유류화재의 감식기법의 실험적 특성에 관한 연구

황태연 · 최돈묵*[†]

서울소방재난본부, *가천대학교 소방방재공학과

A Study on Experimental Characteristics in Fire Investigation Techniques of Flammable Liquids

Taeyeon Hwang · Donmook Choi*[†]

Seoul Metropolitan Fire & Disaster Headquarters

*Dept. of Fire & Disaster Protection Engineering, Gachon Univ.

(Received March 26, 2012; Revised October 17, 2012; Accepted December 7, 2012)

요 약

본 연구에서는 화재현장에서 유류와 관련되어 실화나 방화의 매개체로 사용되어 화재가 발생했을 때 석유류의 정확한 분석기법을 개발하기 위하여 발화지점 주변의 온도분포, 연소되고 남은 물질의 흔적과 GC/MS 분석으로 물질의 종류를 확인하는 것을 가연성 고체와 비교해서 실험하였다. 연구결과 천장에 도달하는 온도는 휘발유와 시너는 점화되자마자 불꽃이 생성되어 천장의 온도가 매우 빠르게 상승하여 그곳에 물질이 있을 경우 2차 화재발생이 전개될 것으로 나타났다. 연소된 후에 바닥에는 가연성 고체와 유류가 상이한 특징적인 패턴을 형성하였다. 연소된 장판은 탄화수소계열이지만 가스검지관을 통해 반응을 확인한 결과 가연성 고체는 아무런 반응을 띠지 않았으나 유류는 즉시 반응을 하였고 그 연소 물질을 7일이 경과된 후에 GC/MS로 분석한 결과 유류의 존재를 확인할 수 있었다. 화재조사가 복잡한 과정이지만 물질의 특성을 통한 세밀한 조사는 유류화재를 입증하는 데 중요하고 GC/MS분석기기를 통해 실체를 확인하는 과정이 요구된다.

ABSTRACT

This paper is to develop analytical techniques of flammable liquids which have been used for accelerating fire in accidental fires and arsons. We tested the temperature distribution of ceiling, fire patterns on the floor, and existence of flammable liquids and a check with GC/MS about flammable liquids comparing with papers, newspapers, and clothing. Research findings are as follows. The temperature of ceiling is influenced by flame. So gasoline and thinner was observed that combustible materials would be burned by flame. The fire pattern on the floor was observed that flammable liquids had specialized pattern comparing combustible materials. When combustible materials on the PVC (Polyvinyl chloride) floor was burned, they didn't react to the gas detector. But flammable liquids had opposite results. After 7 days, we identified components of fire residues with the GC/MS (Gas Chromatography/Mass Spectrometry) about existence of flammable liquids and got components of flammable liquids. Fire investigation is a complicated processes. But we understand characteristics of materials, need detail investigations, and use the GC/MS to analyse flammable materials.

Keywords : Flammable liquids, Fire investigation, Temperature on the ceiling, Fire pattern, The gas detector, Gas Chromatography/Mass Spectrometry

1. 서 론

우리 생활에서 유용하게 활용되는 유류가 화재에 종종 악용된다. 화재현장에서 유류는 최초 착화물이 되기도 하고 발화지점과 떨어져서 연소를 확대시키는 매개물이 되기도 한다. 무엇보다도 유류는 화재발생을 담보할 수 있고 뜻하는 목적을 달성이 용이하고 사용된 증거물을 쉽게 회

손할 수 있다는 심리가 작용하는 것 같다⁽¹⁾.

가연성 액체인 유류는 고체에 비해 연소속도가 빠르고 그 자신의 물리적인 특성으로 연소된 후에 바닥에 특이한 연소흔적이 존재한다는 것이 화재조사계에 잘 알려져 있다. 화재조사자들은 이런 이론들을 아무런 여과 없이 받아들여 잘못된 결과를 도출하기도 한다.

본 연구에서는 비교적 빠르게 연소되는 종이류와 섬유

[†] Corresponding Author, E-Mail: fire@gachon.ac.kr
TEL: +82-10-8966-8744, FAX: +82-31-750-8749

ISSN: 1738-7167
DOI: <http://dx.doi.org/10.7731/KIFSE.2012.26.6.007>

를 유류(메탄올, 휘발유, 시너, 경유, 등유)와 비교하기 위해 연소될 때 천장의 온도분포, 연소된 이후에 바닥에 나타나는 연소흔적을 관찰하였다. 그러나 이것들은 유류가 그곳에 있었다는 증거를 담보하는 것이 한계가 있기 때문에 시간이 흐른 상태에서도 유류의 정확한 입증에 대해 실험에서 사용했던 증거물을 GC/MS(Gas Chromatography/Mass Spectrometry)로 분석하는 방법을 제시하였다.

