

엔진오일 내 연료성분 정량분석

임영관[†] · 김지연 · 나용규 · 김종렬

한국석유관리원

(2017년 9월 28일 접수, 2017년 10월 19일 심사, 2017년 10월 25일 채택)

Quantitative Analysis of Fuel in Engine Oil

Young-Kwan Lim[†], Jiyeon Kim, Yong-Gyu Na, and Jong-Ryeol Kim

Korea Petroleum Quality & Distribution Authority, Chungcheongbuk-Do 28115, Korea
(Received September 28, 2017; Revised October 19, 2017; Accepted October 25, 2017)

초 록

연료가 혼합된 엔진오일은 차량의 문제(엔진마모, 화재, 급발진 등)를 초래하여, 운전자의 안전을 위협할 수 있다. 본 연구에서는 연료가 혼합된 엔진오일의 다양한 성능을 분석하였다. 분석결과, 연료혼합 엔진오일은 인화점, 유동점, 밀도, 동점도, 저온 걸보기점도가 낮아졌다. 사구법 내마모성능시험에서는 연료가 혼합된 엔진오일이 열악한 윤활성으로 마모흔(wear scar)이 증가하였다. 또한 우리 연구팀은 ASTM D2887 방법을 적용한 고온모사증류시험(SIMDIST, simulated distillation)을 통해 엔진오일 내 연료성분을 분석하였다. SIMDIST 분석결과 연료는 엔진오일보다 짧은 머무름시간을 보였으며, 엔진오일 내 연료성분의 정량분석이 가능하였다. 이 SIMDIST 분석방법을 통해 기존 많은 분석장비, 시료양, 분석시간이 필요한 물성분석법을 대신하여 엔진오일 내 연료 오염여부 및 정도를 효과적으로 판단할 수 있을 것이다.

Abstract

The contaminated engine oil by fuel can intimidate driver safety due to vehicle problems such as engine abrasion, fire and sudden unintended acceleration. In this study, we investigate various functional properties of the engine oil contaminated with fuel. The test results indicated that the engine oil contaminated with fuel had relatively low values of the flash point, pour point, density, kinematic viscosity and cold cranking simulator. Furthermore, a four ball test suggested that the contaminated engine oil increased wear scar due to the poor lubricity. Moreover, SIMDIST (simulated distillation) using ASTM D2887 was applied to analyze fuel characteristics in an engine oil. The SIMDIST analysis result showed a lower carbon number, and the fuel was detected at an earlier retention time than that of using engine oil in chromatogram. Also, it is possible to quantitatively analyze for fuel contents in the engine oil. The SIMDIST method for the diagnosis of oil conditions can be used whether the fuel was involved or not, instead of analyzing other physical properties that require various analytical instruments, large volumes of oil samples, and long analysis time.

Keywords: engine oil, fuel contamination, SIMDIST (Simulated distillation), quantitative, vehicle

1. 서 론

1950년대 중반부터 국내 자동차산업이 시작된 이래, 급속도로 자동차 산업이 발전되어 현재(2017년도 기준) 2190만 대 이상의 자동차 보급률을 보이고 있다[1].

자동차의 생산기술이 발전되면서, 안전성, 승차감, 연비, 출력, 그리고 배출가스 저감 등과 같은 다양한 관점에서 기술개발이 이루어지고 있다[2,3]. 특히 에너지소비 효율성 측면에서 자동차마다 연비를 높여려는 노력이 이루어지고 있다[4]. 자동차의 연비향상을 위한 다양한 방법 중 고압펌프를 사용한 초고압 분사, 연료의 미립자화가 이루어지고

있다. 이 과정에서 연료가 엔진오일에 혼합되는 현상이 발생된다[5,6].

엔진오일은 원동기의 엔진을 원활하게 회전시키는 윤활체로서 윤활작용뿐만 아니라, 세정, 냉각, 밀폐 및 부식방지의 기능을 지니고 있어 항상 일정 수준 이상의 성능을 유지하여야 한다[7]. 이들 엔진오일은 차량의 종류(연료 및 출력 등)에 적합한 점도제품을 사용하여야 하며, Table 1과 같이 각 엔진오일 제품마다 일정수준 이상의 품질기준이 정해져 관리되고 있다.

