



การตรวจพิสูจน์เปรียบเทียบธาตุจากเขม่าป็นชนิดปราศจากตะกั่วกับแหล่งอื่น

โดย

นายอัษฎายุทธ ผลภาค

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2554

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

การตรวจพิสูจน์เปรียบเทียบธาตุจากเขม่าป็นชนิดปราศจากตะกั่วกับแหล่งอื่น

โดย

นายอัษฎายุทธ ผลภาค

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2554

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

A COMPARATIVE EXAMINATION OF ELEMENTS FROM GUNSHOT RESIDUE
AND OTHER SOURCES

By
Ussada-yooth Polnparkh

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree
MASTER OF SCIENCE
Program of Forensic Science
Graduate School
SILPAKORN UNIVERSITY
2011

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร อนุมัติให้วิทยานิพนธ์เรื่อง “การตรวจพิสูจน์เปรียบเทียบธาตุจากเขม่าป็นชนิดปราศจากตะกั่วกับแหล่งอื่น” เสนอโดย นายอัษฎายุทธ ผลภาค เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปานใจ ชารัตน์วงศ์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่..... เดือน..... พ.ศ.

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

1. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นรงค์ ฉิมพาลี
2. พลตำรวจตรี โกสินทร์ หินเภาว

คณะกรรมการตรวจสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ พันตำรวจโท วรัช วิชาวนิชย์)
...../...../.....

..... กรรมการ
(พลตำรวจโท อมรรัตน์ หุระนันท์)
...../...../.....

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นรงค์ ฉิมพาลี)
...../...../.....

..... กรรมการ
(พลตำรวจตรี โกสินทร์ หินเภาว)
...../...../.....

49312372 : สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์

คำสำคัญ : เหม่า / เหม่าป็นชนิดปราศจากตะกั่ว / อนุภาคเหม่า

อัญญาฤทธิ์ ผลภาค : การตรวจพิสูจน์เปรียบเทียบธาตุจากเหม่าป็นชนิดปราศจากตะกั่วกับแหล่งอื่น. อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ : ผศ.ดร. นรงค์ ฉิมพาลี และ พล.ต.ต. โกสินทร์ หินธารี. 158 หน้า.

การวิจัยมีวัตถุประสงค์ในการเปรียบเทียบและวิเคราะห์ถึงความแตกต่างระหว่างอนุภาคเหม่าจากแหล่งอื่นและอนุภาคเหม่าป็นที่ได้จากกระสุนป็นชนิดปราศจากตะกั่ว สามารถนำผลการวิจัยไปใช้เป็นแนวทางในการตรวจพิสูจน์เหม่าป็นและการกันผู้บริสุทธิ์ออกจากคดีและลงโทษทางอาญา โดยเน้นศึกษาหาธาตุองค์ประกอบสำคัญของอนุภาคเหม่าที่มีรูปร่างกลมมน ในขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1-15 ไมโครเมตร ของเหม่าป็นที่ได้มาจากกระสุนป็น Winchester WinClean™ และเหม่าจากแหล่งอื่นที่กลุ่มประชากรอาจได้รับเหม่าที่มีธาตุองค์ประกอบเหมือนเหม่าป็นชนิดปราศจากตะกั่ว

กลุ่มทดลอง มี 7 กลุ่ม ตามกิจกรรมที่อาจได้รับเหม่าที่มีธาตุองค์ประกอบชนิดเดียวกันกับกระสุนป็นชนิดปราศจากตะกั่ว โดยเก็บตัวอย่างเหม่า กลุ่มละ 12 ราย รวม 84 ตัวอย่าง กลุ่มเปรียบเทียบ คือ ตัวอย่างเหม่าป็นที่ได้มาจากกระสุนป็น Winchester WinClean™ จำนวน 12 ตัวอย่าง การเก็บตัวอย่างใช้แผ่นคาร์บอนชนิดนำไฟฟ้าที่มีกาวทั้งสองหน้าติดกับหมุดอะลูมิเนียม และนำมาศึกษาหาธาตุและเปรียบเทียบสัณฐานของอนุภาคด้วยเทคนิค SEM/EDX

ผลการวิจัยพบว่า อนุภาคเหม่าป็นที่ได้มาจากกระสุนป็น Winchester WinClean™ มี Al, Si และ K เป็นธาตุองค์ประกอบที่สามารถพบได้บ่อยครั้งที่สุด โดยมี Si เป็นองค์ประกอบหลัก มี Al เป็นธาตุองค์ประกอบรอง อนุภาคเหม่าตัวอย่างที่ได้รับจากแหล่งอื่นส่วนใหญ่มี Si เป็นองค์ประกอบหลัก มี Al เป็นธาตุองค์ประกอบรอง และพบว่าอนุภาคที่ได้มาจากการติดตั้งและซ่อมกระจกรถยนต์ งานผลิตภาชนะเซรามิก งานตีเส้นจราจร และงานสีรถยนต์ มีธาตุองค์ประกอบเหมือนกับเหม่าป็นชนิดปราศจากตะกั่ว สำหรับการศึกษาธาตุในแต่ละอนุภาค พบว่าอนุภาคที่ได้มาจากการติดตั้งและซ่อมกระจกรถยนต์มีธาตุองค์ประกอบเหมือนกับอนุภาคเหม่าป็นที่ได้มาจากกระสุนป็น Winchester WinClean™ และเมื่อทำการศึกษาและวิเคราะห์ลักษณะสัณฐาน พบว่าอนุภาคที่ได้รับจากแหล่งนี้ มีสัณฐานแตกต่างจากอนุภาคเหม่าป็นที่ได้มาจากกระสุนป็น Winchester WinClean™ อันเนื่องจากลักษณะของการกำเนิดอนุภาค

สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร ปีการศึกษา 2554
ลายมือชื่อนักศึกษา.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ 1. 2.

49312372 : MAJOR : FORENSIC SCIENCE

KEY WORD : RESIDUE / LEAD-FREE GUNSHOT RESIDUE / PARTICLES OF RESIDUES

USSADA-YOOTH POLNPARKH : A COMPARATIVE EXAMINATION OF ELEMENTS FROM LEAD-FREE GUNSHOT RESIDUE AND OTHER SOURCES. THESIS ADVISORS : ASST. PROF. NARONG CHIMPALEE, Ph.D., AND POL. MAJ. GEN. KOSIN HINTOA. 158 pp.

The objective of this research is to compare and analyze the differences between the particles of gunshot residues (GSR) delivered from Lead-free ammunitions and other sources. The results can be used as a guide to identify the gun soot and to prevent the innocent people from judgment and criminal penalty. The studies focused on the elemental composition of spherical particles in diameter of 1-15 μm of Winchester WinCleanTM ammunition and other sources where the environment may cause the population to acquire the same elemental component which is a component of Lead-free GSR.

The experimental groups were divided into 7 activity groups, 12 samples per group which total 84 samples. The comparison group is sample of GSR delivered from Winchester WinCleanTM ammunition total 12 samples. The method was performed by using conductive double-sided adhesive carbon disc to stick with SEM aluminum pin stab in order to collect samples, and compared the morphology of the particles with particles of Winchester WinCleanTM GSR. The determinations were carried out using SEM/EDX.

The results show that the partical of Winchester WinCleanTM GSR contained Al, Si, and K which Si as the major component and Al as the minor element. The most of other sources, the particles contained Si as the major component and Al as the minor element too. A group of particles is an essential element of Lead-free GSR and can be found at installation and repair automotive glass working, automotive painting, traffic paint marking and ceramic working. The comparison found that only particles from the automotive glass workers contained the elemental composition which is the same as particles from Winchester WinCleanTM. By studying and analyzing the morphology of particular particles the results are different from particles of Winchester WinCleanTM GSR due to the features of particles formation.

Program of Forensic Science, Graduate School, Silpakorn University, Academic Year 2011

Student's signature

Thesis Advisors' signature 1. 2.

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยเรื่อง การตรวจพิสูจน์เปรียบเทียบธาตุจากเขม่าป็นชนิดปราศจากตะกั่วกับแหล่งอื่น ผู้วิจัยพยายามทำจนกระทั่งสำเร็จลุล่วงไปได้เนื่องมาจากการได้รับความอนุเคราะห์และความร่วมมือจากองค์กรและบุคลากรหลายท่าน อันดับแรกสุดอาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ณรงค์ ฉิมพาลี และ พลตำรวจตรี โกสินทร์ หินธาร ซึ่งต้องขอกราบขอบพระคุณท่านเป็นอย่างสูงสำหรับการสละเวลาอันมีค่าเพื่อทำหน้าที่เป็นอาจารย์ที่ปรึกษา อีกทั้งยังให้ความช่วยเหลือและเสนอแนะในงานวิจัยตลอดระยะเวลาตั้งแต่เริ่ม ท่านยังให้ความเมตตาตรวจสอบเนื้อหา แก้ไข ข้อบกพร่องต่างๆ ทั้งให้ข้อคิดเห็นที่มีคุณค่าและเป็นประโยชน์กับงานวิจัยเป็นอย่างยิ่ง จนกระทั่งกลายเป็นวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์

นอกจากนี้ ผู้วิจัยต้องขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ สมชาย ปรีชาศิลปกุล อดีตคณบดี คณะนิติศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่เห็นความสำคัญของการศึกษาจึงอนุมัติให้ผู้วิจัยลาศึกษาทางนิติวิทยาศาสตร์ โดยได้รับทุนการศึกษาจากคณะนิติศาสตร์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ชาตรี เรืองเดชณรงค์ คณบดีคณะนิติศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ คนปัจจุบันที่เป็นแรงผลักดันให้การวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงตลอดจน รองศาสตราจารย์ ไพฑูริณีวิติ ภัคติกุล บุคคลสำคัญซึ่งจุดประกายความสนใจในงานด้านนิติวิทยาศาสตร์ให้แก่ผู้วิจัย ทั้งขอขอบคุณคณาจารย์และเพื่อนๆ นักศึกษาสาขานิติวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ที่ให้คำแนะนำและให้กำลังใจเป็นอย่างดี

ท้ายที่สุดนี้ ผู้วิจัยต้องขอขอบคุณ คุณบุษบง กันทะลือ และ คุณมงคล กองทุ่งมน นักวิทยาศาสตร์ประจำศูนย์วิจัยและบริการจุลทรรศน์ศาสตร์อิเล็กทรอนิกส์ งานในการกำกับของศูนย์บริการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่อำนวยความสะดวกจัดตารางเวลาการใช้เครื่องมือสำหรับตรวจวิเคราะห์ทางวิทยาศาสตร์ และเป็นผู้ช่วยในการตรวจวิเคราะห์ผลวิจัยขอขอบพระคุณครอบครัวผลภาคและสมคำ ที่ให้การสนับสนุนช่วยเหลือและเป็นกำลังใจในการศึกษามาโดยตลอด และขอขอบคุณ คุณทิตติยา สมคำ ภริยาผู้เป็นกำลังใจและให้กำเนิดเด็กชายนิธิวิทย์ ผลภาคบุตรของผู้วิจัย อันเป็นปัจจัยหนึ่งที่ผลักดันให้การวิจัยนี้สำเร็จลงได้ ทั้งยังขอบคุณผู้ที่มีได้เอ่ยนามมา ณ ที่นี้ ซึ่งมีส่วนช่วยเหลือจนวิทยานิพนธ์นี้ประสบผลสำเร็จไปได้ด้วยดี อนึ่ง งานวิจัยนี้สำเร็จได้ด้วยการสนับสนุนทุนวิจัยจากคณะนิติศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ และทุนบางส่วนสำหรับอุปกรณ์การวิจัยจากโครงการปริญญาโทนิติวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญตาราง	ณ
สารบัญภาพประกอบ	ญ

บทที่

1	บทนำ	1
	ความเป็นมา	1
	ความสำคัญของปัญหา.....	4
	ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา	10
	ปัญหาของการศึกษา	11
	สมมติฐานของการศึกษา.....	11
	ขอบเขตของการศึกษา.....	11
	ตัวแปรของการวิจัย	12
	ความจำกัดของการศึกษา	12
	ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย	12
2	เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	13
	อาวุธปืน	13
	เครื่องกระสุนปืน	25
	พัฒนาการของเครื่องกระสุนปืน	25
	ส่วนประกอบของเครื่องกระสุนปืน center fire cartridge.....	35
	หัวกระสุนปืนหรือลูกกระสุนปืน	36
	ปลอกกระสุนปืน	37
	ดินส่กระสุนปืน	40
	ชนวนท้ายกระสุนปืน	44
	การเกิดและแหล่งกำเนิดเขม่าปืน.....	49
	ประเภทเขม่าปืน	53
	อนุภาคที่เกิดจากการยิงปืน	59
	การกำเนิดอนุภาคที่เกิดจากการยิงปืน.....	61
	ประเภทอนุภาคที่เกิดจากการยิงปืน	62
	อนุภาคที่ได้มาจากการเผาไหม้ของดินส่กระสุนปืน	62
	อนุภาคที่มีลักษณะรูปทรงกลมและค่อนข้างกลม	62

บทที่	หน้า
อนุภาคที่ไม่มีรูปสัณฐานเฉพาะตัว.....	62
รูปสัณฐานของอนุภาคที่เกิดจากการยิงปืน	67
รูปสัณฐานของอนุภาคที่ได้มาจากกระสุนปืนชนิดธรรมดา.....	67
รูปสัณฐานของอนุภาคที่ได้มาจากกระสุนปืนชนิดปราศจากตะกั่ว	81
ธาตุที่เป็นส่วนประกอบของอนุภาคเขม่าที่เกิดจากการยิงปืน	89
ธาตุที่เป็นส่วนประกอบของอนุภาคที่ได้มาจากกระสุนปืนชนิดธรรมดา.....	89
ธาตุที่เป็นส่วนประกอบของอนุภาคที่ได้มาจากกระสุนปืนชนิดปราศจากตะกั่ว	94
การตกค้างและการคงอยู่ของอนุภาคที่เกิดจากการยิงปืน	96
การเก็บและการเตรียมตัวอย่างเพื่อการตรวจวิเคราะห์หาอนุภาคเขม่าปืน	98
กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด.....	100
3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	105
กลุ่มควบคุม ประชากรเป้าหมาย และกลุ่มตัวอย่าง	105
วิธีการสุ่มตัวอย่าง	106
อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	106
วิธีการวิจัย.....	109
วิธีการได้มาซึ่งตัวอย่างกลุ่มควบคุมที่ใช้ในการวิจัย	109
วิธีการเก็บรวบรวมตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย	109
วิธีการเตรียมตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย	109
วิธีศึกษาและวิเคราะห์ตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย	110
4 ผลการศึกษาวิจัย	113
5 อภิปราย สรุปผลการศึกษา และข้อเสนอแนะ	135
อภิปราย.....	135
สรุปผลการศึกษา.....	144
ข้อเสนอแนะ	145
บรรณานุกรม	146
ประวัติผู้วิจัย	158

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 อัตราส่วนโดยน้ำหนักของโพแทสเซียมไนเตรต (saltpetre) ถ่านไม้ (charcoal) ซัลเฟอร์ (sulphur) ในดินดำ (%).....	40
2 ตัวอย่างแสดงส่วนผสมของ pyroDEX.....	41
3 แสดงอัตราส่วนโดยน้ำหนักของสารในดินควินน้อย singer-based powder (% , w/w)	43
4 แสดงอัตราส่วนโดยน้ำหนักของสารในดินควินน้อย double-based powder (% , w/w)	44
5 แสดงอัตราส่วนของสารผสมที่พบในชนวนท้ายกระสุนปืนขนาด .22 rimfire (% , w/w)	48
6 ธาตุอันเป็นส่วนประกอบของกระสุนปืนชนิดต่างๆ	52
7 เหม่าปืน (gunshot) ซึ่งประกอบไปด้วย organic และ inorganic residues	54
8 แสดง t_m หรือจุดหลอมเหลว (melting point) และ t_b หรือจุดเดือด (boiling point) ของธาตุที่พบในเหม่าปืน ที่ความดัน 101.325 kpa (1 atm)อุณหภูมิเป็นองศาเซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$).....	61
9 สัณฐานและธาตุองค์ประกอบของตัวอย่างอนุภาคเหม่าบริเวณมือที่ได้จากงานไฟฟ้ารถยนต์ (automobile electrician) งานบำรุงรักษารถยนต์ (automobile mechanic) และพนักงานบริการเติมน้ำมัน petrol station attendant)	75
10 สัณฐานและธาตุองค์ประกอบของตัวอย่างอนุภาคเหม่าบริเวณคานห้ามล้อรถยนต์....	81
11 เปรียบเทียบธาตุองค์ประกอบของชนวนท้ายกระสุนปืนชนิดธรรมดาและปราศจากตะกั่ว	89
12 จำแนกธาตุองค์ประกอบของอนุภาคบริเวณมือที่ได้จากแหล่งอื่น	92
13 จำแนกธาตุองค์ประกอบของอนุภาคบริเวณมือที่ได้จากแหล่งอื่น (ต่อ).....	93
14 ธาตุอันเป็นส่วนประกอบที่อาจวิเคราะห์พบ (experimental) และส่วนประกอบของกระสุนปืน (MSDS) ชนิดปราศจากตะกั่ว จากกระสุนปืน Winchester Win Clean TM , Remington/UMC LeadLess TM , Federal BallisticClean TM และ Speer Lawman CleanFire TM	95
15 ธาตุอันเป็นส่วนประกอบของกระสุนปืนชนิดปราศจากตะกั่ว CBC CleanRange [®] ผลิตในประเทศ Brazil.....	96
16 สภาวะที่ใช้ในการศึกษาวิจัยของ SEM/EDX	110
17 ธาตุองค์ประกอบและสัณฐานของอนุภาคเหม่าที่ได้จากงานติดตั้งและซ่อมกระจกรรถยนต์	114
18 ธาตุองค์ประกอบและลักษณะของสัณฐานของตัวอย่างอนุภาคเหม่าที่ได้จากงานผลิตภาชนะเซรามิค.....	119
19 ธาตุองค์ประกอบและลักษณะของสัณฐานของตัวอย่างอนุภาคเหม่าที่ได้จากงานสีรถยนต์.....	121

ตารางที่	หน้า
20 ธาตุองค์ประกอบและลักษณะของสัณฐานของตัวอย่างอนุภาคเขม่าที่ได้จากงานตีเส้น จราจร.....	124
21 ธาตุองค์ประกอบและลักษณะของสัณฐานของตัวอย่างอนุภาคเขม่าที่ได้จากงานร้านรับ ซื้อของเก่า	129
22 ธาตุของอนุภาคที่ตกค้างบนมือหลังยิงปืนด้วยกระสุนปืนชนิดปราศจากตะกั่ว CBC Clean Range® ที่ผลิตในประเทศ Brazil.....	135
23 ธาตุอันเป็นองค์ประกอบหลักของอนุภาคที่ได้จากมือหลังยิงปืนด้วยกระสุนปืนชนิด ปราศจากตะกั่ว ตามรายงานการวิจัยที่ศึกษาไว้โดย Oommen และ Pierce	136
24 ธาตุองค์ประกอบของตัวอย่างอนุภาคเขม่าที่ได้จากแหล่งอื่นซึ่งประกอบไปด้วยธาตุที่ เป็นองค์ประกอบของอนุภาคเขม่าปืนชนิดปราศจากตะกั่ว (กลุ่มที่ 1).....	137
25 ธาตุองค์ประกอบของตัวอย่างอนุภาคเขม่าที่ได้จากแหล่งอื่นซึ่งมีธาตุอันเป็นองค์ประกอบ เหมือนอนุภาคเขม่าปืนชนิดปราศจากตะกั่ว.....	138
26 ธาตุองค์ประกอบของตัวอย่างอนุภาคเขม่าที่ได้จากแหล่งอื่นมีธาตุประกอบธาตุใกล้เคียง กับธาตุที่เป็นองค์ประกอบของอนุภาคเขม่าปืนชนิดปราศจากตะกั่ว (กลุ่มที่ 2)	138
27 ธาตุองค์ประกอบของตัวอย่างอนุภาคเขม่าที่ได้จากแหล่งอื่นที่มีธาตุที่เป็นองค์ประกอบ หลักของอนุภาคเขม่าปืนชนิดปราศจากตะกั่ว ไม่ครบทุกธาตุ (กลุ่มที่ 3)	139
28 รูปสัณฐานและธาตุอันเป็นองค์ประกอบหลักของอนุภาคที่ได้มาจากการกระสุนปืนชนิด ปราศจากตะกั่ว ตามรายงานการวิจัยที่ศึกษาไว้โดย Oommen และ Pierce	141
29 เปรียบเทียบรูปสัณฐานของตัวอย่างอนุภาคเขม่าที่ได้จากการประกอบอาชีพซึ่งมีธาตุ อันเป็นองค์ประกอบเหมือนอนุภาคเขม่าปืนชนิดปราศจากตะกั่ว	142

สารบัญภาพประกอบ

ภาพที่		หน้า
1	อาวุธปืนลูกโม่ Smith & Wesson model 627 personal defense revolver ขนาดลำกล้อง .357 magnum ลำกล้องยาว 2 5/8 นิ้ว บรรจุกระสุนปืน 8 นัด.....	17
2	แสดงรายละเอียดโดยสังเขป ส่วนประกอบของปืน double-action revolver.....	17
3	อาวุธปืน Mateba autorevolver hunter .357 magnum model 1997 ความยาวลำกล้อง 6 นิ้ว พัฒนาขึ้นโดย Italian Gunsmith Sergio Mateba	18
4	อาวุธปืน Browning hi-power standard ขนาดลำกล้อง 9 mm ความยาวลำกล้อง 4.5 นิ้ว ของกระสุน (magazine) บรรจุกระสุนปืนได้ 10 นัด.....	18
5	แสดงรายละเอียดโดยสังเขป ส่วนประกอบของอาวุธปืน semiautomatic pistol	19
6	กลไกการบรรจุและการคัดกระสุนปืนของอาวุธปืน semiautomatic pistol	20
7	อาวุธปืน Winchester model 70, sporter deluxe, bolt-action rifle ขนาด 270 win. ของกระสุน (magazine) บรรจุกระสุนปืนได้ 5 นัด.....	21
8	แสดง action ของอาวุธปืนยาวเล็ก (rifle) โดย single-shot rifle มักใช้แบบ break-action หรือ bolt-action สำหรับ repeating rifle หรือ multi-pleshot rifle ที่คัดปลอกกระสุนปืนที่ยิงแล้วและส่งกระสุนปืนที่บรรจุอยู่ในของกระสุนปืนมาขึ้นลำในรังเพลิงด้วยกลไกพิเศษแบบไข่มือ มักใช้ในแบบ bolt-action, lever-action และ pump-action หรือใช้แบบ semiautomatic ที่มีกลไกแบบอัตโนมัติโดยอาศัยแรง recoil.....	22
9	ตัวอย่างกระสุนปืน (cartridge) ที่ใช้สำหรับอาวุธปืน rifle ที่ประกอบไปด้วยปลอกกระสุนปืนขนวนท้ายกระสุนปืน ลูกกระสุนปืนลักษณะมน (รูปซ้าย) และกระสุนปืนลักษณะหัวแหลม (รูปขวา)	22
10	อาวุธปืนลูกซอง (shotgun) แบบต่างๆ โดยใช้ pump-action, bolt-action และ SEMi automatic สำหรับ multiple-shot shotgun ซึ่งมีลักษณะเหมือนกับปืนยาวเล็ก (rifle) และใช้ break-action สำหรับ single-shot shotgun.....	23
11	ตัวอย่างกระสุนปืน (shotshell) gauge 12 ใช้สำหรับอาวุธปืนลูกซอง ตัวปลอกทำจากพลาสติก (รูปซ้าย) และตัวปลอกทำจากกระดาศ (รูปขวา)	23
12	ตัวอย่างกระสุนปืนแบบ rim-fire สำหรับอาวุธปืนลูกซอง (จากซ้ายไปขวา) gauge 4, 12, 16 และ 20 ขนาด .410 นิ้ว ขนาด 9 มม. และลูกกรดขนาด .22.....	24
13	ลักษณะภายในของกระสุนปืนแบบ center-file ชนิด shotshell และ slungshell ที่ใช้สำหรับอาวุธปืนลูกซอง (shotgun) โดย shotshell เป็นกระสุนปืนชนิดลูกปราย (multiple projectiles) ซึ่งบรรจุลูกกระสุนเม็ดเล็กๆ ไว้มากมาย และ slungshell เป็นกระสุนปืนลูกซองที่บรรจุลูกกระสุนเม็ดใหญ่ซึ่งมักมีเกลียวไว้เม็ดเดียว (large projectile).....	24

ภาพที่	หน้า
14 ตัวอย่างกระสุนปืน paper cartridge ที่ห่อหุ้มทั้งดินส่กระสุนปืน ลูกกระสุนปืนไว้ใน ปลอกกระสุนปืนในลักษณะปิดหัว-ท้าย (รูปซ้าย) และ paper cartridge ชนิด tie-base cartridge ผูกปลอกกระสุนติดไว้ใต้ฐานของลูกกระสุนปืน (รูปขวา)..	25
15 U.S. flintlock pistol-simeon north-model 1816 ปืนที่ใช้ lock แบบ french- lock.....	27
16 อาวุธปืน ASA waters us military pistol-percussion cap model 1839	27
17 กลไกการจุดดินส่กระสุนปืน percussion cap pistol แบบ muzzle-loader	28
18 ตัวอย่างกระสุนปืนแบบ combustible cartridge : 1. แสดงให้เห็นภายในปลอก กระสุนปืน ที่ดินส่กระสุนปืนถูกอัดและขึ้นรูปให้เหมือนถ้วยและนำมาติด กับฐานของลูกกระสุน, 2. animal gut cartridge ที่ปลอกกระสุนปืนทำมา จากลำไส้ของสัตว์, 3. paper combustible cartridge ที่นิยมใช้กระดาชซึ่ง ชุบด้วยสาร nitrate มาทำเป็นปลอกกระสุนปืน และ 4. combustible cartridge ที่ใช้ผ้าลินินทำปลอกกระสุนปืน ภายในท้ายปลอกกระสุนปืน ได้รองด้วยกระดาชชุบ nitrate กระสุนปืนชนิดนี้ถูกใช้อย่างแพร่หลายในช่วง ต้นของสงคราม the american civil war.....	28
19 ตัวอย่างกระสุนปืนแบบ separate-primed cartridge บรรจุดินส่กระสุนปืนและลูก กระสุนปืนไว้ด้วยกันในปลอกกระสุนปืนซึ่งทำจากทองเหลือง โดยมีงานท้าย กระสุนปืนที่ทำจากกระดาชเคลือบไขมันซึ่งเจาะรูไว้ตรงกลาง กระสุนปืนชนิดนี้ ผลิตขึ้นครั้งแรก ใช้กับอาวุธปืน maynard percussion rifle (รูปซ้าย) และ ปลอกกระสุนปืนที่ทำจากกรวยทองเหลือง แบบไม่มีงานท้ายกระสุนปืนบริเวณ โคนกรวยเป็นหลุมที่มีรูเล็กๆ สำหรับใช้จุดดินส่กระสุนปืนภายใน กระสุนปืน ชนิดนี้รู้จักกันในชื่อ burnside b.l. carbine cartridge (รูปขวา).....	29
20 อาวุธปืนยาว civil war lindner cavalry carbine model 1816 เป็นอาวุธที่ประดิษฐ์ ขึ้นช่วงต้นศตวรรษที่ 19 ซึ่งใช้กลไกแบบ percussion cap บรรจุแบบ breech- loader สามารถใช้ได้กับกระสุนปืนแบบ paper combustible cartridge และ separate-primed cartridge	30
21 ตัวอย่างกระสุนปืน separate-primed cartridge ใช้วิธีการคัดปลอกกระสุนปืนแบบ ต่างๆ : 1. extractor cord cartridge ที่มีห่วงเชือกสำหรับกระตุกปลอก กระสุนปืน ออกจากรังเพลิง, 2. extractor wire cartridge ซึ่งท้ายปลอก กระสุนปืนมีห่วงที่ทำมาจากเส้นลวด และ 3. mule ear cartridge ที่งาน ท้ายกระสุนปืนมีแทบยื่นออกมาเพื่อใช้คัดปลอกกระสุน	30
22 Needle-fire cartridge เป็นพัฒนาการในยุคแรกของกระสุนปืนแบบ self contained ปลอกกระสุนปืนทำด้วยกระดาช ภายในบรรจุ 1. กระสุนปืน 2. หมอนรองกระ สุนปืน 3. ขนวนท้ายกระสุนปืน และ 4. ดินส่กระสุนปืน	31

- 23 ตัวอย่างกระสุนปืนแบบ patent ignition cartridge : 1. teat fire cartridge, 2. cup fire cartridge, 3. lip fire cartridge, 4. pin fire cartridge และ 5 inside pin fire cartridge 32
- 24 ภาพตัดตามความยาวของกระสุนปืน rim fire ขนาด .22 แสดงดินส่่งกระสุนปืน และขอบปีกงานท้ายกระสุนปืน (rim) ที่บรรจุ primer ปลอกกระสุนมีความยาวแตกต่างกัน ใช้สำหรับอาวุธปืนสั้น (รูปซ้าย) สำหรับอาวุธปืนยาว (รูปกลางและรูปขวา) ซึ่งภายในบรรจุลูกกระสุนปืน ชนิดกระสุนลูกแตก (รูปซ้ายและรูปขวา) และกระสุนลูกโดด (รูปกลาง) 33
- 25 คำนิยามบริเวณขอบงานท้ายกระสุนปืนที่เกิดจากการกระแทกของเข็มแทงชนวน 34
- 26 Modern self contained cartridge ประกอบด้วย 1. หัวหรือลูกกระสุนปืน 2. ปลอกกระสุนปืน 3. งานท้ายกระสุนปืน และ 4. ชนวนท้ายกระสุนปืน 34
- 27 ภาพตัดตามยาวเพื่อแสดงเปรียบเทียบภายในบริเวณงานท้ายกระสุนปืน center fire (รูปซ้าย) และ rimfire (รูปขวา) 35
- 28 ส่วนประกอบหลักของกระสุนปืนแบบ modern center fire cartridge 35
- 29 แสดงตัวอย่าง unjacketed bullet รูปซ้าย ชนิด lead round nose-LRN ที่เป็นลูกกระสุนปืนชนิดธรรมดา ปลายมีลักษณะมนและฐานมี hollow base หรือหลุมเว้า รูปกลาง lead wad cutter-LWC หรือ match-MCH (โดย mch มีความยาวมากกว่า) คือลูกกระสุนปืนมีส่วนปลายเป็นแบบตัดตรง ฐานมีกรวยกลวงลึก เมื่อบรรจุปลอกกระสุนปืน ส่วนปลายหัวกระสุนปืนมีแนวเสมอกับปลอกกระสุนปืน และ รูปขวา lead semi wad cutter-LSWC ลูกกระสุนปืนที่ส่วนปลายเป็นส่วนน้อยที่อยู่พ้นปลอกกระสุนปืนถูกตัดริมขอบโดยรอบมีลักษณะตัดตรงกึ่งมน และมีขนาดเล็กกว่าส่วนใหญ่ที่อยู่ในปลอกกระสุนปืน ฐานลูกกระสุนปืนแบบ plain base หรือเรียบเสมอกัน 36
- 30 แสดงตัวอย่างลูกกระสุนปืน jacketed hollow point-JHP กระสุนปืนชนิดที่มีแกนกระสุนปืนซึ่งถูกหุ้มด้วยโลหะเกือบหมดทั้งลูกยกเว้นบริเวณหัวกระสุนที่มีรูตรงกลางลึกลงไปในเรื่องของแกนลูกกระสุนปืนใช้เป็นกระสุนลูกแตกที่บานออกเมื่อกระทบวัตถุ รูปกลาง full metal jacket-FMJ หรือ metal case-MC คือ ลูกกระสุนปืนมีส่วนปลายมนหุ้มด้วยโลหะเกือบทั้งลูกยกเว้นฐานกระสุนปืน ซึ่งทำให้ต่างจาก total metal jacket-TMJ ที่หุ้มทั้งลูกโดยฐานกระสุนปืนเป็นแบบเรียบ (รูปซ้าย) และ jacketed soft point-JSP ลูกกระสุนปืนลูกแตกที่ลูกกระสุนเกือบทั้งหมดหุ้มด้วยโลหะเว้นส่วนปลายของแกนลูกกระสุนปืน โดยบริเวณปลายมีลักษณะตัดตรงไม่มีรู (รูปขวา) 37
- 31 ปลอกกระสุนปืน (เรียงจากซ้ายไปขวา) แบบ straight, tapered และ bottlenecked. 38

32	งานท้ายกระสุนปืน (เรียงลำดับจากซ้ายไปขวา) ชนิด rimmed, semi-rimmed, rimless, belted และ rebated	39
33	ภาพตัดขยาย boxer primer แสดงชั้นส่วนประกอบซึ่งบรรจุใน primer cup ชั้นล่างสุดเป็น primer mixture หรือ explosive compound ชั้นถัดขึ้น คือ foil seal โดยมี anvil โลหะแข็งซึ่งนิยมนำมาจากทองเหลืองเป็นตัวรับการกระแทกจากเข็มแทงชนวนบรรจุไว้ด้านบนสุด (รูปซ้าย) และ ภาพตัดขยาย berdan primer ที่ไม่ได้บรรจุ anvil ไว้ใน primer cup (รูปขวา).....	45
34	ภาพตัดขยาย boxer primer ใช้กับปลอกกระสุนปืนชนิด single flash-hole (รูปซ้าย) ภาพตัดขยาย berdan primer ซึ่งใช้กับปลอกกระสุนปืน twin flash-holes (รูปขวา).....	45
35	บริเวณที่เฒ่าหรืออนุภาคของชนวนท้ายกระสุนปืนและดินส่งกระสุนปืนถูกแรงระเบิดขับเคลื่อนออกมา ในอาวุธปืนแบบลูกม่ Colt trooper (357 magnum) ลำกล้องปืนยาว 4 นิ้ว บรรจุกระสุนปืนได้ 6 นัด เข็มแทงชนวนอยู่แยกต่างหากจากนกปืน (รูปซ้าย) และ Smith & Wesson model 36 (38 special) ลำกล้องปืนชนิดสั้น มีความยาว 2 นิ้ว เข็มแทงชนวนรวมเป็นส่วนหนึ่งกับนกปืน (รูปขวา).	50
36	บริเวณที่เฒ่าหรืออนุภาคของชนวนท้ายกระสุนปืนและดินส่งกระสุนปืนถูกแรงระเบิดขับเคลื่อนออกมา ในอาวุธปืนแบบ semi-automatic Colt 1903 (32 acp) หรือ pocket pistol ลำกล้องปืนยาว 3 3/4 นิ้ว ช่องกระสุนปืนบรรจุ 8 นัด มี ejection port ทำมุม 90° ทางด้านขวาลำกล้องปืน (รูปซ้าย) และ smith & wesson 39 (9mm luger) ลำกล้องปืนชนิดสั้นมีความยาว 4 นิ้ว ช่องกระสุนปืน บรรจุได้ 8 นัด มี ejection port ทำมุม 90° ทางด้านขวาของลำกล้องปืน (รูปขวา).....	50
37	Secondary Electron Image (SEI) แสดงอนุภาคที่ได้มาจากการเผาไหม้ของดินส่งกระสุนปืน (partially burned smokeless powder particles) ด้วยเทคนิค SEM กำลังขยายต่ำ	63
38	อนุภาคเฒ่าปืนที่มีลักษณะกลมมน (spherical particles) ตามชนิดและปริมาณธาตุองค์ประกอบของเฒ่าปืน Pb, Sb และ Ba (รูปบนซ้าย) Pb, Ba, Ca และ Si (รูปบนขวา) Pb (รูปล่างซ้าย) Pb และ Ba (รูปล่างขวา).....	64
39	SEI แสดงรูปร่างของ non-descriptive morphology particles ประกอบด้วยธาตุ Pb, Sb และ Ba (รูปบนซ้ายและล่างซ้าย) Pb, Si และ Cu (รูปบนขวา) Pb, Ba, Si และ Ca (รูปล่างขวา)	65

- 40 Energy dispersive x-ray spectra ของที่วิเคราะห์ด้วย SEM : รูปบนซ้าย แสดงการวิเคราะห์ธาตุอนุภาคเขม่าป็นที่ไม่มีรูปสัณฐานเฉพาะตัว (non-descriptive particles) ซึ่งแสดงไว้ในรูปบนซ้ายภาพที่ 39 รูปบนขวา แสดงการวิเคราะห์ธาตุในอนุภาคเขม่าป็นที่ไม่มีรูปสัณฐานเฉพาะตัว (non-descriptive particles) ซึ่งแสดงไว้ในรูปบนขวาภาพที่ 39 รูปล่างซ้าย แสดงการวิเคราะห์ธาตุในอนุภาคเขม่าป็นที่มี ลักษณะกลมมน (spherical particles) ซึ่งแสดงไว้ใน รูปบนขวาภาพที่ 38 และ รูปล่างขวา แสดงการวิเคราะห์ธาตุอนุภาคเขม่า ที่ได้รับจากสิ่งแวดล้อม (environment particles) 66
- 41 รูปสัณฐาน type i GSR particle รูป a, b, c และ d คือ regular spheroids GSR particle รูป e คือ x-ray emission spectrum ของ regular spheroids GSR particle รูป f, g, h และ i คือ nodular spheroids GSR particle รูป j คือ x-ray emission spectrum ของ nodular spheroids particle ตัวอักษร n ในรูป h ใช้เป็นสัญลักษณ์แทน indicate nodule รูป a และ h เก็บตัวอย่างจากมือข้างขวาของศพ ที่ฆ่าตัวตายด้วยกระสุนปืนชนิด rim-fire .22 federal และอาวุธปืน .22 revolver harrington & richardson รูป b-d, g และ i เก็บตัวอย่างจากการยิงทดสอบด้วยอาวุธปืน .38 smith & wesson revolver ด้วยกระสุนปืน .38 special 200 grain lead bullet และ รูป f ตัวอย่างจากการยิงทดสอบด้วยปืนลูกซอง 12-gauge pump-action Winchester model 1200 ยิงด้วยกระสุนปืน 70 mm 00 buckshot 69
- 42 รูปสัณฐานของ type i -irregular spheroids GSR particle รูป a-c แสดงถึงรูปร่างอนุภาคกลมขนาดเล็ก ที่ไม่สมดุล รูป d คือ x-ray emission spectrum ของ irregular spheroids GSR particle เก็บตัวอย่างจากการยิงทดสอบด้วยอาวุธปืน.38 Smith & Wesson revolver ด้วยกระสุนปืน .38 special ชนิดเดียว กับภาพที่ 41 รูป b-d, g และ i..... 70
- 43 A hollow-shaped GSR particle เก็บตัวอย่างจากการยิงทดสอบด้วยอาวุธปืนลูกซอง SEMi-automatic remington 1100 กำหนดมุมเพื่อวิเคราะห์ ด้วย x-ray detector รูป a 45° รูป b $+16^{\circ}$ และ รูป c -16° โดยแสดงให้เห็นธาตุอันเป็นองค์ประกอบด้วย x-ray emission spectra รูปd ธาตุอันเป็นองค์ประกอบของอนุภาคทั้งอนุภาค รูป e ธาตุอันเป็นองค์ประกอบในโพรงขนาดใหญ่ในรูปแทนด้วยสัญลักษณ์อักษร e และ รูป f ธาตุอันเป็นองค์ประกอบของผิวอนุภาค.... 71

- 44 สัญญาณของ atypical GSR particle และการเคราะห์ด้วย x-ray mapping ของตะกั่ว (Pb), แอนติโมนี (Sb) และแบเรียม (Ba) ที่อยู่บน ผิวของอนุภาคใช้สัญลักษณ์อักษร n แทนปุ่มที่อยู่บนผิวอนุภาค (nodule) และ h แทนรูที่อยู่บนผิวอนุภาค (hole) : รูป a แสดงสัญญาณ (morphology), รูป b lead map, รูป c antimony map, รูป d barium map, รูป e lead, aluminum, and silicon maps ลักษณะวางซ้อนกัน และ รูป f ธาตุที่เป็นส่วนประกอบอนุภาคด้วย x-ray emission spectrum เก็บตัวอย่างจากการยิงด้วยอาวุธปืนลูกซองชนิดหักกล้าง (hinge frame) ขนาด gauge 12 ผลิตใน brazil ด้วยกระสุนปืน 70 mm (2 3/4-in.) 00 buckshot (รูปซ้าย) และอนุภาคผิวเปลือกส้ม หรือ peeled oranges GSR รูป a, c, และ e แสดงรูปสัญญาณรูป b, d, และ f แสดง x-ray emission spectra ใช้สัญลักษณ์อักษร c แทนแกนในอนุภาค (core) และ o.1 แทนผิวอนุภาค (outer leaflet) รูป a และ b เก็บตัวอย่างจากมือข้างขวาของศพที่ฆ่าตัวตาย เช่นเดียวกับภาพที่ 41 รูป a,h ส่วน รูป c และ d การยิงทดสอบด้วย 9-mm walther ppk/s pistol กระสุนปืน .380 automatic 95-grain western รูป e และ f การยิงทดสอบ ด้วย.38 Smith & Wesson revolver เหมือน ภาพที่ 41 รูป b-d, g and i (รูปขวา). .. 72
- 45 รูปแบบแสดงอนุภาคที่ได้จากการยิงด้วยอาวุธปืน Colt trooper 357 กระสุนปืน mag cci ส่วนรูปล่าง แสดงอนุภาคที่ได้จากการยิงด้วยอาวุธปืน Colt mod. 1911a1 กระสุนปืน 45 acp rem..... 74
- 46 BSE/SEM image และ EDX spectrum ของอนุภาคที่พบได้จากบริเวณมือของงานไฟฟ้ารถยนต์ อนุภาคมีสัญญาณที่ไม่แน่นอนและรูปร่างไม่เป็นทรงกลม (irregular morphology) ประกอบไปด้วยธาตุ S, Sb, Ba, Si, Al, Fe และ Cu..... 76
- 47 BSE/SEM image และ EDX spectrum ของอนุภาคที่พบได้จากบริเวณมือของงานซ่อมเครื่องยนต์ อนุภาคมีสัญญาณที่ไม่แน่นอนและรูปร่างไม่เป็นทรง กลม (irregular morphology) ซึ่งประกอบไปด้วยธาตุ Sb, Ba, Si, S, Al, Fe และ Cu 77
- 48 BSE/SEM image และ EDX spectrum ของอนุภาคที่พบได้จากบริเวณมือของงานซ่อมห้ามล้อรถยนต์ มีสัญญาณที่ไม่แน่นอนและรูปร่างไม่เป็นทรงกลม (irregular morphology) ซึ่งประกอบไปด้วย S, Sb, Ba, Fe, Cu และ Si..... 78
- 49 BSE/SEM image และ EDX spectrum ของอนุภาคที่พบได้จากบริเวณดุมล้อรถยนต์ อนุภาคมีรูปร่างสัญญาณที่ไม่แน่นอนและรูปร่างซึ่งไม่เป็นทรงกลม (irregular morphology) และแสดงให้เห็นว่ามี Fe เป็นธาตุองค์ประกอบหลัก (major).. 79
- 50 BSE/SEM image และ EDX spectrum ของอนุภาคที่พบได้จากเครื่องมือซึ่งใช้ผลิตกระสุนปืน (cartridge operated industrial tools) อนุภาคมีสัญญาณไม่แน่นอนและรูปร่างซึ่งไม่เป็นทรงกลม (irregular morphology) 80

ภาพที่	หน้า
51 ลักษณะรูปสัณฐาน และ x-ray emission spectra ของอนุภาคเขม่าปืนบนมือที่ได้จากกระสุนปืน Winchester WinClean™	83
52 ลักษณะรูปสัณฐาน และ x-ray emission spectra ของอนุภาคเขม่าปืนบนมือที่ได้จากกระสุนปืน Remington/UMC LeadLess™	84
53 ลักษณะรูปสัณฐาน และ x-ray emission spectra ของอนุภาคเขม่าปืนบนมือที่ได้จากกระสุนปืน Federal BallisticClean™	85
54 ลักษณะรูปสัณฐาน และ x-ray emission spectra ของอนุภาคเขม่าปืนบนมือที่ได้จากกระสุนปืน Speer Lawman CleanFire™	86
55 BSE image และ EDX spectra ของอนุภาคที่ได้จากกระสุนปืน CleanRang® รุ่นการผลิตแรก มีรูปร่างกลมและมีสตรอนเชียม (Sr) เป็นธาตุหลัก.....	87
56 BSE image และ EDX spectra ของอนุภาคที่ได้จากกระสุนปืน CleanRang® รุ่นการผลิตที่สอง ยิงด้วย 9 mm luger โดยแสดงให้เห็นว่าส่วนใหญ่ ไม่มีรูปร่างกลม ไม่มีสตรอนเชียม (Sr) เป็นส่วนประกอบ	88
57 พื้นที่ที่ใช้เก็บตัวอย่างเขม่าปืน (รูปซ้าย) พื้นที่ที่ใช้เก็บตัวอย่างบริเวณฝ่ามือ (รูปขวา)	100
58 ส่วนประกอบสำคัญของ SEM	102
59 สัญญาณที่เกิดจากการชนของ primary electrons กับชิ้นตัวอย่าง	102
60 สัญญาณที่เกิดจากการชนของ primary electrons กับชิ้นตัวอย่างในระดับความลึก.....	103
61 เทปกาวยาคาร์บอน ชนิด conductive double-sided adhesive carbon ขนาด หนา 3 mm ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1/2 inch แหล่งที่มา agar scientific ประเทศอังกฤษ (รูปซ้าย) และ SEM aluminium pin stab เส้นผ่าศูนย์กลาง 1/2 inch ยาว 6 mm และ stab-storage tube แหล่งที่มา Agar Scientific ประเทศอังกฤษ (รูปขวา).....	107
62 เครื่อง sputtering (coater) รุ่น JFC-1100e ion sputter ประเทศญี่ปุ่น เพื่อเคลือบตัวอย่างด้วยทองคำแท้	108
63 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด รุ่น JEOL JSM 5910 lv รุ่น 7274 (ชนิด low vacuum SEM) แหล่งที่มา ประเทศญี่ปุ่น ติดตั้งพร้อม secondary electron detector, backscattered electron detector และ เครื่องรังสีเอกซ์แบบกระจายพลังงาน (energy-dispersive x-ray microanalysis) ของ oxford instrument	108
64 BSE image และ EDX spectra ของอนุภาคที่ได้จากงานกระจก มั่งลาวด และอะลูมิเนียม ขนาด 3 µm ประกอบด้วยธาตุ Na, Al (minor), Si (major), และ trace ของ P, Cl, K ซึ่งมีรูปร่างกลมมน (regular spherical) และผิวอนุภาคมีลักษณะเรียบ (smooth).....	113

ภาพที่	หน้า
65 BSE image และ EDX spectra ของอนุภาคที่ได้จากงานกระจก มั่งลวด และอะลูมิเนียม ขนาด 2 μm ประกอบด้วย Na, Mg (trace), Al (minor), Si (major), K, Ca, Ti (trace) และ Fe ซึ่งมีรูปร่างกลมมน (regular spherical) และผิวอนุภาคมีลักษณะเรียบ (smooth).....	113
66 BSE image และ EDX spectra อนุภาคที่ได้จากงานติดตั้งและซ่อมกระจกรถยนต์ ขนาด 13-15 μm ที่ประกอบด้วยธาตุ Al, Si, Ca (trace), Fe (major) ซึ่งมีรูปร่างกลมมน (regular spherical) และผิวอนุภาคมีลักษณะไม่เรียบ (not smooth) โดยมีรอยหยักหรือร่อง.....	114
67 se image และ EDX spectra ของอนุภาคที่ได้จากงานติดตั้งและซ่อมกระจกรถยนต์ ขนาด 10 μm ที่ประกอบด้วยธาตุ Na (trace), Al (minor), Si (major), K, Ca (minor), Fe ซึ่งมีรูปร่างกลมมน (regular spherical) และผิวอนุภาคมีลักษณะเรียบ (smooth) อาจมีปุ่มเล็กยื่นออกมาเล็กน้อย.....	115
68 BSE image และ EDX spectra ของอนุภาคที่ได้จากงานติดตั้งและซ่อมกระจกรถยนต์ ที่ประกอบด้วยธาตุ Na, Mg (trace), Al (minor), Si (major), K, Ca, Fe ซึ่งมีรูปร่างกลมมน (regular spherical) และผิวอนุภาคมีลักษณะที่เรียบ โดยอนุภาคจะมีขนาดเล็กกว่า 5 μm	115
69 BSE image และ EDX spectra ของอนุภาคที่ได้จากงานติดตั้งและซ่อมกระจกรถยนต์ ที่ประกอบด้วยธาตุ Al (minor), Si (major), K, Fe ซึ่งมีรูปร่างกลมแบบหยดน้ำ (droplet spherical) ขนาด 3 μm และผิวอนุภาคมีลักษณะเรียบ (smooth) โดยอนุภาคจะมีขนาดเล็กกว่า 5 μm	116
70 BSE image และ EDX spectra ของอนุภาคที่ได้จากงานติดตั้งและซ่อมกระจกรถยนต์ ที่ประกอบด้วยธาตุ Mg, Al (minor), Si (major), K, Fe (minor) มีรูปร่างกลมแบบไม่สมมาตร (irregular spherical) และผิวอนุภาคลักษณะเรียบ (smooth)	116
71 BSE image และ EDX spectra ของอนุภาคที่ได้จากงานติดตั้งและซ่อมกระจกรถยนต์ ขนาด 5 μm ที่ประกอบด้วยธาตุ Na, Al (minor), Si (major), K (trace) มีรูปร่างค่อนข้างกลม (spheroid) และผิวอนุภาคมีลักษณะที่ไม่เรียบ	117
72 BSE image และ EDX spectra ของอนุภาคที่ได้จากงานติดตั้งและซ่อมกระจกรถยนต์ ขนาด 8-10 μm ที่ประกอบด้วยธาตุ Na (trace), Al (minor), Si (major), K, Fe ซึ่งมีรูปร่างกลมไม่สมมาตร (irregular spherical) และผิวอนุภาคมีลักษณะเรียบ (smooth).....	117
73 BSE image และ EDX spectra ของอนุภาคที่ได้จากงานติดตั้งและซ่อมกระจกรถยนต์ ขนาด 15 μm ที่ประกอบด้วยธาตุ Al, Si (trace), S, K (minor), Ca (major) มีรูปร่างค่อนข้างกลม (spheroid) และผิวอนุภาคมีลักษณะที่เรียบ มีปุ่มเล็กยื่นออกมา และมีหลุมขนาดใหญ่.....	118

