



휘발유 물성조성에 따른 자동차 배출가스 영향 연구

A Study on the Effect of Vehicle Emission on Gasoline Property

임재혁*† · 이진홍** · 김기호* · 이민호*

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

(Received 17 August 2018, Revision received 05 November 2018, Accepted 26 November 2018)

Abstract: In Korea, the Air Quality Conservation Act and the Petroleum and Petroleum Substitute Fuel Business Act stipulate certain quality standards for fuels distributed in Korea, thereby striving to reduce vehicle performance and emissions. Domestic petroleum products import and produce all the crude oil from each oil refiner so that the quality of the petroleum product is different according to the characteristics of the crude oil. As a result, vehicles have been improved by using the physical properties calculated through the physical property measurement that has tried to improve the accuracy of the measurement of the energy consumption efficiency of the automobile by using standard fuel from abroad. In this study, the same test procedure and method as the test method of domestic gasoline vehicle emission are applied using four samples of gasoline and the latest gasoline vehicle which are actually distributed, and the performance evaluation is performed. The purpose of this study is to contribute to improvement of vehicle technology and fuel quality by collecting necessary basic data and obtaining data on the effect of differences in gasoline property on vehicle emissions. The results of the test showed that the emission of gases (NMOG, CO) from gasoline vehicles was the most influenced by the sulfur content, unlike the previous studies that the vehicles emission had the greatest influence on the distillation characteristics and the specific gravity of aromatic compounds. The catalytic reaction such as the poisoning action of the three-way catalyst which is the abatement device was interfered and the emission was increased. The distillation characteristics and specific gravity of aromatic compounds were found to affect the emission of vehicles. According to the physical properties of the fuel, the emission difference was 28.0% in the urban mode and 17.6 % in the highway mode.

Key Words : Gasoline, Emission, Aromatic compounds, Sulfur, Three-way catalyst

*† 임재혁(ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3327-1969>) : 선임연구원, 한국석유관리원 석유기술연구소, 대학원생, 충남대학교 환경공학과

E-mail : rentop24@kpetro.or.kr, Tel : 043-240-7956

**이진홍 : 교수, 충남대학교 환경공학과

*김기호 : 팀장, 한국석유관리원 석유기술연구소

*이민호 : 책임연구원, 한국석유관리원 석유기술연구소

*† Jae-Hyuk Lim(ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3327-1969>) : Senior Researcher, R&D center, Korea Petroleum Quality & Distribution Authority, Graduate student, Department of Environmental Engineering, Chungnam National University. E-mail : rentop24@kpetro.or.kr, Tel : 043-240-7956

**Jin Hong Lee : Professor, Department of Environmental Engineering, Chungnam National University.

*Ki-Ho Kim : Team reader, R&D center, Korea Petroleum Quality & Distribution Authority.

*Min-Ho Lee : Principal Researcher, R&D center, Korea Petroleum Quality & Distribution Authority.

1. 서론

자동차에 사용되는 연료는 엔진의 성능이나 배출가스, 설계 등에 중요한 요인으로 작용을 하고 있으며, 산업경제와 자동차 보급 인프라에 매우 중요한 역할을 하고 있다. 국내에서는 「대기환경보전법」을 통해 환경성에 악영향을 미칠 수 있는 요소에 대해 연료제조기준을 두고 제한하고 있으며, 자동차 연료로서의 성능과 품질 확보를 위하여 「석유 및 석유대체연료 사업법」을 마련하고 품질기준을 정하여 시중에 유통하고 있다.

자동차 연료에 대한 품질기준은 전 세계적으로 관심을 가지고 있는데, 이는 자동차의 성능뿐만 아니라 배출가스에 대한 관심 또한 점차 늘어나고 있기 때문이다. 품질기준에 적합하지 못한 연료의 경우 이상연소를 유발하고, 그에 따라 발생하는 다량의 유해 배출가스는 대기오염의 주원인이 될 뿐만 아니라, 에너지 효율 저하와 같은 소비재원의 증가로 작용할 수 있기 때문이다. 따라서 자동차 연료 품질에 대한 제언은 전 세계적으로 끈임 없이 화두가 되고 있으며, 자동차 연료로서 최적의 조건을 만족하기 위한 노력이 지속적으로 이루어지고 있다.

