

A case study of verifying a suicide by carbon monoxide intoxication committed by burning an ignition charcoal briquette

Tae-myung Sung[★], Ju-ik Jo and Phil-sang Ahn

Forensic chemistry & toxicology section, Scientific Investigation Laboratory, Criminal Investigation Command, Itaewon-ro 22, Yongsan-ku, Seoul 04383, Korea

(Received July 25, 2015; Revised November 27, 2015; Accepted November 30, 2015)

착화탄 연소에 의한 일산화탄소 중독사에서 자살입증에 관한 사례연구

성태명[★] · 조주익 · 안필상

국방부조사본부 과학수사연구소 약독물화학과

(2015. 7. 25. 접수, 2015. 11. 27. 수정, 2015. 11. 30. 승인)

Abstract: Carbon monoxide (CO) intoxication, arising from CO from an ignited charcoal briquette (ICB), is a popular means of committing suicide in Korea. Most CO intoxications are related to suicide attempts; however, the possibility of a homicide disguised as a suicide cannot be ruled out. Therefore, forensic investigation of the deceased and the crime scene is crucial to confirm that the deceased committed suicide. Detection of the components of an ICB on the objects suspected of being contacted by the deceased, such as the hands, nostrils, and doorknobs, is essential for linking the crime scene to the victim in the case of suicides by ignited ICBs. The traces from an ICB were analyzed by investigating the morphological characteristics and obtaining elemental compositions. The ICBs were completely different from blackened wood, as detected by discriminant analysis with the elements of carbon and oxygen. We analyzed one case of CO intoxication to demonstrate an excellent procedure for verifying whether a suicide occurred with an ICB. We employed SEM-EDX for the analysis of an ICB, microscope-FT/IR and pyrolysis-GC/MS for a partly burnt resin-type substance, GC/MS for diphenhydramine (a sleeping drug), and GC/TCD for the CO-Hb level. We detected traces of an ICB on the hands, nostrils, and doorknobs, which were all discriminated into an ICB group. Detection of ICB traces from the nostrils could indicate that the deceased started the fire themselves to commit suicide. The partially burnt black material was analyzed as an acrylonitrilestyrene polymer, which is normally used to make bags for carrying or wrapping and could be assumed to have been used to transport the ICB. Diphenhydramine, a sleeping drug, was detected at a level of 2.3 mg/L in the blood, which was lower than that in fatal cases (8-31 mg/L; mean 16 mg/L). A CO-Hb level of 79% was found in the blood, which means that the cause of death was CO intoxication. The steps shown here could represent an ideal method for reaching

[★] Corresponding author

Phone : +82-(0)2-748-1965 Fax : +82-(0)2-748-1888

E-mail : sung660215@naver.com

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

a verdict of suicide by CO intoxication produced by burning an ICB in a sealed room or a car.

요 약: 번개탄과 같은 착화탄을 이용한 일산화탄소 중독사는 국내에서 빈번히 발생하고 있으며, 대부분이 자살과 관련되지만 타살의 가능성을 절대적으로 배제할 수는 없는 실정이다. 때문에 변사자와 사건현장을 법과학적으로 철저히 조사하여 변사자가 자살을 실행했다는 것을 입증해야 하며, 착화탄을 사용하여 자살을 했을 경우 착화탄이 접촉될 수 있는 손, 콧속 및 문고리 등에서 착화탄성분을 확인하는 것이 사건현장과 변사자와의 관련성을 입증하는데 매우 중요하다. 착화탄성분은 외관 및 화학적 조성을 토대로 확인할 수 있었으며, 판별분석을 통하여 검출된 착화탄성분이 검정색으로 관찰되는 목편과는 뚜렷하게 구별됨을 확인하였다. 자살을 입증한 사례에서 착화탄성분 분석을 위하여 실체현미경 및 주사형 전자현미경에너지분산형 X-선분석기(SEM-EDX)를 사용하였고, 일부 탄화된 수지상물질의 성분 분석을 위하여 현미경-적외선분광광도계(microscope-FT/IR) 및 열분해-기체크로마토그래프/질량분석기(Py-GC/MS)를 사용하였다. 또한 수면제 약물인 디펜히드라민을 위하여 기체크로마토그래프/질량분석기(GC/MS)를 사용하였고, 혈중 일산화탄소-헤모글로빈(CO-Hb) 농도 확인을 위하여 기체크로마토그래프(GC/TCD)를 사용하였다. 착화탄성분을 외관형상 및 화학적 성분을 토대로 손바닥 및 손잡이 등에서 확인하였으며, 특히 변사자의 콧구멍에서 착화탄성분을 검출함으로써 변사자가 자살을 위해 직접 불을 피웠음을 확인할 수 있었다. 일부 탄화된 검정색물질은 아크릴로니트릴스티렌 수지로 포장용 비닐가방에 널리 사용되는 재질로 착화탄을 운반할 때 사용된 것으로 추정되었다. 수면제 성분으로 디펜히드라민이 2.3 mg/L 검출되었으나 사망사건에서 검출된 농도 8-31 mg/L (평균 16 mg/L) 보다 훨씬 낮은 농도로 단지 수면을 유도했을 것으로 판단되었으며, 79%의 혈중 CO-Hb의 검출은 일산화탄소 중독이 사망원인이었음을 나타내었다. 위에서 언급된 절차들은 밀폐된 방 또는 차량 안에서 착화탄을 피워 사망한 일산화탄소 중독사에서 자살인지를 판단하는데 있어 매우 훌륭한 사례라 할 수 있을 것이다.

Key words: carbon monoxide intoxication, ignition charcoal briquette, suicide, barium

1. 서 론

번개탄과 같은 착화탄을 이용한 일산화탄소 중독사는 국내에서 빈번하게 발생하고 있는 사망사건으로 일산화탄소를 포함한 유해가스 중독은 우리나라에서 널리 이용되고 있는 자살 방법 중 하나로서 약물, 농약 및 칼 등의 날카로운 물질에 의한 자살 다음으로 높다.¹ 미국의 경우 일산화탄소에 의한 중독사는 역사적으로 99% 이상이 차량의 배기가스에 의해 발생하였으나 아시아계가 많이 사는 킹카운티에서는 최근 자살률의 약 40%가 착화탄에 의한 자살로 나타났다.² 2002년까지 홍콩에서는 착화탄에 의한 자살이 전체 자살의 약 25%로서 자살 방법 중 2 번째로 높았고,³ 대만도 전체 자살의 25%를 차지하였으며,⁴ 일본의 경우 착화탄에 의한 자살이 증가하고 있다.⁵ 일산화탄소는 유기물의 불완전연소에 의해 생성되며, 무색, 무취 및 무미한 기체로서 공기에 대한 비중은 0.967이고, 독성은 혈액 중의 헤모글로빈과 결합하는 힘이 산소에 비하여 약 210 배 강하여 혈액의 산소 운반능력을 저해하여 조직 내 산소결핍을 초래하며, 급성 일산화