2. 유류화재 실태분석

Table 1에서 보는 바와 같이 유류화재는 전체 화재의 약 2%로 비교적 낮지만 인명피해는 사상자의 약 10%를 차지하고 재산피해도 약 4%로 다른 화재에 비하여 높게 나타났다. 이는 무엇보다도 유류가 연소되자마자 빠르게 확산되어 다량의 유독성 가스와 열기를 방출하면서 피난자의 퇴로를 차단하기 때문이다⁽²⁾.

또한, 유류화재에서 유류에 의한 방화는 10%를 상회하지만 인명피해는 65% 이상으로 매우 높고 재산피해도 화재건수에 비해 매우 높게 나타났다.

3. 유류화재 감식의 문제점

화재감식은 과학, 지식, 기능, 기술이 수반되는 복잡한

활동이다. 화재조사자는 지엽적인 편견이나 선입견이 없이 객관적이고 사실적으로 처리해야 한다. 그러나 화재조사자가 충분한 과학적·이론적 지식을 갖고 있지 않은 상태에서 기존에 자신이 알고 있던 경험적인 지식과 생각에 집착하면 결과는 오류를 범하게 된다.

화재조사자가 현장을 조사할 때 유류가 사용된 것이라고 추정하게 되는 것은 빠른 연소속도, 바닥에 남은 특이한 연소흔적, 후각이나 가스검지관 등을 통한 유류흔적 등이다. 물론 좀 더 뒷받침할 수 있는 과학적인 지식은 화재조사자가 가져야 할 소양이다. 그러나 이것들은 화재조사자가 결론을 도출하기 위한 하나의 정보로서 가치가 있으며 유류의 사용을 뒷받침하는 것은 아니다.

4. 실험방법

실험에 사용된 재료는 미용용 화장지(35 g), 일간 신문지(180 g), 의복용 섬유(490 g), 메탄올(500 ml), 휘발유(500 ml), 시너(500 ml), 등유(500 ml), 경유(500 ml)이다. 실험 장소는 Figure 4와 같은 3.6×2.4×2.4 m의 밀폐된 공간에서 실시하였으며, 출입문은 최초에 화재가 발생할 때는 충분한 공기가 공급되기 때문에 개방된 채 진행하였다.

재료가 탈 때 연소되면서 나오면 열에 의한 주변의 온도 분포를 확인하기 위해 Figure 1의 (b) 및 (c)처럼 천장과

Table 1. Estimates of Fires, Civilian Deaths and Injuries, and Property Loss by Flammable Liquids use in Korea (2007~2011)⁽³⁾

Year	Class	Fires	Fire Deaths and Injuries	Property Loss (Thousand Won)	Property Loss (Thousand Won) Per a Fire
2011	Total Fires	43,875	1,862	256,547,614	5,847.2
	Oil Fires Rates	1,096 (2.5)	202 (10.8)	9,495,965 (3.7)	8,664.2 -
	Incendiary by Oil	135	140	2,086,466	15,455.3
2010	Total Fires	41,863	1,892	266,776,332	6,372.6
	Oil Fires Rates	1,125 (2.7)	272 (14.4)	11,943,700 (4.5)	10,616.6 -
	Incendiary by Oil	157	174	2,966,609	18,895.6
2009	Total Fires	47,318	2,441	251,852,928	5,322.6
	Oil Fires Rates	1,017 (2.1)	257 (10.5)	7,431,925 (3.0)	7,307.7 -
	Incendiary by Oil	204	184	3,324,294	16,295.6
2008	Total Fires	49,631	2,716	383,142,719	7,719.8
	Oil Fires Rates	1,044 (2.1)	268 (9.9)	16,884,475 (4.4)	16,602.2 -
	Incendiary by Oil	193	178	12,856,836	66,615.7
2007	Total Fires	47,882	2,459	248,417,423	5,188.1
	Oil Fires Rates	1,054 (2.2)	278 (11.3)	10,703,446 (4.3)	10,524.5 -
	Incendiary by Oil	157	162	3,458,857	22,030.9

Figure 1. Structure of a test room.

