



# 휘발유 물성변화에 따른 배출가스 및 촉매에 미치는 영향성 연구 Effect of Gasoline Property Change on Exhaust Gas and Catalyst

노경하\*† · 김성우\* · 이민호\* · 김기호\* · 이정민\*

Kyeong-Ha Noh\*† , Sung-Woo Kim\* , Min-Ho Lee\* , Ki-Ho Kim\* and  
 Jung-Min Lee\*

(Received 31 August 2018, Revision received 07 November 2018, Accepted 26 November 2018)

**Abstract:** Gasoline that meets the quality standards is distributed in Korea. However, consumers who use toluene or solvent mixed with gasoline have appeared due to rising crude oil prices and for the purpose of tax evasion. Gasoline quality standard is enacted by the domestic and international research reference. A wrong fuel can influence automobile performance or environmental issue. Thus, empirical data from this issue is necessary. Therefore, this research observed catalyst influence by gasoline property change and inspect influence of environment. In this study, fuel property evaluation, lean-burn evaluation, and real vehicle exhaust emission test were performed. In the result of fuel property, the fuel “A” was measured to be up to 27% less octane than the normal gasoline and the distillation property was measured 24% higher than normal gasoline. In the test result of single cylinder engine lean-burn test, the fuels “A” and “B” show torque value 20% less than the normal gasoline. As a result of vehicle test using the catalyst, the fuel “A” was increased more than the normal gasoline with 83% THC, 1,806% CO and 128% NOx, and the fuel “B” was increased more than normal gasoline with 1.6% THC, 391% CO and 142% NOx.

**Key Words :** Single cylinder , Lambda, CVS-75, Emission, Gasoline

\*† 노경하(ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7442-7689>) :  
 선임연구원, 한국석유관리원 석유기술연구소  
 E-mail : nokyha@kpetro.or.kr, Tel : 043-240-7957  
 \*김성우 : 선임연구원, 한국석유관리원 석유기술연구소  
 \*이민호 : 책임연구원, 한국석유관리원 석유기술연구소  
 \*김기호 : 팀장, 한국석유관리원 석유기술연구소  
 \*이정민 : 연구소장, 한국석유관리원 석유기술연구소

\*† Kyeong-Ha Noh(ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7442-7689>) : Senior Researcher, Korea Petroleum Quality& Distribution Authority Research Institute of Petroleum Technology Senior Researcher.  
 E-mail : nokyha@kpetro.or.kr, Tel : 043-240-7957  
 \*Sung-Woo Kim : Technology Senior Researcher, Korea Petroleum Quality&Distribution Authority Research Institute of Petroleum.  
 \*Min-Ho Lee : Technology Principal Researcher, Korea Petroleum Quality&Distribution Authority Research Institute of Petroleum.  
 \*Ki-Ho Kim : Technology Team Manager, Korea Petroleum Quality&Distribution Authority Research Institute of Petroleum  
 \*Jung-Min Lee : Technology Chief Technology Officer, Korea Petroleum Quality&Distribution Authority Research Institute of Petroleum.

## 1. 서 론

국내 유통되는 휘발유는 「석유 및 석유대체사업법」(이하 석대법)에 의해 품질기준을 정하여 국내에 유통하고 있다. 그러나 1, 2차 석유파동을 거치면서 규정된 연료가 아닌 용제나 톨루엔 등 휘발유에 다른 석유제품을 섞어 사용하는 소비자가 증가하면서 탈세에 대한 문제가 발생하였고, 환경적 문제 등 그 피해가 늘어남에 따라 가짜 휘발유에 대한 단속을 강화하였다. 따라서 국내에서는 자동차의 정상적인 성능을 발휘하기 위하여 국내·외 다양한 연구 자료를 활용하여 일정한 품질기준을 정하고 최적의 성능을 발휘할 수 있는 연료를 유통 중에 있으나<sup>1)</sup> 품질기준에 맞지 않은 연료를 사용하는 소비자가 발생함에 따라 본 연구에서는 정상휘발유에 다른 석유제품을 혼합하여 석대법 상의 품질기준을 벗어나는 연료를 제조하고, 그에 따른 연료 물성변화와 성능변화를 살펴보고자 하였다. 본 연구는 엔진동력계를 이용하여 물성변화에 따른 성능 및 배출가스 특성을 살펴보고, 실제 촉매가 장착된 차량을 차대동력계에서 실험함으로써 촉매 장착 전·후의 배출가스를 비교·분석하여 연료물성 변화에 따른 배출가스 및 촉매에 미치는 영향을 연구하고자 하였다.