특히, 자동차의 성능은 설계 당시 자동차 연료에 대한 품질을 고려하여 자동차 제작사에서 Mapping 작업을 실행하고, 모든 운전 영역에서 이상연소가 이루어지지 않게 하기 위하여 설계 변수에 대한 모델링과 시뮬레이션, 실측 등 다양한 노력을 하고 있다. 또한 점차 강화되는 배출가스 규제를 만족시키기 위하여 후처리 장치가 사용되고 있는데, 이때 중요하게 작용되는 변수 또한 연료의 품질이 된다. 가솔린 엔진의 경우 촉매의 정화효율을 높이기 위하여 이론공연비에서의 연소 제어가 반드시 필요하게 되는데, 이때 연료에 대한 물성은 이론공연비 제어를 위한 매우 중요한 요소로 작용하고 있다. 또한 경유 차량의 경우에도 후처리 장치로 사용되는 DPF(Diesel Particle Filter)의 경우 황성분이 필터에 정착하여 필터를 막히게 함으로써, 수명을 줄어든게 만들고 성능저하, 필터의 깨짐 등의 영향을 미침에 따라 연료의 품질기준은 차량의 설계 시 매우 중요한 요소로

작용된다.¹⁾

국내에서는 「대기환경보전법」과 「석유 및 석유대체연료 사업법」을 통해 국내에 유통되는 연료에 대해 일정한 품질기준을 정함으로써 차량의 성능과 배출가스 저감을 위해 노력하고 있다. 그러나 국내 유통되는 석유제품은 각 정유사에서 원유를 전량 수입·생산함으로 원유성상에 따라 롯데별로 석유제품 품질이 상이함으로써 연료 품질 기준 내에서 약간의 물성 차이를 보이는데, 이러한 물성차이를 반영하기 위하여 국내 휘발유 차량에 대한 에너지소비효율 측정은 실제 물성측정을 통해 산출된 물성치를 이용하여 정확성을 높이고 있으며, 국외에서도 표준연료를 사용함으로써 자동차 배출가스 및 에너지소비효율 측정의 정확성을 높이고자 노력하고 있다.²⁾

본 연구에서는 실제 유통되고 있는 휘발유 4종의 샘플 및 최신 휘발유 차량을 이용하여 국내 휘발유 자동차 배출가스 시험방법과 동일한 시험절차 및 시험방법을 적용해 성능평가를 실시하여 향후 연료에 대한 품질기준 제·개정에 필요한 기초자료를 수집하고, 휘발유의 물성차이가 자동차 배출가스에 미치는 영향에 대한 자료를 확보함으로써 차량기술 발전과 연료품질 향상에 기여하고자 한다.

2. 시험장치 및 시험방법

2.1 시험장치

본 시험에 사용된 차대동력계는 자동차를 실도로 조건과 동일하게 부하를 제어하는 장비로서,

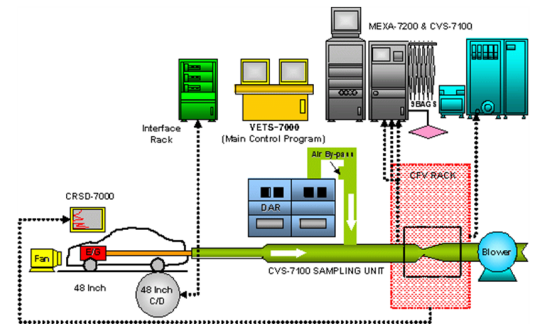


Fig. 1 The schematic diagram of chassis-dynamometer system

Table 1 Specifications of chassis-dynamometer

Roller type and diameter	Single roll 48 inch (MIM type)
Inertia weight	450 ~ 6,800 kg
Power absorbers	AC Motor
Max speed	200 km/h
Speed deviation	± 0.01 % F.S
Torque deviation	± 0.1 % F.S
Driving distance measurement	Encoder
Blower capacity	63000 CFM
Coast down	1 sec under

국내 차량 총중량 3.5 ton 미만의 소형, 승용 및 화물자동차에 대하여 연비 및 배출가스를 측정 할 수 있도록 형식 승인된 장비이다. 동력계의 개략도 및 제원을 Fig. 1과 Table 1에 나타내었다.