벽면에 써머커플 온도계를 설치하고 재료이외에 다른 물질을 사용하지 않고 라이터로 점화한 후에 1초 간격으로 자동으로 온도를 측정하였다. 다만, 시너나 휘발유는 안전성의 문제로 긴 막대를 사용하여 불을 붙였다.

연소되고 남은 흔적을 비교하기 위해 PVC계 장판을 깔고 그 위에 실험 재료를 둔 상태에서 실험을 마친 후에 타고 남은 장판을 관찰하였다.

PVC계 장판은 탄화수소계열로서 연소되고 남은 후에 유류와 유사한 화학종을 가질 수 있기 때문에 화장지나 신문지가 연소되고 난 후에 유류의 존재를 확인할 수 있는 가스검지관을 사용하여 유류의 존재를 확인한 후, 과학적 분석을 위한 GC/MS 분석⁽⁴⁾을 하였다. 분석절차는 연소된 장판에서 일부를 잘라내어 폴리에틸렌으로 된 봉지에 넣

고 밀폐시킨 다음 7일이 흐른 후 금속 통으로 옮겨 스트립 활성목탄을 넣고 80에서 16시간 동안 유지시킨 다음 펜탄 1 ml로 세척하여 분석하였다⁽⁵⁾.

5. 실험결과 및 고찰

5.1 온도분포

Figure 2에 나타난 것과 같이 물질이 연소될 때 천장에 도달되는 가장 높은 온도지점은 S5지점으로서 휘발유 569.3 °C, 시너 245.6 °C, 경유 161.9 °C, 메탄올 107.9 °C, 신문지 87.2 °C, 등유 59.8 °C, 섬유 57.5 °C, 화장지 41.2 °C 순으로 나타났다. 휘발유와 시너는 다른 재료에 비해 빠르게 기화되면서 솟아오르는 유증기가 상부에서 연소되었다.

Figure 2. Temperature distribution on the ceiling (S5).

반면, 화장지, 섬유, 신문지는 연소가 서서히 진행되면서 열분해가 상대적으로 느려 천장에 도달하는 온도는 낮았다. 결국 천장에 도달하는 온도가 높다는 것은 유증기나 열분해의 생성이 빠르면서 상승기류에 의해 위로 솟아오르면서 연소되기 때문에 불꽃이 층고의 중간부분을 넘어섰으나 유증기나 열분해 생성이 느린 것은 연소지점 부근에만 불꽃이 생성되었다.

실험을 관측한 결과, 휘발유나 시너는 연소되자마자 불꽃이 크게 생성되기 때문에 그 주변에 있던 사람이나 물건들이 불꽃에 영향을 받을 수 있다. 특히, 잘 탈 수 있는 머리카락, 눈썹, 옷에 일어난 보풀 등에 불에 탄 흔적이 발견될 수 있다. 반면, 경유, 메탄올, 등유는 기화가 잘 되지 않으므로 라이터로 점화하기가 쉽지 않고 점화시킨다고 해도 불꽃에 영향을 덜 받기 때문에 그 주변에 있던 사람에게 불꽃의 영향이 거의 미치지 않았다.

유류가 연소가 빠르다는 것은 주지의 사실이지만 미리

가공되어 연소표면적이 넓은 화장지나 신문지도 수평으로 연소되는 면적이 빠르게 전개되었다. 이것들은 불꽃이 높게 형성되지는 않았지만 수평으로 연소되면서 바닥에 탈 수 있는 물건들이 존재할 경우에 그것들이 쉽게 연소될 수 있고 연소된 후 잔해물이 거의 남아 있지 않기 때문에 발화지점을 판단하는 것이 어려움이 수반될 것으로 보였다.

연소가 시작된 지점의 상부에 있는 곳에서 온도상승률을 확인한 결과 Figure 2의 추세선과 같이 휘발유, 화장지, 신문지가 유사했다. 그러므로 많은 분량의 화장지와 신문지가 연소가 잘 될 수 있도록 분포시킨 상태에서 연소가 진행될 경우 휘발유와 같은 연소특징을 나타낼 수 있을 것으로 생각되지만 물리적인 배치가 곤란할 수 있다.