## 2. 시험장치 및 방법

시험에 사용된 연료는 연료의 물성을 변화시키기 위하여 시중에 유통되고 있는 솔벤트와 톨루엔을 일정비율로 혼합하여 사용하였다. 또한 연료 물성 변화에 따른 엔진 성능과 배출가스의 영향성을 살펴보기 위하여 단기통 엔진동력계를 사용하였으며, 실제 차량에서의 특성을 살펴보기 위하여 차대동력계를 사용하여 평가하였다.

### 2.1 시험용 연료

시험에 사용된 연료는 물성 변화를 위해 Table 1 과 같은 혼합비율로 제조하였다. 또한 시험 연료는 석대법 상의 시험법을 이용하여 물성평가를 수행하였으며, 정상휘발유를 Gasoline, 휘발유와

Table 1 Mixture ratio of test fuel

Test fuel	Mixture ratio		
	Gasoline	Solvent	Toluene
Gasoline	100%	-	-
A	10%	90%	-
B	-	50%	50%

용제를 혼합한 시료를 A, 용제와 톨루엔을 혼합한 연료를 B로 표기하여 사용하였다.

### 2.2 단기통 엔진 및 동력계 시스템

#### 2.2.1 엔진동력계

Fig. 1은 본 연구에 사용된 엔진동력계는 AVL 사의 단기통 엔진동력계 시스템의 개략도이다. 단기통 엔진동력계는 최대 8,000 rpm과 190 Nm의 토크가 측정 가능하며, 냉각수 및 오일 온도가 제어되는 시스템을 구성하였으며, 동력계 제원은 Table 2와 같다.

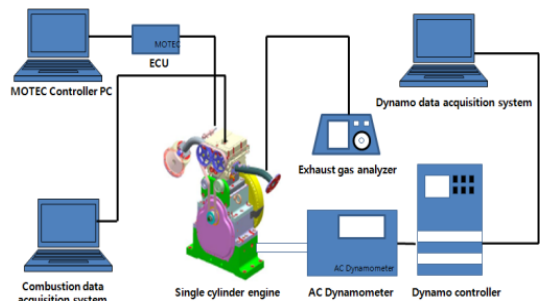


Fig. 1 Schematic diagram of engine dynamometer

Table 2 Specifications of engine AC dynamometer

Max torque	190 Nm
Max speed	8,000 rpm
Torque response 0 to 100%	10 ms
Accuracy	±0.2% of 190 Nm
Filling quantity	6L
Coolant temperature flow	20~25℃
Temperature increase	5℃
Total flow rate	10 L/min

### 2.2.2 단기통 엔진

시험에 사용된 엔진은 MPI형식의 499 cc 단기통 엔진을 사용하였으며 제원은 Table 3과 같다. 엔진제어는 MOTEC사의 ECU를 이용하여 점화시기, 분사량 등 연구에 필요한 엔진제어를 수행하였으며, 공연비 제어를 위해 광대역 공연비 센서(ETAS Lambda meter LA4)를 사용하였다.

Table 3 Specifications of engine

Displacement(cm <sup>3</sup> )		499
Bore × Stroke(mm)		86×86
Compression ratio		10.6 : 1
Intake		NA
Valve angle	Intake	26° CA
	Exhaust	21° CA
Valve train type		DOHC

### 2.2.3 단기통 엔진동력계 배출가스 분석기

본 연구에서 사용된 배출가스 분석기는 배기관에 Probe를 설치하여 Raw gas를 채취하여 분석하였으며, 질소산화물(NOx), 일산화탄소(CO), 미연탄화수소(HC), 이산화탄소(CO<sub>2</sub>) 등의 배출량을 측정하였다. 분석기의 정밀도 및 분석원리에 대한 상세제원은 Table 4와 같다.

