

# 무단 투기 유류에 대한 유종 해석

임영관<sup>†</sup> · 이은율 · 성상래 · 김종렬

한국석유관리원

(2016년 8월 22일 접수, 2016년 9월 6일 심사, 2016년 9월 13일 채택)

## Analysis of Oil Species of Illegally Disposed Oil

Young-Kwan Lim<sup>†</sup>, Eun-Yul Lee, Sang-Rae Seong, and Jong-Ryeol Kim

Korea Petroleum Quality & Distribution Authority, Chungcheongbuk-Do 28115, Korea  
(Received August 22, 2016; Revised September 6, 2016; Accepted September 13, 2016)

### 초 록

무단 폐기물 투기로 인해 토양, 지하수, 하천 등 환경오염이 심각해지고 있다. 본 연구에서는 J시에서 발생된 무단 투기 유류를 분석함으로써 어떤 유종인지를 분석하였다. 물, 고형불순물, 유류 혼합물 형태를 전처리하여 균질한 유류 성분을 얻은 뒤, 물성분석, 원소분석, 및 가스크로마토그래피를 이용해 분석한 결과, 11.8%의 산소함량, -6 °C의 유동점, 크로마토그램의 패턴 결과 식물성기름으로 판단하였다. 또한 어떤 식물성 기름인지 알기 위해 HPLC를 이용해 구성성분을 분석한 결과, LLO, OOL, POL이 높은 비율로 분석되어졌으며, 이는 대두유가 주성분이면서 다른 식물성 기름의 혼합형태인 폐유로 최종 판단하였다. 본 연구를 통해 향후, 불법 투기되는 유류에 대한 유종 구분 및 오염원인자 판단을 위해 활용 가능할 것으로 판단된다.

### Abstract

The contamination in soil, underground water and river environment became serious due to illegal waste dumping. In this study, our research group analyzed the oil species of illegally disposed oils from J City. After pretreating the mixture of oil, water and solid phases to obtain homogeneous phase components, the physical property analysis, atom analysis, and gas chromatography were performed. From the results showing 11.8% of oxygen content, -6 °C of pour point and chromatogram pattern, the contaminated oil was identified as a vegetable one. High performance liquid chromatography (HPLC) analysis was also performed in order to know what kind of vegetable oil was, and the ratio of LLO, OOL and POL was found to be high indicating that the disposed oil is majorly the used soybean oil with some vegetable oil mixtures. This study can be used for identifying contaminants for oils from the illegal waste dumping.

**Keywords:** illegal waste dumping, water pollution, soil contamination, GC-MS, oil species

## 1. 서 론

산업화와 생활수준의 향상으로 인해 해마다 폐기물 발생이 증가하고 있다[1]. 이러한 폐기물은 크게 일반 가정에서 발생하는 생활폐기물과 산업체 현장에서 발생하는 산업폐기물로 구분이 되며, 국내에서 발생되고 있는 폐기물의 적절한 관리를 위해 폐기물관리법과 건설폐기물 재활용촉진에 관한 법률 등을 제정하여 전산관리하고 있다[2,3].

이러한 폐기물 중 유기폐기물은 2005년에 77%, 2009년에 47%, 2013년에 14%에 해당하는 양을 해양배출로 처리를 했었지만, 런던협약과 해양환경관리법 개정을 통해 2014년부터 해양배출이 전면 금지되었고[4], 이에 따라 국내에서 발생하는 모든 폐기물은 육지에서 처리되어지고 있다. 일반적으로 폐기물 형태에 따라 매립장을 통한 매립,

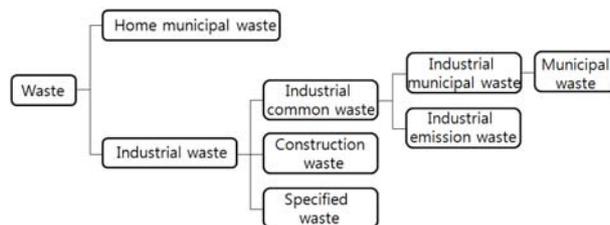


Figure 1. Classification of waste for home and industry waste.