ภาพที่	หน้า
74 BSE image และ EDX spectra ของอนุภาคที่ได้จากงานติดตั้งและซ่อมกระจกรถยนต์ ขนาด 2 μm ที่ประกอบด้วยธาตุ Na, Al, Si (major), Cl (trace), Ca (minor), Fe ซึ่งมีรูปร่างค่อนข้างกลมมน (spherical) และผิวอนุภาคมีลักษณะเรียบ.....	118
75 BSE image และ EDX spectra ของอนุภาคที่ได้จากงานผลิตภาชนะเซรามิค ขนาด 8-10 μm ที่ประกอบด้วยธาตุ Na (trace), Al (minor), Si (major) ซึ่งมีรูปร่างกลมมน (regular spherical) และผิวอนุภาคมีลักษณะเรียบ (smooth) อาจมีปุ่มเล็กยื่นออกมาเพียงเล็กน้อย.....	119
76 BSE image และ EDX spectra ของอนุภาคที่ได้จากงานผลิตภาชนะเซรามิค ขนาด 10 μm ที่ประกอบด้วยธาตุ Al, Si, K ซึ่งมีรูปร่าง irregular และผิวอนุภาคมีลักษณะไม่เรียบ.....	120
77 BSE image และ EDX spectra ของอนุภาคที่ได้จากงานผลิตภาชนะเซรามิค ขนาด 5 μm ที่ประกอบด้วยธาตุ Mg (trace), Al, Si, K (trace) ซึ่งมีรูปร่าง irregular และผิวเรียบ.....	120
78 BSE image และ EDX spectra ของอนุภาคที่ได้จากงานสีรถยนต์ ขนาด 15 μm ที่ประกอบด้วยธาตุ Na (trace), Mg (trace), Al (minor), Si (major), K, Ca, Fe ซึ่งมีรูปร่างกลมมน (regular spherical) และผิวอนุภาคมีลักษณะเรียบ และมีหลุมเล็กๆ (smooth/pocked).....	121
79 BSE image และ EDX spectra ของอนุภาคที่ได้จากงานสีรถยนต์ ขนาด 15 μm ที่ประกอบด้วยธาตุ Mg, Al, Si, S, Ti (major), Zn ซึ่งมีรูปร่างค่อนข้างกลม (spheroid) และผิวอนุภาคมีลักษณะที่ไม่เรียบ.....	122
80 BSE image และ EDX spectra ของอนุภาคที่ได้จากงานสีรถยนต์ ขนาด 1 μm ที่ประกอบด้วยธาตุ Al, Si, S (minor), Co, Ba (major) ซึ่งมีรูปร่างกลมมน (regular spherical) และผิวอนุภาคมีลักษณะที่เรียบ โดยอนุภาคจะมีขนาดเล็กกว่า 5 μm	122
81 BSE image และ EDX spectra ของอนุภาคที่ได้จากงานสีรถยนต์ ขนาด 10 μm ที่ประกอบด้วยธาตุ Na (trace), Al (minor), Si (Major), K (trace), Ca (trace) ซึ่งมีรูปร่างค่อนข้างกลม (irregular spherical/globular) และผิวอนุภาคมีลักษณะไม่เรียบ.....	123
82 BSE image และ EDX spectra ของอนุภาคที่ได้จากงานสีเส้นจราจร 5 μm ที่ประกอบด้วยธาตุ Na, Mg (trace), Al (minor), Si (major) ซึ่งมีรูปร่างกลมมน (regular spherical) และผิวอนุภาคมีลักษณะเรียบ.....	124
83 BSE image และ EDX spectra อนุภาคที่ได้จากงานสีเส้นจราจร ขนาด 5 μm ประกอบด้วยธาตุ Na, Al, Si (major), P (trace), S (trace), Cl, K, Ca (trace) รูปร่างกลมมน (regular spherical) และผิวอนุภาคมีลักษณะเรียบที่ประกอบเป็นปุ่มเล็กๆ ยื่นออกมาจำนวนมาก (knobby).....	125

ภาพที่	หน้า
84 BSE Image และ EDX spectra อนุภาคที่ได้จากงานตีเส้นจรรยา ขนาด 2 μm ประกอบด้วยธาตุ Na (trace), Al (minor), Si (major) , K, Co, Fe ซึ่งมีรูปร่างกลมมน (regular spherical) และผิวอนุภาคมีลักษณะเรียบ	125
85 BSE Image และ EDX spectra อนุภาคที่ได้จากงานตีเส้นจรรยา ขนาด 5 μm ที่ประกอบด้วยธาตุ Na, Mg (trace), Al (minor), Si (major), K, Ca, Fe ซึ่งมีรูปร่างกลมมน (regular spherical) และผิวอนุภาคมีลักษณะเรียบ	126
86 BSE Image และ EDX spectra ของอนุภาคที่ได้จากงานเชื่อมโลหะและเหล็กตัด ขนาด 15 μm ที่ประกอบด้วยธาตุ Al (trace), Si (trace), Ca (minor), Fe (major) รูปร่างค่อนข้างกลม (irregular spherical/globular) และมีลักษณะผิวที่ไม่เรียบโดยพบว่ามีร่องลายบนผิวอนุภาคและมี outer leaflet ห่อหุ้มอยู่แต่ไม่เต็มอนุภาค.....	127
87 BSE Image และ EDX spectra ของอนุภาคที่ได้จากงานเชื่อมโลหะและเหล็กตัด ขนาด 4 μm รูปร่างค่อนข้างกลม (irregular spherical) และผิวไม่เรียบ มีธาตุ Si และ Ca เป็นองค์ประกอบหลัก Fe และ Al เป็นองค์ประกอบรอง โดยมี Na และ K ในจำนวนเล็กน้อย	127
88 BSE Image และ EDX spectra ของอนุภาคที่ได้จากงานรับซื้อของเก่าซึ่งมีรูปร่างกลมมน (spherical) สามารถพบที่อนุภาคที่มีขนาด 10 μm แต่ผิวอนุภาคไม่เรียบและพบว่า มี Fe เป็นธาตุองค์ประกอบสำคัญเพียงชนิดเดียว.....	128
89 BSE Image และ EDX spectra ของอนุภาคที่ได้จากงานรับซื้อของเก่า มี Al, Si, K เป็นธาตุหลัก ที่มีร่องรอยของ Na รวมอยู่ด้วยแต่ในปริมาณน้อย	129
90 BSE Image และ EDX spectra ของอนุภาคที่ได้จากงานรับซื้อของเก่า ที่ประกอบด้วยธาตุ Na (trace), Mg, Al (minor) , Si, Cl (trace), Ca, Fe(major) ซึ่งมีรูปร่างกลมแต่ไม่มน (Globular) และผิวมีลักษณะไม่เรียบ	130
91 BSE Image และ EDX spectra ของอนุภาคที่ได้จากงานรับซื้อของเก่าที่ประกอบด้วยธาตุ Al , Si (minor), Fe (major), Zn (trace) มีรูปร่างไม่สมมาตร (Irregular) และผิวอนุภาคมีลักษณะคล้ายก้อนหิน (rockpile).....	131
92 BSE Image และ EDX spectra ของอนุภาคที่ได้จากงานรับซื้อของเก่าที่ประกอบด้วยธาตุ Al , Si , Ca (trace), Fe (major) ซึ่งมีรูปร่างกลมมน (spherical) และผิวอนุภาคมีลักษณะเรียบ (smooth).....	131
93 BSE Image และ EDX spectra ของอนุภาคที่ได้จากงานรับซื้อของเก่าที่ประกอบด้วยธาตุ Mg, Al, Si, Ca, Fe (major) ซึ่งมีรูปร่างค่อนข้างกลม (spheriod) และผิวอนุภาคมีลักษณะเรียบแต่ไม่เต็มอนุภาค.....	132

ภาพที่	หน้า
94 BSE image และ EDX spectra ของอนุภาคขนาด 1-5 μm ที่ได้จากเขม่าปืน Winchester WinClean™ ที่ประกอบด้วยธาตุทองแดง (Cu) และ สังกะสี (Zn) ซึ่งมีรูปร่างกลมมน (spherical) และผิวอนุภาคมีลักษณะเรียบ.....	133
95 BSE image และ EDX spectra มีอะลูมิเนียม (Al) และซิลิคอน (Si) เป็นธาตุองค์ประกอบหลัก (major elemental) โดยพบมีธาตุโพแทสเซียม (K) และโซเดียม (Na) เป็นองค์ประกอบเพิ่มเติม มีร่องรอยของเหล็ก (Fe), แคลเซียม (Ca) และแมกนีเซียม (Mg) อยู่ในจำนวนน้อย	133
96 BSE image และ EDX spectra อะลูมิเนียม (Al) และซิลิคอน (Si) เป็นธาตุองค์ประกอบหลัก (major elemental) โดยพบว่าธาตุโพแทสเซียม (K) และโซเดียม (Na) ซึ่งมีรูปร่างค่อนข้างกลม (spheroid) และผิวอนุภาคมีลักษณะคล้ายเปลือกส้ม	134
97 BSE image และ EDX spectra อะลูมิเนียม (Al) และซิลิคอน (Si) เป็นธาตุองค์ประกอบหลัก (major elemental) โดยพบว่าธาตุโพแทสเซียม (K) และโซเดียม (Na) ซึ่งมีรูปร่างค่อนข้างกลม (spheroid) และผิวอนุภาคมีลักษณะเรียบ	134
98 BSE image ตัวอย่างที่เก็บจากมือเปล่าเพื่อเป็นตัวอย่างเปรียบเทียบ (handblank sample) โดยคราบที่ได้มาจากคราบเหงื่อ.....	140
99 BSE image (รูปซ้าย) อนุภาคเขม่าที่ได้มาจากกระสุนปืน Winchester WinClean™ รูปร่างกลมมน (regular spherical) สันฐานของอนุภาคมีผิวคล้ายผิวเปลือกส้ม (orange peel) (รูปขวา) อนุภาคที่ได้จากงานติดตั้งและซ่อมกระจกรถยนต์ ซึ่งมีรูปร่างค่อนข้างกลม (spheroid) และผิวอนุภาคมีลักษณะที่ไม่เรียบ คล้ายมีรอยแตกหรือรอยร้าว.....	143
100 BSE image (รูปซ้าย) อนุภาคเขม่าที่มาจากกระสุนปืน Remington/UMC LeadLess™ ซึ่งมีผิวลักษณะเรียบ โดยพบว่าหุ้มเมื่ออนุภาคมีขนาด 5-15 μm (รูปขวา) อนุภาคที่ได้จากงานสีรถยนต์ - 4 มีขนาด 10 μm ที่ประกอบด้วยธาตุ Na (trace), Al (minor), Si (major), K (trace), Ca (trace) ซึ่งมีรูปร่างค่อนข้างกลม (irregular spherical/globular) และผิวอนุภาคมีลักษณะไม่เรียบ	143

ภาพโครงสร้างที่	หน้า
1 โมเลกุลของ organic additives ชนิดต่างๆ ที่ทำหน้าที่ stabilizer ในดินควันน้อย.....	57

แผนภูมิที่	หน้า
1 อนุภาคเขม่าปืนเกิดขึ้นได้โดยผ่าน 3 สถานะ คือ i กลายเป็นไอ (vapors) ii เกิดการควบแน่น (condense) และ iii เกิดการแข็งตัว (sediment).....	61

บทที่ 1 บทนำ

1. ความเป็นมา

สภาพสังคมในปัจจุบัน เป็นสาเหตุสำคัญที่ก่อให้เกิดปัญหานานาประการ รวมถึงปัญหาอาชญากรรมที่เกิดขึ้นในสังคมโดยไม่อาจหลีกเลี่ยง ซึ่งเป็นที่ปรากฏอยู่เป็นประจำโดยผ่านสื่อแขนงต่างๆ และด้วยเหตุที่อาชญากรรมที่เกิดขึ้นในแต่ละคดีมีแนวโน้มของความรุนแรงและความสลับซับซ้อนมากขึ้นเรื่อยๆ จึงทำให้การทำงานของเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องในการคลี่คลายคดีมีความยากลำบากมากขึ้น โดยเฉพาะในขั้นตอนการตรวจสอบสถานที่เกิดเหตุเพื่อค้นหาพยานหลักฐานสำคัญที่อาจใช้ในการระบุตัวผู้กระทำความผิดซึ่งนำไปสู่การจับกุมตัวและการนำตัวไปลงโทษตามกฎหมาย หากสิ่งที่น่าสนใจประกอบอาชญากรรมคืออาวุธปืนหรือวัตถุระเบิดด้วยแล้ว ย่อมส่งผลให้เกิดความเสียหายในทุกด้าน ทั้งโดยตรงที่สามารถปลิดชีวิตของผู้ถูกกระทำได้โดยพลัน รวมทั้งส่งผลต่อบุคคลในครอบครัวของผู้ตาย และโดยอ้อมแก่รัฐที่ต้องสูญเสียงบประมาณแผ่นดินสำหรับการรักษาความสงบ การเยียวยาความเสียหายที่เกิดขึ้นและอาจขาดทรัพยากรบุคคลเพื่อใช้สำหรับการพัฒนาประเทศ อนึ่ง การกระทำความผิดโดยใช้อาวุธปืนเพื่อฆ่าผู้อื่นในลักษณะทารุณและโหดร้ายเป็นการกระทำที่อุกฉกรรจ์และสะเทือนขวัญ อันเป็นภัยคุกคามที่ทำลายความปลอดภัยในชีวิต ร่างกายและเสรีภาพของบุคคล ทำลายความมั่นคงของชาติ ตลอดจนทำให้การพัฒนาสังคมดำเนินไปได้อย่างล่าช้า ทั้งยังส่งผลต่อศักยภาพ ประสิทธิภาพและเสถียรภาพด้านเศรษฐกิจของประเทศ

อาวุธปืนและเครื่องกระสุน ซึ่งทราบโดยทั่วไปว่าเป็นอาวุธที่มีอานุภาพร้ายแรงเป็นสิ่งที่ก่อให้เกิดอันตรายในการก่ออาชญากรรม ไม่ว่าจะเป็นการใช้ประทุษร้าย การก่อความไม่สงบ การก่อการร้าย ระดับใหญ่ภายในประเทศจนถึงระดับสากล ด้วยเหตุดังกล่าวจำเป็นต้องตรากฎหมายให้ชัดเจนเพื่อควบคุมโดยรัฐทั้งในการอนุญาต การปราบปราม และการลงโทษ โดยมีหน่วยงานหลักของรัฐซึ่งเกี่ยวข้องกับกลไกการรักษาความสงบเรียบร้อยภายในประเทศ ได้แก่ กระทรวงมหาดไทย และสำนักงานตำรวจแห่งชาติเป็นผู้รับผิดชอบ และยังได้กำหนดมาตรการทางกฎหมายในรูปแบบต่างๆ เพื่อลดจำนวนอาชญากรรมที่ใช้อาวุธปืนประกอบในการกระทำความผิด ซึ่งได้แก่ พระราชบัญญัติอาวุธปืน เครื่องกระสุน วัตถุระเบิด ดอกไม้เพลิงและสิ่งเทียมอาวุธปืน พ.ศ. 2490, คำสั่งคณะปฏิรูปการปกครองแผ่นดินฉบับที่ 44 ลงวันที่ 21 ตุลาคม 2519 รวมทั้งกฎกระทรวงฯ พ.ศ. 2490 นอกจากนี้แล้ว การควบคุมอาวุธปืนยังปรากฏในรูปแบบของนิติกรรมทางปกครอง ซึ่งได้แก่ คำสั่งกระทรวงมหาดไทย คือ คำสั่งฯ ที่ 674/2490 ลงวันที่ 10 ตุลาคม 2490 เรื่องระเบียบการปฏิบัติตามพระราชบัญญัติอาวุธปืน เครื่องกระสุนปืน วัตถุระเบิด ดอกไม้เพลิง และสิ่งเทียมอาวุธปืน พ.ศ. 2490, คำสั่งฯ ที่ 759/2494 ลงวันที่ 15 ธันวาคม 2494 เรื่องระเบียบการปฏิบัติตามพระราชบัญญัติอาวุธปืน เครื่องกระสุนปืน วัตถุระเบิด ดอกไม้เพลิงและสิ่งเทียมอาวุธปืน พ.ศ. 2490, คำสั่งฯ ที่ 798/2501 ลงวันที่ 13 พฤศจิกายน 2501 เรื่องการอนุญาตให้บุคคลมีอาวุธปืน และระเบียบปฏิบัติเกี่ยวกับการพิจารณาออกใบอนุญาตมีอาวุธปืน

และยังปรากฏในรูปของหนังสือสั่งการกระทรวงมหาดไทย ได้แก่ หนังสือสั่งการฯ ที่ 0515/13548 ลงวันที่ 25 ตุลาคม 2515, หนังสือสั่งการฯ ที่ 0313/ว 8583 ลงวันที่ 25 กรกฎาคม 2517 และหนังสือสั่งการฯ ที่ 0515/ว 686 ลงวันที่ 30 ธันวาคม 2517 รวมทั้งระเบียบตำรวจไม่เกี่ยวกับคดีลักษณะที่ 47 วิธีการที่กล่าวข้างต้นนั้นถูกกำหนดขึ้นเพียงเพื่อควบคุมการซื้อ ครอบครอง พกพา และใช้อาวุธปืนของประชาชนรวมทั้งเจ้าพนักงานและเจ้าหน้าที่ของรัฐ เพื่อให้อยู่ในขอบเขตความจำเป็นต่อสภาพความเป็นอยู่หรือสิ่งแวดล้อมและตามภารกิจหน้าที่ ซึ่งได้ผลดีสำหรับการป้องกันในระดับหนึ่ง แต่ยังคงพบว่ามีกรกระทำผิดเกี่ยวกับอาวุธปืนอยู่

อาวุธปืนชนิดธรรมดาที่ใช้ประกอบการกระทำความผิดนั้น มีทั้งอาวุธปืนที่มีทะเบียนตามกฎหมาย* และอาวุธปืนไม่มีทะเบียนหรืออาวุธปืนเถื่อน สำหรับอาวุธปืนประเภทไม่มีทะเบียนย่อมทำให้การควบคุมกระทำได้อย่างยิ่งยั้ง ตลอดจนเมื่อมีการใช้อาวุธปืนประเภทไม่มีทะเบียนนี้ก่อความผิดขึ้นแล้ว และแม้ว่าเจ้าหน้าที่ตำรวจสามารถเก็บวัตถุพยานที่เป็นปลอกกระสุนปืนที่เกิดเหตุได้ก็ตาม แต่เปรียบเทียบกับอาวุธปืนที่มีทะเบียนแล้วพบว่า โดยเบื้องต้นของการตรวจพิสูจน์อาวุธปืนที่ไม่มีทะเบียน ในกรณีตรวจเปรียบเทียบรอยตำหนิที่เกิดกับปลอกกระสุนปืนว่าเกิดจากอาวุธปืนกระบอกใด ย่อมเป็นการยุ่งยาก และไม่สามารถทำการพิสูจน์เอกลักษณ์โดยใช้เครื่องตรวจเปรียบเทียบปลอกกระสุนปืนและปลอกกระสุนปืนอัตโนมัติ หรือ IBIS (Integrated Bulletproof Identification System) ตามที่ซุ่มศักดิ์ พลิกษาพงษ์ (2550) กล่าวไว้ว่าได้ทำการยิงทดลองและการเก็บรอยตำหนิปลอกกระสุนปืนไว้ในฐานข้อมูล IBIS เฉพาะแต่อาวุธปืนที่ขอขึ้นทะเบียนเท่านั้น และแม้ว่าอาวุธปืนที่ใช้ประกอบการกระทำความผิดเป็นอาวุธปืนที่ขึ้นทะเบียน แต่อาจไม่พบปลอกกระสุนปืนและปลอกกระสุนปืนในสถานที่เกิดเหตุ เนื่องจากชนิดอาวุธปืนที่ใช้ยิงหรือปลอกกระสุนถูกเคลื่อนย้าย เช่นนี้ต้องใช้วิธีหรือเทคนิคทางวิทยาศาสตร์อื่นเพื่อตรวจพิสูจน์การใช้อาวุธปืน

วิธีการป้องกันโดยกำหนดให้จดทะเบียนอาวุธปืนเพียงอย่างเดียวนั้นไม่สามารถลดจำนวนความผิดเกี่ยวกับอาวุธปืนลงได้ เช่นนี้ จึงจำเป็นต้องใช้วิธีอื่นควบคู่กับวิธีการจดทะเบียนเพื่อควบคุมอาวุธปืน ซึ่งอย่างน้อยยังคงใช้วิธีการลงโทษที่เป็นสภาพบังคับทางอาญาเพื่อลดจำนวนความผิดอาญาที่เกี่ยวกับอาวุธปืน เพราะการลงโทษมีประโยชน์ในลักษณะสัมพันธ์ (relative theory) อยู่ 2 ประการ คือ เพื่อให้สังคมปลอดภัย โทษจึงทำหน้าที่ห้ามไม่ให้คนกระทำความผิด และในกรณีกระทำความผิดไปแล้ว โทษมีความจำเป็นเพื่อปรับปรุงให้ผู้กระทำความผิดนั้นกลับตัวแก้ไขการกระทำที่เคยเกิดขึ้นเพื่อไม่ให้เกิดขึ้นซ้ำอีก และสามารถกลับเข้าสู่สังคมอย่างเดิม (อัษฎายุทธ ผลภาค 2548 : 67) หลักการซึ่งเป็นหัวใจสำหรับวิธีพิจารณาความคดีอาญาอยู่บนพื้นฐานสำคัญที่ว่า บุคคลผู้ถูกกล่าวหาว่าได้กระทำความผิดนั้นยังเป็นผู้บริสุทธิ์จนกว่าศาลจะได้พิพากษาว่าได้กระทำความผิดจริง ผู้กล่าวหาที่มีหน้าที่พิสูจน์ให้ศาลเห็นโดยปราศจากข้อสงสัยถึงการกระทำของผู้ถูกกล่าวหาว่าได้กระทำความผิดจริง (อัษฎายุทธ ผลภาค 2548 : 200) เช่นนี้ ความผิดอาญาที่เกี่ยวกับอาวุธปืน จึงจำเป็นต้องพิสูจน์โดยปราศจากข้อสงสัยว่าบุคคลผู้ต้องสงสัยผ่านการยิงปืนมาจริง และการพิสูจน์ให้ศาลเห็นว่าผู้ถูกกล่าวหาใช้อาวุธปืนประกอบ

*อาวุธปืนประเภทมีทะเบียน คือ อาวุธปืนซึ่งนายทะเบียนออกใบอนุญาตให้มีและใช้ โดยทำเครื่องหมายประจำปืนไว้ ผู้ที่ได้รับอนุญาตสามารถเก็บไว้ที่บ้านได้ แต่ห้ามพกพา ถ้าจะพกพาไปก็ต้องมีใบพกพาอีกชั้นหนึ่ง

กระทำความผิดจริงต้องมีและใช้วัตถุพยานที่เชื่อมโยงถึงการกระทำความผิด (the chain of evidence) ซึ่งเก็บจากสถานที่เกิดเหตุ, ผู้บาดเจ็บหรือศพ, ผู้ต้องสงสัยและตัวผู้กระทำความผิด เพื่อเป็นข้อมูลในการสืบสวนแสวงหาข้อเท็จจริงและพยานหลักฐาน ด้วยมุ่งหมายเพื่อให้ทราบรายละเอียดแห่งความผิด ทั้งต้องทำการสอบสวนโดยรวบรวมพยานหลักฐาน และดำเนินการทั้งหลายเพื่อให้ทราบข้อเท็จจริงเกี่ยวกับพฤติการณ์ของคนร้ายหรือพิสูจน์ความผิด และนำตัวผู้กระทำความผิดมาฟ้องและลงโทษ

เมื่อมีการกระทำความผิดเกิดขึ้น แม้ว่าผู้กระทำความผิดมักจะทิ้งร่องรอยและพยานหลักฐานไว้ในสถานที่เกิดเหตุเสมอ เพราะไม่ว่าที่ใดก็ตามที่ผู้กระทำความผิดได้เหยียบย่ำ สัมผัสหรือจับต้องจะโดยตั้งใจหรือไม่ได้ตั้งใจก็ตามแต่ ย่อมจะทิ้งร่องรอยพยานหลักฐานไว้ ไม่ว่าจะเป็น คราบโลหิต เส้นผมเส้นขน รอยเครื่องมือ รอยลายนิ้วมือหรือแม้แต่รอยเท้า ฯลฯ ซึ่งสิ่งเหล่านี้อาจ กลายเป็นพยานวัตถุหรือหลักฐานที่สามารถมัดตัวผู้กระทำความผิดได้ก็จริง แต่ในคดีความผิดเกี่ยวกับอาวุธปืน ยังมีร่องรอยของเขม่าปืนซึ่งเป็นวัตถุพยานหรือหลักฐานอีกชั้นที่เพิ่มคุณค่าแห่งความน่าเชื่อถือในชั้นศาล ทั้งนี้เพราะพยานวัตถุมีคุณค่าในตัวเอง ไม่มีการหลงลืมความจำ หรือเกิดความสับสนจากการตระหนกตกใจ ไม่มีทางที่จะปฏิเสธการมาให้การในชั้นศาลหรือกลับคำให้การดังเช่นพยานบุคคล นอกจากนี้พยานวัตถุเหล่านี้ยังปรากฏขึ้นตามสภาพความเป็นจริง และไม่มีทางที่จะสูญหายหากเก็บและวิเคราะห์ตามหลักการทางวิทยาศาสตร์

การตรวจวิเคราะห์เขม่าปืน* ด้วยเครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ซึ่งให้ผลที่มีความจำเพาะเจาะจง น่าเชื่อถือ แม่นยำ ทั้งยังประหยัดเวลาและค่าใช้จ่าย ย่อมเกิดผลดีต่อกระบวนการยุติธรรมอย่างมาก เพราะสามารถพิสูจน์เพื่อยืนยันหรือปฏิเสธ (confirm or negate an alibi) ได้ว่าบุคคลนั้นได้ผ่านการยิงปืนหรือเกี่ยวข้องกับการยิงปืนมาจริงหรือไม่ ทั้งผลการตรวจวิเคราะห์ที่ได้สามารถนำไปสู่ความคลี่คลายในการสืบสวนสอบสวนคดีอาญาที่ใช้อาวุธปืนประกอบการกระทำความผิดได้อย่างรวดเร็ว โดยมีประสิทธิภาพและมีประสิทธิผล เมื่อพบว่าเขม่าบนมือนั้นเกิดจากการยิงปืนจริง ย่อมสามารถยืนยัน (corroborate) ได้ว่าบุคคลนั้นผ่านการยิงปืนมาจริง ซึ่งนำไปสู่การนำตัวผู้กระทำความผิดนั้นมาฟ้องและลงโทษ ซึ่งเป็นประโยชน์ทั้งเจ้าหน้าที่ตำรวจที่ประยุกต์ใช้ได้กับงานสืบสวนสอบสวน นักนิติวิทยาศาสตร์ในการตรวจพิสูจน์ ผู้ชำนาญการที่ต้องเป็นพยานในชั้นศาล แพทย์ผู้ทำการชันสูตรพลิกศพที่ต้องการผลตรวจเขม่าปืนเพื่อยืนยันสาเหตุการตายจากอาวุธปืน ตลอดจนอัยการและผู้พิพากษาสำหรับการดำเนินกระบวนการพิจารณาความและการตัดสินคดี ซึ่งต้องได้รับการพิสูจน์จนปราศจากข้อสงสัยว่าผู้ถูกกล่าวหาว่ากระทำความผิดผ่านการยิงปืนมา ในทางกลับกันยังยืนยันความบริสุทธิ์ของผู้ซึ่งไม่ได้กระทำความผิดได้ด้วย เพราะสามารถหักล้างข้อกล่าวหา (disprove) เพื่อยืนยันความบริสุทธิ์ของบุคคลที่ไม่ได้กระทำความผิด อันเป็นการดำรงความยุติธรรม

*เขม่าปืนมีชื่อเรียกต่างกัน เช่น Cartridge Discharge Residue หรือ CDR ที่เป็นอนุภาคซึ่งได้มาจากปลอกกระสุนปืน (Wallace and Mcquillan 1984, cited by Romolo and Margot 2001 : 195; Speers et al. 1994) และ Firearm Discharge Residue) หรือ FDR คืออนุภาคซึ่งได้มาจากลำกล้องและกระสุนปืน (Harrison and Gilroy 1959, cited by Romolo and Margot 2001 : 196 ; Flynn et al. 1998 : 22; Zeichner et al. 2006 : 52) เช่นนี้คำว่า Gunshot Residue จึงเป็นการให้ความหมายอย่างกว้าง (Romolo and Margot 2001 : 195)

2. ความสำคัญของปัญหา

เทคนิคและวิธีการตรวจพิสูจน์มีอยู่หลายลักษณะ สมัยก่อนใช้วิธีการดมกลิ่นดินปืนซึ่งเป็นวิธีที่ไม่ยุ่งยาก แต่ยังไม่ใช่วิธีที่ดี และขาดความถูกต้องแม่นยำ จึงต้องคิดค้น พัฒนา และประยุกต์วิธีการตรวจวิเคราะห์โดยใช้หลักเกณฑ์ทางวิทยาศาสตร์ (รัชนารถ กิตติดุขฎี 2535 : 31) รวมทั้งการตรวจวิเคราะห์สาร organic จากดินส่งกระสุนปืนชนิดดินปืน (gun powder) ด้วยวิธี dermal nitrate test หรือ paraffin test* (Cowan and Purdon 1967, cited by Romolo and Margot 2001 : 196; Schwoeble and Exline 2000 : chap. 3 pars. 75-77) แม้จะเป็นวิธีที่ให้ผลดีและค่าใช้จ่ายไม่สูง แต่ผลที่ได้สามารถโต้แย้งและมีความน่าเชื่อถือต่ำ เกิดผลบวกลวง (false positive) จากสารประกอบไนเตรท (nitrate) ที่เป็นสารประกอบอินทรีย์ (organic) ซึ่งพบได้โดยทั่วไปในสิ่งแวดล้อม เช่น ปุ๋ยเคมี ยาฆ่าแมลง น้ำยาเคลือบเล็บ ปัสสาวะ และไม้ขีดไฟ (maloney and Thornton 1982, cited by Romolo and Margot 2001 : 196) สำหรับประเทศไทยใช้วิธีนี้ตรวจเขม่าดินปืนตั้งแต่ปี พ.ศ. 2483 ถึง 2517 (ไทพีศรีนิติ ภัคติกุล 2545 : 156)

การตรวจพิสูจน์อาวุธปืนเพื่อระบุตัวผู้ที่ยิงปืนโดนอาศัยสิ่งที่หลงเหลือจากการยิงปืนหรือเขม่าปืน (Gun Shot Residue- GSR) ซึ่งเป็นผลลัพธ์ที่เกิดจากการเผาไหม้ภายหลังจากการยิงปืน (discharge) โดยเฉพาะการตรวจวิเคราะห์เขม่าปืนจากตัวบุคคลโดยอาศัยซึ่งได้มาจากการระเบิดและเผาไหม้ของชนวนท้ายกระสุนปืน (primer residue) เป็นอีกวิธีหนึ่งที่น่าสนใจ เนื่องจากเขม่าปืนมีองค์ประกอบจากอนินทรีย์สาร (inorganic) ที่ส่วนใหญ่ประกอบด้วยธาตุโลหะซึ่งใช้ระยะเวลานานในการสลายตัวของธาตุ (Schwoeble and Exline 2000 : chap. 1 par. 9) โดยพบธาตุอันเป็นองค์ประกอบได้ทั้งบนใบหน้า เส้นผม เส้นใยของเสื้อผ้า รวมทั้งมือข้างที่จับปืนยิงของผู้ที่ใช้อาวุธปืน (Schwoeble and Exline 2000 : chap. 1 par. 14; California Department of Justice, Bureau of Forensic Services : 2008) และแม้ว่ามีรายงานยืนยันว่าสามารถพบอนุภาคของธาตุซึ่งเป็นองค์ประกอบ ได้อย่างน้อย 2 ชนิด คือแบเรียม (Ba) และแอนติโมนี (Sb) ทุกครั้งจากบริเวณที่พบเขม่าปืน (Wallace and Mcquillan 1984, cited by Garofano et al. 1999 : 2; ASTM standards, cited by Cardinetti et al. 2004 : 2) แต่ปรากฏว่าจำนวนชั่วโมงที่เพิ่มขึ้นหลังจากการยิงปืนมีผลต่อการลดลงของจำนวนอนุภาคเขม่าปืน ซึ่งเป็นข้อจำกัดในการตรวจวิเคราะห์ (Schwoeble and Exline 2000 : chap. 1 pa. 9)

การตรวจพิสูจน์เขม่าปืนจากการเผาไหม้ของชนวนท้ายกระสุนปืนในแต่ละเทคนิคและวิธีต่างมีข้อจำกัดที่ส่งผลต่อการยืนยันบุคคลที่ผ่านการยิงปืนมา เช่น การตรวจวิเคราะห์เขม่าปืนโดยใช้ sodium

*โดยเก็บตัวอย่างบริเวณหลังมือที่สงสัยว่าผ่านการยิงปืนมาด้วยขี้ผึ้ง paraffin ร้อน รอให้ขี้ผึ้งเย็นและแข็งตัวเพื่อให้เขม่าปืนฝังติดกับขี้ผึ้ง จากนั้นเก็บตัวอย่าง แล้วนำไปทดสอบสี (colour test) ด้วยสารละลาย diphenylamine ในกรดซัลฟูริกเข้มข้น หากมีสารประกอบจำพวก nitro-compound จะให้ผลเปลี่ยนจากไม่มีสีเป็นสีน้ำเงินเข้มของ diphenyl benzidine

rhodizonate test* (Harrison and Gilroy 1959, cited by Romolo and Margot 2001 : 196) วิธีนี้เป็นการตรวจวิเคราะห์ที่ง่าย สะดวก ไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายมาก และแม้จะมีความจำเพาะเจาะจง (specific) ในระดับดี และสามารถตรวจพบเขม่าปืนหลังจากการยิงปืนนานถึง 48 ชั่วโมง (Harrison and Gilroy 1959) แต่มีข้อจำกัดคือความไว (sensitive) ในการวิเคราะห์ต่ำ ให้ผลการตรวจวิเคราะห์ที่ไม่ชัดเจน ดังที่สุนทร คำขมนันท์, ศิริพร พันธศรี และ สิริพันธ์ ณรงชัย (2534) ได้ทำการศึกษาจากผู้ยิงปืนจำนวน 176 คน ยิงด้วยปืนและกระสุนชนิดเดียวกัน จำนวนนัดยังเท่ากัน ให้ผลการทดสอบซึ่งเป็นบวกร้อยละ 79 ทั้งนี้ ผลการทดสอบตัวอย่างเปรียบเทียบที่เช็ดจากมือก่อนการยิงปืนให้ผลลบทุกราย แต่การทดสอบหลังจากการยิงปืนทันที ผลที่ได้รับคือตรวจไม่พบเขม่าปืนซึ่งมีจำนวนมากถึงร้อยละ 21-25 ย่อมแสดงให้เห็นว่าการตรวจวิเคราะห์ด้วย rhodizonate test มีความไวต่ำมาก เช่นเดียวกับวิธีวรรณ เรืองยุทธการณ และ ศิริพร พันธศรี (2536) ทำการตรวจตัวอย่างจำนวน 303 ตัวอย่างจากผู้ต้องสงสัยและศพคดีที่เกี่ยวข้องกับอาวุธปืน ได้ผลลบ 296 ราย ในจำนวนนี้มีหลายรายที่สารภาพว่าผ่านการยิงปืนมา ซึ่งให้ผลทำนองเดียวกันกับกับประเทือง สุขสัมพันธ์, สุนทร คำขมนันท์ และ วีระวรรณ เรืองยุทธการณ (2539) ซึ่งใช้ rhodizonate test ตรวจหาการตกค้างของเขม่าปืนหลังยิงปืน 6 ชั่วโมงจากมือของผู้ยิงปืนจำนวน 12 ราย การทดสอบใช้ปืนร็อลเวอร์ ขนาด .38 ยี่ห่อ Smith & Wesson ยิงด้วยกระสุนซ้อมคนละ 2 นัด พบว่าได้ผลบวกหลังยิงทันทีร้อยละ 75 โดยตรวจพบทั้งตะกั่วและแบเรียม ร้อยละ 25 และตรวจพบเฉพาะตะกั่วเพียงร้อยละ 50 เท่านั้น วิธีการนี้จึงไม่เป็นที่นิยมในปัจจุบัน

Neutron Activation Analysis** (NAA) หรือการตรวจวิเคราะห์ปฏิกิริยานิวตรอนเพื่อหาสารประกอบอนินทรีย์ (inorganic component) ของเขม่าปืนจากชนวนท้ายกระสุนปืน (Ruch et al. 1964, cited by Romolo and Margot 2001 : 196) เทคนิคนี้มีความไวสูงต่อการตรวจวิเคราะห์หาธาตุแบเรียม (Ba) และแอนติโมนี (Sb) โดยสามารถวิเคราะห์หาธาตุได้ละเอียดถึงระดับไมโครกรัม (μg) (Albu-Yaron and Amiel 1972, กล่าวถึงใน วีระวรรณ เรืองยุทธการณ, สุนทร คำขมนันท์ และ ภัทร

*เป็นการตรวจวิเคราะห์เพื่อหาธาตุตะกั่ว (Pb) แบเรียม (Ba) และแอนติโมนี (Sb) จาก lead styphnate ($\text{PbO}_2\text{C}_6\text{H}(\text{NO}_2)_3$), barium nitrate ($\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$) และ antimony trisulphide (Sb_2S_3) บริเวณชนวนท้ายกระสุนปืนหรือแก๊ปปืน (primer หรือ percussion gap) โดยเก็บตัวอย่างบนหลังมือด้วย swab ซึ่งชุบด้วยกรดไฮโดรคลอริกเจือจาง (hydrochloric acid) แล้วทิ้งไว้ให้แห้ง จากนั้นเติม triphenylmethylarsonium iodide รองนึ่งอีกครั้ง เติมหาละลาย sodium rhodizonate ทำการวิเคราะห์สีโดยอาศัยการทำปฏิกิริยาทางเคมีระหว่าง sodium rhodizonate กับแอนติโมนี (Sb) ให้สีส้ม และให้สีแดงกับตะกั่ว (Pb) หรือแบเรียม (Ba) และเปลี่ยนเป็นสีม่วงแกมน้ำเงินเมื่อเติม hydrochloric acid แสดงว่าให้ทราบว่ามีตะกั่ว (Pb) ตามลำดับ

**สามารถตรวจได้ 2 วิธี วิธีแรกคือใช้วิธีทางเคมี (chemical separation method, destructive method) สกัดเอาเขม่าปืนที่มีอยู่โดยใช้ paraffin แล้วนำไปอบรังสี neutron พร้อมด้วยสารมาตรฐาน จากนั้นทำการแยกทางเคมีโดยตกตะกอนให้เป็น stibnite (Sb_2S_3) และ barium sulfate (BaSO_4) เพื่อตรวจหาปริมาณของแอนติโมนี (Sb) และแบเรียม (Ba) และวิธีที่สองไม่ใช้วิธีทางเคมี (non-destructive method) โดยใช้การวัด spectrum ของสารตัวอย่างทั้งหมดโดยตรง

วดี พงษ์ระวีวงศ์ 2543 : 2) แม้จะเป็นวิธีที่สามารถตรวจพบเขม่าป็นหลังจากการยิงปืนได้นาน 17 ถึง 24 ชั่วโมง (Krishnan 1974; Krishnan 1977) แต่มีข้อจำกัดเนื่องด้วยค่าใช้จ่ายสูง ใช้ระยะเวลานาน จึงไม่เหมาะสำหรับงานที่ต้องการความเร่งด่วน และไม่สามารถตรวจวิเคราะห์หาธาตุตะกั่ว (Pb) (วิวัฒน์ ชินวร 2547 : 3-4) อีกทั้งต้องใช้บุคลากรที่มีความชำนาญทางด้านปฏิกิริยานิวเคลียร์ (Schwoeble and Exline 2000 : chap. 3 pars. 80) แต่ในต่างประเทศยังพบว่ามีการใช้เทคนิคนี้เพื่อตรวจวิเคราะห์เขม่าป็น (Rudzitis, Kipina, and Wahlgren 1973; Pillay, Jester, and Fox 1974; Krishnan 1974; Kilty 1975) และตรวจพิสูจน์ระยะการยิง (Brandone, de Ferrari, and Pelizza 1988, cited by Romolo and Margot 2001 : 196; Brandone et al. 1989, cited by Romolo and Margot 2001 : 196) และตรวจเปรียบเทียบหัวกระสุนปืน (Guinn 1979, cited by Romolo and Margot 2001 : 196; Capannesi and Sedda 1992)

Atomic Absorption Spectroscopy* (AAS) เป็นเทคนิคการตรวจวิเคราะห์ธาตุในเชิงปริมาณวิเคราะห์ ที่ถูกพัฒนาขึ้นในช่วงระยะเวลาเดียวกันกับเทคนิค NAA (Krishnan 1971) และยังใช้

*เป็นเทคนิคที่อาศัยกระบวนการซึ่งเกิดจากอะตอมอิสระ (free atom) ของธาตุซึ่งดูดกลืนแสง (absorb) ความยาวคลื่นหนึ่งโดยเฉพาะซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของธาตุนั้นๆ และเนื่องจากธาตุแต่ละชนิดมีระดับพลังงานต่างกันจึงมีการดูดกลืนพลังงานที่แตกต่างกันด้วย อนึ่งในการวิเคราะห์หาธาตุแต่ละชนิดจำเป็นต้องเก็บตัวอย่างด้วยวิธี cotton swab ที่ชุบสารละลายกรดไนตริก (HNO_3) เจือจาง (5% nitric acid) แล้วเช็ดบริเวณบนมือในตำแหน่งที่ต้องการ แล้วทิ้งไว้ให้แห้งเพื่อนำตัวอย่างไปสกัดโดยให้อยู่ในรูปของสารละลาย หรือล้างมือด้วยสารละลายกรดไนตริก (HNO_3) 5% หรือใช้เทปเก็บตัวอย่าง (tape lifting) แล้วทำให้อยู่ในรูปของสารละลาย (Goleb and Midkiff, jr. 1975; Krishnan 1977) โดยสารละลายตัวอย่างจะถูกพ่นผ่านเข้าไปในเปลวไฟที่มีความร้อนเพียงพอ เพื่อให้ธาตุกลายเป็นไอของอะตอมอิสระ และต้องใช้หลอดไฟ (cathode lamp) เฉพาะสำหรับธาตุนั้น ซึ่งเตรียมขึ้นสำหรับการตรวจวัดธาตุแต่ละธาตุแยกจากกัน (แม้น อมรสิทธิ์ และ อมร เพชรสม 2535 : 322-379) เมื่อแสงจากหลอดไฟซึ่งมีความยาวคลื่นสอดคล้องกับชนิดของอะตอมอิสระส่องผ่านเข้าไปในเปลวไฟ ส่วนหนึ่งของแสงจะถูกดูดกลืนโดยอะตอมอิสระนั้น โดยขนาดความยาวคลื่นของแสงเป็นตัวบ่งบอกให้ทราบถึงชนิดของธาตุ และปริมาณของแสงที่ถูกอะตอมอิสระดูดกลืนจะบ่งถึงปริมาณของธาตุที่วิเคราะห์ ในช่วงแรกของการพัฒนาการตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิคนี้ได้ใช้ flame aas ซึ่งผลการตรวจวิเคราะห์พบว่ามีเฉพาะธาตุตะกั่ว (Pb) โดยไม่สามารถวิเคราะห์หาแบเรียม (Ba) และแอนติโมนี (Sb) ที่อยู่บนมือของกลุ่มตัวอย่าง (Stone, jr. and Petty 1974) แต่เมื่อใช้ flameless aas หรือ Graphite Furnace AAS (FAAS) ซึ่งหลีกเลี่ยงการใช้เปลวไฟในการให้ความร้อนเพื่อให้ธาตุในสารละลายตัวอย่างกลายเป็นอะตอมอิสระ โดยให้ความร้อนแก่ท่อ graphite ด้วยกระแสไฟฟ้า หากมีระบบเครื่องมือและใช้ร่วมกับอุปกรณ์กำเนิดแสงที่ดีด้วยแล้ว วิธีการวิเคราะห์นี้ให้ประสิทธิภาพสูงกว่าวิธี flame AAS (วีระวรรณ เรืองยุทธิกการณ และคณะ 2543 : 2; Koons 1993) ทั้งยังใช้แม่เหล็กช่วยในการวิเคราะห์โดยพัฒนาเป็น zeeman-background correction (zeeman-gfaas) (Lichtenberg 1987) ทำให้ผลการวิเคราะห์น่าเชื่อถือมากขึ้น เพราะสามารถลดการรบกวนจากคลื่นแสงอื่นๆ ที่ไม่ใช่จากธาตุที่วิเคราะห์ (Flajnik and Shrader 1993 กล่าวถึงใน วีระวรรณ เรืองยุทธิกการณ และคณะ 2543 : 2)

วิธีนี้มาจนถึงปัจจุบัน (berk et al. 2007 : 383) รวมถึงประเทศไทย (ไทพีศรีนิติ ภัคดีกุล 2545 : 157) เป็นการตรวจพิสูจน์ที่นิยมใช้เพราะมีความจำเพาะเจาะจง (specific) และความไว (sensitive) ในการวิเคราะห์สูง สามารถตรวจวิเคราะห์เพื่อทราบปริมาณของตะกั่ว (Pb), แบเรียม (Ba) และแอนติโมนี (Sb) แม้ว่าจะมีปริมาณต่ำเพียงไมโครกรัมต่อลิตร ($\mu\text{g}/\text{l}$) หรือ part per billion (ppb) การตรวจวิเคราะห์วิธีนี้ให้ผลบวก 100% ตามที่วีระวรรณ เรืองยุทธิกการณ และคณะ (2540) ได้ทำการวิจัยโดยใช้ Zeeman-GFAAS ตรวจหาเขม่าป็นจากมือผู้ยิงหลังยิงปืนทันที ด้วยปืนลูกม่ .38 กระสุนซ้อมจำนวน 2 นัด จำนวนผู้ยิงปืน 22 ราย พบปริมาณตะกั่ว (Pb), แบเรียม (Ba) และแอนติโมนี (Sb) สูงกว่าตัวอย่างที่เก็บก่อนการยิงปืนอย่างชัดเจน เช่นนี้จึงเป็นวิธีหนึ่งที่สามารถวิเคราะห์หาปริมาณธาตุของเขม่าป็นได้ดี หากแต่มีปัญหาอยู่บ้าง เนื่องจากแบเรียม (Ba) สามารถทำปฏิกิริยากับท่อ graphite เกิดเป็นแบเรียมคาร์ไบด์ (barium carbide) ที่มีจุดหลอมเหลวสูงมากถึง $3,000^{\circ}\text{C}$ ซึ่งสูงกว่าอุณหภูมิสูงสุดที่เครื่อง GFAAS จะทำให้ท่อ graphite ร้อน ถึง 300°C (อุณหภูมิสูงสุดที่ GFAAS ทำได้คือ $2,700^{\circ}\text{C}$) จึงทำให้ปริมาณของแบเรียมถูกอะตอมไมส์ (atomize) น้อยกว่าปริมาณแบเรียม (Ba) ที่มีอยู่จริงในสารละลายตัวอย่าง ซึ่งอาจแก้ปัญหานี้โดยใช้วัสดุทนไฟแทนทาลัม (tantalum) บุกไว้ภายในท่อ graphite เพื่อป้องกันปฏิกิริยาการเกิดแบเรียมคาร์ไบด์ (barium carbide) หรืออาจแก้ปัญหาดังกล่าวโดยเพิ่มปริมาณสารตัวอย่างให้มากขึ้นเพื่อให้ปริมาณของแบเรียม (Ba) ที่จะถูกทำให้กลายเป็นอะตอมอิสระมีมากขึ้นไปด้วย (รัชนารณ กิตติดุขฎี 2535 : 33; วิวัฒน์ ชินวร 2547 : 5) อย่างไรก็ตาม เทคนิค AAS ยังมีข้อจำกัด เพราะเป็นวิธีการตรวจที่ทำลายตัวอย่าง (destructive method) ต้องใช้เวลาในการวิเคราะห์เพราะไม่สามารถตรวจวิเคราะห์ธาตุตะกั่ว (Pb), แบเรียม (Ba) และแอนติโมนี (Sb) ได้ในเวลาเดียวกัน การแสดงผลในการวิเคราะห์อยู่ในลักษณะ peak (รัชนารณ กิตติดุขฎี 2535 : 35, 167) ไม่อาจแยกความแตกต่างระหว่างอนุภาคของสิ่งปนเปื้อนและเขม่าป็น (วีระวรรณ เรืองยุทธิกการณ และคณะ 2543 : 29-30) และมีข้อปฏิบัติให้เก็บตัวอย่างสำหรับการตรวจเขม่าป็นจากบุคคลที่มีชีวิตอยู่ภายใน 6 ชั่วโมงหลังเกิดเหตุ และภายใน 24 ชั่วโมงจากศพ (พงศกรณ ชูเวช 2531 : 96-104; California Department of Justice, Bureau of Forensic Services : 2008)

Inductively Coupled Plasma-spectrometry* (Koons, Havekost, and Peters 1998) ที่สามารถวิเคราะห์หาปริมาณธาตุในระดับเปอร์เซ็นต์จนถึงระดับไมโครกรัมต่อลิตร เทคนิค ICP จึงเป็นวิธีที่สามารถวิเคราะห์ได้ทั้งเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณอย่างรวดเร็ว และมีความเที่ยงตรงสูง และมีความไวในการตรวจวิเคราะห์ ยังใช้เวลาน้อยกว่าการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค AAS สามารถวิเคราะห์ธาตุในสารละลายตัวอย่างได้หลายธาตุในเวลาเดียวกัน แม้มีปริมาณน้อยมาก (Sarkis et al. 2007 : 66) ในปัจจุบัน กลุ่มงานตรวจอาวุธและเครื่องกระสุนปืน กองพิสูจน์หลักฐานกลาง สำนักงานพิสูจน์หลักฐานตำรวจ สำนักงานตำรวจแห่งชาติ และกลุ่มงานตรวจพิสูจน์เขม่าปืน สำนักนิติวิทยาศาสตร์บริการ สถาบันนิติวิทยาศาสตร์ กระทรวงยุติธรรม ได้นำเอาเครื่อง ICP-MS (Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry) ใช้เป็นเครื่องตรวจวิเคราะห์เขม่าปืน แต่เทคนิค ICP เป็นการตรวจวิเคราะห์ที่ทำลายตัวอย่างและไม่สามารถจำแนกความแตกต่างของแหล่งที่มาจากสิ่งปนเปื้อนและเขม่าปืน ยิ่งไปกว่านั้นหากปริมาณธาตุที่ตรวจพบใกล้เคียงค่า cut off เทคนิค ICP อาจจะประสบปัญหาในการตัดสินใจลงความเห็นว่าคุณคณนั้นได้ผ่านการยิงปืนมาจริงหรือไม่ (วิวัฒน์ ชินวร 2547 : 5) อีกทั้ง การเก็บตัวอย่างสำหรับการตรวจพิสูจน์ว่าผ่านการยิงปืนมาหรือไม่ มีข้อปฏิบัติให้เก็บตัวอย่างสำหรับการตรวจเขม่าปืนจากบุคคลที่มีชีวิตอยู่ภายใน 6 ชั่วโมงหลังเกิดเหตุ และภายใน 24 ชั่วโมงจากศพ (พงศกรณ์ ชูเวช 2531 : 96-104; California Department of Justice, Bureau of Forensic Services : 2008)

การตรวจวิเคราะห์เชิงคุณภาพ (qualitative analysis) จึงเป็นแนวทางใหม่สำหรับการตรวจพิสูจน์เขม่าปืน โดยเฉพาะการตรวจวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์ศาสตร์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดกำลังขยายสูงโดยใช้อิเล็กตรอนในการสร้างภาพขยาย หรือ Scanning Electron Microscopy (SEM) ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อขจัดปัญหาการจำแนกแหล่งที่มาของอนุภาคซึ่งเกิดขึ้นเมื่อใช้วิธีการตรวจวิเคราะห์เชิงปริมาณตามเทคนิคที่กล่าวมาข้างต้น SEM เป็นเทคนิคที่สามารถวิเคราะห์ได้ทั้งชนิดและรูปร่างลักษณะที่มีลักษณะจำเพาะของธาตุองค์ประกอบหลักของเขม่าปืน (Wolten et al. 1979 a; Schwoeble and

