

유류화재증거물 보관용기의 신뢰성에 관한 연구

한동훈 · 이성룡[†]

중앙소방학교 소방과학연구실

Preserving Reliability of Evidence Containers for Fire Debris Containing Ignitable Liquids

Dong-Hun Han · Sung-Ryong Lee[†]

Fire Research Laboratory, National Fire Service Academy

(Received February 20, 2013; Revised March 18, 2013; Accepted April 5, 2013)

요 약

화재 현장에서 수집된 화재증거물은 신뢰성 있는 용기에 수집, 보관 되어 감정기관으로 제공되어야 한다. 본 연구에서는 인화성 물질 5종(톨루엔, 노말옥탄, o-자일렌, 노말데칸, 노말헥사데칸)의 장판화재 증거물과 10 μL의 인화성 물질 5종을 적신 킷와이프스 종이를 4가지 용기(금속캔, 유리병, 나일론 지퍼백, 나일론 실링 백)에 두고, 온도 및 보관 기간에 따라 보관한 후 시료 속의 인화성 물질 잔존 유무를 가스크로마토그래프/질량분석기를 이용하여 확인하였는데, 그 결과 테프론이 코팅된 마개를 가진 유리병의 경우가 60 °C에서 22일 동안 보관하여도 5종의 화학물질이 검출이 가능하며, 유리병이 보관 성능이 가장 우수함을 확인하였다.

ABSTRACT

It is very important for the collected samples at fire scenes to be properly preserved for laboratory analysis. Preserving abilities of four type containers, metal cans, glass jars, zipper and heat sealed polymer bags, with the five ignitable liquids (toluene, n-octane, o-xylene, n-decane and n-hexadecane) were examined with gas chromatography-mass spectrometry. The glass jars with Teflon (PTFE) liner were the best ability to prevent the evaporation of the ignitable liquids.

Keywords : Fire debris, Evidence packaging, Ignitable liquid, Gas chromatography-mass spectrometry (GC/MS)

1. 서 론

유류화재는 화재 현장에서 빈번이 발생하고 있고, 이러한 유류화재 감식·감정과 관련하여 국내에서도 연구가 진행되고 있으나^(1,2), 화재증거물의 신뢰성을 담보하는 증거물의 보관용기에 관한 연구는 거의 진행되고 있지 않다. 화재 현장에서 화재조사관은 화재원인을 밝혀내기 위해 증거물을 수집할 때 증거물 수집 및 보관 용기를 사용한다. 이때 화재조사관은 수집된 증거물을 어떤 용기에 어떻게 보관해야할지를 고려해야 한다. Fire Debris Analysis에서는 몇 가지 화재증거물 보관 용기에 대해 기술하고 있는데⁽³⁾, 먼저 금속캔의 경우 미국에서 흔히 사용하는 용기로 싸고 견고하여 보관이 용이하나, 녹이 생기고 변형의 단점이 있는 것으로 보고하였다. 유리병의 경우는 캐나다에서 가장 일반적으로 쓰이며, 마개 부분의 고무씰링부는 유류가 닿으면 손상되어 분석에 방해가 되는 경우가 있으나, 용기가

투명하여 내용물을 볼 수 있고 마개가 견고하여 밀폐력이 우수하다. 고분자 백은 미국보다는 유럽에서 많이 활용하고 투명하고 다양한 형태가 가능하며, 유리병 및 캔에 비해 모양이 일정하지 않고 큰 증거물을 보관할 수 있다. 하지만 떨어 뜨리거나, 송곳같은 부분이 있는 증거물의 경우 용기를 찌르면 쉽게 찢어질 우려가 있고 폴리에틸렌, PVC 백의 경우 유류잔존물이 백으로 흡착하여 증거물 분석에 영향을 줄 수 있다. 따라서 고분자 백의 경우 나일론 또는 폴리에스테르로 만들어진 백을 사용하는 것을 권장하고 있다.

