

## 토양오염 원인자 판단을 위한 항공유 분석

임영관<sup>†</sup> · 정충섭 · 한관욱 · 장영주

한국석유관리원 석유기술연구소  
(2013년 8월 7일 접수, 2013년 12월 5일 심사, 2013년 12월 6일 채택)

### Analysis of Jet Fuel for the Judgment of Soil Polluter

Young-Kwan Lim<sup>†</sup>, Choong-Sub Jeong, Kwan-Wook Han, and Young-Ju Jang

Fuel Technology R&D Center, Korea Petroleum Quality & Distribution Authority, Chung-buk 363-883, Korea  
(Received August 7, 2013; Revised December 5, 2013; Accepted December 6, 2013)

석유누출 사고로 인해 토양과 지하수 오염이 점차 증가되면서, 토양환경에 대한 중요성이 늘고 있다. 토양오염은 다른 환경오염에 비해 많은 정화비용과 긴 정화기간이 요구된다. 이런 이유로 토양오염이 발생되면, 어떤 오염물질에 의해 토양이 오염되었으며, 토양정화의 책임이 있는 오염자가 누구인지 법적 분쟁이 많이 발생되고 있다. 본 연구에서는 토양오염을 발생시킬 수 있는 항공유에 대한 물성 분석과 함께 항공유 내의 특정 첨가제를 분석함으로써 등유와 항공유의 구분법을 찾아내었다. 특히 발색제에 의해 등유 내 화학적 식별제만 발색되었으며, GC-MS 분석결과 항공유에서만 산화방지제와 금속불활성제가 분석되었다. 이는 추후 항공유에 의한 토양오염 야기 시, 어떤 석유제품에 의한 오염인지 쉽게 판단이 가능할 것이다.

The significance of soil environment is gradually increased due to the soil and underwater contamination caused by petroleum leak accidents. It requires a high cost and long period for the purification of soil compared with other environmental matrix such as water and air. For this reason, it has been embroiled in a legal conflict to find the pollution source and charge of cleanup. In this study, we analyzed the physical properties and typical additives of jet fuel to search a method that can distinguish kerosene and jet fuel contamination. In particular, the chemical marker in kerosene was visualized by the developer and the additives in jet fuel, such as antioxidant and metal deactivator were detected by GC-MS. This study could be used to judge petroleum source at soil contaminant accident sites.

**Keywords:** jet fuel, kerosene, soil contamination, physical properties, additive

## 1. 서 론

산업의 빠른 발전으로 인해 많은 양의 원유 또는 정제된 석유제품들이 생산, 운반, 저장 등의 과정에서 사고 또는 고의적인 방출에 의해 생태계로 유출되어 다양한 형태의 환경오염을 유발시키고 있다. 이러한 오염물질들은 오랜 시간 동안 토양 내에 축적되어 토양오염의 형태가 산업화와 개발에 의해 더욱 다양하고 복합적인 오염특성을 지니게 되었다[1].

토양오염의 주된 원인으로는 유해한 화학물질의 대량생산과 다양한 폐기물의 기하급수적 증가, 폐광산 오염물질의 확산 등이 있는데 그중 가장 심각한 문제를 일으키는 것은 유류사고에 의한 오염이다[2]. 이러한 토양오염을 유발시키는 유류저장시설로는 유류비축기지, 정유공장의 원유저장시설, 군사시설, 송유관시설, 주유소 등이 있다. 이들

시설은 우리의 생활과 밀접한 관련이 있어 주변에서 흔히 볼 수 있으며, 사용량의 증가에 따라 오염사고 또한 빈번하여 토양환경뿐만 아니라 우리의 건강을 심각하게 위협하고 있다[3].

석유의 생성원리는 정확하게 밝혀지지는 않았지만 유기생명체들이 지하에 묻혀 오랜 기간 동안 분해되어 현재의 석유형태로 전환되었다고 유추하고 있다[4]. 다시 말하면 수백, 수십만 년의 오랜 생성기간을 통해 안정한 형태의 탄화수소화합물로 전환되었기 때문에, 누유사고 시, 석유가 분해되기까지 상당한 시간이 요구된다[5].

석유제품은 그 제품의 특성을 유지하기 위해 정유사에서 증류를 하여 특정 유분을 컷팅 함으로써 제품을 생산하게 된다. 또한 이러한 제품의 성능을 향상시키기 위해 적정 첨가제를 일정비율로 혼합하여 유통시키고 있다. 일반적으로 이들 석유제품은 가스크로마토그래피를 이용해 탄화수소화합물의 분자량 차이, 즉 TPH (total petroleum hydrocarbon) 패턴 분석을 통해 어떤 유종인지 추측이 가능한 것으로 알려져 있다[6].

