

SEM-EDX에 의한 소총과 권총의 뇌관화약잔사 분석

전충현* · 박성우

충남대학교 과학수사학과

(2010. 4. 16. 접수, 2010. 5. 31. 승인)

Analysis of rifle and pistol primer gunshot residue using SEM-EDX

Chung-Hyun Jeon* and Sung-Woo Park

Dept. of Scientific Criminal Investigation, Chungnam National University, Daejeon, 305-764, Korea

(Received April 16, 2010; Accepted May 31, 2010)

요 약: 총기사고에서 용의자 식별의 기초자료로 활용하기 위하여 3가지 유형의 한국형 총기인 K1A 기관단총, K2 소총, K5 권총의 뇌관화약잔사(Primer GSR)를 SEM-EDX로 분석하였다. 실내사격장에서 각 1발씩 3회 사격하여 얻은 뇌관화약잔사의 형태, 크기, 입자수 그리고 성분분석을 통한 각 입자의 원소 함량비율을 확인하였다. 뇌관화약잔사 입자는 대부분 Ba>Pb>Sb의 함량비율을 갖고 있었지만 특정 형태의 입자에서는 Sb>Pb>Ba 혹은 Pb>Sb>Ba 등 Ba원소보다 Sb원소의 함량이 많게 나타난 입자가 발견되었다. 원소 성분비율이 차이가 나는 각 입자들을 통계처리 한 결과 사용된 탄의 종류에 따라 5.56 mm 탄을 사용한 K1A, K2 소총에서보다 9 mm 탄을 사용하는 K5권총에서 Sb원소가 Ba원소보다 함량비율이 큰 입자의 수가 3~8배 많은 것으로 확인되어 소총과 권총을 구분할 수 있었다. 또한 입자의 크기와 입자의 수에서도 역시 구분이 가능함을 확인할 수 있었다.

Abstract: Primer gunshot residues (GSR) obtained from K1A and K2 rifles, and K5 pistol were analysed with scanning electron microscopy/energy dispersive X-ray spectrometry (SEM-EDX) as basic data in firearm accidents. Ammunition of 5.56 mm is employed for K1A and K2 rifles and 9.0 mm for a K5 pistol. The analyses of morphology, size, particle number, elemental ratio were performed for primer GSR prepared after shooting 3 times. The detected content was Ba>Pb>Sb in most GSR particles but Sb>Pb>Ba or Pb>Sb>Ba in some particles. In the statistical result of composition ratio of elements, the particles with more Sb than Ba were detected in most primer GSR from a K5 pistol, 3~8 times more than K1A and K2 rifles. This results can be employed to discriminate gun type between rifles and pistols. Furthermore, the size and the number of particles can be applied to access the type of guns.

Key words: GSR, composition, SEM-EDX

★ Corresponding author

Phone : +82-(0)42-821-5240 Fax : +82-(0)42-822-5236

E-mail : swpark05@cnu.ac.kr

1. 서 론

총기사고가 발생한 사고현장에서 범인을 검거할 수 있는 가장 중요한 증거물 중 하나는 뇌관화약잔사를 분석하여 입자의 형태 및 성분 함량비율을 관찰하여 발사자를 식별하는 것이다.¹

뇌관화약발사잔사는 Lead styphnate(lead 2,4,6-trinitroresorcinat)가 노리쇠 격침 시 개시제로 쓰인다. 이후 Barium nitrate가 산화제로써 작용하여 뇌관화약의 연료로 쓰이는 Antimony sulfide에 산소를 공급하여 순간적으로 높은 비율로 연소하여 추진체 화약을 점화시킨다. 이 외에 민감제(sensitizer), 마찰제(frictionator)와 기타 유기물이 첨가되는데 위의 세 가지 주요 화합물이 많은 부분을 차지하여 lead (Pb), barium (Ba), antimony (Sb) 세 가지 원소분석이 뇌관화약 잔사분석에서 매우 중요하다. 하지만 단일 원소의 경우에 Pb는 배관물질, 배터리, 금속종류, 토양, 유리 등에서 확인되고, Sb는 여러 가지 합금, 때로는 Pb를 함유한 합금에서 확인되며, 이들의 산화물은 먼 숨이나 혼합섬유에서 연소지연제로써 사용되어진다. 또한 Ba은 페인트, 자동차 윤활유에서 확인되고, 중이로부터의 barium sulphate는 손에 묻는 환경적인 Ba의 원천이다.^{2,3} 총기 발사 이외에도 이렇듯 단일 원소는 검출될 가능성이 높아 뇌관화약 잔사로 판단하는 것은 불가능하여 3가지 원소 또는 2가지 원소가 동시 함유하고 있는 입자를 뇌관화약 잔사로 인정하고 있다.⁴

