한국화재소방학회 논문지, 제25권 제6호, 2011년
[논 문]
J. of Korean Institute of Fire Sci. & Eng.
Vol. 25, No. 6, 2011

유류화재증거물의 정성적 분석 기법 연구

Qualitative Analysis of Ignitable Liquid Residues in Extracts from Fire Debris Samples

한동훈† · 이성룡 · 김수영

Dong-Hun Han† · Sung-Ryong Rhee · Soo-Young Kim

중앙소방학교 소방과학연구실
(2011. 3. 23. 접수/2011. 12. 5. 수정/2011. 12. 9. 채택)

요 약

다양한 원인과 우연에 의해 발생하는 화재에 관하여, 화재조사관이 현장의 증거물, 화재패턴으로부터 화재원인을 밝혀내기란 쉽지 않다. 본 연구는 다양한 화재 원인 중의 하나인 유류화재와 관련된 화재증거물에서 잔존물을 추출하여 분석하는 것이다. 본 연구에서는 ASTM E 1618에 근거한 유류화재 증거물 속에 잔존유류를 분석하는 기술(다양한 전처리법을 통한 가스크로마토그래프/매스스펙트로미터 분석)을 이용하여 시중에서 유통되는 유류를 먼저 분석한 후, 유류화재 실험을 통한 증거물을 채집하여 분석을 수행하였다. 화재 후 채집 시간, 전처리 방법에 따라 토탈이온크로마토그램의 패턴이 달라지는 것을 관찰하였다.

ABSTRACT

It is very difficult for fire investigators to analyze the fire debris in fire scene to figure out the reason of fire. ASTM E 1618 method with Gas Chromatoghraphy-Mass Spectrometry was used to analyze the ignitable liquid residues in fire debris prepared in our laboratory. According to fire cases, sample handling procedure methods and fire debris store time, different total ion chromatograms were obtained. We wish the study will be helpful to fire investigators to figure out the reason of fire.

Key words : Ignitable liquid residues (ILR), Gas Chromatoghraphy-Mass Spectrometry (GC/MS), ASTM E 1618

1. 서 론

오늘날의 화재는 참으로 다양한 원인과 우연에 의해서 발생한다. 이러한 화재의 원인을 밝혀내기란 쉽지는 않다. 그러나 화재조사관은 화재현장의 타고 남은 물건과 재, 화염이 지나간 패턴만으로 화재원인을 밝혀 내야할 때가 많다. 우리나라는 아직 소방연구의 충분한 인프라를 가지지 못하였고 그 중 화재조사 · 감식 · 감정의 분야도 그 연구의 수준과 규모는 선진국에 비할 바가 되지 못한다.

본 연구의 주제는 다양한 화재 원인 중에 하나인 유류(발화성 액체)와 연관된 감정 활동에 관한 것이다. 유류 화재 현장에 화재조사관이 도착하여 제일 먼저 할 수 있는 것은 화재 패턴을 관찰하는 것이다. 유류를 바닥에 뿌린 후에 불을 낸 경우에는 일반적으로 진한 풀 형태(pool-shaped pattern)의 패턴을 관찰할 수 있다. 아울러 후각을 사용한 유류 특유의 냄새를 확인하여야 한다. 일차적인 확인이 끝났다면 이제 발화성 액체가 포함되어 있을 것으로 추정되는 화재증거물로부터 장비나 다른 무언가를 통해 분석해야한다. 일반적으로 알려져 있는 확인법은 전자가스검지기, 유류감지견, 고체 흡착제 등이 있다.[1] 그리고 화재조사관이 발화성 액체 확인을 위해 보편적으로 사용하는 것은 색변화로 확인하는 일회용 가스검지관이다. 이 방법은 사용하기 전에 가스검지관의 양끝을 자른 후에 손펌프에 검지관을 꽂은 후 일정량의 기체를 빨아들인 후에 색의 변화를 관찰한다. 아울러 유류화재와 관련된 현장 감식 및 감정에 관한 절차는 이미 여러 문헌에서 잘 정리하고 있다.[1-3]

캐나다의 노만 그룹에서는 유류감지견, 흡착제 색변

† E-mail: hdongh1@korea.kr

화, 흡착제를 이용한 GC/MS 분석, 흡착제를 이용하지 않은 GC/MS 분석을 통해 각각의 방법을 비교하였다.[4] 화재 원인 물질로는 페인트시너, 가솔린, 캠프 연료였다. 각각의 실험을 통해 흡착제보다는 감지견이 훨씬 우수하다는 점, 유류 감지견이 대부분의 경우에 유류의 잔존 유무를 확인을 할 수 있음을 보여주었다. 또한 화재증거물을 실험실로 가져와서 GC/MS 분석을 하는 것이 유류 잔존물을 확인하는 가장 정확한 방법임을 명시하였다.