연소실에서 연료의 연소가 일어나며, 이때 발생하는 배출가스 및 그을음 등이 엔진오일을 오염시키지 않기 위해 압축링이 필요하며, 엔진오일이 연소실로 올라가지 않도록 하기 위해 오일링이 피스톤에 장착되어져 있지만, 앞서 언급한 연료의 초고압 분사로 인한 연료가 엔진오일과 혼합되는 과정에서 엔진오일의 점도가 감소되면서, 유막 강도를 약하게 하고, 연소실로의 엔진오일 이동에 따른 엔진오일 소모를 증가시킬 수 있다.

이런 경우, 엔진오일 점도가 낮아져서 엔진오일이 연소실로 올라가

[†] Corresponding Author: Korea Petroleum Quality & Distribution Authority, Chungcheongbuk-Do 28115, Korea
Tel: +82-43-240-7973 e-mail: yklim92001@yahoo.co.kr

Table 1. Specification of Vehicle Engine (5W30) Oil in Korea[8]

Test Item	SAE 5W	SAE 30
Flash point (°C)	Over 170	Over 190
Cold Cranking Simulator (Pa · s)	Below 6.60	-
Kinematic viscosity (100 °C, mm ² /s)	Over 3.8	5.6~9.3
Viscosity Index	Over 75	Over 85
Pour point (°C)	Below -30	Below -9
Oxidation stability (165 °C, 24 h)	Ratio of viscosity	Below 1.5
	Increase of TAN	Below 1.6
	Lacquer	Light

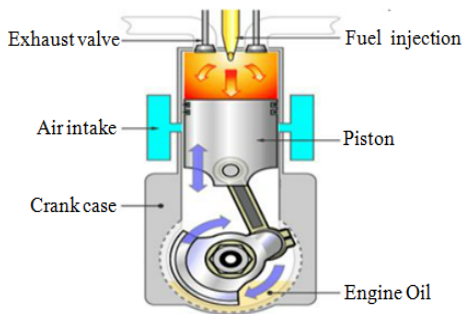


Figure 1. Diesel engine structure.

많은 양의 연료와 엔진오일이 연소되어 RPM (revolution per minute) 이 올라가고, 불완전연소에 의한 배출가스 증가, 검 증가, 소음·진동 증가, 엔진고장과 같이 차량의 증대한 문제발생뿐만 아니라 화재발생이나 급발진과 같은 치명적인 차량사고로까지 이어질 수 있다[9].

Rodrigues 그룹에서는 FT-IR을 이용하여 연료 내 바이오디젤을 분석하는 방법에 대해 연구하였으나[10], 바이오디젤은 연료 내에 거의 존재하지 않는 카보닐(carbonyl) 그룹을 대상으로 분석하였기 때문에 엔진오일 내 연료성분 혼입 정도를 분석하는데 있어서는 한계가 있다.

Jeon 그룹에서는 엔진오일에 혼합된 연료를 분석하기 위해 TGA-DSC를 이용하였지만, 경유혼입 엔진오일만을 적용하였으며, 정량분석에 대한 접근은 하지 못하였다[11].

본 연구팀에서는 기존에 엔진오일에 혼합된 연료의 분석방법에 대한 연구를 발표하였으나, 이는 경유연료에만 한정하여 연료혼입 여부 판단만 판단하였고, 혼입량에 대한 정량분석에 대한 접근은 하지 못하였다[12].

본 연구에서는 엔진오일에 연료(휘발유, 경유)가 혼입됨으로써 발생하는 문제점을 확인하기 위해, 엔진오일에 연료를 일정비율로 혼합한 뒤, 엔진오일의 물성변화를 분석하였다. 또한 연료 혼입여부를 엔진오일의 물성분석을 통해 간접적으로 확인이 가능하나, 이를 위해서는 물성분석을 위한 다양한 분석장비(인화점, 증류성상, 밀도, 동점도, 저온 걸보기점도, 유동점, 내마모성능시험기 등), 긴 분석시간 및 0.5 리터 이상의 많은 시료량이 필요하기 때문에 이를 대체할 수 있는 분석법으로 SIMDIST (simulated distillation, 고온시물레이션 증류시험)를 활용하여 연료혼입 여부 및 연료 혼입량을 판단할 수 있는 정량분석 방법에 대한 접근을 시도하였다.