차대동력계는 자동차가 실제도로를 주행할 때 정지 → 가속 → 정속 → 감속 등을 반복하는 과정을 대표화한 실측 주행모드를 사용하여 주행할 수 있도록 자동차에 부하를 가해주는 장치이다. 시험에 사용한 차대동력계는 AC동력계(AVL 저온 시험용 차대동력계)로 관성중량(Inertia weight), 동력흡수계(Power absorption unit), 제어기(Controller)로 구성되어 있다.

배출가스 측정장치(HORIBA co. MEXA series)는 자동차의 배출가스 중 CO, THC, NOx, CO₂, CH₄를 분석할 수 있는 장치이다. 분석원리는 CO 및 CO₂는 비분산적외선분석법(Nondispersive Infrared),

Table 2 Specifications of test vehicle

Vehicle name	AVANTE
Engine type	I4
Intake type	N/A
Displacement(cc)	1,591
Fuel injection type	GDI
Wheel drive type	FWD
Max power(KW)	100
Max torque(N·m)	160.7
Curb weight (kg)	1,220

THC는 수소염 이온화법(Heated Flame Ionization Detector), NOx는 화학발광법(Chemiluminescence Detector), CH₄는 GC-FID(Gas chromatography-FID)를 사용한다.

시험에 사용된 휘발유 차량은 높은 판매율 및 점유율을 고려하여 선정하였으며, Table 2에 차량 제원을 나타내었다.

2.2 시험방법

사용연료의 품질 동질성을 얻고자 4종 모두 동일시기에 확보하였으며, 휘발유의 물성분석 및 방법은 「석유 및 석유대체연료사업법」 제 24조 1항에 따른 품질기준으로써 동법 시행규칙 및 품질검사 업무규정, ASTM 방법을 적용할 수 있는 인증된 장비를 사용하였고 항목에 따라 ASTM, ISO, KS 시험법을 준용하여 측정하였으며, 반복성과 재현성은 ASTM 방법에 명시된 범위 안에 들어오도록 실험하였다.

배출가스 측정방법은 「제작자동차 시험검사 및 절차에 관한 규정」을 적용하여 시험차량을 실도로 상황과 동일한 부하조건을 설정하기 위해 차대동력계에서 Coast-Down을 실시하였다. 또 차량의 상태를 동일한 조건으로 유지하기 위해 본 시험 전 매회 동일 운전모드로 예비 주행하는 Preconditioning을 실시하였다. 그리고 시험온도 조건에서 12시간 이상 Soaking시킨 후 본 시험을 수행하였다. 모든 시험은 결과의 경향성과 신뢰성을 위해 동일 드라이버로 진행되었다.

시험 모드는 국내 휘발유 자동차 배출가스 모드인 FTP-75 및 HWFET 모드로서 주행패턴과 주행조건을 Fig. 3, Fig. 4와 Table 3에 나타내었다.

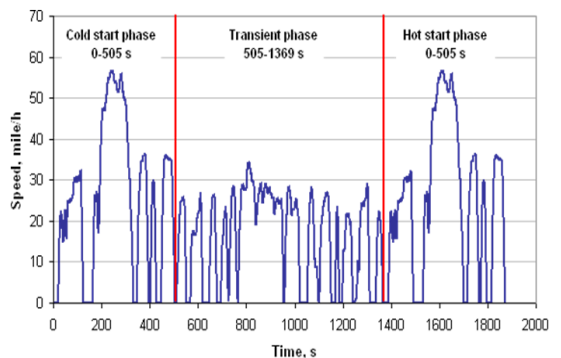


Fig. 3 The driving pattern FTP-75 mode

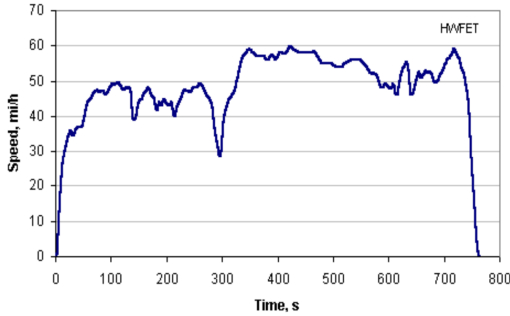


Fig. 4 The driving pattern HWFET mode

Table 3 The Driving Conditions FTP-75 & HWFET mode

Test mode		Distance (km)	Max. speed (km/h)	Average speed (km/h)	Ambient condition (Temp)
FTP-75	City	17.84	93	34.1	25 °C
HWFET	High way	16.50	96	77.7	25 °C