유류가 포함된 화재증거물은 적절한 전처리 방법을 선택하여야지만 정확한 분석이 가능하다. 먼저 화재증거물에서 냄새로 이미 발화성 물질이 다량 포함되었다고 생각되면 용매를 사용하여 바로 추출한 후, 농축의 과정없이 바로 GC/MS 장비로 주입하여 분석이 가능하다. 만약 이 경우에 GC/MS에 충분한 물질 확인 패턴 및 피크(peak)가 나타나지 않으면 질소 및 아르곤 가스를 이용하여 증발을 통한 농축의 과정을 거친 후에 다시 GC/MS로 주입하여 발화성 물질을 확인한다.

화재증거물 속에 발화성 물질이 미량 존재한다면 다른 전처리 방법을 시도하여야 한다. 상용적으로 판매되고 있는 흡착제의 역할을 하는 activated charcoal을 사용하는 것이다. Activated charcoal의 경우 가루로 된 형태 또는 스트립 형태가 있다. 가루의 경우 작은 백에 넣어 실을 달아 사용할 수 있고, 스트립의 형태는 옷핀을 사용하여 화재증거물이 있는 통에 넣어 사용한다. 그리고 충분한 휘발성 증기가 캔 내부에 존재한다면 바로 캔 위의 구멍으로 가스타이트 실린지를 넣어 증기를 취하여 분석 장비로 바로 분석할 수 있다.

또한 화재증거물에 온도를 가하면서 진공을 걸어 휘발성을 증가시키거나 양압을 가하여 발화성 액체 잔유물을 흡착제가 있는 튜브로 흡착(농축)시키는 방법은 양압법 또는 음압법이 있는데 실제로 ASTM 규격에는 activated charcoal을 튜브에 넣는 법을 주로 다루고 있으나 activated charcoal 대신에 상용적인 Tenax 튜브도 사용이 가능하다. 또한 SPME법을 통해 화재증거물을 전처리하여 GC/MS로 주입할 수 있는데 이 경우도 SPME만을 위한 주입장치가 필요하다. 이와같이 다양한 전처리 법이 있으나 적절한 것을 선택하여 유류 잔존물을 분석하는 것이 중요하다.[1-3]

ASTM E 1618-10[5]의 규격에서 요구하는 GC/MS 장비는 50에서 300 ºC의 범위에서 재현성 있는 온도 프로그램의 작동이 가능한 가스크로마토그래프와 m/z 40에서 m/z 400 사이의 질량분석이 가능한 질량분석기를 갖춘 장비로 일반적인 GC/MS 장비는 이 규격의 조건을 만족할 것으로 판단된다. 이 규격의 가장 큰 특징은 유류의 판정을 8개의 카테고리로 나눈 후, 분자 내 탄소 개수에 따라 또 다시 Light(C4-C9, C11 이상이 발견되지 않으면서 C4-C9의 주요패턴 존재), Midium(C8-C13의 주요 패턴이 발견되는 좁은 범위의 물질), Heavy(C8-C20 그 이상, 적어도 5개의 연속적인 노말알칸이 존재할 것, 또한 5개보다 작게 연속하는 노말알칸이 C11 이상부터 시작하는 좁은 범위의 물질)로 다시 나눈다. 8가지 카테고리는 다음과 같다.

- Gasoline-all brands
- Petroleum Distillates
- Isoparaffinic Products
- Aromatic Products
- Naphthenic- Paraffinic Products
- Normal-Alkanes Products
- Oxygenated Solvents
- Others-Miscellaneous

즉 본 규격에서는 위와 같이 화재현장의 증거물을 경유, 등유 등의 명칭을 사용하지 않는다. 예를 들면 일반적으로 경유, 등유의 경우 Heavy Petroleum Distillates로 판정하게 된다.

2. 연구방법

2.1 장비 및 재료

2.1.1 전처리 장비

전처리 장비의 경우 ASTM E 1413-07[6]에 따라 제작의뢰하였다(KnR사). Tenax TA의 전처리 과정은 ASTM E 1413에 근거한 양압법을 사용하였다. 양압법은 시료 용기의 온도는 40~150 ºC로 설정할 수 있고, 아르곤 또는 질소를 시료 용기로 주입하여 Tenax TA 튜브로 나오는 기체의 양이 분당 200~1500 cc/min로 조절이 가능하다. 본 연구에서는 주로 시료용기의 온도를 90 ºC로 하고 기체의 양은 500 cc/min으로 하여 30분 이상 Tenax 튜브에 발화성 액체 잔여물이 농축될 수 있도록 하였다. 본래 Tenax 튜브의 경우 재사용이 가능하나 이미 흡착된 물질의 탈착이 쉽지 않아 연습용을 제외하고는 Tenax 튜브는 1회 사용하였다.