소각장을 통한 소각되어지고 있지만, 자원의 재활용이 중요시되면서, 음식쓰레기와 같은 유기물질의 퇴비화, 사료화와 함께 재활용시설로 반입되어 재활용되고 있으며, 정제연료유, 재생연료유 생산[5,6], 고품 연료화[7] 등 폐기물의 자원화 등이 이루어지고 있다.

Table 1은 2014년도 국내 폐기물 발생현황 중 종량쓰레기봉투와 재활용폐기물 및 음식물쓰레기 현황을 보여주고 있다[8].

하루에 5만 톤 가깝게 발생하는 국내 폐기물은 적절한 경로 및 처리를 통해 유용하게 사용될 수 있으나 처리비용 절감 등의 이유로 불

<sup>†</sup> Corresponding Author: Korea Petroleum Quality & Distribution Authority, Chungcheongbuk-Do 28115, Korea  
Tel: +82-31-789-0362 e-mail: yklm92001@yahoo.co.kr

Table 1. The Status of Domestic Wastes in 2014

	Garbage bag (ton/day)			Recyclable waste (ton/day)			Food waste (ton/day)	Total (ton/day)
	Combustible	Incombustible	Total	Lubricant	Waste food oil	Total		
Seoul	3,072.9	133.2	3,206.1	0	8	3,226.7	3,181.0	3,226.7
Busan	923.7	146.2	1,069.9	0	0	1,540.60	787.3	1,540.6
Daegu	855.2	595.5	1,450.7	0	0.4	832.6	616.1	832.6
Incheon	706.6	227.4	934	0	0	171.2	640.8	171.2
Gwangju	348.8	126	474.8	0	0.4	342.7	498.9	342.7
Daejeon	495.1	59.3	554.4	0	0	496.7	400.1	496.7
Ulsan	486.7	175.3	662	0.1	1.1	429.5	357.8	429.5
Sejong	62.5	31.3	93.8	0	0.1	10.6	15.8	10.6
Gyeonggi	4,469.7	659.6	5,129.3	0	26.6	2,344.8	2,978.0	2,344.8
Kangwon	858.5	236.9	1,095.4	4.6	0.2	686.8	321.9	686.8
Chungbuk	532.7	242.6	775.3	0	0.2	806.3	361.4	806.3
Chungnam	940.9	194.1	1,135.0	0.3	0.4	883.9	463.9	883.9
Cheonbuk	645.7	112	757.7	0	0.3	391.5	555.8	391.5
Cheonnam	946.4	173.5	1,119.9	0.2	0.6	462.1	427.7	462.1
Gyeongbuk	1,184.9	463.9	1,648.8	0	0.1	538.2	608.3	538.2
Gyeongnam	1,340.5	387.9	1,728.4	0	1.9	903	821.1	903
Jeju	199.6	229.5	429.1	0	7.9	361.5	185.6	361.5
Total	13,221.5	13,221.5	22,264.6	5.2	48.2	14,428.7	13221.5	49,914.8

Table 2. Test Sample of Petroleum Product for TPH Analysis

Petroleum product (grade)	Manufacturer	Petroleum product (grade)	Manufacturer
Gasoline (1)	Hyundai Oilbank	Byproduct (2)	LG Chem
Kerosene	GS Caltex	Lubricant (engine oil)	SK Lubricant
Jet A-1	SK Energy	Illegal disposed oil	J City Hall Supply
Diesel	SK Energy	Soybean oil	Ottogi

법 매립, 투기하는 경우가 발생되고 있다[9]. 이러한 불법 처리로 환경 오염이 발생되고 있으며, 고상폐기물보다 이동성이 좋은 액상폐기물의 경우, 빠른 속도로 수질, 토양, 지하수를 오염시킬 수 있다[10].

