

자동차 윤활유의 성상 및 열화가 환경성에 미치는 영향 연구

김정환^{*†} · 김기호 · 하종한 · 진동영^{**} · 명차리^{**} · 장진영^{***}

^{*}한국석유관리원 석유기술연구소

^{**}고려대학교

^{***}한국에너지기술연구원

(2016년 10월 26일 접수; 2017년 2월 08일 수정; 2017년 3월 21일 채택)

The Research for effect of lubricant oil aging on environmental performance

Kim Jeong-Hwan^{*†} · Kim Ki-Ho^{*} · Ha Jong-Han^{*} · Dong-Young Jin^{**}
Cha-Lee Myung^{**} · Jin-Young Jang^{***}

^{*}Research Institute of Petroleum Technology, Korea Petroleum Quality & Distribution Authority,
Chungcheongbuk-do, 363-883, Korea

^{**}School of Mechanical Engineering, Korea University,
145 Anam-ro, Sungbuk-gu, Seoul 02841, Korea

^{***}Korea Institute of Energy Research, 152 Gajeong-no Yuseong-gu Daejeon 305-342, Korea
(Received October 26, 2016; Revised February 8, 2017; Accepted March 21, 2017)

요약 : 현재 국내 엔진오일-윤활유가 배출가스에 미치는 영향에 대한 연구가 미비한 실정이며 그 실험 방법 또한 확립되어 있지 않다. 이에 엔진을 이용한 윤활유 성상 변화가 PM(Particulate Matters) 배출에 미치는 영향 평가방법을 수립하여 윤활유의 성상 및 열화가 자동차 성능과 환경성에 미치는 영향을 연구하고자 한다.

윤활유 소모 및 연소로 인한 DPF(Diesel Particulate Filter) 및 후처리 장치에 미치는 영향을 평가하는 것이 중요하며, 특히 DPF의 재생과정에서 생성되는 PM(Particulate Matters)과 Ash가 DPF에 미치는 장기적인 영향과 내부 변형 및 내구성에 대한 평가와 연구가 필요하다.

본 연구에서는 정형화 되지 않은 시험모드를 개발하였으며, 내구시험결과 High SAPs의 경우 Low SAPs(Sulfated Ash, Phosphorus and Sulfate)보다 DPF내 Ash의 축적량이 많은 것을 확인하였으며, EGR(Exhaust Gas Recycling)의 Fouling 현상 가속화에 영향을 미칠 것으로 확인하였다.

본 연구결과물을 토대로 윤활유의 기유, 첨가제, 열화 등에 따른 엔진 및 차량의 성능과 배출가스 특성을 기술정책 자료로서 활용하도록 방향을 도모하고 시험 방법을 확립하고자 한다.

주제어 : 자동차용 엔진오일, 윤활유, 환경적 효과

[†]Corresponding author
(E-mail: denniskim74@kpetro.or.kr)

Abstract : The main purpose of this research is for the investigation on the impact of engine oil aging on PM and DPF. It is widely known that lubricant specifications and consumption from an ICE have significantly influenced on the regulated and unregulated harmful emissions as the engine operating conditions.

Considering DPF clogging phenomena with lubricant-derived soot/ash components, simulated aging mode for the DPF was newly designed for engine dynamometer testing. PM/ash accumulation cycle were developed in reflecting real-world engine operating conditions for the increment of engine oil consumption and natural DPF regeneration for the ash accumulation. The test duration for DPF aging reached around 100hrs with high- and low-SAPS engine oils, respectively.

Using high SAPs engine oil made more PM/ash accumulation compared with low SAPs engine oils and it could accelerate fouling of EGR in engine. Fouling of EGR made effects on more harmful exhaust gases emissions.

The test results on engine lubricant under engines operating conditions will deliver for the establishment of regulated and unregulated toxic emissions policy, lubricant quality standard.

Keywords : Engine, Lubricant, Aging, Exhaust gases, PM

1. 서론

자동차에 사용되는 엔진오일은 실린더 내 윤활 작용을 하기 때문에 엔진의 원활한 운영을 위해 반드시 필요한 요소지만, 연소실내에서 소량 연소되어 짐에 따라 엔진오일의 감소는 불가결한 요인 중 하나이다. 윤활유는 윤활기유와 첨가제들로 이루어져 장시간 사용 시 윤활유에 사용된 첨가제의 양이 변화하면서 자동차에 필요한 점도지수 향상제, 청정분산제, 마모방지제 등이 지속적으로 소모됨에 따라 이에 따른 연비 및 배출가스 등의 환경성 평가가 필요하다.

윤활유의 품질은 자동차 배출가스 규제에 맞춰 향상되고 있는데, 향후 강화되는 배출가스 규제를 위해 국내에서도 엔진오일에 대한 품질관리가 반드시 필요하다. 세계 각국의 대기환경은 자동차에서 발생하는 배출가스에 의해 심각한 수준의 오염을 나타내고 있는데, 전세계 자동차제조사에서는 이를 줄이기 위해 후처리장치 기술 개발을 지속적으로 수행하고 있다. 후처리장치의 기술개발과 동시에 윤활유의 품질기준도 달라졌는데, 윤활유에 사용되는 첨가제 일부가 높은 연소온도에도 타지 않고 재로 남아 고가의 후처리장치에 침착됨으로써 제조사에서는 후처리장치의 보호를 위해 황산화분을 0.8%이하로 하는 후처리장치 전용의 윤활유로 교체할 것을 권고하고 있다. 이러한 황산화분의 분석은 엔진오일과 황산을 섞어