2.1.2 GC/MS 장비

GC/MS와 자동열탈착장비는 Perkin Elmer사의 Clarus 600, Turbomatrix 350 ATD 모델을 사용하여 분석하였다. GC 컬럼의 경우 polymethylsiloxane으로 된 COL ELITE 30 m(총 길이), 두께 0.25 μm, 0.25 mm(내직경)를 사용하였다.

오븐의 온도는 주로 50 ºC에서 시작하여 280 ºC 또

는 300 ºC까지 점차적으로 상승시켰고 split ratio의 경우 농도에 20~2 : 1로 하였다. 캐리어 가스로는 99.999 %의 헬륨을 사용하였고 자동열탈착장비 등에 사용된 질소 가스도 99.999 %의 순도를 가지는 것을 사용하였다.

모든 실험은 ASTM E 1618-10에 근거하여 실험을 수행하였다.[5)]

2.1.3 시약 및 재료

추출을 위한 용매의 경우 HPLC, GC용 펜탄을 사용하였으며 실험 전에 용매의 상태를 확인하기 위해 GC/MS스펙트럼을 확인하였다. 휘발유, 등유, 경유 등의 석유제품은 무작위로 국내 4개 석유사 제품을 사용하여 분석하였다. 화재증거물에 잔존하는 발화성 액체 잔여물을 추출하기 위해 사용된 Activated Charcoal 스트립(ACS)은 미국의 Albrayco Technologies의 ACS를 사용하였다. 화재증거물을 캔에 두고 ACS를 사용하여 추출하였는데 이 때 500 mL, 1 L 부피의 금속캔이 주로 사용되었다.

대부분의 화재증거물은 전처리 전에 가스검지관을 통해 가스검지관의 색변화를 확인하였는데 손펌프 및 검지관은 일본의 Kitagawa사의 제품을 사용하였다.

2.2 시험 절차

화재실험을 통한 화재증거물에서 잔존 유류를 추출할 때에는 전처리 장비를 통해 Tenax TA 튜브에 흡착시킨 후 ATD에서 바로 탈착시켜 GC쪽으로 주입하여 분석 패턴을 얻었다. Tenax 튜브의 흡착온도는 기본적으로 90 ºC로 30분 이상으로 하였다.

또한 ACS를 사용할 경우 금속캔에 화재증거물을 두고, ACS를 실에 달아 캔 내부에 두고 밀폐한 후 80 ºC에서 16시간 동안 저장 한 후에, 1.5 mL의 펜탄을 사용하여 추출하여 바이알로 옮겨 오토샘플러를 통해 주입하였다.

용매 추출의 경우 샘플 부피 2배 정도의 용매를 붓고 5분 정도 담그어 둔 후 1 mL를 취하여 오토샘플러를 이용해 주입하였고 시료 속의 발화성 액체 잔여물의 농도가 낮을 경우 열 없이 질소 가스를 사용하여 증발 시켜 농축한 후 오토샘플러를 이용해 주입하였다. 기초자료를 얻기 위한 시료의 경우 대부분 묽혀서 사용하여 바로 주입하였다. 오토샘플러를 이용한 경우 모두 시료의 주입량은 1 μL로 하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 휘발유, 등유, 경유의 기초데이타 수집

휘발유, 등유, 경유는 석유 증류의 산물로써 증류탑

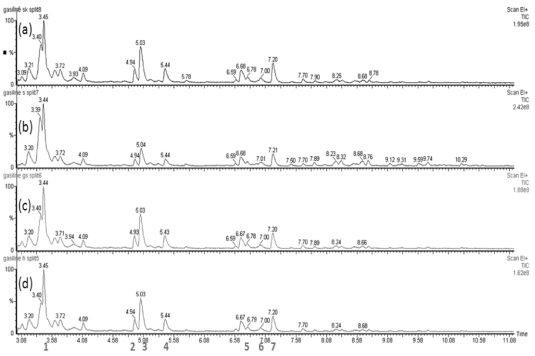

Figure 1. Total ion chromatograms of (a) gasoline A, (b) gasoline B, (c) gasoline C, (d) gasoline D.