NFPA 921⁽⁴⁾에서는 물리적 증거물의 보관 용기를 캔, 유리병, 일반 고분자 백, 증거물용 고분자 백으로 4가지로 분류하고 있다. 주의할 점은 캔과 유리병의 경우 온도 상승으로 인한 압력 발생을 고려하여 3분의 2 이상 채워서는 안되며, 유리병의 경우 특히 마개부분에 접착제 및 솔벤트 성분이 없는 것을 사용하여야 한다. 일반고분자 백의

[†]Corresponding Author, E-Mail: leesr72@korea.kr
TEL: +82-41-559-0548, FAX: +82-41-541-1108

ISSN: 1738-7167
DOI: <http://dx.doi.org/10.7731/KIFSE.2013.27.2.070>

경우는 화재증거물을 위해 제작된 것이 아니라 침투성이 있어 증거물의 오염이나 소모를 고려하여야 함을 기술하였다.

소방방재청에서는 화재증거물수집관리규칙을 제정하여 화재증거물 용기로 유리병, 주석도금캔, 양철도금캔의 3가지를 제시하였고 마개 부분에 PTFE 즉 테플론 등의 내유성 물질이 있어야 함을 기술하였다⁽⁶⁾.

이러한 다양한 증거물 수집 및 보관 용기를 제시하고 있으나 실제 현장에서는 보관 용기에 관한 고려를 크게 하고 있지 않은 실정이다. 따라서 특히 유류화재증거물의 보관 용기는 유류증거물이 증거물로 제 역할을 할 수 있도록 신뢰성을 가져야 한다. 따라서 본 연구에서는 4가지 용기, 즉 캔, 유리병, 지퍼형 고분자백(나일론), 열접착형 고분자백(나일론) 등의 4가지 용기를 5가지 인화성액체에 관한 보관 성능을 확인하기 위해 가스크로마토그래프/질량분석기를 사용하여 정성적으로 시료를 분석하여 각각 용기의 신뢰성을 평가하였다.

2. 연구방법

2.1 장비 및 재료

2.1.1 전처리

화재증거물(또는 인화성 액체를 포함하고 있는 킴와이프스 종이)에 잔존하는 인화성 액체 잔여물을 추출하기 위해서는 미국의 Albrayco Technologies의 Activated Charcoal Strip(ACS)를 사용하였다. 20 mm×8 mm 크기의 ACS를 사용할 때는 금속캔 또는 유리병에 화재증거물을 두고, ACS를 실에 달아 용기 내부에 두고 밀폐한 후 80 °C에서 16시간 동안 저장 한 후에, 1.0 mL의 펜탄(Fluka, HPLC, GC급)을 사용하여 추출하여 바이알로 옮겨 오토샘플러를 통해 GC로 주입하였다⁽⁶⁾.

2.1.2 시약 및 재료

화재 발생 및 분석 타겟 인화성 물질은 톨루엔(대정사, HPLC급), o-자일렌(대정사, 99%), 노말데칸(대정, 99%), 노말헥사데칸(Alfa, 99%), 노말데칸(Yakuri, 97%)을 사용하였다. 본 5종은 비교적 가격이 싸고 휘발유, 경유, 등유 등의 주요 물질로써 노말알칸 및 방향족의 대표물질이며, 본 실험에서 증거물 보관성능을 확인하기 위하여 화재증거물 내에 5종의 존재 유무를 평가하였다.

증거물의 보관 용기는 캔의 경우 일반적으로 쓰이는 1L 페인트캔(서울제관)을, 유리병의 경우 테프론 코팅 마개를 가진 500 mL 유리병(Wheaton사)을, 고분자 백(지퍼형 및 열접착용)의 경우 일반적으로 쓰이는 포장용 백(나일론)을 사용하였다.

2.1.3 GC/MS 장비

GC/MS는 Perkin Elmer사의 Clarus 600 모델을 사용하

여 인화성 물질 5종 분석하였다. GC 컬럼의 경우 poly-methylsiloxane으로 된 COL ELITE 30 m(총 길이), 두께 0.25 μm, 0.25 mm(내직경)를 사용하였다.

오븐의 온도는 주로 50 °C에서 시작하여 280 °C까지 점차적으로 상승시켰고 split ratio의 경우 농도에 20~2:1로 하였다. 캐리어 가스로는 99.999%의 헬륨을 사용하였다.