불에 태움으로써 남은 재의 양을 측정하게 되는데, 이때 황산화분의 양은 보통 청정분산제의 성분으로 칼슘, 마그네슘, 바륨, 아연 등으로 구성되어 있다. 이러한 금속물질이 후처리장치에 지속적으로 침착되게 되면 DOC(Diesel Oxidation Catalyst)의 활성도를 저하시키며, DPF 내에 침착되는 Ash가 지속적으로 쌓이게 되어 배기압을 상승시킴으로써 엔진성능에 영향을 주게 된다. 또한, 실린더 내에서 소량 연소되는 윤활유를 운영 환경이 가혹하고, 장시간 사용했을 시 열화에 따른 물성변화가 큰 것으로 국외 오토-오일 프로그램 연구결과 보고되고 있으나, 이는 미국, 유럽, 일본 등 국내 환경과 맞지 않은 도로사정과 운영 환경에서 연구된 결과로 국내 실정에 맞는 연구 결과가 필요하다. 국내 환경에 맞는 연구가 이루어지지 않은 상태에서 사용자가 선택적으로 윤활유를 사용할 경우 자동차의 장치 및 운영환경에 따라 후처리 장치에 영향을 미쳐 환경성과 차량의 고장을 유발할 우려가 있으며, 환경문제에 대한 영향성 평가도 매우 어렵게 된다.

위에서 언급한 바와 같이 윤활유의 선택과 사용이 개인의 선택에 의해 이루어짐에 따라 신유와 사용유에 대한 물성평가 및 배출가스, 연비 평가를 통해 윤활유의 선택과 교체시기 등 선택의 폭을 넓히고 국내 실정에 맞는 연구를 통하여 차량 부품의 손상과 후처리장치에 대한 문제를 보다 면밀히 밝혀 향후 강화되는 배출가스 규제

대응 및 국내 윤활유의 품질 향상을 위한 연구가 절실히 필요하다.

환경에 대한 문제가 심각하게 대두되고 있음에 따라 자동차에서 나오는 배출가스를 줄이기 위해 세계 각국에서는 엄격한 규제를 두어 관리하고 있다. 그에 따라 배출가스 저감을 위한 후처리 장치의 개발은 현재도 활발히 이루어지고 있으며, 장치 개발에 따른 엔진오일 규격 또한 바뀌고 있다. 엔진오일은 엔진의 윤활역할을 수행하여 엔진의 수명연장 및 성능 향상에 도움을 주는 반면 엔진 실린더 내에서 연소하게 되면 유해 배출가스를 생성하며 후처리장치에 침착되어 엔진 성능을 저하시키는 요인으로 작용하고 있다. 그에 따라 윤활유는 등급을 두어 후처리장치에 사용이 가능한 Low SAPS 제품을 권장하여 후처리장치의 수명을 연장시키고 있다. 그러나 후처리장치에 대한 엔진오일 영향도 평가 자료는 한정적이며 환경적 측면에 관한 내용 또한 미비하여 본 연구를 통해 윤활유의 새로운 기준에 대한 기초 자료를 확보하고, 자동차 배출가스에 미치는 영향 인자를 연구를 통해 윤활유 제조기준 및 시험방법 설정 기초자료로 활용하고자 한다.

본 연구에서는 Low SAPS와 High SAPS에 대한 후처리장치 영향도 평가를 위하여 1.6 VGT 엔진(현대 U-2)을 이용하여 100시간 내구시험을 수행하였다. 또한, 후처리장치에 침착되는 Ash 평가에는 X-CT를 이용하여 내부의 침착량을 확인하였으며, 후처리장치 전·후단의 압력차를 이용하여 내구시험 중 영향도를 평가하였다.

차량 및 엔진에서의 내구시험 후 물성 변화를 분석하기 위하여 구리, 납, 철 성분을 분석하여 엔진 내부의 금속 마모분을 분석하였으며, 엔진오일 첨가제성분의 변화측정을 위하여 첨가제의 주요 구성 성분인 칼슘, 마그네슘, 바륨, 인 및 아연 등을 분석하였다. 마지막으로 엔진오일의 물성치 변화를 측정하기 위해 점도, 인화점, 전염기가 및 전산가를 측정하였다.

2. 분석방법

2.1. 시험용 엔진오일

엔진시험용 윤활유는 제작사에서 권장하는 현대 모비스의 순정용 윤활유를 사용하였으며, Table 1는 ACEA-C3등급의 Low SAPS 윤활유에 대한 물성을 나타낸 것이다. 엔진오일 교체

전 신유에 대한 분석을 실시하였다.

High SAPS 평가에 사용된 윤활유에 대한 물성은 Table 1에 나타내었다. ACEA-B4 등급의 윤활유로 후처리장치가 장착되지 않은 차량에 대한 순정오일을 사용하였다.

Table 1 Lubricants for Engine tests

Items		Low SAPs	High SAPs
Kinetic viscosity	40°C	71.16	66.85
	100°C	11.82	11.17
Vicosity Index	-	162	160
Pour point(°C)	-	-39	-39
TAN (mgKOH)	-5	4.9	2.9
TBN (mgKOH)	-	6.1	7.8
Metal content(ppm)	Ca	1679	2113
	Mg	12	210
	P	851	1157
	Si	3.89	7.29
	Fe	1.09	1.07
	Zn	880	1245
	Ba	0.27	0.08
	Cu	0.17	0.20
Sulfur contetn(%)	Sulfur	0.21	0.32
sulfate ash(wt%)	-	0.86	1.2

2.2. 시험용 엔진


시험에 사용된 엔진은 1.6L급의 CRDi (Common Rail Direct Injection) 엔진으로 Euro-V 사양의 현대 U-2엔진을 사용하였으며, 후처리장치로 DOC-DPF를 사용하였다. 시험에 사용된 엔진은 소형 디젤 차량인 i30차량에 탑재된 엔진이며, 시험에 사용된 엔진의 상세 제원은 Table 2와 같다.