에서 휘발유, 등유, 경유의 순으로 나온다. 이러한 물질들은 시중에서 쉽게 구매할 수 있어 화재원인물로 쓰일 가능성이 크다. 휘발유의 경우 대략 30~120 ºC의 끓는점을 가지는 물질로써 분자당 탄소의 개수가 4개~12개 정도되는 탄화수소의 혼합물이다. 시중 유통되는 4개 정유사의 휘발유를 구매하여 토탈이온크로마토그램을 얻었다(Figure 1). 분석 시료는 휘발유 20 μL를 1 mL의 펜탄에 넣고 혼합한 후 오토샘플러를 통해 1 μL를 GC/MS로 주입하였다. Figure 1에서 보는 바와 같이 휘발유에서 나오는 확인된 특성 물질을 그림속의 17번으로 표시하였다. 1번은 Toluene, 2번은 Ethylbenzene, 3번은 m&p-xylenes, 4번은 o-xylene, 5번은 1,3,5-trimethylbenzene, 6번은 2-ethyltoluene, 7번은 1,2,4-trimethylbenzene이다. 4개사의 휘발유 제품은 구성 물질이 크게 다르지 않음을 알 수 있다.

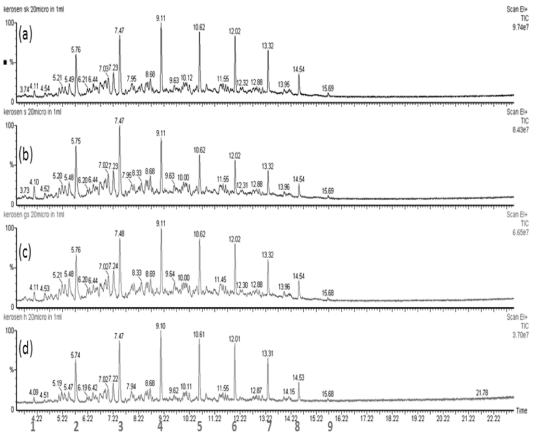

Figure 2. Total ion chromatograms of (a) kerosene A, (b) kerosene B, (c) kerosene C, (d) kerosene D.

등유의 경우 대략 150~280 ºC 사이의 끓는점을 가지는 물질로써 분자당 탄소의 개수가 6개~16개 정도되는 탄화수소의 혼합물이다. 시중 유통되는 4개 정유사의 등유를 구매하여 Figure 2와 같이 토탈이온크로마토그램을 얻었다. 분석 시료는 등유 20 μL를 1 mL의 펜탄에 넣고 혼합한 후 오토샘플러를 통해 1 μL를 GC/MS로 주입하였다. Figure 2에서 보는 바와 같이 등유에서 나오는 확인된 노말탄화수소 물질을 그림 속의 19번으로 표시하였다. 1번은 octane(C8), 2번은 nonane (C9), 3번은 decane(C10), 4번은 undecane(C11), 5번은 dodecane(C12), 6번은 tridecane(C13), 7번은 tetradecane (C14), 8번은 pentadecane(C15), 9번은 hexadecane(C16)이다. 휘발유와 마찬가지로 모든 등유제품의 경우도 구성 물질이 크게 다르지 않음을 알 수 있다.

경유는 휘발유, 등유보다 분자량이 큰 물질들로 이루어져 있으며 대략 230~350 ºC 사이의 끓는점을 가지는 물질로써 분자당 탄소의 개수가 8개~21개 정도되는 탄화수소 혼합물인데 평균 탄소개수가 12개 정도로 알려져 있다. 시중 유통되는 4개 정유사의 경유를 구매하여 Figure 3과 같이 토탈이온크로마토그램을 얻었다. 분석 시료는 경유 20 μL를 1 mL의 펜탄에 넣고 혼합한 후 오토샘플러를 통해 1 μL를 GC/MS로 주입하였다. Figure 3에서 보는 바와 같이 경유에서 나오는 확인된 노말탄화수소 물질을 그림 내의 114번으로 표시하였다. 1번은 octane(C8), 2번은 nonane(C9), 3번은 decane(C10), 4번은 undecane(C11), 5번은 dodecane (C12), 6번은 tridecane(C13), 7번은 tetradecane(C14), 8번은 pentadecane(C15), 9번은 hexadecane(C16), 10번은 heptadecane(C17), 11번은 octadecane(C18), 12번은 nonadecane(C19), 13번은 eicosane(C20), 14번은 heneicosane(C21)이다. 경유도 다른 4개 회사 제품의 특성 물질 및 패턴 등이 유사함을 알 수 있다. 휘발유와 경유의 경우 첨가제 등으로 인한 색의 차이는 있었으나 실제 토탈이온크로마토그램 상의 패턴 등은 유사하여 화재증거물에서 이러한 물질들이 추출되면 휘발유, 등유, 경유를 판정하는데 도움이 될 수 있다.