*หลักการของ ICP-spectrometer คือการเหนี่ยวนำ (induce) ทำให้เกิดพลาสมา โดยปล่อยก๊าซอาร์กอน (argon) ผ่านเข้าไปยังสนามแม่เหล็ก ซึ่งบริเวณนี้จะมีทำให้เกิดการเหนี่ยวนำให้มีกระแสไฟฟ้าไหลวน (eddy current) ไหลผ่านตัวนำที่บริเวณปลายคอบ (torch) ซึ่งขดด้วยหลอดทองแดงรอบปลายคอบ โดยส่วนนี้ยังได้ต่อเข้ากับเครื่องส่งความถี่วิทยุ radio frequency-rf เพื่อให้ก๊าซอาร์กอนเกิดการไอออนไนส์ (ionize) ได้อิเล็กตรอนที่มีพลังงานสูง ทำให้เกิดปฏิกิริยาถูกสลายเป็นพลาสมา เรียกว่า inductively coupled plasma ซึ่งเป็น destructive method โดยสารละลายตัวอย่างที่อยู่ในรูปของเหลวซึ่งฉีดเข้าไปนั้นถูกทำให้เป็นละอองเล็กๆ จากนั้น icp ก็จะทำให้ละอองโดยเครื่องส่งความถี่วิทยุ rf (ส่วนมากจะใช้ความถี่ที่ 27 หรือ 40 mhz) ทำให้ธาตุทั้งหลายซึ่งอยู่ในสารละลายตัวอย่างที่ปนเข้ามาถูกเผาในอุณหภูมิสูง (อุณหภูมิสูงกว่า 6,000 Oc) จนแตกตัวเป็นพลาสมาเกิดอะตอมอิสระที่อยู่ในสถานะกระตุ้น (excited state) และคายพลังงาน (emit) ออกมาเพื่อกลับสู่สถานะเสถียร (ground state) เครื่องจะวัดพลังงานที่คายจากแสงที่เปล่งออกมาโดยใช้ spectrometer สีของแสงหรือความยาวคลื่นแสงที่เปล่งออกมาจะเป็นลักษณะเฉพาะของธาตุแต่ละชนิด เมื่อนำแสงที่วัดได้ไปเทียบกับข้อมูลจะทราบว่าเป็นธาตุชนิดใด และเมื่อทำการวัดความเข้มของแสงแต่ละสีโดยเทียบความเข้มมาตรฐานที่เคยป้อนให้เครื่องไว้ก่อนแล้ว ย่อมรู้ค่าความเข้มข้นของธาตุนั้นๆ

Exline 2000 : chap. 3 par. 1) และเมื่อใช้เทคนิค SEM ประกอบกับ Energy Dispersive X-ray analyzer หรือ SEM/EDX ซึ่งเป็นวิธีที่ยอมรับโดยทั่วไปในการตรวจเพื่อยืนยันเขม่าปืนเนื่องจากมีกำลังขยายสูง โดยสามารถวิเคราะห์ได้ทั้งลักษณะพิเศษ (characteristics) และรูปร่าง (morphological) ของอนุภาคเขม่าปืน (particles of GSR) (de Caetano and Siegel 1990; Zadora and Brozek-Mucha 2003 : 345) และจากการทดลองของ Flynn และคณะ (1998) ได้นำวิธี x-ray microfluorescence (micro-xrf) มาใช้ในการวิเคราะห์เขม่าปืนที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (μm) โดยเทียบกับ SEM พบว่า micro-xrf ไม่สามารถวิเคราะห์อนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 10 μm

มีรายงานการว่าการใช้เทคนิค SEM เพื่อตรวจวิเคราะห์อนุภาคเขม่าปืนให้ผลในการวิเคราะห์ที่มีความน่าเชื่อถือสูงมาก (White and Owens 1987; Harris 1995; Zeichner and Levin 1995) เป็นเทคนิคที่ไม่ทำลายตัวอย่าง สามารถนำตัวอย่างเก่ามาตรวจวิเคราะห์ซ้ำได้ (Brozek-mucha and Jankowicz 2001 : 39; Cardinetti et al. 2004 : 1) เป็นวิธีการตรวจวิเคราะห์ที่ง่าย สะดวก รวดเร็วต่อการเตรียมตัวอย่าง และให้ผลบวกทั้งหมด (Lebiedzki and Johnson 2000) ทั้งยังสามารถใช้สำหรับการตรวจวิเคราะห์หาเขม่าปืนซึ่งแม้จะได้ยิงปืนเพียงนัดเดียวมาเป็นระยะเวลานานมากกว่า 6 ชั่วโมง หากปรากฏว่าบริเวณหรือสิ่งที่สงสัยมีเขม่าปืนเหลืออยู่ (รัชการณ กิตติสุขภู 2535 : 167; วิวัฒน์ ชินวร 2547 : 5-6) โดยใช้ตรวจวิเคราะห์เขม่าปืนหลังจากการยิงปืนได้นานถึง 12 ชั่วโมง (Wolten et al. a 1997; Wolten et al. c 1997) การตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิค SEM/EDX แม้จะมีข้อเสียที่สำคัญ คือ เป็นเทคนิคที่ใช้ระยะเวลานานและอาศัยความชำนาญในการตรวจวิเคราะห์ (Tillman 1987; White and Owens 1987; Romolo and Margot 2001 : 200) ห้องปฏิบัติการนิติวิทยาศาสตร์ในสหรัฐอเมริกาส่วนใหญ่ใช้ SEM/EDX ในการตรวจวิเคราะห์เขม่าปืน (Nesbitt, Wessel, and Jones 1976; Wolten et al. 1979 a; Wolten and Nesbitt 1980; Basu 1982) โดยมีรายงานผลการสำรวจว่าห้องปฏิบัติการในสหรัฐอเมริกาและแคนาดามีแนวโน้มที่จะใช้เทคนิค SEM/EDX ตรวจวิเคราะห์เขม่าปืนเพิ่มขึ้น (de Gaetano and Siegel 1990; Singer, Davis, and Houck 1996; Schwoeble and Exline 2000 : chap. 3 par. 1)

ปัญหาในการแยกแยะแหล่งที่มาของเขม่าที่เกิดขึ้นกับวิธีการตรวจวิเคราะห์เชิงปริมาณตามทีกล่าวมาข้างต้นย่อมหมดไป หากได้ใช้วิธีการตรวจวิเคราะห์เชิงคุณภาพและผู้ตรวจวิเคราะห์มีความชำนาญมากพอ หรืออาจลดข้อจำกัดนี้โดยใช้ระบบควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ (computer-controlled scanning electron microscopy-CCSEM) และเครื่องมืออัตโนมัติ (automated instruments) เพื่อช่วยในการวิเคราะห์ (Tillman 1987; Germani 1991; Schwoeble and Exline 2000 : chap. 2 par. 9) ซึ่งทำให้สามารถวิเคราะห์ลักษณะพิเศษ (characteristics) และจำแนกลักษณะรูปร่าง (morphological) ของอนุภาคเขม่าปืนออกจากอนุภาคที่เกิดจากสิ่งปนเปื้อนอื่นที่มาจากสิ่งแวดล้อมหรือจากแหล่งอื่น ได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งอนุภาคที่เกิดจากส่วนผสมซึ่งบรรจุอยู่ในชนวนท้ายกระสุนปืน (primer mixture) ของกระสุนปืนชนิดธรรมดา (regular ammunition) อันมีลักษณะเฉพาะที่โดดเด่น เพราะประกอบไปด้วยธาตุอันเป็นองค์ประกอบหลัก (unique GSR particle) อยู่ 3 ชนิด ได้แก่ ตะกั่ว (Pb), แบเรียม (Ba) และพลวง (Sb) (Schwoeble and Exline 2000 : chap. 2 par. 19; Harrison and Gilroy 1959, cited by Romolo and Margot 2001 : 196; Brozek-mucha and Jankowicz 2001 : 39-40; Sarkis et al. 2007 : 63; Niewoehner et al. 2008 : 162)

อนึ่ง ธาตุที่เป็นส่วนประกอบหลักของอนุภาคเคมีปืน (unique GSR particle) ที่ได้จากกระสุนปืนชนิดธรรมดา (regular ammunition) ที่ประกอบด้วย ตะกั่ว (Pb), แบเรียม (Ba) และแอนติโมนี (Sb) ไม่ได้มีอยู่เฉพาะแต่ในเคมีปืนเท่านั้น ยังมีรายงานการวิจัยพบว่าอาจได้รับอนุภาคเหล่านี้เพราะการปนเปื้อนจากสภาพแวดล้อมหรือการประกอบอาชีพ ซึ่งทำให้เกิดผลบวก (false positive) โดยพบว่ามีตะกั่ว (Pb) แบเรียม (Ba) และแอนติโมนี (Sb) ปนเปื้อนบนมือของกลุ่มตัวอย่างที่ไม่เคยผ่านการใช้อาวุธปืนหรือเกี่ยวข้องกับเคมีปืนมาก่อน แต่ปัญหาข้างต้นหมดไปเมื่อได้ทำการตรวจวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์ศาสตร์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่สามารถตรวจวิเคราะห์ได้ทั้งองค์ประกอบ รูปร่าง และสัญญาณของอนุภาคเคมีปืน โดยได้มีการศึกษาวิจัยเปรียบเทียบกับอนุภาคที่ได้รับจากสภาพแวดล้อมหรือการประกอบอาชีพไว้แล้ว (Wolten et al. : 1979 b, cited by Garofano et al. 1999 : 2 ; Wallace and Mcquillan 1984, cited by Romolo and Margot 2001 : 195; Garofano et al. 1999 : 18-19; Schwoeble and Exline 2000 : chap. 2 par. 21)

ปัญหาที่สำคัญยิ่งกว่า คือในปัจจุบันเริ่มมีการผลิตและนำเข้ากระสุนปืนชนิดใหม่ซึ่งปราศจากโลหะตะกั่ว (lead-free ammunition) และชนิดไม่มีธาตุโลหะหนักเป็นส่วนผสม (nontoxic ammunition) มาใช้ในประเทศไทยบ้างแล้ว เช่นนี้หากการตรวจพิสูจน์เคมีปืนยังใช้เทคนิคและวิธีการเดิมซึ่งมุ่งตรวจวิเคราะห์เฉพาะตะกั่ว (Pb) แบเรียม (Ba) และแอนติโมนี (Sb) ย่อมเกิดผลลบ (false negative) หากผู้ที่ยิงปืนนั้นใช้กระสุนปืนชนิดปราศจากตะกั่ว ย่อมทำให้ผลการวิเคราะห์ไม่พบธาตุองค์ประกอบของเคมีปืนที่ได้จากกระสุนปืนชนิดธรรมดา โดยมีรายงานที่ได้ศึกษาถึงธาตุอันเป็นองค์ประกอบ รูปร่าง และสัญญาณของอนุภาคที่ได้จากกระสุนปืนชนิดปราศจากตะกั่ว (Oommen and Pierce 2006; Martiny et al. 2008) ซึ่งพบว่ามีอะลูมิเนียม (Al), ซิลิคอน (Si) และ โพแทสเซียม (K) เป็นธาตุองค์ประกอบที่สามารถพบได้บ่อยครั้งที่สุด โดยมีรูปร่าง สัญญาณ และธาตุประกอบชนิดอื่นๆ แตกต่างกันไป แต่ในประเทศไทยซึ่งยังไม่มีรายงานการวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบเคมีปืนชนิดนี้และยังไม่มีการศึกษาวิจัยเปรียบเทียบกับอนุภาคที่ได้รับจากสภาพแวดล้อมหรือแหล่งกำเนิดอื่น ข้าพเจ้าจึงเห็นควรที่จะทำการศึกษาวิจัยหาธาตุองค์ประกอบและเปรียบเทียบกับอนุภาคของเคมีปืนที่ได้จากแหล่งกำเนิดอื่น และเคมีปืนที่ได้จากกระสุนปืนชนิดปราศจากตะกั่ว เพื่อเป็นแนวทางใหม่สำหรับการตรวจพิสูจน์เคมีปืน และสามารถนำข้อมูลเกี่ยวกับรูปร่างสัญญาณของอนุภาคที่มีลักษณะเฉพาะเจาะจง ไปใช้เพื่อเป็นข้อมูลในคดีที่ใช้อาวุธปืนประกอบการกระทำผิด

3. ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาหาธาตุอันเป็นองค์ประกอบสำคัญ (elemental composition) ของอนุภาคที่ได้มาจากกระสุนปืนชนิดปราศจากตะกั่วและอนุภาคจากแหล่งกำเนิดอื่น โดยเน้นศึกษาเฉพาะอนุภาคที่มีขนาด 1-15 μm
2. เปรียบเทียบและวิเคราะห์ถึงความแตกต่างทางองค์ประกอบและสัญญาณระหว่างอนุภาคที่ได้มาจากแหล่งกำเนิดอื่นและอนุภาคเคมีปืนที่ได้จากกระสุนปืนชนิดปราศจากตะกั่ว โดยเน้นเปรียบเทียบกับอนุภาคเคมีปืนจากกระสุนปืน Winchester WinClean™

4. ปัญหาของการวิจัย

อนุภาคทรงกลมขนาด 1-15 μm ที่ได้มาจากแหล่งกำเนิดอื่นและอนุภาคเขม่าปืนของกระสุนปืนชนิดปราศจากตะกั่ว มีธาตุอันเป็นองค์ประกอบเหมือนกันหรือไม่ หากอนุภาคที่พบอื่นมีธาตุอันเป็นองค์ประกอบเช่นเดียวกับอนุภาคของเขม่าปืน อนุภาคนั้นจะมีลักษณะสัณฐาน (morphology) แตกต่างไปจากอนุภาคเขม่าปืนของกระสุนปืนชนิดปราศจากตะกั่ว หรือไม่

5. สมมติฐานของการวิจัย

หากอนุภาคที่ได้มาจากแหล่งกำเนิดอื่นมีธาตุอันเป็นองค์ประกอบเช่นเดียวกับอนุภาคของเขม่าปืนชนิดปราศจากตะกั่ว อนุภาคนั้นย่อมมีลักษณะสัณฐานแตกต่างไปจากอนุภาคเขม่าปืนของกระสุนปืนชนิดปราศจากตะกั่ว

6. ขอบเขตของการวิจัย

ใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดกำลังขยายสูงโดยใช้อิเล็กตรอนในการสร้างภาพขยาย ประกอบกับการวิเคราะห์ด้วย energy dispersive x-ray หรือ SEM/EDX ศึกษาธาตุอันเป็นองค์ประกอบสำคัญในอนุภาคทรงกลมที่มีขนาด 1-15 μm ซึ่งได้รับจากเขม่าปืน Winchester WinClean™ จำนวน 12 ตัวอย่าง และเขม่าจากแหล่งกำเนิดอื่นที่อยู่บนมือของผู้ซึ่งไม่ได้ผ่านการใช้ปืนหรือยิงปืนมาก่อนอย่างน้อย 6 เดือน ทั้งหมด 7 กลุ่ม จำนวนกลุ่มละ 12 ราย รวม 84 ตัวอย่าง ประกอบด้วย

1. งานกระจก มุ้งลวดอลูมิเนียม
2. งานติดตั้งและซ่อมกระจกรถยนต์
3. งานผลิตภาชนะเซรามิค
4. งานสีรถยนต์
5. งานตีเส้นจราจร
6. งานเชื่อมโลหะและเหล็กตัด และ
7. งานรับซื้อของเก่า

โดยเก็บตัวอย่างในขณะที่ทำงานและไม่ให้ล้างมือก่อนทำการเก็บตัวอย่าง และศึกษาเปรียบเทียบกับเขม่าปืนชนิดปราศจากตะกั่ว อันเป็นผลลัพธ์จากการเผาไหม้ของชนวนท้ายกระสุนปืน (primer residue) หรือแก๊ปปืนจากกระสุนปืนชนิดปราศจากตะกั่วชนิดต่างๆ จากกระสุนปืน Winchester WinClean™, Remington/UMC LeadLess™, Federal BallisticClean™ และ Speer Lawman CleanFire™ (Oommen และ Pierce 2006) และ CBC CleanRang® (Martiny et al. 2008) และเปรียบเทียบกับสัณฐานของอนุภาคเขม่าปืน Winchester WinClean™

7. ตัวแปรของการวิจัย

การวิจัยนี้ กำหนดตัวแปรตัวแปรอิสระ (independent variable) คือ เขม่าที่ได้จากงานของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 7 กลุ่ม ตัวแปรตาม (dependent variable) คือ ธาตุอันเป็นองค์ประกอบสำคัญของอนุภาคที่มีขนาด 1-15 μm ตัวแปรควบคุม (control variable) คือ เขม่าป่นที่ได้จากกระสุนปืน Winchester WinClean™

8. ข้อจำกัดในการวิจัย

เนื่องจากไม่สามารถควบคุมตัวแปรแทรกซ้อน (confounding variable) ของตัวอย่างกลุ่มทดลอง เช่น อายุการทำงานของตัวอย่างกลุ่มทดลอง อุณหภูมิ ความชื้น และสภาพแวดล้อมอื่นที่เกิดขึ้นในขณะเก็บตัวอย่าง การวิจัยนี้พยายามลดความคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้นขณะเก็บตัวอย่างให้มากที่สุด (minimized error variance) โดยเก็บตัวอย่างหลังจากได้ทำงานมาแล้วประมาณ 3 ชั่วโมง หรือในระหว่างเวลา 11.30-12.00 น.

9. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการวิจัย

1. ทำให้ทราบถึงธาตุอันเป็นองค์ประกอบสำคัญของอนุภาคเขม่าป่น Winchester WinClean™ และอนุภาคที่ได้มาจากแหล่งกำเนิดอื่น
2. ทำให้ทราบถึงความแตกต่างเชิงโครงสร้างจุลภาคระหว่างอนุภาคที่ได้มาจากแหล่งกำเนิดอื่น และอนุภาคเขม่าป่นที่ได้จากกระสุนปืนชนิดปราศจากตะกั่ว Winchester WinClean™
3. เพื่อเป็นแนวทางใหม่ในการตรวจพิสูจน์อนุภาคเขม่าป่นชนิดปราศจากตะกั่ว และข้อควรระวังในการตรวจพิสูจน์อนุภาคเขม่าป่นชนิดธรรมดา
4. สามารถนำข้อมูลเกี่ยวกับรูปสัณฐานของอนุภาคที่มีลักษณะเฉพาะเจาะจง ไปใช้เพื่อเป็นข้อมูลในคดีที่ใช้อาวุธปืนประกอบการกระทำผิด โดยนำผลการวิจัยไปใช้ในการตรวจพิสูจน์เขม่าป่น การพิสูจน์การกระทำผิดในกระบวนการยุติธรรม และการกันผู้บริสุทธิ์ออกจากการตัดสินและลงโทษทางอาญา
5. เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาวิจัยที่มีความเกี่ยวข้องกับการพิสูจน์เขม่าป่น

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาวิจัยเรื่องเปรียบเทียบอนุภาคของเขม่าที่ได้จากแหล่งกำเนิดอื่นและเขม่าปืนที่ได้จากกระสุนปืนชนิดปราศจากตะกั่ว นี้ ผู้วิจัยใคร่เสนอข้อมูลด้านแนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อก่อให้เกิดความชัดเจนต่อผลงานวิจัยนี้ โดยแบ่งสาระสำคัญของหัวข้อในการศึกษาคือ

1. อาวุธปืน

ปืน (firearm) เป็นอาวุธที่มีอำนาจร้ายแรง โดยสามารถขับลูกกระสุนปืน (bullet) ผ่านออกมาทางลำกล้องปืน (barrel) ได้อย่างรวดเร็วด้วยแรงดันจากก๊าซที่เกิดจากการเผาไหม้อย่างกะทันหัน และรุนแรงของดินส่กระสุนปืน (propellant) อาวุธปืนมีหลายประเภทแตกต่างกัน แต่แต่ละประเภทถูกออกแบบให้มีขนาดลำกล้องที่อธิบายถึงขนาดของอาวุธปืน โดยขนาดของกระสุนปืน (cartridge) ที่ใช้ยังต้องความสัมพันธ์กับขนาดของลำกล้องปืน นับแต่อดีตจนถึงปัจจุบันอาวุธปืนมีการเปลี่ยนแปลงอย่างมาก อาทิเช่น รูปลักษณ์ของอาวุธปืนที่เปลี่ยนตามกาลสมัย การบรรจุกระสุนปืนจากเดิมบรรจุทางปากกระบอกเปลี่ยนเป็นทางท้ายลำกล้อง และปัจจุบันเป็นแบบของกระสุนปืน (magazine) ระบบจุดดินส่กระสุนปืนที่เปลี่ยนไปเพื่อความสะดวกในการใช้งาน ตลอดจนภายในตัวลำกล้องเพิ่มเกลียวเพื่อความแม่นยำในการยิง เป็นต้น

1.1 ความหมายของอาวุธปืน นิยามศัพท์ทางกฎหมายของอาวุธปืน กำหนดไว้ตามพระราชบัญญัติอาวุธปืน เครื่องกระสุน วัตถุระเบิด ดอกไม้เพลิงและสิ่งเทียมอาวุธปืน พ.ศ. 2490 มาตรา 4 (1) “อาวุธปืน หมายความว่ารวมตลอดถึงอาวุธทุกชนิดซึ่งใช้ส่งเครื่องกระสุนปืน โดยวิธีระเบิดหรือกำลังดันของแก๊ส หรืออัดลม หรือเครื่องกลอย่างใดซึ่งต้องอาศัยอำนาจของพลังงาน และส่วนหนึ่งส่วนใดของอาวุธนั้นๆ ซึ่งรัฐมนตรีเห็นว่าสำคัญและได้ระบุไว้ในกฎกระทรวง” ส่วนหนึ่งส่วนใดของอาวุธปืนที่ให้อธิบายว่าเป็นอาวุธปืนตามมาตรา 4 (1) ได้ระบุไว้ใน ข้อ 1 แห่งกฎกระทรวงมหาดไทย (ฉบับที่ 3) พ.ศ. 2491 ซึ่งมีส่วนต่างๆ ดังนี้ คือ ลำกล้องปืน เครื่องลูกเลื่อนหรือส่วนประกอบสำคัญของเครื่องลูกเลื่อน เครื่องลั่นไกหรือส่วนประกอบสำคัญของเครื่องลั่นไก และเครื่องส่งกระสุน ของกระสุนหรือส่วนประกอบสำคัญของสิ่งเหล่านี้ ส่วนนิยามศัพท์ของเครื่องกระสุนปืนได้กำหนดไว้ในมาตรา 4 (2) แห่งพระราชบัญญัติอาวุธปืน เครื่องกระสุน วัตถุระเบิด ดอกไม้เพลิงและสิ่งเทียมอาวุธปืน พ.ศ. 2490 ว่า “เครื่องกระสุนปืน หมายความว่ารวมตลอดถึงกระสุนนัด กระสุนปราย กระสุนแตก ลูกกระเบิด ตอร์ปิโด ฟันระเบิด และจรวด ทั้งชนิดที่มีหรือไม่มีกรด แก๊ส เชื้อเพลิง เชื้อโรค ไอพิษ หมอกหรือควัน หรือกระสุนลูกกระเบิด ตอร์ปิโด ฟันระเบิดและจรวดที่มีคุณสมบัติคล้ายคลึงกัน หรือเครื่องหรือสิ่งสำหรับอัดหรือทำ หรือใช้ประกอบเครื่องกระสุนปืน”

1.2 ประเภทของอาวุธปืน ไม่มีหลักเกณฑ์ที่แน่นอนเพื่อจำแนก เนื่องด้วยอาวุธปืนประดิษฐ์ขึ้นเพื่อใช้งานตามความต้องการที่หลากหลาย ทำให้มีรูปร่างหลายแบบและหลายขนาด ตลอดจนมีพัฒนาการมานานกว่า 700 ปี

Warlow (2005 : chap. 1 pt. 1.4 par. 6) ได้จัดประเภทจากลักษณะภายในลำกล้องปืนไว้ คือ อาวุธปืนที่มีเกลียวตามความยาวภายในของลำกล้อง (rifled arms) ซึ่งมีทั้งอาวุธปืนสั้นและอาวุธปืนยาว เป็นอาวุธปืนที่ใช้กับกระสุนปืนซึ่งมีลูกกระสุนปืนเม็ดเดี่ยวหรือที่เรียกว่ากระสุนปืนลูกโดด โดยเกลียวภายในลำกล้องปืนออกแบบเพื่อให้ลูกกระสุนปืนถูกรีดและหมุนไปตามเกลียว ทำให้ลูกกระสุนปืนมีระยะยิงและอำนาจในการทะลุทะลวงดีขึ้น และเมื่อกระสุนปืนถูกยิงก็ดลขางจะแฉลบหรือหักเหไปได้มาก เกลียวในลำกล้องปืนมีทิศทางหมุนทวนหรือตามเข็มนาฬิกา มีจำนวนเกลียวมากน้อยขึ้นอยู่กับรุ่นอาวุธปืนและการออกแบบของแต่ละบริษัทผู้ผลิต และอาวุธปืนที่ลำกล้องไม่มีเกลียว (smooth-bored) ซึ่งนิยมใช้กับกระสุนปืนลูกปรายที่บรรจุเม็ดตะกั่วเล็กๆ จำนวนหลายเม็ดไว้ภายใน เช่น อาวุธปืนลูกซอง (shotgun)

หลักเกณฑ์อื่นตามที่วิวัฒน์ ชินวร (2547 : 8-10) แบ่งอาวุธปืนตามการใช้งานไว้เป็น 4 ประเภท คือ อาวุธปืนพก (pistol) ปืนกลมือ (submachine gun) ปืนยาวเล็กประทับบ่า (rifle) และปืนกล (machine gun)

การศึกษานี้ใช้หลักเกณฑ์ตามกฎหมายกระทรวงฉบับที่ 11 พ.ศ. 2522 ที่แบ่งประเภทเป็นอาวุธปืนที่ไม่อนุญาตและที่อนุญาตให้จดทะเบียน อนึ่ง อาวุธปืนที่นิยมใช้ประกอบอาชญากรรมและฆ่าตัวตายโดยส่วนใหญ่เป็นอาวุธปืนเล็กสั้น ซึ่งมีทั้งที่ได้ขึ้นและไม่ได้ขึ้นทะเบียนตามกฎหมาย

1.3 อาวุธปืนที่ไม่อนุญาตจดทะเบียน

1.3.1 อาวุธปืนชนิดลำกล้องมีเกลียว* ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางปากลำกล้องหรือขนาดลำกล้อง (caliber) เกินกว่า 11.45 มม. หรือประมาณ 0.45 นิ้ว

*อาวุธปืนชนิดลำกล้องมีเกลียว ขนาดอาวุธปืนคือขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางปากลำกล้องหรือที่เรียกว่า caliber หน่วยวัดที่นิยมใช้คือหน่วยมิลลิเมตรในระบบยุโรป และหน่วยจุดตศนิยมนิ้วในระบบอเมริกา มีวิธีวัดสองลักษณะ คือ วัดจากส่วนร่องลึก (groove) ซึ่งเป็นการวัดตามกฎหมาย หรือส่วนต้น (land) ของเกลียวด้านหนึ่งไปอีกด้านหนึ่ง เช่น อาวุธปืน .38 และ .357 magnum ขนาดลำกล้องวัดจากส่วนลึกและส่วนต้นที่สุดตามลำดับ เช่นนี้กระสุนปืนจึงมีเส้นผ่าศูนย์กลางไม่ต่างกันแต่มีความยาวแตกต่างกัน โดยกระสุนปืน .357 magnum มีความยาวของปลอกกระสุนปืนมากกว่ากระสุนปืน .38 สำหรับกระสุนปืนขนาด .357 ที่ใช้กับอาวุธปืนกึ่งอัตโนมัติ มีชื่อเรียก .357 sig มีปลอกกระสุนปืนสั้นกว่าเพื่อให้สามารถบรรจุในของกระสุนปืนได้

1.3.2 อาวุธปืนชนิดลำกล้องไม่มีเกลียว* ขนาดลำกล้องตั้งแต่ 20 มม. หรือประมาณ 0.78 นิ้ว ขึ้นไป ยกเว้นปืนบรรจุปาก ปืนลูกซอง และปืนพลูสัญญาณ

1.3.3 อาวุธปืนชนิดที่มีเครื่องกลไกสำหรับบรรจุกระสุนเองให้สามารถยิงซ้ำได้ ยกเว้นขนาดความยาวของลำกล้องไม่ถึง 160 มม. หรือประมาณ 6.3 นิ้ว ปืนลูกซอง และปืนลูกกรด** ขนาดลำกล้องไม่เกิน 5.6 มม. หรือประมาณ 0.22 นิ้ว

1.3.4 อาวุธปืนที่มีเครื่องบังคับเสียงให้เบาผิดปกติ

1.3.5 อาวุธปืนที่ใช้กระสุนเป็นที่บรรจุวัตถุเคมีที่ทำให้เกิดอันตรายหรือเป็นพิษ หรือที่ใช้เครื่องกระสุนปืนที่บรรจุเชื้อโรค เชื้อเพลิง หรือวัตถุกัมมันตภาพรังสี

อาวุธปืนที่กล่าวมาทั้งหมดข้างต้น กฎหมายไม่เปิดโอกาสให้บุคคลธรรมดาขอขึ้นทะเบียนเพื่อมีและใช้ แต่ให้จัดทะเบียนนำไปใช้ได้เฉพาะแต่ในทางราชการ เช่น ใช้เพื่อการทหาร (military gun) ซึ่งมีอยู่หลายประเภท เช่น ปืนใหญ่ (artillery gun) ปืนกลมือ (submachine gun) ปืนกล (machine gun) ปืนครก (mortar) แท่นยิงจรวดขีปนาวุธ (grenade launcher) ทั้งนี้ ในแต่ละประเภทอาจแบ่งออกเป็นกลุ่มย่อยได้อีกหลายชนิด

1.4 อาวุธปืนที่อนุญาตจดทะเบียน อาวุธปืนธรรมดาหรืออาวุธปืนเล็ก (small gun) คืออาวุธปืนที่กฎหมายอนุญาตให้ประชาชนมีและใช้ได้ แบ่งกลุ่มตามความยาวของลำกล้องปืนได้เป็นกลุ่มอาวุธปืนสั้นและอาวุธปืนยาว ในแต่ละกลุ่มสามารถจำแนกออกได้อีกหลายชนิด (Warlow 2005 : chap. 1 pt. 1.4 par. 6)

1.4.1 อาวุธปืนสั้น (handgun) เป็นอาวุธปืนขนาดเล็กหรือเรียกว่าอาวุธปืนพก (pistol) ที่ระยะยิงไม่ไกล (Warlow 2005 : chap. 1 pt. 1.4 par. 7) พกพ่ายและสะดวก ใช้งานได้ไม่ยุ่งยาก และยิงด้วยมือข้างเดียว มีทั้งชนิดลำกล้องมีและไม่มีเกลียว นิยมสำหรับใช้เป็นอาวุธป้องกันตัว และยังใช้เพื่อการกีฬาและการล่าสัตว์ มีทั้งแบบ single-shot ที่ใช้ในอาวุธปืน break-action pistol ซึ่งบรรจุและยิงกระสุนปืนได้เพียงครั้งละนัดต่อหนึ่งชุดการยิง (round) เรียกอย่างหนึ่งว่า ปืนสั้นชนิดบรรจุเดี่ยว เป็นปืนที่ไม่มีช่องกระสุน ไม่มีกลไกการบรรจุกระสุนเข้าในรังเพลิง ในการยิงกระสุนปืนผู้ยิงต้องบรรจุและปลดปลอกกระสุนทุกนัดด้วยมือ และ multiple-shot ที่บรรจุกระสุนปืนได้หลายนัด โดยยิงได้เพียงครั้งละหนึ่งนัด และยิงได้หลายครั้งต่อการใช้อาวุธปืนยิงในหนึ่งชุดการยิงซึ่งเป็นที่ยอมรับในปัจจุบัน

1.4.1.1 อาวุธปืนลูกไม่ (revolver) (ภาพที่ 1) เป็นอาวุธปืนพกแบบ multiple chamberrrs พัฒนาขึ้นในศตวรรษที่ 19 เพราะอาวุธปืนแบบ multiple barrels มีน้ำหนักมากและไม่

*อาวุธปืนชนิดลำกล้องไม่มีเกลียว มีวิธีบ่งขนาดของลำกล้องปืนได้ 2 ลักษณะ คือหน่วยวัดตามกฎหมายที่ใช้เส้นผ่าศูนย์กลางปากลำกล้องหรือ caliber เหมือนกับขนาดของอาวุธปืนชนิดลำกล้องมีเกลียว และหน่วยวัดที่เรียกว่า gauge ซึ่งหมายถึงจำนวนลูกตะกั่วทรงกลมขนาดเท่ากันที่ทำจากตะกั่วหนัก 1 ปอนด์ เช่น ขนาด 12 หมายความว่าเอาตะกั่วหนัก 1 ปอนด์ แบ่งเป็น 12 ส่วนเท่าๆ กัน โดยมักใช้เรียกขนาดของอาวุธปืนลูกซอง

**อาวุธปืนลูกกรดเป็นอาวุธปืนที่ใช้กระสุนปืนซึ่งมีขนาดเล็กกว่าปกติ และมักใช้การจุดดินส่งกระสุนปืนแบบ rim-fire

สะดวกในการใช้งาน (Supica 2006 : 21) revolver ใช้รังเพลิงแบบหมุน (cylinder) ด้านหน้ารังเพลิง วางต่อท้ายลำกล้องปืน เป็นอาวุธปืนที่ใช้กับกระสุนปืนชนิด self contained cartridge ในระยะแรกใช้ การบรรจุกระสุนปืนทางด้านหน้ารังเพลิงคล้ายอาวุธปืนแบบ muzzle loader และพัฒนาเป็นระบบ breech-loader ที่มีทิศทางการบรรจุกระสุนปืนเช่นในปัจจุบัน (Supica 2006 : 12) รังเพลิงของอาวุธ ปืนลูกม่ถูกเปิดออกแบบเหวี่ยง (swing) ด้วยแกน (ejector rod) ที่อยู่ใต้ลำกล้องปืน และโดยทั่วไป รังเพลิงมีอยู่ 5-10 ช่อง ในแต่ละช่องบรรจุกระสุนปืนได้เพียงหนึ่งนัด ตำแหน่งรังเพลิงอยู่ไม่สูงไปกว่า แนวของลำกล้อง ทิศทางของรังเพลิงอยู่ในแนวขนานกับลำกล้องปืน โดยรังเพลิงช่องบนสุดซึ่งใช้ส่ง กระสุนปืนอยู่ในตำแหน่งตรงกับท้ายลำกล้องปืนและเข็มแทงชนวน (firing pin) ความยาวลำกล้องปืนมี ทั้งขนาดสั้นและขนาดยาว ลำกล้องสั้นง่ายต่อการพกพา ส่วนลำกล้องยาวให้ความแรงและแม่นยำในการ ยิง ตัวปืน (frame) ทำมาจาก stainless steel และ alloys น้ำหนักรวม ประมาณ 0.5 ถึง 2 กิโลกรัม บริเวณรังเพลิงและกล้องปืนมีช่องว่างไว้เพื่อให้รังเพลิงหมุนได้ การบรรจุและคัดปลอกกระสุนปืนต้องทำ ด้วยมือ

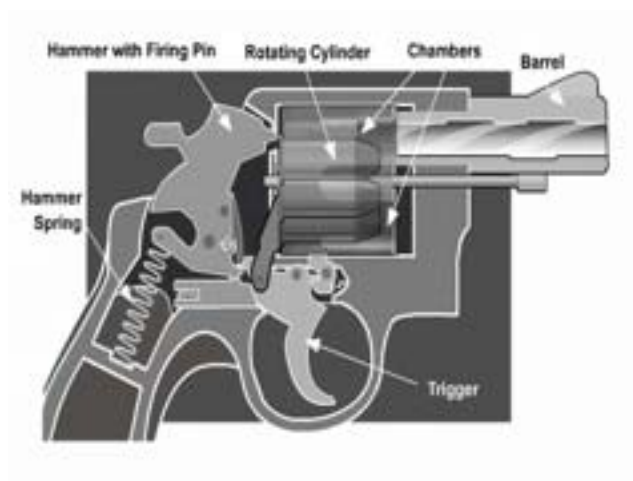
กลไกการยิงของอาวุธปืนลูกม่มี 2 ระบบ คือ single action หรือ hammer-cocking revolver หรือปืนลูกม่ชนิดตวัดเดียว ที่ต้องหมุนรังเพลิงให้อยู่ในตำแหน่งเดียวกับเข็มแทง ชนวนด้วยการขึ้นนกปืนก่อนเหนียวไกปืน การยิงแบบนี้มีความเบาและแม่นยำกว่าการเหนียวไกโดยไม่ ขึ้นนกปืน และ double action หรือ trigger-cocking revolver หรือปืนลูกม่ชนิดตวัดคู่ (ภาพที่ 2) ที่ รังเพลิงและนกปืนทำงานในขณะเหนียวไกปืนโดยไม่ต้องขึ้นนกปืนก่อน จังหวะแรกของการเหนียวไกปืน เป็นการขึ้นนกปืนและหมุนลูกม่ จังหวะที่สองเป็นการสับนก ทั้งนี้ ทิศทางการหมุนของลูกม่ปืนมีทั้ง หมุนตามหรือทวนเข็มนาฬิกาขึ้นอยู่กับผู้ผลิต ถ้าลูกม่ปืนไม่หมุนนกปืนไม่สามารถง้างได้ ทั้งนี้ยังสามารถ ยิงได้โดยวิธี single action อีกด้วย อาวุธปืนลูกม่ได้รับความนิยมเพราะมีรูปแบบที่เรียบง่าย ใช้งานได้ ไม่ยุ่งยากซึ่งเหมาะกับผู้ชรายุใหม่ ราคาไม่แพง มีความแม่นยำกว่าอาวุธปืนพกอัตโนมัติ โดยมีข้อเสียคือ บรรจุกระสุนปืนได้น้อยเพียง 6 นัด เสียเวลาในการบรรจุชุดใหม่ ช่องว่างระหว่างท้ายลำกล้องปืนและ รังเพลิงซึ่งทำให้ประสิทธิภาพการยิงลดลง

ปัจจุบันอาวุธปืน revolver ได้พัฒนาเป็น hybrid revolver ที่ใช้ลูกม่และมีกลไก การยิงแบบ Semiautomatic โดยอาศัยแรงสะท้อนกลับ (recoil) และความดันก๊าซที่เกิดขึ้นหลังจาก การยิงปืนนัดก่อน เพื่อหมุนรังเพลิงไว้ในตำแหน่งพร้อมยิงก่อนการยิงปืนนัดต่อไป (ภาพที่ 3) ทั้งนี้ หาก แรงสะท้อนกลับและความดันก๊าซไม่พอก็ยังทำงานแบบ double action



ภาพที่ 1 อาวุธปืนลูกโม่ Smith & Wesson model 627 personal defense revolver ขนาดลำกล้อง .357 magnum ลำกล้องยาว 2 5/8 นิ้ว บรรจุกระสุนปืน 8 นัด

ที่มา : Smith & Wesson, Firearms, Revolvers : Medium Frame [Online], accessed 1 April 2008. Available from http://www.smith-wesson.com/webapp/wcs/stores/servlet/category=11101&storeId=10001&categoryId=1575&langid=1&parent_category_rn=15703&top_category=15703



ภาพที่ 2 แสดงรายละเอียดโดยสังเขปถึงส่วนประกอบของอาวุธปืน double-action revolver

ที่มา : Today's Hunter in South Carolina, Handgun Shooting [Online], accessed 19 March 2008. Available from http://www.hunter-ed.com/sc/course/ch3_handgun_shooting.htm



ภาพที่ 3 อาวุธปืน Mateba autorevolver hunter .357 magnum model 1997 ความยาวลำกล้อง 6 นิ้ว พัฒนาขึ้นโดย italian gunsmith sergio Mateba

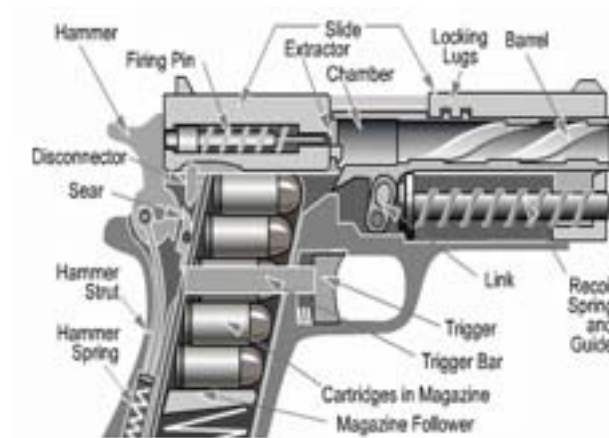
ที่มา : Wikipedia, The Free Encyclopedia, Mateba Autorevolver [Online], accessed 1 April 2008. Available from http://en.wikipedia.org/wiki/Mateba_Autorevolver



ภาพที่ 4 อาวุธปืน Browning hi-power standard ขนาด 9 mm. ความยาวลำกล้อง 4.5 นิ้ว ของกระสุน (magazine) บรรจุกระสุนได้ 10 นัด

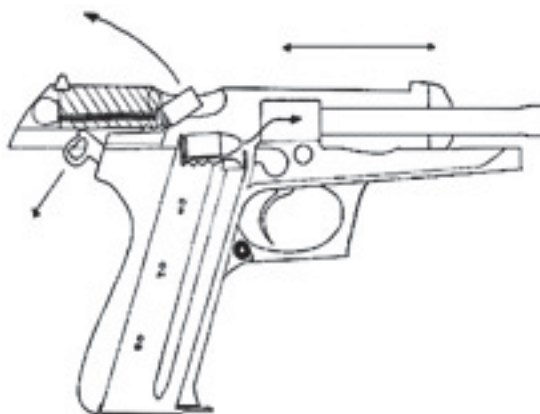
ที่มา : Ignomini, Guns, Pistols : Hi-Power Standard [Online], accessed 1 April 2008. Available from <http://www.ignomini.com/guns/pistolpage.html>

1.4.1.2 อาวุธปืนพกกึ่งอัตโนมัติ (semiautomatic pistol) (ภาพที่ 4) เป็นอาวุธปืนแบบ auto-loader หรือ self-loading ที่บรรจุกระสุนปืนได้ครั้งละหลายนัด และมีกลไกสำหรับขึ้นลำกระสุนปืนไว้ในรังเพลิงและคัตปลอกกระสุนปืนได้เอง โดยยิงได้ครั้งละนัด หลายครั้งต่อการยิงหนึ่งชุดด้วยลำกล้องเดียว (multiple-shot) มีลักษณะต่างไปจากอาวุธปืนลูกโม่ คือ ใช้รังเพลิงเดี่ยวแบบ (single fixed firing chamber) โดยวางกลไกและลำกล้องปืนไว้ในตัวอาวุธปืน (ภาพที่ 5) มีช่องกระสุนปืน (magazine) ที่ถอดได้ (detachable magazine) สำหรับบรรจุและส่งกระสุนปืนเพื่อขึ้นลำในรังเพลิง โดยด้ามปืน (grip) มีลักษณะกลวงเป็นส่วนในการยึดจับของกระสุนปืนไว้



ภาพที่ 5 แสดงรายละเอียดโดยสังเขปถึงส่วนประกอบของอาวุธปืน semiautomatic pistol
ที่มา : Today's Hunter in South Carolina, Semi-Automatic Firearms [Online], accessed 19 March 2008. Available from http://www.huntered.com/sc/course/ch2_actions_semiautomatic.htm

เรียกออาวุธปืนชนิดนี้ว่า “กึ่งอัตโนมัติ” เนื่องจากการขึ้นนกปืน การคัตปลอกกระสุนปืนที่ใช้ยิงแล้ว และการส่งกระสุนปืนที่บรรจุอยู่ในช่องกระสุนปืนมาขึ้นลำในรังเพลิงสำหรับการเหนี่ยวไกยิงนัดต่อไปเกิดขึ้นโดยอัตโนมัติด้วยการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนที่ครอบลำกล้องหรือที่เรียกว่าลำเลื่อน (slide) ไปตามแกนลำกล้องปืน โดยอาศัยการแรงสะท้อนกลับหรือแรงสะพัด (recoil) และหรือแรงขับของก๊าซที่เกิดหลังจากการยิง กล่าวคือ หลังการยิงปืน ครอบลำกล้องหรือลำเลื่อนจะเคลื่อนมาด้านหลังตามแกนลำกล้องปืนด้วยแรงติดจากลวด spring โดยเคลื่อนที่ไปชนกับนกปืนเพื่อขึ้นนกปืน และในขณะเดียวกันยังนำปลอกกระสุนปืนที่ใช้ยิงแล้วมาเพื่อคัตหรือผลักปลอกกระสุนปืนออกไปนอกรังเพลิงทุกครั้งหลังยิง ขณะที่ลำเลื่อนเคลื่อนมาจนสุดนั้น ลวด spring ที่อยู่ใต้ลำกล้องปืนจะหดตัวกลับ ให้ลำเลื่อนเคลื่อนที่ไปด้านหน้า ประกอบกับแหวนลวด spring ในช่องกระสุนปืนจะส่งกระสุนปืนเข้ามายังช่องของ



ภาพที่ 6 กลไกการบรรจุและคัดกระสุนปืนของอาวุธปืน Semiautomatic pistol

ที่มา : The University of Utah, Eccles Health Sciences Library, Firearms Tutorial : Anatomy of Firearm [Online], accessed 31 March 2008. Available from <http://library.med.utah.edu/Web Path/ TUTORIAL/GUNS/GUNANAT.html>

ลำเลื่อน เพื่อส่งต่อไปยังรังเพลิงตอนที่ลำเลื่อนเข้าสู่ตำแหน่งพร้อมยิง (ภาพที่ 6) ทั้งนี้ การยิงนัดแรก ผู้ใช้ต้องขึ้นนกปืนและขึ้นลำด้วยการกระชากลำเลื่อนไปด้านหลังจนสุดแล้วปล่อย เพื่อให้กระสุนปืนนัดแรกเข้าไปอยู่ในรังเพลิงก่อนเหนียวไก การขึ้นลำในนัดแรกผู้ใช้อาวุธปืนอาจลดนกปืน โดยไม่ให้กระแทกกับจานท้ายกระสุนปืน เพื่อยิงได้โดยไม่ต้องขึ้นลำ การยิงสามารถทำแบบขึ้นนกปืนก่อน (single action) และไม่ขึ้นนกปืนก่อน (double action) เมื่อยิงจนหมดกระสุนปืนสามารถถอดออกและเปลี่ยนเป็นซองกระสุนปืนที่บรรจุกระสุนปืนไว้ก่อนแล้วได้ทันที

อาวุธปืนพกกึ่งอัตโนมัติมีข้อเสียคือเป็นอาวุธปืนที่มีกลไกซับซ้อน ไม่เหมาะกับผู้ใช้รายใหม่ ประสิทธิภาพการยิงได้ระยะยิงต่ำกว่าอาวุธปืนลูกโม่ เนื่องจากปลอกกระสุนปืนเป็นแบบชนิดสั้นทำให้จุดยิงส่งกระสุนปืนได้น้อยกว่า และไม่มีควมยาวของลำกล้องให้เลือกมากเท่าอาวุธปืนแบบลูกโม่ ในกรณีกระสุนปืนที่ยิงด้านทำให้ขัดลำกล้อง ยิงนัดต่อไปได้ก็ต่อเมื่อเลื่อนลำเลื่อนด้วยมือเหมือนตอนขึ้นนกปืนและขึ้นลำยิงนัดแรก

1.4.2 อาวุธปืนยาว (longarm) คืออาวุธปืนที่มีความยาวลำกล้องปืนมากกว่าอาวุธปืนสั้น พัฒนาการเริ่มแรกเป็นที่รู้จักในชื่อของอาวุธปืน musket ซึ่งเป็นปืนบรรจุปากชนิดลำกล้องไม่มีเกลียว อาวุธปืนยาวมีระยะยิงที่ไกล (Warlow 2005 : chap. 1 pt. 1.4 par. 7) และยิงแบบใช้สองมือ โดยมีมือหนึ่งจับด้ามปืนและอีกมือจับบริเวณใต้ลำกล้องปืนด้วยการยิงแบบประทับบ่า ไม่นิยมใช้สำหรับการพกพาและป้องกันตัว เหมาะสำหรับใช้เป็นอาวุธป้องกันทรัพย์สิน และการล่าสัตว์ อาวุธปืนยาวที่นิยมในปัจจุบัน คือ

1.4.2.1 อาวุธปืนยาวเล็ก (rifle) คืออาวุธปืนยาวที่ขนาดลำกล้องปืนเล็กชนิดมีเกลียวในลำกล้อง รูปแบบการยิงมี 2 ระบบ คือ single-shot ที่บรรจุกระสุนปืนที่ใช้ยิงด้วยมือครั้งละนัด และ repeater ซึ่งบรรจุกระสุนปืนด้วยมือได้หลายนัดต่อครั้งและยิงซ้ำได้ (multiple-shot) และหากพิจารณาจาก action ซึ่งเป็นกลไกการบรรจุกระสุนปืนและคัตปลอกกระสุนปืน อาจแบ่งเป็นปืนยาวเล็กชนิดธรรมดา (ภาพที่ 7) ที่ระบบการคัตปลอกกระสุนปืนและการขึ้นลำกระสุนปืนทำด้วยมือในรูปแบบใดรูปแบบหนึ่ง ซึ่งได้แก่ break-action bolt-action, lever-action หรือ pump-action และ Semiautomatic (Schwoeble and Exline 2000 : chap. 5 par. 3) ที่ใช้แรงสะท้อนหรือความดันก๊าซเพื่อคัตปลอกและบรรจุกระสุนปืน (ภาพที่ 8) อนึ่ง กระสุนปืนที่ใช้กับ rifle เป็นกระสุนลูกโดด (single projectile) (ภาพที่ 9) rifle เป็นอาวุธปืนที่มีความแม่นยำสูง มักใช้ยิงในระยะไกล และใช้กับวัตถุหรือเป้าที่มีขนาดใหญ่ รวมถึงใช้เป็นอาวุธลอบสังหารระยะไกล

1.4.2.2 อาวุธปืนลูกซอง (shotgun) มีทั้งความยาวลำกล้องแบบสั้นซึ่งยาวกว่าอาวุธปืนสั้น และแบบยาวที่มีลักษณะเหมือนกับ rifle แต่ต่างกันตรงที่ปืนลูกซองเป็นอาวุธปืนที่ใช้ลำกล้องชนิดไม่มีเกลียวในลำกล้องและมีที่ขนาดลำกล้องใหญ่กว่า ยิงได้ระยะและความแม่นยำน้อยกว่า rifle และนิยมใช้ยิงเป้าที่มีขนาดเล็กและมีความไว (Warlow 2005 : chap. 1 pt. 1.4 par. 7) และมีทั้งแบบลำกล้องเดี่ยว (single barrel) และลำกล้องคู่ (double barrel) โดยมีกลไกการบรรจุกระสุนปืนและคัตปลอกกระสุนปืน หรือ action ลักษณะเดียวกันกับอาวุธปืนยาวเล็ก ทั้งยังมีกลไกการยิง ในแบบ single-shot โดยใช้ระบบ break-action หรือ bolt-action และแบบ multiple-shot โดยใช้ระบบ bolt-action, pump-action และ semiautomatic (ภาพที่ 10)

อาวุธปืนลูกซองนิยมใช้ยิงกระสุนปืนที่เรียกว่า shotshell (ภาพที่ 11 และภาพที่ 12) กระสุนปืนลูกซองอาจแบ่งเป็นชนิดลูกปทราย (pellets) ซึ่งบรรจุลูกกระสุนเม็ดเล็กๆ ไว้เป็นจำนวนมาก (multiple projectiles) ส่วนกระสุนปืนลูกซองชนิดที่มีลูกกระสุนเม็ดใหญ่เม็ดเดียว (large projectile) เรียกว่า slungshell (ภาพที่ 13) และมีกระสุนปืนลูกซองลักษณะอื่น เช่น ฟลุสส์ยูเนียน และ ก๊าซน้ำตา



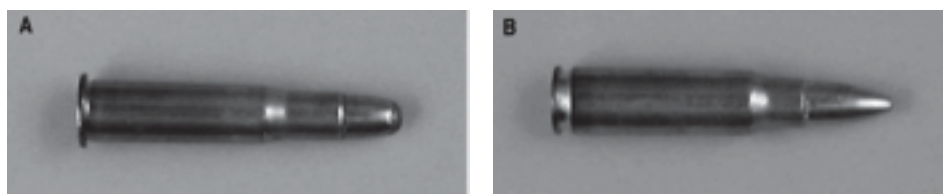
ภาพที่ 7 อาวุธปืน Winchester model 70, sporter deluxe, bolt-action rifle ขนาด 270 win. ของกระสุน (magazine) บรรจุกระสุนปืนได้ 5 นัด