2.3. 시험장비 및 모드

2.3.1. 엔진동력계 시스템

엔진동력계는 엔진의 크랭크축을 동력계와 연결하여 제동력을 걸어 축에서의 출력을 측정하는 장비로써 출력 및 토크, 회전속도 등 엔진 성능

Table 2. Test engine Specification

	Engine	Cylinder No.	4(DOHC)
		Displacement (cc)	1,582
		Power (ps/rpm)	128/4,000
		Torque (kgm/rpm)	26.5/2,000
		Fuel injection type	CRDi
	Test Fuel	Diesel	
	Lubricant(recommended)	ACEA C3(W DPF)	
		ACEA B4(W/O DPF)	
	Compression ratio	17.3:1	
	Oil pan(capacity)	4.8L	

을 평가하는 장비로 엔진동력계 시스템은 엔진동력계, 연료유량계, 공기유량계, 냉각수 온도 제어기로 구성되어 있다. 본 연구에 사용된 엔진동력계는 AC동력계(AVL)로 220kW 이하의 엔진을 시험할 수 있는 장비이며, 8,000rpm, 934Nm 이하의 토크를 측정할 수 있다. Fig. 1. 은 엔진동력계 시스템의 개략도를 나타내고 있으며, Table 3은 시험에 사용된 엔진동력계의 제원을 나타내었다.

Table 3. Specification of Engine Dynamometer

Type	AC dynamometer
MAX power	220kW
MAX speed	8,000rpm
MAX torque	934Nm
Accuracy	$\pm 0.2\%$ (934Nm)
Torque response	0 to 100% : 10ms

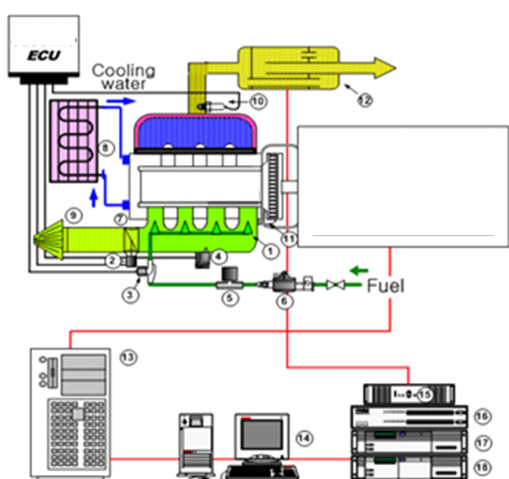


Fig. 1. Schem. of Engine Dynamometer.

2.3.2. 내구시험 모드

DPF의 Soot Loading 모드가 정확화 되어 있지 않음에 따라 시험 조건에 필요한 내구시험 모드가 필요함으로써, 시험엔진에 대해 각 rpm 및 부하영역에 대한 시험을 통해 시험모드를 설정하였다. 장시간 내구 시험 중 엔진오일이 실린더 내에서 연소되어 후처리장치에 영향을 미칠 수 있는 영역을 우선으로 선정하여 Table 4와 같이 수행하였다. 선정과정 및 결과는 시험결과에서 논의하였다.

2.3.3. 점도분석 장치

신유 및 열화유의 점도는 Cannon Auto. Viscosimeter(모델명 : CAV2100, 제작사 Cannon USA)를 사용하였다. 40°C 및 100°C에서의 동점도를 측정했으며, 점도지수(Viscosity Index)는 40°C 및 100°C 동점도로부터 ASTM D2270 Standard에 따라 계산에 의해 산출하였다.

Table 4. DPF PM Accumulaton Mode

Mode Number	Engine Speed(rpm)	Engine Load(Nm)	Duration(s)
1	1500	65	600
2	2000	45	60
3	1250	65	600
4	2250	45	120
5	2000	45	120
6	3000	120	300

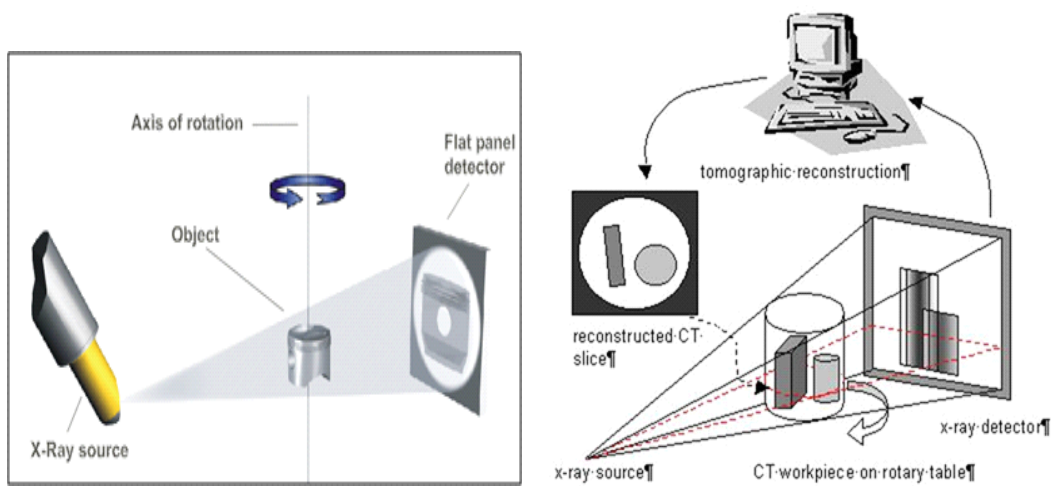


Fig. 2. Principal of X-CT.

2.3.4. 전산가 및 전염기가 분석 장치

신유 및 열화유의 전산가 및 전염기가는 Automatic Potentiometric Titrimer(Model : 808-815 Titroprocessor, 제작사 : Metrohm Swiss)로 분석하였다.