뇌관화약 발사잔사를 분석하여 발사자 식별에 관해 선행된 연구로는 SEM-EDX (Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-ray)를 이용하여 형태 및 성분검사를 실시하였고⁵⁻⁹ 중성자 방사화 분석(Neutron Activation Analysis), 원자흡수분광광도계(Atomic Absorption Spectroscopy), 비불꽃 원자흡수 분광광도계(Flameless Atomic Absorption Spectroscopy), ICP-MS (Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry) 등을¹⁰⁻¹⁷ 이용하여 무기성분을 정량분석 하였다. 최근에는 MC-ICP-MS (Multiple-Collector Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry)를 이용하여 제조회사 추정에 관한 연구가 진행되었다.¹⁸ 이러한 연구와 함께 시간의 경과에 따른 뇌관화약 발사잔사 입자를 통계적으로 분석하기 위해 그래픽 확률 모델을 이용하여 확인된 GSR이 뇌관으로부터 기인되었는지 아니면 오염된 환경으로부터 기인되었는지의 연구도 진행되었다.^{19,20}

본 연구에서는 3가지 유형의 한국형 총기인 K1A 기관단총, K2 소총, K5 권총의 뇌관화약잔사(Primer

GSR)를 SEM-EDX로 분석하였다. 각 1발씩 3회 사격하여 뇌관화약잔사의 형태와 크기, 입자수 그리고 3가지 원소 Pb, Ba, Sb가 혼합된 뇌관화약잔사 입자를 중심으로 성분분석을 하여 발사자 식별과 함께 원소 함량비율을 확인하여 각 총기 종류 및 탄종을 뇌관화약잔사로 식별의 가능성 여부를 연구하여 총기사고에서 뇌관화약잔사 성분의 분석에 기초 자료로 활용하고자 하였다.

2. 실험

2.1. 기구 및 조건

GSR 채취 키트(GRA 200K, ALTLIGHT, Korea)를 사용하여 채취한 뇌관화약 잔사를 SEM-EDX(EDAX, SS-550, USA)를 이용하여 입자의 형태, 크기, 입자수 그리고 Ba, Pb, Sb 혼합비율을 확인하였다. SEM-EDX의 분석조건은 Table 1과 같다.

2.2. 시료준비

실내사격장에서 온도 27 °C, 습도 58%의 조건에서 한국생산 대우정밀 제품인 K1A (SMG), K2 (Rifle), K5 (Pistol)를 1발씩 3회 사격 하였고, 1발 사격 시마다 손등과 손바닥에서 GSR 채취 키트의 카본테잎이 붙여진 stub를 이용하여 채취 하였다. 본 실험에 사용된 각 stub는 각 실험조건에 따라 Table 2에 나

Table 1. Operating conditions for SEM/EDX

Model	Automated SEM (XL-30)
EDX Si (Li)	Standard detector
Software	Genesis V6.04
Accelerating Voltage	30 Kv
Magnification	×150
Measured	GSR particles
Image resolution	512×400 pixel

Table 2. Sample stubs under each conditions

Stub	Gun	Caliber
1	K1A(SMG)	5.56 mm
2	K1A(SMG)	5.56 mm
3	K1A(SMG)	5.56 mm
4	K2(rifle)	5.56 mm
5	K2(rifle)	5.56 mm
6	K2(rifle)	5.56 mm
7	K5(pistol)	9 mm
8	K5(pistol)	9 mm
9	K5(pistol)	9 mm

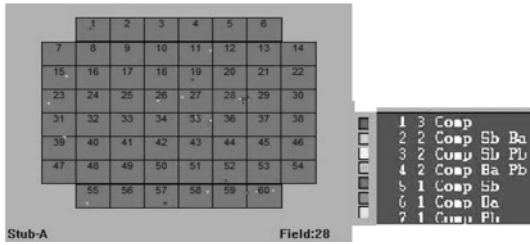


Fig. 1. Distribution of GSR particle on stub.

타내었다.