액상폐기물 중 유류(폐유)는 비중이 물보다 낮아 수면에 유막을 형성하며, 1 mL의 유류가 약 1000 m<sup>2</sup>의 유막 생성을 할 수 있으며[11], 형성된 유막은 빛과 공기의 투과율을 감소시켜 수중식물의 광합성 저해 및 물속에 녹아 있는 산소의 양을 감소시켜 어패류의 호흡에 지장을 준다. 또한 수온 및 지온을 상승시켜 토양의 이상환원을 촉진하여 근부 현상(proximal phenomenon)을 일으키며 토양의 흡착성(adsorbability), 양이온교환능력(cation exchange capacity) 등 물리성을 악화시킨다[12]. 또한 이러한 유류가 농지를 오염시킬 경우 직접 식물체에 부착 또는 침투되어 농작물의 생육장해를 일으킨다[13].

폐기물 무단투기의 경우, 폐기물이 어떤 물질인지 파악을 해야 쉽게 폐기물의 회수 및 정화가 가능하며, 정화책임 등과 같은 법적 문제와도 연계시킬 수 있다. 하지만 무단투기 유류에 대한 분석연구는 거의 보고된 바가 없으며, 단지 유종의 구분과 판단을 위해 유종별 화학적 지문분석 등에 대한 연구가 이루어지고 있다[14].

본 연구는 J시에서 농수로에 무단으로 투기된 유류에 의해 벼의 생육에 문제가 발생되어 농지 소유주에 의해 신고되어졌으며, 농수로 정화 및 무단 투기자를 찾기 위해 일부분을 전처리 및 분석을 통해

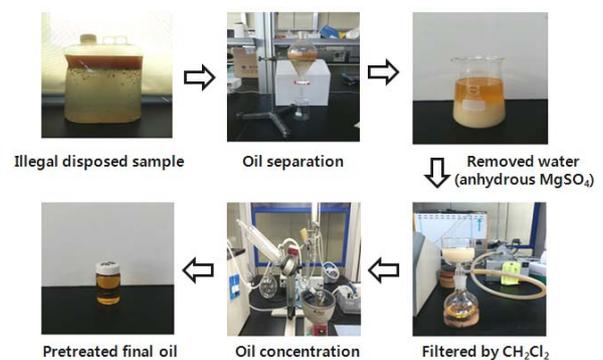


Figure 2. Diagram of pretreatment of illegally disposed oil.

어떤 유종인지를 확인하였다.

## 2. 실험

### 2.1. 사용 유류 시료

본 연구에서 사용된 무단 투기 유류시료는 J시 농수로에서 회수된 시료로 J시청에서 제공되었다. 그리고 유종확인을 위해 비교시험에

Table 3. Sectional TPH Analysis from Petroleum Product

	Density (kg/m <sup>3</sup> )	Kinematic viscosity (mm <sup>2</sup> /sec)	Pour point(°C)	Flash point (°C)	Atom ratio (%)			
					C	H	N	O
J city sample	935.4	50.61	-6	87	73.2	11.4	0.7	11.8
Gasoline (1)	709.5	0.4745	less than -57	less than 0	83.0	13.2	0.5	0.62
Kerosene	794.2	1.149	-56	38	84.9	14.4	0.7	0.25
Jet A-1	797.0	1.185	-54	43	83.9	14.4	0.4	0.15
Diesel	827.3	2.395	-22	45	83.7	14.2	0.2	0.6
Byproduct (2)	920.8	1.352	less than -57	51	87.2	11.0	0.2	1.2
Lubricants	843.0	35.79	-17	226 <sup>a</sup>	85.4	14.9	0.3	0.3
Soybean oil	924.8	32.08	-7	over than 110	76.8	12.0	0.3	11.3

a : check by Cleveland open cup method

사용된 대표적 석유제품과 식물성기름은 Table 2와 같다.