Table 4 Specification of the emission analyzer

Model	MEXA-554JK	
Range	CO	0.00~10.00 %vol
	HC	0.00~10.000 ppm
	CO <sub>2</sub>	0.00~20.00 %vol
	O <sub>2</sub>	0.00~25.00 %vol
	AFR	10.0~30.0
	Lambda	0.5~2.5
Accuracy	CO	±0.06 %vol
	HC	±12 ppmvol
	CO <sub>2</sub>	±0.5 %vol
	O <sub>2</sub>	0.4 %vol
Principle of measurement	CO/HC/CO <sub>2</sub>	Non-dispersive infrared rays
	O <sub>2</sub>	Chemical type
Response	90% Response within 10sec	

### 2.3 엔진 시험방법

공연비에 대한 배출가스 변화를 살펴보기 위하여 단기통 엔진에서는 물성변화에 따른 엔진의 희박연소 특성 시험을 실시하였다.<sup>1,2)</sup> MBT(Max brake torque, BTDC 30°) 조건에서 희박연소 시험을 수행하였으며, 시험조건은 1400 rpm, 2/4 Road에서 실시하였다. 엔진제어시스템(MOTEC)을 통해 연료량을 조절하여 엔진이 안정된 상태에서  $\lambda$ 를 0.8~1.5까지 변화시켜 배출가스 변화를 살펴보았다.

### 2.4 시험차량 및 차대동력계 시스템

시험에 사용된 차량은 자연흡기식 다점분사식 엔진을 사용하는 2,000 cc 차량을 선정하여 사용하였다. 또한 Fig. 2는 시험에 사용된 차대동력계 시스템의 개략도를 나타낸 것으로, 시험의 대표성 및 객관성을 확보하기 위해 공인된 시험법인 에너지소비효율측정방법 및 대기환경보전법의 배출가스 시험방법을 구현할 수 있는 차대동력계 시스템을 이용하였다. 또한 차대동력계 시스템의 경우 매년 정도검사를 실시하여 시험의 정확성을 유지하였고, 자동차를 실도로 조건과 동일한 부하로 제어하기 위하여 차대동력계와 자동차의 배기구를 통해 배출되는 배출가스를 분석하는 배출가스 분석기, 배출가스를 일정하게 채취하기 위한 시료채취장치, 배기가스와 Ambient 가스를 적절하게 희석하는 희석터널, PM의 무게를 측정하기 위

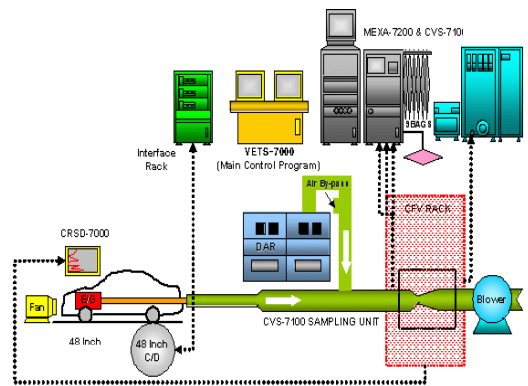


Fig. 2 Schematic diagram of chassis dynamometer

한 PM 측정 장비, 배기가스 열교환기, 보조 운전 장치(Driver aid) 등으로 구성하였다. 차대동력계 시스템은 국내 총중량 3.5톤 미만의 소형, 승용 및 화물자동차에 대해 인증하는 장비로 차대동력계는 배출가스 및 연료소비율을 측정할 수 있도록 형식 승인된 시험 장비이다.

### 2.5 차량 시험모드 및 촉매 효율 평가

Fig. 3은 현행 휘발유자동차의 배출가스 시험 모드인 CVS-75 모드이다. CVS-75는 시험실에서 배출가스를 측정하기 위하여 도로여건과 운전상황을 고려해 개발한 주행모드로 약 41분이 소요되며, 국내 휘발유 차량의 배출가스 시험모드로 사용되고 있다. CVS-75 주행모드는 총 3개의 Phase로 구성되어 있으며, Phase 1은 저온시동상태에서의 주행을 모의한 것으로 저온시동시험 초기 단계(Cold cycle)라 통칭되며 505초 동안 5.78km를 주행한다. Phase 2는 냉간 시동 후 엔진의 운전조건이 안정된 상태에서의 주행을 모의한 것으로 저온시동시험 안정단계(Stabilized cycle)라 불리며 865초 동안 6.29km를 주행한다. Phase 3은 Phase 2 주행 후 9~11분간 엔진을 정지시켰다가 다시 주행하는 구간으로 고온시동시험 초기 단계(Hot cycle)라 불리며, 앞에서 설명한 Phase 1 구간과 동일한 모드이다.