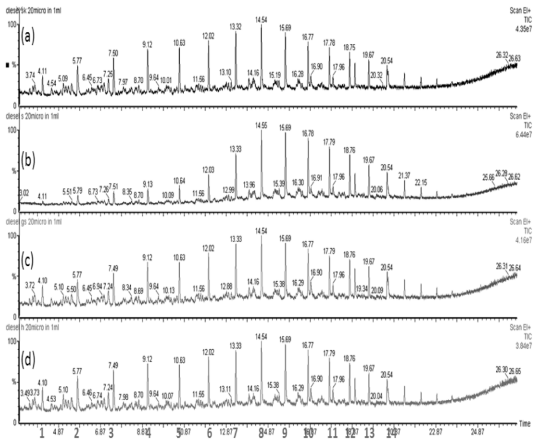

Figure 3. Total ion chromatograms of (a) diesel A, (b) diesel B, (c) diesel C, (d) diesel D.

3.2 등유포함 증거물의 분석

Figure 4는 장판에 250 mL의 등유를 뿌린 후 종이타올을 이용하여 불을 내어 화재가 진행되는 장면이다. Figure 5는 화재의 진행이 끝난 후의 사진이며 본 실험의 증거물을 수집하기 위해 주수를 하지 않고 화재가 끝날 때까지 기다렸다. Figure 6은 PE백에 탄화가 있는 장판 증거물을 넣고 가스검지관을 백에 일부 넣은 후 손펌프를 사용하여 가스검지관의 색변화를 관찰하였다. 가스검지관의 색변화로 인하여 발화성 액체 잔여물이 존재함을 알 수 있다. Figure 6과 같이 탄화가 있는 장판과 Figure 7의 탄화가 있는 종이의 경우 화재증거물로 사용되어 적절한 전처리과정을 거친 후 잔존하는 발화성 액체를 추출하여 GC/MS로 주입한 후

Figure 4. Fire experiment on a polymer mat with kerosene 250 mL.

Figure 5. The photograph after fire by kerosene.

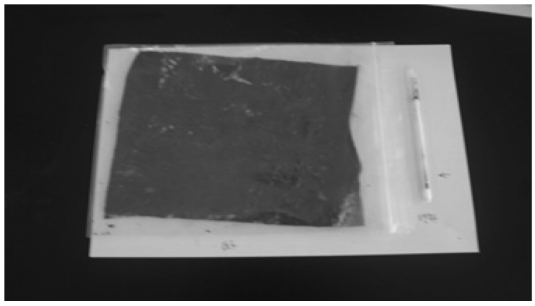

Figure 6. The identification of ILR by a colorimetric tube.

Figure 7. Partially fired papers for GC/MS analysis.

실험을 실시하였다.

먼저 실험은 Tenax 튜브를 사용하여 진행하였다. 화재증거물 속의 등유 잔여물을 추출하기 위해서 대략 20 cm × 5 cm 크기의 화재증거물을 가위로 잘라 알루미늄 호일로 싼 후 병에 넣어 90 ºC의 온도에서 질소 가스를 500 cc/min으로 가하면서 30분간 Tenax 튜브로 흡착시켰다. Tenax 튜브를 제거한 후 ATD에 꽂아 탈착온도 220 ºC로 하여 5분간 탈착시킨 후 GC로 주입하여 토탈이온크로마토그램을 얻었다. 본 실험을 위한 참고로 할 등유의 이온크로마토그램은 등유를 펜탄에 0.2 %로 묽힌 후 100 μL 킴와프스 종이에 묻혀 병속에 넣은 후 화재증거물과 동일한 조건으로 흡착시키고 분석하였다.

Figure 8(a)는 킴와프스 종이에 묽힌 등유를 묻힌 후 Tenax 튜브에 농축하여 얻은 등유의 토탈이온크로마토그램이다. 검출된 순서에 따라 피크에 해당하는 물질은 다음과 같다. 3.40분에 검출된 것은 heptane(C7), 4.13분 toluene(톨루엔), 5.13분 octane(C8), 6.91분 nonane (C9), 8.62분 decane(C10), 10.21분 undecane(C11), 11.69분 dodecane(C12), 13.07분 tridecane(C13), 14.35분 tetradecane(C14), 15.54분 pentadecane(C15)이다.

Figure 8(b)는 화재 직후 등유에 의해 탄화된 장판에

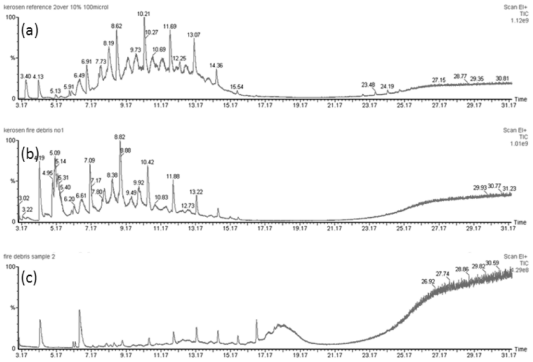

Figure 8. Total ion chromatograms obtained from (a) a kerosene adsorbed Tenax tube, (b) Tenax tube adsorbed at kerosene fired polymer mat, (c) Tenax tube adsorbed at kerosene fired papers.