2.3.4. 금속성분 원소분석장치

신유 및 사용유의 금속 성분 원소 분석은 Integra ICP(Inductively Coupled Plasma) Optical Emission Spectrometer(제작사 : PerkinElmner)를 사용하여 Table 5에 분석 조건에 따라 분석하였다.

2.3.5. X-CT (X-ray source Computerized tomography)장비

Fig. 2.는 X-CT 장비의 구동 개략도를 나타

낸 것이다. 시료가 360° 회전하는 동안 연속적으로 X-ray 투사 이미지를 수학적으로 조합하여 3차원 이미지를 획득하는 방법을 컴퓨터 단층촬영(CT : Computerized tomography)이라고 한다. 사용되는 X-선의 beam source 모양에 따라 Fan beam과 Corn Beam으로 나뉘며 강한 X-ray가 회전 Table에 놓여 있는 시료를 투과하면서, 시료 내부의 구조 및 재질에 따라 투과율에 차이를 통해 데이터를 획득하게 된다. 이러한 데이터를 수학적 방법을 통해 재구축(Reconstruction) 과정을 거치고 3차원의 CT 이미지를 얻을 수 있다. 본 실험은 테크벨리사의 SMART CT-DUAL SOURCE CT 장비를 통해 분석하였으며, 자세한 제품 사양은 Table 6과 같이 나타내었다.

Table 5. Test conditions for ICP

R.F. Power	1.3 kW
Gas flow rates	Plasma argon : 15 L/min Auxiliary argon : 1.0 L/min Nebulizer argon : 0.5 L/min
Solution uptake rate	0.8 mL/min
Number of replicates	2
Sample uptake time	15 sec
Post-wash time	50 sec

Table 6. Specification of X- CT

Tube Voltage	Max. 160kV+225kV / 240kV+450kV/ 600kV+800 kV
Manipulator	5 to 7 Axis
Detector type	Image Intensifier / FPD / Linear Detector
Software	2D & Control / 3D S/W

2.4. 엔진시험방법

2.4.1 윤활유 교체방법

기존 윤활유의 영향을 최소화하기 위하여 Low SAPS에 대한 100시간 내구시험을 우선 진행 하였으며, 차량에서의 교체방법과 동일하게 시험 전 엔진오일, 오일필터, 에어필터를 신품으로 교체한 후 엔진동력계 상에서 30분간 저부하 영역에서 운영을 실시하였으며, Low SAPS와 High SAPS 변경 시에도 동일한 작업을 5회 반복하여 윤활유 변화에 따른 영향성을 최소화 하였다.

- (1) 기존 윤활유 교체 후 신유 주입
- (2) 엔진동력계 상에서 운영 (1200rpm) 30분 이상
- (3) 새로운 자동차용 윤활유 및 오일 필터 교환
- (4) ②,③ 번 5회 반복 작업 실시

2.4.1 내구시험 방법

전체적인 내구시험은 Fig. 3.과 같이 진행되었다. Low SAPS에 대한 평가를 우선 진행하였으며, 엔진오일 교체 후 신유에 대한 엔진오일 분석이 끝남과 동시에 내구시험 을 수행하였고, 엔진동력계 상에서 선정된 시험모드를 200회 반복하여 100시간 내구시험을 완료하였다. 1회 모드 시험당 30분 운영으로 총 200회 반복하였으며,

10시간마다 배출가스 및 배기압력 등 엔진데이터를 확보하여 열화에 따른 변화를 살펴보았다. 또한, 100시간 내구시험 후 내구 후 윤활유에 대한 물성변화 분석 및 DPF의 X-CT촬영을 수행하였다.

2.5. 윤활유의 분석 방법

신유 및 열화유의 물성 변화 분석을 위한 엔진 내부의 금속 마모분을 분석하기 위해 구리, 납, 철 성분을 분석하였으며, 엔진오일 첨가제 성분의 변화를 측정하기 위해 첨가제의 주요 구성 성분인 칼슘, 마그네슘, 바륨, 인 및 아연 등을 분석하였다. 또한 외부 이물질의 혼입 여부를 측정하기 위해 연료 희석분, 수분 및 실리콘을 측정하였으며, 마지막으로 엔진오일의 물성 변화를 측정하기 위해 점도, 금속분, 전염기가 및 전산가를 측정하였다.

채취된 엔진오일은 물성변화에 따른 시험오차를 최소화하기 위해 불순물의 오염이나 유입을 방지하고 온도가 높지 않은 곳에 보관하였다.