## 2.2. 시료 전처리

물, 유류, 고형불순물 등이 혼합된 시료로부터 순수한 유류시료를 얻기 위해 분별깔때기를 통해 비중이 낮은 유류층을 층분리시켜 분리한 뒤, 유류층에 함유된 수분을 제거하기 위해 무수황산나트륨(anhydrous Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)을 넣어 교반하였다. 이 유류 혼합물을 필터를 통해 고형이물질, 무수황산나트륨, 황산나트륨 수화물(Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> · nH<sub>2</sub>O)을 제거한 뒤, CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>를 이용해 유류성분을 추출하였다. 추출에 사용된 CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>는 회전진공농축기(rotary vacuum evaporator)를 통해 제거한 뒤, 최종 균질한 형태의 유류 시료를 얻었다(Figure 2).

## 2.3. 밀도, 동점도, 인화점, 유동점, 원소분석

연료의 밀도는 Anton Parr사의 DMA 5000을 이용해 ASTM D 4052 방법에 따라 분석하였다. 측정방식은 진동식 U자관법을 이용하여 시료를 15 °C에서 일정한 주파수 조건에서 진동주기의 변화를 측정함으로써 밀도로 환산 처리되는 방식을 통해 시료의 밀도를 측정하였다[15].

동점도(kinematic viscosity)는 Cannon Instrument Company사의 CAV 2000 Series의 Cannon 1257 유리제 모세관식 튜브를 이용하여 40 °C에서 ASTM D 445 방법에 따라 측정하였다. 모세관식 튜브는 3개의 벌브(bulb)로 구성되어 있으며, 벌브사이에 온도센서가 있어 시료 약 15 mL를 흡입 상승시킨 뒤, 시료가 하강하는 시간을 온도센서로 감지함으로써 동점도가 측정된다[16].

인화점(flash point)은 SETA사의 Flash Series 7 기기를 사용하였으며, KS M ISO 3679 방법에 따라 분석하였다. 2 mL의 시료를 밀폐된 시료용기 속에서 예상 인화점보다 약 3 °C 낮은 온도에서 60 s 동안 평형 조건 하에 1 °C마다 시험불꽃에 시료의 증기를 노출시켜 인화되는 최저온도를 측정하였다[17].

유동점(pour point)은 ASTM D 2500 방법에 의해 TANAKA사의 MPC-602를 이용하여 측정하였다. 4 mL의 시료를 용기에 채운 뒤, 45 °C로 가온한 후, 분당 1 °C의 속도로 냉각하면서 시료가 유동하지 않는 유동점을 측정하였다[18].

원소분석은 Thermo사의 Flash 2000, 1112 Series 기기를 사용하였으며, ASTM D5291-10 (2015) 방법에 따라 분석하였다. 2~3 mg의 시료를 텀 캡슐에 넣고 핀셋으로 집어 밀폐한 뒤 산소로 연소시켜 GC 컬럼을 통과한 기체를 TDC 검출기로 분석하여 C, H, N의 함량을 측정하였다[19].

## 2.4. TPH 가스크로마토그래피 분석

토양 내에 함유된 TPH (total petroleum hydrocarbon)를 가스크로마토그래피(Agilent Technologies사의 7890A GC System)를 이용해 패턴을 분석하였다. 컬럼은 Agilent 127-1012 (DB-1, 10 m × 0.10 mm × 0.10 micron)을 이용했으며, 오븐온도는 초기온도 50 °C에서 2 min간 유지시킨 후, 8 °C/min 속도로 310 °C까지 승온하여 10 min간 유지시킴으로 총 분석시간 44.5 min 동안 분석하였다. 검출기는 FID를 이용하였으며, 이동기체는 He (0.4 mL/min)를 이용하였다[20].

## 2.5. 고성능 액체크로마토그래피(HPLC) 분석

고비점 물질인 트리글리세라이드 성분을 분석하기 위해 HPLC (high performance liquid chromatography)는 YoungLin Instrument사의 ACME9000을 이용하였으며, 컬럼은 Altima HP C18, 검출기는 ELSA (Evaporative light scattering detector)를 이용하였다. 시료주입량은 10 µL, 이동상(acetone : MeCN = 9 : 1)은 1.5 mL/min 속도로 분석하였다. ELSA 분석조건은 질소 유속 2.0 L/min, 튜브 온도 80 °C에서 분석하였다.