이상 3 Phase의 총주행시간은 10분간의 휴지시간을 포함하여 41.3분으로서 총 주행거리는 17.84km이다. 1~3 Phase로 구성된 시험이 끝나면 최종

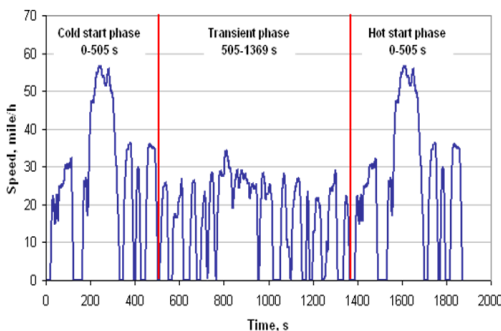


Fig. 3 Test mode(CVS-75)

배출가스가 측정되고 계산되며, 이때, 배출가스는 촉매를 거쳐 배출됨에 따라 물성변화에 따른 배출가스 저감 효율을 평가한다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 연료 물성 및 운전성지수 분석

Table 5는 휘발유와 시험에 사용된 A, B 연료의 물성을 분석한 결과이다. A 연료의 경우 옥탄가가 66으로 정상 휘발유 대비 27% 낮게 나타났으며, B 연료의 경우에는 옥탄가가 97로 정상 휘발유보다 높은 옥탄가를 보여주고 있으나, 차량의 시동성에 영향을 미치는 증류성상 10% 유출온도가 정상 휘발유에 대비 46% 높게 나타났으며, 주행성능에 영향을 미치는 50% 유출온도 또한 24% 높게 나타났다.

각 연료에 대한 증류성상이 차이를 보임에 따라 증류성상에 따른 영향성을 살펴보기 위하여 증류성상과 산소함량 결과를 이용해 ASTM D 4814 및 WWFC (World wide fuel charter)에서 제시한 계산식을 이용하여 운전성 지수(Drive ability index)를 산출하고 그 결과를 Fig. 4에 나타내었다.

운전성 지수의 경우 수치가 높을수록 시동성과 워밍업에 좋지 않은 것을 나타내는데, A연의 경우, 정상 휘발유 대비 5% 낮은 결과를 보여 시동성 및 주행성에서 비슷한 결과를 보일 것으로 판

Table 5 Properties of test fuel

Item	Gasoline	A	B	
Octane	91	66	97	
Distillation(°C)	10%	44	82	
	50%	78	103	
	90%	129	109	
VP(37.8°C,kPa)	81.2	62.9	32.8	
Density(g/cm <sup>3</sup> )	0.70	0.68	0.79	
Elemental analysis	Carbon	82.9	84.1	88.6
	Hydrogen	15.0	15.6	11.3
	Oxygen	2.03	0.20	0.00
THV (MJ/kg)	44.5	47.6	44.6	

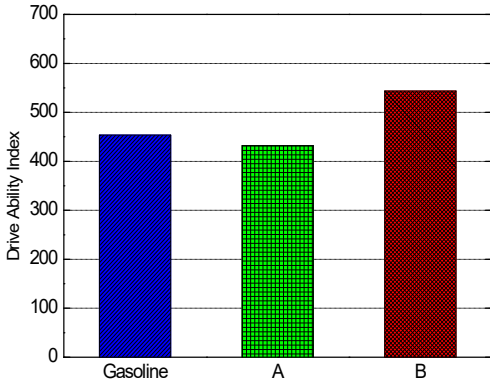


Fig. 4 Drive ability index

단되며, B연료의 경우에는 정상 휘발유보다 19% 높은 운전성지수를 나타냄에 따라 주행 시 불리할 것으로 사료된다.