하지만 2001년 녹사평역 토양오염사고와 한국중단송유관(trans korea pipeline, TKP)의 누유로 인한 토양오염 등은 최종적으로 항공유에 의한 토양오염으로 판단되어졌지만, 이런 판단을 얻기까지 어떤 유종에 의해 오염이 되었으며, 오염원인자가 누구인지에 대한 논쟁이

<sup>†</sup> Corresponding Author: Korea Petroleum Quality & Distribution Authority  
Fuel Technology R&D Center  
33 Yangcheong 3-gil, Ochang-eup, Cheongwon-gun, Chung-buk 363-883, Korea  
Tel: +82-31-789-0362 e-mail: yklim92001@yahoo.co.kr

많았다[7]. 이는 항공유를 등유 유분에 목적에 맞는 기능성 첨가제를 넣어 만들기 때문에 밀도, 비점범위, 발열량 등 일반적 물성과 함께 가스크로마토그래피를 이용한 TPH 패턴이 등유와 유사하기 때문에 항공유와 등유의 구분이 어렵기 때문이다. 이러한 이유로 항공유를 취급하는 공항, 군부대, 또는 송유관(KTP) 설치부지 인근에서 유류오염이 발생되면, 이들 오염원이 등유인지 항공유인지 구별하기가 힘들어 이에 대한 정확책임이 명확하게 구분되지 못하고 있다.

국내 항공유로는 Jet A-1, JP-5, JP-8이 사용되고 있으며, Jet A-1은 민간항공기의 원료, JP-5는 해군 항공유, JP-8은 공군 항공유로 사용되고 있다. 항공유의 경우, 다른 연료와 다르게 영하 수십도의 저온에 노출되는 경우가 많으며, 이러한 조건하에서 연료의 공급에 문제가 없도록 빙결방지제(anti-icing additive)를 넣고 있으며, 그밖에 산화방지제(antioxidant), 금속불활성제(metal deactivator), 부식방지제(corrosion inhibitor), 정전기방지제(static dissipater), 열안정향상제(thermal stability improver) 등을 일정 비율로 혼합하여 사용하고 있다[8].

Table 1은 국내에서 생산, 판매되어지는 등유와 항공유에 대한 규격을 나타내고 있다[9,10].

서울시 보건환경연구원의 미량물질분석팀은 GC-MS를 이용해 항공유와 지하수 내에 함유된 폐쇄계통의 산화방지제를 분석한 연구를 수행하였으며[11], B. E. Smith 그룹에서는 등유 및 항공유에 대한 물리적 특성을 분석하였다[12]. 하지만 이들 연구들의 한계는 등유와 항공유에 대한 구분법 등은 보여주지 못하였으며, 등유와 항공유의 구분방법에 대한 연구는 현재까지 거의 보고된 바가 없다. 본 연구에서는 국내에서 취급되어지고 있는 석유제품 중 등유와 항공유를 대상으로 물성분석과 함께 첨가제의 정보를 분석함으로써 등유와 항공유를 구분할 수 있는 방법을 찾아냄으로써 추후 항공유에 의한 토양오염이 발생할 경우, 어떠한 유종에 의한 토양오염인지 쉽게 판단하기 위한 연구를 수행하였다.

## 2. 실험

### 2.1. 사용 연료유

본 연구에서 사용된 연료유로서 등유, Jet A-1, JP-8은 SK에너지 제품을 이용하였으며, JP-5는 해군 유류부대로부터 얻은 시료를 사용하였다.

### 2.2. 석유제품 물성 분석

본 연구에서 사용된 석유제품의 물성은 석유 및 석유대체연료 사업 법령집에서 제시하고 있는 석유제품의 품질규격 및 세계 항공유 품질 규격을 중심으로 분석하였다.

#### 2.2.1. 밀도, 인화점, 증류성상 및 저온겉보기점도 분석

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.

인화점(flash point)은 TANAKA사의 ATG-7 기기를 사용하였으며, ASTM D 56 방법에 따라 분석하였다. 50 mL의 시료를 밀폐된 시료 용기 속에서 분당 3 °C의 속도로 승온시켜, 0.5 °C마다 시험불꽃에 시료의 증기를 노출시켜 인화되는 최저온도를 측정하였다.

증류성상은 TANAKA사의 AD-6 Auto Distillation Tester를 이용해 ASTM D 86 방법에 따라 분석하였다. 시료를 100 mL 취한 뒤, 4.5 mL/min

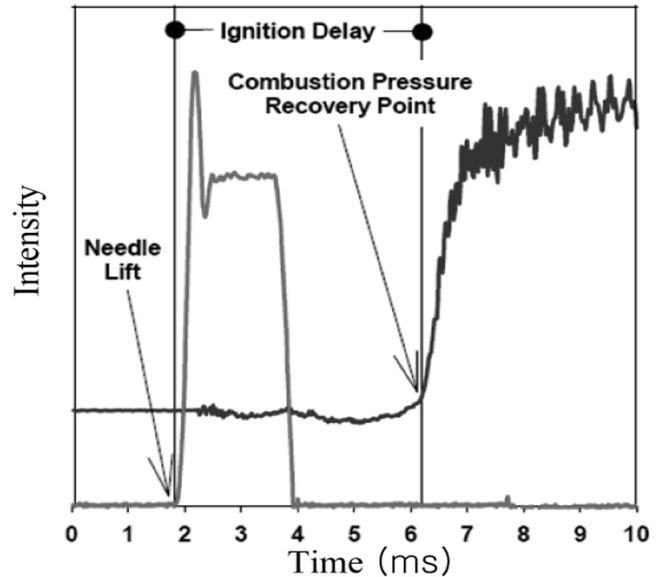


Figure 1. Analysis of derived cetane number using IQT (ignition quality tester).