## 2.6. 가스크로마토그래피-질량분석기 분석

유류 내 구성성분은 GC-Mass를 이용해 분석하였으며, 본 연구에서 사용된 가스크로마토그래피는 Agilent 7890A GC System을 이용하였으며, 질량분석기는 Agilent 5975C Inert XL EI/CI MSD 검출기를 이용하였다. 컬럼은 HP-1MS (30 m × 250 µm × 1.0 µm, 19091S-733)을 이용하였으며, 이동상 기체로 헬륨(He)을 1.0 mL/min의 속도로 흘려 보냈다. 분석시료는 1 µL (10 : 1 split mode)를 주입하였으며, 오븐온도는 초기 60 °C에서 2 min간 유지 후, 10 °C/min의 속도로 300 °C까지 승온시킨 후 300 °C에서 10 min 동안 유지시켜 총 60 min 동안 분석하였다. GC-MS로 분석된 물질은 Lilly library를 이용해 성분분석을 하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 유류 시료에 대한 물성 분석

무단 투기된 유류가 어떤 유종인지 확인하기 위해 앞서 표현된 시료 전처리(2.2 시료전처리)를 통해 노랑빛을 지니는 균질한 유류 시료를 얻었다. 이 무단 투기된 유류의 유종을 확인하기 위해 현재 국내에서 많이 유통되고 있는 유류제품에 대한 밀도, 동점도, 인화점, 유동점, 원소분석을 실시하였다. 일반적으로 인화점의 경우, 유종마다 분

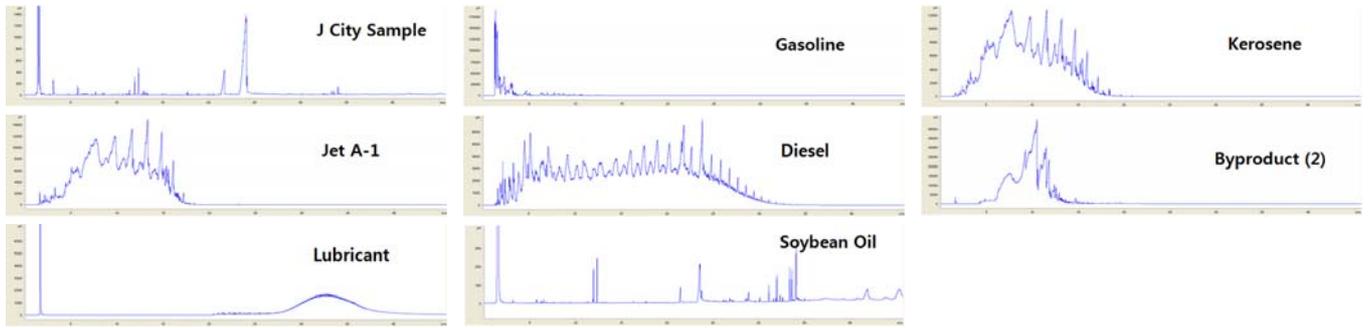
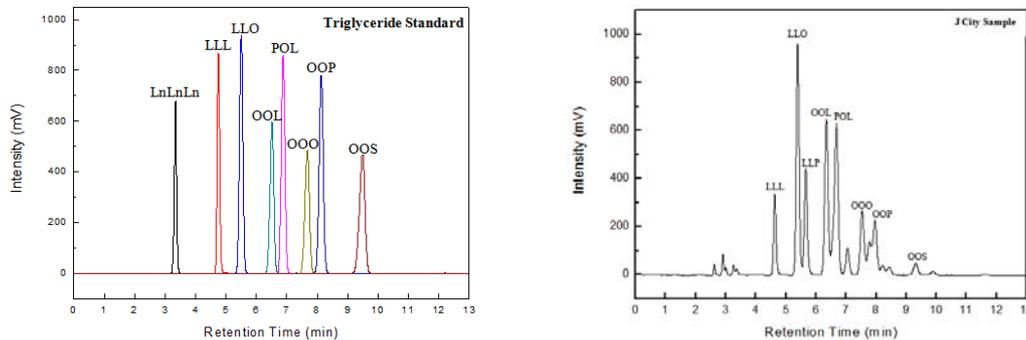


Figure 3. Chromatogram of TPH standard and domestic distributed petroleum.