### 3.2 단기통 엔진에서의 성능평가

Fig. 5는 휘발유와 A, B 연료의 공기과잉률을 0.8에서 1.5까지 변화시켜 가며 측정한 토크를 나타낸 것이다. 공기과잉률을 변화시켜 가며 살펴본 결과, 이론공연비까지는 일정한 토크를 보였으나, 1.1부터 1.5까지는 토크가 점차 낮아지는 것을 확인할 수 있었다. 이때 휘발유가 가장 높은 토크를 보였으며, A, B 연료의 경우 휘발유에 비해 약 20% 정도 낮은 토크를 나타내었다. 이는 A 연료의 낮은 옥탄가가 연소 시 자발화되면서 출력 저

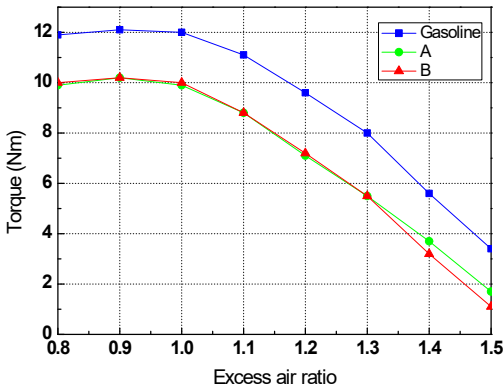
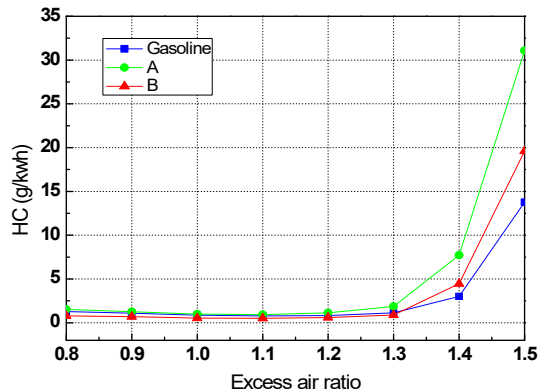


Fig. 5 Torque curve

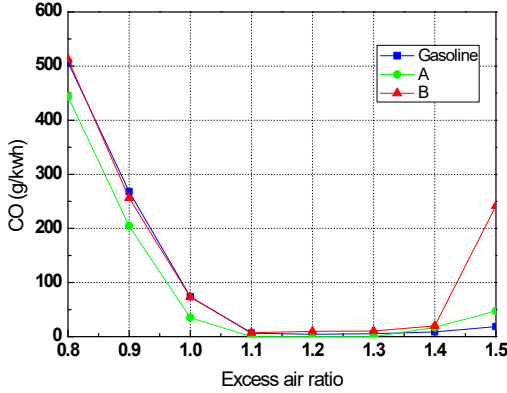
저하로 나타난 것으로 보이며, B 연료의 경우에는 휘발성과 연관이 있는 증기압이 낮고 증류성상의 온도가 높음에 따라 연소를 위한 휘발유의 증발이 원활히 이루어지지 않아 연소에 불리한 조건이 발생한 것으로 사료된다.<sup>3)</sup>

### 3.3 단기통 엔진의 배출가스

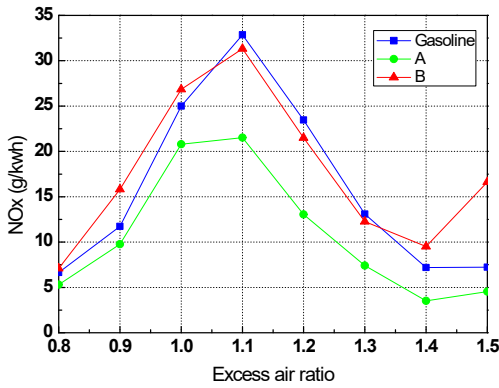
Fig. 6은 희박연소에 따른 배출가스 변화를 나타낸 것이다. 시험에 사용된 연료 모두 각각의 배출가스에서 동일한 증감 경향을 나타냈으며, HC의 경우 희박연소로 갈수록 점점 증가하는 경향을 보였다. 이는 희박연소로 인한 연소 환경 악화로 미 연소된 연료가 대량 배출된 것으로 사료되며, CO의 경우에는 농후한 연소에서 가장 높게 나타났고, 이론공연비로 가면서 점차 줄어드는 것을 확인할 수 있었다. 또한 희박 연소로 갈수록 점차 늘어나는 것을 볼 수 있는데, 농후한 연소에서는 부족한 공기로 인하여 연소가 원활이 이루어지지 않은 것으로 보이며, 희박으로 갈수록 점차 연소 환경이 악화됨에 따라 증가한 것으로 판단된다. 질소산화물의 경우에는 공기과잉률 1.1에서 가장 높게 나타나고 있는데, 이론공연비에 가까워질수록 점차 늘어났다가 희박연소로 갈수록 점차 낮아지는 것을 볼 수 있다. 이는 이론공연비에 가까워짐에 따라 연소에 적합한 환경이 만들어져 HC와 CO는 줄어들고 연소온도는 높아져 Thermal NOx에 기인한 것으로 보인다.