Table 2. Analytic Result of Premium DPF Engine Oil

Test Item	Premium DPF	
Flash point (°C)	226	
Cold Cranking Simulator (Pa · s) (-30 °C)	6197	
Kinematic viscosity (100 °C, mm ² /s)	11.79	
Viscosity Index	165.3	
Pour point (°C)	-42	
Oxidation stability (165 °C, 24 h)	Ratio of viscosity	0.94
	Increase of TAN	0.28
	Lacquer	NA

NA; No attachment

2. 연구방법 및 내용

2.1. 사용 엔진오일 및 경유 시료

본 연구에서는 현대 모비스에서 판매되고 있는 엔진오일(Premium DPF, 5W30)을 사용하였다. 경유와 휘발유는 한국도로공사로부터 공급받은 연료(고속도로 휴게소 내 주유소 시료)를 이용하였다. Table 2는 사용 엔진오일에 대한 물성분석 결과이다.

2.2. 시료 물성 분석 및 유행성 분석

2.2.1. 동점도 및 저온 걸보기점도 분석

동점도(kinematic viscosity)는 Cannon Instrument사의 CAV 2000 series 장비를 이용하여 40 °C와 100 °C에서 ASTM D 445 방법에 따라 측정하였다[13]. 모세관식 튜브에는 3개의 벌브(bulb)가 있으며, 벌브 사이에 온도센서가 있어 시료 약 15 mL를 흡입 상승시킨 뒤, 시료가 중력에 의해 하강하는 시간을 온도센서로 감지함으로써 동점도가 측정된다. 점도지수(kinematic viscosity index, KI)는 40 °C, 100 °C 측정 후, 동점도 측정장비의 프로그램을 이용해 계산된 값을 얻었다.

저온 걸보기점도(cold cranking simulator, CCS)는 Cannon Instrument사의 CCS-2000 series 장비를 이용하여 ASTM D 5293 방법에 따라 분석하였다[14]. 50 mL의 시료를 취해 -30 °C에서 회전자의 속도와 점도와의 함수관계를 이용하여 걸보기점도를 측정하였다.

2.2.2. 밀도, 인화점 및 유동점 분석

밀도(density)는 Anton Parr사의 DMA 5000M 장비를 이용하여, ASTM D 4052 방법에 따라 분석하였다[15]. 측정방식은 시료를 15 °C에서 진동식 U자관법을 이용하여 시료에 일정한 주파수 조건에서 진

Table 3. SIMDIST Analytic Instrument and Test Conditions

Manufacture	Thermo
Model	Trace GC Ultra
Test Method	ASTM D 2887
Column	10 m × 0.53 mm ID × 0.88 μm
Oven Temp.	Initial; 40 °C, 1 min hold / Increase; 15 °C/min to 360 °C, 10 min hold
Detector	FID (370 °C)

Table 4. Test Result of Physical Properties of Engine Oil and Mixing Engine Oil by Diesel Fuel

	F · P (°C)	KV (40 °C) (mm ² /s)	KV (100 °C) (mm ² /s)	VI
E	226	69.83	11.79	165.3
E : G = 95 : 5	205	18.71	9.425	181.1
E : G = 90 : 10	93	32.94	7.515	206.3
E : G = 85 : 15	-13 ^a	23.20	6.151	236.3
E : G = 80 : 20	-18 ^a	16.78	5.384	301.4
E : G = 75 : 25	Below -20 ^a	12.13	9.621 (at 50 °C)	273.1
E : G = 70 : 30	Below -20 ^a	9.174	7.717 (at 50 °C)	433.8
G	Below -20 ^a	-	-	-
E : D = 95 : 5	212	57.22	10.35	171.8
E : D = 90 : 10	176	46.13	8.981	179.6
E : D = 85 : 15	148	38.7	7.956	185.2
E : D = 80 : 20	137	31.12	6.898	191.6
E : D = 75 : 25	124	26.8	6.233	195.1
E : D = 70 : 30	116	20.91	5.256	201.4
D	68	2.245	1.039	20790.1

E; engine oil, G; gasoline, D; diesel

FP; flash point, KV; kinematic viscosity, VI; viscosity index

a : rapid equilibrium method

동주기의 변화를 측정함으로써 밀도로 환산 처리되는 방식을 통해 시료의 밀도를 측정하였다.