Ln : linolenic acid methyl ester, L : linoleic acid methyl ester, O : oleic acid methyl ester, P : palmitic acid methyl ester, S : stearic acid methyl ester

Figure 4. Analysis of component in J city sample by HPLC.

석장비와 분석조건이 다르지만, 본 연구에서는 유종의 인화점 비교를 위해 신속평형법(Rapid equilibrium closed cup method)을 통해 인화점을 분석하였다. 또한 전처리된 유류 시료의 양을 고려하여, 적은 양으로도 분석 가능한 밀도, 동점도를 측정하였으며, 석유제품인지, 동·식물유인지 구분하기 위해 원소분석을 실시하였다. 일반적으로 석유제품의 경우, 대부분의 성분이 탄화수소화합물이기 때문에 탄소와 수소의 함량이 높은 반면, 트리글리세라이드(triglyceride)가 주성분인 동식물유는 산소가 약 10% 차지하고 있다. 또한 동식물유 중에서 동물성지방과 식물성기름의 가장 큰 차이점은 저온유동성이다. 즉 상온에서 동물성지방은 대부분 고체나 젤 형태인 반면 식물성기름은 액체상태이기 때문에 이를 확인하기 위해 유동점을 측정하였다.

분석결과, 밀도는 935.4 kg/m<sup>3</sup>, 동점도는 50.61 mm<sup>2</sup>/sec, 인화점은 87 °C 결과를 얻었다. 원소분석 결과, 탄소가 73.2%, 수소가 11.4%, 질소가 0.7%, 산소가 11.8%로 분석되었다. 따라서 원소분석 결과를 토대로 트리글리세라이드 형태의 동·식물성유로 판단되며, 유동점 측정결과 -6 °C를 보였기 때문에 상온에서 액체형태의 식물성기름으로 판단된다.

### 3.2. 석유제품 및 시료의 TPH분석

본 연구에서 사용된 유류 제품의 TPH 패턴을 알아보기 위해 가스 크로마토그래피를 이용해 유류 원액을 분석하였다. 분석결과, 가솔린은 짧은 탄화수소화합물로 구성되어져 있기 때문에 머무름시간이 짧았으며, 반면에 윤활유의 경우, 고비점의 긴 탄화수소화합물로 구성되어져 있기 때문에 매우 늦은 머무름시간을 보였다. 그리고 식용유(대두유)의 경우, 일반 석유제품보다 구성성분이 적기 때문에 검출피크(영역)이 매우 좁으며, 특정 물질들(polyunsaturated glycerides)이 검출되는 것을 확인하였다. 하지만 식용유와 무단 투기 유류의 경우, 감도

(intensity)가 다른 유종에 비해 매우 낮았으며, 이는 이들 구성물질의 주성분인 트리글리세라이드가 고비점 물질이기 때문에 300 °C의 오븐조건에서 컬럼을 통과하지 못한 것으로 판단된다.

### 3.3. HPLC를 통한 시료 구성성분 분석

무단 투기 유류의 주성분은 트리글리세라이드로 고비점이기 때문에 가스 크로마토그래피에서 분석되지 않은 것으로 판단하여 HPLC를 이용하여 주성분을 분석하였다. 트리글리세라이드 구성성분 분석결과, LLL이 8%, LLO가 31%, LLP가 9%, OOL이 23%, POL이 27%, OOO가 6%, OOP가 5%, OOS가 3%로 분석되었으며, 그 밖의 트리글리세라이드로 보이는 성분들이 관찰되었다. 이는 기존 우리 연구팀에서 발표한 대두유의 구성성분과 매우 유사하였으며[21], 이를 통해 본 연구에서 사용된 무단 투기 유류시료는 대두유가 주성분이면서, 다른 식물성기름이 혼합된 형태의 폐유로 판단된다[21].