시험순서는 A-B-C-D 샘플 순으로 차량 배출가스시험이 진행되었고 마지막에 A샘플의 차량 배출가스시험을 추가로 진행하여 차량, 동력계 및 배출가스 분석기, 드라이버 등의 연료 외적 영향 인자에 대한 배출가스 결과 값 오차가 이상 없음을 확인하였다.

3. 시험결과 및 고찰

3.1 연료 물성 분석 결과

4종의 휘발유 유통석유제품에 대한 연료 물성 분석 결과를 Table 4에 나타내었다.

휘발유 4종 샘플 모두 관련 규정에 고시된 품질기준을 만족하였다. 주목할 점은 증류성상의 경우 50% 유출온도에서 B샘플과 C샘플 비교 시 최대 15.9%의 차이를 보였는데, 증류성상 50% 유출온도가 높을 경우 기화 연료량이 적어 차량의 출력이 떨어지며, 심한 경우 점화불량, 녹킹현상을 유발하기도 한다. 즉 차량 성능, 배출가스에 영향을 미치는 주요인자로 기존 선행 연구 결과가 있

Table 4 Gasoline physical properties result

Item	Sample	A	B	C	D
	Distillation(°C)	Initial point	22.9	23.9	25.7
10%		40.3	40.4	40.7	40.7
50%		72.3	74.7	62.8	67.8
90%		130.5	130.5	129.8	136.6
End point		182.3	181.3	194.3	193.4
Residue (Volume %)		1.0	1.3	1.0	1.0
Vapor Pressure (37.8 °C, kPa)		87.7	88.5	89.0	84.7
Research Octane Number		91.3	91.3	92.0	91.9
Sulfur Content (mg/kg)		5.59	5.80	6.82	5.66
Density (15°C,kg/m3)		700.6	702.8	704.0	700.9
Component analysis	Paraffins (Volume %)	62.08	60.63	52.29	61.85
	Olefins (Volume %)	12.73	13.74	15.35	12.97
	Naphthenes (Volume %)	5.58	6.58	4.07	4.61
	Aromatics (Volume %)	9.45	9.22	8.59	10.17
	- Benzene	0.41	0.42	0.47	0.41
Oxygen Content (Weight %)		1.90	1.79	1.88	2.01
Total heating value (MJ/kg)		45.2063	46.1410	46.2701	46.3121
Elemental analysis	C (Weight %)	83.20	83.31	83.38	83.16
	H (Weight %)	14.90	14.90	14.74	14.82
Water Content (Weight %)		0.0068	0.0064	0.0083	0.0066
Net heating value (MJ/kg)		41.8380	42.7727	42.9380	42.9619

다.³⁾ 그리고 황 함량 비율은 A샘플과 C샘플 비교 시 최대 18.0%의 차이를 보였고 이는 배출가스저감장치인 삼원촉매에 피독 작용 등의 배출가스에 악영향을 미친다는 해외 보고 자료가 있다.³⁾ 또한 방향족 화합물의 경우에는 C샘플과 D샘플 비교 시 최대 18.4%의 차이를 보였다. 이 역시도 방향족 화합물의 증가는 연소실 퇴적물 형성에 영향을 미치며, 유해 배출가스 형성에 영향을 미칠 수 있는 것으로 보고되고 있다.³⁾

3.2 도심모드에서의 자동차 배출가스 영향

Fig. 5 ~ Fig. 7은 도심모드에서 휘발유 배출가스 규제항목인 CO, NMOG, NOx에 대해 4종 샘플에 대한 자동차 배출가스를 비교하여 나타낸 것이다.