모든 실험은 ASTM E 1618-11에 근거하여 실험을 수행하였다⁽⁷⁾.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 장판 화재증거물 시료 시험

장판증거물 시험은 일반적인 유류가 아니라 휘발유에서 경유까지의 성분 물질 중 5가지 물질을 선정하여 이를 혼합하여 타겟 인화성 물질로 사용하였다. 다섯 가지 물질은 톨루엔(toluene), 노말옥탄(octane), o-자일렌(o-xylene), 노말데칸(decane), 노말헥사데칸(hexadecane)이다. 토탈이온 크로마토그램에서의 검출 순서는 톨루엔, 옥탄, o-자일렌, 데칸, 헥사데칸의 순이며 Figure 1과 같다. Figure 2는 앞에서 언급한 5종의 물질을 각 40 mL씩 혼합하여 총 200 mL로 만들어 장판 위에 두고 화재를 낸 후 자연 소화될 때까지 기다린 후의 화재증거물의 모습이다. Sample A, Sample B는 동일한 조건에서 실험하였으나, 실험시 Sample A가 Sample B에 비하여 먼저 자연 소화되었다. 유류 가스검지관으로 이 화재증거물을 테스트하였을 때는 상대적으로 먼저 소화된 Sample A만 유류검지관 끝의 색변화를 관찰하였다.

Sample C와 Sample D는 Sample A, Sample B와 같이 5종의 물질을 각 40 mL씩 혼합하여 총 200 mL로 만들어

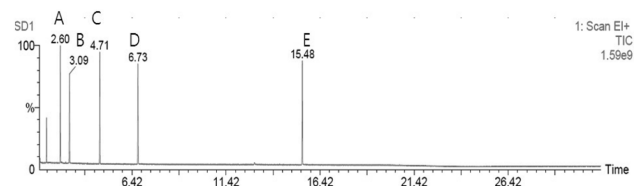


Figure 1. Total ion chromatograms of five species. Peaks of A, B, C, D, and E indicate toluene, n-octane, o-xylene, n-decane and n-hexadecane, respectively.

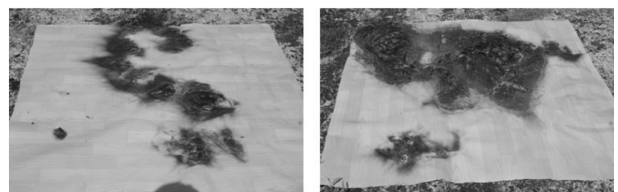


Figure 2. Burned out vinyl floor coverings of Sample A (left) and Sample B (right) prepared at the same conditions with 200 mL liquid mixed by each 40 mL of five chemicals.

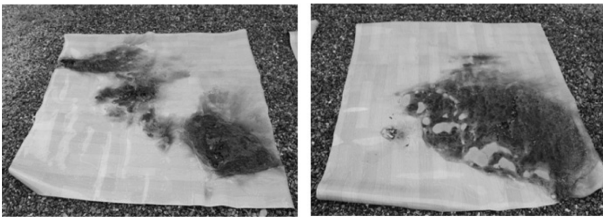


Figure 3. Burned out vinyl floor coverings of Sample C (left) watered during burning and Sample D (right) watered after burning with 200 mL liquid mixed by each 40 mL of five chemicals.



Figure 4. Small sized pieces prepared by cutting (left) and four type packaging of theirs (right).

장판위에 두고 화재를 낸 것인데, Sample C의 경우 화재 중간에 물을 뿌려 소화한 경우(Figure 3의 좌)이고, Sample D는 화재가 다 진행된 후 자연 소화된 증거물에 물을 뿌렸다(Figure 3의 우). 유류검지관으로 이 화재증거물을 테스트하였을 때, Sample C, Sample D 둘 다 유류검지관 끝의 색변화를 관찰할 수 있었다.

5종의 유류성분의 잔존량의 확인을 위하여, 각각 시료의 균질성을 확보하기 위하여 Sample A~D의 경우 Figure 4와 같이, 같이 가위로 잘라서 작은 조각으로 만든 후 각각의 용기에 40 g씩 담아 보관을 하였다.