의 속도로 승온시켜, 초기증류온도(initial boiling point, IBP)를 측정한 뒤, 증류량이 10 vol% 단위로 받은 다음 해당온도를 측정하였으며, 97 vol%가 증류되었을 때 종말점 온도로 설정하였다. 기기 내에 기압계가 장착되어 측정값은 실제 측정값을 1기압에서 측정된 것으로 보정된 값을 보여준다.

저온겉보기점도(cold cranking simulator)는 Cannon사의 CCS-2100 기기를 사용하였으며, ASTM D 5293 방법에 따라 분석하였다. 50 mL 시료를 용기에 넣은 뒤, -20 °C에서 회전자의 속도와 점도와의 함수 관계를 이용하여 저온겉보기점도를 측정하였다.

#### 2.2.2. 유도세탄가, 황분 및 발열량 분석

유도세탄가(derived cetane number, DCN)는 SETA사의 IQT-LM을 이용하였으며, ASTM D 6890 방법에 준하여 유도세탄가를 측정하였다. 580 °C로 유지된 챔버에 일정량(0.0985 g/inj)의 연료를 분사한 뒤, 연료가 연소되는 시간을 측정하여 유추하는 방법으로, 연료를 15번 분사, 연소시킴으로 연료라인과 챔버 내에 잔류하고 있는 불순물과 전시료를 제거시킴과 동시에 분석장비의 안정화를 시킨 뒤, 16번째부터 47번째(총 32번)까지 연료분사를 통해 측정된 유도세탄가의 평균을 구함으로 재현성과 반복성을 높였다. Figure 1은 IQT (ignition quality tester)를 이용해 연료의 유도세탄가를 측정하는 원리를 그래프를 통해 표현하였다. 연소챔버 내에 연료가 분사됨으로 인해 압력변화가 일어나며, 연료의 발화로 인해 또 다른 압력증가가 일어난다. 이 두 압력변화 시간, 즉 연소지연시간(ignition delay time, ID)을 측정함으로써 식 (1)을 통해 유도세탄가가 계산된다. 본 식은 ASTM D 6890에 표현된 식으로, 세탄가가 다른 표준연료들을 실제 엔진과 IQT를 이용해 비교 실험함으로써 유도된 경험식이다.

$$DCN = 4.460 + 186.6/ID \quad (1)$$

황분은 HORIBA사의 SLFA-1800H를 이용해 ASTM D 4294 방법에 따라 측정하였다. 시료 5 mL를 시료컵에 채운 뒤, X-선 형광법(X-ray fluorescence spectrometry, XRF)을 이용해 시료 내 황 함량을 분석하였다.

Table 1. The Specification of Jet Fuel in Korea[9,10]