우선 샘플 4종 모두 관련법규에 의한 도심모드에서의 자동차 배출가스 허용기준(CO : 1.06 g/km, NMOG : 0.034 g/km, NOx : 0.044 g/km) 을 모두 만

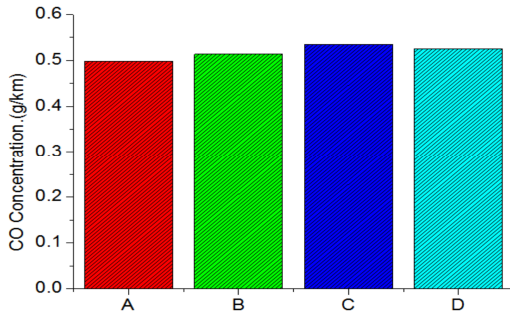


Fig. 5 Comparison of CO emission in City mode

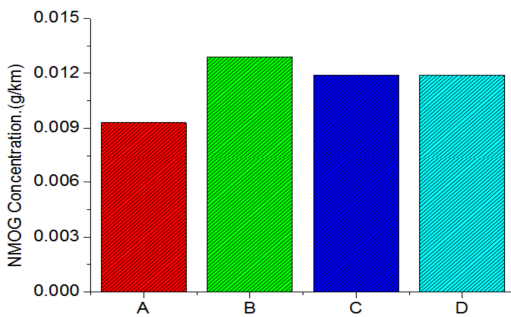


Fig. 6 Comparison of NMOG emission in City mode

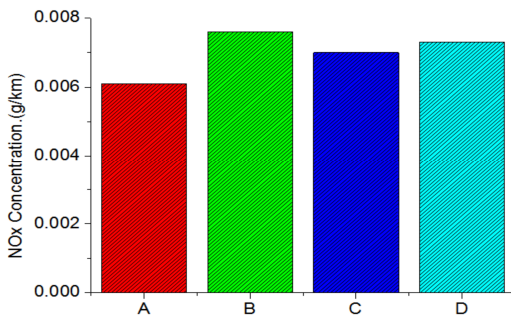


Fig. 7 Comparison of NOx emission in City mode

적었다. CO 배출가스는 C샘플에서 가장 많이 배출되었고 A샘플에서 가장 적게 배출되었다. 물성 조성 결과 중 황 함량이 최대 18.0% 차이가 있음에 비해 그보다 적은 최대 6.9% 배출가스 영향을 보였다. 휘발유 차량의 CO, THC를 저감시키기 위해 장착되는 삼원촉매에 피독 작용 등의 촉매반응을 방해하여 배출가스를 증가시키는 황 성분이 C샘플에 가장 많이 포함되었고 A샘플이 가장 낮

아 이러한 결과를 보였다고 판단하였다.

그리고 휘발유 자동차의 THC 배출량을 대표하는 NMOG는 연료 물성결과 중 증류성상(50% 유출온도)이 가장 높았던 B샘플에서 출력저하로 인한 연료 의존도가 높아 가장 높게, 황 함량이 가장 적은 A샘플에서 가장 낮게 측정되었으며, 최대 28.0%의 차이를 보였다. 이 또한 황 함량이 NMOG 배출량에 큰 영향을 미쳤으며, 증류성상 결과가 가중되어 B샘플에서 가장 많이 배출된 것으로 보였다.

NOx의 경우에도 A샘플에서 가장 적게 배출되었으나 휘발유 차량에서의 NOx 배출량은 근본적으로 적게 배출되어 증감유무를 확인하기에는 무리가 있어 4종 샘플 중 A샘플을 제외한 나머지 샘플에서는 유사한 결과를 보였다고 판단하였다.

전체적인 휘발유 물성에 따른 배출가스 결과는 모두 유통품질기준에 만족하는 샘플들을 시험분석 하여 큰 차이를 볼 수는 없었지만, CO, NMOG, NOx의 별도 항목과 배출가스를 모두 합산한 배출가스 총량 기준 모두 A샘플이 전 항목에서 자동차 배출가스가 가장 낮게 배출되는 결과를 보였다. 그리고 B, C, D샘플 모두 총량 기준으로는 유사한 결과를 보였다. 이는 배출가스에 영향을 주는 증류성상(유출온도), 방향족화합물 비중, 산소함량 비중 등 보다 휘발유 자동차 배출가스 저감장치인 삼원촉매에 악영향을 미치는 황 함량의 비중이 자동차 배출가스에 저감에 가장 큰 영향을 끼친 것으로 판단하였다.