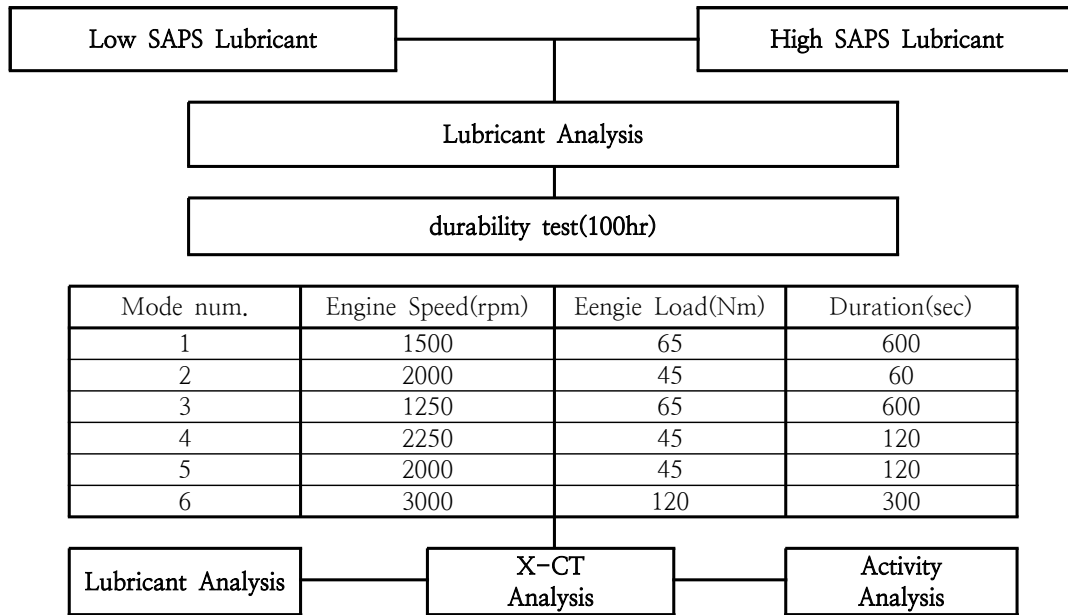


Fig. 3. Process of engine durability test.

3. 결과 및 고찰

3.1. 시험결과

3.1.1. 내구시험 모드 개발

1) 엔진 대상 DPF 내구 Cycle 평가 및 구간 선정

DPF의 Soot Loading 모드가 정형화 되어 있지 않음에 따라 시험 조건에 필요한 내구시험 모드가 필요함으로써, 시험엔진에 대해 각 rpm 및 부하영역에 대한 시험을 통해 시험모드를 설정하

였다. 장시간 내구 시험 중 엔진오일이 실린더 내에서 연소되어 후처리장치에 영향을 미칠 수 있는 영역을 우선으로 선정하고자 하였으며, EGR률이 높아 상대적으로 PM이 높게 나올 수 있는 구간을 선정 하였다. 따라서, 시험모드는 PN 배출량이 많은 구간과 EGR률이 높아 NOx의 배출이 낮은 구간을 적절히 선정하였다.

2) DPF PM Accumulation Mode

DPF PM Accumulation Mode에 대한 모드별 속도 및 부하를 Table 7에 나타내었다. 엔진속도의 변화가 크고 저부하 조건이 많은 모드를 구현하였다. 마지막 6모드에서는 고부하 조건을 통해

Table 7. DPF PM Accumulation Mode

Mode Number	Engine Speed(rpm)	Engine Load(Nm)	Duration(s)
1	1500	65	600
2	2000	45	60
3	1250	65	600
4	2250	45	120
5	2000	45	120
6	3000	120	300

이전 모드에서 생성된 PM들의 자연재생이 발생하도록 진행하는 모드를 선정하였다. 1500-3000rpm까지 다양한 속도를 적절히 배분하였으며, 각 모드에서 낮은 부하조건을 부여하여 PM의 생성이 많은 영역을 선정하였다. 전체 운영시간을 1800초, 각 모드의 변화시간을 15초로 하여 평가하였으며, 각 모드에서 일정시간 경과 후 발생하는 PN과 배출가스 온도, EGR률, 배출가스를 측정하여 장시간 내구 시험 시 DPF에 PM의 침착 가능성을 평가 하였다.

시험모드를 구현한 후 Engine Data 결과를 위의 Fig. 4.에 나타내었다. 전체적으로 다양한 속도변화를 두었으며, 저 부하 영역으로 EGR (Exhaust Gas Recirculation)률이 높은 것을 확인하였다. 전체적으로 EGR률이 높고, 낮은 배출가

스 온도를 나타내고 있어 PM생성에 유리할 것으로 판단된다. 또한 엔진 회전속도의 변화가 빈번할수록 윤활유의 연소 및 소모량이 증가한다는 기존 연구자료를 고려해 볼 때 두 번째 모드에서 내구시험이 유리할 것으로 판단되었다. 또한 자연재생 조건으로 설정한 6번 모드에서 높은 배출가스 온도를 나타냄에 따라 각 모드에서 축적된 PM이 자연재생될 것으로 판단된다.

배출가스 분석 결과에서도 EGR률이 높은 모드가 구현됨에 따라 Table 8과 같이 NOx의 배출량이 낮은 경향을 나타내는 것을 확인하였다. 엔진데이터에서 확인하였듯이 전체적인 구간에서 EGR률이 높아짐에 따라 배출가스 중 NOx의 저감이 이루어진 것으로 판단되며, 한번 연소된 배출가스가 연소실내로 다량 유입됨에 따라 연소

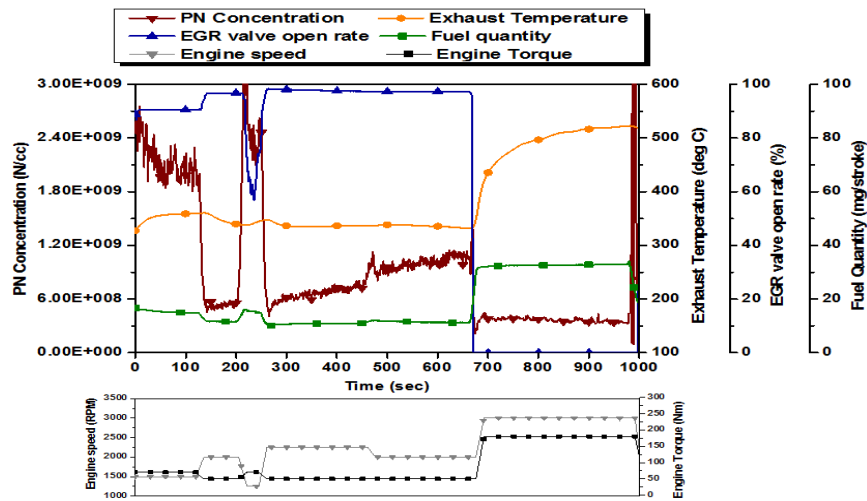


Fig. 4. Engine data for mode.