2.3. 실험방법

2.3.1. 뇌관화약잔사 입자의 관찰

Fig. 1과 같이 stub의 면적을 60개 field로 분할하여 뇌관화약잔사의 성분인 Pb, Ba, Sb를 자동 검색하여 혼합물원소 즉, 3 comp.인 Pb+Ba+Sb와 2 comp.인 Pb+Ba, Ba+Sb 및 Pb+Sb를 field 상에 자동으로 분류하고 SEM-EDX를 이용하여 뇌관화약잔사를 확인한 후 입자의 형태, 크기, 입자수를 확인하였다.

2.3.2. 뇌관화약잔사 입자의 성분분석

자동 검색되어진 stub의 field를 EDX를 이용하여 3 comp. 뇌관화약 발사잔사의 입자형태에 따라 차이가 나타나는 spectrum을 분석하였다.

2.3.3. 통계분석

수치화된 뇌관화약잔사의 입자수, 입자크기, 각 입자의 원소함량비율의 실험데이터를 토대로 비교분석, 절대함량비율, 상대함량비율 등의 분석을 통하여 각 총기종류 및 탄종의 식별가능성을 타진하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 뇌관화약잔사의 입자형태와 크기 분포

뇌관화약잔사의 입자형태는 Fig. 2에서 보여지는 것과 같이 (a)의 구형 형태와 (b)의 비결정 형태, (c)의 덩어리 형태가 확인되었다. 가장 안정한 형태의 입자는 10 μm이하의 입자크기로 구형을 이루어 형성되는 것이고 이보다 큰 구형 입자 및 비결정의 거대한 입자는 폭발 시 온도가 높을 경우 구형태의 작은 입자들이 응집되면서 뭉쳐져 준안정상태에서 굳어지는 데⁴ Table 3은 생성된 입자들을 크기별로 나누어 입자의 크기를 5 μm, 10 μm 기준으로 3가지의 크기 범위를 비율로 나타낸 도표이다. 동일한 탄을 사용하는 K1A와 K2에서 각각 수집된 stub에서는 10 μm 크기 이상의 입자 수는 전체 입자 중 2.5-4.5%로 발견되어 비슷

Table 3. Size ratio of Particles Generated from the Discharge of K1A, K2 and K5

Stub	5 μm 이하 (%)	5 μm-10 μm (%)	10 μm 이상 (%)	
K1A (5.56 mm)	1	79.66	11.86	8.47
	2	100	0	0
	3	100	0	0
	Mean	93.22	3.95	2.82
K2 (5.56 mm)	4	66.67	27.78	5.56
	5	69.23	23.08	7.69
	6	91.67	8.33	0
	Mean	75.85	19.73	4.42
K5 (9 mm)	7	77.53	8.99	13.48
	8	68.71	17.01	14.29
	9	77.60	9.38	13.02
	Mean	74.61	11.79	13.60

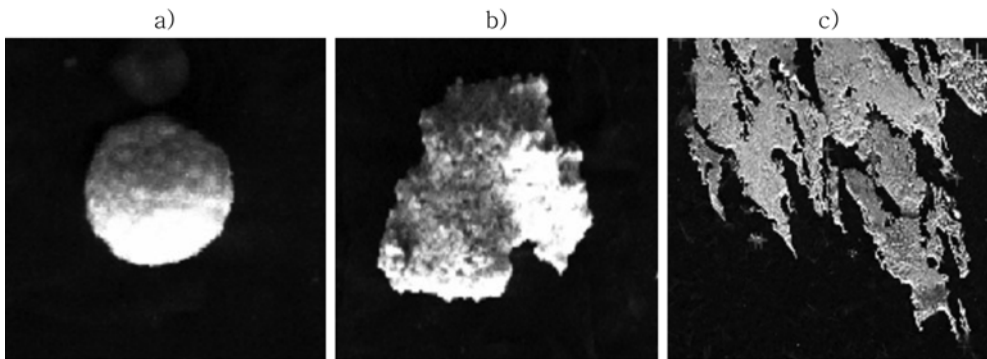


Fig. 2. Morphology of primer GSR particles containing Pb, Sb and Ba components. (a) spherical (b) flake shaped (c) agglomerate

Table 4. Number of GSR particles on the stubs

	Stub	GSR particle total	3 comp (Pb+Sb+Ba)	2 comp (Sb+Ba)	2 comp (Pb+Ba)	2 comp (Pb+Sb)	1 comp
K1A (5.56 mm)	1	59	38	2	3	5	11
	2	15	6	1	1	1	6
	3	10	2	1	0	0	7
K2 (5.56 mm)	4	18	5	1	8	2	2
	5	13	10	2	1	0	0
	6	24	13	1	6	2	2
K5 (9 mm)	7	87	51	8	7	13	8
	8	146	93	31	11	3	8
	9	192	139	30	13	5	5