모든 시료(즉, Sample A, B, C 및 D)에 대하여, 1일, 7일, 12일, 28일 동안 실험실에서 상온 보관 후에 5가지 화

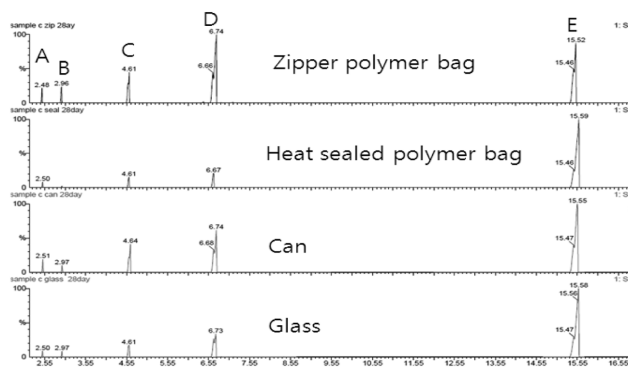


Figure 5. Total ion chromatograms of five species detected in samples extracted from burned out vinyl floor covering after 28 day storage in ambient temperature. Peaks of A, B, C, D, and E indicate to toluene, n-octane, o-xylene, n-decane and n-hexadecane, respectively.

Table 1. Detection Results of the Five Chemicals in All the Samples

Sample A, B, C, D (After 28 Days)				
	Can	Glass Jar	Polymer bag (zipper)	Polymer bag (heat seal)
Toluene	○	○	○	○
Octane	○	○	○	○
o-Xylene	○	○	○	○
Decane	○	○	○	○
Hexadecane	○	○	○	○

학물질의 검출여부(Figure 5)를 아래의 Table 1에 정리하였다(1일, 7일, 12일의 경우도 모든 시료에서 5가지 화학물질이 검출되었으나 28일 결과만을 제시함). 모든 시료에서 5가지 화학물질이 검출되었음을 알 수 있었다(열접착형 고분자백의 경우 n-octane의 봉우리 크기가 작아 그래프상에서는 보이지 않는 점을 참고).

3.2 김와프스 종이 증거물 분석

Sample E와 Sample F는 김와이프스 종이 3장을 4종의 용기에 두고 5종 인화물을 각각 10 μL씩 마이크로피펫을 이용하여 용기내의 김와이프스 종이에 주입하였다.

Sample E는 5종 인화물을 주입한 김와이프스 종이를 포함한 보관용기를 상온에서 보관한 경우이며, Sample F는 동일한 조건에서 보관온도를 60 °C로 하여 시료를 보관하였다(미국의 경우 배송시 60 °C 이상 올라가는 보고가 있음)⁽⁸⁾. 각각의 온도에서 1일, 15일, 22일을 보관한 후 전처리 후 펜탄을 사용하여 5 가지 물질을 추출한 후 GC/MS로 주입하여 각 종의 검출여부를 확인하였다. Sample E(상온 보관)의 경우는 1일 후에는 모든 보관 용기에서 5가지 화학종이 검출되었으나, Sample F(60 °C 보관)의 경우 고분자백을 사용한 경우에 toluene과 o-xylene이 검출되지 않았다(Table 2, Table 5 참고). 15일 후에는 Sample E의 경우 고분자백에서 보관한 샘플에서 toluene과 o-xylene이 검출되지 않았고(Table 3), Sample F의 경우 캔에 보관하

Table 2. Detection Results of the Five Chemicals in Sample E after 1 Day

Sample E (1 Day)				
	Can	Glass Jar	Polymer bag (zipper)	Polymer bag (heat seal)
Toluene	○	○	○	○
Octane	○	○	○	○
o-Xylene	○	○	○	○
Decane	○	○	○	○
Hexadecane	○	○	○	○

Table 3. Detection Results of the Five Chemicals in Sample E after 15 Days

Sample E (15 Days)				
	Can	Glass Jar	Polymer bag (zipper)	Polymer bag (heat seal)
Toluene	○	○	×	×
Octane	○	○	○	○
o-Xylene	○	○	×	×
Decane	○	○	○	○
Hexadecane	○	○	○	○

Table 4. Detection Results of the Five Chemicals in Sample E after 22 Days

Sample E (22 Days)				
	Can	Glass Jar	Polymer bag (zipper)	Polymer bag (heat seal)
Toluene	×	○	×	×
Octane	○	○	×	○
o-Xylene	×	○	×	×
Decane	○	○	○	×
Hexadecane	○	○	○	○