Table 8. DPF PM Accumulation Mode

Mode	CO emission (ppm)	CO ₂ emission (%)	NOx emission (ppm)	THC emission (ppm)
1	7.9	11.47	66.9	8.7
2	7.1	8.26	70.3	9.5
3	8.1	11.65	91	5.9
4	7.1	7.67	75.6	11
5	7.3	8.09	68.3	10.6
6	10.3	9.88	804.8	2.8

온도를 낮춰 NOx의 저감을 가져오는 반면 낮은 연소온도로 인한 PM생성이 상대적으로 늘어날 것으로 판단됨에 따라 본 연구과제에 필요한 조건이라 판단되어 DPF PM Accumulation Mode를 내구시험 모드로 선정하여 100시간 내구시험에 사용하였다.

3.2. 내구주행 후 Ash 침착 결과

Fig. 5. 는 Low SAPS에서 100시간 내구 중 측정 한 DPF 내의 Ash 침착 상태를 X-CT를 이용하여 촬영한 후 그 상태를 나타낸 것이며, Fig. 10.은 High SAPS의 DPF 상태를 나타낸 것이다.

X-CT결과 위에서 보듯이 Ash와 Soot의 침착량을 확인할 수 있다. X-CT는 3차원으로 표현되며, Low SAPS의 경우 약 7mm의 높이로 Ash가 침착된 것을 확인할 수 있다. Table 9는

ACEA B4와 C3의 DPF전용 엔진오일 중 Ash에 영향을 미칠 수 있는 주요 물성을 나타낸 것이다. 황산화분을 0.8%이하로 관리하고 있는 ACEA-C3등급의 윤활유를 사용한 Low SAPS 시험에서는 높은 연소온도에서도 타지 않은 Ash를 많이 생성하지 않는 것으로 X-CT 분석결과 확인되었다. 장시간 내구 시험에서도 High SAPS 윤활유에 비해 비교적 적은 양의 Ash가 침착된 것으로 확인되었으며 DPF전용 엔진오일이 후처리장치의 수명을 연장시켜줄 수 있을 것으로 판단된다.

그러나, High SAPS의 경우에는 Fig. 6. 에서 보는 것과 같이 23mm의 Ash 침착을 보이고 있는데 이는 1.0~1.6%로 관리되는 ACEA-B4 등급의 윤활유에서 황산화분이 Ash의 침착에 영향을 미쳐 DPF내 많은 양의 Ash가 누적되어짐을 확인할 수 있었다. High SAPS의 엔진오일이 실제 후

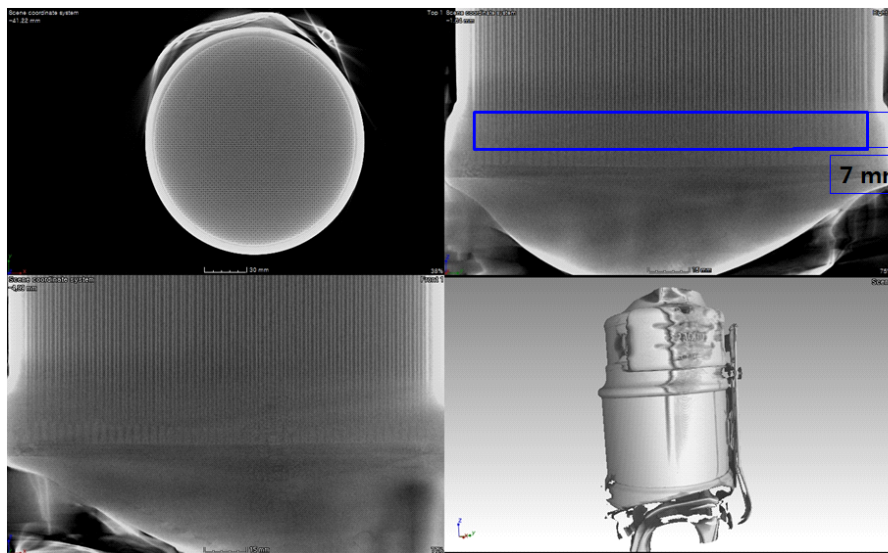


Fig. 5. DPF X-CT result using Low SAPs.

Table 9. ACEA oil specification

Items	ACEA B4	ACEA C3
TBN	over 10	over 6
Sulfate Ash	1.0~1.6%	below 0.8
Sulfur	report	below 0.3
Phosphorus	report	0.07~0.09%

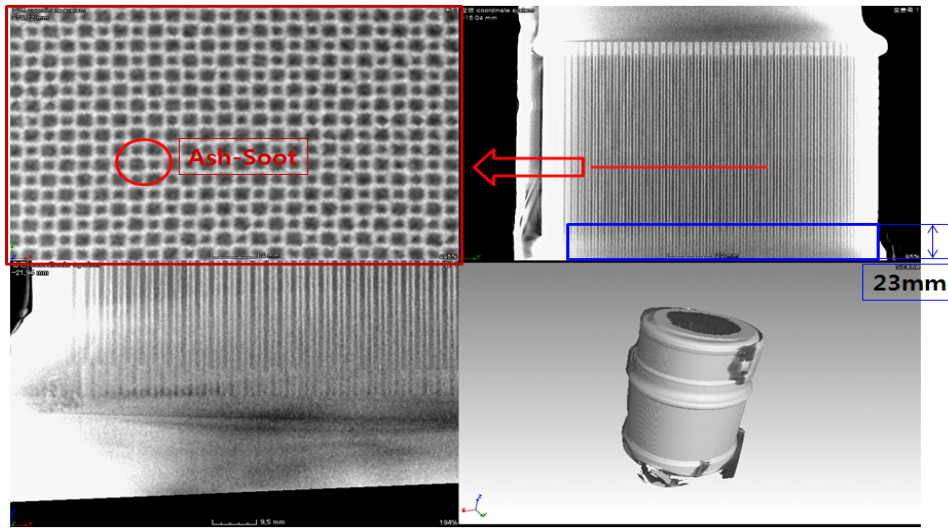


Fig. 6. DPF X-CT result using High SAPs.