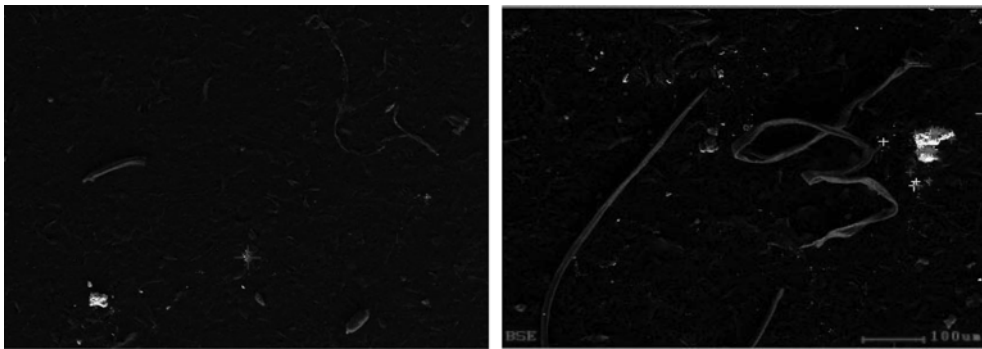


Fig. 3. BSE/SEM images of GSR particles on field.

한 양상을 보였지만 9 mm탄을 사용하는 K5에서는 평균 13.6%로 다른 양상을 보였다. 이는 각 탄의 종류에 따라 뇌관화약 혼합물의 구성이 달라 격발 시기화 메커니즘 및 폭발온도의 차이에 의해 나타나는 현상으로 보이고 폭발온도가 증가할수록 뇌관화약 잔사의 크기가 커진다는 점⁴에서 미루어 볼 때 격발 시 온도는 9 mm탄이 5.56 mm탄보다 높을 것으로 추정할 수 있다.

3.2. 뇌관화약잔사의 입자수

Table 4에서는 각 총기 종류에 따라 발사자 손등과 손바닥에서 채취된 뇌관화약잔사의 입자수를 비교하여 도표로 나타내었다. 뇌관화약잔사는 높은 기화점 때문에 멀리 퍼지지 못하고 총기 주변에서 바로 응고하여 유기물 잔사 보다 비교적 근접한 곳에서 발견되고 또한 총기 주위에 분산될 때 총기의 종류 및 탄종에 따라 다른 형태로 퍼지기 때문에 뇌관화약잔사의 채취범위를 총기와 가장 근접하고 사건현장에서 일반적으로 채취하는 손등과 손바닥 부분에 국한하였다.

각 stub에서 발견된 뇌관화약발사잔사 중 3 comp. 입자는 K1A의 경우 평균 15개, K2는 9개가 발견된데 반해 K5구에서는 94개가 확인되었고 이는 각각 K1A, K2에 비해 약 6.2배, 10배에 해당하였다. 5.56 mm 보통탄을 사용하는 K1A, K2소총과 9 mm탄을 사용하는 K5권총의 입자수 차이는 뇌관화약 비율 및 격발 시 분해 잔사의 연기기둥(plume)의 형태가 총기의 종류에 따라 다른 것에서 기인된 것으로 추정되어진다.

Fig. 3는 stub위의 각 field를 BSE로 촬영하여 입자수의 분포를 나타낸 사진이다.

3.3. 뇌관화약잔사의 성분분석

뇌관화약 발사잔사의 3 comp. 입자에서 나타나는 각 형태를 분석한 결과 Fig. 4의 (a), (b), (c)와 같이 Pb, Sb, Ba의 3가지 원소의 함량 비율은 각 형태별 입자의 원소비율의 차이가 거의 없음을 확인하였다. 각 원소의 비율은 Ba>Pb>Sb 순으로 관찰되는 것을 볼 수 있다. 뇌관화약잔사에서 발견되는 3 comp. 입자는 대부분 이와 같은 원소함량비율을 갖는 것이 확인되