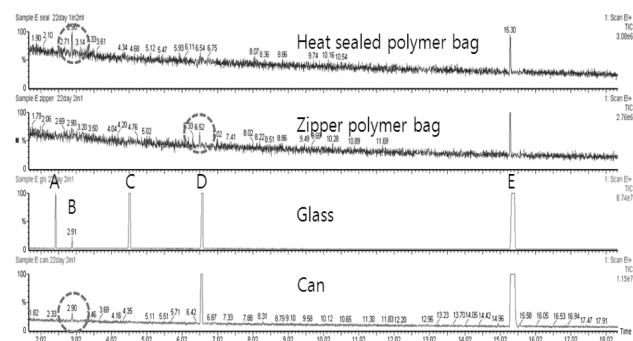


Figure 6. Total ion chromatograms of five species detected in samples extracted from burned out vinyl floor covering after 22 day storage of Sample E in ambient temperature. Peaks of A, B, C, D, and E indicate toluene, n-octane, o-xylene, n-decane and n-hexadecane, respectively.

였을 때 toluene, octane, o-xylene이, 지퍼형 고분자백에서는 toluene, octane, o-xylene, decane이, 열접착형 고분자백에서는 toluene, o-xylene, decane이 검출되지 않았다 (Table 6). 보관용기에 따라 22일 동안 보관한 경우는 Sample E의 캔은 toluene, o-xylene을, 지퍼형 고분자백은 toluene, octane, o-xylene을, 열접착형 고분자백은 toluene, o-xylene, decane을 검출하지 못하였고(Table 4, Figure 6을 참고), Sample F의 경우 캔, 지퍼형 고분자백, 고분자백 모두 hexadecane을 제외한 나머지 4종이 검출되지 않았고, 열 접착형의 경우 모든 화학종을 검출하지 못하였다

Table 5. Detection Results of the Five Chemicals in Sample F after 1 Day

Sample F (1 Day)				
	Can	Glass Jar	Polymer bag (zipper)	Polymer bag (heat seal)
Toluene	○	○	○	○
Octane	○	○	○	○
o-Xylene	○	○	×	×
Decane	○	○	○	○
Hexadecane	○	○	○	○

Table 6. Detection Results of the Five Chemicals in Sample F after 15 Days

Sample F (15 Days)				
	Can	Glass Jar	Polymer bag (zipper)	Polymer bag (heat seal)
Toluene	×	○	×	×
Octane	×	○	×	○
o-Xylene	×	○	×	×
Decane	○	○	×	×
Hexadecane	○	○	○	○

Table 7. Detection Results of the Five Chemicals in Sample F after 22 Days

Sample F (22 Days)				
	Can	Glass Jar	Polymer bag (zipper)	Polymer bag (heat seal)
Toluene	×	○	×	×
Octane	×	○	×	×
o-Xylene	×	○	×	×
Decane	×	○	×	×
Hexadecane	○	○	○	×

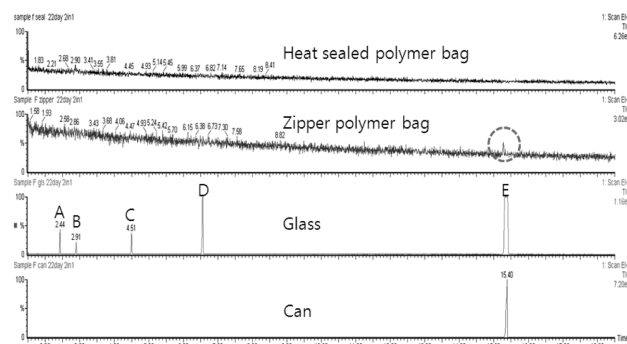


Figure 7. Total ion chromatograms of five species detected in samples extracted from burned out vinyl floor covering after 22 day storage of Sample F at 60 °C. Peaks of A, B, C, D, and E indicate toluene, n-octane, o-xylene, n-decane and n-hexadecane, respectively.

(Table 7, Figure 7을 참고). Figure 6과 Figure 7의 점선 동그라미는 작은 양이 검출된 물질을 표시하기 위하여 사용하였다.