ที่มา : Winchester, Repeating Arm, Model 70 : Sporter Deluxe [Online], accessed 3 April 2008. Available from http://www.winchesterguns.com/prodinfo/catalog/detail.asp?cat_id=535&type_id=101&cat=001C



ภาพที่ 8 แสดง action ของอาวุธปืนยาวเล็ก (rifle) โดย single-shot rifle มักใช้แบบ break-action หรือ bolt-action สำหรับ repeating rifle หรือ multiple-shot rifle ที่คัปล็อกกระสุนปืนที่ยิงแล้ว และส่งกระสุนปืนที่บรรจุอยู่ในช่องกระสุนปืนมาขึ้นลำในรังเพลิงด้วยกลไกพิเศษมักใช้ในแบบ bolt-action, lever-action และ pump-action หรือใช้แบบ semiautomatic ที่มีกลไกแบบอัตโนมัติโดยอาศัยแรง recoil

ที่มา : Today's Hunter in South Carolina, Common Actions on Firearms [Online], accessed 19 March 2008. Available from http://www.huntered.com/sc/course/ch2_rifle_shotgun_actions_graphic.htm



ซ้าย

ขวา

ภาพที่ 9 ตัวอย่างกระสุนปืน (cartridge) ที่ใช้สำหรับอาวุธปืน rifle ที่ประกอบไปด้วยปลอกกระสุนปืน ขนวนท้ายกระสุนปืน และลูกกระสุนปืนมีลักษณะมน (รูปซ้าย) และลูกกระสุนปืนมีลักษณะหัวแหลม (รูปขวา)

ที่มา : A.J. Schwoeble and David L. Exline, Current Methods in Forensic Gunshot Residue Analysis (Florida : CRC Press LLC, 2000) [Online], accessed 29 February 2008. Available from Chiang Mai University Library : Online e-books : http://www.forensicnetbase.com/books//525/0029_05.pdf



ภาพที่ 10 อาวุธปืนลูกซอง (shotgun) แบบต่างๆ โดยใช้ pump-action, bolt-action และ Semiautomatic สำหรับ multiple-shot shotgun ซึ่งมีลักษณะเหมือนกับอาวุธปืนยาวเล็ก (rifle) และใช้ break-action สำหรับ single-shot shotgun

ที่มา : Today's Hunter in South Carolina, Common Actions on Firearms [Online], accessed 19 March 2008. Available from http://www.hunter-ed.com/sc/course/ch2_rifle_shotgun_actions_graphic.htm



ซ้าย



ขวา

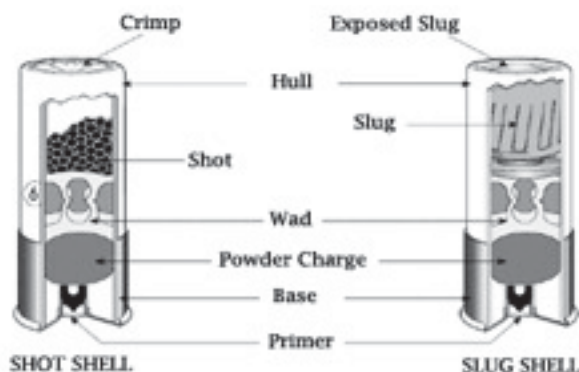
ภาพที่ 11 ตัวอย่างกระสุนปืน (shotshell) gauge 12 ใช้สำหรับอาวุธปืนลูกซอง ที่ปลอกกระสุนปืนทำจากพลาสติก (รูปซ้าย) และปลอกกระสุนปืนทำจากกระดาศ (รูปขวา)

ที่มา : A.J. Schwoeble and David L. Exline, Current Methods in Forensic Gunshot Residue Analysis (Florida : CRC Press LLC, 2000) [Online], accessed 29 February 2008. Available from Chiang Mai University Library : Online e-books : http://www.forensicnetbase.com/books/525/0029_05.pdf



ภาพที่ 12 ตัวอย่างกระสุนปืนแบบ rim-fire สำหรับอาวุธปืนลูกซอง ขนาดต่างๆ (จากซ้ายไปขวา) gauge 4, 12, 16, 20 ขนาด .410 นิ้ว ขนาด 9 มม. และลูกกรดขนาด .22 นิ้ว

ที่มา : Tom Warlow, *Firearms, The Law, and Forensic Ballistics : International Forensic Science and Investigation Series*, 2nd ed. (Florida : CRC Press LLC, 2005) [Online], accessed 21 March 2008. Available from Chiang Mai University Library : Online e-books : http://www.forensicnetbase.com/books/1861/tf1703_Ch06.pdf



ภาพที่ 13 ลักษณะภายในของกระสุนปืนแบบ center-fire ชนิด shotshell และ slugs shell ที่ใช้สำหรับอาวุธปืนลูกซอง (shotgun) โดย shotshell เป็นกระสุนปืนชนิดลูกปราย (multiple projectiles) ซึ่งบรรจุลูกกระสุนเม็ดเล็กๆ ไว้มากมาย และ slugs shell เป็นกระสุนปืนลูกซองที่บรรจุลูกกระสุนเม็ดใหญ่ซึ่งมักมีเกลียวไว้เม็ดเดียว (large projectile)

ที่มา : Canadian Firearm Information Source, *Types of Ammunition*, [Online], accessed 12 April 2008. Available from <http://www.firearmsource.ca/basics-of-firearms/types-of-ammunition.php>

2. เครื่องกระสุนปืน

กระสุนปืน (ammunition) ถูกผลิตขึ้นเพื่อให้สอดคล้องกับการใช้งานตามประเภทและชนิดของอาวุธปืน จึงทำให้กระสุนปืนมีอยู่หลายรูปแบบและหลายขนาดแตกต่างกัน อย่างไรก็ตาม กระสุนปืนแต่ละชนิดมีองค์ประกอบหลักเหมือนกัน โดยปัจจุบันกระสุนปืนหนึ่งนัดถูกบรรจุไว้ในปลอกกระสุนปืน (cartridge case) ที่ประกอบไปด้วย หัวหรือลูกกระสุนปืน (bullet หรือ projectile) ดินส่กระสุนปืน (propellant หรือ powder charge) และชนวนท้ายกระสุนปืน (primer หรือ gap) ทั้งนี้ หากเป็นกระสุนปืนสำหรับอาวุธปืนลูกซองได้บรรจุหมอนกระสุนปืน (wad) ไว้ด้วย (ภาพที่ 13) กระสุนปืนที่เรียกว่า cartridge ใช้สำหรับอาวุธปืนเล็กสั้น (handgun) และอาวุธปืนเล็กยาว (rifle) เป็นชนิดกระสุนลูกโดด (single projectile) ส่วนกระสุนปืนที่เรียกว่า shotshell ใช้กับอาวุธปืนลูกซอง (shotgun)

2.1 พัฒนาการของเครื่องกระสุนปืน เครื่องกระสุนปืนมีพัฒนาการขึ้นพร้อมกันกับพัฒนาการของอาวุธปืน โดยได้เปลี่ยนวิธีการจุดดินส่กระสุนปืนจากเดิมที่จุดผ่าน touch-hole ด้วยดินล่อ หรือผ่าน nipple ด้วยชนวนซึ่งอยู่ภายนอกหรือที่เรียกว่า external priming method มาเป็นการจุด internal priming method ที่ดินชนวนถูกบรรจุไว้ในปลอกกระสุนหรือบริเวณท้ายปลอกกระสุนปืน



ซ่าย



ขวา

ภาพที่ 14 ตัวอย่างกระสุนปืน แบบ paper cartridge ที่ห่อหุ้มทั้งดินส่กระสุนปืนและลูกกระสุนปืนไว้ในปลอกกระสุนปืนในลักษณะปิดหัว-ท้าย (รูปซ่าย) และกระสุนปืน paper cartridge ชนิด tie-base cartridge ที่ผูกปลอกกระสุนติดไว้ใต้ฐานของลูกกระสุนปืน (รูปขวา)

ที่มา : International Ammunition Association, A Guide to Ammunition Collecting, A Cartridge Collector's Glossary [Online], accessed 14 April 2008. Available from <http://cartridgecollectors.org/glossary.htm>

2.1.1 กระสุนปืนแบบ paper cartridge (ภาพที่ 14) ถูกคิดค้นขึ้นขึ้นราวกลางศตวรรษที่ 16 และพัฒนาการเรื่อยมาจนถึงต้นศตวรรษที่ 19 เพื่อนำไปใช้กับอาวุธปืนแบบ muzzle-loader ทั้งนี้ ก่อนการคิดค้นกระสุนปืนแบบ paper cartridge ได้มีการนำเอาดินส่กระสุนปืนมาบรรจุไว้ในม้วนกระดาษที่พับปิดหัวและท้ายหรือที่เรียกว่า blank cartridge โดยยังไม่ได้นำเอาลูกกระสุนปืนมาบรรจุรวมไว้ด้วยกันภายในปลอกกระสุนซึ่งทำมาจากกระดาษ ม้วนกระดาษให้เป็นหลอดหรือรูปทรงกระบอกเล็กๆ ที่มีขนาดพอดีกับขนาดลำกล้องปืน ทำการปิดหรือพับปลายกระดาษด้านหนึ่งให้เป็นกันปิดเพื่อใช้บรรจุดินส่กระสุนปืนในปริมาณที่เหมาะสมสำหรับการจุดระเบิด จากนั้นบรรจุลูกกระสุนปืนตามลงไปและมัดส่วนบนบริเวณลูกกระสุนปืนด้วยเชือก (International Ammunition Association

2008) อย่างไรก็ตาม ปลอกกระดาษาของ paper cartridge มีหน้าที่เพียงห่อหุ้มดินส่กระสุนปืนและลูกกระสุนปืน เพื่อให้พกพาได้สะดวก ประหยัดเวลา และง่ายต่อการบรรจุด้วยการฉีกกันกระดาษาออกและเทดินส่กระสุนปืนลงในลำกล้องปืน นำลูกกระสุนปืนออกจากกระดาษาส่วนบนและบรรจุตามลงไป นำปลอกกระสุนที่ถูกฉีกมาใช้เป็นหมอนรองลูกกระสุนปืน โดยอัดและกระทุ้งตามลงไปเป็นชั้นสุดท้าย บางครั้งอาจเคลือบปลอกกระดาษาด้วยน้ำมันหรือไขสัตว์เพื่อช่วยหล่อลื่นบริเวณปากลำกล้องปืน และป้องกันความชื้น อนึ่ง วิธีการจุดดินส่กระสุนปืนของ paper cartridge เป็นแบบ external priming

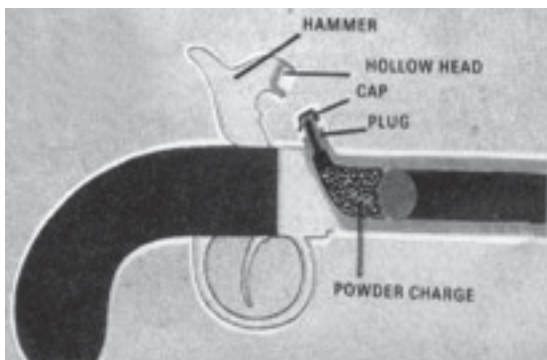
อาวุธปืนที่ใช้กับ paper cartridge เช่น อาวุธปืนแบบ flintlock (ภาพที่ 15) ที่ใช้ flash pan หรือ priming pan และ touch-hole ในการจุดดินส่กระสุนปืน ประเทศไทยเรียกปืนชนิดนี้ว่าปืนคาบศิลา เป็นอาวุธที่ใช้ชนกปืนหรือแขนยึดจับตัวจุดดินส่กระสุนปืนซึ่งมีลักษณะคล้ายนกหรือที่เรียกว่า cock และใช้กลไกแบบชนกนอก (side lock) มีวิธีจุดดินส่กระสุนปืนผ่านดินล่อที่อยู่บริเวณ touch-hole ด้วยประกายไฟ (spark) จากการกระแทกกันระหว่างตัวจุดดินส่กระสุนปืนที่ทำจาก flint (หินเหล็กไฟ) และ frizzen ซึ่งมีรูปร่างเป็นตัว L โดยแกนตั้งทำหน้าที่เป็น battery แกนนอนทำหน้าที่เป็น pan cover เมื่อเหนี่ยวไกปืน cock จะโน้มไปด้านหน้าอย่างรวดเร็วทำให้ flint ไปกระแทกกับ frizzen เกิดเป็นประกายไฟ ในขณะเดียวกันนั้นก็จะผลัก frizzen ให้เปิดขึ้นเพื่อให้ประกายไฟตกลงใน priming pan และหลังการยิง ระบบสปริงจะผลัก frizzen ลงมาปิดไว้เหมือนเดิม (Supica 2006 : 7-8) paper cartridge ยังใช้กับอาวุธปืน percussion arm (ภาพที่ 16) ที่จุดดินส่กระสุนปืนด้วย cap (International Ammunition Association 2008; Midway USA 2008) ประเทศไทยเรียกปืนชนิดนี้ว่าปืนแก๊ป (วิวัฒน์ ชินวร 2547 : 8) เป็นอาวุธปืนที่พัฒนาต่อจากแบบ flint lock เพื่อย่นระยะเวลาการจุดดินส่กระสุนปืนและลดความยุ่งยากในการใช้อาวุธปืน รวมทั้งปัญหาในการใช้ดินล่อในสภาพอากาศชื้น (Supica 2006 : 11) ได้นำ mercury fulminates ($\text{Hg}(\text{CNO})_2$) ที่ระเบิดได้ด้วยตัวเองเมื่อถูกกระแทกอย่างรุนแรง มาใช้เป็นชนวนสำหรับจุดดินส่กระสุนปืนแทนตัวจุดดินส่กระสุนปืนแบบเดิม โดยบรรจุไว้ใน cap ที่ทำมาจากกระดาษา หลอดหรือถ้วยที่ทำด้วยทองเหลืองหรือทองแดง (Warlow 2005 : chap. 1 pt. 1.2 par. 2) การจุดดินส่กระสุนปืนของอาวุธปืน percussion cap ใช้แบบ side lock ที่มีกลไกสำคัญประกอบด้วยชนกปืนหรือที่เรียกว่า hammer ซึ่งมีส่วนเว้าหรือโพรงเล็กๆ บริเวณหัว (hollow head) ไว้สำหรับทำหน้าที่เป็นตัวกระแทกหรือตอกลงบน cap ที่อยู่บนนมหนู (nipple) ให้เกิดการระเบิด โดยประกายไฟและไอร้อนของก๊าซจากการระเบิดจะผ่านเข้าทางรูของ nipple ที่หุ้มด้วย plug ซึ่งเปรียบได้กับ touch-hole ในอาวุธปืนแบบเดิม ดินส่กระสุนปืนที่ได้บรรจุไว้ในท้ายลำกล้องปืนถูกจุดโดยไม่ต้องใช้ priming pan อนึ่ง hammer ยังทำหน้าที่ให้ความปลอดภัยแก่ผู้ยิงปืนขณะเกิดการจุดดินส่กระสุนปืน (Warlow 2005 : chap.4 pt. 4.2) (ภาพที่ 17)



ภาพที่ 15 U.S. flintlock pistol-simeon north-model 1816 แบบ french-lock
ที่มา : Armchair Gun Show, Antique Flintlock & Percussion Pistols for sale [Online],
accessed 20 March 2008. Available from <http://www.armchairgunshow.com/images/AA-hall97.jpg>

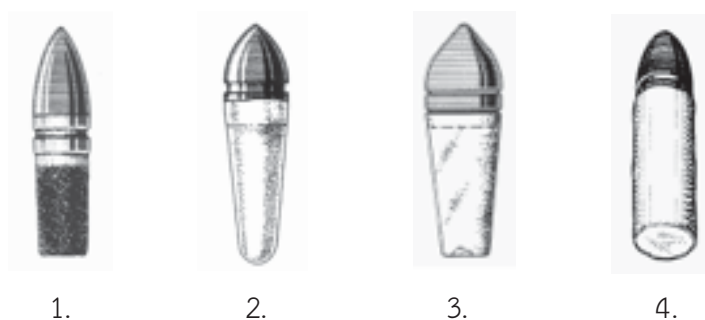


ภาพที่ 16 อาวุธปืน asa waters us military pistol-percussion cap model 1839
ที่มา : Armchair Gun Show, Antique Flintlock & Percussion Pistols for sale [Online],
accessed 20 March 2008. Available from <http://www.armchairgunshow.com/ot55-pix/ab-w39.jpg>



ภาพที่ 17 กลไกการจุดดินส่กระสุนปืน percussion cap pistol แบบ muzzle-loader

ที่มา : Scot Wars, Types of Firearm Ignitions [Online], accessed 26 March 2008. Available from http://www.scotwars.com/html/equip_firearms2.htm#5



ภาพที่ 18 ตัวอย่างกระสุนปืนแบบ combustible cartridge : 1. แสดงให้เห็นภายในปลอกกระสุนปืนที่ดินส่กระสุนปืนถูกอัดและขึ้นรูปให้เหมือนถ้วยและนำมาติดกับฐานของลูกกระสุน, 2. animal gut cartridge ที่ปลอกกระสุนปืนทำมาจากลำไส้ของสัตว์, 3. paper combustible cartridge ที่นิยมใช้กระดาชซึ่งชุบด้วยสาร nitrate มาทำเป็นปลอกกระสุนปืน และ 4. combustible cartridge ที่ใช้ผ้าลินินทำปลอกกระสุนปืน ภายในท้ายปลอกกระสุนปืนได้รองด้วยกระดาชชุบ nitrate กระสุนปืนชนิดนี้ถูกใช้อย่างแพร่หลายในช่วงต้นของสงคราม the american civil war

ที่มา : International Ammunition Association, A Guide to Ammunition Collecting, A Cartridge Collector's Glossary [Online], accessed 14 April 2008. Available from <http://cartridgecollectors.org/glossary.htm>

2.1.2 กระสุนปืนแบบ combustible cartridge (ภาพที่ 18) พัฒนาการต่อจาก paper cartridge ปลอกกระสุนปืนทำด้วยวัสดุที่กันน้ำและไหมไฟได้ เช่น ลำไส้สัตว์ หนังสัตว์ หนังเทียม กระดาช หรือผ้าลินิน ซึ่งจะถูกเผาไหม้ด้วยไฟและถูกขับด้วยแรงดันก๊าซที่เกิดจากการเผาไหม้ของดินส่กระสุนปืน โดยออกมาทางปากลำกล้องปืนพร้อมกับลูกกระสุนปืน กระสุนปืนชนิดนี้มีลักษณะแตกต่างไปจาก paper cartridge เพราะไม่ได้บรรจุดินส่กระสุนปืนและลูกกระสุนปืนไว้ในปลอกกระสุนปืน แต่

ได้อัดดินส่กระสุนปืนให้มีรูปร่างเหมือนถ้วยหรือกรวยที่มีลักษณะตรงและเรียวยาว จากนั้นนำไปยึดติดไว้กับฐานใต้ลูกกระสุนปืน แล้วหล่อหุ้มดินส่กระสุนปืนด้วยกระดาษ หนังสัตว์ หนังเทียม หรือผ้าลินิน เพื่อป้องกันความชื้นและช่วยให้ดินส่กระสุนปืนไม่อ่อนตัวและคงรูปอยู่ได้ (International Ammunition Association 2008) อนึ่ง combustible cartridge พัฒนาขึ้นพร้อมกับอาวุธปืนแบบ breech-loader ที่ใช้วิธีจุดดินส่กระสุนแบบ external priming โดยปลอกกระสุนปืนมีข้อเสีย คือ แดงง่าย บวมเมื่อถูกความชื้น และเกิดการรั่วของก๊าซย้อนออกบริเวณช่องว่างระหว่างปลอกกระสุนปืนและผนังรังเพลิง (วิวัฒน์ ชินวร 2547 : 7; Supica 2006 : 11)

2.1.3 กระสุนปืนแบบ separate-primed cartridge (ภาพที่ 19) เป็นกระสุนปืนซึ่งบริเวณท้ายปลอกกระสุนปืนมีรูเล็กๆ เพื่อใช้เป็นช่องสำหรับให้ประกายไฟจาก cap ที่เข้าผ่านเข้ามาทาง nipple ผ่านเข้าไปจุดดินส่กระสุนปืนที่บรรจุอยู่ภายใน ถูกพัฒนาขึ้นพร้อมกับอาวุธปืนแบบ percussion cap breech-loader (ภาพที่ 20) ใช้วิธีการจุดดินส่กระสุนปืนแบบ external priming และปลอกกระสุนปืนทำจากวัสดุชนิดไม่ติดไฟ เมื่อลูกกระสุนถูกขับออกมาจากปากลำกล้องปืน ปลอกกระสุนปืนยังคงค้างอยู่ในรังเพลิง รูปร่างของกระสุนปืนมีทั้งแบบทรงกระบอกและกรวยเรียวยาว เดิมกระสุนปืนแบบนี้ใช้กระดาษและผ้าลินินทำปลอกกระสุนปืนอย่างเช่นกระสุนปืนแบบ combustible cartridge ต่อมาได้พัฒนาโดยใช้แผ่นกระดาษแข็ง (cardboard) ฟอยล์ (foil) พลาสติก และโลหะทองเหลืองเช่นในปัจจุบัน (International Ammunition Association 2008; Midway USA 2008) ทั้งยังได้พัฒนารูปแบบบริเวณท้ายปลอกกระสุนปืนให้มีหูหรือห่วงที่ทำจากเส้นเชือกหรือลวด flop ear สำหรับกระตุกปลอกกระสุนปืนที่ใช้แล้วออกจากรังเพลิง หรือใช้จันท้ายกระสุนปืนที่มีแทบหรือเรียกว่า mule ear (ภาพที่ 21) เพื่อช่วยในการคัดปลอกกระสุนปืนที่ใช้แล้วออกจากรังเพลิง (The Cartridge Guys 2008)



ภาพที่ 19 ตัวอย่างกระสุนปืนแบบ separate-primed cartridge บรรจุดินส่กระสุนปืนและลูกกระสุนปืนไว้ด้วยกันในปลอกกระสุนปืนซึ่งทำจากทองเหลือง โดยมีจันท้ายกระสุนปืนที่ทำจากกระดาษเคลือบไขมันซึ่งเจาะรูไว้ตรงกลาง กระสุนปืนชนิดนี้ผลิตขึ้นครั้งแรกสำหรับใช้กับอาวุธปืน maynard percussion rifle (รูปซ้าย) และปลอกกระสุนปืนที่ทำจากกรวยทองเหลืองแบบไม่มีจันท้ายกระสุนปืนบริเวณโคนกรวยเป็นหลุมที่มีรูเล็กๆ สำหรับใช้จุดดินส่กระสุนปืนภายใน กระสุนปืนชนิดนี้รู้จักกันในชื่อ burnside b.l. carbine cartridge (รูปขวา)

ที่มา : The Cartridge Guys, Types of Cartridges [Online], accessed 14 April 2008. Available from <http://www.cartridgeid.com/Types.html>



ภาพที่ 20 อาวุธปืนยาว civil war lindner cavalry carbine model 1816 เป็นอาวุธปืนที่ประดิษฐ์ขึ้นช่วงต้นศตวรรษที่ 19 ซึ่งใช้กลไกแบบ percussion cap บรรจุแบบ breech-loader สามารถใช้ได้กับกระสุนปืนแบบ paper cartridge, combustible cartridge และ separate-primed cartridge
ที่มา : Gutterman Historical Weapons, Inc., European Weapons Pre-1898 : First Model Civil War Lindner Cavalry Carbine [Online], accessed 26 March 2008. Available from <http://www.19thcenturyweapons.com/507/lindnerc.html>



1.



2.

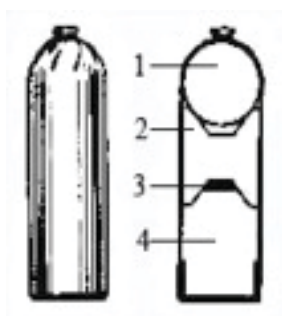


3.

ภาพที่ 21 ตัวอย่างกระสุนปืนแบบ separate-primed cartridge ที่ใช้วิธีการตัดปลอกกระสุนปืนด้วยปลายเล็บมือหรือปลายมีดขนาดเล็ก แบบต่างๆ : 1. extractor cord cartridge ที่มีห่วงเชือกสำหรับกระตุกปลอกกระสุนปืนออกจากรังเพลิง, 2. extractor wire cartridge ซึ่งทำยปลอกกระสุนปืนมีห่วงที่ทำมาจากเส้นลวด และ 3. mule ear cartridge ที่งานทำยกระสุนปืนมีแทบยื่นออกมาเพื่อใช้ตัดปลอกกระสุน

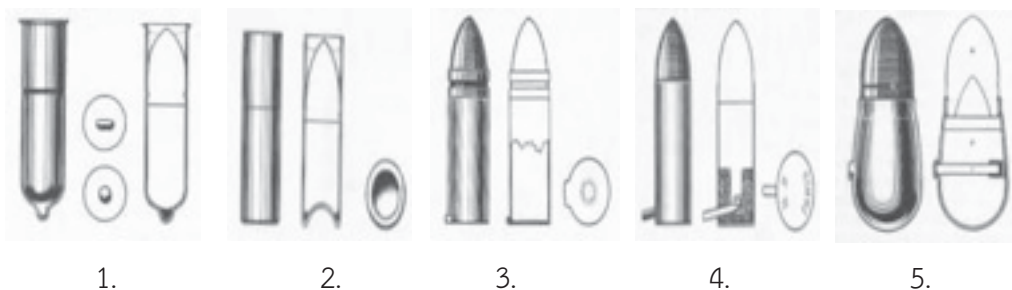
ที่มา : International Ammunition Association, A Guide to Ammunition Collecting, A Cartridge Collector's Glossary [Online], accessed 15 April 2008. Available from <http://cartridgecollectors.org/glossary.htm>

2.1.4 กระสุนปืนแบบ self contained cartridge (ภาพที่ 22) เป็นกระสุนปืนที่พัฒนาขึ้นในศตวรรษที่ 19 ซึ่งนับเป็นการสิ้นสุดของกระสุนปืนแบบ separate-primed และถือได้ว่าเป็นจุดกำเนิดของกระสุนปืนแบบ internal priming ที่ได้คิดค้นวิธีการจุดดินส่กระสุนปืนเป็นแบบ fixed charge โดยนำลูกกระสุนปืน ดินส่กระสุนปืน และดินล่อหรือชนวนที่เดิมอยู่ต่างหากจากกันมารวมไว้เป็นกระสุนปืนหนึ่งนัด โดยได้นำ percussion cap หรือ primer cap บรรจุไว้ในปลอกกระสุนปืน (cartridge case) หรือจานท้ายกระสุนปืน (cartridge base หรือ rim) กระสุนปืนชนิดนี้พัฒนาขึ้นพร้อมกับอาวุธปืนแบบนกใน (box lock) ซึ่งเปลี่ยนตำแหน่งนกปืนที่อยู่ด้านนอก (side lock) มาไว้ในช่อง lock plate โดยมีเข็มแทงชนวน (firing pin) หรือ นกปืน (hammer) เป็นตัวกระแทกที่ primer เพื่อทำการจุดดินส่กระสุนปืน อีกทั้งสามารถบรรจุกระสุนปืนเข้าไว้ในรังเพลิงของอาวุธปืนได้โดยไม่ต้องบรรจุผ่านปากกระบอกปืน (breech-loader) ซึ่งนับได้ว่าเป็นการสิ้นสุดแห่งพัฒนาการของอาวุธปืนแบบ muzzle-loader ในปัจจุบันยังคงใช้ระบบนี้สำหรับการจุดดินส่กระสุนปืน (Warlow 2005 : chap. 1 pt. 1.2 par. 2) โดยในยุคแรกได้บรรจุจุดดินส่กระสุนปืน ลูกกระสุนปืน และชนวน (primer หรือ cap) ที่ทำมาจาก mercury fulminates ($\text{Hg}(\text{CNO})_2$) ไว้ภายในปลอกกระสุนปืน (cartridge case) ที่ทำขึ้นจากกระดาษซึ่งจุดระเบิดโดยใช้อาวุธปืนที่มีเข็มแทงชนวน (firing pin) แทะบริเวณท้ายปลอกกระสุนปืนทะลุผ่านเข้าไปกระแทกกับชนวนที่อยู่ใต้หมอนกระสุนปืนเพื่อจุดดินส่กระสุนปืน และได้พัฒนาต่อมาจนถึงยุคปัจจุบันที่บรรจุ primer ที่บริเวณจานท้ายกระสุนปืน (cartridge base) โดยปลอกกระสุนปืนทำมาจากโลหะ (metallic cartridge)



ภาพที่ 22 Needle-fire cartridge เป็นพัฒนาการในยุคแรกของกระสุนปืนแบบ self contained ปลอกกระสุนปืนทำด้วยกระดาษภายในบรรจุ 1. กระสุนปืน 2. หมอนกระสุนปืน 3. ชนวน และ 4. ดินส่กระสุนปืน

ที่มา : The Cartridge Guys, Types of Cartridges [Online], accessed 14 April 2008. Available from <http://www.cartridgeid.com/Types.html>



ภาพที่ 23 ตัวอย่างกระสุนปืนแบบ patent ignition cartridge : 1. teat fire cartridge, 2. cup fire cartridge, 3. lip fire cartridge, 4. pin fire cartridge และ 5. inside pin fire cartridge
ที่มา : International Ammunition Association, A Guide to Ammunition Collecting, A Cartridge Collector's Glossary [Online], accessed 15 April 2008. Available from <http://cartridgecollectors.org/glossary.htm>

2.1.5 กระสุนปืนแบบ patent ignition cartridge* เป็นพัฒนาการหนึ่งของ self contained cartridge โดยบรรจุ primer ไว้เป็นส่วนหนึ่งภายในปลอกกระสุนปืนที่ทำมาจากโลหะ โดยได้คิดค้นและพัฒนาให้มีวิธีหรือรูปแบบ (patent) สำหรับใช้จุดดินส่กระสุนปืนโดยใช้นกปิ่น (hammer) กระแทกตรงบริเวณหรือส่วนซึ่งสามารถทำให้ primer ถูกจุดระเบิดเพื่อเผาไหม้ดินส่กระสุนปืนและขับลูกกระสุนปืนออกมา วิธีการจุดดินส่กระสุนปืนใน patent ignition มีหลายแบบ (ภาพที่ 23)

2.1.5.1 teat fire cartridge ที่บรรจุ primer ไว้ภายในท้ายปลอกกระสุนซึ่งมีลักษณะเป็นจุกยื่นออกมา จุกที่ใช้บรรจุ primer มี 2 ลักษณะคือจุกแบบแบนและแบบกลม

2.1.5.2 cup fire cartridge ซึ่งท้ายปลอกกระสุนปืนมีลักษณะเว้าลงไป ภายในได้บรรจุ primer ไว้ในถ้วยซึ่งวางซ้อนอยู่ในรอบรัศมีวงกลมของส่วนเว้า cup fire cartridge ถูกผลิตขึ้นสำหรับใช้กับอาวุธปืนแบบ muzzle-loader

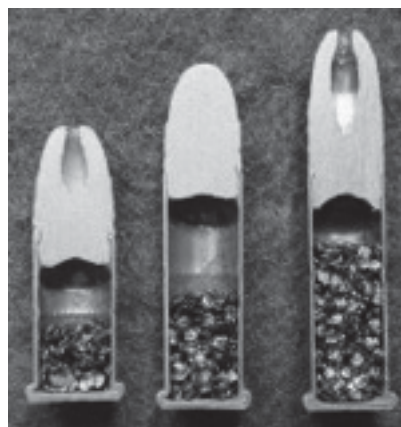
2.5.1.3 lip fire cartridge เป็นกระสุนปืนที่บรรจุ primer ไว้ภายในแทบที่ยื่นออกมาซึ่งอยู่บริเวณท้ายปลอกกระสุนปืน

2.5.1.4 pin fire cartridge เป็นกระสุนปืนแบบ breech-loader ที่มีปลายเข็มยื่นออกมาด้านข้างของปลอกกระสุนปืน โดยที่ปลายเข็มอีกด้านหนึ่งซึ่งวางอยู่เหนือ primer ใช้ทำหน้าที่กระแทกเพื่อจุดระเบิด primer ที่บรรจุไว้ในถ้วยโลหะซึ่งฝังอยู่ภายในปลอกกระสุนปืน

2.5.1.5 inside pin fire cartridge มีหลักการจุดระเบิดเช่นเดียวกับ pin fire cartridge หากแต่ต่างกันตรงที่ได้วางเข็มจุดระเบิดไว้ในปลอกกระสุนปืน

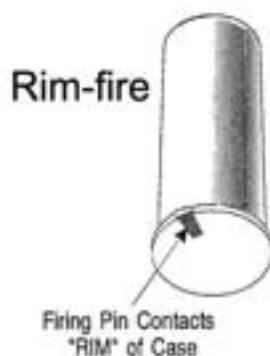
*patent ignition cartridge เป็นชื่อที่ผู้วิจัยกำหนดเพื่อแสดงให้เห็นว่าในยุคนี้เริ่มมีการคุ้มครองทรัพย์สินทางปัญญาโดยอนุญาตให้จดสิทธิบัตรวิธีการที่ใช้สำหรับจุดดินส่กระสุนปืน

2.1.6 กระสุนปืนแบบ rim fire cartridge เป็นกระสุนปืนแบบ self contained cartridge ที่ปลอกกระสุนปืนทำมาจากโลหะ (metallic cartridge case) ซึ่งบรรจุ primer ไว้ภายในบริเวณขอบหรือปากของงานท้ายกระสุนปืน (rim) ที่ทำมาจากทองเหลืองหรือทองแดง (ภาพที่ 24) ใช้เข็มแทงชนวนกระแทกบริเวณขอบหรือปากงานท้ายกระสุนปืน ทำให้หน้าสัมผัสของท้ายกระสุนปืน (head-stamp) ที่อยู่ด้านล่างเกิดการยุบตัวไปกระทบกับขอบด้านบน (ภาพที่ 25) ทำให้ primer ซึ่งบรรจุไว้ในลูกอัดอย่างกะทันหันเกิดระเบิดและเกิดการเผาไหม้ของดินส่กระสุนปืน ในปัจจุบันยังใช้กระสุนปืนแบบนี้อยู่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งกระสุนปืนลูกกรดขนาด .22 ซึ่งมีขนาดเล็กกว่ากระสุนปืนขนาดปกติ งานท้ายกระสุนปืนมีพื้นที่ไม่มากพอสำหรับบรรจุ primer ไว้ตรงกลาง



ภาพที่ 24 ภาพตัดตามความยาวของกระสุนปืน rim fire ขนาด .22 แสดงดินส่กระสุนปืน และขอบหรือปากงานท้ายกระสุนปืน (rim) เป็นที่บรรจุ primer ที่ปลอกกระสุนปืนมีความยาวแตกต่างกัน ใช้สำหรับอาวุธปืนสั้น (รูปซ้าย) ใช้สำหรับอาวุธปืนยาว (รูปกลางและรูปขวา) ภายในบรรจุลูกกระสุนปืนชนิดกระสุนลูกแตก (รูปซ้ายและรูปขวา) และกระสุนลูกโดด (รูปกลาง)

ที่มา : International Ammunition Association, A Guide to Ammunition Collecting, Collecting .22 Rimfire Boxes [Online], accessed 15 April 2008. Available from <http://cartridgecollectors.org/22box/22box.htm>

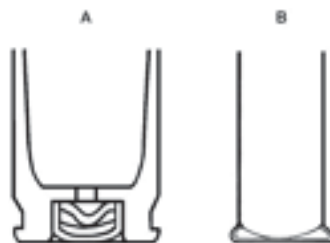


ภาพที่ 25 ตำแหน่งบริเวณขอบจานท้ายกระสุนปืนที่เกิดจากการกระแทกของเข็มแทงชนวน
 ที่มา : International Hunter Education Association, Ammunition, Cartridge, Rim-fire or Center-fire? [Online], accessed 15 April 2008. Available from http://homestudy.ihea.com/ammo/05rim_centerf.htm

2.1.7 กระสุนปืนแบบ center fire cartridge เป็น modern self contained cartridge ที่ได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องและใช้มาจนปัจจุบัน ปลอกกระสุนทำมาจากโลหะ (metallic cartridge) ต่างไปจาก rim fire cartridge ที่ได้บรรจุชนวน (primer cap) ไว้ในถ้วย (primer cup) และใส่ไว้ตรงกลางของจานท้ายกระสุนปืน (cartridge base) โดยใช้เข็มแทงชนวน (firing pin) กระแทกที่ชนวนท้ายกระสุนปืนเกิดการระเบิดเพื่อใช้จุดดินส่งกระสุนปืน (ภาพที่ 26 และ ภาพที่ 27)



ภาพที่ 26 Modern self contained cartridge ที่ภายนอกประกอบด้วย 1. หัวกระสุนปืนหรือลูกกระสุนปืน 2. ปลอกกระสุนปืน 3. จานท้ายกระสุนปืน และ 4. ชนวนท้ายกระสุนปืน
 ที่มา : GunWeek and the Second Amendment Foundation, the 2002 Archives, Ballistic Fingerprinting More Politics than Science [Online], accessed 15 April 2008. Available from <http://www.gunweek.com/2002/featureB1220.html>



ภาพที่ 27 ภาพตัดตามยาวเพื่อแสดงเปรียบเทียบภายในบริเวณงานท้ายกระสุนปืน centerfire (รูปซ้าย) และ rimfire (รูปขวา)

ที่มา : A.J. Schwoeble and David L. Exline, Current Methods in Forensic Gunshot Residue Analysis (Florida : CRC Press LLC, 2000) [Online], accessed 29 February 2008. Available from Chiang Mai University Library : Online e-books : http://www.forensicnetbase.com/books//525/0029_05.pdf

2.2 ส่วนประกอบของเครื่องกระสุนปืนชนิด center fire cartridge หรือ modern center fire cartridge ซึ่งเป็นที่นิยมใช้กับอาวุธปืนสั้นในปัจจุบัน ประกอบด้วยหัวกระสุนปืนหรือลูกกระสุนปืน (bullet หรือ projectile) ปลอกกระสุนปืนที่ประกอบด้วย ตัวปลอก (cartridge case หรือ bullet case) และงานท้ายกระสุนปืน (cartridge base หรือ cartridge head-stamp หรือ rim) ดินส่กระสุนปืน (propellant หรือ powder charge) และชนวนท้ายกระสุนปืน (primer) (Wallace 1990) (ภาพที่ 28)



ภาพที่ 28 ส่วนประกอบหลักของกระสุนปืนแบบ modern center fire cartridge

ที่มา : Howstuffworks, Science, Military, Firearms, [How Machine Guns Work](http://science.howstuffworks.com/machine-gun2.htm), [Online], accessed 19 April 2008. Available from <http://science.howstuffworks.com/machine-gun2.htm>

2.2.1 หัวกระสุนปืนหรือลูกกระสุนปืน (bullet หรือ projectile) มีขนาด รูปร่าง โครงสร้างและส่วนประกอบที่ต่างกัน ขึ้นอยู่กับการออกแบบของผู้ผลิตซึ่งต้องคำนึงหลักสี่ประการคือ แรงขับของก๊าซที่เกิดจากการเผาไหม้ดินส่กระสุนปืนเพื่อใช้เป็นความเร็วต้นของลูกกระสุนปืน รวมทั้งชนิดอาวุธปืนที่นำกระสุนปืนไปใช้ สำหรับอาวุธปืนชนิดล้ากล้องมีเกลียวไม่นิยมใช้ลูกกระสุนปืนแบบกลม (Schwoeble and Exline 2000 : chap. 5 par. 15) เดิมลูกกระสุนปืนทำมาจากเหล็ก ต่อมาเปลี่ยนเป็นตะกั่ว เนื่องจากคุณสมบัติที่มีน้ำหนักดี หลอมและหล่อขึ้นรูปได้ง่าย และมีราคาถูก (วิวัฒน์ ชินวร 2547 : 13) อนึ่ง การศึกษานี้ให้ความสำคัญกับอนุภาคเขม่าปืน จึงกล่าวถึงเนื้อหาลูกกระสุนปืนโดยสรุป

2.2.1.1 ประเภทหัวกระสุนปืน เมื่อพิจารณาโครงสร้างและส่วนประกอบอาจแบ่งเป็น unjacketed และ jacketed bullet (Schwoeble and Exline 2000 : chap. 5 par. 16)

Unjacketed bullet หรือ lead bullet (ภาพที่ 29) เป็นกระสุนปืนที่ทำมาจากตะกั่ว หรือใช้โลหะแอนติโมนี (Sb) หรือดีบุก (Sn) ผสมโดยมีตะกั่ว (Pb) เป็นส่วนประกอบหลัก (lead alloys bullet) (Schwoeble and Exline 2000 : chap. 5 par. 26) ลูกกระสุนปืนประเภทนี้ไม่เหมาะสมสำหรับกระสุนปืนที่มีความเร็วสูง เนื่องจากความร้อนจากการระเบิดและการเผาไหม้ทำให้ตะกั่วบริเวณฐานและด้านข้างของลูกกระสุนปืนละลาย ทำให้มีเศษของตะกั่วติดค้างภายในล้ากล้องปืน



ภาพที่ 29 แสดงตัวอย่าง unjacketed bullet (รูปซ้าย) ชนิด lead round nose-LRN ที่เป็นลูกกระสุนปืนชนิดธรรมดาทั่วไป ปลายมีลักษณะมนและฐานมี hollow base หรือหลุมว้า รูปกลาง lead wad cutter-LWC หรือ match-MCH (โดย MCH มีความยาวมากกว่า) คือลูกกระสุนปืนมีส่วนปลายเป็นแบบตัดตรง ฐานมีกรวยกลวงลึก เมื่อบรรจุปลอกกระสุนปืน ส่วนปลายหัวกระสุนปืนมีแนวเสมอกับปลอกกระสุนปืน และ (รูปขวา) lead SEMIwad cutter-LSWC หรือลูกกระสุนปืนที่ส่วนปลายซึ่งเป็นส่วนน้อยที่อยู่พ้นปลอกกระสุนปืน ถูกตัดริมขอบโดยรอบ มีลักษณะตัดตรงกึ่งมน และมีขนาดเล็กกว่าส่วนใหญ่อยู่ในปลอกกระสุนปืน ฐานลูกกระสุนปืนแบบ plain base หรือเรียบเสมอกัน

ที่มา : Modern Firearm & Ammunition, Ammunition, Common Bullet Types [Online], accessed 21 April 2008. Available from <http://world.guns.ru/ammo/bullets-e.htm>

Jacketed bullet คือลูกกระสุนปืนที่ใช้โลหะอื่นซึ่งแข็งกว่าหุ้ม (jacket) ผิวนอกของแกนลูกกระสุนปืน (core) ที่ทำจากตะกั่วและหรือเหล็ก (ภาพที่ 30) นิยมใช้กับกระสุนปืนที่มีความเร็วสูง โลหะที่ใช้หุ้มแกนลูกกระสุนปืน เช่น ทองแดง (Cu) และสังกะสี (Zn), ทองแดง (Cu) และนิกเกิล (Ni) เหล็กชุบทองแดง (Cu) หรือ นิกเกิล (Ni) รวมทั้งอะลูมิเนียม (Al) (วิวัฒน์ ชินวร 2547 : 13-15; Schwoeble and Exline 2000 : chap. 5 par. 16) ทั้งนี้ ลูกกระสุนปืนบางชนิดบรรจุแกนตะกั่ว 2 ชั้น



ภาพที่ 30 แสดงตัวอย่างลูกกระสุนปืน jacketed hollow point-JHP หรือลูกกระสุนปืนชนิดที่มีแกนกระสุนปืนซึ่งถูกหุ้มด้วยโลหะเกือบหมดทั้งลูก ยกเว้นบริเวณหัวกระสุนที่มีรูตรงกลางลึกลงไปเนื้อของแกนลูกกระสุนปืน ใช้เป็นกระสุนลูกแตกที่บานออกเมื่อกระทบวัตถุ (รูปซ้าย) full metal jacket-FMJ หรือ metal case-MC คือลูกกระสุนปืนมีส่วนปลายมนและหุ้มด้วยโลหะเกือบทั้งลูกยกเว้นฐานกระสุนปืน ซึ่งทำให้ต่างจาก total metal jacket-TMJ ที่หุ้มทั้งลูกโดยฐานกระสุนปืนเป็นแบบเรียบ (รูปกลาง) และ jacketed soft point-JSP เป็นลูกกระสุนปืนลูกแตกที่ลูกกระสุนเกือบทั้งหมดหุ้มด้วยโลหะเว้นส่วนปลาย ของแกนลูกกระสุนปืน โดยบริเวณปลายมีลักษณะตัดตรงไม่มีรู (รูปขวา)

ที่มา : Modern Firearm & Ammunition, Ammunition, Common Bullet Types [Online], accessed 21 April 2008. Available from <http://world.guns.ru/ammo/bullets-e.htm>

2.2.1.2 รูปร่างหัวกระสุนปืน มีลักษณะแตกต่างกันไปตามความต้องการในการใช้งาน กระสุนปืนที่มีหัวกระสุนกลมมนหรือหัวบอล เช่น lead round nose-LRN, total metal jacket-TMJ และ full metal jacket-FMJ เป็นที่นิยมใช้ทั่วไป หากต้องการลูกกระสุนปืนมีอำนาจทะลุทะลวงต้องใช้หัวกระสุนปืน metal piercing-MP หรือ armor piercing-AP ที่มีแกนทำจากเหล็กปลายแหลมหรือ power point-PP และ spire point-SPP ที่ใช้ลูกกระสุนปืนแบบหัวแหลมชนิดหัวเจาะเกราะ กระสุนปืนที่นิยมใช้ซ่อมยิงเป้ามักมีปลายลูกกระสุนปืนแบบตัดตรง เช่น lead wad cutter-LWC, match-MCH และ jacketed flat point-JFP หรือตัดริมขอบโดยรอบ เช่น lead SEMIwad cutter-LSWC นอกจากนี้ได้ออกแบบให้ลูกกระสุนปืนแตกหรือบานออกได้เมื่อกระทบวัตถุเรียกว่าหัวรูหรือหัวระเบิด เช่น jacketed soft point-JSP, jacketed hollow point-JHP และ flat nose soft point-FNSP ทั้งยังได้บรรจุสิ่งอื่นไว้บริเวณส่วนปลายของลูกกระสุนปืน (tip) เช่น nosler ballistic tip-NBT ที่ใช้ polycarbonate tip และ Sierra blitzking-sbk ซึ่งใช้ plastic tip

2.2.2 ปลอกกระสุนปืน (cartridge case หรือ bullet case) คือ ส่วนที่ห่อหุ้มภายนอก ที่มีลักษณะเป็นหลอดทรงกระบอกประกอบกับฐาน ภายในใช้บรรจุดินส่กระสุนปืน ส่วนปลายปลอกบรรจุลูกกระสุนปืน และบรรจุขนาดไว้บริเวณฐานของปลอก (cartridge base) กระสุนปืนสำหรับอาวุธปืนสั้นและปืนยาวเล็ก นิยมใช้ปลอกกระสุนปืนที่ทำมาจากโลหะ ซึ่งง่ายต่อการเก็บรักษา มีความทนต่อความดันของก๊าซที่เกิดจากการเผาไหม้ของดินส่กระสุนปืน และสามารถขยายตัวได้แนบสนิทกับผนังรังเพลิงท้ายลำกล้องปืน เพื่อป้องกันไม่ให้ก๊าซรั่วย้อนออกบริเวณช่องว่างระหว่างปลอกกระสุนปืนและผนังรังเพลิง อันเป็นการป้องกันอันตรายที่อาจเกิดขึ้นกับผู้ยิง (วิวัฒน์ ชินวร 2547 : 7; Wallace 1990; Warlow 2005 : chap. 1 pt. 1.2 pars. 3-4) และหากวัสดุที่นำมาทำปลอกกระสุนปืน

มีคุณสมบัติอ่อนตัวมากเกินไป ย่อมทำให้ปลอกกระสุนปืนไม่หดตัวเมื่ออุณหภูมิลดลง เป็นเหตุให้การคัดปลอกกระสุนปืนทำได้ยาก และในทางตรงกันข้ามหากมีคุณสมบัติที่แข็งตัวเกินไปย่อมไม่มีการขยายและหดตัวเมื่อได้รับความร้อนและเมื่ออุณหภูมิลดลง ซึ่งเป็นเหตุให้เกิดการแตกร้าวของปลอกกระสุนปืนได้ (Wallace 1990) สำหรับกระสุนปืนที่ใช้กับอาวุธปืนยาวลูกซองมักใช้กระดาษหรือพลาสติกที่ทนความร้อนและแรงดันมาทำเป็นปลอกกระสุนปืน

ในปัจจุบัน โลหะที่นิยมนำมาทำปลอกกระสุนปืนคือทองเหลือง (copper zinc alloys) ซึ่งเป็นโลหะผสมระหว่างทองแดง (Cu) และสังกะสี (Zn) ในอัตราส่วนทองแดง 70% และสังกะสี 30% ปลอกทองเหลืองเป็นที่นิยมเพราะมีคุณภาพที่แข็งพอดี มีการขยายและการหดตัวดี ราคาไม่แพง ง่ายต่อการผลิตและการขึ้นรูป สามารถนำกลับไปอัดใช้ใหม่ และเป็นสนิมยาก (Wallace 1990; Schwoeble and Exline 2000 : chap. 5 pars. 9-10) ปลอกกระสุนปืนที่ทำมาจากโลหะชนิดอื่น เช่น stainless steel (iron-carbon alloy ผสมโครเมียม (Cr)) ที่ทำให้ปลอกกระสุนปืนมีสีชาวมันวาว ส่วนอะลูมิเนียม (Al) ที่ทำให้ปลอกกระสุนปืนเป็นสีชาวด้าน หรืออาจใช้เหล็กชุบทองแดงหรืออีpoxy และอบด้วยความร้อนเพื่อป้องกันสนิม อนึ่ง ปลอกกระสุนปืนชนิดที่ไม่ได้ทำมาจากทองเหลืองใช้ได้ครั้งเดียว ไม่สามารถนำกลับไปอัดเพื่อใช้ใหม่ได้อีก (วิวัฒน์ ชินวร 2547 : 16-17)

2.2.2.1 ตัวปลอกกระสุนปืน (ภาพที่ 31) ผลิตขึ้นใน 3 รูปแบบ (วิวัฒน์ ชินวร 2547 : 17) คือ straight case ที่ปลอกกระสุนปืนมีรูปร่างแบบทรงตรง tapered case เป็นปลอกกระสุนปืนที่เรียวหรือสอบเข้าหาส่วนปลายปลอก และ bottlenecked case เป็นปลอกกระสุนปืนที่มีรูปร่างแบบคอขวด



ภาพที่ 31 ปลอกกระสุนปืน (เรียงจากซ้ายไปขวา) แบบ straight, tapered และ bottlenecked ที่มา : International Ammunition Association, A Guide to Ammunition Collecting, A Cartridge Collector's Glossary [Online], accessed 15 April 2008. Available from <http://cartridgecollectors.org/glossary.htm>

2.2.2.2 งานทำยกระสุนปืนหรือฐานปลอกกระสุนปืน (cartridge base หรือ cartridge head-stamp หรือ rim) นอกจากได้ใช้สำหรับบรรจุชนวนแบบ rim fire และ center fire (ภาพที่ 27) ยังได้ออกแบบให้มีอยู่ด้วยกัน 2 ชนิดใหญ่ (ภาพที่ 32) โดยทั่วไปนิยมแบ่งออกเป็น 5 ชนิด (Schwoeble and Exline 2000 : chap. 5 par. 14)

1. กระสุนปืนชนิดที่ไม่มีร่องลึกอยู่เหนืองานทำยโดยรอบปลอกกระสุนปืน หรือ rimmed-r เป็นกระสุนปืนที่มีงานทำยปิดไว้เต็มบริเวณท้ายปลอกกระสุน โดยที่งานทำยกระสุนปืน มีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่าตัวปลอกกระสุนปืน ทำให้เกิดริมขอบที่เป็นบ่าหรือปีกยื่นออกมาโดยรอบ เพื่อกันไม่ให้ปลอกกระสุนปืนหลุดเข้าไปในรังเพลิงหรือลูกไม่ปืน