처리 장치에 좋지 않은 영향을 미치는 것으로 판단되어지는 부분이다.

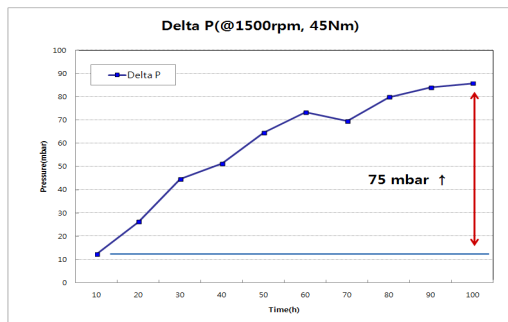


Fig. 7. Pressure difference between before and after DPF.

또한, High SAPS에서의 정확한 영향성 평가를 위해 내구시험이 진행됨에 따라 Ash의 침착량을 평가하고, 엔진 성능에 미치는 영향을 면밀히 평가하기 위하여 DPF 전·후단에 압력센서를 설치하여 차압을 비교 평가한 결과 Fig. 7과 같은 결과를 얻었다. High SAPS의 윤활유를 사용하여 내구시험을 진행한 결과 시간이 지남에 따라 차압이 점점 높아지는 것을 볼 수 있는데, 이는 High SAPS의 윤활유가 DPF에 악영향을 미치는 것으로 판단되는 중요한 지표이다. 100시간 내구시험 후 약 75mbar의 차압이 증가한 것으로 확인할

수 있는데 이는 엔진의 배기압을 상승 시켜 엔진의 성능저하를 가져올 수 있는 중요한 요인이 될 뿐만 아니라 DPF내에 Ash가 대량 축적됨에 따라 심각할 경우 DPF의 기질(Substrate)에 균열을 유발할 수 있는 것으로 사료된다.

3.3. 신유 및 열화유 물성 시험 결과

엔진 시험용 윤활유에 대한 내구시험 전·후 물성 결과를 Table 10에 나타내었다. 시험에 사용된 High SAPS와 Low SAPS에 대해 각각 100시간 내구 전후를 비교하였다.

엔진 시험용 윤활유 분석결과 내구시험 후 동점도는 약간 감소하는 경향을 보이고 있으나 크게 변화하지는 않았으며, 점도지수 또한 크게 변화가 없었다. 그러므로, 윤활유 열화에 따른 연료 소비량의 변화는 크게 영향을 미치지 않았을 것으로 판단되며, 100시간 내구 후에도 점도의 변화가 없음 또한 확인하였다.

시험용 윤활유의 금속분 분석결과에서는 철과 규소, 구리가 증가하는 경향을 보이고 있는데, 이는 내구시험 중 실린더의 마모와 캠샤프트, 베어링, 오일쿨러, 가스켓 등 엔진 내 부품의 마모에 의해 증가한 것으로 판단된다. 또한, 황산화물은 보통 청정분산제의 성분인 구리, 마그네슘, 아연 등의 성분으로 이루어져 있는데 칼슘과 아연의 경우에 High SAPS에서 감소하는 경향을 보임에 따라 DPF의 Ash 침착에 영향을 주었을 것으로

Table 10. Engine oil test results

Items		Low SAPs Base	Low SAPs 100hr	High SAPs Base	High SAPs 100hr
Kinetic viscosity	40°C	71.16	69.72	66.85	61.69
	100°C	11.82	11.68	11.17	10.44
Viscosity Index	-	162	163	160	159
Pour point(°C)	-	-39	-39	-39	-39
TAN (mgKOH)	-	4.9	5.1	2.9	3.1
TBN (mgKOH)	-	6.1	5.9	7.8	7.3
Metal content (mg/kg)	Ca	1679	1691	2113	1947
	Mg	12	16	210	220
	P	851	911	1157	1022
	Si	3.89	60.34	7.29	18.55
	Fe	1.09	18.52	1.07	10.28
	Zn	880	959	1245	1193
	Ba	0.27	0.44	0.08	0.00
	Cu	0.17	1.50	0.20	1.10
Sulfur content(%)	Sulfur	0.21	0.22	0.32	0.30
Sulfate ash(wt %)	-	0.86	0.89	1.2	1.9

사료되며, Low SAPs에서는 감소의 경향을 보이지 않음에 따라 Ash의 침착에 영향을 주지 않았을 것으로 물성분석 결과 추측되어진다. 그러나 Low SAPs의 분석결과 시험오차를 제외하더라도 윤활유에 사용된 첨가제의 감소가 발생하여야 하나 이번 물성분석에서는 뚜렷한 변화를 보이지 않았다. 이는 초기 물성검사와 달리 사용유의 경우, 가벼운 기유가 분석 중 다소 증발함에 따라 수치의 오차가 발생한 것으로 판단되며, High SAPs와의 정확한 비교를 위해서는 동일한 기유에서 첨가성분을 달리하여 분석할 필요가 있을 것으로 판단된다. 향후 이와 관련된 보다 세밀한 분석이 필요할 것으로 사료된다.