	Kerosene	Jet A-1	JP-5	JP-8	Test Method
<b>Composition</b>					
Appearance		Clear & Bright	Clear & Bright	Clear & Bright	
Acidity, total (mg, KOH/g)		Max. 0.015	Max. 0.015	Max. 0.015	D3242
Aromatics (Vol%)		Max. 25.0	Max. 25.0	Max. 25.0	D1319
Sulphur, total (wt%)	Max. 0.01	Max. 0.30	Max. 0.30	Max. 0.30	D4294
Sulphur, mercaptan (wt%)		Max. 0.0030	Max. 0.002	Max. 0.002	D3227
Colour, saybolt	Min. 21	Report	Report	Report	D4952
<b>Volatility</b>					
Initial BP (°C)		Report	Report	Report	D86
10% Recovery (°C)		Max. 205.0	Max. 205 (186)	Max. 205 (186)	D86
20% Recovery (°C)		Report	Report	Report	D86
50% Recovery (°C)		Report	Report	Report	D86
90% Recovery (°C)	Max. 265	Report	Report	Report	D86
Final BP (°C)		Max. 300.0	Max. 300 (330)	Max. 300 (330)	D86
Distillation residue (vol%)		Max. 1.5	Max. 1.5	Max. 1.5	D86
Distillation loss (vol%)		Max. 1.5	Max. 1.5	Max. 1.5	D86
Flash point (°C)	Min. 38	Min. 38.0	Min. 60	Min. 38	D56
Density @ 15 (kg/L)		0.775~0.840	0.788~0.845	0.775~0.840	D1298
Vapour pressure @ 37.8 (kPa)			48.0~36.0	51.0~37.0	D323
<b>Fluidity</b>					
Freezing point (°C)		Max. -47.0	Max. -46	Max. -47	D2386
Viscosity @ -20 °C (cst)		Max. 8.0	Max. 8.5	Max. 8.0	D445
<b>Combustion</b>					
Net heat of comb (MJ/kg)		Min. 42.80	Min. 42.6	Min. 42.8	D3338
Cetane index (calculated)		25.0	Report	Report	D976
Smoke point (mm)	Min. 21	Min. 19.0	Min. 19.0	Min. 25.0	D1322
Hydrogen content			Min. 13.4	Min. 13.4	D3343
<b>Corrosion</b>					
Copper strip (2h@ 100 °C)	Max. 1 (3h@ 50 °C)	Max. 1	Max. 1	Max. 1	D130
Thermal stability					
JFTOT ΔP (mmHg)		Max. 25.0	Max. 25	Max. 25	D3241
Tube deposit rating (visual)		< 3	< 3	< 3	
<b>Contaminants</b>					
Existent gum (mg/100 mL)		Max. 7	Max. 7.0	Max. 7.0	D381
Particulates (mg/L)		Max. 1.0	Max. 1.0	Max. 1.0	D2276
Filtration time (min)			Max. 15	Max. 15	
Water reaction interface				Max. 1b	D1094
MSEP rating			Min. 90	Min. 90	D3948
<b>Other</b>					
Conductivity (pS/m)					D2624
<b>Additives</b>					
Anti-icing (vol%)		Agreement	0.10~0.15	0.10~0.15	D5006
Antioxidant (ppm)			17.2~24.0	Required	
Corrosion inhibitor		Optional	Required	Required	
Metal deactivator		5.7	Agreement	Agreement	
Static dissipator				Required	
Marker (mg/L)	Over 10				

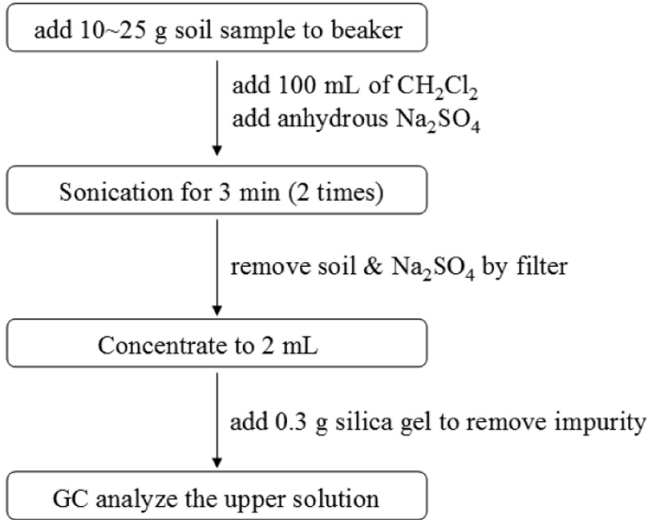


Figure 2. Pretreatment procedure of contaminated soil by TPH.

발열량은 Parr사의 6400 기기를 사용하였으며, ASTM 3338 방법에 준해 분석하였다. 시료 0.3~0.4 mL를 시료컵에 채운 뒤, isoperibol 타입으로 30 °C에서 3번의 발열량을 분석한 결과값의 평균을 얻었다.

2.3. TPH 시료 전처리 및 TPH 패턴 분석

석유제품을 토양에 약 1000 mg/kg이 되도록 혼합시킨 뒤, 토양오염 공정시험기준에 따라 TPH 성분을 추출하였다[13]. 석유제품이 혼합된 토양(약 15 g)을 디클로로메탄(dichloromethane)에 넣고, 물을 제거하기 위해 무수황산나트륨을 넣었다. 이 토양혼합물을 3 min간 초음파로 추출하는 과정을 2번 반복한 뒤, 필터를 통해 토양과 무수황산나트륨, 황산나트륨 수화물을 제거한 뒤, TPH 성분이 추출된 디클로로메탄을 2 mL로 농축하고, 불순물 흡착을 위해 실리카겔 0.3 g을 넣고 교반한 뒤, 상층액을 가스크로마토그래피를 이용하여 분석하였다.

토양 내에 함유된 TPH를 가스크로마토그래피(Agilent Technologies사의 7890A GC System)를 이용해 패턴을 분석하였다. 컬럼은 HP-ULTRA 2 (19091B-102, 25 m × 0.2 mm × 0.33 μm)를 이용했으며, 오븐온도는 초기온도 50 °C에서 2 min간 유지시킨 후, 12 °C/min 속도로 310 °C까지 승온하여 22 min간 유지시킴으로 총 분석시간 45.7 min 동안 분석하였다. 검출기는 FID를 이용하였으며, 이동상기체는 N<sub>2</sub> (0.4 mL/min)를 이용하였다.