2. กระสุนปืนชนิดที่มีร่องลึกอยู่เหนืองานทำยโดยรอบปลอกกระสุนปืน แบ่งออกเป็น semi-rimmed -SR เป็นกระสุนปืนที่มีงานทำยกระสุนปืนแบบบ่าโดยรอบซึ่งแตกต่างไปจาก rimmed โดยมีร่องลึกอยู่เหนืองานทำยโดยรอบปลอกกระสุนปืน เพื่อประโยชน์ในการรั้งและคัดปลอกกระสุนปืน จึงใช้กระสุนปืนชนิดนี้กับอาวุธปืนกึ่งอัตโนมัติ rimless มีลักษณะคล้าย semi-rimmed คือมีร่องลึกโดยรอบเหนืองานทำย แต่ต่างกันตรงที่งานทำยของกระสุนปืนชนิด rimless มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับตัวปลอกกระสุนปืน จึงทำให้ไม่มีบ่าหรือปีกยื่นออกมาโดยรอบ belted-B เป็นกระสุนปืนแบบมีร่องลึกและใช้งานทำยกระสุนปืนที่แข็งแรงเป็นพิเศษ เพื่อสามารถทนต่อแรงดันที่เกิดขึ้นจำนวนมาก โดยมิลักษณะเป็นวงแหวนหรือเทปอยู่เหนือร่องลึกโดยรอบ พบในกระสุนปืนที่ใช้สำหรับอาวุธปืนยาวเล็กประสิทธิภาพสูงและอาวุธปืนทหาร รวมทั้งกระสุนปืน magnum และ rebated-RB ลักษณะคล้าย rimless มีร่องลึกโดยรอบเหนืองานทำย แต่ต่างกันที่งานทำยของกระสุนปืน rebated มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่าตัวปลอก



ภาพที่ 32 งานทำยกระสุนปืน (เรียงลำดับจากซ้ายไปขวา) ชนิด rimmed, semi-rimmed, rimless, belted และ rebated

ที่มา : Tom Warlow, Firearms, The Law, and Forensic Ballistics : International Forensic Science and Investigation Series, 2nd ed. Florida : CRC Press LLC, 2005 [Online], accessed 21 March 2008. Available from Chiang Mai University Library : Online e-books : http://www.forensicnetbase.com/books/1861/tf1703_01.pdf

2.2.3 ดินส่กระสุนปืน (propellant หรือ powder charge) เป็นของแข็ง ซึ่งขณะถูกเผาไหม้จะให้พลังงานเคมีที่เปลี่ยนรูปเป็นพลังงานจลน์ (kinetic energy) และความดันก๊าซปริมาณมากในช่วงเวลาอันสั้น เพื่อใช้ขับเคลื่อนกระสุนปืน (Nag and Sinha 1992) ดินส่กระสุนปืนมีอยู่หลายชนิด โดยมีรูปร่าง ขนาด สี และลักษณะการเผาไหม้ที่แตกต่างกันไป (Pun and Gallusser 2008)

2.2.3.1 black powder (bp) หรือ gun powder (ดินดำ) มีพัฒนาการจากส่วนผสมที่ใช้ในการประดิษฐ์ประทัดและดอกไม้เพลิง (pyrotechnic composition) โดยผลิตขึ้นครั้งแรกในประเทศจีนและอินเดียเมื่อประมาณ 1,000 ปีก่อน ดินดำที่ผลิตขึ้นเพื่อใช้สำหรับส่กระสุนปืนเป็นส่วนผสมระหว่างดินประสิว* (saltpetre หรือ potassium nitrate) ถ่านไม้ (charcoal หรือ carbon) และซัลเฟอร์ (sulfur) ซึ่งสารผสมเหล่านี้ได้ใช้มาตั้งแต่เริ่มแรกจนปัจจุบัน โดยอัตราส่วนผสมได้ปรับปรุงเพื่อให้เกิดการเผาไหม้ที่เหมาะสมเป็นลำดับ (ตารางที่ 1) กระบวนการ เทคนิค อัตราส่วนผสมหรือถ่านไม้ที่ใช้ อีกทั้งรูปร่างและขนาดมีความแตกต่างกันไป เช่น $1f_g$ $2f_g$ $3f_g$ และ $4f_g$ ที่เรียงจากใหญ่ไปเล็ก เม็ดเล็กถูกเผาไหม้ได้เร็วกว่า (Warlow 2005 : chap. 1 pars. 1-6)

ตารางที่ 1 อัตราส่วนโดยน้ำหนักของโพแทสเซียมไนเตรต (saltpetre) ถ่านไม้ (charcoal) และซัลเฟอร์ (sulphur) ในดินดำ (%)

ปี ค.ศ.	saltpetre	charcoal	sulphur
1250	41.2	29.4	29.4
1350	66.6	22.2	11.1
1550	50.0	33.3	16.6
1650	66.6	16.6	16.6
1750	75.0	12.5	12.5
1751-ปัจจุบัน	75.0	15.0	10.0

ที่มา : Tom Warlow, Firearms, The Law, and Forensic Ballistics : International Forensic Science and Investigation Series, 2nd ed. (Florida : CRC Press LLC, 2005) [Online], accessed 21 March 2008. Available from Chiang Mai University Library : Online e-books : http://www.forensicnetbase.com/books/1861/tf1703_Ch01.pdf

*ดินประสิวหรือโพแทสเซียมไนเตรต (KNO_3) ผลิตขึ้นด้วยกระบวนการทางเคมีที่อาศัยปฏิกิริยาระหว่างโซเดียมไนเตรดกับโพแทสเซียมคลอไรด์ ($NaNO_3 + KCl \rightarrow KNO_3 + NaCl$) ทั้งยังผลิตจากแอมโมเนียมไนเตรดกับโพแทสเซียมคลอไรด์ ($NH_4NO_3 + KCl \rightarrow KNO_3 + NH_4Cl$) และโพแทสเซียมคลอไรด์กับกรดไนตริก ($4KCl + 4HNO_3 + O_2 \rightarrow 4KNO_3 + 2Cl_2 + 2H_2O$)

ปัจจุบันดินดำไม่เป็นที่นิยมเมื่อเทียบกับดินควันน้อย เพราะในธรรมชาติ ดินประสิ่วหรือโพแทสเซียมไนเตรต (KNO_3) มีปริมาณน้อยเพราะอยู่บนกับโซเดียมไนเตรต (NaNO_3) อัตราส่วนของดินดำโดยน้ำหนักที่นิยมใช้ คือ ดินประสิ่ว 75% ถ่านไม้ 15% และซัลเฟอร์ 10% ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่เกิดการเผาไหม้ได้ดี เหลือกากน้อยที่สุด ให้แรงดันสูง และช่วยขับลูกกระสุนปืนด้วยความเร็วต้นที่เหมาะสม โดยมีความไวต่อประกายไฟ ติดไฟที่อุณหภูมิ 320°C (600°F) ดินดำที่มีการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ จะเกิดปฏิกิริยาเคมีดังนี้ (รัชการณ กิตติสุขภู 2535 : 8) คือ $2\text{KNO}_3 + 3\text{C} + \text{S} \rightarrow 3\text{CO}_2 + \text{K}_2\text{S} + \text{N}_2$ โดยดินประสิ่วยังใช้เพื่อช่วยในการเผาไหม้ เกิดปฏิกิริยาเคมีดังนี้ $2\text{KNO}_3 \rightarrow 2\text{KNO}_2 + \text{O}_2$

2.2.3.2 black powder substitutes เป็นดินส่งกระสุนปืนที่ผลิตขึ้นโดยใช้สารผสมชนิดอื่นเพื่อทดแทนดินดำ ซึ่งประกอบไปด้วย potassium nitrate, potassium perchlorate (KClO_4), benzoic acid ($\text{C}_7\text{H}_6\text{O}_2$) และนิยมใช้ ascorbic acid (vitamin c) แทนการใช้ sulfur และยังได้ใช้ dicyanodiamide (dcda) เพื่อควบคุมการเผาไหม้ (Mahoney, Gillen and Fahey 2006 : 40)

2.2.3.3 pyrodex เป็นดินส่งกระสุนปืนขนาดเล็กๆ (pellet) โดยใช้สารผสมหลักของดินดำแต่มีอัตราส่วนแตกต่างไปจากเดิม และเพิ่มเติมด้วยสาร organic (Mahoney et al. 2006 : 40) (ตารางที่ 2) ส่งผลให้น้ำหนักน้อยกว่าดินดำถึง 20 % ในปริมาตรที่เท่ากัน และมีอุณหภูมิติดไฟอยู่ที่ 400°C (750°F) ซึ่งสูงกว่าดินดำ (Warlow 2005 : chap. 1 par. 7) อีกทั้งลักษณะภายนอกยังแตกต่างไปจากดินดำ เพราะ pyrodex เป็นเม็ดสีเทา บางส่วนโปร่งแสง (วิวัฒน์ ชินวร 2547 : 19) มี 3 ขนาด CTG สำหรับกระสุนปืนขนาดใหญ่ RS สำหรับปืนไรเฟิลบรรจุปากและปืนลูกซอง และ P ปืนพกบรรจุปาก

ตารางที่ 2 ตัวอย่างแสดงส่วนผสมของ pyrodex

the formulation of pyrodex	
potassium nitrate	45 parts
charcoal	9 parts
sulphur	6 parts
potassium perchlorate	19 parts
sodium benzoate	11 parts
dicyandiamide (1-cyanoguanidine)	6 parts
dextrin	4 parts
wax/graphite	< 1 part

ที่มา : Tom Warlow, Firearms, The Law, and Forensic Ballistics : International Forensic Science and Investigation Series, 2nd ed. (Florida : CRC Press LLC, 2005) [Online], accessed 21 March 2008. Available from Chiang Mai University Library : Online e-books : http://www.forensicnetbase.com/books/1861/tf1703_Ch01.pdf

2.2.3.4 smokeless powder ดินควันน้อยถูกพัฒนาขึ้นหลังจากการค้นพบ nitrocellulose และ nitroglycerine (วิวัฒน์ ชินวร 2547 : 19) แต่ด้วยความปลอดภัยในการใช้อาวุธปืนและอนุภาพของแรงระเบิด ดินส่งกระสุนปืนในระยะแรกทำมาจาก nitrocellulose (Warlow 2005 : chap. 1 pt. 1.4 par. 1) ดินควันน้อยใช้งานได้ดีมีประสิทธิภาพ เพราะให้การระเบิดที่รุนแรงเผาไหม้ได้เร็ว มีควันเกิดขึ้นน้อยมาก ไม่เหลือกากหลังการเผาไหม้ ทั้งไม่ทำให้ลากล่องเกิดเป็นสนิมง่าย เมื่อเทียบกับดินดำในปริมาณที่เท่ากัน (รัชการณ กิตติดุขฎฐิ 2535 : 8; Warlow 2005 : chap. 1 pt. 1.4 par. 4)

ดินควันน้อยพัฒนาขึ้นครั้งแรกในปี ค.ศ. 1866 โดย Colonel e. Schultze ที่ผลิต semi-smokeless powder โดยใช้ nitrocellulose* ซึ่งทำจากไม้ (nitrate wood cellulose) ผสมกับ potassium nitrate (KNO_3) และ barium nitrate ($\text{Ba(NO}_3)_2$) (Warlow 2005 : chap. 1 pt. 1.4 par. 2) ดินควันน้อยใช้ nitrocellulose และ nitroglycerine** เป็นส่วนประกอบหลักเพื่อทำหน้าที่สร้างแรงส่งลูกกระสุนปืน (energetic ingredient) ดินควันน้อยมีรูปร่าง และอัตราส่วนผสมที่แตกต่างไปในแต่ละผู้ผลิต นิยมใช้อยู่ 2 ชนิด คือ single-based powder และ double-based powder

1. single-based powder คือดินส่งกระสุนปืนที่ใช้ nitrocellulose เป็นสารหลักเพียงชนิดเดียว ตัวอย่างเช่น poudre b***

*nitrocellulose ($\text{C}_6\text{H}_7(\text{ONO}_2)_3\text{O}$) สารประกอบลักษณะผงสีขาว รู้จักในชื่อของ Guncotton เกิดจากปฏิกิริยาเคมีของ cellulose ($\text{C}_6\text{H}_7\text{O}(\text{OH})_3\text{O}$) และ nitric acid (OHNO_2) ดังนี้ $\text{C}_6\text{H}_7\text{O}(\text{OH})_3\text{O} + 3\text{OHNO}_2 \rightarrow \text{C}_6\text{H}_7(\text{ONO}_2)_3\text{O} + 3\text{H}_2\text{O}$ โดยมี sulfuric acid (H_2SO_4) ป้องกันไม่ให้น้ำเข้าทำปฏิกิริยากับ OHNO_2 ถูกค้นพบโดย Christian Friedrich Schönbein และ Rudolf Böttger ที่ต่างคนต่างค้นพบในปีเดียวกัน (ค.ศ. 1845) nitrocellulose เมื่อเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ ย่อมไม่เหลือกาก โดยมีปฏิกิริยาเคมีดังนี้ คือ $2\text{C}_6\text{H}_7(\text{ONO}_2)_3\text{O} \rightarrow 2\text{CO} + 3\text{N}_2 + 7\text{H}_2 + 10\text{CO}_2$ ปัจจุบันได้นำ nitrocellulose ผสมกับ diethyl ether หรือ acetone เป็นสารละลาย colloxylin solution และ pyroxylin solution สำหรับใช้ทำดินควันน้อย

**nitroglycerine ($\text{C}_3\text{H}_5(\text{NO}_3)_3$) เป็นสารระเบิดที่มีสถานะเป็นของเหลวใสสีเหลืองคล้ายน้ำมัน ค้นพบโดย ascanio sobrero เมื่อปี ค.ศ. 1846 และในปี ค.ศ. 1867 Alfred Nobel ได้ใช้ nitroglycerine และ kieselghur (หรือ diatomaceous earth ที่ประกอบไปด้วย silica 86%, sodium 5%, magnesium 3% และ iron 2%) เป็นสารตั้งต้นเพื่อผลิต trinitrotoluene (TNT) หรือ dynamite

***poudre b เป็นดินควันน้อยที่ผลิตขึ้นเป็นชนิดแรก เมื่อปี ค.ศ. 1884 ผู้ผลิตคือ Paul Vieille โดยนำ nitrocellulose ซึ่งมีสถานะของแข็งผสมกับตัวทำละลายเช่น ethanol หรือ diethyl ether และนวดเข้าด้วยกันเพื่อทำให้อ่อนตัวจนมีลักษณะอ่อนนุ่มคล้ายวุ้น (blasting gelatinized) จากนั้นคลึงหรือกดให้เป็นแผ่น เมื่อแข็งตัวจึงนำมาขึ้นรูปตามต้องการ ทั้งนี้ poudre b เป็นคำย่อมาจาก poudre blanche ซึ่งแปลว่า white powder และยังมีชื่อเรียกเป็นอย่างอื่นอีก คือ vieille powder

ตารางที่ 3 อัตราส่วนโดยน้ำหนักสารผสมในดินควันน้อย singer-based powder (% , w/w)

NC	Ba(NO ₃) ₂	KNO ₃	DPA	DNT	MC	DBP	Others
80.00	8.00	8.00	0.75	-	-	-	3.25
89.00	6.00	3.00	1.00	-	-	-	1.00
87.00	6.00	2.00	1.00	-	-	-	4.00
84.00	7.50	7.50	1.00	-	-	-	-
99.00	-	-	1.00	-	-	-	-
97.70	-	-	0.80	-	-	-	1.50
90.00	-	-	1.00	8.00	-	2.00	-
85.00	-	-	1.00	10.00	-	5.00	-
79.00	-	-	1.00	-	-	-	20.00
98.50	-	-	1.00	-	-	-	0.50
87.9-96.9	-	-	1.00	1.0-10.0	-	-	1.10
NC : nitrocellulose; DPA : diphenylamine; DNT : dinitrotoluene; MC : methyl centralite; DBP : dibutyl phthalate							

ที่มา : H. H. Meng and B. Caddy, “Gunshot Residue Analysis a Review,” Journal of Forensic Science 42, 4 (July 1997) : 554.

2. double-based powder ดินส่งกระสุนปืนซึ่งใช้สารหลักที่ผสมระหว่าง nitrocellulose และ nitroglycerine ตัวอย่างดินควันน้อยชนิดนี้ เช่น ballistic* และ cordite** (Schwoeble and Exline 2000 : chap. 5 par. 17; Warlow 2005 : chap. 1 pt. 1.4 par. 2; Laza et al. 2007 : 842) โดยมีสารผสมอื่น (organic additives materials) เป็นส่วนประกอบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ (ตารางที่ 3 และ ตารางที่ 4) organic additives materials ที่นิยมนำมาใช้ เช่น diphenylamine ((C₆H₅)₂NH) และอนุพันธ์, ethyl centralite (C₁₇H₂₀N₂O), methyl centralite (C₁₅H₁₆N₂O) และ resorcinol (C₆H₄(OH)₂) ที่นำมาใช้เป็น stabilizer เพื่อทำหน้าที่ชะลอปฏิกิริยาการสลายตัวของ energetic ingredient โดย ethyl centralite ยังทำหน้าที่เป็น gelatinize หรือ plasticizer เพื่อให้เกิดการอ่อนตัวและลดความชื้น ยังนำสาร glyceryl triacetate หรือ triacetin

*ballistite ผลิตขึ้นในปี ค.ศ. 1886 (รับสิทธิบัตรเมื่อ ค.ศ. 1888) ผู้ผลิตคือ Alfred Nobel โดยนำ blasting gelatinized หรือ collodion และ nitroglycerine มาผสมในอัตราส่วนที่เท่ากัน ทำให้เป็นเม็ดเล็กๆ อนึ่ง nitroglycerine มีอัตราการระเหยอย่างรวดเร็ว เพื่อลดอัตราการระเหยจึงได้เพิ่มการบูร (camphor) จำนวน 10% ของสารผสม

**cordite ผลิตขึ้นในประเทศอังกฤษ เมื่อปี ค.ศ. 1889 นำไปใช้เป็นดินส่งกระสุนปืนสำหรับอาวุธสงคราม โดยใช้ nitroglycerine และ guncotton gelatinized ในสารละลาย acetone

($C_9H_{14}O_6$), dimethyl phthalate ($C_{10}H_{10}O_4$), diethyl phthalate ($C_{12}H_{14}O_4$) และ dibutyl phthalate ($C_{16}H_{22}O_4$) มาใช้เป็น plasticizer อีกด้วย สำหรับ flash inhibitors ที่ทำหน้าที่ลดการจุดติดไฟ นิยมใช้ dinitrotoluene ($C_7H_6N_2O_4$) และ nitroguanidine ($CH_4N_4O_2$) เคลือบด้วย graphite เป็น coolants และ surface lubricants (Meng and Caddy 1997 : 554; Mahoney et al. 2006 : 40; Laza et al. 2007 : 842)

ตารางที่ 4 แสดงอัตราส่วนโดยน้ำหนักสารผสมในดินควันน้อย Double-based Powder (% , w/w)

NC	NG	EC	DEP	DMP	DNT	DPA	Others
77.45	19.50	0.60	-	-	-	-	2.45
52.15	43.00	0.60	3.00	-	-	-	1.25
51.50	43.00	1.00	3.25	-	-	-	1.25
56.50	28.00	4.50	-	-	11.00	-	-
60.00	37.80	0.90	-	-	-	0.20	1.10
47.00	37.70	1.00	-	14.00	-	-	0.30
58.60	24.20	1.00	-	9.60	6.00	-	0.10
58.5-83.5	15.4-40.0	1.00	-	-	-	-	0.50

NC : nitrocellulose; NG : nitroglycerin; EC : ethyl centralite; DEP : diethyl phthalate; DMP : dimethyl phthalate; DNT : dinitrotoluene; DPA : diphenylamine

ที่มา : H. H. Meng and B. Caddy, "Gunshot Residue Analysis a Review," Journal of Forensic Science 42, 4 (July 1997) : 554.

2.2.4 ขนวนท้ายกระสุนปืน (primer) บรรจุไว้ในปากหรือขอบจานท้ายของ กระสุนปืนชนิด rimfire (ภาพที่ 11) หรือบรรจุในภาชนะคล้ายถ้วย (percussion cup) ขนาดเล็กที่ทำมาจากทองเหลืองหรือทองเหลืองเคลือบด้วยนิกเกิล ผังไว้กลางจานท้ายของกระสุนปืนชนิด centerfire

ขนวนท้ายของกระสุนปืนชนิด centerfire บรรจุในภาชนะคล้ายถ้วย (percussion cup) ใช้โลหะแข็ง (anvil) ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวรับการกระแทกจากเข็มแทงขนวน มีอยู่ 2 แบบ คือ berdan primer ใช้กับปลอกกระสุนปืนที่มีโลหะแข็งรับการกระแทก (anvil) อยู่ภายในปลอกกระสุนปืน และ boxer primer ที่มีโลหะแข็ง (anvil) บรรจุไว้ด้านบนสุดของ primer cup (ภาพที่ 33 และภาพที่ 34) โดยปลอกกระสุนมีช่องหรือรูเล็กๆ ที่เรียกว่า flash-hole ไว้สำหรับให้เปลวไฟ ไอร้อนของก๊าซ และอนุภาคที่เกิดจากการระเบิดของขนวนท้ายกระสุนปืน ผ่านเข้าไปเพื่อจุดดินส่กระสุนปืนให้ลุกไหม้ (Wallace 1990)

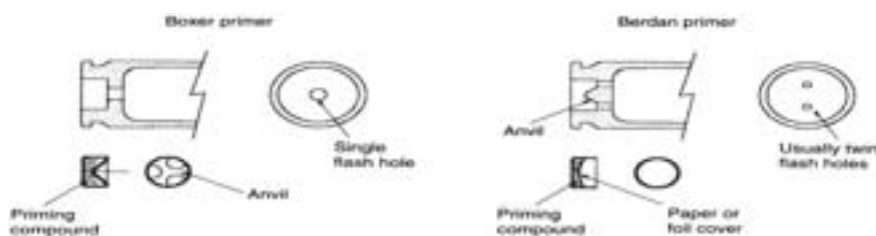


ซ้าย

ขวา

ภาพที่ 33 ภาพตัดขยาย boxer primer แสดงชั้นของส่วนประกอบซึ่งบรรจุใน primer cup ชั้นล่างสุดเป็น primer mixture หรือ explosive compound ชั้นถัดขึ้นไปเป็น foil seal โดยมี anvil โลหะแข็งซึ่งนิยมทำมาจากทองเหลืองเป็นตัวรับการกระแทกจากเข็มแทงชนวนบรรจุไว้บนสุด (รูปซ้าย) ภาพตัดขยาย berdan primer ที่ไม่ได้บรรจุ anvil ไว้ใน primer cup (รูปขวา)

ที่มา : Forensicallyours, Long Range GSR Series : Introduction to Ballistics [Online], accessed 7 May 2008. Available from <http://www.blogit.dodgy-at-best.com/forensicallyours/2006/06/07/long-range-gsr-series-introduction-to-ballistics>



ซ้าย

ขวา

ภาพที่ 34 ภาพตัดขยาย boxer primer ใช้กับปลอกกระสุนปืนชนิด single flash-hole (รูปซ้าย) และภาพตัดขยาย berdan primer ซึ่งใช้กับปลอกกระสุนปืน twin flash-holes (รูปขวา)

ที่มา : Tom Warlow, Firearms, The Law, and Forensic Ballistics : International Forensic Science and Investigation Series, 2nd ed. (Florida : CRC Press LLC, 2005) [Online], accessed 21 March 2008. Available from Chiang Mai University Library : Online e-books : http://www.forensicnetbase.com/books/1861/tf1703_Ch01.pdf

2.2.4.1 ส่วนประกอบของชนวนท้ายกระสุนปืน (primer mixture) เป็นส่วนผสมของสารประกอบอนินทรีย์ (inorganic compounds) โดยมีหน้าที่สำคัญเพื่อใช้จุดดินส่งกระสุนปืน ซึ่งเป็น กระบวนการเริ่มต้นของการทำงานของเครื่องกระสุนปืน ส่วนประกอบที่ใช้มีอยู่หลายชนิด ตามที่ Schwoeble และ Exline (2000 : chap. 5 pars. 18-19) ได้จำแนกไว้เป็น 2 ประเภทหลัก คือ major component ซึ่งได้แก่ initiator, oxidizer และ fuel และ irritable component เช่น sensitizer และ binders ที่ใช้เพื่อเพิ่มการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ ทั้งนี้ major component มีความสำคัญต่องานด้านนิติวิทยาศาสตร์ เนื่องด้วยเป็นสารที่สามารถนำมาที่ได้จากการเผาไหม้มาใช้เพื่อเป็นข้อมูลและยืนยันข้อเท็จจริงในตรวจพิสูจน์เขม่าปืน (Schwoeble and Exline 2000 : chap. 5 pat. 5.6 pars. 1-2)

1. initiator, initial detonating หรือ initiating explosive คือสารที่ทำหน้าที่เป็นเชื้อปะทุเริ่มการเผาไหม้หรือวัตถุระเบิดเริ่มต้น ซึ่งต้องใช้สารที่มีคุณสมบัติระเบิดเป็นประกายไฟได้ด้วยการถูกระแทกโดยไม่ต้องใช้ไฟจุด เช่น mercury fulminates ($\text{Hg}(\text{CNO})_2$), lead stephanie ($\text{PbO}_2\text{C}_6\text{H}(\text{NO}_2)_3$), lead trinitroresorcinol ($\text{PbO}_2\text{C}_6\text{H}_5(\text{NO}_2)_3$), tertrazine ($\text{C}_2\text{H}_2\text{N}_4$) และ diazole ($\text{C}_3\text{H}_4\text{N}_2$)

2. sensitizer ทำหน้าที่กระตุ้นการเผาไหม้ เพื่อปรับปรุงการติดไฟและเผาไหม้ของ initiator สารกระตุ้นที่นิยมใช้โดยทั่วไปคือ guanylnitrosoaminoguanyltetraene หรือ tetraene ($\text{C}_2\text{H}_8\text{N}_{10}\text{O}$) รวมทั้งเศษแก้ว (ground glass) ที่ใช้สำหรับกระตุ้นการเผาไหม้ด้วยการเสียดสี (frictionator) ซึ่งนิยมใช้ในกระสุนปืนชนิด rimfire

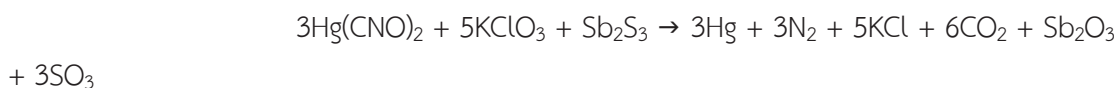
3. oxidizer หรือ oxidizing agent ใช้ barium nitrate ($\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$), strontium nitrate ($\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$), potassium nitrate (KNO_3) และ zinc peroxide (ZnO_2) เป็นสารทำหน้าที่ให้ออกซิเจนเพื่อช่วยเพิ่มความร้อนในการเผาไหม้ของ initiating explosive และ fuel

4. fuel คือเชื้อเพลิง ซึ่งต้องเป็นสารที่มีอัตราการเผาไหม้อย่างรวดเร็วและให้เปลวไฟในขณะที่ถูกเผาไหม้ โดยเปลวไฟที่เกิดขึ้นนี้ถูกนำไปใช้จุดดินส่งกระสุนปืนเพื่อขับเคลื่อนกระสุนปืนต่อไป สารที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงในปัจจุบันคือ antimony trisulphide หรือ stibnite (Sb_2S_3), calcium silicide (CaSi_2) และ titanium (Ti)

5. binders หรือ binding agent (Druy 1999) ที่มักใช้ polyvinyl, gum arabic และ glue ทำหน้าที่เพิ่มการยึดเกาะระหว่างสารผสมชนิดต่างๆ ที่เป็นส่วนประกอบของชนวนท้ายกระสุนปืน เพื่อช่วยเพิ่มความไวต่อการจุดระเบิดและเผาไหม้

2.2.4.2 สูตรผสมของชนวนท้ายกระสุนปืน (primer formulation) พิจารณาจากคุณสมบัติของสารประกอบเคมี อาจจำแนกออกเป็น 3 กลุ่ม

1. corrosive primer composition (CPC) เป็นชนวนท้ายกระสุนปืนที่กัดกร่อนพื้นผิวในลำกล้องปืน เริ่มแรกใช้ mercury fulminates ($\text{Hg}(\text{CNO})_2$) เป็นเชื้อปะทุ มี powdered glass เป็นตัวกระตุ้นการเผาไหม้ของเชื้อปะทุ และใช้ berthollet's salt หรือ potassium chlorate (KClO_3) ทำหน้าที่เพิ่มออกซิเจนให้ antimony trisulphide (Sb_2S_3) ซึ่งใช้เป็นสารเชื้อเพลิง โดยมีส่วนผสมของ mercury fulminates ($\text{Hg}(\text{CNO})_2$) 16%–50%, potassium chlorate (KClO_3) 25%–37% และ antimony trisulphide (Sb_2S_3) 25%–55% การจุดระเบิดทำโดยการกระแทก เมื่อระเบิดแล้วเกิดปฏิกิริยาเคมีดังนี้ (Kazimirov et al. 2006 : 359) คือ



และแม้ว่าชนวนท้ายกระสุนปืนตามสูตรนี้ได้ใช้มานานพอสมควร แต่เนื่องจากเชื้อปะทุที่ทำจาก mercury fulminates เป็นสารที่เสื่อมประสิทธิภาพหากเก็บไว้นาน และยังทำให้ปลอกกระสุนปืนที่ทำจากทองเหลือง (copper zinc alloys cartridge) แตกหรือเปราะได้ อีกทั้ง potassium chlorate (KClO_3) ที่ใช้เป็น oxidizer เมื่อถูกเผาไหม้ ทำให้เกิด potassium chloride (KCl) ที่มีคุณสมบัติกัดกร่อนจึงเป็นเหตุให้ลำกล้องปืนเป็นสนิมได้ง่าย จึงเปลี่ยนเป็นชนวนท้ายกระสุนปืนสูตรอื่น (Warlow 2005 : chap. 5 pat. 5.7 par.1)

ในระยะต่อมา สูตรส่วนผสมได้รับการปรับปรุงและใช้ในระหว่างสงครามโลกครั้งที่หนึ่ง ซึ่งยังคงใช้ potassium chlorate (KClO_3) เป็น oxidizer และ antimony trisulphide (Sb_2S_3) เป็นเชื้อเพลิง เปลี่ยน initiating explosive จากเดิม mercury fulminates ($\text{Hg}(\text{CNO})_2$) เป็น sulfur และได้เลิกใช้ ground glass กระตุ้นการเผาไหม้ เนื่องจากเศษแก้วเหล่านี้ทำลายพื้นผิวภายในลำกล้องปืน ส่วนสารผสมชนวนท้ายกระสุนปืนที่ผลิตขึ้นโดย Winchester มีส่วนประกอบสำคัญ คือ potassium chlorate (KClO_3), antimony trisulphide (Sb_2S_3), lead thiocyanide ($\text{Pb}(\text{SCN})_2$) และ trinitrotoluene (tnt หรือ dynamite) ($\text{C}_7\text{H}_5\text{N}_3\text{O}_6$)

2. non-corrosive primer composition (NPC) ถูกพัฒนาขึ้นเมื่อปี ค.ศ. 1911 ในประเทศเยอรมันโดยได้ปรับปรุงชนวนท้ายกระสุนปืนให้เป็นชนิด chlorate-free ที่ประกอบด้วย mercury fulminates ($\text{Hg}(\text{CNO})_2$), barium nitrate ($\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$), antimony trisulphide (Sb_2S_3), picric acid ($\text{C}_6\text{H}_3\text{N}_3\text{O}_7$) หรือ TNP และ ground glass นอกจากนี้ยังมีการใช้ชนวนท้ายกระสุนปืนชนิดนี้ในกองทัพสหรัฐอเมริกา ซึ่งต่างจาก chlorate-free เพียงเล็กน้อยโดยได้ใช้ red phosphorus แทน ground glass (Warlow 2005 : chap. 5 pat. 5.7 pars.2-3) ท้ายที่สุดเปลี่ยน oxidizing agent จากเดิมที่ใช้ potassium chlorate (KClO_3) เป็น barium nitrate, ($\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$), ส่วน initiating explosive ได้เปลี่ยนไปใช้ lead styphnate ($\text{PbO}_2\text{C}_6\text{H}(\text{NO}_2)_3$) และ lead trinitroresorcinate ($\text{PbO}_2\text{C}_6\text{H}_5(\text{NO}_2)_3$) แทนการใช้ mercury fulminates ($\text{Hg}(\text{CNO})_2$) มี tetracene ($\text{C}_{14}\text{H}_8\text{N}_4$) เป็น sensitizer และใช้ antimony trisulphide (Sb_2S_3) เป็นเชื้อเพลิง โดยมีอัตราส่วนต่างกันไป ทั้งนี้ ยังผสมสารชนิดอื่น เช่น calcium silicide (CaSi_2), powdered aluminum (Al), magnesium (Mg) และ titanium (Ti) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการจุดติดส่งกระสุนปืน (ตารางที่ 5)

3. ชนวนท้ายกระสุนปืนของกระสุนปืนชนิดปราศจากตะกั่ว ได้ผลิตขึ้นเนื่องด้วยตะกั่วคือสารพิษที่เป็นอันตรายต่อร่างกาย (Warlow 2005 : chap. 5 pat. 5.7 par. 3) กระสุนปืนชนิดปราศจากตะกั่ว มีชนวนท้ายกระสุนปืนซึ่งไม่มีตะกั่วเป็นองค์ประกอบหรือไม่ก่อให้เกิดสารตะกั่ว และใช้ลูกกระสุนปืนชนิดที่หุ้มแกนลูกกระสุนปืนหมดทั้งลูก (encapsulated projectile) และเริ่มเป็นที่นิยมใช้ในปัจจุบัน (Martiny at el. 2008 : e9-e10) สารที่นำมาผสมเป็นชนวนท้ายกระสุนปืนชนิดนี้ประกอบไปด้วย tertrazine ($\text{C}_2\text{H}_2\text{N}_4$) และ diazole ($\text{C}_3\text{H}_4\text{N}_2$) โดยเป็นสารที่ทำหน้าที่เป็นเชื้อปะทุเพื่อเริ่มกระบวนการเผาไหม้ (initiating explosive) และมี barium nitrate ($\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$), strontium nitrate

ตารางที่ 5 แสดงอัตราส่วนของสารผสมที่พบในชนวนท้ายกระสุนปืนขนาด .22 ชนิด rimfire (%)

component	composition (%)				
	a	b	c	d	e
lead styphnate	36	41	39	43	37
barium nitrate	29	39	40	36	38
antimony trisulphide	9	9	11	0	11
calcium silicide	0	8	0	12	0
lead dioxide	9	0	0	0	0
tetrazine	3	3	4	3	3
ziconium	9	0	0	0	0
pentaerythritol tetranitrate	5	0	0	0	5
nitrocellulose	0	0	6	0	0
lead peroxide	0	0	0	6	6

ที่มา : Tom Warlow, Firearms, The Law, and Forensic Ballistics : International Forensic Science and Investigation Series, 2nd ed. (Florida : CRC Press LLC, 2005) [Online], accessed 21 March 2008. Available from Chiang Mai University Library : Online e-books : http://www.forensicnetbase.com/books/1861/tf1703_Ch05.pdf

($\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$), potassium nitrate (KNO_3) และ zinc peroxide (ZnO_2) โดยใช้เป็น oxidizing agent สำหรับสารเชื้อเพลิง (fuel) มักใช้ antimony trisulphide (Sb_2S_3), calcium silicide (CaSi_2) และ titanium (Ti) โดยยังมีสารชนิดอื่นผสมอยู่ด้วย (Martiny at el. 2008 : e15-e16) ตัวอย่างของกระสุนปืนชนิดปราศจากตะกั่ว เช่น RWS Syntax*, CCI Clean-fire**, Winchester Win-clean***,

*ชนวนท้ายกระสุนปืนที่ผลิตขึ้นโดยบริษัท Rheinisch-Westfälischen Sprengstoff ที่ประกอบด้วย tertrazine ($\text{C}_2\text{H}_2\text{N}_4$) และ diazole ($\text{C}_3\text{H}_4\text{N}_2$) เป็นเชื้อปะทุแทนการใช้ lead styphnate มี zinc peroxide (ZnO_2) เป็นสารเพิ่มออกซิเจน และ titanium (Ti) เป็นเชื้อเพลิง

**ชนวนท้ายกระสุนปืนที่ผลิตโดย Cascade Cartridges, Inc. มีส่วนประกอบคล้าย Syntax แต่ได้ใช้ strontium nitrate ($\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$) เป็นสารผสมหลักโดยทำหน้าที่เป็น oxidizing

***กระสุนปืนที่ผลิตโดย Winchester เป็นชนิดปราศจากตะกั่ว ซึ่งมี barium nitrate, antimony sulfide และ strontium nitrate เป็นส่วนประกอบหลักของชนวนท้ายกระสุนปืน และใช้หัวกระสุนปืนชนิด total metal jacket-TMJ ที่หุ้มแกน (core) หัวกระสุนปืนทั้งลูก

Remington Leadless* และ Federal Ballistic-clean** กระสุนปืนเหล่านี้มีขนาดท้ายกระสุนปืนที่ไม่ได้ใช้ lead styphnate เป็นเชื้อปะทุ อาจส่งผลให้เกิดกรณีผลลบลง (false negative) ในการตรวจวิเคราะห์อนุภาคของเขม่าปืนจากขนาดท้ายกระสุนปืนชนิดนี้ จึงต้องใช้ความรอบคอบอย่างมาก หรือไม่เช่นนั้นต้องพัฒนาการตรวจวิเคราะห์ organic ที่เป็นส่วนประกอบของดินสักระสุนปืน ซึ่งปัจจุบันมีเทคนิคหรือวิธีที่ใช้วิเคราะห์ เช่น Thin Layer Chromatography (TLC), Capillary Electrophoresis (CE), Gas Chromatography/Mass Spectrometry (GC/MS) และ Liquid Chromatography (LC) (Maccreehan and Bedner 2006 : 119; Laza et al. 2007 : 842)

3. การเกิดและแหล่งกำเนิดเขม่าปืน

เขม่าปืน (gunshot residue) คือสิ่งที่เกิดขึ้นภายหลังการยิงปืน อันเป็นผลลัพธ์มาจากส่วนซึ่งเหลืออยู่หลังจากการเผาไหม้ (residues of combustion) ของขนาดท้ายกระสุนปืนและดินสักระสุนปืน ที่ประกอบไปด้วยอนุภาคจากส่วนประกอบของเครื่องกระสุนปืน (particulate materials) ดินสักระสุนปืนส่วนที่ไม่ถูกเผาไหม้ (unburned gunpowder) และเศษโลหะ (metallic chips) ที่ได้จากกระสุนปืนและพื้นผิวภายในลำกล้องปืน (Thornton 1994 : 71, cited by Morales and Vázquez 2004 : 225; Meng and Caddy 1997 : 553; Romolo and Margot 2001 : 195; Diana and Michael 2006; Cruces-bianco, Gamiz-gracia and Garcia-campana 2007 : 217)

3.1 การเกิดเขม่าปืน เขม่าปืนเป็นผลมาจากการทำงานของอาวุธปืนและเครื่องกระสุนปืนที่เกิดขึ้นหลังจากได้เหนี่ยวไกปืน (trigger) โดยเข็มแทงขนาด*** (firing pin) จะเคลื่อนที่ไปกระแทกกับขนาด (primer) ซึ่งอยู่บริเวณท้ายกระสุนปืนของกระสุนปืนที่อยู่ในรังเพลิง (chamber) ทำให้ขนาดท้ายกระสุนปืนระเบิดเกิดเป็นเปลวไฟเพื่อใช้จุดดินสักระสุนปืนให้เกิดการลุกไหม้ต่อไป การระเบิดของขนาดท้ายกระสุนปืนและการเผาไหม้ของดินสักระสุนปืนเกิดขึ้นในช่วงระยะเวลาอันสั้นประมาณ 1 millisecond (Thornton 1994 : abstract) และภายในพื้นที่ที่จำกัด เป็นผลให้อนุภาคและมวลเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหัน เกิดความร้อนและให้ปริมาณก๊าซจำนวนมาก โดยก๊าซที่ได้จะขยายตัวกลายเป็นแรงดันสูงดันออกทุกทิศทาง (รัชนก กิตติสุขวิ 2535 : 8; วิวัฒน์ ชินวร 2547 : 23) ทำให้ปลอกกระสุนปืนขยายตัวแนบกับผนังภายในของรังเพลิง ส่งผลให้บริเวณปลายปลอกกระสุนปืนที่ยึดลูกกระสุน

*กระสุนปืนที่มีขนาดท้ายกระสุนปืนชนิดปราศจากตะกั่ว ใช้ potassium nitrate เป็นส่วนผสมหลัก และได้ใช้ลูกกระสุนปืน total metal jacket-TMJ ที่หุ้มแกนหัวกระสุนปืนทั้งลูก

**กระสุนปืนที่มีขนาดท้ายกระสุนปืนชนิด heavy metal-free มี calcium silicide เป็นสารเชื้อเพลิง ลูกกระสุนปืนทำมาจากสังกะสี (Zn) หรือดีบุก (Sn) ซึ่งหุ้มด้วยทองแดง (Cu)

***เข็มแทงขนาดพบได้ 2 ลักษณะ คือ เข็มแทงขนาดที่รวมไว้เป็นส่วนหนึ่งกับนกปืน พบได้ในอาวุธปืนแบบ revolver และเข็มแทงขนาดที่อยู่แยกต่างหากจากนกปืน (hammer) ซึ่งเคลื่อนที่ได้โดยกลไกของ spring และการกระแทกจากนกปืน พบได้เสมอในอาวุธปืนแบบ semi-automatic และพบได้ในบางครั้งของอาวุธปืนแบบ revolver



ซ้าย

ขวา

ภาพที่ 35 บริเวณที่เขม่าหรืออนุภาคของชนวนท้ายกระสุนปืนและดินส่่งกระสุนปืนถูกแรงระเบิดขับเคลื่อนออกมา ในอาวุธปืนแบบลูกม่ Colt trooper (357 magnum) ลำกล้องปืนยาว 4 นิ้ว บรรจุกระสุนปืนได้ 6 นัด เข้มแทงชนวนอยู่แยกต่างหากจากนกปืน (รูปซ้าย) และ Smith & Wesson model 36 (38 special) ลำกล้องปืนมีความยาว 2 นิ้ว เข้มแทงชนวนรวมกับนกปืน (รูปขวา)

ที่มา : A.J. Schwoeble and David L. Exline, Current Methods in Forensic Gunshot Residue Analysis (Florida : CRC Press LLC, 2000) [Online], accessed 29 February 2008. Available from Chiang Mai University Library : Online e-books : http://www.forensicnetbase.com/book//525/0029_04.pdf



ซ้าย

ขวา

ภาพที่ 36 บริเวณที่เขม่าหรืออนุภาคของชนวนท้ายกระสุนปืนและดินส่่งกระสุนปืนถูกแรงระเบิดขับเคลื่อนออกมา ในอาวุธปืนแบบ semi-automatic Colt 1903 (32 acp) หรือ pocket pistol ลำกล้องปืนยาว 3 3/4 นิ้ว ชองกระสุนปืนบรรจุได้ 8 นัด มี ejection port ทำมุม 90° ทางด้านขวาของลำกล้องปืน (รูปซ้าย) และ Smith & Wesson 39 (9mm luger) ลำกล้องปืนชนิดสั้นมีความยาว 4 นิ้ว ชองกระสุนปืนบรรจุได้ 8 นัด มี ejection port ทำมุม 90° ทางด้านขวาของลำกล้องปืน (รูปขวา)

ที่มา : A.J. Schwoeble and David L. Exline, Current Methods in Forensic Gunshot Residue Analysis (Florida : CRC Press LLC, 2000) [Online], accessed 29 February 2008. Available from Chiang Mai University Library : Online e-books : http://www.forensicnetbase.com/books//525/0029_04.pdf

ปืนไว้เกิดการคลายตัว แรงดันระเบิดทั้งหมดจึงมีทิศทางการกระทำไปทางด้านหน้าหรือบริเวณปลายของปลอกกระสุนปืน ขับให้ลูกกระสุนปืนวิ่งออกจากปลายปลอกกระสุนปืนผ่านทางปากลำกล้องปืน โดยแรงดันยังขับเอากลุ่มไอ (vapors) และก๊าซที่เกิดจากการเผาไหม้ให้ผ่านออกมาทางปากลำกล้องปืน โดยพาเอาเขม่าปืนส่วนที่ไม่ถูกเผาไหม้ (unburned) ออกมาด้วย อนึ่ง กลุ่มก๊าซและไอมายังถูกขับออกทางช่องว่างของลูกโม้ (cylinder) ในปืน revolver (ภาพที่ 35) ปืนกึ่งอัตโนมัติ ถูกขับผ่าน ejection port (ภาพที่ 36)

3.2 แหล่งกำเนิดเขม่าปืน ที่มาหรือส่วนซึ่งทำให้เกิดเขม่าปืนมาจากส่วนประกอบของเครื่องกระสุนปืน และบางส่วนมาจากลำกล้องปืน (Steffen et al. 2007 : 1029)

3.2.1 ขนวนท้ายกระสุนปืน (primer) เป็นที่มาของเขม่าที่เรียกว่า primer residue อันเป็นผลลัพธ์ซึ่งได้มาจาก primer mixture ที่ถูกเผาไหม้เมื่อได้รับความร้อนในระหว่างการจุดระเบิดของขนวนท้ายกระสุนปืน อาจแบ่ง primer residue เป็น 2 กลุ่ม

1. กระสุนปืนชนิดธรรมดา มีเขม่าของขนวนท้ายกระสุนปืนอยู่ 2 ชนิด (Kazimirov et al. 2006 : 359) คือ เขม่าขนวนท้ายกระสุนปืนชนิด corrosive primer (CPC) ประกอบด้วยปรอท (Hg), แอนติโมนี (Sb), โพแทสเซียม (K), คลอรีน (Cl) และซัลเฟอร์ (S) และเขม่าขนวนท้ายกระสุนปืนชนิด non-corrosive primer (NPC) เขม่าที่เกิดจากขนวนท้ายกระสุนปืนชนิดนี้ส่วนใหญ่ (ตารางที่ 6) ประกอบด้วยธาตุตะกั่ว (Pb), แบเรียม (Ba) และแอนติโมนี (Sb) และยังพบว่ามีธาตุอะลูมิเนียม (Al), แคลเซียม (Ca), แมกนีเซียม (Mg), ทองแดง (Cu) และซิลิคอน (Si) (Schwoeble and Exline 2000 : chap. 5 pars. 28)

2. กระสุนปืนชนิดปราศจากตะกั่ว มีขนวนท้ายกระสุนปืนที่ไม่มีตะกั่วเป็นองค์ประกอบ เขม่าที่ได้ประกอบไปด้วยทองแดง (Cu), สังกะสี (Zn), อะลูมิเนียม (Al), ซิลิคอน (Si) และโพแทสเซียม (K) ซึ่งเป็นธาตุองค์ประกอบที่พบได้บ่อยครั้งที่สุด และยังพบว่ามีธาตุแคลเซียม (Ca), เหล็ก (Fe), โซเดียม (Na) ไทเทเนียม (Ti) และซัลเฟอร์ (S) รวมอยู่ด้วย อนึ่ง ขนวนท้ายกระสุนปืนชนิดนี้บางชนิดมีธาตุสตรอนเชียม (Sr) เป็นองค์ประกอบหลักเพียงธาตุเดียว (Oommen and Pierce 2006; Martiny et al. 2008)

เมื่อพิจารณาความแตกต่างของธาตุที่พบในเขม่าที่เกิดจากขนวนท้ายกระสุนปืน ย่อมสามารถแยกแยะได้ว่า เขม่าของขนวนท้ายกระสุนปืนชนิด corrosive มีปรอท (Hg), โพแทสเซียม (K) และคลอรีน (Cl) เป็นองค์ประกอบหลัก ส่วน non-corrosive มีตะกั่ว (Pb) และแบเรียม (Ba) เป็นองค์ประกอบหลัก โดยพบว่ามีแอนติโมนี (Sb) ในเขม่าของขนวนท้ายกระสุนปืนทั้ง 2 ชนิด (Kazimirov et al. 2006 : 360) ทั้งนี้ หากเป็นขนวนท้ายกระสุนปืนชนิดปราศจากตะกั่ว พบว่ามีอะลูมิเนียม (Al), ซิลิคอน (Si) และโพแทสเซียม (K) เป็นธาตุองค์ประกอบที่พบบ่อยครั้งที่สุด (Oommen and Pierce 2006; Martiny et al. 2008)

ตารางที่ 6 ธาตุอันเป็นส่วนประกอบของกระสุนปืนชนิดต่างๆ

ammunition type	jacket type/composition	manufacturer	characteristic primer elements
Winchester 9 mm NATO	124 grain full metal Ranger/copper, zinc	OLIN (Winchester) USA (RA9124N)	Pb, Ba, Sb
Winchester 9 mm Luger (Parabellum)	115 grain silvertip hollow point/copper, zinc, nickel	OLIN (Winchester) USA (X9MMSHP)	Pb, Ba, Sb
Norma 9 mm Luger	116 grain softpoint flatnose/iron, copper, zinc	Norma Cartridge Company, Sweden (19026)	Pb, Ba, Sb
Dynamit Nobel (RWS- Geco) 9 mm Luger	124 grain lead projectile/lead	Dynamit Nobel Germany (2126257)	Pb, Ba, Sb
Lapua 9 mm Luger	123 grain full jacketed bullet/copper, zinc	Lapua Finland (JDBR- R467)	Sr, Zn, Cu
Dynamit Nobel (Sintox) 9 mm Luger	123 grain full jacketed bullet/ iron, copper, zinc	Dynamit Nobel Germany (43-PE)	Ti, Zn

ที่มา : J. Flynn et al., “Evaluation of X-ray Microfluorescence Spectrometry for the Elemental Analysis of Firearm Discharge Residues,” *Forensic Science International* 97, 1 (October 1998) : 25.