탄소 중독증상은 혈중 CO-Hb의 농도가 60~80%에서 치명적이다. 이와 같이 일산화탄소를 배출하는 착화탄이 밀폐된 방 또는 차량에서 사용되었을 경우 대부분이 자살에 의한 범행일 가능성이 매우 높으며 감식과정 또한 사건현장의 정황과 변사자의 혈액에서 CO-Hb의 농도를 확인하는 수준에서 자살여부를 판단하는 경향이 있는 실정이다. 그러나 타살을 목적으로 착화탄을 피워 살해한 경우에도 자살로 판단될 가능성을 배제할 수 없으므로 자살을 입증할 수 있는 보다 직접적인 관련성을 사건현장에서 확인해야 할 것이다. 그 하나의 방법으로 변사자가 자살을 했다는 강한 증거로서 착화탄에 직접 불을 붙였다는 것을 확인하는 것이 될 수 있을 것이다. 이를 입증할 수 있는 가장 효과적인 방법은 변사자의 콧구멍으로 이동된 착화탄성분을 확인하는 것이 적합할 것으로 판단된다. 착화탄의 연소 시 전이 양상은 약 30 cm까지는 큰 입자의 착화탄성분이 다량 전이되었으나 거리에 따라 입자의 크기가 작아지고 전이량도 급격하게 감소하여, 약 2 m의 거리에서는 거의 관찰되지 않았다. 이와 같이 거리에 따른 착화탄성분의 검출 가능성을 고려할

경우 변사자가 착화탄의 연소지점에서 2 m 이상 떨어진 침대에서 사망한 채로 발견되고 콧속에서 착화탄 성분이 검출될 경우 변사자가 직접 불을 피웠다는 것을 강하게 뒷받침 해주는 결과로 해석될 수 있을 것이다. 착화탄을 이용한 일산화탄소 중독사의 한 사례에서 미세물질 및 약독물 감정을 위하여 약 30 여종의 감정물이 사건현장에서 채취되어 의뢰되었으며, 착화탄성분을 분석하기 위하여 실체현미경 및 주사형전자현미경-에너지분산형 X-선분석기(SEM-EDX)을 사용하였으며, 일부 탄화된 수지성분은 microscope-FT/IR 및 Py-GC/MS를 사용하였다. 수면제 약성분은 GC/MS를 사용하였고 혈중 CO-Hb 농도는 GC/TCD로 분석하였다. 착화탄성분을 현관 문고리 등에서 검출하여 변사자의 이동경로를 확인하였고 콧구멍 및 손바닥에서 확인함으로써 변사자가 직접 불을 피웠다는 것을 추정할 수 있었으며, 일부 탄화된 수지성분은 비닐봉지나 포장지로 사용될 수 있는 아크릴로니트릴스틸렌 수지 성분으로 착화탄을 운반하는데 사용한 것으로 추정되었다. 2.3 mg/L의 농도로 검출된 디펜히드라민 수면제 성분은 단순히 수면을 유도하였을 것으로 추정할 수 있었으며, 79%의 CO-Hb를 변사자의 혈액에서 검출함으로써 사망원인은 일산화탄소 중독임을 확인하였다. 이와 같이 사건현장과 변사자에서 사건과정을 재구성할 수 있는 착화탄성분을 정확하게 분석하는 것은 자살을 명확하게 입증할 수 있는 효율적이고 합리적인 감식 및 감정방법으로 판단된다. 현재에도 착화탄을 이용한 사망사고는 빈번히 발생하고 있으나 저자가 아는 바로는 아직까지 착화탄성분을 법과학적으로 분석하거나 자살 또는 타살의 사건유형을 판단하기 위한 체계적인 감식 절차를 소개한 문헌이 없었기에 착화탄과 관련된 사망사건에서 자살입증을 위하여 고려되어야 할 것으로 판단되는 사항을 검토해 보 고자한다.

2. 실험 및 방법

2.1. 재료

착화탄은 국내에서 유통되고 있는 제품으로 바로산업의 ‘바로점화숯’, 대상물산의 ‘대상반딧불’, 원진물산의 ‘아래로타숯’, 대명차콜의 ‘장터숯’ 및 ‘번개탄’, 화성의 ‘금강탄’으로 6종을 사용하였으며, 생산·판매되는 착화탄의 종류가 제한적이라 각 상표명에 대하여 3점씩을 시료로 선정하여 총 18 점을 사용하였다. 대조용 검정색 목편시료는 착화탄으로 판단될 수 있

는 검정색으로 변색된 나무 조각 14 점을 사용하였다. 혈중 CO-Hb 농도 측정을 위하여 99.5%의 일산화탄소와 99.999%의 헬륨을 서울특수가스에서 구매하여 사용하였으며, 수면제 성분인 디펜히드라민($\geq 98\%$)은 시그마제품을 사용하였다.

2.2. 분석장비

2.2.1. 실체현미경(Stereo Microscope)

착화탄성분 및 일부 탄화된 수지상물질의 관찰 및 채취를 위하여 실체현미경(szx10, Olympus, Japan)을 사용하였으며, 관찰 배율은 시료의 크기 및 상태에 따라 10~56 배로 적절히 선택하여 사용하였다.

2.2.2. 주사형전자현미경 에너지분산형 X-선 분석기(SEM-EDX)

착화탄성분의 외관형상 관찰을 위하여 SEM(EVO MA 15, Zeiss, Germany)을 사용하였으며, 주요 원소성분의 조성을 확인하기 위하여 EDX(XFlush®6130, Bruker, Germany)를 사용하였다. 분석에 사용된 착화탄성분을 전도성 탄소 Stub에 옮긴 후 골드코팅 없이 분석하였고, 검출기는 secondary electron (SE)을 사용하였으며, 가속전압은 25 kV, beam current는 30.0 μ A, working distance는 15 mm, X-ray 검출한계는 약 0.1%, EDX의 분해능은 140 eV로 사용하였다.

2.2.3. 현미경-적외선분광광도계(Microscope-FT/IR)

일부 탄화된 수지상물질의 성분 확인을 위하여 IR microscope이 장착된 FT-IR(Spectrum 100, Perkin Elmer, US)을 사용하였으며, 검출기는 mercury cadmium telluride를 사용하였다. 분해능은 4 cm^{-1} 로 스캔 범위는 4000~650 cm^{-1} 의 mid-IR 영역으로 16 회를 스캔하여 스펙트럼을 얻었다. 시료를 금속플레이트 위에 올려놓은 다음 별도의 전처리 없이 microscope-attenuation reflection mode (ATR)를 이용하여 흡수스펙트럼을 얻었다.