### 3.4. GC-MS를 통한 시료 구성성분 분석

300 °C의 오븐조건에서 무단 투기 유류의 주성분은 볼 수 없었지만, Figure 3에서와 같이 일부 성분들이 GC상에서 검출되었기 때문에 이들 물질이 어떤 성분인지 확인하기 위해 GC-MS를 이용해 분석하였다.

분석결과 2,4-decadienal이 2.7%, 트리글리세라이드를 구성하고 있는 지방산(fatty acid)인 palmitic acid가 3.9%, oleic acid가 43.8%, stearic acid가 40.7%, linoleic acid가 5.2%로 분석되어졌으며, 그 밖의 트리글리세라이드를 구성하고 있는 지방산과 흡으로부터 유래된 Si 화합물이 검출되었다. 2,4-decadienal의 경우, 식물성기름에는 포함되어져 있지 않지만 고온에서 linolenic acid가 알데하이드(aldehyde) 형태로 전환된 것으로 예상된다. GC-MS 분석결과는 고비점의 트리글리세

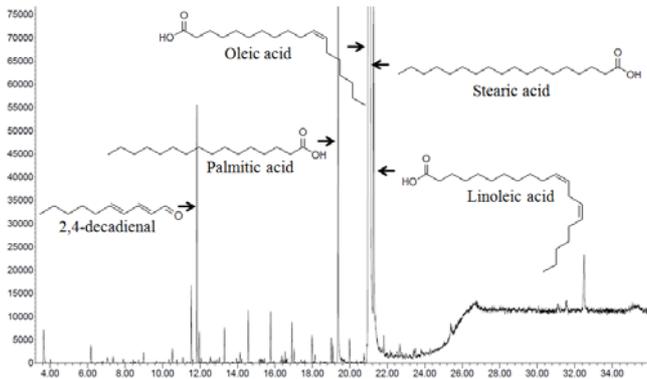


Figure 4. Analysis of component in J city sample by GC-MS.

라이드는 컬럼을 통과하지 못해 분석이 되지 않았으며, 저비점 물질, 즉 식물성기름의 사용과정에서 유래된 것으로 판단되는 유리지방산 (free fatty acid)과 알데하이드가 검출되었다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 J시청에서 제공된 무단 투기 유류에 대해 어떤 유종인지 확인하기 위해 수분과 고형불순물이 함유된 유류를 전처리함으로써 균질한 유류 시료를 확보하였다. 이렇게 전처리된 유류 시료의 유종을 확인하기 위해 국내 유통 중인 석유제품 및 식용유와 함께 비교분석을 실시하였다. 분석결과, 원소분석에서 산소함량은 11%를 보였으며, TPH 패턴분석 결과 식용유와 매우 유사한 결과를 얻었으며, 유동점이  $-6^{\circ}\text{C}$ 로 낮은 분석값을 보임으로써 식물성기름으로 판단하였다. 또한 어떤 식물성기름인지 확인하기 위해 HPLC를 이용해 분석한 결과, 대두유의 주성분인 LLO, OOL, POL이 높은 비율로 분석되어졌으며 그 밖의 트리글리세라이드로 보이는 성분들이 검출되었다. 일부 GC상에서 분석된 저비점 성분의 구조를 확인하기 위해 GC-MS를 이용해 분석한 결과, 트리글리세라이드로부터 유래한 유리지방산과 알데하이드 성분이 분석되었다. 이로부터 J시에서 무단 투기된 유류는 대두유가 주를 이루지만, 한 종류의 식물성기름이 아닌 다양한 식물성기름으로부터 된 폐식용유로 최종 판단하였다.