2.4. 식별제 및 첨가제 분석

등유와 항공유에는 각각의 목적에 맞게 첨가제를 일정비율 혼합하여 유통시키고 있다. 국내에서 유통되고 있는 등유는 경유연료에 불법 혼입을 방지하기 위해 일정비율의 식별제(Unimark 1494DB)를 넣어 유통시키고 있다. 이는 화학적 식별제(chemical marker)로써 발색제와 반응을 일으켜 보라색으로 발색되는 특성을 지니고 있다[14]. 등유와 항공유의 구분을 위해 연료에 발색제를 첨가(1 : 1), 발색시킴으로써 첨가제의 유무를 판단함으로써 등유와 항공유를 구분하였다.

항공유에 포함되어져 있는 빙결방지제와 금속불활성제는 가스크로마토그래피-질량분석기(GC-MS)를 이용하였다. 등유와 항공유는 그 구성성분이 몇 백가지 이상이기 때문에 이들 구성성분 중 특정 첨가제를 분석하기 전 SPE (solid phase extraction)를 통해 전처리 한 후 GC-MS를 이용해 분석하였다. SPE 전처리는 석유제품 10 mL를 Watchers Flash Cartridge Si 60 (15~40 μm, 5 g)에 넣은 뒤, 헥산(hexane) 20 mL를 흘려 보내 석유 내 비극성 석유성분을 제거한 뒤, 20 mL의 디클로로메탄을 이용해 첨가제를 추출한 뒤, 추출된 첨가제가 포함된 디클로로메탄을 회전감압증류기(rotary vacuum evaporator)를 이용해 1 mL로 농축하였다.

이렇게 농축된 시료는 GC-MS를 이용해 분석하였으며, 본 연구에서 사용된 가스크로마토그래피는 Agilent 7890A GC System을 이용하였으며, 질량분석기는 Agilent 5975C Inert XL EI/CI MSD 검출기를 이용하였다. 컬럼은 DB-Wax (30 m × 250 μm × 0.25 μm, 1590.63712)를 이용하였으며, 이동상 기체로 헬륨(He)을 0.5 mL/min의 속도로 흘려 보냈다. 분석시료는 1 μL (10 : 1 split mode)를 주입하였으며, 오븐온도는 초기 50 °C에서 2 min간 유지 후, 5 °C/min의 속도로 210 °C까지 승온시킨 후 210 °C에서 26 min 동안 유지시켜 총 60 min 동안 분석하였다. GC-MS로 분석된 물질은 Lilly library를 이용해 성분 분석을 하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 등유 및 항공유의 물성 분석

본 연구에서 사용된 연료유의 대표적인 물성을 알아보기 위해 석유 및 석유대체연료사업법에서 고시한 석유제품의 품질기준에 의거해 분석하였다. Table 2는 등유와 항공유에 대한 물성을 분석한 결과를 보여주고 있다. 이들 연료는 모두 투명하여, 육안으로는 그 유종을 판단할 수 없었으며, 황함량 분석결과, 등유는 2.8 ppm인 반면, 항공유인 Jet A-1, JP-5, JP-8는 각각 215.6, 120.9, 176.5 ppm으로 등유에 비해 황 함량이 월등히 높은 것으로 확인되었다. 중류성상 분석결과, 본 연