이처럼 연료물성 조성 중 증류성상, 방향족화합물, 황함량 비중처럼 자동차 배출가스에 직접적으로 영향을 미치는 항목에 대해서는 좀 더 강화된 연료품질기준 규제를 적용함으로써 대기환경 개선에 이바지할 필요가 있다고 생각한다.

3.3 고속도로모드에서의 자동차 배출가스 영향

상대적으로 도심모드보다 정차구간이 적고 평균속도가 높은 고속도로모드에서 연료물성조성에 따른 자동차 배출가스 시험결과를 Fig. 8~Fig. 10에 나타내었다.

고속도로모드에서의 CO 배출량은 A샘플이 가

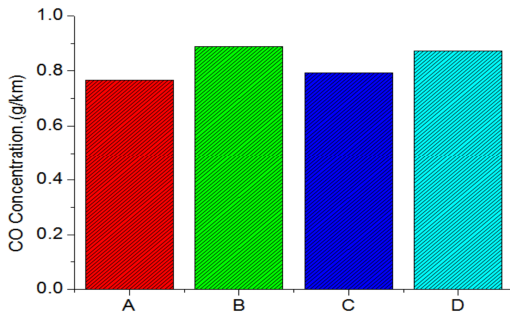


Fig. 8 Comparison of CO emission in Highway mode

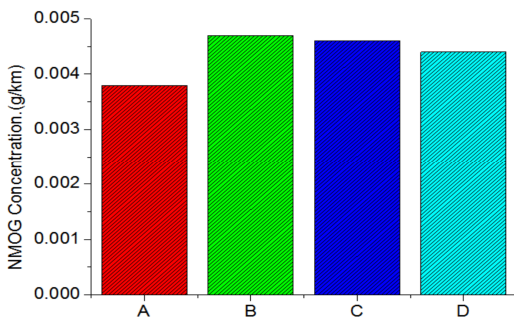


Fig. 9 Comparison of NMOG emission in Highway mode

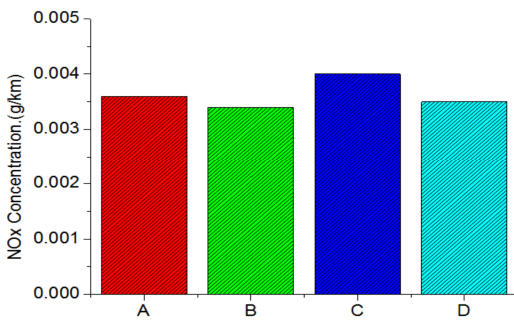


Fig. 10 Comparison of NOx emission in Highway mode

장 적게 배출되었고 B샘플에서 가장 많이 배출되었고 최대 12.1%의 차이를 보였다. 도심모드에서의 NMOG 배출량과 유사하게 상대적으로 높은 황 함량과 높은 증류성상(50% 유출온도)이 크게 작용했다고 판단되었다.

NMOG 또한 CO 배출가스 및 도심모드에서의

NMOG 배출가스와 상당히 유사하게 황 함량이 가장 적은 A샘플에서 가장 적게, 증류성상이 가장 높은 B샘플에서 가장 많이 배출되었으며, 최대 17.6%의 차이를 보였다.

상대적으로 모드 특성상 도심모드보다 높은 평균속도로 인해 많은 출력을 요하는 고속도로모드에서는 차량 출력에 가장 영향을 끼치는 증류성상에 의해 더 많은 연료를 사용함에 따라 CO, NMOG 배출량에 영향을 끼쳤을 것이라고 판단되었다.

NOx는 도심모드결과와는 다른 C샘플에서 가장 많이 배출되었고 B샘플에서 가장 적게 배출되었으나 앞서 언급했다시피 너무 적은 배출량을 보여 증감유무를 확인하기에는 다소 무리가 있다고 판단하였다.

고속도로모드에서는 배출가스 결과는 전체적으로 도심모드에서의 배출가스 결과와 유사하였으나 증류성상에 의한 배출가스 영향이 도심모드에 비해 컸음을 알 수 있었다.