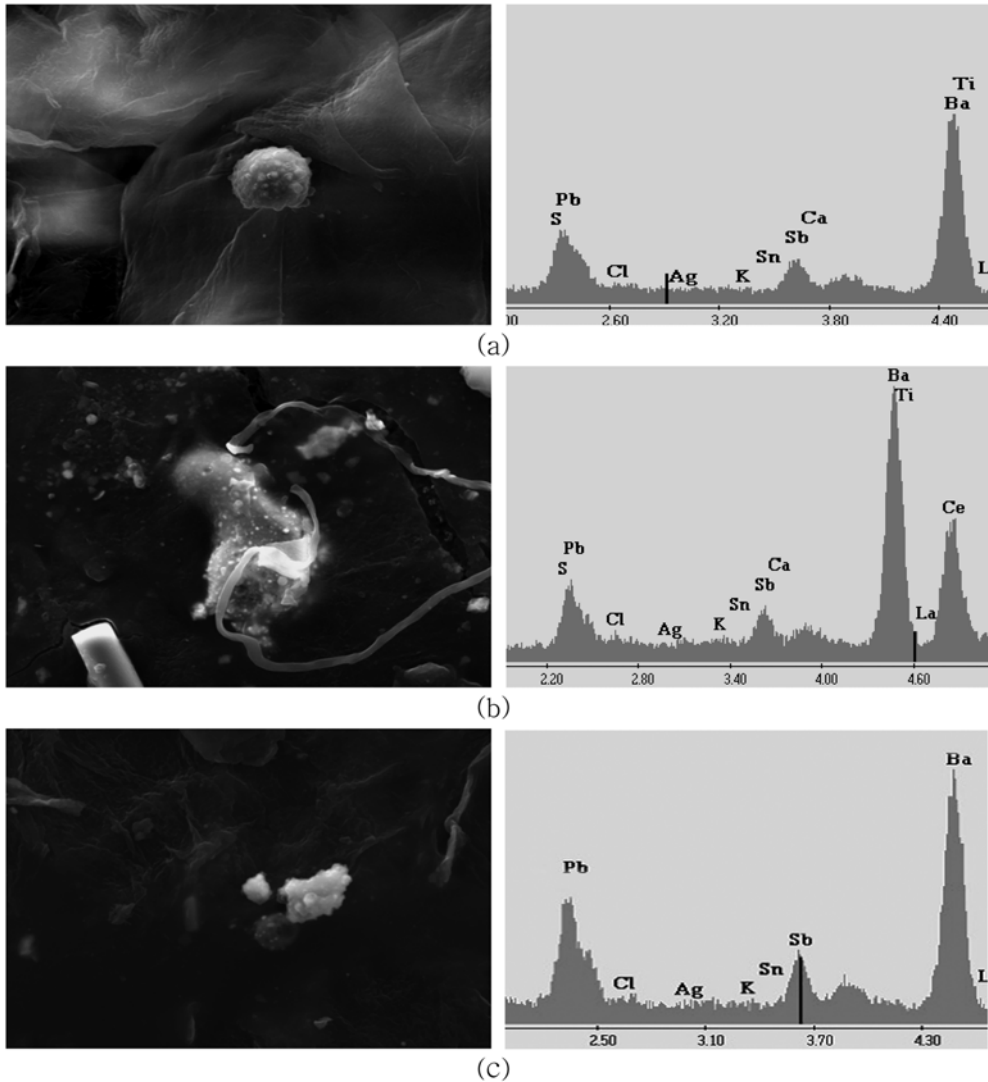


Fig. 4. Morphologies and EDX spectra of the 3 comp. particles in common.

었다.

하지만 Fig. 5에서와 같이 Sb 원소의 함량비율이 Ba 원소의 함량비율을 역전하는 입자도 발견되었다. 이러한 함량비율이 역전된 입자의 형태는 전체적으로 밀도가 작아 흐려 보이거나(Fig. 5(a)), 구형의 입자 내부가 비어있는 형태(Fig. 4(b), (c))로 특징지어진다.

3.4. 각 입자의 원소 함량비율의 특징

각 층기의 stub별로 뇌관화약 발사잔사의 Pb, Sb, Ba 원소 비율을 분석하여 Fig. 6과 같이 ternary plot으로 도식화 하였다. 그림에서 원소의 크기 및 양에

대한 비율의 분포는 전체적으로 Ba 원소로 치우치는 경향을 보인다.