5.2 연소흔적

5.2.1 가연성 고체(화장지, 신문지, 섬유)

화장지, 신문지, 섬유가 연소된 후에 PVC계열의 장판이

(Top : Before fire, Down : After fire)

Figure 3. The fire pattern of solid materials.

Figure 4. Fire patterns of flammable liquids.

Figure 5. The principle of tension at a liquid surface.

탄화된 흔적은 Figure 3과 같았다.

화장지는 질량이 작아 연소될 때 발생하는 상승기류에 의해 연소되는 화장지가 공중으로 부유되면서 불꽃과 장판과의 접촉이 되지 않아 장판이 탄화가 되지 않았다. 반면, 화장지가 포개짐으로써 밀도가 높은 부분은 연소되면서 발생하는 불꽃과 접촉되면서 장판이 탄화되었다.

신문지는 화장지에 비해 질량이 커서 연소되면서 생성되는 상승기류에 의해 신문지가 공중으로 부양하지 않고 불꽃이 장판과 접촉되면서 신문지가 놓여 있는 모든 부분이 검게 탄화되었다. 탄화된 경계지점을 벗어나서 생겼던 검은 연소 흔적은 신문지가 접촉된 부분은 연소되었으나 접촉되지 않고 공중에 떠있는 상태에서 연소되는 지점은 불꽃과의 접촉이 없기 때문에 탄화가 되지 않았다.

섬유는 신문지보다 무게와 밀도가 높아 불꽃이 장판과 접촉이 더욱 길어 장판의 탄화가 더욱 선명하였다. 섬유가 연소될 때 연소방향이 외부에서 내부로 진행되거나 그 반대의 경우에 생성되는 섬유가 바로 연소되면서 다른 방향으로 진행되기 때문에 장판을 탄화시키는데 그쳤다. 섬유의 재질이 면으로 되어 있을 때에는 형태가 변함이 없이 연소되는 특징이 있고, 합성섬유로 되어 있을 때에는 용융되어 타기 때문에 용융되어 연소된 후에 검게 탄화된 잔해가 존재하여 진한 검정색을 보였다.

5.2.2 유류

유류는 하나의 시료를 바닥에 뿌리고 연소시킨 후 다음 시료를 진행한 결과 Figure 4와 같았다.

유류는 바닥의 상태와 뿌리는 힘의 영향을 받아 균일하게 분포되지는 않았다. 바닥에 뿌려진 유류는 유동성 때문에 낮은 곳으로 흘러가 모였다. 이 상태에서 유류에 점화하게 되면 유류는 넓게 분포된 지역은 불꽃이 장판과의 접촉시간이 짧아 장판의 탄화가 약했으나, 반대의 경우에는 탄화가 심했다.

Figure 4에 나타난 바와 같이, 탄화수소 계열인 유류는 탄소의 수가 많을수록 분자간의 결합력이 크기 때문에 분해되는 데 더 많은 에너지가 필요하게 되면서 불꽃이 장판과의 접촉시간이 길어질수록 탄화된 농도가 짙었다.

유류가 바닥에 살포될 때, 유류는 Figure 5와 같은 표면장력으로 최소의 표면적을 갖는 구형으로 변화⁶⁾기 때문에 중심부가 외각 경계지점보다 유류가 더 많으므로 연소된 후에 탄화된 부분은 중심부가 심했다. 또한, 바닥에 살포된 유류가 낮은 쪽으로 흘러가면서 점성으로 인해 장판에 방울들이 생성되는데, 유류가 연소되면서 방울로 있던 유류가 연소되면서 가장자리 부분에 조그마한 방울이 연소되면서 탄화된 흔적이 있었다.

5.2.3 가연성 고체와 유류의 차이점

가연성고체와 유류가 연소될 때 나타나는 차이점은 고체는 가연물이 배치된 곳에서 균일하게 탄화되었으나 액체는 살포된 바닥에 따라 유동하게 되면서 불규칙한 탄화형태를 보였다.

가연성 고체는 점성이 없기 때문에 불꽃에 의해 탄화된 표면적이 크고 분포되지만 유류는 점성에 의해 방울처럼

생성된 탄화모양을 나타냈다.