고비점(high boiling point) 시료에 대한 인화점(flash point)은 Tanaka사의 ACO-T602 장비를 이용하여, KS M ISO 2592 방법(클리브랜드 개방법, Cleveland open cup)에 따라 분석하였다[16]. 용기에 시료 70 mL를 채운 뒤, 가열된 전기코일로 온도를 서서히 올려 시료가 인화되는 최저온도를 인화점으로 측정하였다.

저비점(low boiling point) 시료에 대한 인화점은 Seta사의 71000-0 장비를 이용하여, ISO 3679 방법(신속평형법, rapid equilibrium closed cup method)에 따라 분석하였다[17].

유동점(pour point)은 Tanaka사의 MPC-602 장비를 이용하여, ASTM D 2500 방법에 따라 측정하였다[18]. 4 mL의 시료를 용기에 채운 뒤, 45 °C로 가온한 후, 분당 1 °C의 속도로 냉각하면서 시료가 고체상으로 전환되어 유동되지 않는 온도를 유동점으로 측정(3 °C 단위로 측정)하였다.

2.2.3. 산화안정도 분석

산화안정도(oxidation stability)는 Yoshida사의 ISOT-D8 장비를 이용하여 KS M 2021 방법에 따라 시험하였다[19].

250 mL의 시료가 포함된 시료컵에 일정 크기의 강판과 구리판 촉매를 넣고, 165.5 ± 0.8 °C로 승온하여 회전막대를 1300 ± 15 rpm 속도로 회전시켜 24 h 동안 시료를 산화시킨 후, 40 °C에서 동점도를 측정하

여 산화 전·후에 대한 동점도와 전산가 변화 정도를 측정하였다.

2.2.4. 내마모성능(Four ball tester) 분석

내마모성능은 Falex사의 friction & wear test machine 장비를 이용하여 ASTM D 4172 방법에 따라 시험하였다[20]. 4개의 금속구를 40 kg 하중, 75 °C에서 1200 rpm으로 회전시킨 뒤, 하부에 위치한 3개의 금속구에 형성된 마모흔의 크기를 현미경으로 측정하였다.

2.3. SIMDIST 분석

일반적으로 윤활유제품은 고비점물질로 구성되어 있기 때문에 일반 가스크로마토그래피(gas chromatography)나 증류성상시험기를 이용하여 분석하는 것이 어렵다. 따라서 고비점 물질에 대한 끓는점 분포를 분석할 수 있는 고온모사증류시험(SIMDIST) 장비를 활용하여 엔진오일, 연료혼입 엔진오일 및 연료에 대한 SIMDIST 분석을 하였으며, 분석장비 및 분석조건은 Table 3과 같다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 연료혼입 엔진오일의 물성 분석

연료혼입 엔진오일의 물성변화를 알아보기 위해 엔진오일에 일정 비율의 연료(휘발유, 경유)를 인위적으로 혼합하여 엔진오일 성능을 분석하였다. Table 4는 엔진오일에 연료를 일정비율로 혼합한 뒤, 인

Table 5. Test Result of Physical Properties of Engine Oil and Mixing Engine Oil by Diesel Fuel

	Density (mg/mL)	PP (°C)	CCS (mPa · s)	WS (mm)
E	0.85024	-42	6197	0.494
E : G = 95 : 5	0.84642	-46	2561	0.506
E : G = 90 : 10	0.84103	-51	1188	0.508
E : G = 85 : 15	0.83560	-56	624	0.508
E : G = 80 : 20	0.82994	Below -65	346	0.511
E : G = 75 : 25	0.82463	Below -65	245	0.517
E : G = 70 : 30	0.81909	Below -65	196	0.547
G	0.74054	Below -65	-	-
E : D = 95 : 5	0.85084	-45	4466	0.500
E : D = 90 : 10	0.84957	-45	3011	0.502
E : D = 85 : 15	0.84845	-48	2134	0.502
E : D = 80 : 20	0.84700	-48	1512	0.507
E : D = 75 : 25	0.84596	-48	1237	0.508
E : D = 70 : 30	0.84420	-51	821	0.511
D	0.82690	-51	93	0.674

PP; pour point, CCS; cold cranking simulator, WS; wear scar

Table 6. Test Result of Oxidation Stability of Mixing Engine Oil by Diesel Fuel

Oxidation Stability (165 °C, 24 h)			
	Ratio of viscosity	Increase of TAN	Lacquer
E	0.94	0.28	NA
E : D = 95 : 5	1.10	-0.26	NA
E : D = 90 : 10	1.21	0.45	NA
E : D = 85 : 15	1.23	-0.54	NA
E : D = 80 : 20	1.32	0.36	NA
E : D = 75 : 25	1.56	0.11	NA
E : D = 70 : 30	1.64	0.64	NA
D	1.84	0.81	Attachment