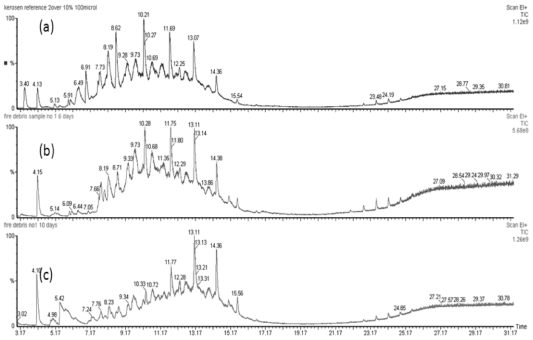

Figure 9. Total ion chromatograms obtained from (a) a kerosene adsorbed Tenax tube, (b) Tenax tube adsorbed at 6 day elapsed-kerosene fired polymer mat, (c) Tenax tube adsorbed at 10 day elapsed-kerosene fired polymer mat.

서 추출된 물질의 토탈이온크로마토그램으로 톨루엔 및 C9~C14에 해당하는 물질들이 검출되어 등유 잔여물이 존재함을 확인할 수 있었다. Figure 8(c)는 톨루엔 및 C10~C16까지 검출되었다. 이 경우 등유의 패턴이라고 하기엔 무리가 있지만 여전히 화재증거물 속에 등유의 잔유물이 남아 있음을 알 수 있다.

Figure 9는 화재증거물의 시간에 따른 특성을 보여준다. Figure 9(a)는 Figure 8(a)와 동일한 토탈이온크로마토그램이며, Figure 9(b)는 화재증거물을 PE백에 6일 동안 상온에 둔 후, Figure 9(c)는 PE백에 10일 동안 상온에 둔 후에, 대략 20 cm × 5 cm 크기의 화재증거물을 가위로 잘라 알루미늄 호일로 싼 후 병에 넣은 후 90 ºC의 온도에서 질소 가스를 500 cc/min으로 가하면서 30분간 Tenax 튜브로 흡착시켰다. Tenax 튜브를 제

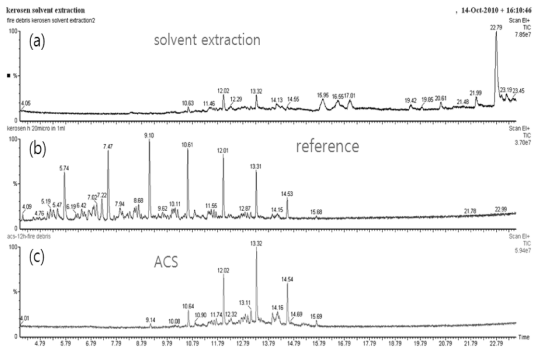

Figure 10. Total ion chromatograms of (a) solvent extracted from a kerosene fired mat, (b) reference kerosene, (c) ACS extracted from a kerosene fired mat.

거한 후 ATD에 꽂아 탈착온도 220 °C로 하여 5분간 탈착시키고 GC로 주입하여 토탈이온크로마토그램을 얻었다.

Figure 9(a)에서 Figure 9(c)로 가면서 분자량이 낮아 GC 컬럼을 통해 먼저 나와 검출되는 물질들이 조금씩 사라졌음을 알 수 있다. C12부터 C15까지 검출되어 발화성 액체 잔여물은 등유의 것임을 추측할 수 있다.

Figure 10의 경우, Figure 5에서 보이는 화재증거물에 대해서 1달이 경과한 시료를 용매 추출(Figure 10(a))과 활성탄스트립(ACS)을 사용하여 유류 잔존물을 추출하여 얻은 그림이며(Figure 10(c)), Figure 10(b)는 비교를 위한 참고 등유의 토탈이온크로마토그램이다. Figure 10(a)는 tridecane(C13)에서 hexadecane(C16)까지의 노말알칸 피크가 관찰되나 C16 이후의 다량의 미지의 물질이 검출되는 것으로 보아 장판 연소물 또는 장판의 성분 중 펜탄에 잘 녹는 물질이 펜탄에 녹아 다량 검출됨을 알 수 있다. Figure 10(c)는 ACS를 사용한 경우인데, 이 경우는 dodecane(C12)에서 hexadecane (C16)까지의 노말알칸 피크가 관찰되나 C16 이후의 다량의 미지의 물질이 Figure 10(a)처럼 관찰되지 않는다. 따라서 활성탄 스트립을 이용하는 방법은 직접 용매로 추출한 경우에 비해 휘발되지 않으나 용매에 녹는 물질의 방해를 받지 않는 장점이 있음을 알 수 있다.