Fig. 7은 3 comp 입자를 분석한 비율분포를 Pb원소의 비율을 기준으로 Sb와 Ba의 상대비율을 산점도로 나타낸 도표이다. 도표에 나타낸 실선은 Pb 임계선으로 4개의 구역으로 나누어 준다. 좌측상단은 Ba원소의 비율이 상대적으로 높은 부분이고 좌측하단은 Pb원소의 비율이 높은 부분, 우측 하단은 Sb의 비율이 높은 부분이다. 그리고 우측상단은 Ba원소와 Sb원소가 Pb원소보다 비율이 높은 부분이다. 전체적인 산포도의 분포는 시각적으로 비슷한 경향을 보이지만 Pb

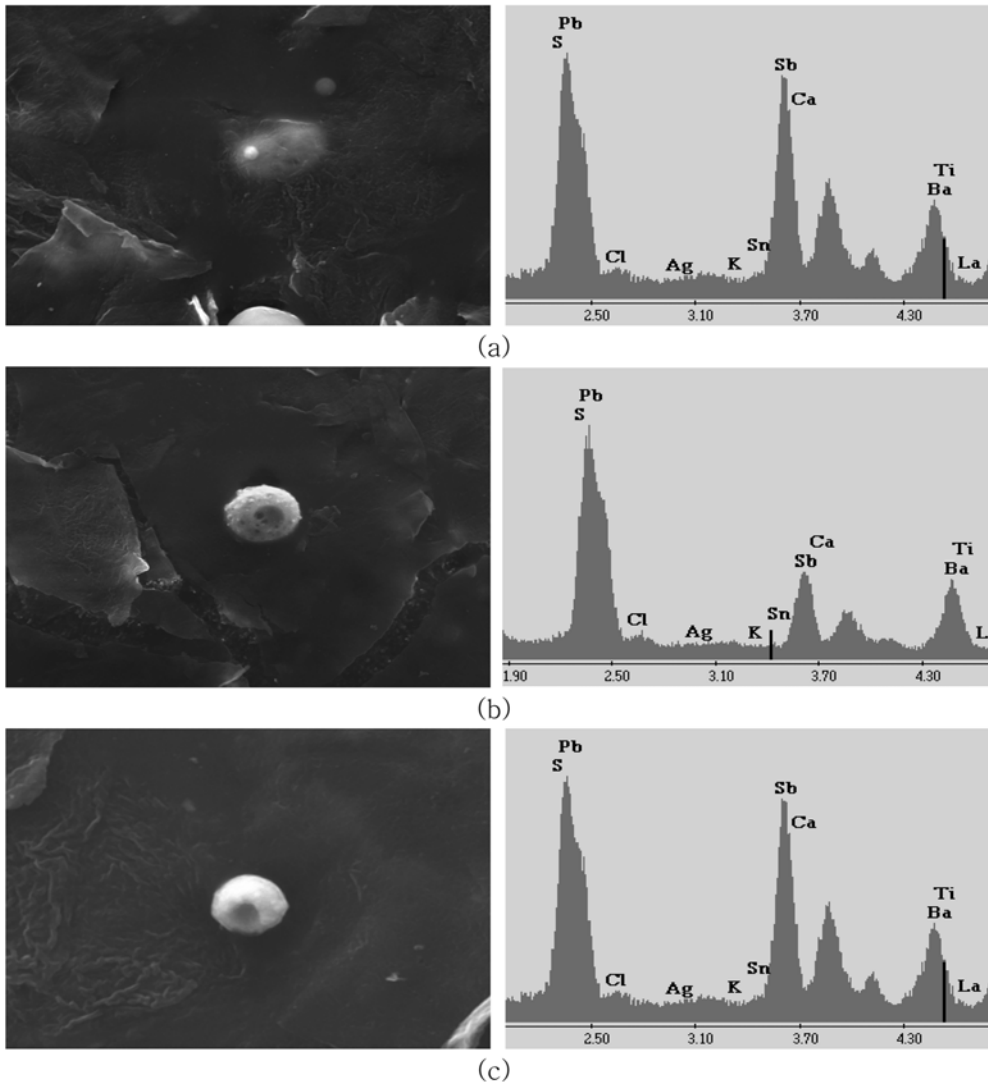


Fig. 5. Morphologies and EDX spectra of the 3 comp. particles.

임계선을 기준으로 한 우측상단의 구역에서는 각 총기에 따라 다른 경향을 보였다. K1A, K2 총기에서는 우측상단의 분포가 각각 14%, 4.2%로 전체적인 분포에 비해 낮은 비율로 산포되어 있지만 K5 총기에서는 33%의 비율로 높은 분포를 보였다.

