Gas Exhaust Emission Standards And Test Procedures For Passenger Cars, Lighty-Duty Trucks, And Medium-Duty Vehicles' - Part II, A, 100.3 Certification Fuel Specifications (2012)
7. Commission Regulation(EC) No 692/2008 (2008R0692 - EN - 04.02.2015 - 008.001), 119~120
8. STRATAS ADVISORS, Fuel Specification By Country, www.stratasadvisors.com
9. American Society for Testing and Materials, Standard Test Method for Research Octane Number of Spark-Ignition Engine Fuel (ASTM D2699)
10. American Society for Testing and Materials, Standard Test Method for Distillation of Petroleum Products at Atmospheric Pressure (ASTM D86)
11. American Society for Testing and Materials, Standard Test Method for Determination of Total Sulfur in Light Hydrocarbons, Spark Ignition Engine Fuel, Diesel Engine Fuel, and Engine Oil by Ultraviolet Fluorescence(ASTM D5453)
12. American Society for Testing and Materials, Standard Test Method for Vapor Pressure of Petroleum Products(Mini Method)(ASTM D5191)
13. American Society for Testing and Materials, Standard Test Method for Hydrocarbon Types, Oxygenated Compounds and Benzene in Spark Ignition Engine Fuels by Gas Chromatography(ASTM D6839)
14. American Society for Testing and Materials, Standard Test Method for Determination of Individual Components in Spark Ignition Engine Fuels by 100-Metre Capillary (with Precolumn) High-Resolution Gas Chromatography(ASTM D6730)

15. Uisun Lim, "The study on the environmental assessment of vehicle for olefin content and vapor pressure variation in automotive gasoline", Korea Petroleum quality & Distribution Authority (2012)
16. Maryam Hajbabaei, et al., "Impact of olefin content on criteria and toxic emissions from modern gasoline vehicles" *Fuel*, 107, pp.671-679 (2013)
17. Taeyoon Lim, "Characteristics of Particle Number and Exhaust emission by Alteration of MTBE Contents in Gasoline", *Journal of Energy Engineering* Vol. 24, No. 4, pp.11-16 (2015)