3.3 휘발유, 등유, 경유 화재증거물의 분석

Figure 11~13의 토탈이온크로마토그램은 장판 10 cm × 10 cm를 사용하여 캔에 두고 휘발유, 등유, 경유 각각 20 mL를 붓고 화재를 낸 후 주수 없이 불이 꺼질 때까지 기다린 후 각각의 화재증거물에서 ACS를 사용하여 얻은 것이다. 이 경우 가스검지관을 이용해 관찰해

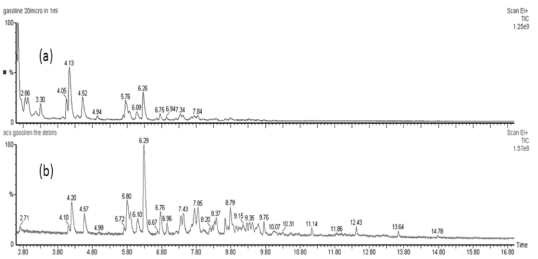

Figure 11. Total ion chromatograms of (a) reference gasoline in pentane, (b) ACS extracted from gasoline fire debris.

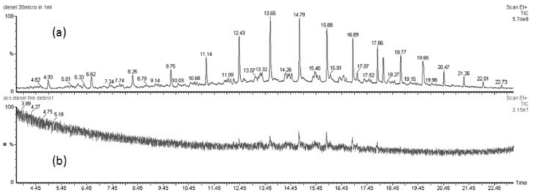

Figure 12. Total ion chromatograms of (a) reference diesel in pentane, (b) ACS extracted from diesel fire debris.

보았는데, 휘발유를 넣은 실험의 경우만 색변화를 관찰할 수 있었다. 휘발유 증거물의 경우 휘발유 냄새를 코를 통해서도 확인할 수 있었다. 따라서 상대적으로 등유, 경유에 비해 화재가 덜 진행된 것으로 판단된다. 이러한 것은 뒤의 실험 결과와도 일치함을 알 수 있다.

Figure 11은 휘발유 화재증거물을 사용하여 얻은 토탈이온크로마토그램인데 Figure 11(a)는 휘발유를 묽혀서 얻은 것이며 Figure 11(b)는 화재증거물로 얻는 캔에 활성탄 스트립을 80 °C에서 16시간 둔 후에 활성탄 스트립을 1 mL 펜탄 용매로 추출한 후 오토샘플러로 주입하여 얻은 토탈이온크로마토그램이다. 결과적으로 원래의 휘발유 패턴과 비교를 해보면 Ethylbenzene, m&p-xylenes, o-xylene, 1,3,5-trimethylbenzene, 2-ethyltoluene, 1,2,4-trimethylbenzene은 검출되었으나 상대적으로 가벼운 물질들은 검출이 되지 않았음을 알 수 있다. 그리고 검출된 물질이외에 상대적으로 분자량이 큰 물질들이 많이 검출되었음을 확인할 수 있다.

경유증거물의 경우 Figure 12에 결과를 제시하고 있다. 화재증거물이 있는 캔에 활성탄 스트립을 80 °C에서 16시간 둔 후에 활성탄 스트립을 1 mL 펜탄 용매로 추출한 후 오토샘플러로 주입하여 얻었다. Figure 12(a)는 참고 자료인 경유의 토탈이온크로마토그램이며, Figure 12(b)는 증거물속의 경유 잔여물을 추출하여 GC/MS로 분석 하였다(split ratio는 2 : 1). 본 실험의 경우

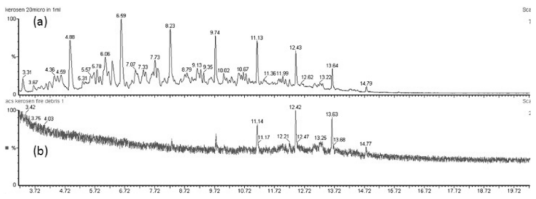

Figure 13. Total ion chromatograms of (a) reference kerosene in pentane, (b) ACS extracted from kerosene fire debris.