3.2.2 ดินส่งกระสุนปืน (propellant) เป็นแหล่งกำเนิดของเขม่าดินปืน ที่มีความแตกต่างไปจากเขม่าของชนวนท้ายกระสุนปืน เพราะให้เขม่าดินปืนประกอบไปด้วยสาร organic และธาตุที่ไม่ใช่โลหะ อย่างไรก็ตาม ดินส่งกระสุนปืนส่วนที่ถูกเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ (burned gunpowder) จะกลายเป็นก๊าซคาร์บอน ก๊าซออกซิเจน และก๊าซไนโตรเจน ลอยไปในอากาศจนหมด (Schwoeble and Exline 2000 : chap. 5 pars. 27)

1. ดินดำ (black powder) ให้เขม่ามากถึง 56% ของน้ำหนัก (de Gaetano and Siegel 1990 : 1087) เขม่าของดินดำเกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ ซึ่งเกิดเป็น potassium carbonate (K_2CO_3), sulfate (SO_4), hydrogen sulfide (H_2S), potassium thiosulphate ($K_2S_2O_3$) และ potassium thiocyanate (KCNS) ทั้งนี้ ยังพบว่าในเขม่าปืนมีธาตุคาร์บอน (C) และ ซัลเฟอร์ (S) รวมอยู่ด้วย แต่หากการเผาไหม้ของดินดำเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์จะเหลือกากน้อยมาก การเผาไหม้ที่สมบูรณ์ของดินดำ ปฏิริยาเคมี คือ $2KNO_3 + 3C + S \rightarrow 3CO_2 + K_2S + N_2$

2. ดินควันน้อย (smokeless power) ให้เขม่าป่นซึ่งประกอบด้วย organic residue ที่ได้มาจากการเผาไหม้ของ nitroglycerine ซึ่งเป็นสารหลักในดินควันน้อยชนิด double-based และสารผสมอื่นๆ (additives) ที่ผสมอยู่ทั้งในดินควันน้อยชนิด single-based และ double-based โดยไม่พบว่ามีธาตุโพแทสเซียม (K) และซัลเฟอร์ (S) เป็นส่วนประกอบของเขม่าที่ได้จากดินควันน้อย ซึ่งสามารถใช้ความแตกต่างนี้ เพื่อแยกแยะระหว่างดินดำและดินควันน้อยออกจากกันได้ (Kazimirov et al. 2006 : 360) organic residue ที่พบในดินควันน้อยแบ่งตามชนิดของดินควันน้อย แบ่งเป็น single-based powder หรือดินควันน้อยที่ใช้ nitrocellulose เป็นหลัก เมื่อถูกเผาไหม้จะกลายเป็นก๊าซลอยไปในอากาศทั้งหมดโดยไม่เหลือกาก ตามปฏิกิริยาเคมีดังนี้ คือ $2C_6H_7(ONO_2)_3O \rightarrow 2CO + 3N_2 + 7H_2 + 10CO_2$ เช่นนี้ เขม่าที่เกิดขึ้นจึงมาจาก additives ชนิดที่ใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของดินส่งกระสุนปืน โดยเขม่าที่พบเป็นเขม่าของ diphenylamine (DPA), dinitrotoluene (DNT), methyl centralite (MC) และ dibutyl phthalate (DBP) และ double-based powder หรือดินส่งกระสุนปืนที่ใช้ nitrocellulose (ที่เผาไหม้โดยไม่เหลือกาก) และ nitroglycerine เป็นสารหลัก เขม่าที่เกิดจากดินควันน้อยชนิดนี้ได้มาจากทั้ง nitroglycerine (NG) ที่เป็นสารหลัก และ additives ชนิดต่างๆ เขม่าที่ได้จึงเป็นเขม่าของ nitroglycerine (NG), ethyl centralite (EC), diethyl phthalate (DEP), dimethyl phthalate (DMP), dinitrotoluene (DNT) และ diphenylamine (DPA)

3.2.3 ปลอกกระสุนปืน (cartridge case) ให้เขม่าตามวัสดุที่นำมาใช้ทำปลอกกระสุนปืน อาทิเช่น เขม่าของเหล็ก (Fe), โครเมียม (Cr), อะลูมิเนียม (Al), นิกเกิล (Ni) และทองแดง (Cu) กับสังกะสี (Zn) ในกรณีที่ปลอกกระสุนปืนทำมาจากทองเหลือง (Schwoeble and Exline 2000 : chap. 5 pars. 25; Kazimirov et al. 2006 : 360)

3.2.4 ลูกกระสุนปืน (bullet หรือ projectile) ในกรณี unjacketed bullet เป็นที่มาเขม่าของตะกั่ว (Pb), แอนติโมนี (Sb) และดีบุก (Sn) jacketed bullet ให้เขม่าของเหล็ก (Fe), ทองแดง (Cu) และสังกะสี (Zn) (Schwoeble and Exline 2000 : chap. 5 pars. 26; Kazimirov et al. 2006 : 360)

3.2.5 ลำกล้องปืน (barrel) เป็นแหล่งกำเนิดเขม่าของเหล็ก (Fe) แมงกานีส (Mn) และโครเมียม (Cr) (Kazimirov et al. 2006 : 360)

3.2.6 ภาชนะบรรจุชนวนท้ายกระสุนปืน (percussion cup) ให้เขม่าที่ขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้ เช่น เขม่าของเหล็ก (Fe), ทองแดง (Cu), สังกะสี (Zn), นิกเกิล (Ni) และดีบุก (Sn) (Schwoeble and Exline 2000 : chap. 5 pars. 28; Kazimirov et al. 2006 : 360)

4. ประเภทเขม่าป่น

แหล่งกำเนิดในแต่ละแหล่งให้เขม่าป่นต่างประเภทกัน เมื่อพิจารณาคุณสมบัติเขม่าป่นพบว่า มีทั้งประเภท organic และ inorganic (ตารางที่ 7) โดยส่วนมากอยู่ในรูป inorganic residue ที่ได้มาจากชนวนท้ายกระสุนปืน (Zadora 2003 : 346; Diana and Michael 2006)

ตารางที่ 7 เหม่าปืน (gunshot) ซึ่งประกอบไปด้วย organic residues และ inorganic residues

compound	abbreviation	usage
nitroglycerine	NC	propellant
resorcinol	RS	stabilizer
2,4-dinitrotoluene	24-DNT	flash inhibitor
2,6-dinitrotoluene	26-DNT	flash inhibitor
2,3-dinitrotoluene	23-DNT	flash inhibitor
dimethyl phthalate	DMP	plasticizer
diethyl phthalate	DEP	plasticizer
dibutyl phthalate	DBP	plasticizer
diphenylamine	DPA	stabilizer
methyl centralite	MC	stabilizer
ethyl centralite	EC	stabilizer
antimony	Sb	fuel
iron	Fe	bullet material
barium	Ba	oxidizing agent
calcium	Ca	fuel
magnesium	Mg	fuel
aluminum	Al	fuel
nickel	Ni	bullet material
zinc	Zn	bullet material
lead	Pb	initiating explosive (lead styphnate)
copper	Cu	bullet material

ที่มา : Ernesto Bernal Morales, and Alma L. Revilla Vázquez, “Simultaneous Determination of Inorganic and Organic Gunshot Residues by Capillary Electrophoresis,” *Journal of Chromatography A* 1061, 2 (December 2004) : 226.

4.1 organic gunshot residues หรือ O-GSR เป็นเหม่าปืนที่เกิดจากการเผาไหม้ของดินส่กระสุนปืน (propellant discharge residue) เทคนิคการตรวจวิเคราะห์อินทรีย์สารจากเหม่าปืน มีพัฒนาการตามลำดับ โดยเดิมใช้การตรวจหา nitrates และ nitrites ที่เกิดขึ้น จากการเผาไหม้ของดินส่กระสุนปืนชนิดดินปืน โดยใช้ dermal nitrate test (Cowan and Purdon 1967, cited by Romolo and Margot 2001 : 196) แต่ในปัจจุบันนิยมใช้ดินส่กระสุนปืนชนิดดินคว้นน้อย ซึ่งจากการตรวจวิเคราะห์ที่ผ่านมาและตามข้อมูลของ FBI laboratory ที่ได้ศึกษาและรวบรวมไว้ พบว่าดินคว้นน้อยมี

เคมีในรูปของสารประกอบ organic จำพวก nitro-compound อยู่ 23 ชนิด (The University of Utah, Eccles Health Sciences Library 2008)

Bratin และคณะ (1981) ได้ใช้เทคนิค High Performance Liquid Chromatography และ electrochemical detection เพื่อตรวจวิเคราะห์หาเคมีปืนจาก nitroglycerine (NG) และ 2,4-dinitrotoluene (24-DNT) โดยเก็บตัวอย่างด้วย cotton swab ที่บริเวณหลังมือข้างที่จับปืนยังสามารถตรวจพบ diphenylamine (DPA) ด้วย oxidative mode แต่เพราะ diphenylamine (DPA) มีขนาดเล็ก การตรวจวิเคราะห์ทำได้แต่ยากกว่าเมื่อเทียบกับการตรวจ nitroglycerine (NG) ต่อมาได้พัฒนาการตรวจวิเคราะห์ด้วยวิธีการแยกขนาดเคมีปืน (size-exclusion) ซึ่งเก็บตัวอย่างจากมือและเสื้อผ้าของผู้ที่ยิงปืน โดยให้ผลเป็นที่น่าพอใจ โดยพบว่าเคมีปืนมี nitrocellulose (NC), nitroglycerine (NG) และ diphenylamine (DPA) แต่พบว่าในบางตัวอย่างซึ่งเก็บจากกลุ่มตัวอย่างที่ไม่เคยสัมผัสอาวุธปืน มี diphenylamine (DPA) อยู่เป็นจำนวนมาก (Loyd 1986) จากนั้น Dahl, Cayton และ Lott (1987) ได้ใช้เทคนิคเดียวกันนี้ เพื่อตรวจวิเคราะห์หาเคมีที่เกิดจาก stabilizers ด้วย diphenylamine (DPA) และ ethyl centralite (EC) ในตัวอย่างเคมีปืนจากมือ 20 ตัวอย่าง โดยใช้อาวุธปืนและลูกกระสุนปืนที่มีขนาดแตกต่างกัน 20 ชนิด พบว่า 19 ใน 20 ตัวอย่าง มี stabilizers อย่างน้อยหนึ่งชนิดจากสองชนิดที่ใช้ในการวิเคราะห์ กล่าวคือพบว่ามี diphenylamine (DPA) 14 ตัวอย่าง และอีก 10 ตัวอย่างพบว่ามี ethyl centralite (EC)

Kee และคณะ (1990) ใช้ Gas Chromatography/Mass Spectrometry สำหรับตรวจวิเคราะห์เคมีปืนจากอาวุธปืนลูกไม่ Wesson .357 magnum โดยพบทั้ง nitroglycerine (NG) และ diphenylamine (DPA)

Northrop และ Maccrehan (1992) ใช้ adhesive film เพื่อเก็บตัวอย่างเคมีปืนจากมือ โดยส่องตัวอย่างด้วยกล้อง stereomicroscope เพื่อแยกอนุภาคของเคมีที่ต้องการตรวจวิเคราะห์ ด้วย ethanol รอให้ตัวอย่างแห้ง จากนั้นทำตัวอย่างให้อยู่ในรูปของสารละลายก่อนนำไปวิเคราะห์ด้วย Micellar Electrokinetic Capillary Electrophoresis พบว่าเคมีปืนจากกระสุนปืนที่ใช้ในการทดลอง ซึ่งแตกต่างกัน 4 ชนิด มีส่วนประกอบดังนี้ คือ nitroglycerine (NG), diphenylamine (DPA), n-nitrosodiphenylamine (N-NO-DPA), 2-nitrodiphenylamine (2-NO₂-DPA), ethyl centralite (EC) และ dibutyl phthalate (DBP) โดยส่วนประกอบที่วิเคราะห์ได้มีความแตกต่างกันไปในแต่ละผู้ผลิต อีกทั้งยังแสดงให้เห็นว่าดินส่กระสุนปืนที่ไม่ได้ถูกจุดให้เผาไหม้ (unfired powder) และดินส่กระสุนปืนที่ถูกเผาไหม้กลายเป็นเคมีปืน (gunshot residue) มีส่วนประกอบที่เหมือนกัน

ด้วยเทคนิคที่ใช้ในการตรวจวิเคราะห์ที่กล่าวมานี้ ทำให้ทราบว่า ดินคว้นน้อยทั้งชนิด single-based, double-based และ triple-based มี nitrocellulose (NC) เป็นส่วนประกอบหลัก โดยมี nitroglycerine (NG) ผสมอยู่ในชนิด double-based และ triple-based ซึ่งมี nitroguanidine ผสมอยู่ด้วย แต่อย่างไรก็ตาม ไม่สามารถนำ nitrocellulose (NC) และ nitroglycerine (NG) มาใช้เพื่อเป็นพยานหลักฐานที่ดีพอสำหรับยืนยันว่าบุคคลนั้นได้ผ่านการยิงปืนมา เนื่องจากเป็นสารที่ใช้กันโดยทั่วไป (West, Baron, and Minet 2007 : 91)

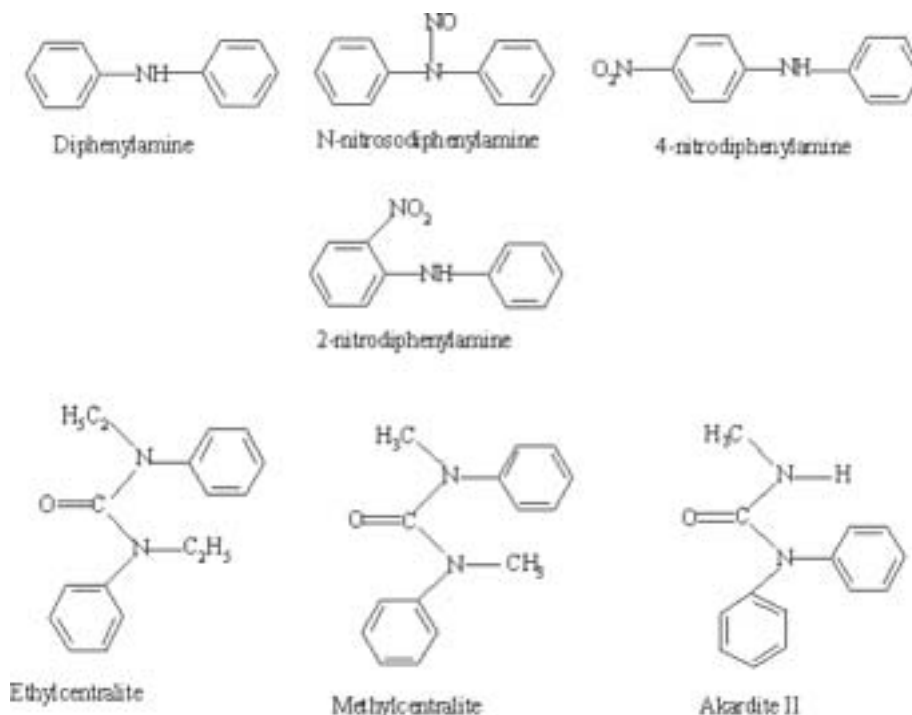
มีข้อมูลว่าปริมาณ nitrocellulose (NC) บนมือและเสื้อผ้าของผู้ผ่านการยิงปืนมีจำนวนสูงถึง 11 pg (Jane et al. 1983 : 475) แต่อาจเกิดจากการปนเปื้อนจากแหล่งกำเนิดอื่น เพราะ

nitrocellulose (NC) ยังใช้ผลิตสี แล็กเกอร์ (lacquers) น้ำยาเคลือบเงา (varnishes) และใช้ในอุตสาหกรรมยา (Yinon et al. 2004 : 306-313, cited by West et al. 2007 : 91) ซึ่งอาจเกิดผลบวกปลอม (false positive) และแม้ตามรายงานของ Loyd (1984) ที่วิเคราะห์หยาบด้วยวิธี size-exclusion chromatography พบว่า nitrocellulose (NC) ในดินคว้นน้อยแตกต่างจาก nitrocellulose (NC) ที่ได้มาจากสิ่งแวดล้อม เนื่องจาก nitrocellulose (NC) ในดินคว้นน้อยมีน้ำหนักโมเลกุลที่มากกว่า แต่มีความเป็นไปได้มากกว่า nitrocellulose (NC) มีน้ำหนักโมเลกุลลดลงจนทำให้ไม่สามารถแยกแยะว่าเป็น nitrocellulose (NC) จากหยาบหรือสิ่งแวดล้อม (Loyd 1986) ซึ่งสอดคล้องกับเนื้อหาในวิทยานิพนธ์ของรัชการณ กิตติสุขภู (2535 : 8) ที่กล่าวไว้ว่า nitrocellulose (NC) เมื่อเผาไหม้โดยสมบูรณ์ย่อมกลายเป็นก๊าซโดยไม่เหลือกาก ด้วยเหตุที่กล่าวมาข้างต้น จึงทำให้คุณค่าทางนิติวิทยาศาสตร์หรือน้ำหนักทางพยานหลักฐานที่ได้จาก nitrocellulose (NC) ลดน้อยลงไปมาก (Tong et al. 2001 : 480-484, cited by West et al. 2007 : 91)

นอกจากได้ใช้ nitrocellulose (NC) เพื่อวิเคราะห์หยาบตามที่ได้กล่าวมาแล้ว ยังได้ใช้ nitroglycerine (NG) สำหรับวิเคราะห์หยาบด้วย แต่กระนั้น nitroglycerine (NG) ไม่ได้ใช้เพื่อผลิตดินคว้นน้อยชนิด double-based และ triple-based เท่านั้น หากยังได้นำไปใช้สำหรับการผลิตยา (Yinon et al. 2004 : 306-313, cited by West et al. 2007 : 91)

มีรายงานการวิจัยที่เห็นตรงกันว่า diphenylamine (DPA) และอนุพันธ์ของ DPA มีคุณค่ามากสำหรับการตรวจวิเคราะห์หยาบ เนื่องจากสามารถตรวจพบ diphenylamine (DPA) ในตัวอย่างที่เก็บมาจากบริเวณมือของผู้ผ่านการยิงปืน ซึ่งพบได้บ่อยครั้งว่ามีเป็นจำนวนมากและปราศจากการปนเปื้อน (Bratin et al. 1981; dahl et al. 1987) แต่ทั้งนี้ diphenylamine (DPA) ถูกนำไปใช้ในการผลิตน้ำหอม (perfumery) อุตสาหกรรมอาหาร (food industry) และอุตสาหกรรมยาง (rubber and elastomer industry) เช่นนี้ จึงไม่สามารถใช้ diphenylamine (DPA) เพียงอย่างเดียวเพื่อการตรวจวิเคราะห์หยาบ (West et al. 2007 : 91) นอกจากนี้ Mach et al. (1987) ได้เสนอลักษณะเฉพาะสำหรับตรวจวิเคราะห์หยาบที่เกิดจากดินคว้นน้อย ซึ่งกำหนดให้ ethyl centralite (EC) เป็นลักษณะเฉพาะประการแรกที่พบได้บ่อยครั้งที่สุด (the first characteristic material) และ 2,4-dinitrotoluene (24-DNT) ที่เป็นลักษณะเฉพาะประการรอง (the second characteristic material) อย่างไรก็ตาม ดินคว้นน้อยที่ผลิตขึ้นอาจไม่ได้ใช้ ethyl centralite (EC) เป็นส่วนประกอบก็ได้ (West et al. 2007 : 91)

เนื่องจากทั้ง nitrocellulose (NC) และ nitroglycerine (NG) เป็นพยานหลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์ที่มีคุณค่าน้อยและไม่นิยมใช้เพื่อวิเคราะห์หยาบ เช่นนี้แล้ว organic additives ชนิดต่างๆ ในดินคว้นน้อย เช่น dinitrotoluene (DNT) ที่ใช้เป็น flash inhibitor หรือ dibutyl phthalate (DBP) ที่ทำหน้าที่เป็น plasticizer โดยเฉพาะอย่างยิ่ง methyl centralite (MC), ethyl centralite (EC) และ diphenylamine (DPA) ที่ทำหน้าที่เป็น stabilizer (ภาพโครงสร้างที่ 1) จึงถูกนำมาใช้เพื่อวิเคราะห์หยาบควบคู่กันไป (Maccrhan 2001; Laza et al. 2007 : 843; West et al. 2007 : 91)



ภาพโครงสร้างที่ 1 โมเลกุล organic additives ชนิดต่างๆ ที่ทำหน้าที่ stabilizer ในดินคั่ววันน้อย
 ที่มา : Desire Laza et al, “Development of a Quantitative LC-MS/MS Method for the Analysis of Common Propellant Powder Stabilizers in Gunshot Residue,” *Journal of Forensic Science* 52, 4 (July 2007) : 844.

ปัจจุบันนี้ มีเทคนิคหรือวิธีที่นำมาปรับใช้สำหรับการตรวจวิเคราะห์เขม่าปืนประเภท O-GSR ซึ่งในการเลือกใช้ขึ้นอยู่กับความไวและชนิดสารที่ต้องการตรวจวิเคราะห์ (Laza et al. 2007 : 844) เช่น หากต้องการวิเคราะห์หาเขม่าปืนจาก nitroglycerine (NG), 2,4-dinitrotoluene (24-DNT), diphenylamine (DPA), methyl centralite (ME) และ ethyl centralite (EC) เทคนิคที่นำมาใช้คือ Gas Chromatography (GC) ที่ห้องปฏิบัติการโดยทั่วไปใช้วิเคราะห์วัตถุระเบิดมาปรับใช้เพื่อวิเคราะห์ แต่หากต้องการหาเขม่าปืนที่เกิดจากดินคั่ววันน้อยจะประยุกต์เป็น Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC/MS) (Fetterolf 1994 : 215-257; Zeichner 2003) High Performance Liquid Chromatography (HPLC) (Bratin et al. 1981; Meng and Caddy 1996; Mathis and Mccord 2005) และ High Performance Liquid Chromatography และ Pendant Mercury Drop Electrode (HPLC/PMDE) (Speers 1994)

การตรวจวิเคราะห์หาเขม่าปืนจาก nitroglycerine (NG), dinitrotoluene (DNT) และอนุพันธ์ของ nitrode เช่น n-nitrosodiphenylamine (N-NO-DPA), 4-nitrodiphenylamine (4-NO₂-DPA) และ 2-nitrodiphenylamine (2-NO₂-DPA) ซึ่งได้มาจากการสลายตัวของ diphenylamine (DPA) ที่ใช้เป็น stabilizer ได้ใช้วิธีดังนี้ คือ Gas Chromatography/Thermal Energy Analyzer (GC/

TEA) (Zeichner 2003) Ion Mobility Spectrometry (IMS) (Zeichner 2003; West et al. 2007) High Performance Liquid Chromatography Coupled to Tandem Mass Spectrometry (HPLC-CT/MS) (Meng and Caddy 1997) และ Liquid Chromatography Coupled to Tandem Mass Spectrometry (LC-CT/MS) (Laza et al. 2007) นอกจากนี้ยังใช้ Micellar Electrokinetic Capillary Electrophoresis (MECE) เพื่อวิเคราะห์สารประกอบอินทรีย์ในเขม่าปืนจำพวกสารระเบิด เช่น ethylene (diethylene glycol dinitrate), nitroglycerine (NG) และ trinitoluene (tnt) (Northrop and Maccrehan 1992)

4.2 inorganic gunshot residues หรือ i-GSR เป็นเขม่าปืนประเภทอนินทรีย์สารที่เป็นผลลัพธ์จากการระเบิดและเผาไหม้ของชนวนท้ายกระสุนปืน (primer discharge residue) เกิดเป็นการตกค้างของเขม่าที่ประกอบไปด้วยอนุภาคของธาตุต่างๆ ที่เป็นส่วนผสมของชนวนท้ายกระสุนปืน เริ่มแรกใช้ mercury fulminates ($\text{Hg}(\text{CNO})_2$) เป็นเชื้อปะทุ (initiating explosive) มี powdered glass เป็นตัวกระตุ้นการเผาไหม้ของเชื้อปะทุ (frictionnator) และใช้ berthollet's salt หรือ potassium chlorate (KClO_3) ทำหน้าที่ oxidizer เพื่อเพิ่มออกซิเจนให้ antimony trisulphide (Sb_2S_3) ซึ่งใช้เป็นสารเชื้อเพลิง (fuel) จากนั้นเปลี่ยนมาใช้ lead styphnate ($\text{PbO}_2\text{C}_6\text{H}(\text{NO}_2)_3$) เป็นตัวจุดระเบิด (initiating explosive) antimony trisulphide หรือ stibnite (Sb_2S_3) เป็นเชื้อเพลิง (fuel) และ barium nitrate ($\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$) ที่ใช้เป็นสารเพิ่มออกซิเจน (oxidizing agent) เขม่าปืนที่เกิดจากชนวนท้ายกระสุนปืนชนิดหลังนี้มีลักษณะเฉพาะ โดยพบอนุภาคของธาตุตะกั่ว (Pb) แบเรียม (Ba) และแอนติโมนี (Sb) ในอนุภาคเดียวกันทุกครั้งบริเวณมือหลังจากการยิงปืน จึงถูกเสนอให้นำมาใช้เพื่อวิเคราะห์หาเขม่าปืนครั้งแรกเมื่อปี ค.ศ. 1959 โดย Harrison and Gilroy (Romolo and Margot 2001 : 196; Morales and Vázquez 2004 : 225) อีกทั้งยังพบว่าเขม่าปืนประเภทอนินทรีย์สารเกิดจากส่วนประกอบอื่นของกระสุนปืน (cartridge discharge residue) ที่ให้อนุภาคของตะกั่ว (Pb) แอนติโมนี (Sb) เหล็ก (Fe) นิกเกิล (Ni) สังกะสี (Zn) และทองแดง (Cu) (Schwoeble and Exline 2000 : chap. 5 pars. 25-28)

อนึ่ง สูตรผสมของชนวนท้ายกระสุนปืนได้รับการพัฒนาเรื่อยมาจนถึงปัจจุบันที่เริ่มใช้ชนวนท้ายชนิดปราศจากตะกั่ว และ nontoxic ที่มี barium nitrate ($\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$), strontium nitrate ($\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$) และ potassium nitrate (KNO_3) ทำหน้าที่เป็น oxidizing agent สำหรับสารเชื้อเพลิง (fuel) มักใช้ antimony trisulphide (Sb_2S_3) และ calcium silicide (CaSi_2) และยังมีสารชนิดอื่นผสมอยู่ด้วย ทำให้ตรวจวิเคราะห์พบว่ามิใช่ธาตุโลหะเช่น โพแทสเซียม (K), แคลเซียม (Ca), แมกนีเซียม (Mg), ซิลิคอน (Si) และอะลูมิเนียม (Al) (Martiny et al. 2008 : e15-e16)

เทคนิคการตรวจวิเคราะห์ที่นิยมใช้ในปัจจุบันอาจแบ่งได้ 2 ลักษณะ คือการตรวจวิเคราะห์เชิงปริมาณ (quantitative analysis) ได้แก่ Neutron Activation Analysis (NAA), Atomic Absorption Spectroscopy (AAS) และ Inductively Coupled Plasma-Spectrometry (ICP-S) และการตรวจวิเคราะห์เชิงคุณภาพ (qualitative analysis) โดยใช้ Scanning Electron Microscopy / Energy Dispersive X-ray Analysis (SEM/EDX)

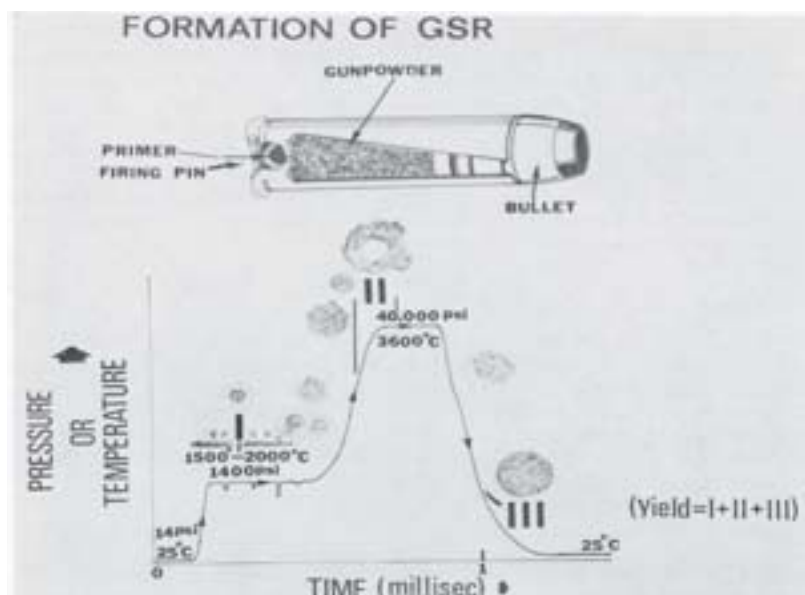
เขม่าปืนในแต่ละประเภทมีวิธีการวิเคราะห์ที่เฉพาะเจาะจงแตกต่างกันไปตามรายงานที่ Meng และ Caddy (1997) ได้รายงานเปรียบเทียบวิธีการตรวจวิเคราะห์เขม่าปืนด้วย organic method และ inorganic method โดยได้เสนอให้วิเคราะห์เขม่าปืนจากส่วนประกอบทั้งที่เป็น organic residues และ inorganic residues (bulk analysis) ต่อมา Morales และ Vázquez (2004) ได้พัฒนาวิธีการสำหรับการตรวจวิเคราะห์ส่วนประกอบของเขม่าปืนทั้งหมดพร้อมกันไป (simultaneous analysis) โดยใช้เทคนิค Micellar Electrokinetic Capillary Electrophoresis หรือ MECE ที่วิเคราะห์ความยาวคลื่นด้วย UV-Vis detector รวมทั้ง Cruces-bianco, Gamiz-gracia และ Garcia-campana (2007) ที่ใช้เทคนิค Capillary Electrophoresis กับ Laser-induced Fluorescence (LiF) เพื่อวิเคราะห์หาเขม่าปืนทั้งชนิด organic residues และ inorganic residues ไปพร้อมกันในการวิเคราะห์คราวเดียว ซึ่งเป็นการวิเคราะห์เขม่าปืนอีกเทคนิคหนึ่งที่ใช้ในปัจจุบัน (Schwoeble and Exline 2000 : chap. 3 par. 2)

5. อนุภาคที่เกิดจากการยิงปืน

อนุภาคที่เกิดจากการยิงปืนหรืออนุภาคเขม่าปืน (gunshot residue particles) เป็นอนุภาคของอนินทรีย์สาร (inorganic GSR) ซึ่งเป็นส่วนประกอบหนึ่งของเขม่าปืน ที่แสดงออกในรูปของอนุภาคลักษณะกลมมน (Nesbitt et al. 1976) มีที่มาหลักจากการเผาไหม้ของชนวนท้ายกระสุนปืน เป็นอนุภาคที่ส่วนมากมีธาตุโลหะเป็นองค์ประกอบ รูปแบบของธาตุที่แสดงผ่านอนุภาคมีลักษณะพิเศษ (specific elemental composition) และรูปร่างลักษณะที่จำเพาะเจาะจง (characteristic morphology) อันเป็นเอกลักษณ์ที่นำมาใช้เพื่อตรวจหาเขม่าปืนได้เป็นอย่างดี (Zadora 2003 : 346; cardinetti et al. 2004 : 1) โดยมีรายงานยืนยันว่า อนุภาคตัวอย่างที่เก็บจากชนวนท้ายกระสุนปืนของกระสุนปืนซึ่งใช้ยิงแล้ว มีธาตุที่เป็นองค์ประกอบชนิดเดียวกันกับอนุภาคของธาตุที่พบในเขม่าปืน (รัชการณ กิตติดุขฎี 2535 : 16; วิวัฒน์ ชินวร 2547; Harrison and Gilroy 1959; Basu 1982 : 89-90; cardinetti et al. 2004 : 1) อนึ่ง อนุภาคที่ตรวจพบอาจมีรูปร่างและสัณฐานที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับชนิด ขนาด ส่วนประกอบและสภาพของอาวุธปืน รวมทั้งชนิดของกระสุนปืนและสภาพแวดล้อมในบริเวณที่ใช้อาวุธปืน (Zeichner, Levin, and Springer 1991; Zeichner, Levin, and Dvorachek 1992 : Schwoeble and Exline 2000 : chap. 2 par. 2)

5.1 การกำเนิดอนุภาคที่เกิดจากการยิงปืน อนุภาคที่เกิดจากการยิงปืน (GSR particles) ได้มาจากธาตุซึ่งเป็นส่วนประกอบของชนวนท้ายกระสุนปืน (primer mixture) และส่วนประกอบอื่นของเครื่องกระสุนปืน รวมทั้งเศษโลหะภายในลำกล้องปืน (Meng and Caddy 1997; Frontela Carreras and Antonio Montes Palma 1998 : 144; Romolo and Margot 2001 : 195; Zadora 2003 : 346) กลไกการกำเนิดของอนุภาคเขม่าปืน (formation of GSR) ซึ่งเป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไป เสนอครั้งแรกในปี ค.ศ. 1980 โดย Wolten and Nesbitt และมีรายงานจำนวนมาก (Basu 1982 : 88-89; Mang and Caddy 1997; Flynn et al. 1998 : 22; Thornton 1994, cited by Romolo and Margot 2001 : 206; Romolo and Margot 2001 : 201-202; Fojtasek et al. 2003; Fojtasek and Kmjec 2005) ที่ได้ศึกษาและยืนยันตามข้อเสนอของ Wolten and Nesbitt ว่าอนุภาค

เขม่าป่นเกิดขึ้นภายในระยะเวลา 1 millisecond (ms) (แผนภูมิที่ 1) โดยหลังจากเข็มแทงชนวนกระแทบที่ชนวนท้ายกระสุนปืน เกิดการระเบิดและเผาไหม้ขึ้นอย่างรวดเร็ว ในช่วงระยะเวลาเพียง 0.1-0.2 ms อุณหภูมิและความดันหลังการระเบิดของชนวนท้ายกระสุนปืนอยู่ที่ 1500-2000 °C และ 1400 psi (ประมาณ 10^4 kpa) สาเหตุที่ทำให้ธาตุซึ่งเป็นส่วนประกอบของ primer mixture กลายเป็นไอ (vapors) และมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นเกิดขึ้นเมื่อได้รับความร้อนและความดันที่เกิดจากการเผาไหม้ดินสักระสุนปืน ซึ่งถูกจุดให้ติดด้วยแก๊สและความร้อนจากชนวนท้ายกระสุนปืน ในเวลา 0.5 ms หลังจากเข็มแทงชนวนกระแทบที่ชนวนท้ายกระสุนปืน อนึ่ง การเผาไหม้ของดินสักระสุนปืนจะส่งผลให้อุณหภูมิและความดันเปลี่ยนแปลงในระดับที่สูงขึ้นอย่างรวดเร็ว ในช่วงเวลาที่ 0.5-0.75 ms โดยอุณหภูมิสูงขึ้นถึง 3600 °C และมีความดันที่ 40000 psi (ประมาณ 3×10^5 kpa) การเผาไหม้ของชนวนท้ายกระสุนปืนและดินสักระสุนปืน ทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นโดยมีค่ามากกว่าจุดหลอมเหลว (melting point) และจุดเดือด (boiling point) ของธาตุที่ผสมอยู่ในชนวนท้ายกระสุนปืนและทั้งที่เป็นส่วนประกอบอื่นของกระสุนปืนและล้ากล้องปืน (ตารางที่ 8) และเมื่อธาตุเหล่านี้ได้รับความร้อนซึ่งมีอุณหภูมิสูงเกินกว่าจุดหลอมเหลวและจุดเดือด ทำให้เกิดการเปลี่ยนสถานะจากของแข็งเป็นของเหลวที่จุดหลอมเหลว (t_m) และกลายเป็นไอที่จุดเดือด (t_b) โดยถูกปล่อยออกมาพร้อมกับกลุ่มก๊าซ (plum) ที่ได้จากการเผาไหม้ของดินสักระสุนปืน เมื่อความดันเพิ่มขึ้นในขณะที่อุณหภูมิลดลงอย่างรวดเร็ว ประกอบกับปริมาณไอที่เพิ่มขึ้นมีมากกว่าจุดอิ่มตัวเป็นเหตุให้อไอของธาตุเกิดการควบแน่น (condense) รวมตัวกันกลับสู่สถานะที่จุดหลอมเหลวเป็นของเหลวหยดเล็กๆ (droplets) โดยของเหลวที่ผิวของ droplets ยังมีการเคลื่อนที่อยู่ เหตุการณ์นี้เกิดในสภาวะสมดุลไดนามิก (thermodynamical) ที่ อุณหภูมิ 1500-2000 °C ความดันประมาณ 1400 psi (10^4 kpa) เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและการเคลื่อนที่แบบบราวเนียน (brownian movement) ทำให้อนุภาคเล็กๆ ซึ่งแขวนลอยอยู่ในของเหลวเคลื่อนที่โดยอาศัยทฤษฎีพลังงานจลน์ของความร้อน (kinetic theory of heat) ในระดับโมเลกุล กลายเป็น droplets ที่มีธาตุองค์ประกอบเหมือนกันทั้งหมด เมื่อผ่านบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงกว่ามายังบริเวณที่อุณหภูมิต่ำกว่า เกิดการเย็นตัวและแข็งตัว (sediment) เป็นอนุภาคนาโน 0.1-30 μm (อนุภาคที่พบส่วนใหญ่มีขนาดเล็กกว่า 10 μm) กระจายตัวและตกค้างยังบุคคลและวัตถุต่างๆ ในบริเวณที่มีการยิงปืน ทั้งนี้ อาจมีบางอนุภาคที่สามารถก่อตัว (formed) ก่อนการระเบิดของดินสักระสุนปืน



แผนภูมิที่ 1 อนุภาคเขม่าปืนเกิดขึ้นได้โดยผ่านกลไก 3 สถานะ คือ i กลายเป็นไอ (vapors) ii เกิดการควบแน่น (condense) และ iii เกิดการแข็งตัว (sediment)

ที่มา : S. Basu, "Formation of Gunshot Residues," Journal of Forensic Science 27, 1 (January 1982) : 89.

ตารางที่ 8 แสดง t_m หรือจุดหลอมเหลว (melting point) และ t_b หรือจุดเดือด (boiling point) ของธาตุที่พบในเขม่าปืน ที่ความดัน 101.325 kpa (1 atm) อุณหภูมิเซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$)

name	atomic number	atomic mass	$t_m (^{\circ}\text{C})$	$t_b (^{\circ}\text{C})$
aluminum	13	26.98	660	2519
antimony	51	121.75	631	1387
barium	56	137.34	727	1897
calcium	20	40.08	842	1484
copper	29	63.54	1085	2562
iron	26	55.85	1538	2861
lead	82	207.19	328	1749
magnesium	12	24.31	650	1090
tin	50	118.69	232	2602
zinc	30	65.37	420	907

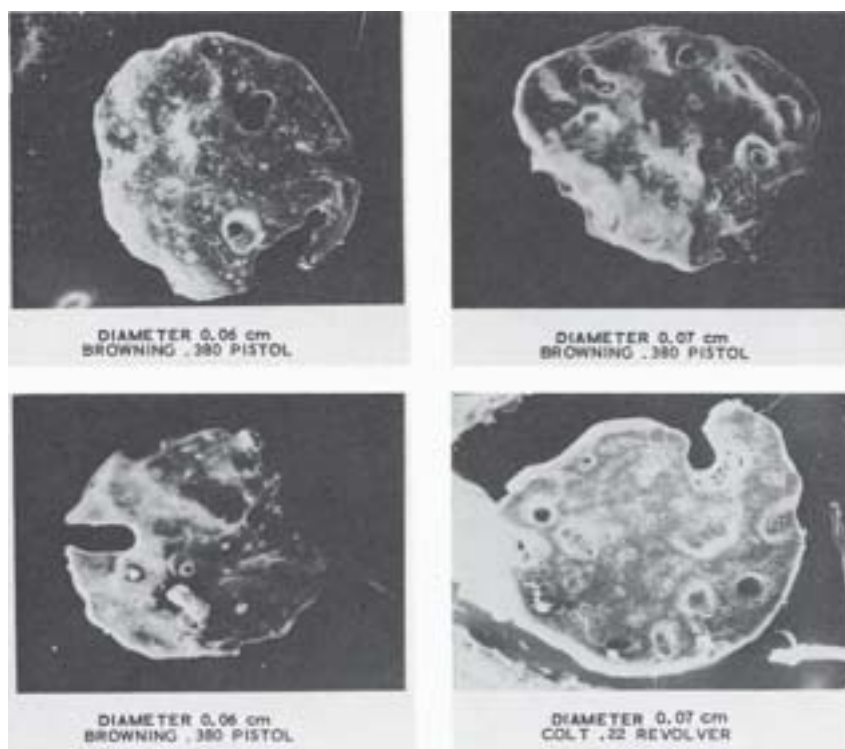
ที่มา : CRC Handbook of Chemistry and Physics, 78th ed., Boca Raton, New York : CRC Press, 1998, cited by F.S. Romolo and P. Margot, "Identification of Gunshot Residue : A Critical Review," Forensic Science International 119, 2 (June 2001) : 201.

5.2 ประเภทอนุภาคที่เกิดจากการยิงปืน มีรายงาน (Nesbitt et al. 1976) การจำแนกอนุภาคที่เกิดจากการยิงปืนบนมือโดยเปรียบเทียบกับอนุภาคเขม่าปืนที่ได้จากปากลำกล้องปืนหลังการยิงปืน โดยใช้กระสุนปืนชนิดธรรมดา ด้วยเทคนิค SEM/EDX

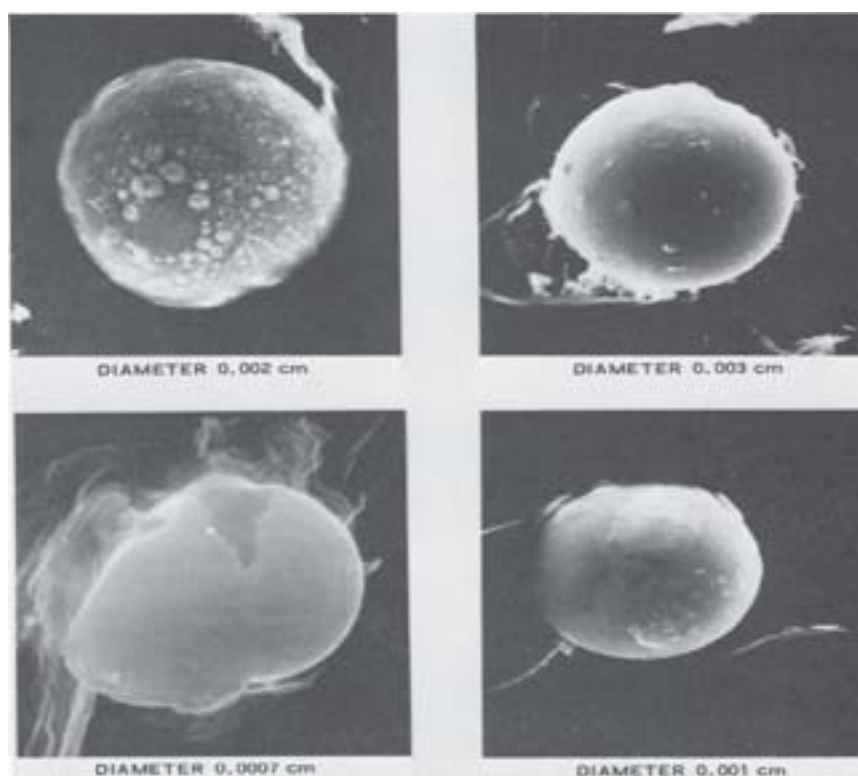
5.2.1 อนุภาคที่ได้มาจากการเผาไหม้ของดินส่กระสุนปืน (partially burned smokeless powder particles) เป็นอนุภาคที่ได้จากดินส่กระสุนปืน ซึ่งมีสัณฐาน 10^{-3} - 10^{-1} cm พบได้อย่างชัดเจนที่สุดในขนาด 0.1 cm โดยมีรูปร่างที่ไม่แน่นอนเพราะเกิดจากดินส่กระสุนปืนซึ่งเผาไหม้โดยไม่สมบูรณ์ เมื่อวิเคราะห์ที่กำลังขยายต่ำ ($\times 100$) พบว่าผิวบริเวณโครงร่างและขอบของอนุภาคมีลักษณะเรียบ และมีรูลักษณะคล้ายปล่องภูเขาไฟบนผิวของอนุภาค โดยมีบางรูทะลุผ่านผิวของอนุภาค เมื่อวิเคราะห์ด้วย SEM กำลังขยายสูงในอนุภาคที่ขนาดเล็กกว่า พบว่าอนุภาคมีผิวขรุขระคล้ายฟองน้ำ โดยมีรูคล้ายปล่องภูเขาไฟบริเวณผิวของอนุภาค (ภาพที่ 37) เมื่อวิเคราะห์ด้วย characteristic x-ray พบสัญญาณสะท้อนของธาตุตะกั่ว (Pb), แอนติโมนี (Sb) และแบเรียม (Ba) ในระดับต่ำ และเมื่อวิเคราะห์โดยใช้ ba mapping พบว่ามีแบเรียม (Ba) รวมกันเป็นกลุ่มอยู่ในรูบนผิวของอนุภาค โดยไม่พบกลุ่มของแบเรียมในการวิเคราะห์อนุภาคที่มีขนาดใหญ่ เนื่องจากอนุภาคเขม่าปืนขนาดใหญ่มีสาร organic ปะปนอยู่ที่บริเวณผิว แต่พบว่ามีธาตุตะกั่ว (Pb), แอนติโมนี (Sb) และแบเรียม (Ba) ในอนุภาคขนาดใหญ่เมื่อใช้เทคนิค Ion Microprobe Mass Analysis หรือ IMMA แม้ว่าพื้นผิวของอนุภาคที่ศึกษานั้นไม่มีลักษณะกลมมน แต่อย่างไรก็ตาม ไม่พบสัญญาณของธาตุทั้งสามเมื่อใช้ ion beam วิเคราะห์ลึกลงไปภายในอนุภาค ซึ่งแสดงให้เห็นว่าธาตุทั้งสามปรากฏอยู่บนบริเวณผิวของอนุภาคเท่านั้น

5.2.2 อนุภาคที่มีลักษณะรูปทรงกลมและค่อนข้างกลม (spherical or spheroidal particles) เป็นอนุภาคที่สำคัญเพื่อใช้หาอนุภาคเขม่าปืน เพราะเมื่อวิเคราะห์ด้วยอิเล็กตรอนพลังงานสูง (high electron-beam current) ประกอบกับ cathode-ray และ IMMA พบธาตุตะกั่ว (Pb), แอนติโมนี (Sb) และแบเรียม (Ba) รวมกันอยู่บนผิวของอนุภาคในลักษณะรูปทรงกลมหรือค่อนข้างกลม (ภาพที่ 38) อนุภาคนี้มีขนาดเล็กมาก มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 3×10^{-4} - 3×10^{-3} cm และสามารถพบอนุภาคเหล่านี้ได้ทุกครั้ง พบสัญญาณ characteristic x-ray ของธาตุตะกั่ว (Pb), แอนติโมนี (Sb) และแบเรียม (Ba) ในระดับสูง และพบธาตุชนิดอื่นได้ในบางครั้งหรือในสัดส่วนที่ไม่แน่นอน

5.2.3 อนุภาคที่ไม่มีรูปลักษณะเฉพาะตัว (non-descriptive morphology particles) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 1×10^{-4} ถึง 5×10^{-2} cm พบได้น้อยครั้งกว่าอนุภาคลักษณะกลมมน แต่ยังพบได้บ่อยครั้งทั้งในเขม่าปืนที่เก็บจากมือและเขม่าจากปากลำกล้องปืน มีรูปร่างไม่แน่นอน (ภาพที่ 39) เช่น มีรูปร่างคล้ายเศษโลหะ หรืออาจรวมกันเป็นก้อน ซึ่งไม่มีลักษณะเฉพาะ (characteristic) ที่ใช้เป็นประโยชน์สำหรับการแยกแยะหรือพิสูจน์เอกลักษณ์เขม่าปืน

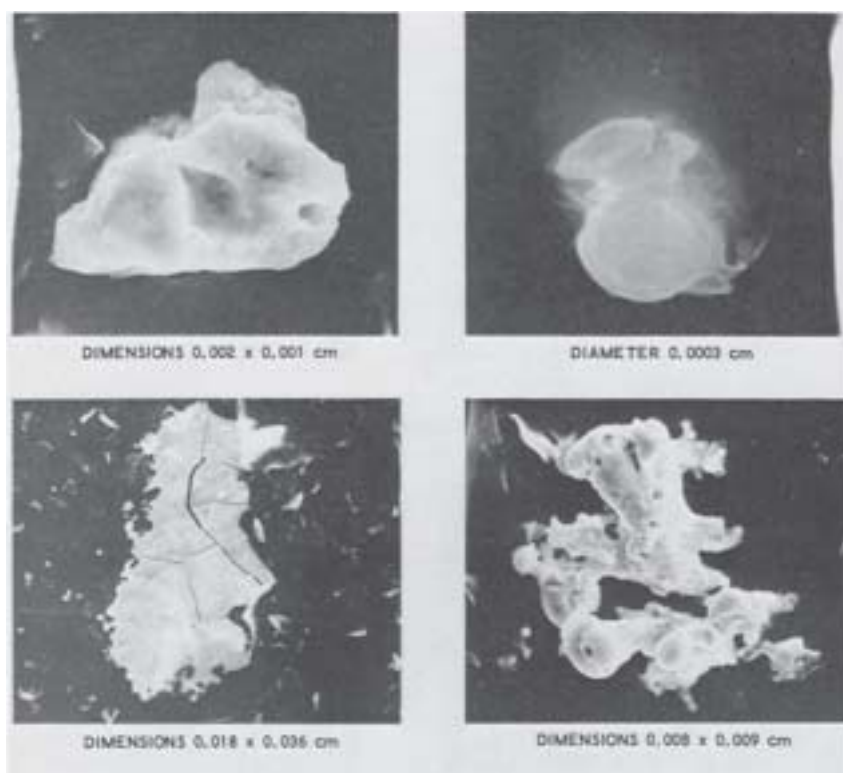


ภาพที่ 37 Secondary Electron Image (SEI) แสดงภาพอนุภาคที่ได้มาจากการเผาไหม้ของดินส่่ง กระสุนปืน (Partially Burned Smokeless Powder Particles) ด้วยเทคนิค SEM โดยใช้กำลังขยายต่ำ
ที่มา : R.S., Nesbitt, J.E. Wessel, and R.F. Jones, "Detection of Gunshot Residue by Use of the Scanning Electron Microscope," Journal of Forensic Science 21, 3 (July 1976) : 598.

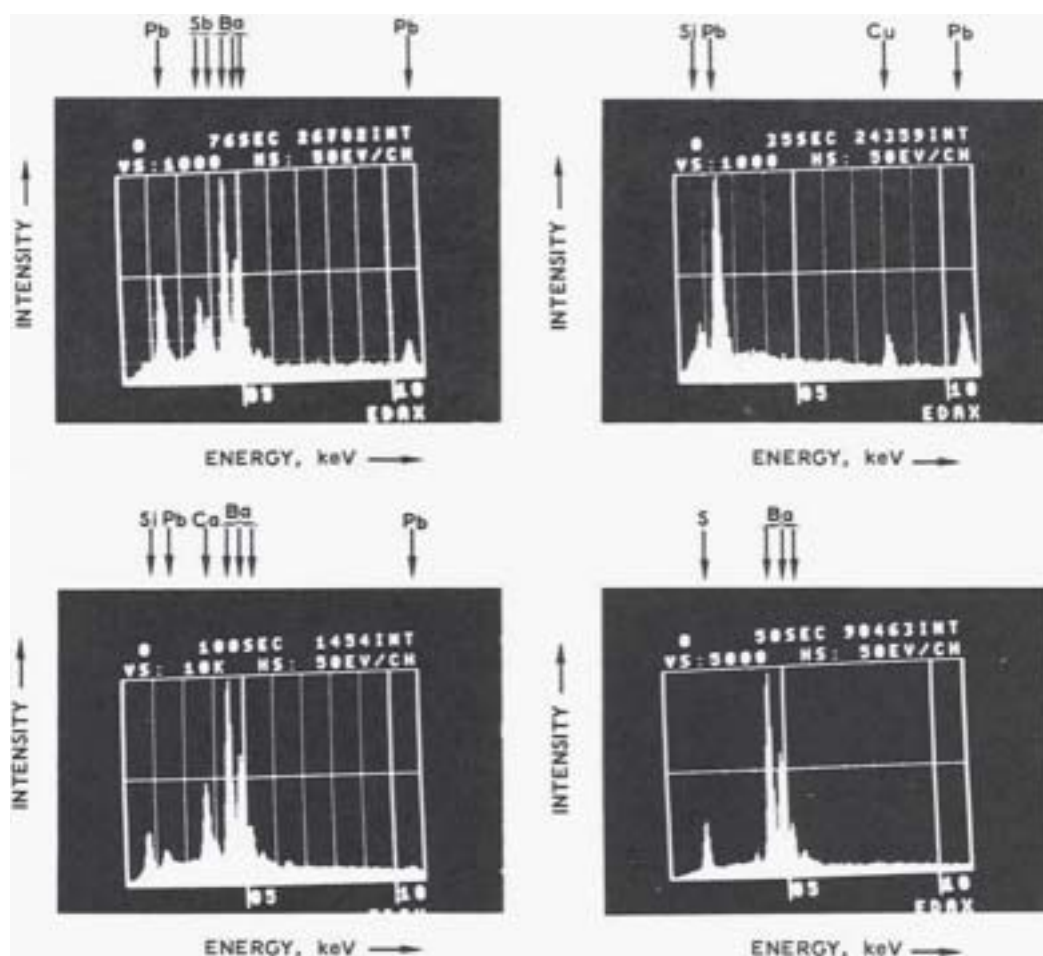


ภาพที่ 38 อนุภาคเขม่าปืนที่มีลักษณะกลมมน (spherical particles) ตามชนิดและปริมาณของธาตุที่เป็นองค์ประกอบของเขม่าปืน Pb, Sb และ Ba (รูปบนซ้าย) Pb, Ba, Ca และ Si (รูปบนขวา) Pb (รูปล่างซ้าย) Pb และ Ba (รูปล่างขวา)

ที่มา : R.S., Nesbitt et al., "Detection of Gunshot Residue by Use of the Scanning Electron Microscope," Journal of Forensic Science 21, 3 (July 1976) : 602.