4. 결 론

본 연구에서는 국내 군에서 사용되는 한국형 총기류를 대상으로 입자형태, 입자수, 입자의 원소비율을 서로 비교하여 총기의 종류를 뇌관화약잔사로서 식별

이 가능한지에 대해 고찰하였다.

1. 뇌관화약 발사잔사의 형태는 대부분 10 μm 이하의 작은 구형형태와 10 μm 이상의 구형 혹은 일정한 모양을 갖추지 않은 무정형으로 나타났다. 10 μm 이상의 비교적 큰 입자들은 5.56 mm탄을 사용한 K1A, K2에서는 각각 2.82%, 4.42% 발견되었고 9 mm탄을 사용한 K5권총에서는 13.6% 발견되어 서로 다른 탄을 사용하는 두 그룹간의 차이를 확인할 수 있었다.

2. 손등, 손바닥에서 발견되는 각 총기별 3 comp의 입자수는 K1A에서는 평균 15개, K2는 평균 9개, K5에서는 평균 94개로 K5 권총에서 약 6~10배 많은 입

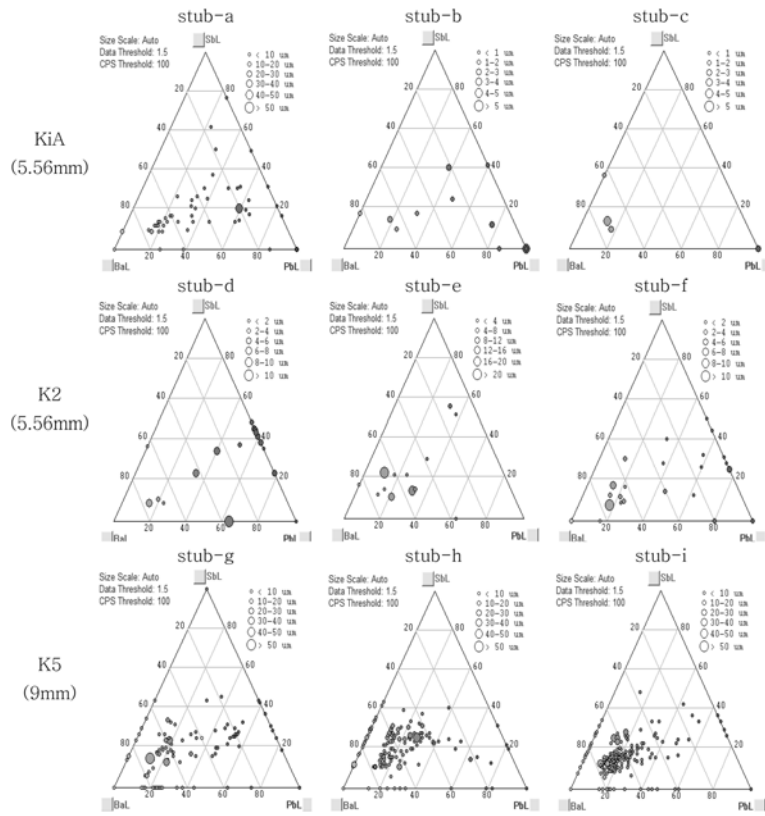


Fig. 6. Ternary plot of Pb, Sb, and Ba trace elements on the stubs.