는 시료 속에 포함된 발화성 물질 잔여물의 농도가 낮아 피크의 크기가 작다. Figure 12(b)를 통해 보면 미량의 tetradecane(C14)에서 nonadecane(C19)까지의 노말알칸들이 검출됨을 확인 할 수 있다. 등유 증거물도 Figure 13과 같이 토탈이온크로마토그램을 얻었고, Figure 13(a)는 참고를 위한 등유의 패턴이며, Figure 13(b)(split ratio 2 : 1)는 화재증거물로부터 추출되어 얻은 토탈이온크로마토그램인데, undecane(C11)에서 hexadecane (C16)까지의 연속적인 노말알칸 패턴을 얻을 수 있었다.

본 실험들을 참고하면 실제로 화재는 휘발유가 덜 진행되어 가스검지관 및 토탈이온크로마토그램 상에서 가장 잘 분석이 이루어졌음을 알 수 있다. 사실 휘발유가 끓는점이 낮아 상대적으로 다른 물질에 비해 실제 화재현장에서 덜 존재할 가능성이 크나, 어찌하였든 실제 화재 현장의 경우는 화재가 진행된 정도, 사용된 발화성 액체량, 화재 증거물 속에 발화성 액체가 남아 있는 정도, 시료 채취 시간, 시료 채집 위치 등에 따라 분석 결과의 차이를 가져 올 가능성이 있음을 알 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 화재증거물에서 휘발유, 등유, 경유 등의 기초데이타를 수집하였다. 4개의 정유사의 제품을 무작위로 구매하여 실험한 결과 휘발유, 등유, 경유 모두 패턴이 유사함을 알 수 있었다. 따라서 실제 화재에 이러한 물질들이 방화의 목적으로 사용되어 증거물로 수집이 되었을 때 특정 회사의 제품이라고 판단하기에는 아주 무리가 있다.

등유 화재 분석 실험의 경우 Tenax 튜브를 이용하여 화재증거물 속의 등유를 잘 검출할 수 있음을 확인할 수 있었다. 하지만 Tenax 튜브는 구매할 경우 가격이 비싸고, 특별한 전처리 장비, 탈착장비가 필요로 하는 단점이 있다. ACS도 Tenax 튜브 못지 않게 화재증거물 속의 잔존 유류를 추출하는데 성능이 우수하다. ACS는 비교적 가격이 저렴하고 전처리 과정에서 온도를 가하는 것 외에 특별한 전처리과정을 요하지 않는다. 다만 다른 발화성 물질이 흡착되지 않도록 평소 ACS의 관리가 중요할 것으로 판단된다.

휘발유, 등유, 경유를 장판에 부어 화재실험을 한 후에 ACS를 이용하여 추출한 경우 상대적으로 화재가 덜 진행된 휘발유가 가장 잘 추출되었음을 확인하였다. 본 연구에서 보았듯이 실제 화재증거물도 화재 진행시간, 수집시간, 수집위치, 사용된 유류량, 전처리법 등 많은 조건에 따라 증거물 속의 유류잔존물 확인 유무를 결정짓게 될 것이다. 많은 기초데이타를 확보하고 연구의 시행착오 등을 거쳐야만 화재증거물로부터 유류잔존물을 추출하는 신뢰성을 확보할 수 있을 것이다.

본 증거물에서는 장판 등의 가연물에 의한 방해 물질이 크게 관찰되지 않았다. 하지만 실제 화재현장에서는 다양한 가연물이 존재하고 그 가연물의 연소물의 방해로 인하여 증거물을 분석하는 데 어려움이 따른다. 이러한 가연물에 대해서는 국립과학수사연구소에서 선행 연구된 자료가 있으나,[7] 실제 현장 시료에 대해서는 비교샘플의 물질 분석도 진행하여야 좀 더 명확하게 화재를 감정할 수 있을 것이다.

참고문헌

1. E. Stauffer, J.A. Dolan, and R. Newman, “Fire debris Analysis”, Elsevier(2008).
2. J.J. Lentini, “Scientific Protocols for Fire Investigaion”, CRC Taylor & Francis(2006).
3. J. Reno, D. Marcus, M.L. Leary, and J.E. Samuels, “Fire and Arson Scene Evidence”, U. S. Department of Justice(2000).
4. “Use of a Solid Absorbent and an Accelerant Detection Canine for the Detection of Ignitable Liquids Burned in a Structure Fire”, Journal of Forensic Science, Vol.52, No.3, pp.643-648(2007).
5. ASTM E 1618-10: “Standard Test Method for Ignitable Liquid Residues in Extracts from Fire Debris Samples by Gas Chromatography-Mass Spectrometry”.
6. ASTM E 1413-07: Standard Practice for Separation and Concentration of Ignitable Liquid Residues from Fire Debris Samples by Dynamic Headspace Concentration.
7. 남금문, 박조인, 김남이, 한백희, “DFLEX의 인화성 액체 추출 성능과 데이터의 해석”, Annual Report of N.I.S.I., Vol.38, pp.500-517(2006).