ภาพที่ 39 SEI แสดงรูปร่างของ non-descriptive morphology particles ประกอบด้วยธาตุ Pb, Sb และ Ba (รูปบนซ้ายและรูปล่างซ้าย) Pb, Si และ Cu (รูปบนขวา) Pb, Ba, Si และ Ca (รูปล่างขวา)
 ที่มา : R.S., Nesbitt et al., "Detection of Gunshot Residue by Use of the Scanning Electron Microscope," Journal of Forensic Science 21, 3 (July 1976) : 604.



ภาพที่ 40 Energy dispersive x-ray spectra ของที่วิเคราะห์ด้วย SEM : รูปบนซ้าย แสดงการวิเคราะห์ธาตุในอนุภาคเขม่าปืนที่ไม่มีรูปร่างเฉพาะตัว (non-descriptive particles) ซึ่งแสดงไว้ในรูปบนซ้ายภาพที่ 39 รูปบนขวา แสดงการวิเคราะห์ธาตุในอนุภาคเขม่าปืนที่ไม่มีรูปร่างเฉพาะตัว (non-descriptive particles) ซึ่งแสดงไว้ในรูปบนขวา ภาพที่ 39 รูปล่างซ้าย แสดงการวิเคราะห์ธาตุในอนุภาคเขม่าปืนที่มีลักษณะกลมมน (spherical particles) ซึ่งแสดงไว้ในรูปบนขวาภาพที่ 38 และ รูปล่างขวา แสดงการวิเคราะห์ธาตุในอนุภาคเขม่าที่ได้รับจากสิ่งแวดล้อม (environment particles) ที่มา : R.S., Nesbitt et al., "Detection of Gunshot Residue by Use of the Scanning Electron Microscope," *Journal of Forensic Science* 21, 3 (July 1976) : 603.

5.3 รูปสัณฐานของอนุภาคที่เกิดจากการยิงปืน (morphology of GSR particles) เกิดจากผลการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและการเคลื่อนที่แบบบราวเนียน (brownian movement) โดยหลังจากการก่อตัวของอนุภาคที่สภาวะสมดุลไดนามิก droplets หยดเล็กๆ อาจรวมตัวกันอย่างรวดเร็วในลักษณะเชื่อมติด (coalesce) หรือห่อหุ้ม (nucleate) กันไว้ จนกลายเป็นอนุภาคเดียวกันที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ส่วน droplets หยดเล็กๆ ที่ไม่ได้เกิดการรวมตัว ด้วยขนาดของมันจึงเคลื่อนที่ได้ในความเร็วเฉลี่ยสูง ทำให้สามารถเคลื่อนที่ผ่านบริเวณซึ่งมีอุณหภูมิและความดันสูงได้ดีกว่า droplets ขนาดใหญ่ และแม้ว่าจะถูกทำลายด้วยความร้อนน้อยกว่าแต่เกิดการเสียสมดุลทางรูปร่างได้มากกว่า เป็นเหตุให้เกิดการเสียรูปร่างไปจากเดิม เนื่องด้วยโมเมนตัม (momentum) และพลังงานจลน์ (kinetic energy) ของ droplets ขนาดเล็กมีอยู่ ในทางตรงกันข้าม droplets ที่มีขนาดใหญ่กว่าซึ่งมีน้ำหนักมาก ทำให้ต้องอยู่ในสภาวะการเปลี่ยนแปลง (metastable state) หลายๆ สภาวะ เช่น การเดือด (boiling) การแตกตัวออกเป็นชิ้นเล็กๆ (fragmenting) และการกัดกร่อน (etching) ส่งผลทำให้รูปร่างมีความเสถียร (Basu 1982 : 88-89) โดยรูปร่าง ขนาด และสัณฐานของอนุภาคย่อมแตกต่างกันไปตามชนิดอาวุธปืนและกระสุนปืน (Wolten and Nesbitt 1980; Schwoeble and Exline 2000 : chap. 2 pars. 14-15)

การจำแนกรูปสัณฐานของอนุภาคที่เกิดจากการยิงปืน (classification of GSR particles) ด้วยกล้องจุลทรรศน์ศาสตร์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) พบว่ามากกว่า 70% ของอนุภาคเขม่าปืนชนิดที่ใช้เพื่อยืนยันว่าบุคคลนั้นผ่านการใช้ปืนมาจริง (uniqueness GSR) มีรูปร่างเป็นทรงกลม (spheroidal) และมีความสว่างจ้าของอนุภาคเกิดขึ้นอันเนื่องมาจากคุณสมบัติของโลหะหนักที่เป็นองค์ประกอบของอนุภาค (Wolten et al.1977, cited in Schwoeble and Exline 2000 : chap. 2 par. 8) และพบมากในขนาดต่ำกว่า 5 μm (astm standards 2001) อย่างไรก็ตาม ในการตรวจวิเคราะห์มักพบอนุภาคที่มีสัณฐานในลักษณะ irregular particles ปะปนอยู่เสมอ (Wolten and Nesbitt 1980) การศึกษานี้แบ่งอนุภาคของเขม่าปืนเป็น 2 กลุ่ม ตามชนิดของกระสุนปืน

5.3.1 รูปสัณฐานของอนุภาคที่ได้มาจากกระสุนปืนชนิดธรรมดา (regular ammunition) ตามรายงานของ Basu (1980 : 75-81, 89) แสดงให้เห็นว่าโดยปกติมักพบอนุภาคเขม่าปืนในรูปร่างกลม (spherical particle) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Nesbitt และคณะ (1976) แต่เนื่องจากพบว่าผิวของอนุภาคมีลักษณะเฉพาะ จึงจำแนกสัณฐานของอนุภาคเขม่าปืนออกเป็น 3 จำพวก คือ

5.3.1.1 อนุภาคจำพวกที่ 1 อนุภาคขนาดเล็ก (type i-regular, nodular and irregular spheroids GSR particles) (ภาพที่ 41 และ ภาพที่ 42) เป็นอนุภาคที่มีขนาด 1-10 μm พบธาตุตะกั่ว (Pb) แอนติโมนี (Sb) และแบเรียม (Ba) เป็นองค์ประกอบเหมือนกันทั้งหมด แม้ว่าอนุภาคเขม่าปืนที่วิเคราะห์ได้มาจากการใช้ปืนและกระสุนปืนต่างชนิดกัน สามารถแบ่งกลุ่มย่อยของอนุภาคขนาดเล็กออกได้เป็น 3 ชนิด คือ

1. regular spheroids GSR (ภาพที่ 41 a, b, c และ d) คืออนุภาคขนาดเล็กที่รูปร่างปกติมีลักษณะกลมมน ผิวเรียบ มีปุ่มเล็กๆ (knobby) ปรากฏอยู่บนผิวอนุภาค จัดได้ว่าเป็นรูปสัณฐานที่มีความสมดุลมากที่สุด

2. nodular spheroids GSR (ภาพที่ 41 f, g, h และ i) อนุภาคกลมขนาดเล็กที่มีปุ่มยื่นออกมาจากผิวของอนุภาค โดยเกิดจากการรวมตัวกันของอนุภาคทรงกลมขนาดเล็กและอนุภาคทรงกลมที่มีขนาดเล็กที่มีขนาดใหญ่กว่า

3. irregular spheroids GSR (ภาพที่ 42 a, b และ c) เป็นอนุภาคกลมขนาดเล็ก มีโครงสร้างผิวในลักษณะที่ไม่สม่ำเสมอ คือมีส่วนซึ่งมีลักษณะคล้ายปุ่มหรือยอดแหลม เป็นอนุภาคที่ไม่สมดุล และยังพบว่ามีธาตุซิลิคอน (Si) เป็นองค์ประกอบ

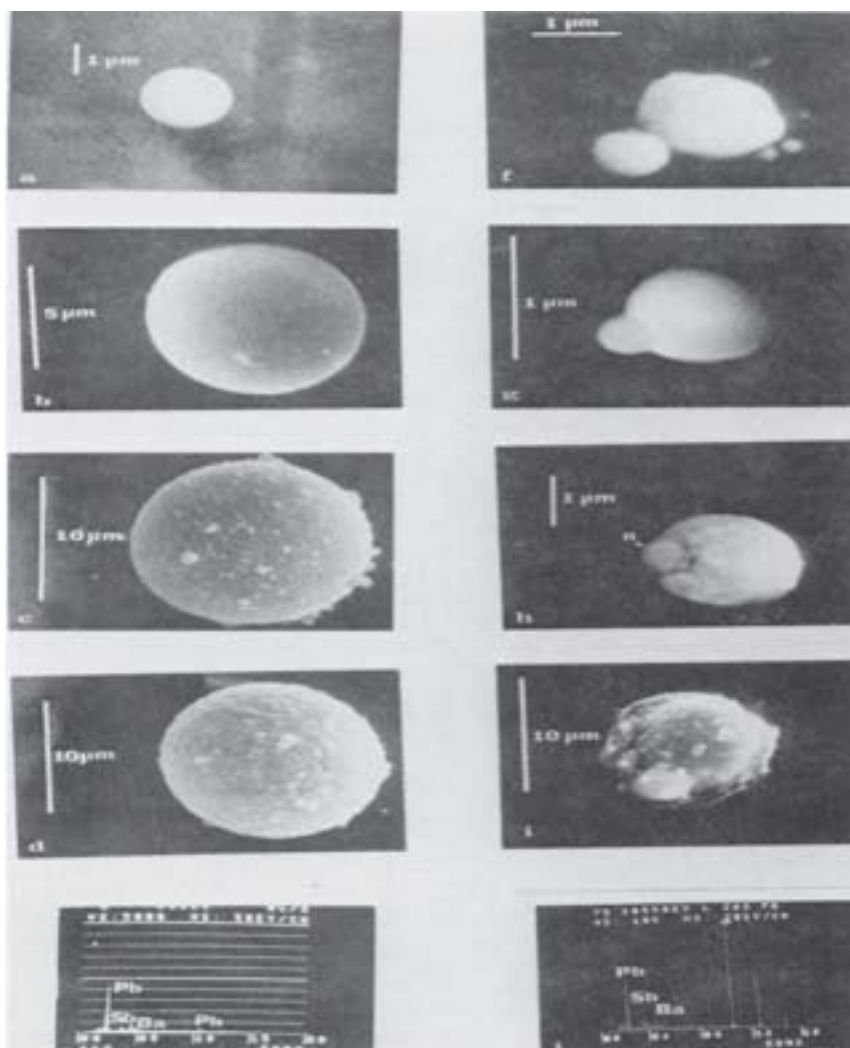
5.3.1.2 อนุภาคจำพวกที่ 2 อนุภาคขนาดใหญ่ (type ii-hollow-shape and atypical irregular GSR particles) เกิดจากการรวมตัวของอนุภาคจนมีขนาดใหญ่ขึ้น โดยพบว่ามีขนาดใหญ่ที่สุดมีเส้นผ่านศูนย์กลางถึง 55 μm แบ่งกลุ่มย่อยของอนุภาคออกได้เป็น 2 ชนิด

1. hollow-shape GSR (ภาพที่ 43) อนุภาคที่ผิวมีโพรงขนาดใหญ่ และหลุมเล็กๆ

2. atypical irregular GSR (ภาพที่ 44 (ซ้าย)) เป็นอนุภาคขนาดใหญ่ชนิดที่มีรูปร่างซึ่งไม่สมดุลและมีความผิดปกติสูง และมีธาตุชนิดอื่นเป็นองค์ประกอบ

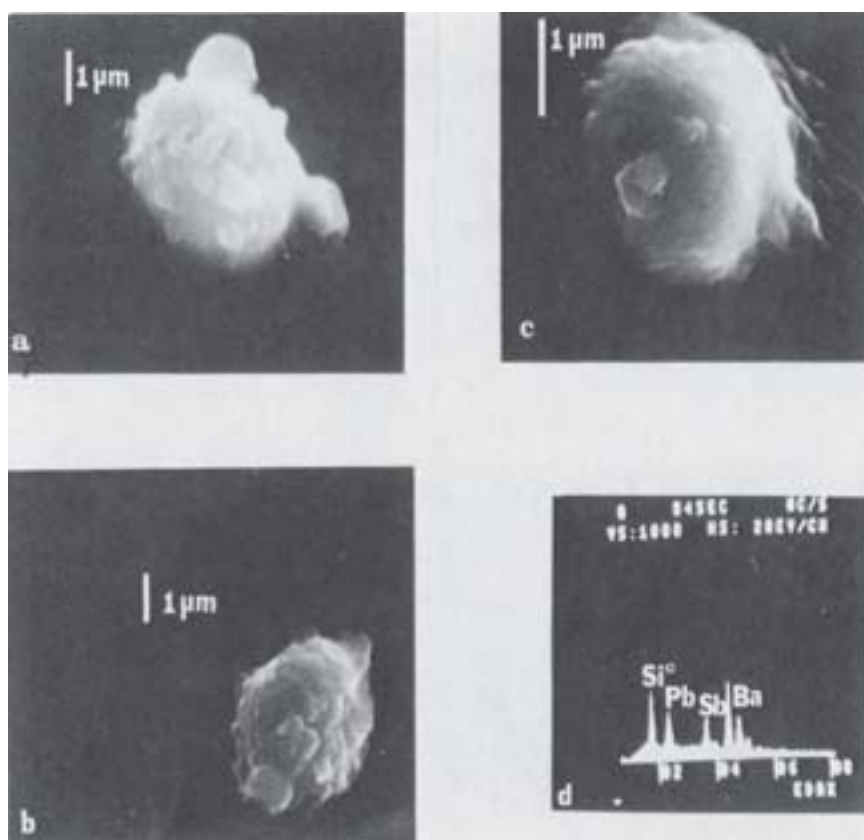
5.3.1.3 อนุภาคจำพวกที่ 3 อนุภาคแบบผิวเปลือกส้ม (type iii-peeled oranges GSR particles) (ภาพที่ 44 (ขวา) a, b และ c) เป็นอนุภาคขนาดใหญ่ชนิดหนึ่ง ที่มีลักษณะเฉพาะคือมีแบเรียม (Ba) เป็นแกนซึ่งถูกเคลือบด้วยแอนติโมนี (Sb) และมีตะกั่ว (Pb) เคลือบผิวภายนอกสุด

กล่าวโดยสรุปตามรายงานของ Basu อนุภาคเขม่าปืนถูกจำแนกเป็น 3 กลุ่ม คือ อนุภาคที่สมบูรณ์ซึ่งมีลักษณะค่อนข้างกลมหรือกลม (regular spheroids particle) โดยมีขนาดตั้งแต่ 1-10 μm มีตะกั่ว (Pb), แอนติโมนี (Sb) และแบเรียม (Ba) เป็นองค์ประกอบหลักเหมือนกันทั้งหมด อนุภาคเขม่าปืนที่ไม่สมบูรณ์ (irregular particle) ให้รูปร่างที่ไม่ม่มีลักษณะกลม เกิดจากการรวมตัวกันของอนุภาคขนาดเล็กและขนาดใหญ่กว่าจนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10-55 μm โดยพบว่ามีธาตุชนิดอื่นเป็นองค์ประกอบเพิ่มเติม และอนุภาคแบบผิวเปลือกส้ม (peeled oranges GSR) ที่แกนมีแบเรียม (Ba) เคลือบด้วยแอนติโมนี (Sb) และมีตะกั่ว (Pb) เคลือบผิวภายนอกสุด



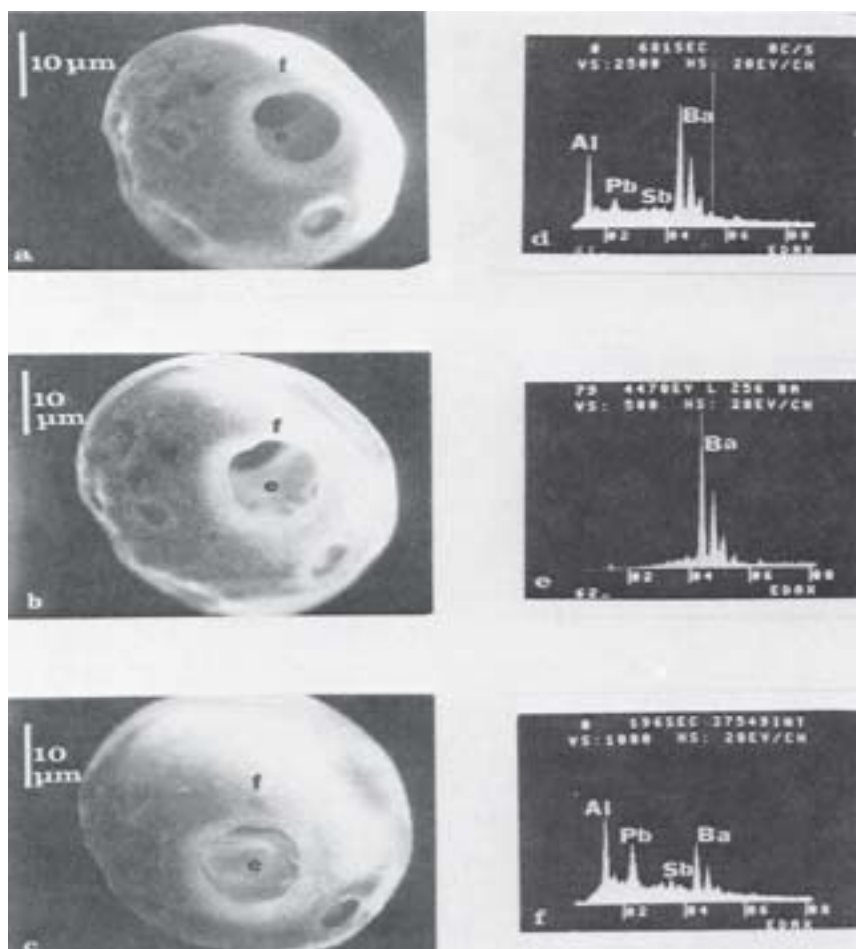
ภาพที่ 41 รูปสัณฐานของ type i GSR particle รูป a, b, c และ d คือ regular spheroids GSR particle รูป e คือ x-ray emission spectrum ของ regular spheroids GSR particle รูป f, g, h และ i คือ nodular spheroids GSR particle รูป j คือ x-ray emission spectrum ของ nodular spheroids GSR particle ตัวอักษร n ในรูป h ใช้เป็นสัญลักษณ์แทน indicate nodule รูป a และ h คือ เก็บตัวอย่างจากมือข้างขวาของศพที่ฆ่าตัวตาย ด้วยกระสุนปืนชนิด rim-fire .22 federal และอาวุธปืน .22 revolver harrington & richardson รูป b-d, g และ i เก็บตัวอย่างจากการยิงทดสอบด้วยอาวุธปืน .38 Smith & Wesson revolver ด้วยกระสุนปืน .38 special 200 grain lead bullet และรูป f ตัวอย่างจากการยิงทดสอบด้วยปืนลูกซอง 12-gauge pump-action Winchester model 1200 ด้วยกระสุนปืน 70 mm 00 buckshot

ที่มา : S. Basu, "Formation of Gunshot Residues," Journal of Forensic Science 27, 1 (January 1982) : 76.



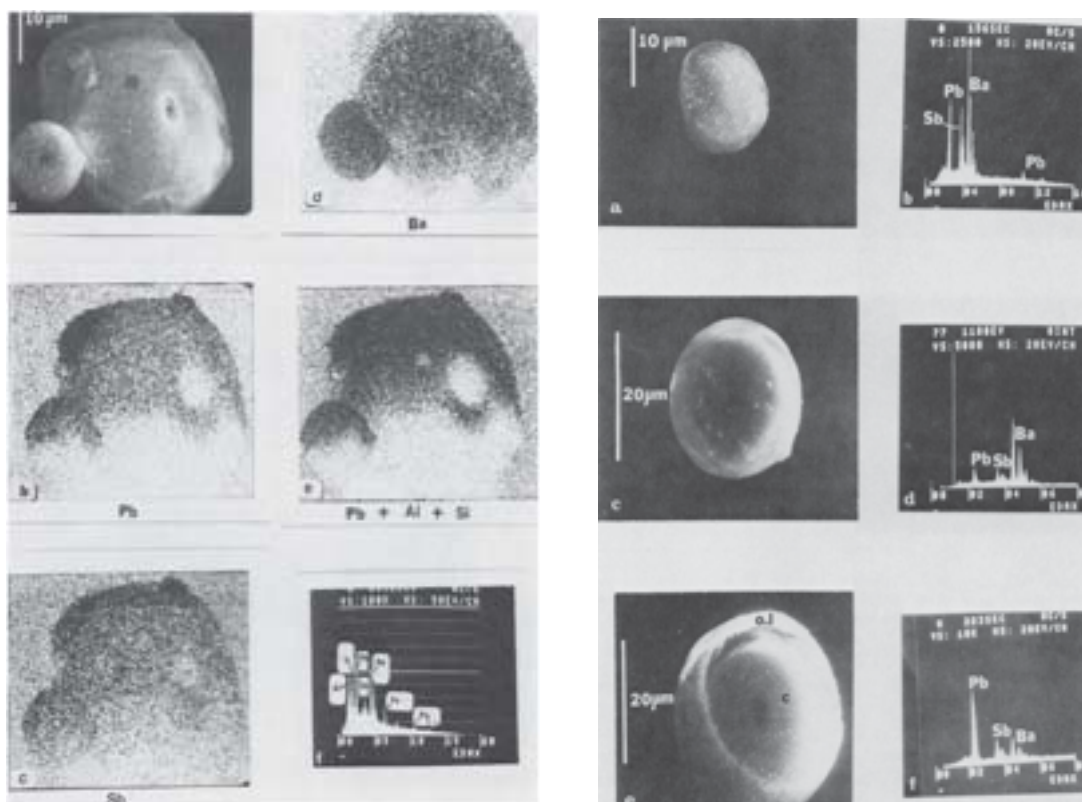
ภาพที่ 42 รูปสัณฐานของ type i-irregular spheroids GSR particle รูป a-c แสดงถึงรูปร่างอนุภาคกลมขนาดเล็ก ที่ไม่สมดุล รูป d คือ x-ray emission spectrum ของ irregular spheroids GSR particle เก็บตัวอย่างจากการยิงทดสอบด้วยอาวุธปืน .38 Smith & Wesson revolver ด้วยกระสุนปืน .38 special ชนิดเดียวกับภาพที่ 41 รูป b-d, g และ i

ที่มา : S. Basu, "Formation of Gunshot Residues," Journal of Forensic Science 27, 1 (January 1982) : 77.



ภาพที่ 43 A hollow-shaped GSR particle เก็บตัวอย่างจากการยิงทดสอบด้วยอาวุธปืนลูกซอง SEMi-automatic remington 1100 กำหนดมุมเพื่อวิเคราะห์ด้วย x-ray detector รูป a 45° รูป b $+16^{\circ}$ และ รูป c -16° โดยแสดงให้เห็นธาตุอันเป็นองค์ประกอบด้วย x-ray emission spectra รูป d ธาตุอันเป็นองค์ประกอบของอนุภาคทั้งอนุภาค รูป e ธาตุอันเป็นองค์ประกอบในโพรงขนาดใหญ่ ซึ่งในรูปแทนด้วยสัญลักษณ์อักษร e และ รูป f ธาตุอันเป็นองค์ประกอบของผิวอนุภาค

ที่มา : S. Basu, "Formation of Gunshot Residues," Journal of Forensic Science 27, 1 (January 1982) : 79.



ซ้าย

ขวา

ภาพที่ 44 รูปสัณฐานของ atypical GSR particle และการเคราะห์ด้วย x-ray mapping ของตะกั่ว (Pb), แอนติโมนี (Sb) และแบเรียม (Ba) ที่อยู่บนผิวของอนุภาค โดยใช้สัญลักษณ์อักษร n แทนปุ่มที่อยู่บนผิวอนุภาค (nodule) และ h แทนรูที่อยู่บนผิวอนุภาค (hole) : รูป a แสดงรูปสัณฐาน (morphology), รูป b lead map, รูป c antimony map, รูป d barium map, รูป e lead, aluminum, and silicon maps (ในลักษณะวางซ้อนกัน) และ รูป f แสดงธาตุที่เป็นส่วนประกอบของอนุภาคด้วย x-ray emission spectrum โดยเก็บตัวอย่างจากการยิงด้วยอาวุธปืนลูกซองชนิดหักลำ (hinge frame) ขนาด gauge 12 ซึ่งผลิตในประเทศ brazil ด้วยกระสุนปืน 70-mm (23/4-in.) 00 buckshot (รูปซ้าย) และ อนุภาคแบบผิวเปลือกส้ม หรือ peeled oranges GSR รูป a , c, และ e แสดงรูปสัณฐาน รูป b, d, และ f แสดง x-ray emission spectra โดยใช้สัญลักษณ์อักษร c แทนแกนในอนุภาค (core) และ o.1 แทนผิวอนุภาค (outer leaflet) รูป a และ b เก็บตัวอย่างจากมือข้างขวาของศพที่ฆ่าตัวตาย (เช่นเดียวกับภาพที่ 41 รูป a และ h) รูป c และ d การยิงทดสอบด้วย 9-mm walther ppk/s pistol ด้วยกระสุนปืน .380 automatic 95-grain western รูป e และ f การยิงทดสอบด้วย .38 Smith & Wesson revolver (เหมือนภาพที่ 21 รูป b-d, g. and i) (รูปขวา)

ที่มา : S. Basu, "Formation of Gunshot Residues," *Journal of Forensic Science* 27, 1 (January 1982) : 78, 80.

อนึ่ง การศึกษาของ Schwoeble และ Exline (2000 : chap. 2 pars. 12-15) ที่ได้จากการยิงด้วยอาวุธปืน revolver และ semiautomatic แบบละ 2 ยี่ห้อที่มีขนาดลำกล้องต่างกัน และกระสุนปืน 4 ยี่ห้อ โดยทำการเก็บตัวอย่างเข้ามาเป็นหลังจากการยิงทันที พบว่า

1. กรณียิงด้วยอาวุธปืน revolver อนุภาคเข้ามาเป็นจำนวน 74% มีสัณฐานลักษณะกลม (spheroidal shaped) และอีก 26% มีรูปร่างที่ไม่มีลักษณะกลม (irregularly shaped)

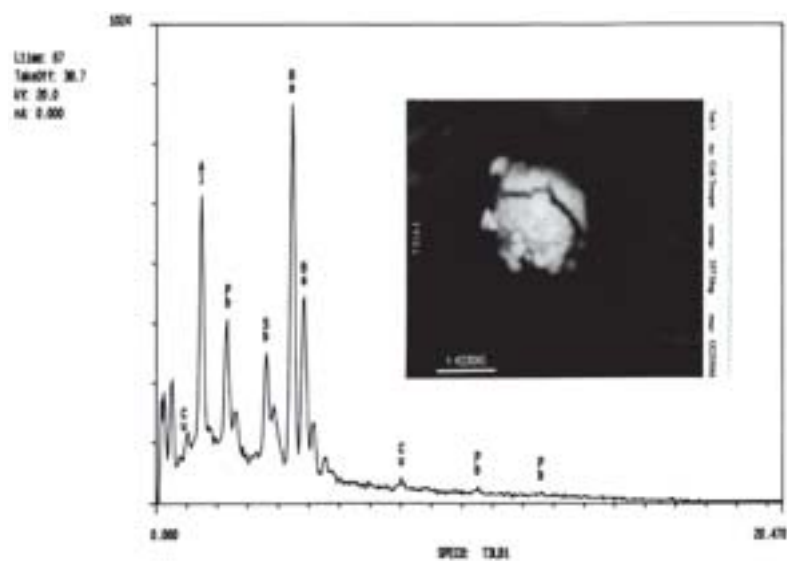
2. กรณียิงด้วยอาวุธปืน Semiautomatic พบว่า 59% ของอนุภาคเข้ามาเป็น มีสัณฐานลักษณะกลม (spheroidal shaped) และอีก 41% มีรูปร่างที่ไม่มีลักษณะกลม (irregularly shaped)

3. อนุภาคเข้ามาเป็นที่ได้จากการยิงด้วยอาวุธปืน revolver จำนวน 65% มีขนาดเล็กกว่า 3 μm , 28% ของอนุภาคมีขนาด 3-6 μm , 5% ของอนุภาคมีขนาด 6-10 μm และที่เหลือ 2% อนุภาคมีขนาดใหญ่กว่า 10 μm

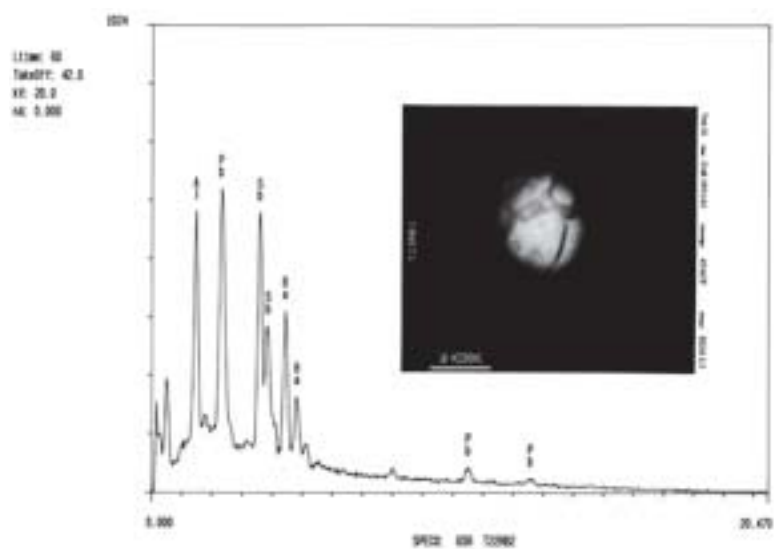
4. อนุภาคเข้ามาเป็นที่ได้จากการยิงด้วยอาวุธปืน Semiautomatic จำนวน 48% มีขนาดเล็กกว่า 3 μm , 29% ของอนุภาคมีขนาด 3-6 μm , 9% ของอนุภาคมีขนาด 6-10 μm และอีก 14% อนุภาคมีขนาดใหญ่กว่า 10 μm

5. นอกจากอนุภาคเข้ามาเป็นมีสัณฐานแบบ regular spheroids particle และ irregular particle แล้ว ยังมีอนุภาคที่ผิวของอนุภาคมีรอยแตกร้าว (cracking) (ภาพที่ 45)

อย่างไรก็ตาม มีรายงานว่าธาตุที่ได้รับจากสิ่งแวดล้อมและการประกอบอาชีพ (ตารางที่ 9) กับธาตุของอนุภาคเข้ามาเป็นของกระสุนปืนชนิดธรรมดาที่มีลักษณะคล้ายคลึงกัน (Wolten et al. 1979 b; Wallace and Mcquillan 1984) ซึ่ง Garofano และคณะ (1999) ได้ศึกษาเปรียบเทียบเพิ่มเติม โดยเก็บตัวอย่างอนุภาคจากบริเวณมือของผู้ประกอบอาชีพในหลายสาขา และบริเวณชิ้นส่วนอุปกรณ์รถยนต์ พบว่าอนุภาคมีธาตุโลหะแบเรียม (Ba), แอนติโมนี (Sb) และโลหะอื่นเป็นองค์ประกอบ โดยมีขนาด 2-40 μm แต่อนุภาคเหล่านี้มีสัณฐานไม่แน่นอนและรูปร่างไม่เป็นทรงกลม (irregular morphology) จากมือของช่างไฟฟ้ารถยนต์ (ภาพที่ 46) ช่างติดตั้งเครื่องเสียงภายในรถยนต์ ช่างบำรุงและรักษารถยนต์ (ภาพที่ 47 และ ภาพที่ 48) และพนักงานบริการเติมน้ำมัน อีกทั้งยังพบอนุภาคที่ประกอบด้วยธาตุแบเรียม (Ba), แอนติโมนี (Sb) และโลหะอื่น บริเวณดุมจานห้ามล้อรถยนต์ (disk brake hub) (ตารางที่ 10 และ ภาพที่ 49) และแม้ว่าจะพบได้ทั้งตะกั่ว (Pb), แบเรียม (Ba) และแอนติโมนี (Sb) จากตัวอย่างเข้ามาที่เก็บจากเครื่องมือซึ่งใช้ผลิตกระสุนปืน แต่ปรากฏสัณฐานที่ไม่แน่นอนและมีรูปร่างซึ่งไม่เป็นทรงกลมเหมือนอย่างอนุภาคของเข้ามาเป็น (ภาพที่ 50)



(บน)



(ล่าง)

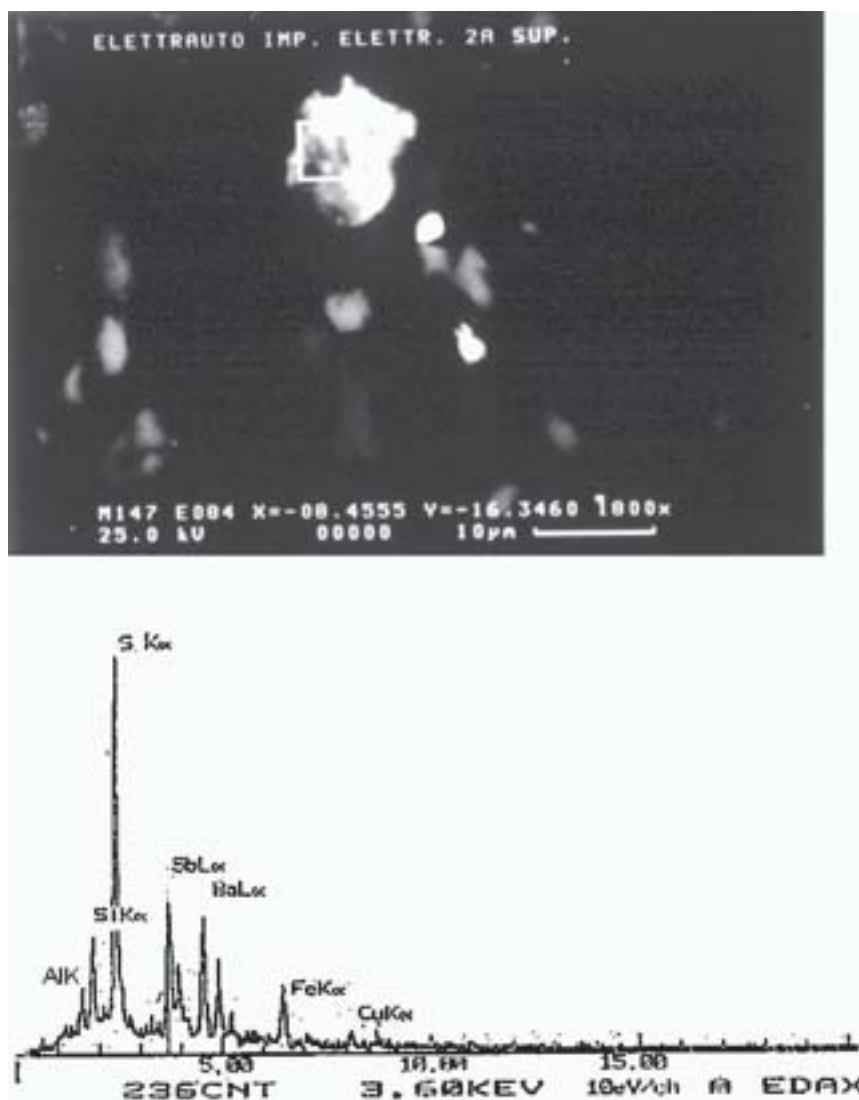
ภาพที่ 45 รูปบนแสดงอนุภาคที่ได้จากการยิงด้วยอาวุธปืน Colt trooper 357 และกระสุนปืน mag cci ส่วนรูปล่าง แสดงอนุภาคที่ได้จากการยิงด้วยอาวุธปืน Colt mod 1911a1 และกระสุนปืน 45 acp rem

ที่มา : A. J. Schwoeble and L. David Exline, Current Methods in Forensic Gunshot Residue Analysis. Florida : CRC Press LLC, 2000 [Online], accessed 29 February 2008. Available from Chiang Mai University Library : Online e-books : http://www.forensicnetbase.com/books/525/0029_05.pdf

ตารางที่ 9 สัณฐานและธาตุองค์ประกอบของตัวอย่างอนุภาคเขม่าบริเวณมือที่ได้จากช่างไฟฟ้ารถยนต์ (automobile electrician) ช่างยนต์ (automobile mechanic) และพนักงานบริการเติมน้ำมัน (petrol station attendant)

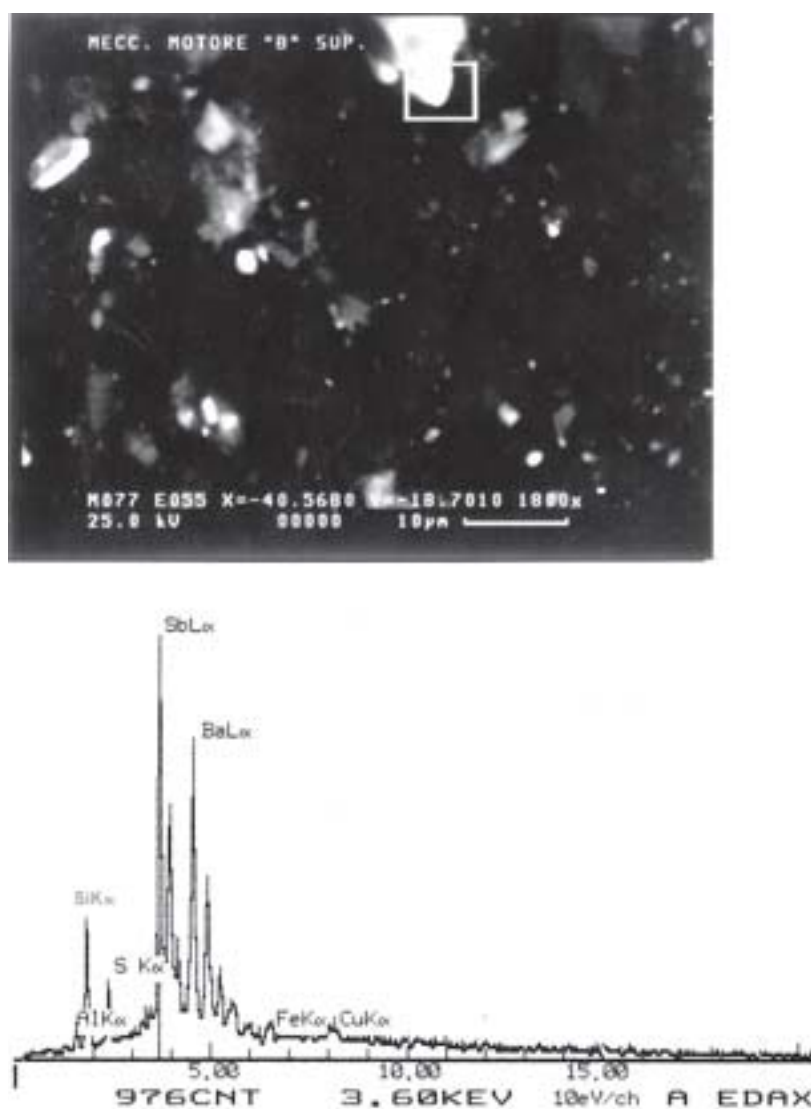
sample	shape and composition
1 car radio install	irregular, 17 micron; ba, sb, si, s, fe, cu (major), zn (minor)
2 automobile electrician	irregular, 20 micron; ba, sb, al, si, s, fe (major), cu (minor), zn (traces)
3 automobile electrician	irregular, 20 micron; ba, sb, mg, si, s (major), fe, cu (minor)
4 automobile electrician	irregular, 5 micron; ba (traces), sb (traces), al (traces), si, s, k, fe (major), ni (traces), cu, zn (traces)
5 automobile electrician	irregular, 13 micron; ba, sb, si (minor), s (major), fe, cu (traces)
6 automobile electrician	irregular, 37 micron; ba, sb, mg (minor), si, s (major), fe
7 automobile electrician	irregular, 15 micron; ba, sb, si, s, fe (major), cu (minor)
8 motor repair auto mechanic	irregular, 15 micron; ba, sb (major), s (minor), fe (traces), cu (traces)
9 motor repair auto mechanic	irregular, 17 micron; ba, sb, al (traces), si (minor), s (major), fe (traces)
10 brake repair auto mechanic	irregular, 5 micron; ba, sb, si, s, fe (major), cu (minor), zn (traces)
11 brake repair auto mechanic	irregular, 30 micron; ba, sb, si, fe (major), cu, zn (minor)
12 brake repair auto mechanic	irregular, 30 micron; ba (traces), sb (traces), al (traces), si, s, cl (traces), fe (major), cu (minor)
13 brake repair auto mechanic	irregular, 40 micron; ba, sb, si (traces), s (major), fe, cu (minor)
14 brake repair auto mechanic	irregular, 30 micron; ba, sb, al, si, s (major), fe, cu (minor)
15 petrol station attendant	irregular, 12 micron; ba (minor), sb, mg (traces), al (traces), si, s, fe (major), cu (minor)

ที่มา : L. Garofano et al., “Gunshot Residue Further Studies on Particles of Environmental and Occupational Origin,” Forensic Science International 103 (July 1999) : 7.



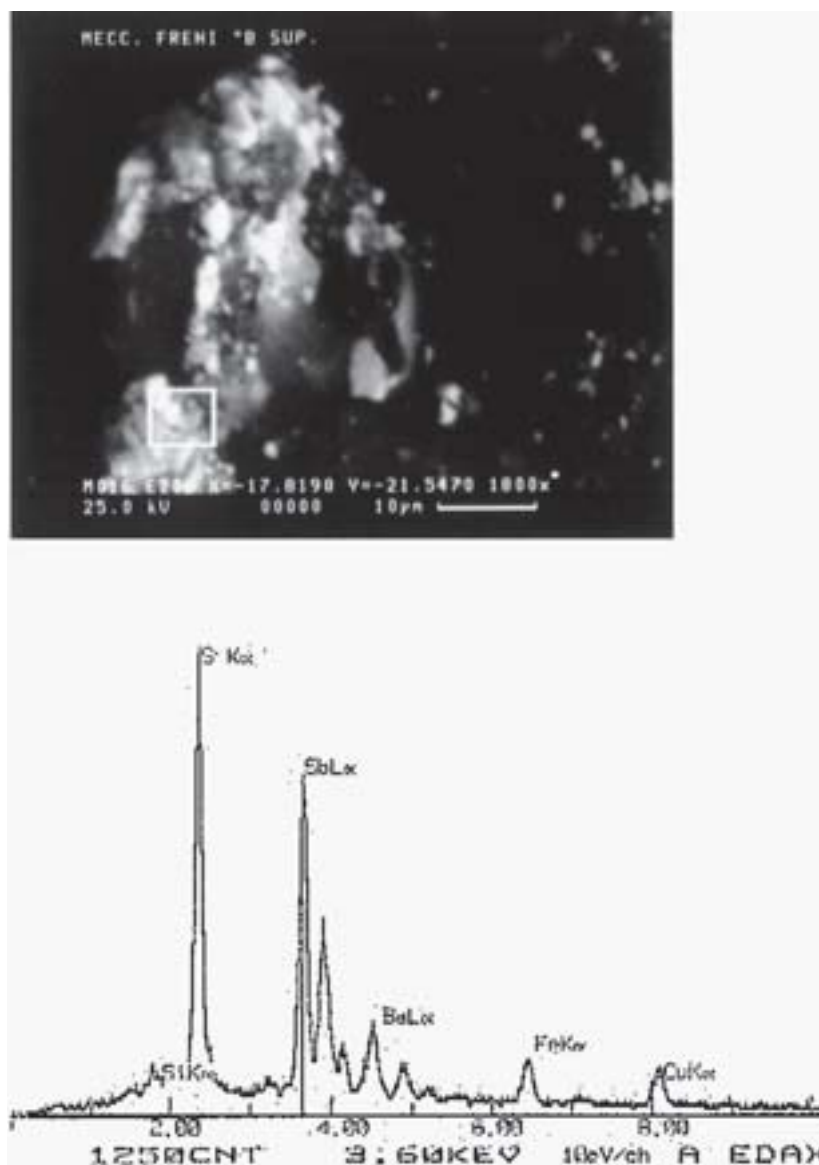
ภาพที่ 46 BSE/SEM image และ EDX spectrum ของอนุภาคที่พบได้จากบริเวณมือของช่างไฟฟ้ารถยนต์ อนุภาคมีลักษณะที่ไม่แน่นอนและรูปร่างซึ่งไม่เป็นทรงกลม (irregular morphology) ซึ่งประกอบไปด้วยธาตุ S, Sb, Ba, Si, Al, Fe และ Cu

ที่มา : L. Garofano et al., "Gunshot Residue Further Studies on Particles of Environmental and Occupational Origin," Forensic Science International 103 (July 1999) : 10.



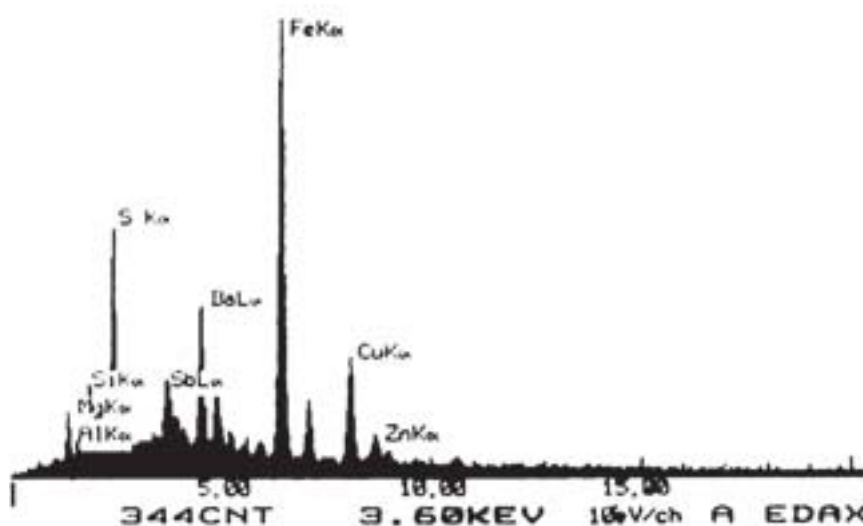
ภาพที่ 47 BSE/SEM image และ EDX spectrum ของอนุภาคที่พบได้จากบริเวณมือของช่างซ่อมเครื่องยนต์ อนุภาคมีสีฐานที่ไม่แน่นอนและรูปร่างซึ่งไม่เป็นทรงกลม (irregular morphology) ซึ่งประกอบไปด้วยธาตุ Sb, Ba, Si, S, Al, Fe และ Cu

ที่มา : L. Garofano et al., "Gunshot Residue Further Studies on Particles of Environmental and Occupational Origin," *Forensic Science International* 103 (July 1999) : 8.



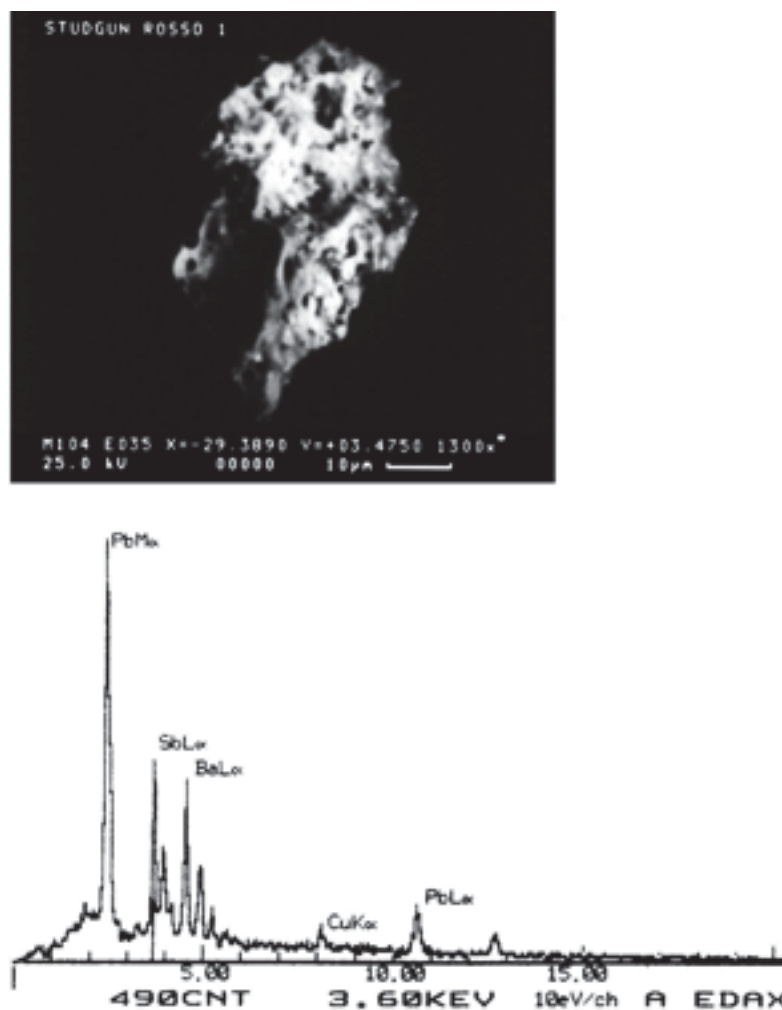
ภาพที่ 48 BSE/SEM image และ EDX spectrum ของอนุภาคที่พบได้จากบริเวณมือของช่างซ่อมห้ามล้อรถยนต์ อนุภาคมีสีฐานที่ไม่แน่นอนและรูปร่างซึ่งไม่เป็นทรงกลม (irregular morphology) ซึ่งประกอบไปด้วยธาตุ S, Sb, Ba, Fe, Cu และ Si

ที่มา : L. Garofano et al., "Gunshot Residue Further Studies on Particles of Environmental and Occupational Origin," Forensic Science International 103 (July 1999) : 9.



ภาพที่ 49 BSE/SEM image และ EDX spectrum ของอนุภาคที่พบได้จากบริเวณดุมห้ามล้อรถยนต์ อนุภาคมีลักษณะที่ไม่แน่นอนและรูปร่างซึ่งไม่เป็นทรงกลม (irregular morphology) และแสดงให้เห็นว่ามี Fe เป็นธาตุองค์ประกอบหลัก (major)

ที่มา : L. Garofano et al., "Gunshot Residue Further Studies on Particles of Environmental and Occupational Origin," Forensic Science International 103 (July 1999) : 15.



ภาพที่ 50 BSE/SEM image และ EDX spectrum ของอนุภาคที่พบได้จากเครื่องมือซึ่งใช้ผลิตกระสุนปืน (cartridge operated industrial tools) อนุภาคมีสัณฐานที่ไม่แน่นอนและรูปร่างซึ่งไม่เป็นทรงกลม (irregular morphology)

ที่มา : L. Garofano et al., “Gunshot Residue Further Studies on Particles of Environmental and Occupational Origin,” Forensic Science International 103 (July 1999) : 16.