6. 연소 잔해물의 GC/MS 분석

화장지, 신문지, 섬유를 PVC계 장판 위에 두고 연소하였을 때 탄화수소계열인 장판에서 분해되어 나온 물질에 대해 가스검지관으로 확인을 하였으나 유류와 같은 변색을 확인할 수 없었다. 메탄올은 알코올류로 가스검지관이 석유류에 대해서 반응하여 변색되기 때문에 반응을 확인할 수 없었다.

그러나 유류는 가스검지관을 활용하여 연소가 종료된 후에 곧바로 테스트를 한 후 석유류의 존재를 확인할 수 있었다. 이 증거물은 시간이 지나면 유증기가 증발되어 유증기의 검출이 어려울 수 있다. 그래서 연소된 장판을 잘라내어 폴리에틸렌 비닐봉지에 넣은 상태에서 7일이 지난 상태에서 GC/MS를 분석한 결과 Figure 6-9와 같은 결과를 얻었다.

6.1 휘발유

휘발유는 비점이 30~120 °C인 액체 탄화수소로서 구성

분자의 탄소수는 5~12개 정도 되는 탄화수소의 혼합물이다. 휘발유는 증기압이 크지만 화재발생 후 7일의 장시간이 경과했음에도 불구하고 GC분석결과 표준패턴과 유사하게 나타났다. 그러나 체류시간 6~8분 사이에 검출되는 성분이 표준패턴과 다소 다른 경향을 나타났다. 이는 화재시 주변의 가연물(목재, 플라스틱 및 유기화합물질)의 열화화학반응에 의하여 생겨난 화학종으로 판단된다⁽⁷⁾. 따라서 GC 분석결과 이러한 상이한 분석이 도출되더라도 이것은 일종의 열화학반응에 의해서 생겨난 화학종으로 판단해야 할 것으로 판단된다.

그리고 체류시간 10분이 경과된 이후에는 휘발유 표준패턴에서 존재하지 않았던 등유패턴이 검출되었는데 이것은 휘발유 자체가 혼합물이기 때문에 휘발유 구성 성분 중 분자량이 큰 쪽의 물질로 예측되었다.

6.2 시너

시너는 휘발유와 마찬가지로 액체 탄화수소이고 용도나 제조회사별로 조성이 상이하다. 하지만 분자량이 작은 물질이 주성분이기 때문에 증거물을 확인하는데 애매모호한

Figure 6. The GC/MS pattern of gasoline.

Figure 7. The GC/MS pattern of thinner.

Figure 8. The GC/MS pattern of diesel.

Figure 9. The pattern of kerosene.

화학종이 생성되는 경우는 낮고 화재현장에서 존재하는 여타의 유기계 가연물의 열분해에 의해서 화학종이 생겨난다 해도, 분자량이 작고 비점이 낮기 때문에 화재 당시에 대부분이 연소하거나 증발하게 되어 표준시료와의 큰 차이는 없었다.

6.3 경유

경유는 탄소수가 14~23인 물질로서 비점이 230~350°C 정도에 해당되어 화재 시 사용하는 소화용수 및 소화약제에 비하여 높아 그대로 존재한다. 따라서 화재현장에서 얻은 시료와 표준시료의 C9, C10, C11, C12, C13, C14, C15, C16 패턴이 일치하였고 표준시료에 존재하였던 체류 시간 18분 이상의 물질들은 연소 과정 중 열분해에 의하여 C15 이하의 물질로 되거나 연소한 것으로 판단된다.

6.4 등유

등유는 비점이 150~280°C를 갖는 물질로서 분자마다 탄소수의 개수가 9~19개에 해당되는 탄화수소의 혼합물이

다. 이 물질에 대한 분석결과 C9, C10, C11, C12, C13, C14, C15로 분석되었고 표준패턴과 일치하였다.

7. 결 론

화재현장에서 유류는 자주 등장한다. 가정에서 사용하는 연료에 의해서 혹은 인위적인 방화에 사용된다. 또한, 우리 주변에서 사용하는 석유화학제품이 많아 유류와 유사한 연소특성을 나타낼 수 있다. 그래서 본 연구에서는 가연성 고체와 유류가 연소될 때 나타나는 차이점을 비교하여 유류에 대한 감식기법을 구체화하기 위해 실험적 연구를 수행하였으며 그 결과는 다음과 같다.