(a) HC Emission



(b) CO Emission

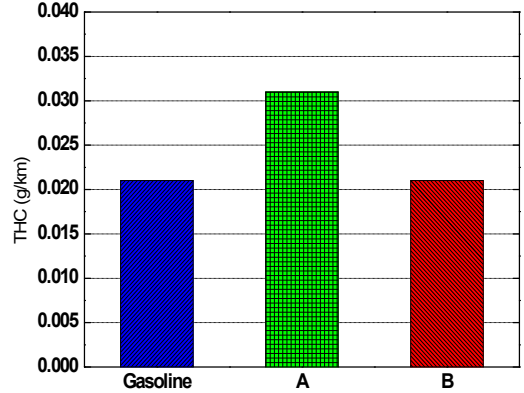


(c) NOx Emission

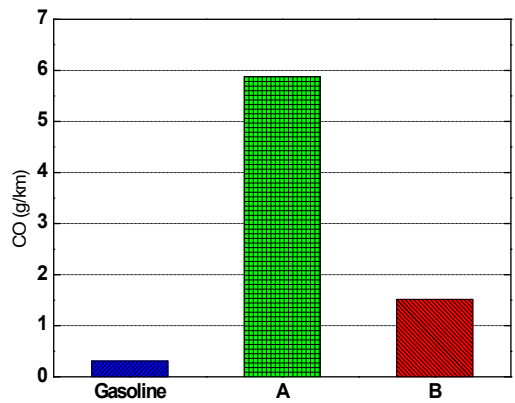
Fig. 6 Emission result of engine dynamometer

### 3.4 실제 차량의 배출가스 특성

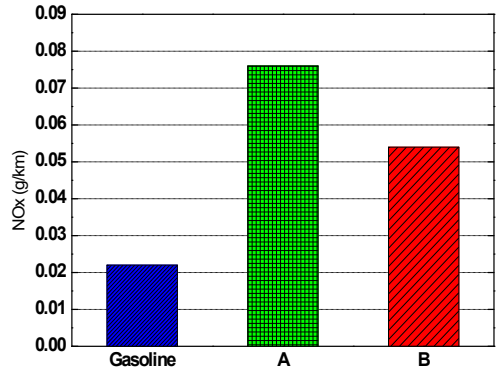
Fig. 7은 실제 차량에서의 배출가스 결과를 나타낸 것이다. THC의 경우 휘발유 대비 A 연료는 83%, B 연료는 1.6% 높게 나타났으며, CO의 경우 A 연료가 1,806%, B 연료는 391% 높게 나타났다. NOx 또한 A 연료는 239%, B 연료는 142% 높은 결과를 나타내었다. A, B 연료는 HC, CO, NOx 모두 정상휘발유보다 매우 높은 결과를 나타내었다. 이는 단기통 엔진에서 각 연료가 최적의 공연비로 제어할 경우 비슷한 증감 경향을 나타낸 것과 다른 결과를 나타낸 것인데, 이는 단기통의 고정된 회전수가 아닌 실제 주행 시 가혹한 연소조건에서 품질기준을 벗어나는 연료 물성이 이상연소를 유발하여 다량의 배출가스를 배출한 것으로 사료된다. 또한 국내에서 판매되는 휘발유 차량의 경우 품질기준에 맞춰 엔진이 맵핑되는데, 이를



(a) THC Emission



(b) CO Emission



(c) NOx Emission

Fig. 7 Emission result of chassis dynamometer

통해 공연비제어뿐 아니라 최적의 점화시기를 결정하게 된다. 그러나 A, B 연료가 가지는 물성 자체가 품질기준을 많이 벗어남에 따라 노킹과 미연소 등에 의해 최적의 연소조건을 형성하지 못하고