Fig. 8.은 엔진 내구시험에 따른 Low SAPs 윤활유에 대한 TBN과 TAN을 나타내고 있다. 차량에서의 윤활유 물성결과와 마찬가지로 윤활유 내 전산가는 증가하는 경향을 보이고 있는데 이는 윤활유의 산화를 나타내는 지표로서 윤활유 내 산성물질이 증가함을 나타낸다. 이는 연료의 황분 및 수분, 질소, 산소가 고온·고압의 연소실 내에서 화학반응을 일으켜 산성물질이 생성된 것

으로 판단되며, 운영시간이 길어짐에 따라 산성물질은 늘어나는 것으로 판단된다.

또한, Fig. 9.는 High SAPs 윤활유를 사용한 엔진 내구시험에 따른 TAN과 TBN을 나타내며 Low SAPs에서의 윤활유 물성결과와 비슷한 결과를 나타내었다. 윤활유 내 전염기가는 감소하는 경향을 보이고 있는데 이는 산화된 윤활유의 중화를 위해 점점 감소하는 것으로 나타내었다.

4. 결론

Low SAPs 와 High SAPs 윤활유를 사용하여 100시간 엔진 내구를 완료하였으며, 10시간 마다 배출가스를 측정하였다. 100시간 완료 후 DPF에 대한 X-CT분석, 활성도 평가를 실시하였고, 사용유에 대한 윤활유 분석을 실시하였다.

가. DPF의 Soot Loading 모드가 정형화 되어 있지 않음에 따라 시험 조건에 필요한 내구시험 모드가 필요함에 따라, 시험엔진에

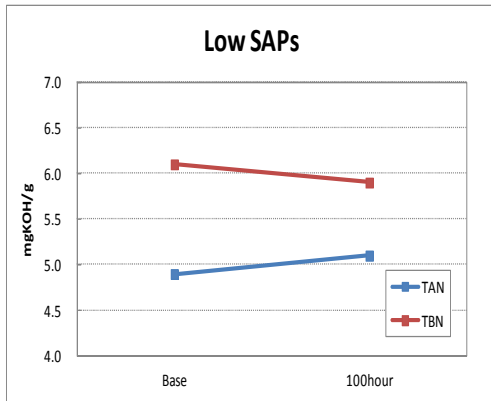


Fig. 8. TBN, TAN test result using Low SAPs.

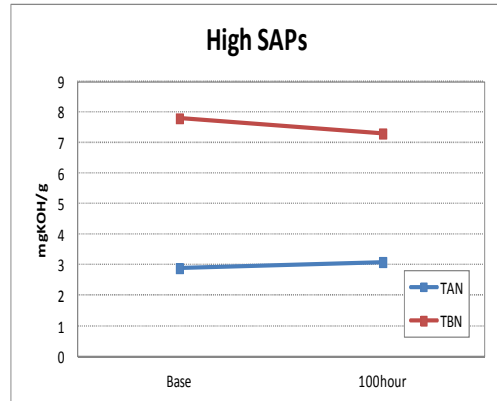


Fig. 9. TBN, TAN test result using High SAPs.

대해 각 rpm 및 부하영역에 대한 시험을 통해 시험모드를 개발하였다.

나. 신유 및 열화유의 40 °C 및 100 °C 물성분석 결과 커다란 변화폭을 보이지 않음을 볼 수 있으며, 동점도의 변화가 약 ±10% 이내를 유지하였다.

다. X-CT 사진 결과 High SAPs 내구시험 후 DPF 내 Ash의 축적량을 확인할 수 있었으며, 이는 DPF 효율에 악영향을 미치고 Low SAPs 보다 DPF melting 위험요소가 더 높을 것으로 판단된다.

라. 문헌조사 결과, Low SAPs 사용시 NOx 배출량에 큰 영향을 미치는 EGR 밸브의 Fouling이 약 40% 정도 우수한 것(High SAPs 대비)으로 보고됨에 따라 EGR 밸브의 Fouling 현상의 가속화도 영향을 미쳤을 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 2013년도 한국오토오일위원회 연구비 지원에 의해 수행한 “자동차 윤활유의 성능 및 열화가 환경성에 미치는 영향 연구”를 통해 얻은 결과물이며, 관계기관에 깊이 감사드립니다.

References

1. A. Liati, P. Dimopoulos Eggenschwiler, E. Muller Gubler, E. Schreiber, M. Aguirre, “Investigation of diesel ash particulate matter: A scanning electron microscope and transmission electron microscope study”, *Atmospheric Environment*, Vol. 49, 391-402, (2012).
2. H. G., “Final report of the study of nanoparticle measurement”, *BMW/AiF*, (2010).
3. Lihui Dong, Gequn shu, Xingyu Liang “Effect of Lubricating oil on the particle size distribution and total number concentration”, *Fuel Processing Technology*, Vol. 109, 158-159, (2013).
4. A. Laitinen, K. Vaaraslahti, J. Keskinen, “Preformed spray scrubber: Comparison of precipitation mechanisms for charged fine particles”, *Journal of Aerosol Science*, Vol. 31, (2000).
5. “Comparative study of regulated and unregulated toxic emissions characteristics from a spark ignition direct injection light-duty vehicle fueled with gasoline and liquid phase LPG”, *NIER/Korea univeristy*, (2012).

6. "Impact of Lube Oil on Advanced Light-Duty CIDI Engine Emissions", *SwRI*, (2000).
7. "Internal Combustion Engine (ICE) Air Toxic Emissions", *CARB* (2004).
8. "DPF Degradation using Chemical Tracers and Opportunities for Extending Filter Life", *MIT*, (2010).
9. "COLLABORATIVE LUBRICATING OIL STUDY ON EMISSIONS (CLOSE)", *SwRI*, (2011).
10. "Influences of Lubricating oil on after-treatment devices", *JCAP Engine Oil W. G.*, (2005).
11. "Influences of Lubricating Oil Consumption on PM Emission in Gasoline Engine", *Toyota Motor Co.*, (2009).