TAN; total acid number, NA; no attachment

화점, 동점도 및 점도지수를 측정된 결과이다. 순수한 엔진오일의 경우, 인화점이 226 °C인 반면, 연료혼합 비율이 증가할수록 인화점이 낮아지는 경향을 보였다. 고비점의 엔진오일의 인화점은 시료컵이 오픈된 COC (Cleveland open cup)법을 이용해 분석하였지만, 인화점이 낮은 휘발유가 혼합된 시료는 신속평형법(rapid equilibrium method)을 이용하여 분석하였다. 본 연구에서 사용된 신속평형법 장비의 최저 분석온도가 -20 °C이기 때문에 휘발유가 25% 이상 혼합된 엔진오일 시료의 경우 인화점이 -20 °C로 분석되었다. 엔진오일의 인화점이 낮아질 경우, 화재 및 폭발위험성이 증가할 수 있다. 또한 경유의 점도가 낮기 때문에 엔진오일 내 경유비율이 높아질수록 동점도가 낮아지며, 점도지수가 높아지는 것을 볼 수 있다. 동점도가 낮아지면, 엔진오일이 묽어져서 엔진룸의 엔진오일이 연소실로 쉽게 들어갈 수 있는 단점과 함께, 윤활성에 영향을 미칠 수 있다. 점도지수(VI, viscosity index)의 경우, 엔진오일은 점도지수 향상제(VI improver)를 이용하여 온도변화에 따른 동점도 변화가 적은 반면, 연료에는 점도지수 향상제가 없어 온도변화에 따른 동점도 변화를 클 것으로 예상되었지만,

실제 분석결과 연료비율이 높아질수록 점도지수가 향상되었다. 이는 연료비율 혼합농도가 높아질수록, 분자량이 작은 연료성분의 온도변화에 따른 동점도 변화가 작아져서 오히려 점도지수가 높게 측정된 것으로 판단된다.

Table 5는 밀도, 유동점, 저온 걸보기점도 분석값 및 사구식 내마모 성능시험을 통한 윤활성을 측정된 결과값을 보여주고 있다. 밀도, 유동점 및 저온 걸보기점도는 연료혼합비율이 증가할수록 낮아지는 것을 확인하였다. 엔진오일에 비해 연료가 윤활성이 낮기 때문에 연료성분의 비율이 높아질수록 사구식 내마모시험을 통한 마모흔 크기가 커지는 것을 확인하였다. 이는 연료혼입 엔진오일의 윤활성이 낮아지는 것을 의미하기 때문에 피스톤의 왕복운동 과정에서 실린더 내벽을 마모시킴으로써 실린더와 실린더링 등의 엔진부품을 파손시킬 수 있다.

Table 6은 내연유 산화안정도 시험결과를 보여주고 있다. 엔진오일의 경우, 고온에서 오랫동안 사용되어야 하기 때문에 산화방지제 등 첨가제가 함유되어 있어 산화에 안정한 반면, 경유는 엔진오일에 비해 산화에 취약하다. 실제적으로 광관과 구리관 촉매조건하에서 강제 산

Table 7. The Test Result of Distillation Pattern Using SIMDISTT

	IBP (°C)	10% (°C)	50% (°C)	90% (°C)	FBP (°C)
E	412.2	446.1	481.0	524.0	542.5
E : G = 90 : 10	72.5	407.4	473.8	522.2	542.5
E : G = 80 : 20	72.5	143	468.7	519.3	542.5
E : G = 70 : 30	72.5	120.4	464.2	524.1	542.5
G	72.5	76.3	129.3	217.7	286.1
E : D = 90 : 10	254.0	412.0	477.2	524.0	542.5
E : D = 80 : 20	237.6	333.7	469.7	520.0	542.5
E : D = 70 : 30	226.7	323.0	464.6	517.9	542.5
D	121.5	265.9	340.2	420.4	529.9

IBP; initial boiling point, 10%; 10% (Vol.) distilled boiling point, FBP; final boiling point