다량의 배출가스를 배출한 것으로 사료된다.<sup>4,6)</sup>

실제 차량에서 삼원촉매를 통과한 배출가스 결과를 통해서도 이상연소를 판단할 수 있는데, 촉매를 통과한 HC, CO, NOx는 공연비에 따라 삼원촉매에서 서로 다른 정화 효율을 나타내게 된다. 농후한 연소일수록 HC와 CO가 증가하며, 희박할수록 NOx가 낮아지게 되는데, 본 연구에서는 정상 휘발유에 비해 HC, CO, NOx가 모두 높게 나타남에 따라 공연비 제어가 이루어지지 않은 것은 물론 이상연소까지 발생한 것을 알 수 있다. 따라서 연료 품질기준을 벗어나는 연료의 경우 실제 차량에서 사용할 시 이론공연비 제어가 되지않아 삼원촉매의 정화효율을 떨어뜨리고, 이상연소로 인해 다량의 유해 배출가스를 배출함으로써 촉매의 허용범위를 벗어나 유해 배출가스가 모두 높게 나타난 것으로 사료된다.<sup>7)</sup>

#### 4. 결 론

본 연구에서는 정상휘발유와 석유 및 석유대체 사업법 품질기준에 적합하지 않은 연료 A, B에 대해 단기통엔진 및 실제 차량에서 배출가스 시험을 실시하고 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 각 연료의 특성을 알아보기 위하여 물성을 분석을 실시하였고, A 시료의 경우 옥탄가가 정상 휘발유 대비 약 27% 낮게 나타났으며, B시료의 경우 증류성상 10% 온도가 46% 높게 나타났으며, 50% 유출온도 또한 24% 높게 나타났다.

2) 운전성지수를 계산한 결과, B연료, 정상 휘발유, A연료 순으로 높게 나타났다.

3) 연소 성능을 평가하기 위하여 희박연소를 평가하였으며, 단기통 엔진에서 공기과잉률을 0.8에서 1.5까지 변화시켜 가며 살펴본 결과, A와 B의 경우 모든 영역에서 약 20% 정도 낮은 토크를 나타냈다.

4) 희박연소 평가에서 공기과잉률을 변화시켜 가며 배출가스를 살펴본 결과, 세 시료 모두 이론 공연비에 가까워질수록 HC, CO는 줄어드는 경향을 보였으며, NOx는 늘어나는 경향을 보였다.

5) 배출가스에 대한 평가를 위하여 실제차량에서 삼원촉매를 통과한 배출가스를 살펴본 결과, 정상휘발유 대비 THC는 A가 83%, B가 1.6% 높게 나타났으며, CO의 경우 A가 1,806%, B가 391%, NOx는 A가 239%, B가 142% 높게 나타났다.

#### References

1. A. Chevalier et al., 2000, "Predicting the port air mass flow of SI engines in air/fuel ratio control applications", SAE Technical paper 2000-01-0260. (DOI:10.4271/2000.01.0260)
2. F. Kramer et al., 2000, "Effect of compression ratio on the combustion of a pressure charged gasoline direct injection engine", SAE Technical paper 2000-01-0250. (DOI:10.4271/2000-01-0250)
3. J. Zughyer et al., 2000, "A visualization study of liquid fuel distribution and combustion inside a port-injected gasoline engine under different start conditions", SAE Technical paper 2000-01-0242. (DOI:10.4271/2000-01-0242)
4. S. H. Lee, 2018, "A study on the influence of tire rolling resistance coefficient on vehicle fuel consumption and CO<sub>2</sub> emissions", transaction of KSAE, Vol. 26, No. 3, pp. 402-406 (DOI:10.7467/ksae.2018-26-3.402)
5. S. S. Kim, 2016, "The effects of fuel injection skips on the reduction of harmful exhaust gases during an SI engine starting", Journal of KSPSE, Vol. 10, No. 1, pp. 5-11.
6. J. H. Lim et al., 2015, "A study on the exhaust gas characteristics of the vehicle gasoline according to the ambient temperature", Journal of KSPSE, Vol. 19, No. 6, pp. 47-53. (DOI:10.9726/kspsse.2015.19.6.047)
7. K. W. Youm, 2014, "A study on distillation property of automotive gasoline and diesel fuel", Journal of KSPSE, Vol. 18, No. 5, pp. 11-151. (DOI:10.9726/kspsse.2014.18.5.011)