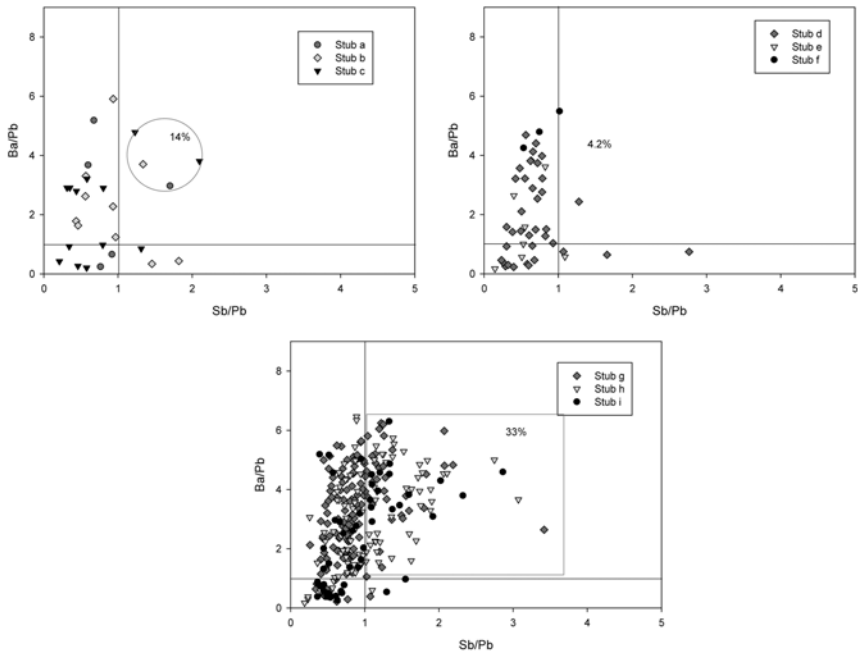


Fig. 7. Scatter plot for Ba vs Sb standardized by Pb.

자수가 확인되었다.

3. 뇌관화약잔사의 각 입자들은 대부분 Ba>Pb>Sb의 함량비율을 갖고 있었지만 Sb원소의 비율과 Ba원소 비율이 전도되는 즉 Sb>Pb>Ba 혹은 Pb>Sb>Ba 등의 함량비율을 가진 입자들이 발견되었다. 각 총기별로 K1A, K2는 14%, 4.2%, K5는 33%의 입자들에서 Sb원소가 Ba원소를 전도하는 것을 확인하였다.

4. 위의 결론과 같이 서로 다른 탄을 사용하는 두 그룹간의 차이는 입자크기, 입자수, 입자의 3 comp. 함량 비율에서 확연히 구분되어짐을 알 수 있었다. 하지만 뇌관화약 발사잔사의 경우 소실의 가능성이 많아 채취 시간에 제약을 받는다. 발사자의 확인을 위해서는 지문 현출 및 DNA분석, 탄피외관의 흔적 등 다각적인 연구 방법을 통해 이를 개선할 방법이 요구된다.

참고문헌

1. 국립과학수사 연구소, 과학수사 실무, 496(2005).
2. D. G. Havekost, C. A. Peters and R. D. Koons, *J. Forensic Sci.*, **35**, 1096-1114(1990).
3. R. Fitzgerald, K. Keil and K. F. J. Heinrich, *Science*, **159**, 528-530(1968).
4. A. J. Schwoelole and David, L. Exline. *CRC Press.*, 171(2000).
5. R. L. Singer, D. Davis and M. M. Houck, *J. Forensic Sci.*, **41**, 195-198(1996).
6. J. Andrasko and A.C. Maehly, *J. Forensic Sci.*, **22**, 279-287(1977).
7. J. I. Thornton, *Anal Chim Acta.*, **288**, 71-81(1994).
8. Ludwig Niewoehner, Jan Andrasko, Jan Biegstraaten, Lawrence Gunaratnam, Sylvia Steffen, Steffen Uhlig and Sabine Antoni, *J. Forensic Sciences*, **53**(1), 162-167(2008).
9. 전충현, 김도우, 박성우, 한국과학수사학회지, **3**, 166-172(2009).
10. R. R. Ruch, J. D. Buchanan, V. P. Guinn, S. C. Bellanca and R. H. Pinker, *J. Forensic Sci.*, **9**, 119-132(1964).
11. S. S. Krishnan. *J. Forensic Sci.*, **16**, 144-151(1971).
12. R. S. Nesbitt, J. E. Wessel, G. M. Wolten and P. F. Jones, *J. Forensic Sci.*, **22**, 288-303(1977).
13. S. S. Krishnan, *J. Forensic Sci.*, **22**, 304-324(1977).
14. C. A. Woolever, D. E. Starkey and H. D. Dewald, *Forensic Sci Int.*, **102**, 45-50(1999).
15. P. Sen, N. Panigragi, M. S. Rao, K. M. Varier, S. Sen and G. K. mehta, *J. Forensic Sci.*, **27**, 330-339(1982).
16. J. Brazeau and R. K. Wong, *J. Forensic Sci.*, **42**, 424-428(1997).
17. R. D. Koons, *J. Forensic Sci.*, **43**, 748-654(1998).
18. Arie Zeichner, Sarah Ehrlich, Ezra Shoshani and Ludwik Halicz, *Forensic Science International*, **158**, 52-64(2006).
19. Lubor Fojtášek and Tomáš Kmjec, *Forensic Sci. Inter.*, **153**(2-3), 132-135(2005).
20. Zuzanna Broz ek-Mucha, *Forensic Sci. Inter.*, **183**, 33-4(2009).