그리고 분자구조 상 이중결합이 많아 미연소의 전구체로서 연소실 퇴적물 형성에 관여하는 방향족화합물에 대해서는 D샘플이 가장 높은 연료물성결과를 보여 도심모드 및 고속도로모드에서 전반적으로 높은 배출량을 보였으나 황 함량 및 증류성상의 물성 영향보다는 다소 낮았음을 알 수 있었다.

본 연구에서는 4종의 휘발유 유통석유제품 및 최신 시험차량의 자동차 배출가스 시험을 통해 황 함량, 증류성상, 방향족화합물 등의 물성조성 변화에 따른 휘발유 자동차의 배출가스 영향을 분석하였다. 해외 선행연구결과와 유사하지만 약간 상이한 결과를 얻을 수 있었다. 점차 강화되는 배출가스 규제에 Low Emission의 최신 시험차량 배출가스 결과로 절대적 판단은 다소 무리라고 생각되지만 황 함량에 따른 배출가스 변화는 기존 증류성상 및 방향족화합물 물성 변화 대비 배출가스에 대한 영향이 상대적으로 적다는 기존 선행연구결과와 달리 본 연구에서는 황 함량에 따른 자동차 배출가스 영향이 가장 컸음을 알 수 있었다.⁶⁾

향후 휘발유 차량 삼원촉매의 전, 후단 배출가스 측정을 통해 연료품질이 휘발유 차량 배출가스 저감장치인 삼원촉매에 어떠한 영향을 미치는지에 대한 심도 있는 추가 연구가 필요할 것으로 사료된다.

4. 결 론

시중에 유통되고 있는 4종의 휘발유를 대상으로 물성분석 및 자동차 배출가스 시험을 통해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 휘발유 4종 샘플 모두 관련 규정에 고시된 품질기준을 만족하였으며, 증류성상은(50% 유출 온도) B샘플과 C샘플 비교 시 최대 15.9%, 황 함량 비율은 A샘플과 C샘플 비교 시 최대 18.0%, 방향족 화합물 비중은 C샘플과 D샘플 비교 시 최대 18.4%의 차이를 보였다. 이 외 다른 항목에 대해서는 유사한 결과를 보였다.

2) 도심모드에서의 배출가스는 CO, NMOG는 시험 샘플의 황 함량 비중에 따라 CO는 최대 6.9%의 배출가스 증감을 나타내었고, NMOG는 황 함량에 증류성상 결과가 가중되어 최대 28.0%의 차이를 보였다.

3) 도심모드에서의 NO_x 경우에도 황 함량이 가장 적은 샘플에서 가장 낮은 배출가스 배출량을 보였으며, 휘발유 차량의 NO_x 배출량이 근본적으로 적어 나머지 샘플에 대해서는 배출가스 증감 유무를 확인하기 어려웠다.

4) 고속도로모드에서의 CO, NMOG 또한 샘플의 황 함량, 증류성상에 따라 CO는 최대 12.1%,

NMOG는 17.6% 차이를 보였다.

5) 고속도로모드에서의 NO_x는 도심모드보다 더 적게 배출되어 증감유무를 확인하기에 다소 무리가 있었다.

References

1. C. Beck, P. Stevenson and P. Ziman, 2006, "The Impact of Gasoline Octane on Fuel Economy in Modern Vehicles", SAE TECHNICAL PAPER SERIES, 2006-01-3407, pp. 231-240.
2. I. H. Hwang et al., 2017, "A feasibility study on introducing reference fuel for testing vehicles in south korea", Journal of Korean Oil Chemists Society, Vol. 34, No. 4, pp. 974-985.
3. "Worldwide Fuel Charter", Fifth Edition, September, 2013.
4. K. H. Noh et al., 2015, "A impact study on combustion characteristics of the engine by changing the gasoline properties", Journal of Energy Engineering, Vol. 24, No. 4, pp. 166-174.
5. J. C. Lee et al., 2017, "Study on effect of fuel property change on vehicle important parts and exhaust gas", Journal of Oil & Applied Science, Vol. 34, No. 4, pp. 866-873.
6. Y. I. Song et al., 2004, "The Effect of Poisoning Deactivation on Palladium based Three Way Catalyst", Theories and Applications of Chem. Eng, Vol. 10, No. 1, pp. 975-9878.