2.2.4. 열분해-기체크로마토그래프/질량분석기(Py-GC/MS)

일부 탄화된 수지상물질의 조성을 확인하기 위하여 고분자성분을 일정 온도에서 열분해 시키기 위해 이동용 열분해 분석기(JCI-21, Japan Analytical Instrument, Japan)를 사용하였으며, 특정 성분을 확인하기 위해 GC/MS(6890N GC/5973 MSD, Agilent, US)를 사용하였다. 열분해 온도는 590 $^{\circ}$ C로서 JAI사의 Pyrofoil

을 사용하였다. 열분해 시간은 10 초를 사용하였으며 헬륨 이동상의 유속은 1.0 mL/min이었다, GC의 주입 온도는 300 °C, 칼럼의 분석 조건은 50 °C에서 1 분간 머무른 후, 분 당 10 °C 씩 승온하여 340 °C에서 10분간 유지시켰다. 칼럼은 Ultra Alloy5 (30.0 m × 250 μm × 0.25 μm)를 사용하였다.

2.2.5. 기체크로마토그래프/질량분석기(GC/MS)

혈액에서 수면제 약물성분인 디펜히드라민의 확인 및 함량시험을 위하여 GC/MS (7890A GC-5975C inert XL EI/CI MSD, Agilent, US)를 사용하였다. Ion mode는 EI mode를 사용하였고, transfer line 온도는 280 °C, 이동상 기체는 헬륨으로 유속은 1.2 mL/min, GC의 주입온도는 280 °C, 칼럼의 분석 조건은 120 °C에서 5분 간 머무른 후 분 당 10 °C씩 승온하여 320 °C에서 10분 간 유지하였으며, 분석용 칼럼은 HP5 (30.0 m × 250 μm × 0.25 μm)를 사용하였다.

2.2.6. 기체크로마토그래프/열전도도검출기(GC/TCD)

혈중 CO-Hb 농도를 측정하기 위하여 열전도도검출기가 장착된 GC (6890N, Agilent, US)를 사용하였다. 이동상 기체는 헬륨을 사용하였으며, 유속은 1.0 mL/min으로 설정하였다. 분석에 사용된 칼럼은 HP-PLOT MoleSieve5A (30 m × 320 mm × 25 μm), 주입온도는 150 °C, 검출온도는 250 °C를 사용하였으며, 오븐온도는 100 °C에서 160 °C까지 분 당 10 °C씩 승온하면서 분석하였다.

2.3. 분석방법

2.3.1. 착화탄성분의 전이거리 확인시험

착화탄으로부터 약 50 cm 높이에서 길이 약 250 cm, 너비 약 5 cm의 흰색종이를 착화탄의 원점에서부터 원거리로 수평으로 고정시킨 후 착화탄에 불을 붙인 후 시간에 따라 흰색종이에 검정색 착화탄성분이 가라앉는 양상을 관찰하였다. 착화탄의 불꽃 크기가 약하게 줄어들 때까지 착화탄성분의 침착양상을 관찰하였으며, 약 5 cm 너비의 투명 점착성테이프를 착화탄 성분이 침착된 면에 붙여 착화탄성분을 고정시켰다. 육안으로 식별하기 힘든 미세검정색물질의 분포양상은 실체현미경을 이용하여 관찰하였다.

2.3.2. 착화탄성분의 채취 및 원소성분 확인시험

사진용지와 같은 흰색코팅용지(약 10 cm × 10 cm) 위에 면봉을 놓고 편셋을 면봉으로 착화탄성분을 털

어 낸 후 현미경으로 관찰하면서 착화탄성분의 주위를 청색 네임펜으로 원을 표시하였다. 검정색 전도성 테이프가 부착된 stub를 네임펜의 잉크성분이 건조되기 전에 갖다 대어 착화탄성분과 잉크성분이 전도성 테이프의 표면에 동시에 전이되도록 하였다. 또한 전사지에 부착된 착화탄성분은 부착된 부위를 오래낸 후 유리슬라이드글라스에 옮기고 톨루엔 또는 자일렌을 피펫으로 약 10 μL 점적한 후 전사지를 제거하였다. 용제가 건조된 후 착화탄성분의 주위에 네임펜으로 원을 표시한 후 stub를 접촉하여 착화탄성분을 전도성테이프로 전이시켰다. 실체현미경 하에서 네임펜의 잉크성분이 묻은 위치를 관찰하면서 칼날로 사각 또는 삼각형으로 착화탄성분이 부착된 부위를 표시하였다. SEM으로 외관형상을 관찰하고 EDX로 조성원소를 확인하였으며 조성원소의 함량은 3 회 반복 측정된 후 평균값을 사용하였다. 또한 통계 프로그램인 SPSS 18th를 이용하여 판별분석을 실시하여 사건 현장의 검정색 미세시료가 착화탄 또는 검정색목편집단에 속하는지를 판단하였다.

2.3.3. 일부 탄화된 검정색 수지상물질의 성분 확인 시험

검정색 수지상물질을 microscope-ATR 모드를 이용하여 적외선흡수스펙트럼을 얻었다. 또한 검정색 수지상물질을 Py-GC/MS로 분석하기 위하여 590 °C pyrofoil에 미량의 시료를 채취한 다음 pyrofoil을 접은 후 석영관에 주입하고 10 초 동안 열분해 시켰으며, 주요성분의 머무름시간 및 질량스펙트럼을 이용하여 열분해 생성물을 확인하고 열분해되기 전의 수지상물질의 성분을 추정하였다.

2.3.4. 혈액에서 디펜히드라민 수면제성분 확인시험

혈액에서 디펜히드라민의 분석은 Lutz 등에 의하여 보고된 방법을 준용하여 시험하였다. 혈청 1 mL를 원심분리관에 넣고 내부표준물질로 10 μL의 cyproheptadiene (10 μg/L)을 가한 후 10초 동안 vortex하였다. 1M 농도의 NaOH 수용액 1 mL를 가한 후 7 mL의 n-heptane을 가하고 1 시간 동안 shaking하였다. 원심분리를 실시 한 후 약 40 °C에서 감압농축한 후 50 μL의 에틸초산을 가한 후 GC에 1 μL를 가하여 분석하였다.