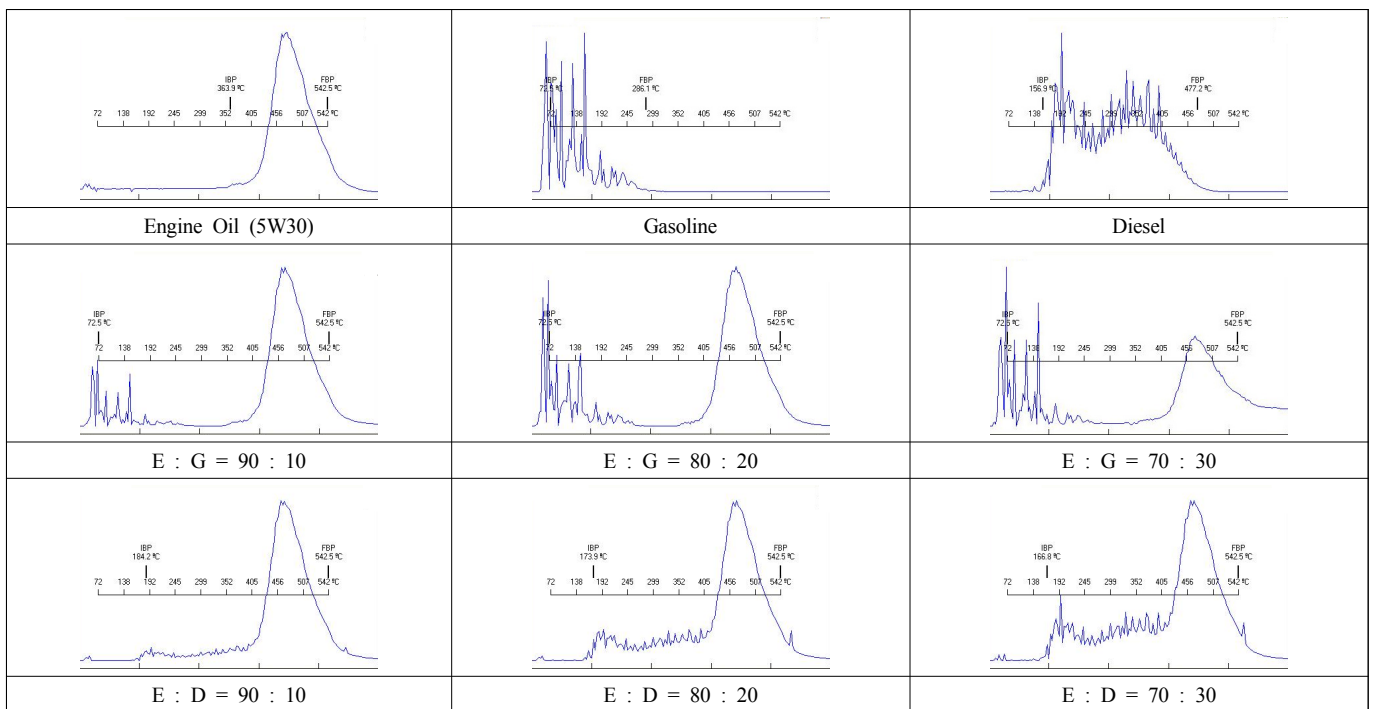


Figure 2. Test result of SIMDIST of mixing engine oil by fuel.

화를 시킨 결과, 경유 혼합비율이 증가할수록 산화 전 시료에 비해 동점도와 전산가 변화가 큰 것을 볼 수 있다. 특히 산화안정도 시험 후, 순수한 자동차용 경유에서는 점착성 높은 열화생성물인 락커(lacquer)가 형성되었다. 산화안정도 시험은 165 °C의 고온조건에서 진행하기 때문에 낮은 비점을 지니는 휘발유 혼합시료는 실시하지 못했다.

3.2. 연료혼입 엔진오일의 SIMDIST 분석

엔진오일에 연료가 혼입되었는지 여부는 앞선 동점도, 인화점, 밀도, 유동점, 저온 걸보기점도, 윤활성 변화 등으로 판단할 수 있으나, 이들 시험을 위해서는 많은 양의 시료, 다양한 분석장비 및 긴 분석시간이 요구되어진다. 본 연구에서는 적은 양(0.2 μL)의 시료만으로도 엔진오일에 연료가 혼입되었는지 여부를 판단하기 위해 SIMDIST를 이용해 증류성상 변화 및 GC패턴 분석을 시도하였다. Figure 2에서 보는 바와 같이 엔진오일의 경우 SIMDIST 상에서 머무름 시간이

17~25 min에서 검출된 반면, 낮은 끓는점 분포를 지니는 휘발유는 1~11 min, 경유는 6~19 min에서 검출되는 것을 볼 수 있다. 이로 인해 엔진오일 내 연료혼입 여부를 쉽게 확인할 수 있다.