이러한 결과를 참고하면, 화재증거물내에 미량으로 남아 있는 유류 성분물질은 상온보관시 15일 정도까지는 캔, 유리병에 보관하는 것은 괜찮으나, 여름철 등 배송시 상온보다 높은 온도에서 보관되어 배송하는 경우라면 유리병에 증거물을 보관하여야 증거물 내의 유류 성분물질을 좀 더 신뢰성있게 보관하여 감정기관에 이송할 수 있다. 결론적으로 보았을 때, 상대적으로 밀폐력이 좋고 용기 자체를 바로 전처리에 사용할 수 있는 유리병이 상온 및 60°C 보관시 가장 좋은 증거물 보관 용기였다.

4. 결 론

본 연구에서는 화재증거물이 화재 후에도 유류 성분을 비교적 많이 가지고 있고 유류 검지관이 반응을 하면 그 증거물은 대략 한 달이 지나도, 보관 용기에 상관없이(밀폐는 필수) 증거물내의 유류성분을 분석하는데 문제가 없었다. 화재 후에도 비교적 인화성물질이 다량 포함되어 있는 시료에 관하여 28일 보관 이후에도 감정시 쉽게 5가지 인화성물질을 검출할 수 있음을 확인하였다. 따라서 현장의 화재조사관이 유류냄새가 심하게 나고 유류검지관이 반응한 시료라면 30일이 지나도 증거물에서 유류성분 추출이 가능하다는 의미이다.

하지만 유류 성분 10 µL만을 인위적으로 투입한 증거물에서는 캔, 유리병, 고분자백 등 보관 용기에 따라 보관성능의 차이는 시간과 온도에 따른 뚜렷한 경향성을 보였다. 가장 빠르게 증거물에서 사라지는 물질은 가벼운 방향족 화합물인 toluene과 o-xylene이며, 나일론 재질의 고분자백이 보관 특성이 가장 좋지 않았다. 상대적으로 무거운 decane, hexadecane은 증거물에서 다른 화학 종에 비해 쉽게 검출됨을 알 수 있고, 가장 분자량이 큰 hexadecane의 경우 용기와 온도에 상관없이 검출하는데 용이하였다.

유류화재증거물이 상온에 보관된다면 캔의 경우도 훌륭한 보관 용기가 될 수 있으나, 고온 보관 성능이 우수하지 못하였다. 따라서 PTFE가 마개에 코팅이된 유리병은 상온 및 고온 보관성능이 우수하여 가장 좋은 증거물 보관 용기라 할 수 있다. 따라서 실제 화재현장에서 수집된 유류포함의심 증거물을 보관할 때에는 유리병에 보관하여야 증거물을 가장 신뢰성 있게 보관할 수 있다.

참고문헌

1. D. H. Han, S. R. Rhee and S. Y. Kim, "Qualitative Analysis of Ignitable Liquid Residues in Extracts from Fire Debris Samples", Journal of Korean Institute of Fire Science & Engineering, Vol. 25, No. 6, pp. 14-20 (2011).
2. T. H. Hwang and D. Choi, "A Study on Experimental Characteristics in Fire Investigation Techniques of Flammables Liquids", Journal of Korean Institute of Fire Science & Engineering, Vol. 26, No. 6, pp. 7-14 (2012).
3. E. Stauffer, J. A. Dolan and R. Newman, "Fire Debris Analysis", Elsevier (2008).
4. NFPA 921 Guide for Fire & Explosion Investigations, Chapter 16 : Physical Evidence (2011 edition).
5. Regulation for Collection and Preservation of Fire Debris, 2010. 7. 20. NEMA No. 209.
6. ASTM E 1412-12 : Standard Practice for Separation of Ignitable Liquid Residues from Fire Debris Samples by Passive Headspace Concentration With Activated Charcoal.
7. ASTM E 1618-11 : "Standard Test Method for Ignitable Liquid Residues in Extracts from Fire Debris Samples by Gas Chromatography-Mass Spectrometry".
8. M. R. Williams and M. Sigman, "Performance Testing of Commercial Containers for Collection and Storage of Fire Debris Evidence", J. Forensic Sci., Vol. 52, No. 3, pp. 579-585 (2007).