2.3.5. 혈중 CO-Hb 농도 확인시험

혈액에서 CO-Hb 농도의 확인시험은 Lewis 등⁷⁾

보고한 시험법을 준용하여 측정하였다. 혈중 CO-Hb 표준 농도를 제조하기 위하여 50 mL 비이커에 분석 대상 혈액 약 4 mL를 가한 후 CO 가스를 purging하여 CO-헤모글로빈으로 완전히 치환시킨 후 잔존하는 CO를 N₂로 purging하여 제거하였다. 증류수로 묽혀 20%, 40%, 60%, 80%, 100% 농도의 표준용액을 제조하였다. 10 mL 초자병에 시료를 1 mL씩 가한 후 3% K₃[Fe(CN)₆]를 2 mL 첨가한 후 90 °C에서 30분 간 가열한 다음 기체상을 0.5 mL 채취하여 GC에 주입하여 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 착화탄성분의 검출을 통한 자살입증의 가능성 검토

번개탄 또는 아래로타숫 등과 같은 착화탄은 무게가 300 g 정도로 가볍기 때문에 운반하기 쉽고, 한쪽면에 질산바름과 같은 연소촉진제와 톱밥이 도포되어 있기 때문에 라이터나 성냥불로도 쉽게 불을 붙일 수 있다. 이러한 착화탄의 운반의 편리성과 사용의 용이함 때문에 밀폐된 실내나 차량에서 착화탄을 피운 연소 시 생성되는 일산화탄소에 의한 중독사, 즉 자살의 도구로 착화탄이 널리 사용되고 있다. 국내에서는 일산화탄소 중독사가 포함된 유해가스 중독사 건수가 총 자살건수의 약 7.4%로 보고¹되어 있을 정도로 자살에 착화탄이 널리 사용되고 있는 실정이다. 이와 같이 착화탄을 이용하여 밀폐된 승용차에서 자살을 시도할 경우의 일산화탄소 농도 변화가 Fig. 1과 같이 보고되었다.⁸ 착화탄 1 개를 피웠을 경우 약 1 시간 후 최고 농도인 약 2000 mg/L에 도달하였고, 2 개는 약 10분 후 3200 mg/L에 도달하며 약 45 분 후 최고 농도인 약 7000 mg/L에 도달하였다. 이러한 결과는 Struttman 등⁹이 보고한 일산화탄소의 농도에 따른 유해정도를 고려할 경우 승용차에서 착화탄을 1 개 피웠을 경우, 사망에 이를 수 있는 시간이 약 2 시간 이내 그리고 2 개를 피웠을 경우 1 시간 이내로 추정

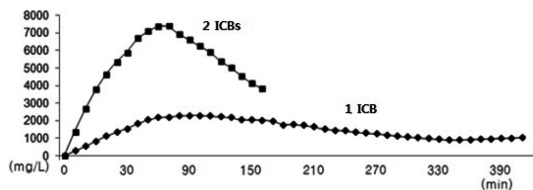


Fig. 1. Levels of CO with time by burning ICBs in a sedan.

될 수 있을 정도로 사건 발생 후 매우 짧은 시간에 사망에 이를 수 있다는 것을 확인할 수 있었다.

착화탄을 이용한 일산화탄소 중독사에서 착화탄의 연소지점과 사망자의 발견위치가 약 2 m 이상일 경우, 사망원인이 자살임을 입증하는 가장 중요한 인자로서 자살을 목적으로 변사자가 직접 착화탄에 불을 피웠다는 것을 입증하는 것이 효율적이라고 생각되며, 이를 입증할 수 있는 가장 확실한 방법이 변사자의 콧속에서 착화탄성분을 확인하는 것이라고 생각된다. 왜냐하면 변사자의 콧속에서 착화탄성분이 검출되었다는 것은 착화탄에 매우 가까운 위치에서 불을 피웠을 때 불꽃이 튀기면서 일부 미연소된 착화탄성분이 호흡하는 과정에서 콧속으로 들어갔을 가능성 외는 달리 설명할 수 없을 것으로 생각된다. 또한 손바닥에서 착화탄성분이 검출되는 것은 착화탄을 비닐봉지에서 꺼낼 때 문을 가능성이 높으며 변사자가 직접 착화탄을 조작했다는 강한 증거가 될 수 있을 것이다. 그러나 타살의 경우에도 가해자가 변사자의 손에 착화탄성분을 묻혔을 가능성 또한 배제할 수 없기 때문에 자살입증을 위해서는 콧속에서 착화탄성분이 검출되는지를 먼저 확인한 후에 손바닥에서 검출되는 착화탄성분의 의미를 해석해야 될 것으로 판단된다.

3.2. 착화탄성분의 전이거리 확인시험

착화탄에 불을 피우는 초기상태를 고려하여 착화탄으로부터 코의 높이를 약 50 cm로 가정하여 착화탄으로부터 높이 약 50 cm 위에 착화탄성분이 전이되는지를 확인하였다. 불을 피운 초기부터 미연소된 착화탄성분의 입자가 착화탄의 바로 위에 다량 침착되는 것을 확인할 수 있었으며, 이는 착화탄에 불을 붙이면 불꽃이 튀기면서 코의 높이보다 더 멀리 전이될 수 있는 것으로 추정되었으며, 또한 착화탄이 격렬하게 타기 시작하는 시점부터는 가열된 공기에 의한 상승기류와 함께 다량의 착화탄성분이 50 cm 보다 높은 위치에 도달하는 것을 확인할 수 있었다. 이와 같은 착화탄의 전이 양상을 고려할 때 연소 초기에 상승 또는 상승 후 하강하는 착화탄성분이 호흡하는 과정에서 콧속으로 충분히 전이될 수 있음을 확인할 수 있었다. 또한 원점으로부터 멀어짐에 따라 전이되는 착화탄성분의 양이 감소하고 입자의 크기도 작아짐을 확인하였으며, 약 100 cm 밖에는 착화탄성분의 전이가 희박하였고 약 200 cm 거리에서는 거의 관찰되지 않았다. 이와 같은 결과는 모텔과 같이 밀폐된 공간에서 변사자가 침대에서 발견된다면 착화탄성분의 검출

여부는 자·타살을 해석하는데 유용하게 활용될 수 있을 것으로 판단되었다.

3.3. 외관형상에 의한 착화탄성분 확인시험

착화탄의 성분 확인은 색상, 외관형상 및 조성원소를 동시에 분석하여 판단하는 것이 적절할 것으로 판단되며, 착화탄의 외관형상의 특징은 Fig. 2와 같이 가도관과 벽공이 뚜렷하게 관찰되나 검정색목편은 가도관과 벽공이 뚜렷하지 않는 것이 큰 차이점으로 나타났다. 이는 착화탄은 제조 과정에서 벽공에 잔존하던 물질들이 대부분 제거되기 때문에 검정색목편과 외관형상에서 뚜렷한 차이를 보였다.

그러나 실제 착화탄을 피워 사망한 사건에서 변사자의 콧속에서 면봉으로 채취한 착화탄성분은 대부분이 Fig. 3과 같이 수십 μm 크기로 매우 작기 때문에 가도관과 벽공이 동시에 관찰되지 않을 수도 있고 단지 표면이 벽공의 일부로서 매끈하게 관찰될 수도 있기 때문에 원소 구성에 대한 검토도 함께 이루어져야 할 것으로 판단되었다.