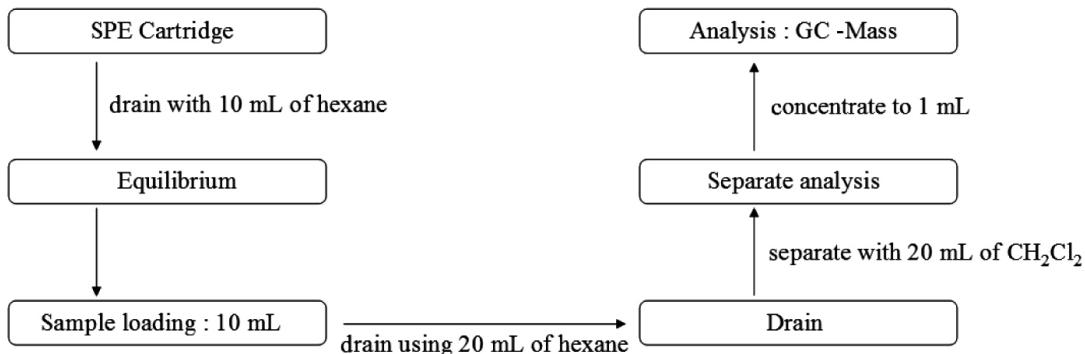
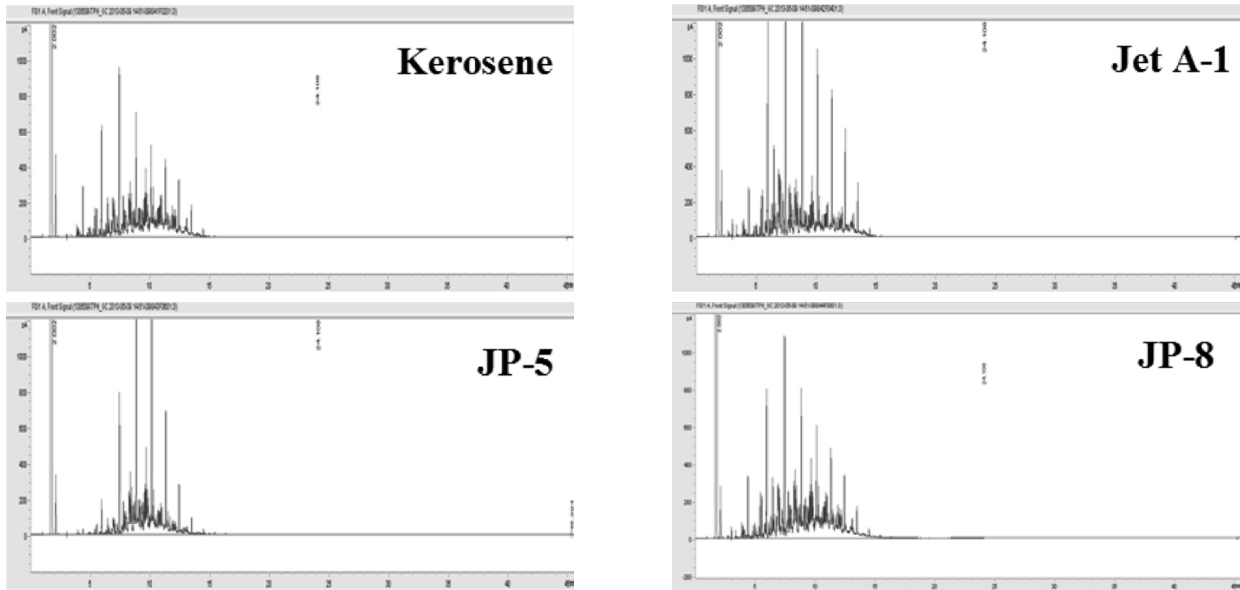


Figure 2. Flow diagram of the sample preparation.

**Table 2. Physical Properties of Kerosene and Jet Fuel**

	Kerosene	Jet A-1	JP-5	JP-8
Appearance	clear	clear	clear	clear
Sulphur, total (wt%)	0.0028	0.2156	0.1209	0.1765
Initial BP (°C)	155.7	152.0	181.1	157.4
10% Recovery (°C)	173.9	167.7	189.3	171.7
50% Recovery (°C)	199.2	192.7	201.8	198.2
90% Recovery (°C)	232.6	236.3	227.2	236.3
Final BP (°C)	251.2	256.3	257.2	262.8
Distillation residue (vol%)	1.2	1.2	1.2	1.2
Distillation loss (vol%)	1.1	1.0	1.0	0.6
Flash point (°C)	51.5	48.0	58.0	58.0
Density @ 15 (kg/L)	0.7967	0.7917	0.7981	0.7985
Viscosity @ -20 °C (cst)	51	173334	137095	92870
Net heat of comb (MJ/kg)	46.1712	46.0451	46.2078	46.0597
Derived cetane number	46.42	47.38	49.00	43.59



**Figure 3. Chromatograms of TPH in kerosene and jet fuel.**

구에 활용된 항공유는 등유성상을 기본으로 해서 생산하였기 때문에 등유와 유사한 결과를 보일 것으로 예상하였지만, JP-5는 초류점 (initial boiling point)과 10% 증류온도가 등유나 Jet A-1, JP-8보다 높게 측정되었다. 인화점, 밀도, 발열량 분석결과, 인화점은 48~58 °C, 밀도는 0.7917~0.7985 kg/L, 발열량은 46.0451~46.2078 MJ/kg로 등유와 항공유의 분석값이 거의 유사하였다. -20 °C에서 저온겔보기점도를 측정한 결과, 등유는 51 cst를 보인 반면 항공유는 92870~173334 cst로 등유에 비해 점도가 매우 높은 것을 알 수 있었다. 이는 항공유에 함유된 다양한 극성첨가제에 의해 점도증가가 발생된 것으로 추측된다. 유도세탄가는 JP-5가 49로 등유에 비해 다소 높게, JP-8은 43.59로 다소 낮게 측정되었지만, 등유와 항공유의 유도세탄가 차이는 그리 크지 않았다.

**3.2. 연료유 내의 TPH 분석**

등유와 항공유를 구성하고 있는 TPH를 분석하기 위해 TPH에 오염

되지 않은 토양에 석유제품을 일정비율(약 1000 mg/kg)로 혼합시킨 후, 토양공정시험기준에 따라 디클로로메탄으로 추출, 전처리하여 가스 크로마토그래피를 이용해 분석하였다. Figure 3은 본 연구에서 사용한 등유와 항공유에 대한 TPH 분석결과를 보여주고 있다. 항공유는 등유성상에 용도에 알맞은 적정 첨가제를 혼합하였기 때문에 TPH 분석결과, 등유와 항공유의 패턴이 유사한 것을 확인할 수 있었다. 하지만 항공유 중, JP-5의 TPH의 폭이 등유, Jet A-1, JP-8 보다 좁은 것을 알 수 있었으며, 검출시간이 약간 늦은 것을 확인하였다. 이는 증류성상 분석에서 초류점이 다른 유류보다 다소 높은 것과 일치하는 결과를 보여준다.