SIMDIST의 크로마토그램(chromatogram) 패턴을 분석한 뒤, 시료의 끓는점 분포를 분석하였다. 엔진오일의 경우, 비점범위가 412.2~542.5 °C로 분석된 반면, 연료의 혼합비율이 높아질수록 시료의 비점범위가 넓어짐을 볼 수 있다. 또한 연료는 엔진오일에 비해 저비점물질이기 때문에 초류점(IBP)에 영향을 주지만, 종말점(FBP)의 경우는 고비점물질인 엔진오일의 종말점에만 영향을 미치는 것을 볼 수 있다 (Table 7). 따라서 엔진오일의 초류점과 10%(Vol.) 증류온도를 분석함으로써 연료혼입여부를 쉽게 판단할 수 있다. 일반적으로 휘발유의 초류점은 40 °C 내 · 외, 10% 유출온도는 60 °C 내 · 외이지만, 본 연구에서 사용한 SIMDIST의 최저 인식온도가 72.5 °C이기 때문에 휘발유가 혼합된 엔진오일의 초류점은 72.5 °C로 분석되었다.

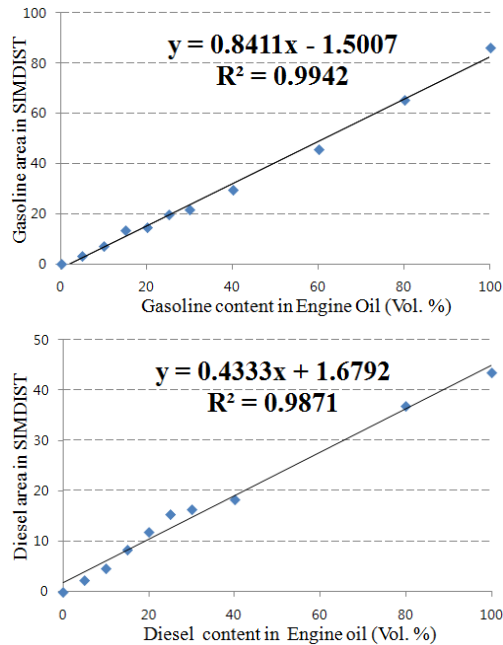


Figure 3. Quantitative analysis of fuel content in engine oil using SIMDIST.

하지만 실제 사용 엔진오일의 경우, 엔진오일의 전단안정성 등이 제품마다 다르기 때문에 기유(base oil)의 분해(decomposition)와 분해된 기유의 고분자화(polymerization)에 의해 스펙트럼 상 다소의 차이는 보일 수 있을 것으로 판단된다.

다음으로는 엔진오일 내 연료의 혼입 정도를 확인하기 위해 SIMDIST를 이용해 정량분석을 시도하였다. 엔진오일에 연료를 10% 비율로 혼입하여, SIMDIST를 분석한 결과, 혼합비율 증가에 따른 연료 검출량이 정량적으로 증가하는 것을 확인하였으며, 검량곡선(calibration curve)의 직선성(R^2 , linearity)이 0.98 이상의 보였다. 이는 엔진오일에 연료가 혼입되었을 경우, 얼마의 연료가 혼합되었는지 판단하는 기준으로 활용될 수 있다.

4. 결 론

엔진오일에 연료를 일정비율로 혼합하여, 엔진오일의 물성을 분석한 결과, 연료혼합비율이 높아질수록 밀도, 유동점, 저온 겔보기점도, 인화점, 동점도가 낮아졌으며, 윤활성 부족으로 인해 마모흔 증가가 발견되었다. 또한 산화안정도는 경유혼합비율이 높아질수록 산화안정성이 열악해 지는 것을 확인할 수 있었다. 인화점의 저하는 화재 및 폭발의 위험성과 연관이 있으며, 동점도 저하는 엔진오일이 묽어져, 피스톤운동으로 엔진오일이 연소실로 들어가서 과도한 연소, RPM 증가에 따른 급발진, 화재위험 및 불완전 연소를 일으킬 수 있으며, 특히 윤활성 저하를 일으켜, 엔진시스템의 마모로 인한 문제를 발전시킬 수 있다.