첫째, 휘발유와 시너의 경우 바닥에 뿌러지자마자 기화가 쉽게 되어 유증기가 폭넓게 분포되어 라이터와 같이 작은 불꽃을 가지고 점화될 경우에 그 주변에 있던 사람은 불꽃에 의해 머리카락, 눈썹, 옷의 보풀, 화상 등이 발생할 수 있다. 그러나 유증기 생성이 잘 되지 않는 경유나 등유는 라이터와 같은 것으로 점화하기가 어렵고 종이와 같은

다른 매개물을 이용해야 가능할 수 있었다.

둘째, 불꽃들은 화재확산에 중요한 인자로서 그것들이 주변이나 천장에 있는 물질을 연소시키면서 빠르게 연소가 확대되는 데 영향을 미친다. 휘발유나 시너는 연소되자마자 불꽃들이 높이 솟았고 연소 확대가 빠르게 전개될 것이다. 그런 이유로 불꽃에 의한 유증기 생성이 촉진되면서 불완전연소가 이루어지기 때문에 연소되는 즉시 개구부에서 검정색 연기를 목격할 수 있었다. 반면에 화장지, 신문지, 섬유는 연소 초기에 타는 부분만 불꽃이 생성되어 연소 확대는 빠르지 않을 것으로 보인다. 또한, 연소가 이루어지는 부분은 거의 완전연소가 이루어지기 때문에 개구부에서 연기의 색깔이 옅었다. 따라서 화재현장에서 연소 초기의 연기의 색깔은 내부의 가연물을 예측하는 데 활용될 수 있다.

셋째, 연소되고 남은 장판의 탄화 흔적은 가연성 고체일 때는 물질이 배치된 상태에 따라 균일하게 탄화되었으나 유류는 흘러가는 형태의 탄화형태가 식별되고 탄화된 가장자리를 벗어나 방울모양의 탄화형태가 식별되어 현격한 차이를 보였다. 또한, 가연성 고체는 바닥의 경사와 무관하게 균일한 연소형태를 보였으나 유류는 바닥의 경사도에 따라 흘러간 모양의 탄화형태가 식별되고 탄화된 가장자리와 중간부분에 점성에 의해 탄화형태가 발견되었다.

넷째, 연소되고 남은 PVC계 장판이 탄화수소계열로 이루어진 물질이더라도 가연성 고체에는 가스검지관 등의 반응이 나타나지 않았으나 유류는 반응이 식별되어 그 부분에 대해 폴리에틸렌 비닐봉지로 수거한 상태에서 7일이 경과하여도 GC/MS로 분석할 수 있었다.

본 실험에서는 가연성 고체에 대해서 유류와의 연소형태적인 측면과 분석기기의 사용에 대해서 실험적인 연구를 하였으나 가연성 고체 중에서 용융되어 연소되면서 적은 입자로 떨어지는 물질에 대해 비교 실험을 하지 못한 것이 아쉬웠다.

또한, 화재현장은 물리적인 인자에 영향을 받아 성상이

매우 복잡하기 때문에 획일화된 상태에서 적용하는 것은 무리가 있으나 유류화재에 대한 감식기법에 대해 특수한 형태를 관찰할 수 있었으며 상당한 시간이 흘러도 증거물에서 유류의 흔적을 확인할 수 있는 GC/MS분석을 거쳐 화재조사의 시나리오를 구체화할 필요성이 있다.

감사의 글

이 연구는 2011학년도 가천대학교 지원(GCU-2011-364)에 의한 결과임.

참고문헌

1. John D. Dehaan, "Kirk's fire investigation" (6ed), p 528, Pearson Education, Inc., Upper Saddle River, New Jersey (2007).
2. Y. P. Lee, "Investigation of Techniques for Arson", Kwangsan Fire Station (2005).
3. National Emergency Management Agency, "Fire Statistics of Yearbook", National Emergency Management Agency (2007~2011).
4. Eric Stauffer, Julia A. Dolan and Reta Newman, "Fire debris Analysis", Elsevier (2008).
5. The American Society for Testing and Materials, "ASTM E 1618-10 : Standard Test Method for Ignitable Liquid Residues in Extracts from Fire Debris Samples by Gas Chromatography-Mass Spectrometry", The American Society for Testing and Materials (2010).
6. Research group of Chemistry text book, "Introduction to Chemistry of Zumdahl" (8ed), pp 445-448, Seoul Science Plus (2010).
7. D. H. Han, "A Study on Identify for Evidence Contained Flammable Liquids", National Fire Service Academy (2010).