**3.3. 식별제 및 첨가제 분석**

등유와 항공유의 구분을 위해 발색제를 이용하여 식별제의 유무를 확인하였다. Figure 4와 같이 식별제가 함유된 등유만 보라색으로 발색

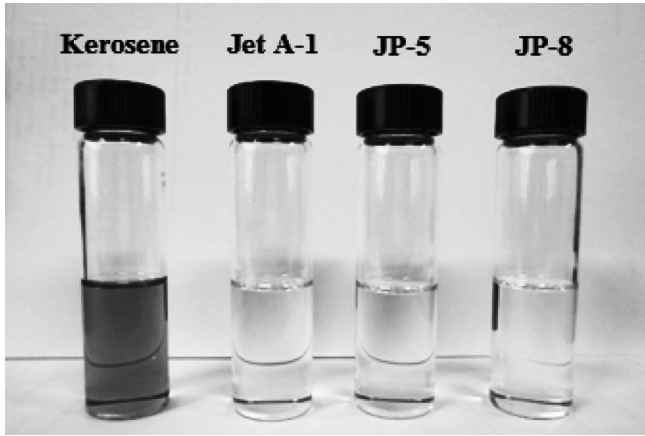


Figure 4. Visualized by developer.

되었고, 항공유에는 식별제(Unimark 1494DB)가 함유되어 있지 않기 때문에 발색이 되지 않음을 확인할 수 있었다. UV-Vis 분광광도계를 이용해 등유 내 식별제의 함량을 분석한 결과 16 ppm의 식별제가 함유되어 있는 것으로 확인되었다.

다음으로는 GC-MS를 이용하여 항공유에 함유된 특정 첨가제의 유무를 확인하였다. 앞서 언급했듯이 항공유는 영하 수습도에서도 얼지 않아야 하기 때문에 빙결방지제가 혼합되어 있고, 금속의 활성을 저지하는 금속불활성제가 포함되어 있으며, 연료의 산화방지를 위해 산화방지제 등이 포함되어 있다. 연료를 직접 GC-MS에 주입해 분석할 경우, 수많은 연료성분에 의해 미량의 첨가제를 분석하기 어려워, SPE를 이용해 연료의 비극성 성분을 먼저 제거한 뒤, 극성 부분을 추출하여 GC-MS를 이용해 분석하였다. 분석결과, 시료주입 후 38 min 동안은 등유와 항공유의 큰 차이가 없었지만, 38 min부터 항공유는 등유에 포함되지 않은 산화방지제로서 다양한 페놀형태(2,6-dimethyl phenol, methyl ethyl phenol, trimethyl phenol, diethyl phenol, methyl tert-butyl phenol, di-isopropyl phenol 등)의 산화방지제가 분석

되었다. 또한 항공유에서만 3,4,5-trimethylphenyl methyl- carbamate와 같은 금속불활성제가 분석되었으며, 2-isopropyl phenyl oxylate 구조의 연료첨가제가 분석되었다. Figure 5는 등유와 항공유에 대한 GC-MS 데이터를 보여주고 있으며, 유종의 첨가제 차이를 보여주고 있는 38 min 이후의 스펙트럼을 나타내었다.

#### 4. 결 론

항공유는 등유성상에 다양한 기능성 첨가제를 혼합시킴으로써 만들어지는데, 이들 물성은 크게 등유와 다르지 않기 때문에 토양오염 원인자 규명을 위한 항공유와 등유를 구분하는데 있어서 한계가 있다. 본 연구에서는 등유와 항공유를 구분하기 위해 등유, Jet A-1, JP-5 및 JP-8의 물성 분석, TPH 분석 및 각 연료의 특정 첨가제를 분석하였다.

분석결과, 대부분의 물성에서는 등유와 항공유의 물성이 유사한 분석값을 보인 반면, 항공유는 등유에 비해 높은 황함량과 저온에서의 높은 점도를 확인하였다. 그리고 항공유 중 JP-5는 초류점이 등유나 항공유에 비해 높으며, 이로 인해 TPH 패턴도 차이를 보이는 것을 확인하였다. 등유 및 항공유 내에 함유된 첨가제를 분석한 결과, 등유에만 법정식별제가 함유되어 발색제에 의해 등유만 발색되었으며, GC-MS를 이용해 첨가제를 분석한 결과 시료주입 후, 38 min부터 등유에는 포함되지 않았던 페놀형태의 다양한 산화안정제와 carbamate 형태의 금속불활성제 및 oxylate형태의 연료첨가제가 분석되었다.