또한 SIMDIST를 이용해 엔진오일을 분석한 결과, 연료혼입 시료의 경우, 저비점 연료가 SIMDIST 크로마토그램 상 짧은 머무름시간에서 분석되고, 이로 인해, 초류점, 10% 증류온도가 크게 변하는 것을 알 수 있었다. 또한 일정한 비율의 연료를 혼합하여, 정량분석을 시도한 결과, 검량곡선의 직선성이 0.98 이상을 보여 엔진오일 내 연료의 정량분석이 가능한 것을 알 수 있었다. 엔진오일에 연료의 혼입여부는

엔진오일의 다양한 물성분석을 통해 추정할 수 있지만, 본 연구에서 제시한 SIMDIST 분석은 보다 효과적인 연료 혼합여부 및 혼합 정도를 판단할 수 있는 기준으로 활용될 수 있을 것이라 판단된다.

References

1. Korea Automobile Manufacture Association, <http://www.kama.or.kr>.
2. S. Matsuo, K. Takami, and H. Yamamoto, Influence of properties of diesel fuel on diesel engine performance, *J. Soc. Automot. Eng. Jpn.*, **58**(11), 89-94 (2004).
3. Y. K. Lim, S. Y. Ham, J. M. Lee, and C. S. Jeong, A study on the change of physical properties of engine oil after vehicle driving, *J. Korean Soc. Tribol. Lubr. Eng.*, **28**(2), 93-98 (2012).
4. C. S. Bae and Y. J. Jung, Fuel economy improvement of automotive engine, *Auto J.*, **34**(1), 39-45 (2012).
5. H. G. Kim and C. K. Kim, Experimental study on the tribological characteristics of diluted engine oil by diesel fuel, *J. Korean Soc. Tribol. Lubr. Eng.*, **21**(4), 156-164 (2005).
6. C. K. Kim and H. G. Kim, Experimental study on the viscosity characteristics of diluted engine oils with diesel fuel, *J. Korean Soc. Tribol. Lubr. Eng.*, **24**(1), 1-6 (2008).
7. T. Sagawa, H. Fugimoto, and K. Nakamura, Study of fuel dilution in direct-injection and multipoint injection gasoline engines, *SAE Technical Paper*, 2002-01-1647 (2002).
8. The Ministry of Commerce, Industry and Energy, Korea, Business act for quality standard, inspection method and inspection fee of petroleum product, 2011-203.
9. Newstapa, Sudden unintended acceleration, <http://newstapa.org/37792> (2017).
10. V. H. J. M. Santos, E. D. C. Bruzza, J. E. Lima, and R. V. Lourega, Discriminant analysis and cluster analysis of biodiesel fuel blends based on fourier transform infrared spectroscopy (FTIR), *Energy Fuel*, **30**, 4905-4915 (2016).
11. K. J. Jeon and S. R. Yong, A study for analysis method of fuel dilution content in engine oil with TGA-DSC, Korean Society of Automotive Engineers Fall National Meeting, 801-806 (2008).
12. Y. K. Lim, J. E. Lee, Y. G. Na, J. R. Kim, and J. H. Ha, Change in physical properties of engine oil contaminated with diesel, *J. Korean Soc. Tribol. Lubr. Eng.*, **33**, 45-51 (2017).
13. ASTM D 445, Standard test method for kinematic viscosity of transparent and opaque liquids and calculation of dynamic viscosity.
14. ASTM D 5293, Standard test method for apparent viscosity of engine oils between -5 and -35 °C using the cold-cranking simulator.
15. ASTM D1298, Standard test method for density, relative density (specific gravity) or API gravity of crude petroleum and liquid petroleum products by hydrometer method.
16. KS M ISO 2592, Determination of flash and fire points-Cleveland open cup method.
17. ISO 3679, Determination of flash point-Rapid equilibrium closed cup method.
18. ASTM D 2500, Standard test method for cloud point of petroleum products.
19. KS M 2021, Testing methods for oxidation stability of internal combustion engine oil.
20. ISO 20623, Petroleum and related products-Determination of the extreme-pressure and anti-wear properties of fluids-Four ball method.