착화탄성분의 분석에서 제일 어려운 단계는 면봉 또는 전사지에서 관찰되는 미세착화탄성분을 검정색

전도성테이프로 옮기는 단계일 것이다. 검정색 전도성 테이프로 면봉을 직접 접촉시켜 착화탄성분을 부착시킬 경우 실체현미경에서는 착화탄성분의 색상이 검정색 전도성테이프와 비슷하기 때문에 식별이 잘 되지 않으며, SEM에서도 접촉과정에서 생성된 손상 표면과 착화탄성분이 구별되지 않는 단점이 있었다. 또한 면봉에 부착되어 있는 착화탄성분을 핀셋으로 직접 채취하는 것은 핀셋이 면봉에 접근하는 과정에서 착화탄성분이 부착되어 있지 않은 면섬유를 건드려 위치가 변하기 때문에 핀셋으로 채취하기도 어려웠다. 흰색 알루미늄 양면테이프를 사용할 경우 면봉을 직접 접촉하여 착화탄성분을 전이 시킨 후 실체현미경에서 착화탄성분을 확인하기는 매우 용이하였으나 SEM-DEX에서 전도성 부족으로 주사된 전자가 축적되어 표면의 일그러짐 현상이 나타나, 미세한 착화탄성분이 주사전자의 초점에서 벗어나게 되는 단점이 나타났다.¹⁰ 전자의 축적을 피하기 위해 골드코팅을 한 다음 분석한 경우에도 코팅하기 전 보다는 전자의 축적 및 표면의 일그러짐이 감소하였으나 착화탄성분이 초점에서 벗어나는 현상을 극복할 수는 없었다. 면봉에 부착된 착화탄성분을 검정색 전도성테이프에 바

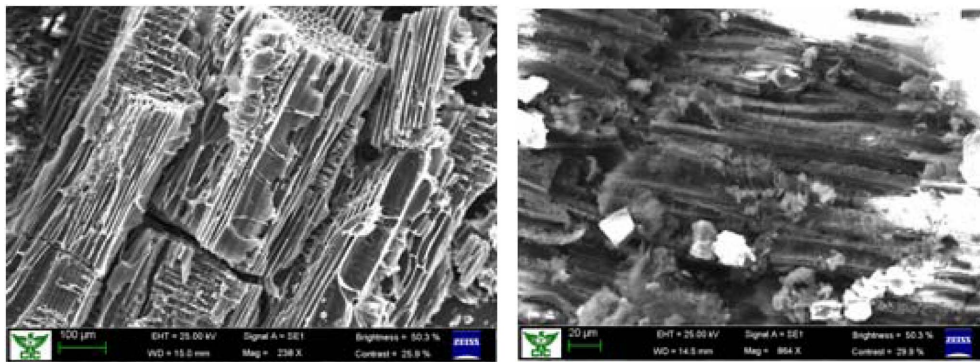


Fig. 2. Typical morphological aspects for ICBs(left) and blackened woods(right).

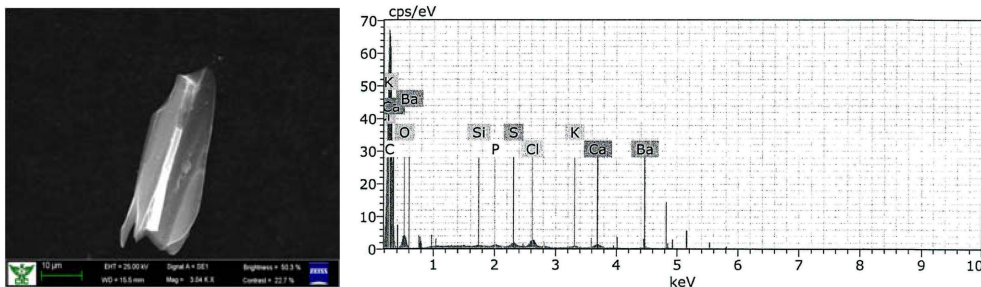


Fig. 3. An ICB particle detected on a swab collected from the deceased's nostrils.

Table 1. Elemental compositions of ICBs and blackened woods (atomic weight, %)

No.	Type	Carbon	Oxygen	No.	Type	Carbon	Oxygen
1	ICB	96.5	4.0	17	ICB	90.7	7.8
2	ICB	97.3	2.7	18	ICB	88.1	5.6
3	ICB	93.0	5.8	19	blackened wood	68.1	19.4
4	ICB	88.7	10.8	20	blackened wood	65.1	17.6
5	ICB	92.8	5.9	21	blackened wood	74.9	16.8
6	ICB	89.6	9.5	22	blackened wood	69.6	23.7
7	ICB	92.0	7.1	23	blackened wood	68.3	22.7
8	ICB	90.5	7.9	24	blackened wood	62.9	23.5
9	ICB	90.3	8.7	25	blackened wood	71.5	30.8
10	ICB	91.6	6.4	26	blackened wood	67.2	27.9
11	ICB	90.8	9.2	27	blackened wood	52.6	31.3
12	ICB	91.5	4.4	28	blackened wood	49.8	26.4
13	ICB	91.4	6.4	29	blackened wood	67.2	15.8
14	ICB	87.5	11.0	30	blackened wood	59.4	26.5
15	ICB	91.9	7.8	31	blackened wood	64.5	20.4
16	ICB	95.1	4.1	32	blackened wood	71.7	17.7

로 옮기는 것은 매우 어려웠으나 흰색 코팅지를 사용할 경우 쉽게 stub로 옮길 수 있었고 주사전자의 축적에 의한 표면 일그러짐도 전혀 발생하지 않았다. 따라서 검정색 전도성테이프를 사용하여 먼봉이나 전사지의 착화탄성분을 채취하는 것이 적절한 방법임을 확인하였다.

3.4. 조성원소에 의한 착화탄성분 확인시험

착화탄과 검정색목편의 원소조성의 차이를 확인하기 위하여 착화탄성분 18 점과 검정색목편 14 점을 이용하여 Table 1과 같이 원소성분을 분석하였으며, 착화탄의 탄소 함량은 대체적으로 90% 이상이었고 산소 함량은 10% 미만이었다. 채취부위에 따라 연소속진제로 사용되는 바륨이 검출되었다. 그러나 검정색목편의 경우 탄소 함량이 약 50~70%, 산소 함량이 약 15~30%로 나타났으며, 이러한 화학적조성의 차이점은 Fig. 4와 같이 산포도에서도 뚜렷하게 2 개의 집단으로 구분되었다.

3.5. 판별분석에 의한 착화탄성분 확인시험

Table 1의 착화탄성분 18 점과 검정색목편 14 점에 대하여 판별분석을 통하여 2 개 집단으로 구분되는지를 확인하였다. 표준화된 탄소(Z 스코어, carbon)의 평균은 착화탄성분 및 검정색목편에서 각각 0.812928과 -1.0452379로 나타났으며, 산소(Z 스코어, oxygen)의 평균은 각각 -0.7855515와 1.0099948로 나타났다.