본 연구결과를 통해 추후 무단 투기되는 유류에 대한 유종분석을 통해 토양오염조사 및 수질정화에 효과적으로 적용할 수 있으며, 불법 투기자를 찾음으로써 정화책임 등 법적 제재를 가할 수 있으며, 최종적으로 청정한 토양 및 수계환경 유지에 활용 가능할 것으로 판단된다.

#### References

1. S. Kim and A. Mori, Revisiting the extended producer responsibility program for metal packaging in South Korea, *Waste Manag.*, **39**, 314-320 (2015).
2. Wastes Control Act, Act No. 8789, Ministry of Environment, Korea.
3. Act on the Promotion of Saving and Recycling of Resources, Act No. 897, Ministry of Environment, Korea.
4. J. S. Chae, S. A. Choi, Y. H. Kim, S. C. Oh, C. K. Ryu, and T.

- I. Ohm, Experimental study of fry-drying and melting system for industrial wastewater sludge, *J. Hazard. Mater.*, **313**, 78-84 (2016).
5. O. Arpa and R. Yumrutas, Experimental investigation of Gasoline-Like Fuel obtained from waste lubrication oil on engine performance and exhaust emission, *Fuel Process. Technol.*, **92**, 197-204 (2010).
6. G. J. Song, Y. C. Seo, D. Pudasainee, and I. T. Kim, Characteristics of gas and residues produced from electric arc pyrolysis of waste lubricating oil, *Waste Manag.*, **20**, 1230-1237 (2010).
7. Z. Liu and G. Han, Production of solid fuel biochar from waste biomass by low temperature pyrolysis, *Fuel*, **158**, 159-165 (2015).
8. Korea Environmental Corporation, Environmental Statistics Information, <http://stat.recycling-info.or.kr>.
9. J. S. Kim, J. Y. Kim, and S. Y. Lee, Effects of Residential Environmental Characteristics on Illegal Waste Disposal Behaviors, Conference of Korea Institute of Ecological Architecture and Environment (2011).
10. H. A. van der Sloot, D. S. Kosson, and A. van Zomeren, Leaching, geochemical modelling and field verification of a municipal solid waste and a predominantly non-degradable waste landfill, *Waste Manag.*, DOI: 10.1016/j.wasman.2016.07.032.
11. R. D. Delaune, W. H. Patrick, and R. J. Buresh, Effect of crude oil on a Louisiana *Spartina alteriflora* salt marsh, *Environ. Pollut.*, 21-23 (1979).
12. C. Park, Environmental Chemistry of Agriculture, DongHwa Technology Publishing Co., Korea, 59-160 (1989).
13. C. H. Chanineau, J. L. Morel, and J. Oudo, Phytotoxicity and plant uptake of fuel oil hydrocarbons, *J. Environ. Qual.*, **26**, 1478-1483 (1979).
14. C. Yang, Z. Yang, G. Zhang, B. Hollebone, M. Landriault, A. Wang, P. Lambert, and C. E. Brown, Characterization and differentiation of chemical fingerprints of virgin and used lubricating oils for identification of contamination or adulteration sources, *Fuel*, **163**, 271-281 (2016).
15. ASTM D 4052, Standard Test Method for Density and Relative Density of Liquids by Digital Density Meter.
16. ASTM D 445, Standard Test Method for Kinematic Viscosity of Transparent and Opaque Liquids (and Calculation of Dynamic Viscosity).
17. KS M 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. ASTM D 5291, Standard Test Methods for Instrumental Determination of Carbon, Hydrogen, and Nitrogen in Petroleum Products and Lubricants.
20. Korean Standard for the Analysis of Contaminated Soil, The Ministry of Environment, Korea.
21. Y. K. Lim, C. H. Jeon, E. S. Yim, and S. C. Shin, Determination of triglyceride and biodiesel in diesel fuel using high performance liquid chromatography and evaporative light scattering detection, Proceedings of Fall Meeting of Korean Society of Industrial and Engineering Chemistry, Ansung, Korea (2007).