본 연구결과를 토대로 항공유를 취급하고 있는 공항이나 군부대 시설, 또는 송유관시설 인근에서 항공유에 의해 오염된 토양의 오염원 규명 및 정화책임자 결정에 있어 적극 활용 가능할 것이라 판단된다.

#### 참 고 문 헌

1. S. A. Ha and M. Y. You, A study on treatment of a contaminated soil by oil using continuous system of high temperature heating element and microwave, *J. Soil & Groundwater Env.*, 17, 8-12 (2012).

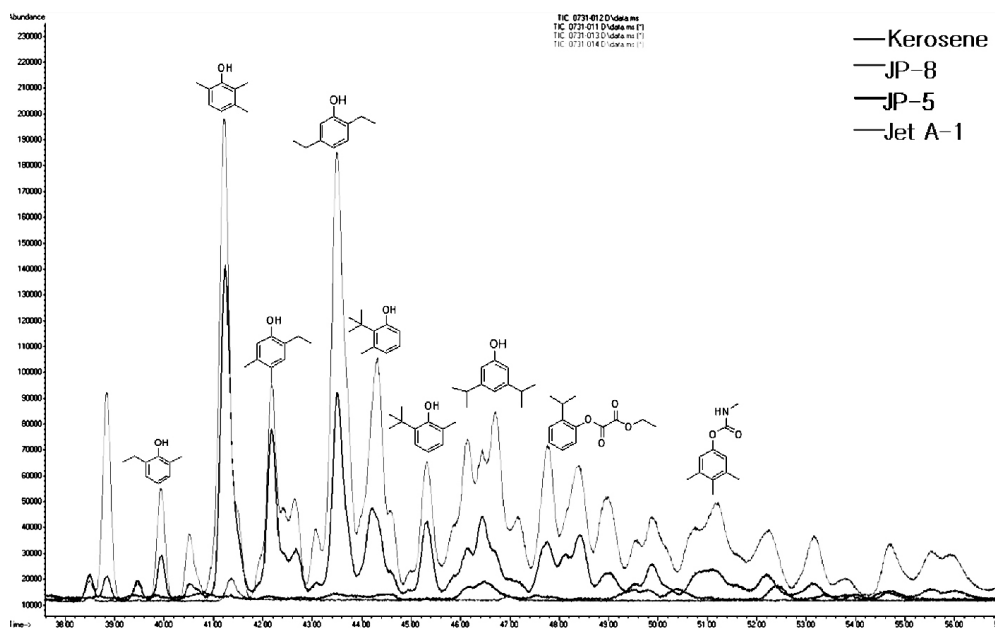


Figure 5. Determination of anti-oxidant and metal deactivator by GC-MS.

2. X. Y. Liao, T. B. Chen, H. Xie, and Y. R. Liu, Soil as contamination and its risk assessment in areas near the industrial districts of Chenzhou City, Southern China, *Environ Int.*, **31**, 791-798 (2005).
3. E. R. Park, K. R. Lee, C. I. Seo, and C. H. Cho, A field study on the evaluation of slurping and bioaugmentation effect in petroleum contaminate area, *J. Soil & Groundwater Env.*, **17**, 32-38 (2012).
4. G. P. Glasby, A biogenic origin of hydrocarbons : an historical overview, *Resour. Geol.*, **56**, 85-98 (2006).
5. T. Sayara, M. Sarrà, and A. Sánchez, Effect of compost stability and contaminant concentration on the bioremediation of PAHs-contaminated soil through composting, *J. Hazard. Mater.*, **179**, 999-1006 (2010).
6. Y. K. Lim, C. S. Jung, and K. W. Han, Analysis of physical properties and total petroleum hydrocarbon for soil contamination, *Appl. Chem. Eng.*, **23**, 618-623 (2012).
7. Environmental damage report of U.S army base (<http://usacrime.or.kr>) (2008).
8. S. E. Taylor, Component interactions in jet fuels : fuel system icing inhibitor additive, *Energy & Fuels*, **22**, 2396-2404 (2008).
9. World Jet Fuel Specifications with Avgas supplement, 2008 edition.
10. Business act for quality standard, inspection method and inspection fee of petroleum product, Ministry of Commerce, Industry and Energy, 2011-302.
11. I. S. Bea, J. S. Yun, J. H. Jung, and S. W. Eom, *Seoul Research Institute of Public Health & Environment (SIHE)*, **38**, 477-482 (2002).
12. D. J. Cookson, C. P. Lloyd, and B. E. Smith, Investigation of the chemical basis of kerosene specification properties, *Energy & Fuels*, **1**, 438-447 (1987).
13. Soil Environment Conservation Act, Degree of the Ministry of Environment-463.
14. Y. K. Lim, D. K. Kim, E. S. Yim, and S. C. Shin, Determination of visible marker in petroleum using HPLC, *Appl. Chem. Eng.*, **21**, 306-310 (2010).