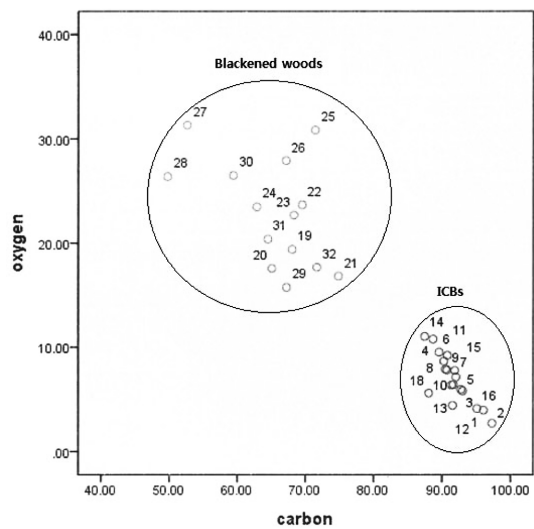


Fig. 4. Scatter plot of carbon and oxygen for ICBs and blackened woods.

집단평균의 동질성 검정에서 유의수준이 탄소 및 산소에서 모두 0.000으로, 유의수준 $\alpha=0.05$ 보다 훨씬 작아 착화탄과 검정색목편은 평균에 있어 차이가 뚜렷함을 확인하였다. 또한 정준상관관계가 0.941로서 1에 가까워 판별력이 우수한 것으로 확인되었으며, 표준화정준판별함수계수에서 Z 스코어 탄소 값이 0.771로 산소 -0.342 보다 큰 절대값으로 탄소가 상대적으로 중요도를 나타내었다. 분류중심값은 착화탄성분은

2.382, 검정색목편은 -3.063으로, 분류기준은 -0.68081로 나타났다.

$$\begin{aligned} \text{분류기준} &= \frac{n_2C_1+n_1C_2}{n_1+n_2} = \frac{(14 \times 2.382) + [18 \times (-3.063)]}{32} \\ &= -0.68081 \end{aligned}$$

C₁과 C₂는 집단의 중심점이고 n₁과 n₂는 표본의 수

각 집단의 판별점수를 결정하는 Fisher의 선형판별함수는 다음과 같았다.

집단 1(착화탄성분) Y=-3.530+5.157 Z스코어(carbon) - 1.885 Z스코어(oxygen)

집단 2(검정색목편) Y=-5.383 - 6.631 Z스코어(carbon) + 2.424 Z스코어(oxygen)

케이스별 각 집단의 판별점수에서 실제집단과 예측집단은 모두 일치하여 오판별률은 0%였으며, 착화탄 성분에서는 판별점수가 모두 분류기준 값인 -0.68081보다 훨씬 크게 나타났고, 검정색목편에서는 -0.68081보다 작게 나타나 판별이 잘 됨을 확인하였다. 표준화 정준판별함수는 Y=0.771 × Z score (carbon) + (-0.342) × Z score (oxygen)로써 분석대상 시료의 표준화 값을 대입하여 얻은 판별점수가 -0.68081보다 클 경우 착화탄성분 집단으로 분류되고 작을 경우 검정색목편 집단으로 분류됨을 확인하였다.

3.6. 착화탄에 의한 일산화탄소 중독사에서 자살 입증 사례

변사자는 차량에서 착화탄을 피워 자살을 시도하였으나 실패하고 모텔에서 착화탄을 피워 자살한 사건으로 모텔의 침대위에서 천정을 보고 누워 있는 상태였고 변사자와 착화탄의 거리는 약 2 m로 착화탄 연소 시 미연소물질의 전이거리를 고려할 경우 변사자가 착화탄에 불이 붙기 전에 침대에 누워 있었다면 착화탄성분이 이동하여 콧속에 들어갈 가능성은 희박

할 것으로 판단되었다. 이 사례와 관련하여 약 30 여 점의 시료가 범행과정 추정과 사망 원인을 확인하기 위하여 의뢰되었으며, 주요 감정물로는 콧속을 채취한 면봉과 손바닥 및 문고리 등에서 채취한 전사지, 종이 컵에 일부 탄화된 검정색 수지성분 및 변사자의 혈액 등이었다.

3.6.1. 착화탄성분 확인시험

변사자의 콧속, 오른손 및 왼손, 현관 및 방문 고리에서 채취한 면봉 또는 전사지에서 실체현미경으로 검정색물질을 확인하였고 외관형상을 SEM으로 Fig. 3과 같이 벽공 일부로 판단되는 매끄러운 표면을 관찰할 수 있었으며, Table 2와 같이 탄소원소 성분이 대부분의 시료에서 약 90% 이상, 산소가 약 10% 이하로 검출되었다. 특히 착화탄성분임을 강하게 나타내는 성분으로 연소촉진제로 사용될 수 있는 질산바륨의 구성성분으로 판단되는 바륨원소를 콧속에서 채취된 면봉에서 확인할 수 있었으며, 니트르기의 존재로 탄소의 함량이 85.7%로 낮아지고 산소의 함량은 11.5%로 높아지는 경향성을 보였다. Table 2와 같이 변사자가 이동과정에서 접촉했을 것으로 추정되는 차량의 왼쪽손잡이, 현관문 문고리 및 손바닥 등에서 주 성분이 탄소 및 산소인 검정색물질을 확인하였으며, 판별점수는 모두 분류기준 값인 -0.68081보다 훨씬 크게 나타나 집단 1인 착화탄성분의 집단에 속하는 것으로 확인하였다.

3.6.2. 일부 탄화된 검정색물질의 성분 확인시험

일부 탄화된 검정색물질을 microscope-FT/IR을 이용하여 흡수스펙트럼을 Fig. 5와 같이 얻었으며, 3000 cm⁻¹ 이상에서 방향족화합물의 C-H 결합의 대칭 및 비대칭 스트레칭 진동흡수대를 확인하였고, 1600과 1500 cm⁻¹에서 작은 흡수대를 확인하여 방향족화합물이 구성성분임을 확인하였다. 또한 2230 cm⁻¹에서 니트릴기(CN)의 흡수대를, 700 및 760 cm⁻¹에서 아크릴성분의

Table 2. Elemental compositions of blackened particles (atomic weight,%)

Sampling position	C(%) / Z score(C)	O(%) / Z score(O)	Discriminant score
Nostrils	85.7 / 0.29250	11.5 / -0.20382	1.063
Palm of right hand	92.1 / 0.80779	7.6 / -0.67140	2.477
Palm of left hand	87.9 / 0.43978	12.2 / -0.08392	1.279
Left handle of a car	93.4 / 0.87427	6.9 / -0.80328	2.713
Knob of entrance door	91.2 / 0.74908	8.4 / -0.57548	2.284
Knob of a room door	89.5 / 0.57970	9.3 / -0.44360	1.836

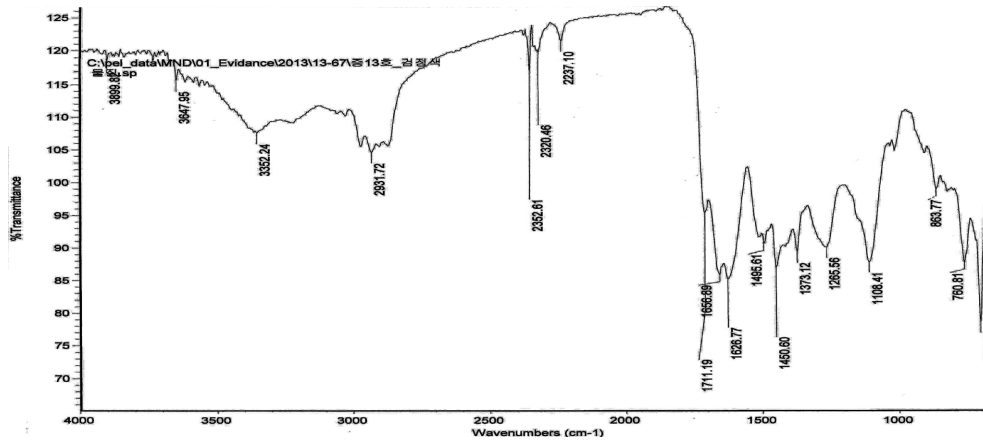


Fig. 5. IR spectrum of partly burnt black substance.

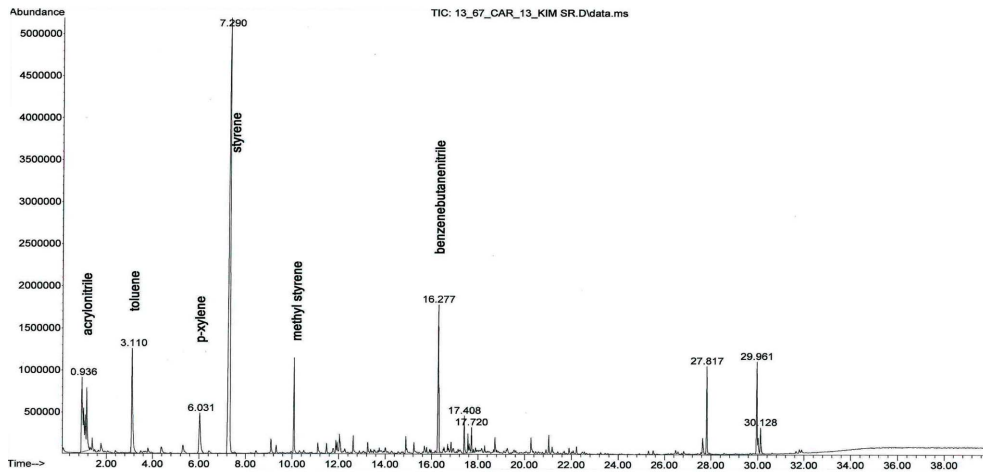


Fig. 6. Pyrogram of partly burnt black substance.

특징 피크를 확인하였다.

수지성분의 조성을 보다 구체적으로 확인하기 위하여 Fig. 6과 같이 pyrogram을 얻었다.

아크릴로니트릴스틸렌수지의 열분해성분¹¹으로 판단되는 styrene 주성분에 styrene으로부터 생성될 수 있는 toluene과 xylene이 주요성분으로 생성됨을 확인하였으며, 니트릴기를 포함하는 아크릴로니트릴과 benzenebutanenitrile성분을 확인하였다. 따라서 적외선 흡수스펙트럼과 파이로그래를 종합해 보면 검정색물질은 아크릴로니트릴스틸렌수지 성분으로 추정되었으며, 이러한 수지성분은 비닐봉지나 포장용지의 재료물질로 주로 사용되기 때문에 이 사건에서는 비닐봉지로서 착화탄을 운반하는데 사용된 것으로 추정되었다.

3.6.3 혈액에서 수면제 성분인 디펜히드라민 확인 시험

혈액에서 디펜히드라민의 검출은 D. Lutz 등⁶에 의하여 보고된 방법을 준용하여 GC/MS로 Fig. 7과 같이 크로마토그램을 얻었으며, 디펜히드라민은 14.10분에 내부표준물질로 사용된 cyproheptadiene은 18.83분에 검출되었다. 디펜히드라민의 주요 이온피크인 73 및 165 amu의 상대적인 크기로 성분을 확인하였으며, 정량은 58 amu 피크를 이용하여 측정하였다.

변사자의 혈액에서 디펜히드라민이 2.3 µg/mL 검출되었으며, 이 농도는 디펜히드라민 과복용에 의해 사망한 성인 11명의 사례¹²에서 검출된 혈액의 농도 8~31 µg/mL(평균 16 µg/mL) 보다 낮은 농도로서 사

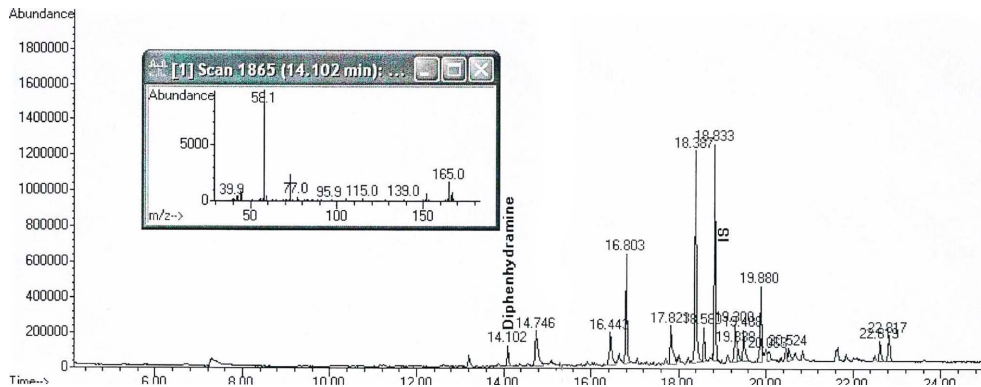


Fig. 7. A total ion chromatogram obtained in the blood of the deceased.

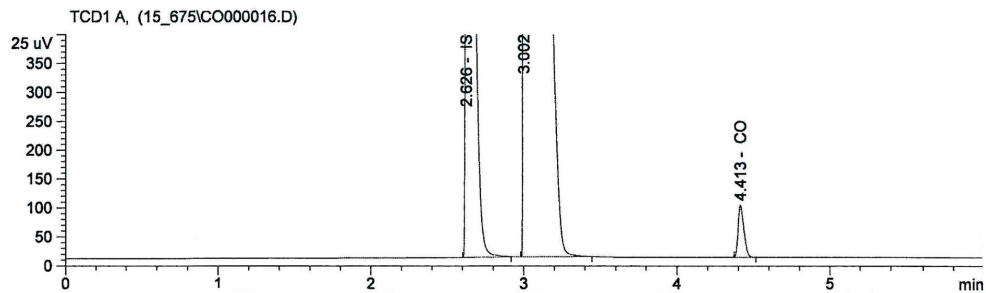


Fig. 8. GC chromatogram obtained in the blood of the deceased.

망원인물질로는 판단되지 않았으며 단지 수면을 유도한 것으로 판단되었다.

3.6.4. 혈액에서 CO-Hb 농도 확인시험

일산화탄소에 의한 중독사 여부를 판단하기 위해 혈액에서 Fig. 8과 같이 크로마토그램을 얻었다.

일산화탄소는 약 4.41 분에서 검출되었으며 약 2.63 분 및 3.00분에서 검출되는 산소 및 질소와는 완전히 분리가 되었다. 주사기로 기체상의 시료를 채취할 때 발생하는 채취량의 차이를 보정해 주기위해 내부표준 물질로서 대기 중의 산소를 사용하여 양호한 결과를 얻었으며, 농도에 대한 반응값의 상관계수는 0.99이상을 나타내었다. 변사자의 혈액에서 CO-Hb의 농도는 79%로 검출되었으며, 80% 이상에서는 급격히 사망한다는 자료¹³에 의하면 이 사례에서는 사망 원인이 일산화탄소 중독임을 확인할 수 있었다.

4. 결 론

번개탄 또는 아래로타숫 등의 착화탄이 현재에도 자살에 빈번히 이용되고 있으며, 특히 유명 연예인이

착화탄을 사용하여 자살하는 경우에는 베르테르효과로 인하여 자살건수도 한시적으로 늘어나는 경향도 있다. 차량이나 밀폐된 공간에서 착화탄이 탄 흔적이 있을 경우 대부분이 자살로 일단락 될 가능성이 높지만 타살의 가능성도 염두 해 두고 사건현장을 조사해야 할 것으로 판단된다. 착화탄과 관련된 일산화탄소 중독사의 경우 착화탄성분의 분석이 사망원인을 해석 하는데 있어 결정적인 요소로 작용할 수 있을 것으로 판단되며, 외관검사와 화학적 원소성분 검사를 통하여 착화탄과 검정색목편을 구별해 낼 수 있음을 확인하였다. 또한 통계적인 접근으로 판별분석을 통하여 착화탄성분을 보다 객관적으로 확인하였다. 이와 같은 착화탄성분의 분석법을 토대로 착화탄을 이용한 일산화탄소 중독사에서 사건을 재구성하고 사망원인을 법과학적으로 완벽하게 입증하기 위해서는 다음의 과정이 감식 및 감정에서 수행되어야 할 것으로 판단된다. 첫째, 가장 중요한 과정으로서 변사자의 자살 행위를 입증하는 방법으로 직접 착화탄에 불을 붙였다는 것을 확인하는 방법으로 콧속에서 착화탄성분을 확인하는 것이다. 사례에서는 콧속에서 착화탄성분을 면봉으로 채취하고 외관검사와 더불어 조성원소 및 판별분

석을 통하여 객관적으로 검정색물질이 착화탄성분임을 확인하였다. 둘째, 변사자의 범행과정에서 이동과정을 추정하기 위해 착화탄성분이 전이될 수 있는 현관 또는 문고리 등을 전사지로 채취한 후 실체현미경과 SEM-EDX를 이용하여 착화탄성분을 확인해야 할 것이다. 사례에서는 차량의 왼쪽손잡이, 현관문 문고리, 방문 문고리, 우측 및 좌측 손바닥에서 전사지로 착화탄성분을 채취하였으며, SEM-EDX로 외관형상, 성분분석 및 판별분석을 통하여 착화탄성분을 확인하여 변사자의 사망 전 이동과정을 추정할 수 있었다. 셋째, 사건현장에서 범행 과정에서 사용된 것으로 추정되는 미상의 물질이 발견될 경우 훼손되기 전에는 어떤 물건이었는지 어떤 용도로 사용되었는지에 대하여 검토되어야 할 것이다. 본 사례에서는 검정색 물질은 아크릴로니트릴스틸렌수지 성분으로 검정색 봉지로 추정되었으며 착화탄을 운반하는데 사용된 것으로 판단되었다. 넷째, CO-Hb 농도를 포함하여 사망을 초래할 수 있는 독성물질을 혈액 또는 위내용물에서 확인해야 한다. 이번 사례에서는 79%의 CO-Hb가 사망 원인 물질로 확인되었으며, 디펜히드라민이 2.3 µg/mL 검출되었으나 사망 사건에서 검출된 농도, 8~31 µg/mL (평균 16 µg/mL) 보다 낮은 농도로서 사망에는 직접적인 영향을 끼치지 않은 것으로 추정되었다. 이와 같이 차량 또는 모텔 등의 밀폐된 공간에서 착화탄의 연소에 의한 일산화탄소 중독사에서는 항상 타살의 가능성을 염두 해 두고 위에 언급된 요소들을 견지하면서 감식과 감정을 수행해야 할 것으로 판단되었다.

References

1. Suicidal methods, <http://kosis.kr/wsearch/totalSearch.jsp>
2. M. W. Schmitt, T. L. Williams, K. R. Woodard and R. C. Harruff, *J. Forensic Sci.*, **56**(3), 652-655 (2011).
3. K. Y. Liu, A. Beautrais, E. Caine, K. Chan, A. Chao and Y. Conwell, *J. Epidemiol Community Health*, **61**, 248-253 (2007).
4. Y. Pan, S. Liao and M. Lee, *J. Affect Disord*, **120**, 254-257 (2009).
5. E. Kamizato, K. Yoshitome, Y. Yamamoto, T. Iwase, T. Tsuda and S. Miyaisi, *Acta. Med. Okayama*, **63**(4), 177-186 (2009).
6. D. Lutz, W. Gielsdorf and H. Jaeger, *J. Clin. Chem. Clin. Biochem.* **21**, 595-597 (1983).
7. R. J. Lewis, R. D. Johnson and D. V. Canfield, *J. Anal. Toxicol.*, **28**, 59-62 (2004).
8. T. S. Kim, H. S. Kwak, M. C. Joo, T. S. Jung, Y. B. Lee, J. H. Yoon, J. M. Kim, T. M. Sung, J. W. Lee and Y. G. Kim, 1st Symposium of Korean Forensic Sciences Association, Seoul, 151-744 (2013).
9. T. Struttman, A. Scheerer, S. Prince and L. Goldstein, *J. Am. Board Fam Pract.*, **11**, 481-484 (1988).
10. K. H. Kim, Z. Akase, T. Suzuki and D. Shindo, *Mater. Trans.*, **51**(6), 1080-1083 (2010).
11. M. Blazso, G. Varheg and E. Jakab, *J. Anal. Appl. Pyro.*, **2**, 177-185 (1980).
12. R. C. Baselt, 'Disposition of Toxic Drugs and Chemicals in Man', 8th Ed., PP 489-492, Biomedical, California, 2008.
13. J. J. Yoon, 'Forensic medicine' 1st Ed., p 183, Korean medicine, Seoul, 2006.