ตารางที่ 10 สัณฐานและธาตุองค์ประกอบของตัวอย่างอนุภาคเข้ามาบริเวณคัมเจานห้ามล้อรถยนต์

Results of samples taken from disk brake hubs	
Sample	Shape and composition
1. Disk brake hub 1	Irregular; 35 micron; Ba, Sb, Mg, Al (traces), Si, S, Fe (major), Cu, Zn (minor)
2. Disk brake hub 2	Irregular; 20 micron; Ba, Sb, Al (traces), Si, S, Fe (major), Cu, Zn (minor)
3. Disk brake hub 3	Irregular; 15 micron; Ba, Sb, Si (traces), S, Fe (major), Cu, Zn (minor)

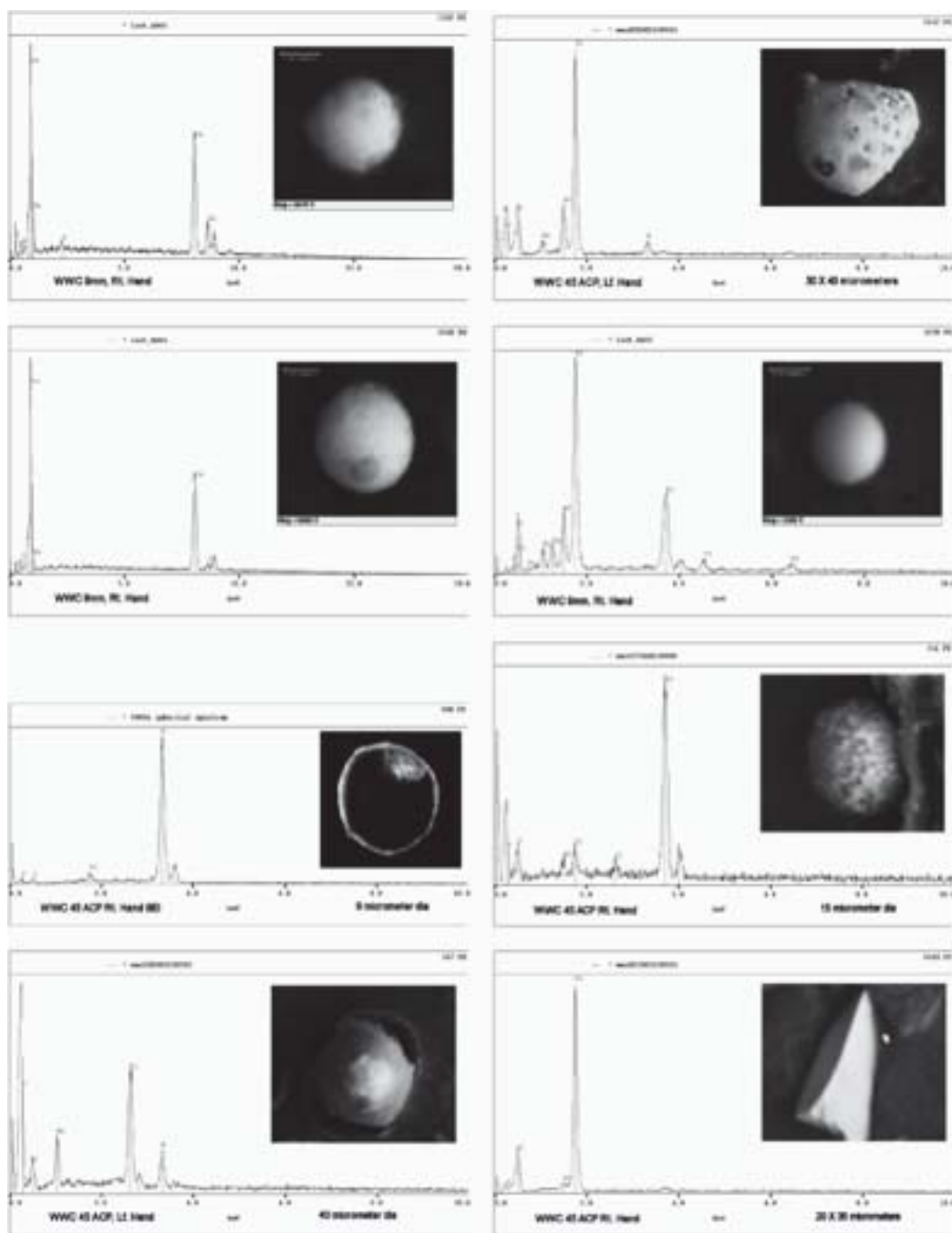
ที่มา : L. Garofano et al., “Gunshot Residue Further Studies on Particles of Environmental and Occupational Origin,” *Forensic Science International* 103 (July 1999) : 14.

5.3.2 รูปสัณฐานของอนุภาคที่ได้มาจากกระสุนปืนชนิดปราศจากตะกั่ว ตามที่ Oommen และ Pierce (2006) ได้ศึกษาจากกระสุนปืน Winchester WinClean™ (ภาพที่ 51), Remington/UMC LeadLess™ (ภาพที่ 52), Federal BallisticClean™ (ภาพที่ 53) และ Speer Lawman CleanFire™ (ภาพที่ 54) ธาตุที่พบจากการตรวจวิเคราะห์ คือ อะลูมิเนียม (Al), ซิลิคอน (Si), ทองแดง (Cu) และสังกะสี (Zn) โดยพบว่าอนุภาคเข้ามาเป็นทั้งหมดมีอะลูมิเนียม (Al) และซิลิคอน (Si) เป็นธาตุองค์ประกอบหลัก และมีโซเดียม (Na), คลอรีน (Cl), แคลเซียม (Ca) หรือแมกนีเซียม (Mg) ในบางอนุภาค ยกเว้นอนุภาคขนาด 1-6 μm ซึ่งมีรูปสัณฐานทรงกลม (spherical particle) ที่ได้จาก Winchester WinClean™, Remington/UMC LeadLess™ และ Speer Lawman CleanFire™ มีทองแดง (Cu) และสังกะสี (Zn) เป็นองค์ประกอบ แต่ Federal BallisticClean™ มีทองแดง (Cu) และดีบุก (Sn) เป็นองค์ประกอบ และแม้ว่าจะมีส่วนผสมที่แตกต่างกัน แต่พบได้ว่าอนุภาคขนาด 6-10 μm มีรูปทรงกลมเหมือนกัน โดยที่ Winchester WinClean™ และ Remington/UMC LeadLess™ พบว่ามีธาตุโพแทสเซียม (K) เป็นองค์ประกอบเพิ่มเติม ซึ่งต่างจาก Federal BallisticClean™ (ภาพที่ 53) ที่มีธาตุแบเรียม (Ba) เป็นองค์ประกอบเพิ่มเติม โดยที่ผิวของอนุภาคมีลักษณะเป็นหลุมลึก (heavily pocked) อยู่จำนวนมาก และยังพบว่ามีรูปร่างและผิวลักษณะคล้ายก้อนหิน (rockpile) เมื่ออนุภาคมีขนาดมากกว่า 10 μm ซึ่งทำให้สามารถแยกแยะความแตกต่างจากอนุภาคเข้ามาที่ได้มาจากกระสุนปืน Winchester WinClean™ (ภาพที่ 51) ที่อนุภาคมีผิวคล้ายผิวเปลือกส้ม โดยพบว่ามีรูปสัณฐานเป็นแผ่น (sheet) เมื่อมีขนาด 30-100 μm และ Remington/UMC LeadLess™ (ภาพที่ 52) ซึ่งปกติมีผิวลักษณะเรียบ โดยพบว่ามีหลุมเมื่ออนุภาคมีขนาดใหญ่ขึ้น ทั้งนี้ พบว่าอนุภาคที่ได้จาก Speer Lawman CleanFire™ มี strontium (Sr) เป็นธาตุหลัก และมีรูปสัณฐานที่จำเพาะง่ายต่อการวิเคราะห์ เนื่องจาก

ผิวอนุภาคมีรอยแตกร้าว (crackled) และมีรอยแยกขนาดใหญ่ (fissured) เมื่อขนาดอนุภาคมีขนาดมากกว่า 20 μm (ภาพที่ 54)

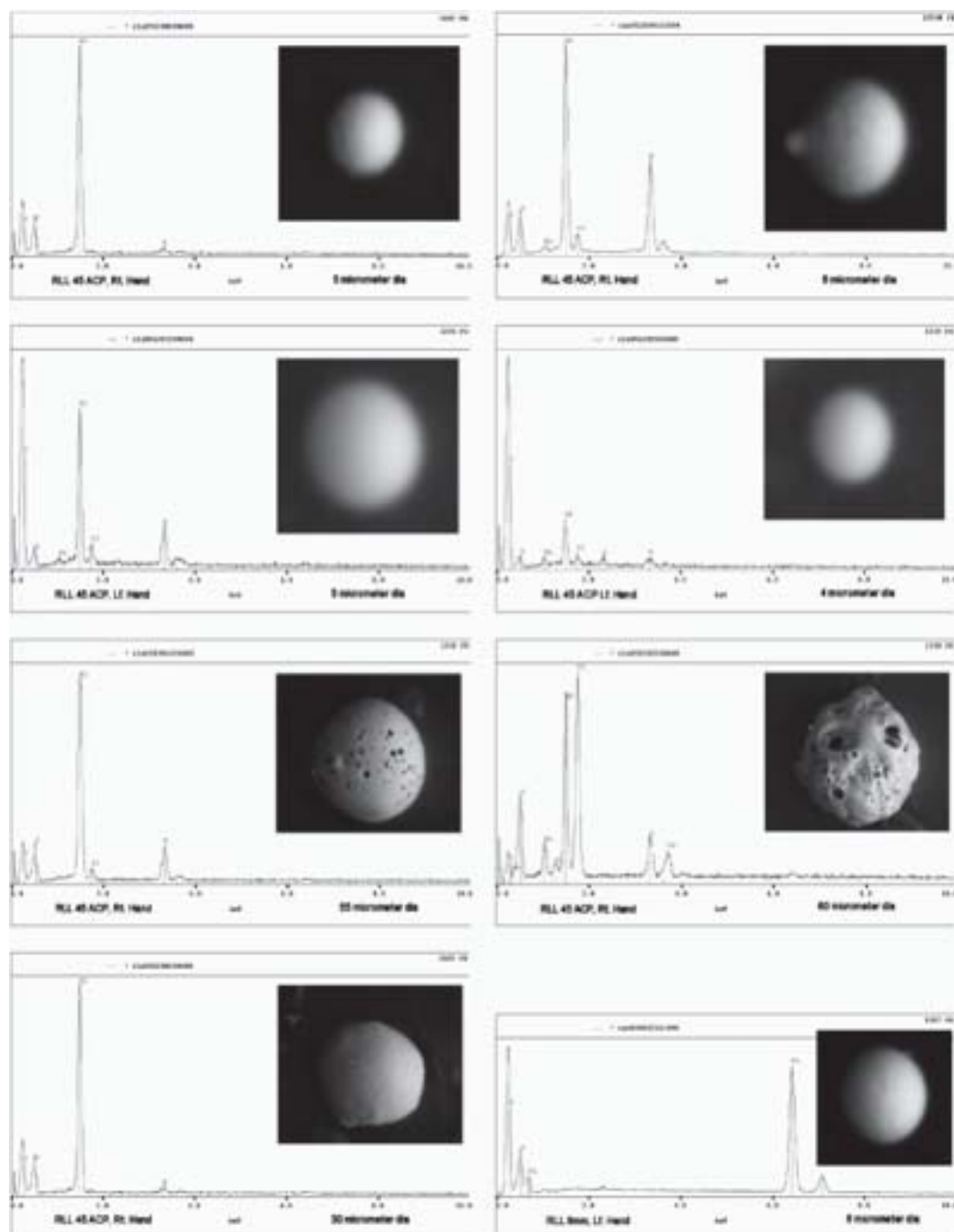
Martiny และคณะ (2008) ได้ศึกษาอนุภาคเขม่าปืนจากกระสุนปืน Companhia Brasileira de Cartuchos (CBC) CleanRang[®] ที่ผลิตขึ้นในประเทศ Brazil พบว่า CleanRang[®] รุ่นการผลิตแรกมีลักษณะอนุภาคแตกต่างจากรุ่นที่สอง คือ อนุภาคของ CleanRang[®] รุ่นการผลิตแรก (ภาพที่ 55) มีรูปทรงค่อนข้างกลม (globular morphology) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5-10 μm ผิวของอนุภาคมีลักษณะเรียบและคล้ายผิวเปลือกส้ม ส่วนอนุภาคจากกระสุนปืนรุ่นที่สอง (ภาพที่ 56) มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1-25 μm โดยพบจำนวนมากที่สุดในขนาด 10 μm และพบขนาดใหญ่มากถึง 50 μm อนุภาคซึ่งมีลักษณะรูปทรงกลมมีจำนวนเพียงเล็กน้อยที่ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 μm โดยไม่พบว่ามีซิลิคอน (Si) โพแทสเซียม (K) และโซเดียม (Na) บนอนุภาค (ภาพที่ 56 c) อนุภาคที่พบโดยส่วนใหญ่ไม่ได้ปรากฏในรูปสัณฐานกลม รวมทั้งยังมีรูปร่างที่มีมุมแหลม ธาตุที่พบเป็นส่วนมาก คือ อะลูมิเนียม (Al), ซิลิคอน (Si) และ โพแทสเซียม (K) โดยพบว่าไม่มีโซเดียม (Na), คลอรีน (Cl) และแมกนีเซียม (Mg) ในบางอนุภาค นอกจากนี้ยังพบว่ามีแคลเซียม (Ca) และซัลเฟอร์หรือกำมะถัน (S) ซึ่งล้วนแต่เป็นธาตุที่ได้มาจากสิ่งแวดล้อมและการประกอบอาชีพ (Martiny et al. 2008 : e15-e16)

อนุภาคเขม่าปืนที่ได้รับจากกระสุนปืนชนิดปราศจากตะกั่ว อาจส่งผลให้เกิดกรณีผลลบ (false negative) (Oommen and Pierce 2006 : 517) และวิเคราะห์ได้ยากกว่าเขม่าที่ได้มาจากกระสุนปืนชนิดธรรมดา (Martiny et al. 2008 : e14) เพราะไม่สามารถกำหนดลักษณะเฉพาะได้อย่างเขม่าจากกระสุนปืนชนิดธรรมดา เช่นกระสุนปืนชนิดปราศจากตะกั่ว ที่ใช้โพแทสเซียม (K) เป็นสารผสมหลัก คือ Winchester WinCleanTM และ Remington/UMC LeadLessTM ซึ่งมีส่วนผสมคล้ายกันกับ cbc CleanRang[®] ที่ผลิตในรุ่นที่สอง แต่รูปสัณฐานของอนุภาคมีความแตกต่างกัน โดย Winchester WinCleanTM และ Remington/UMC LeadLessTM มีสัณฐานกลม ขณะที่ส่วนใหญ่ อนุภาคจาก CBC CleanRang[®] ไม่ได้ปรากฏในลักษณะกลม (Martiny et al. 2008 : e15-e16) ทั้งนี้ ยังไม่มีรายงานชิ้นใดที่ศึกษาเปรียบเทียบระหว่างอนุภาคที่ได้จากแหล่งกำเนิดอื่นกับอนุภาคเขม่าปืนชนิดปราศจากตะกั่ว



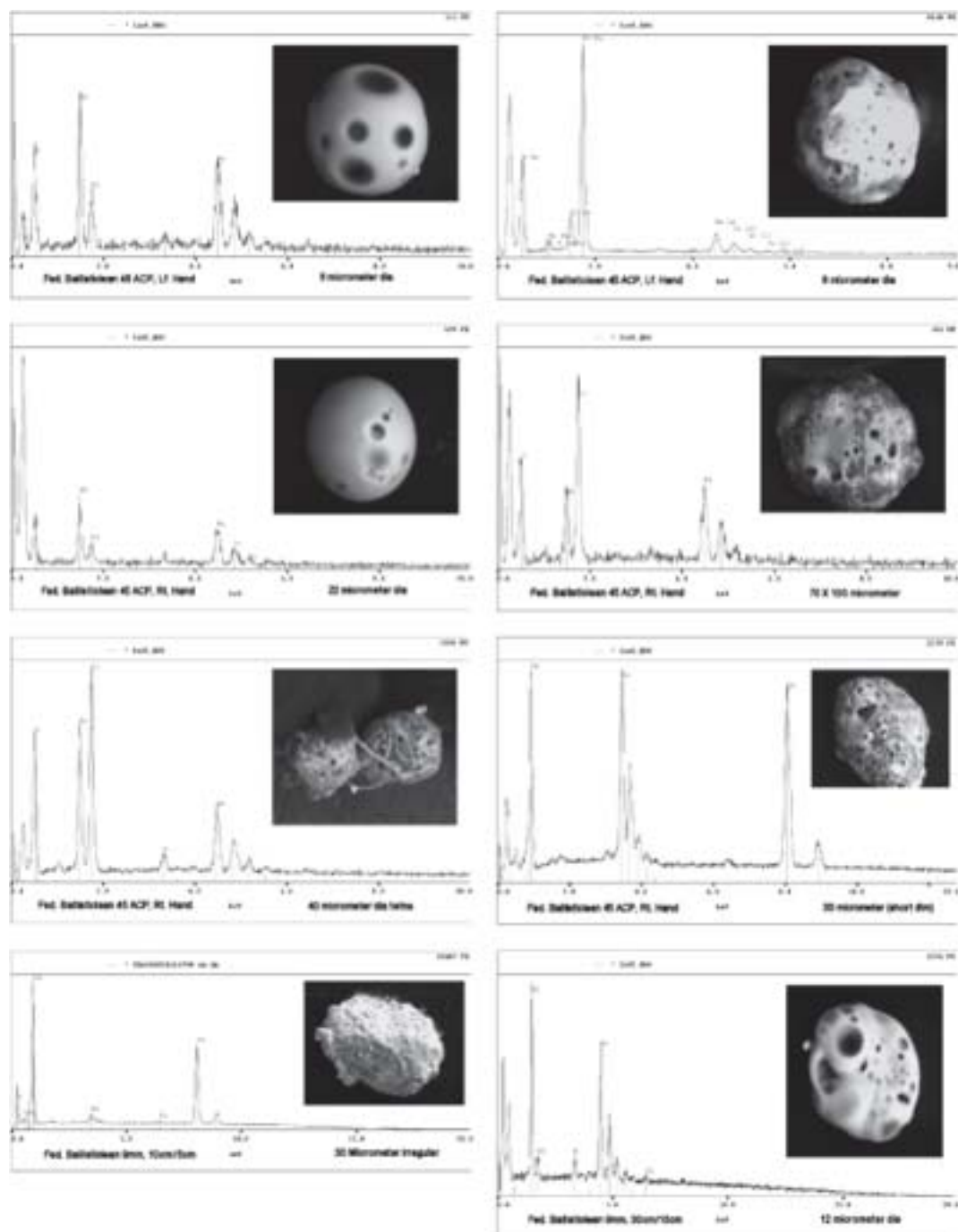
ภาพที่ 51 ลักษณะรูปสัณฐาน และ x-ray emission spectra ของอนุภาคเขม่าปืนบนมือที่ได้จากกระสุนปืน Winchester WinClean™

ที่มา : Z. Oommen and S.M. Pierce, “Lead-free Primer Residues : a Qualitative Characterization of Winchester WinClean™, Remington/UMC LeadLess™, Federal BallisticClean™, and Speer Lawman CleanFire™ Handgun Ammunition,” *Journal of Forensic Science* 51, 3 (May 2006) : 511.



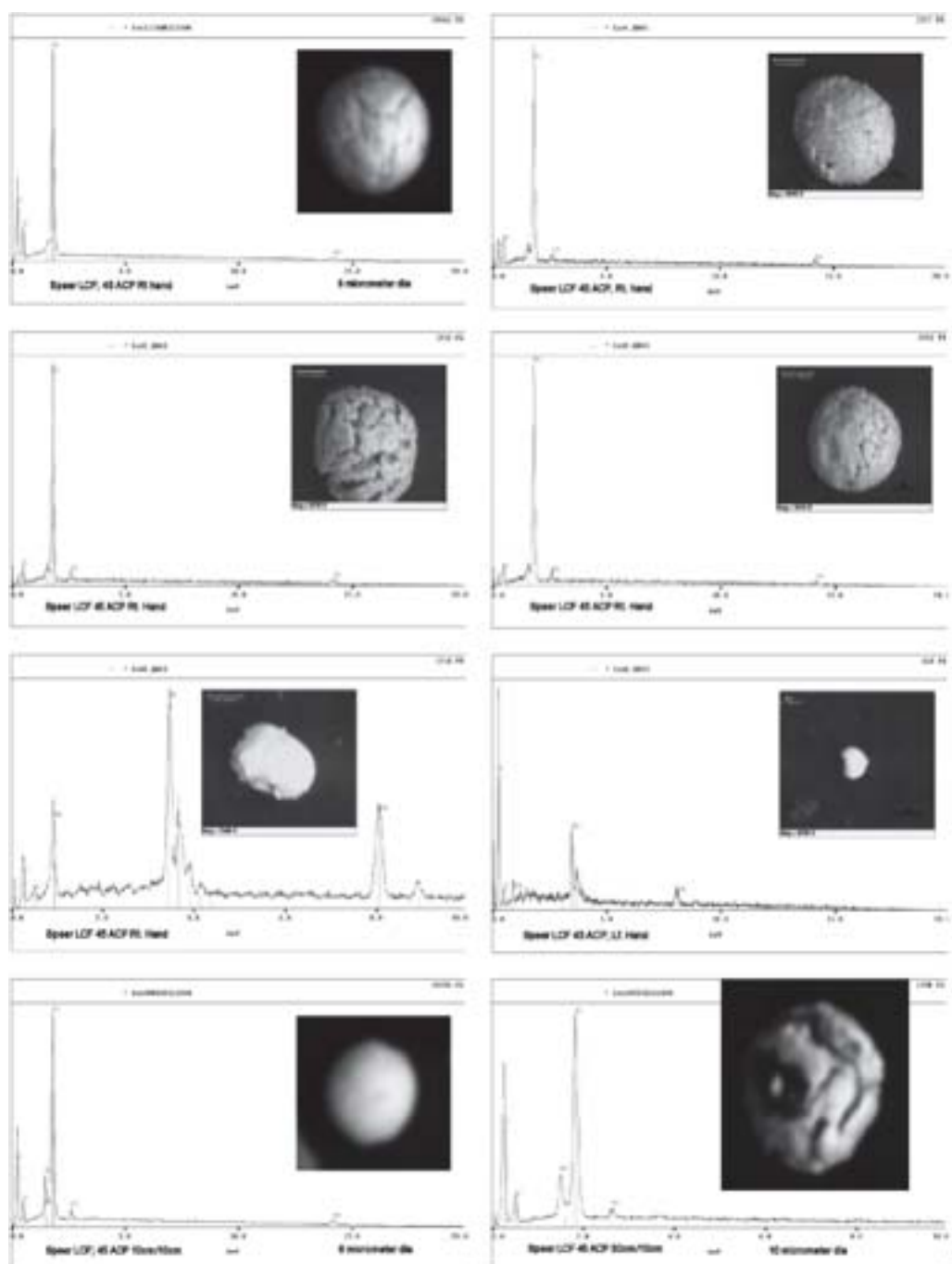
ภาพที่ 52 ลักษณะรูปสัณฐาน และ x-ray emission spectra ของอนุภาคเขม่าปืนบนมือที่ได้จากกระสุนปืน Remington/UMC LeadLess™

ที่มา : Z. Oommen and S.M. Pierce, “Lead-free Primer Residues : a Qualitative Characterization of Winchester WinClean™, Remington/UMC LeadLess™, Federal BallisticClean™, and Speer Lawman CleanFire™ Handgun Ammunition,” *Journal of Forensic Science* 51, 3 (May 2006) : 512.



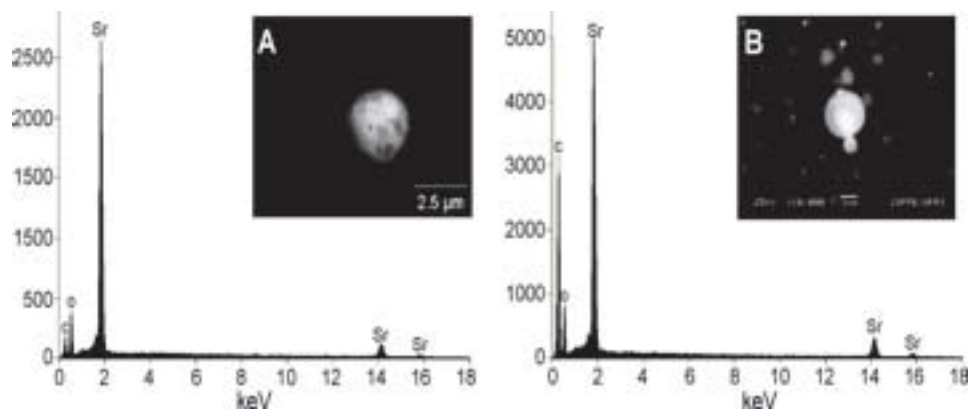
ภาพที่ 53 ลักษณะรูปสัณฐาน และ x-ray emission spectra ของอนุภาคเขม่าปืนบนมือที่ได้จากกระสุนปืน Federal BallisticClean™

ที่มา : Z. Oommen and S.M. Pierce, “Lead-free Primer Residues : a Qualitative Characterization of Winchester WinClean™, Remington/UMC LeadLess™, Federal BallisticClean™, and Speer Lawman CleanFire™ Handgun Ammunition,” *Journal of Forensic Science* 51, 3 (May 2006) : 513.



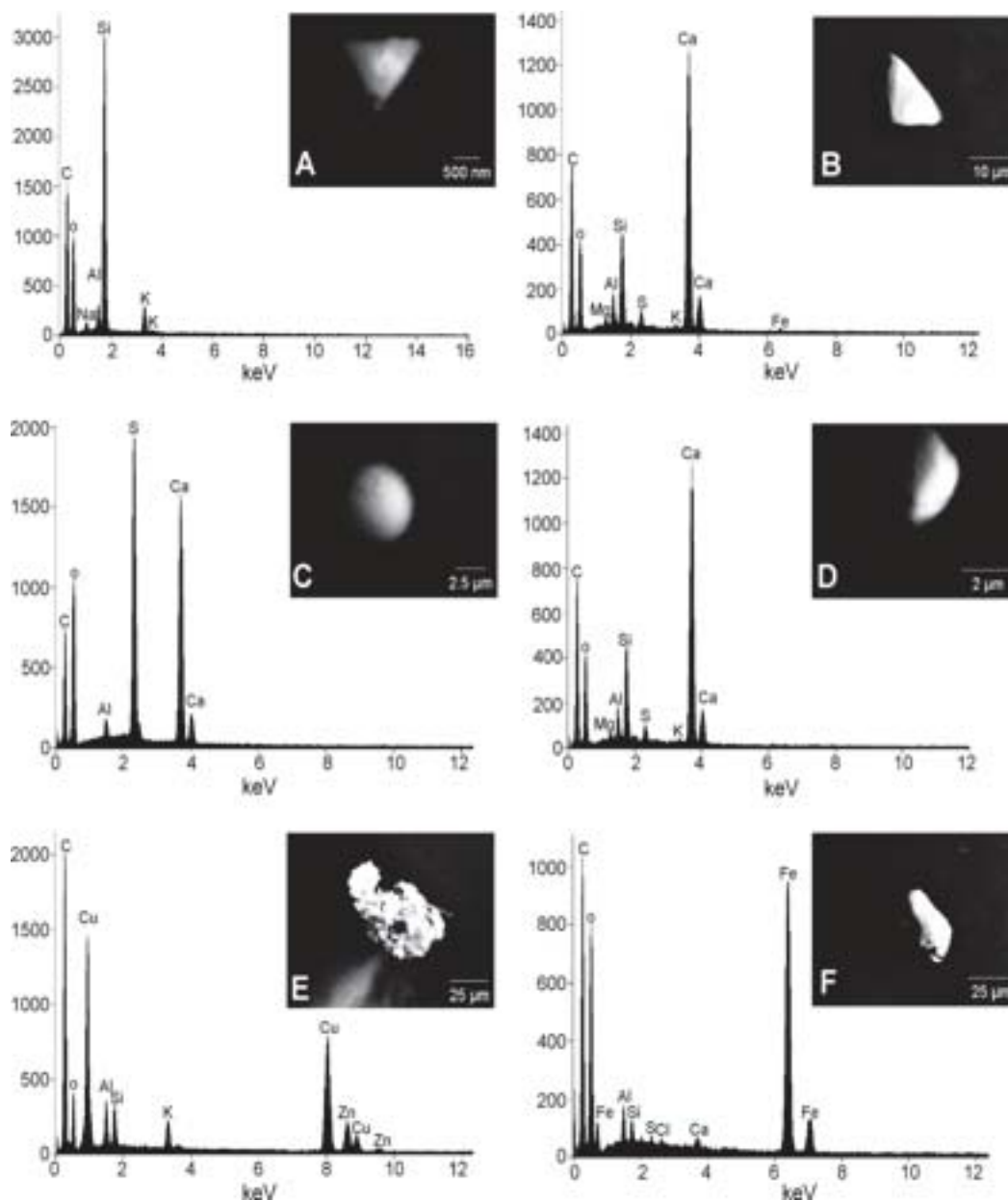
ภาพที่ 54 ลักษณะรูปสัณฐาน และ x-ray emission spectra ของอนุภาคเขม่าปืนบนมือที่ได้จากกระสุนปืน Speer Lawman CleanFire™

ที่มา : Z. Oommen and S.M. Pierce, “Lead-free Primer Residues : a Qualitative Characterization of Winchester WinClean™, Remington/UMC LeadLess™, Federal BallisticClean™, and Speer Lawman CleanFire™ Handgun Ammunition,” *Journal of Forensic Science* 51, 3 (May 2006) : 515.



ภาพที่ 55 backsettered electron (BSE) image และ EDX spectra ของอนุภาคที่ได้จากกระสุนปืน CleanRang® รุ่นการผลิตแรก ยิงด้วย 9 mm luger ที่แสดงให้เห็นว่ามีรูปร่างกลมและมี สตรอนเซียม (Sr) เป็นธาตุหลัก

ที่มา : Andrea Martiny at el. “SEM/EDS Analysis and Characterization of Gunshot Residues from Brazilian Lead-free Ammunition,” *Journal of Forensic Science International* 177, (May 2008) : e12.



ภาพที่ 56 BSE image และ EDX spectra ของอนุภาคที่ได้จากกระสุนปืน CleanRang® รุ่นการผลิตที่สอง ยิงด้วย 9 mm luger โดยแสดงให้เห็นว่าส่วนใหญ่ไม่มีรูปทรงกลม ไม่มีสตรอนเชียม (Sr) เป็นส่วนประกอบ

ที่มา : Andrea Martiny at el. “SEM/EDS Analysis and Characterization of Gunshot Residues from Brazilian Lead-free Ammunition,” *Journal of Forensic Science International* 177, (May 2008) : e13.

5.4 ธาตุที่เป็นส่วนประกอบของอนุภาคเขม่าที่เกิดจากการยิงปืน อาจพิจารณาได้ 2 กลุ่มตามชนิดของกระสุนปืน คือ กระสุนปืนชนิดธรรมดา และกระสุนปืนชนิดปราศจากตะกั่ว โดยส่วนมากธาตุที่เป็นส่วนประกอบของอนุภาคเขม่าปืนมักประกอบด้วยธาตุโลหะ (ตารางที่ 11)

ตารางที่ 11 เปรียบเทียบธาตุองค์ประกอบของชนวนท้ายกระสุนปืนชนิดธรรมดาและปราศจากตะกั่ว

investigated Pb-containing and Pb-free primers, together with their elemental composition			
8 Pb-cont. primers	Elemental composition	7 Pb-free primers	Elemental composition
1. DNAG Geco Sinoxid	Pb, Sb, Ba	1. S&B Nontox	Si, K, Ca
2. Fiocchi Pb-containing	Pb, Sb, Ba	2. Fiocchi Leadless	Sb, Ba
3. Samson TZZ (IMI)	Pb, Sb, Ba, Ca	3. MagTech “Clean Range”	Sr
4. Hirtenberger HP Pb-cont.	Pb, Sb, Si, Ca	4. DNAG Sintox (Cu-jacketed)	Zn, Ti, (Cu)
5. Lapua	Pb, Sb, Si, Ca	5. DNAG Sintox (Sn-jacketed)	Zn, Ti, (Sn)
6. S&B “Neroxin”	Pb, Sb, Si, Ca	6. CCI Blazer Clean-Free	Sr
7. Winchester Western (Olin)	Pb, Sb, Ba	7. Winchester Western Super-X™	K
8. American Eagle (Federal)	Pb, Sb, Ba		

ที่มา : S. Steffen, “Differentiation of Gunshot Residue (GSR) Particles from a Variety of Ammunition Brands Investigated by Energy-Dispersive Scanning Electron Microanalysis (SEM/EDX),” PhD Thesis, TU Bergakademie Freiberg, 2006, cited by S. Steffen et al., “Chemometric Classification of Gunshot Residue Base on Energy Dispersive X-ray Microanalysis and Inductively Coupled Plasma Analysis with Mass-spectrometric Detection,” *Spectrochimica Acta Part B* 62, 9 (September 2007) : 1029.

5.4.1 ธาตุที่เป็นส่วนประกอบของอนุภาคเขม่าปืนจากกระสุนปืนชนิดธรรมดา (regular ammunition) lead styphnate ($\text{PbO}_2\text{C}_6\text{H}(\text{NO}_2)_3$) ที่ทำหน้าที่เป็นตัวจุดระเบิด (initial detonating) antimony trisulphide หรือ stibnite (Sb_2S_3) ถูกใช้เป็นเชื้อเพลิง (fuel) และ barium nitrate ($\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$) ที่ใช้เป็นสารเพิ่มออกซิเจนเพื่อการเผาไหม้ (oxidizing agent) อนุภาคหลักของเขม่าปืนจึงได้มาจากธาตุตะกั่ว (Pb), แอนติโมนี (Sb) และแบเรียม (Ba) รวมทั้งยังพบธาตุโลหะที่ได้มาจากปลอกกระสุนปืนและลูกกระสุนปืนซึ่งได้แก่ อะลูมิเนียม (Al), แคลเซียม (Ca), ทองแดง (Cu), เหล็ก (Fe), แมกนีเซียม (Mg), ดีบุก (Sn) และสังกะสี (Zn) โดยธาตุที่เป็นส่วนประกอบของอนุภาคย่อยแตกต่างกันไปตามชนิดกระสุนปืน (Wolten and Nesbitt 1980; Schwoeble and Exline 2000 : chap. 2 par. 5)

5.4.1.1 ธาตุที่เป็นส่วนประกอบของอนุภาคเขม่าป็น ตามข้อเสนอของ Wolten และคณะ (1979 a) ได้รายงานไว้เป็นครั้งแรกเมื่อปี ค.ศ. 1979 โดยจำแนกเป็น 2 จำพวก คือ

1. characteristic GSR คืออนุภาคเขม่าป็นที่ประกอบด้วยธาตุซึ่งสามารถใช้เป็นลักษณะเฉพาะ เพื่อยืนยันได้ว่าการยิงปืนมา ได้แก่ Pb-Sb-Ba, Ba-Ca-Si โดยมี S เป็นธาตุประกอบในจำนวนน้อย (trace), Ba-Ca-Si โดยมี Pb เป็นธาตุประกอบในจำนวนน้อย (trace) และไม่พบว่ามี Cu และ Zn, (4) Sb-Ba

2. consistent GSR คืออนุภาคที่ไม่แน่นอน แต่สามารถเชื่อมโยงหรือชี้ให้เห็นได้ว่าอาจเกิดมาจากการยิงปืน ได้แก่ (1) Pb-Sb, (2) Pb-Ba, (3) Pb (4) Ba โดยไม่มีหรือมี S เป็นธาตุประกอบในจำนวนน้อย (trace), (5) Sb ในจำนวนน้อยมาก (rare)

ทั้งนี้ อนุภาคทั้ง 2 จำพวกอาจมีธาตุชนิดอื่นเป็นองค์ประกอบได้แก่ Si, Ca, Al, Cu, Fe, S, P (ในจำนวนน้อยมาก), Zn (ในกรณีพบว่ามี Cu), Ni (ในจำนวนน้อยมาก โดยพบในกรณีที่มี Zn และ Cu), K และ Cl โดยยังรายงานไว้ว่าอนุภาคที่มีธาตุองค์ประกอบเหล่านี้สามารถพบได้ในสภาพแวดล้อมและการประกอบอาชีพ (Wolten et al. 1979 b)

5.4.1.2 ธาตุที่เป็นส่วนประกอบของอนุภาคเขม่าป็น ตามข้อเสนอของ Wallace และ McQuillan (1984) ที่ได้ศึกษาจากชนวนท้ายกระสุนปืน โดยจำแนกอนุภาคเขม่าป็นเป็น

1. exclusive category คืออนุภาคของเขม่าที่ประกอบด้วยธาตุเฉพาะตัวซึ่งสามารถใช้เพื่อยืนยันได้ว่าเป็นเขม่าที่เกิดจากการยิงปืน ได้แก่ Pb-Sb- Ba, Sb-Ba

2. characteristic category คืออนุภาคที่มีลักษณะเด่นซึ่งอาจบ่งชี้ได้ว่าเป็นเขม่าที่ได้มาจากการยิงปืน โดยอนุภาคประกอบด้วยธาตุ ดังนี้ Ba-Ca-Si ที่ไม่มีหรือมี S เป็นธาตุประกอบในจำนวนน้อย (traces) เมื่อ Ba เป็นธาตุประกอบหลัก (major), Pb-Sb, Pb-Ba, Sb โดยไม่มีหรือมี S เป็นธาตุประกอบรอง (minor), Ba ที่ไม่มี S เป็นธาตุประกอบรอง, Pb เมื่อไม่พบว่ามี Fe และ P

ทั้งนี้ อนุภาคทั้ง 2 จำพวกอาจมีธาตุชนิดอื่นเป็นองค์ประกอบ ที่อาจพบได้ทั้งจำนวนมาก (abundant) ซึ่งได้แก่ Al, Ca, S และ Si ธาตุองค์ประกอบที่สามารถพบได้ในจำนวนน้อย (trace) ได้แก่ Cl, Cu, Fe, K, Mg, Na, P และ Zn (ในกรณีพบว่ามี Cu) อนึ่ง การจัดกลุ่มธาตุอันเป็นองค์ประกอบของเขม่าป็นตามข้อเสนอของ Wallace และ McQuillan ได้รับการยอมรับโดย ASTM Standards (1995) และ Cardinetti และ คณะ (2004)

5.4.1.3 ธาตุที่เป็นส่วนประกอบของอนุภาคเขม่าป็น ตามรายงานของ Garofano และคณะ (1999) ที่ได้ศึกษาเปรียบเทียบระหว่างอนุภาคที่รับจากสิ่งแวดล้อมและการประกอบอาชีพกับอนุภาคเขม่าป็นจำพวก exclusive (ตารางที่ 12 และตารางที่ 13) โดยเสนอไว้ว่า

1. unique particle อนุภาคของเขม่าซึ่งประกอบด้วยธาตุเฉพาะที่แน่นอน (unique particle) สามารถใช้เพื่อยืนยันได้ว่าเป็นเขม่าที่เกิดจากการยิงปืนจริง ได้แก่ Pb-Sb-Ba และหากพบว่าอนุภาคที่มีธาตุ Sb-Ba อนุภาคนี้เป็น unique particle ก็ต่อเมื่อพบพร้อมกันกับอนุภาคอื่นที่ประกอบด้วยธาตุ Pb-Sb-Ba

2. indicative or characteristic particle หากพบอนุภาคที่มีธาตุ Sb-Ba เป็นองค์ประกอบเพียงอย่างเดียว ย่อมไม่ใช่ unique particle แต่หากพบว่ามี Fe เป็นองค์ประกอบรวม

อยู่ด้วยในจำนวนน้อย (trace) ย่อมเป็นอนุภาคที่มีลักษณะเฉพาะซึ่งน่าเชื่อได้ว่าเป็นเขม่าที่ได้มาจากการยิงปืน (indicative or characteristic particle)

3. border line particle อนุภาคที่มีธาตุ Sb-Ba โดยไม่พบว่ามี Fe เป็นองค์ประกอบ จัดเป็น border line particle ที่ไม่ใช่ทั้ง unique และ indicative particle

5.4.1.4 ธาตุที่เป็นส่วนประกอบของอนุภาคเขม่าปืน ตามข้อเสนอของ Schwoeble และ Exline (2000 : chap. 2 par. 19) ที่อาศัยข้อมูลงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้น และศึกษาวรรณกรรมของ Mosher และคณะ (1998) โดยได้จำแนกอนุภาคเขม่าปืนเป็น

1. unique GSR particle คืออนุภาคของเขม่าที่ประกอบด้วยธาตุเฉพาะตัว ซึ่งสามารถใช้เพื่อยืนยันได้อย่างแน่นอนว่าเป็นเขม่าที่เกิดจากการยิงปืน ได้แก่ Pb-Sb- Ba

2. characteristic GSR particle คืออนุภาคที่มีลักษณะเด่นอาจบ่งชี้ได้ว่าเป็นเขม่าที่ได้มาจากการยิงปืน โดยอนุภาคประกอบด้วยธาตุ ดังนี้ Pb-Sb, Pb-Ba, Sb-Ba, Sb, Ba, Ba-Ca-Si ที่มี S เป็นธาตุประกอบในจำนวนน้อย (trace)

ทั้งนี้ อนุภาคทั้ง 2 จำพวกอาจมีธาตุชนิดอื่นเป็นองค์ประกอบรอง (minor) ซึ่ง ได้แก่ Si, Ca, Al, Cu, Fe, S, P, Zn (ในกรณีพบว่ามี Cu), Ni, K, และ Cl

5.4.1.5 ธาตุที่เป็นส่วนประกอบของอนุภาคเขม่าปืนจำพวก Unique GSR Particle ตามข้อเสนอ Romolo และ Margot (2001 : 206) ที่ได้ทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวกับอนุภาคเขม่าปืนที่กล่าวมาข้างต้น และอาศัยข้อมูลงานวิจัยของ Zeicher และ Levin (1997) ซึ่งได้เสนอให้ Pb-Sb-Ba, Sb-Ba และ Pb-Ba-Ca-Si-Sn เป็น unique GSR particle

5.4.1.6 ธาตุที่เป็นส่วนประกอบของอนุภาคเขม่าปืน ตามข้อเสนอของ Brozek-Mucha และ Agnieszka Jankowicz (2001) ซึ่งได้จำแนกอนุภาคเขม่าปืนเป็น

1. unique GSR particle คืออนุภาคของเขม่าที่ประกอบด้วยธาตุเฉพาะตัว ซึ่งสามารถใช้เพื่อยืนยันได้อย่างแน่นอนว่าเป็นเขม่าที่เกิดจากการยิงปืน ได้แก่ Pb-Sb-Ba

2. indicative GSR particle คืออนุภาคที่มีลักษณะเด่นอาจบ่งชี้ได้ว่าเป็นเขม่าที่ได้มาจากการยิงปืน โดยอนุภาคประกอบด้วยธาตุ ดังนี้ Pb-Sb (Sn), Pb-Ba, Sb-Ba, Pb, Bb (Sn), Ba

ทั้งนี้ อนุภาคทั้ง 2 จำพวกอาจมีธาตุอื่นเป็นองค์ประกอบรอง ซึ่งได้แก่ Cr (โครเมียม), Fe, Ni, Cu, Zn, Bi (บิสมัท), Sn และ BaSO₄ และยังพบว่ามีธาตุ Hg เป็นธาตุที่น่าให้ความสนใจ (interesting GSR particle)

ตารางที่ 12 จำแนกธาตุองค์ประกอบของอนุภาคบริเวณมือที่ได้จากแหล่งอื่น

category	exclusive	characteristic	comments
Negative			
Children's revolver type cap gun (8)	-	-	-
Fuse industry workers (2)	-	-	-
Car battery salemen (4)	-	7 Pb-Sb	14 Pb-Sn
Catalytic and noncatalytic mufflers (4)	-	-	-
Sales and Car tyre replacement workers (8)	-	17 Pb-Sb	-
Tyres of different maker (3)	-	2 Pb-Sb, 2 Pb-Ba	-
Automobile body builder (4)	-	-	1 Pb-Sn
Printer (2)	-	-	-
Furniture finishers (2)	-	8 Pb-Ba	6 Pb-Sn
Auto workers (4)	-	-	-
Building maintenance electricians (2)	-	-	-
House paint (2)	-	-	-
Industrial auto repair shop workers (6)	-	-	-
Scrap iron dealers (2)	-	9 Pb-Sb	-
Welders (2)	-	-	-
Industrial welders (7)	-	-	-
Hardware store workers (2)	-	-	1 Pb-Sn
Electric line electricians (2)	-	-	-
Radio-TV repairmen (2)	-	-	116 Pb-Sn
Plumbers (2)	-	-	-
Fuse industry workers (2)	-	-	-
Computer repairmen (2)	-	-	-

ที่มา : L. Garofano et al., "Gunshot Residue Further Studies on Particles of Environmental and Occupational Origin," Forensic Science International 103 (July 1999) : 5.

ตารางที่ 13 จำแนกธาตุองค์ประกอบของอนุภาคบริเวณมือที่ได้จากแหล่งอื่น (ต่อ)

category	exclusive	characteristic	comments
Positive			
Nail stapless (7)	6 Pb-Ba-Sb	-	3 Particles without iron 3 with traces of iron
Car radio installers (5)	1 Ba-Sb	1 Pb-Sb	1 Ba-Sb with iron (not major, not minor) 12 Pb-Sn
Automobile electricians (9)	6 Ba-Sb	3 Pb-Ba 7 Pb-Sb	6 Ba-Sb with iron (3 with major iron) 91 Pb-Sn
Motor repair auto mechanics (12)	2 Ba-Sb	3 Pb-Ba 9 Pb-Sb	2 Ba-Sb with traces of iron 54 Pb-Sn
Brake repair auto mechanics (11)	5 Ba-Sb	2 Pb-Sb	5 Ba-Sb with iron (3 with major iron) 108 Pb-Sn
Disk brake hubs of various automobile types (4)	3 Ba-Sb	55 Pb-Ba	3 Ba-Sb with major iron
Petrol station attendants (11)	1 Ba-Sb	4 Pb-Sb	1 Ba-Sb with major iron 141 Pb-Sn
Pyrotechnic and fireworks experts (4)	Many particles of Ba and Sb	10 Pb-Sb 1 Pb-Ba	Plates of Ba and Sb not fused

ที่มา : L. Garofano et al., "Gunshot Residue Further Studies on Particles of Environmental and Occupational Origin," Forensic Science International 103 (July 1999) : 5.

5.4.2 ธาตุที่เป็นส่วนประกอบของอนุภาคเข้ามาป็นที่ได้จากกระสุนปืนชนิดปราศจากตะกั่ว ซึ่งมีขนาดทำยกระสุนปืนที่ไม่มีธาตุโลหะตะกั่วเป็นองค์ประกอบ และใช้ลูกกระสุนปืนชนิดที่หุ้มแกนลูกกระสุนปืนหมดทั้งลูก (encapsulated projectile) สารที่นำมาผสมเป็นขนาดทำยกระสุนปืนชนิดนี้ แตกต่างกันไปตามผู้ผลิต โดยนิยมใช้ Tertrazine ($C_2H_2N_4$) และ Diazole ($C_3H_4N_2$) เป็นสารที่ทำหน้าที่เป็นเชื้อปะทุ (initiating explosive) ใช้ Barium Nitrate ($Ba(NO_3)_2$), Strontium Nitrate ($Sr(NO_3)_2$), Potassium Nitrate (KNO_3) และ Zinc Peroxide (ZnO_2) เป็น Oxidizing Agent เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการเผาไหม้ เชื้อเพลิงสำหรับจุดดินส่งกระสุนปืน (fuel) มักใช้ Antimony Trisulphide (Sb_2S_3), Calcium Silicide ($CaSi_2$) และ Titanium (Ti) (Martiny et al. 2008 : e15-e16) อนุภาคของเข้ามาป็นจึงได้มาจากธาตุโพแทสเซียม (K), ซิลิคอน (Si) ยังพบธาตุโลหะอะลูมิเนียม (Al), แคลเซียม (Ca), ทองแดง (Cu), สตรอนเชียม (Sr), ไทเทเนียม (Ti), ดีบุก (Sn) และสังกะสี (Zn) รวมทั้ง แอนติโมนี (Sb) และแบเรียม (Ba) โดยธาตุที่เป็นส่วนประกอบของอนุภาคที่ได้จากการวิเคราะห์ขนาดทำยกระสุนปืนย่อมแตกต่างกันไปตามชนิดกระสุนปืน (ตารางที่ 14 และ ตารางที่ 15) ทั้งนี้ ในกระสุนปืนบางชนิดได้พัฒนาขึ้นโดยไม่มีธาตุโลหะหนักเป็นองค์ประกอบ (nontoxic ammunition)

ธาตุอันเป็นองค์ประกอบของเข้ามาป็นที่พบได้บ่อยครั้งที่สุดในกระสุนปืนชนิดปราศจากตะกั่ว คืออะลูมิเนียม (Al), ซิลิคอน (Si), ทองแดง (Cu), สังกะสี (Zn) รวมทั้งโพแทสเซียม (K) และแบเรียม (Ba) และยังพบว่ามียอรรอยของธาตุแคลเซียม (Ca) และซิลเฟอร์ (S) ในจำนวนน้อย โดยอาจมีเหล็ก (Fe) และโซเดียม (Na) รวมอยู่ด้วย อนึ่ง ขนาดทำยกระสุนปืนชนิดนี้บางชนิดมีธาตุสตรอนเชียม (Sr) เป็นองค์ประกอบหลักเพียงธาตุเดียว (Oommen and Pierce 2006; Martiny et al. 2008)

ทั้งนี้ มีธาตุซึ่งเป็นส่วนประกอบของอนุภาคเข้ามาป็นที่ได้จากกระสุนปืนชนิดปราศจากตะกั่ว บางชนิดอาจได้รับมาจากสิ่งแวดล้อมและการประกอบอาชีพ เช่นพบอนุภาคชนิด irregular particles ของธาตุ Al, Si, Mg, K, S, Fe, Cu และ Zn ในการประกอบอาชีพช่างไฟฟ้ารถยนต์ ยังพบอนุภาคของธาตุ Al, Si, S, Fe, Cu และ Zn ในอาชีพช่างยนต์ ส่วนอาชีพพนักงานเติมน้ำมันเชื้อเพลิงพบอนุภาคของธาตุ Mg, Al, Si, S, Fe และ Cu (Garofano et al. 1999 : 7) สำหรับช่างซ่อมห้ามล้อรถยนต์พบว่ามีอนุภาคของธาตุ Mg, Al, Si, S, Fe, Cu และ Zn (Martiny et al. 2008 : e9) และอาชีพที่เกี่ยวข้องการผสมและพ่นสีซึ่งต้องสัมผัสกับรงควัตถุ (pigment) และสารผสมสี (extender)

ตารางที่ 14 ธาตุอันเป็นส่วนประกอบที่วิเคราะห์พบ (experimental) และส่วนประกอบของกระสุนปืน (MSDS) ชนิดปราศจากตะกั่ว จากกระสุนปืน Winchester WinClean™, Remington/UMC LeadLess™, Federal BallisticClean™ และ Speer Lawman CleanFire™

TABLE - MSDS, patent, and experimental result comparison			
	Experimental Results	MSDS Contents	Patent Claim
W/WinClean™	K (major), Al, Si, Ca, Cu, Zn, S, Ni, Cr, Mg, Fe	Cu, Zn (cup) DDNP Potassium nitrate Boron Nitrocellulose	Cu, Zn (cup) DDNP Potassium nitrate Boron Nitrocellulose or Nitroglycerine Calcium silicide or Tertracene
R/UMC LeadLess™	Al, Si, K, Ca, Na, Mg (trace)	Cu, Zn (cup) DDNP Barium Tertracene Nitrocellulose Nitroglycerine	(mix only) DDNP Tertracene Pentaerythryl tetranitrat (PETN) or Aluminum or Antimony sulfide Nitrocellulose Barium nitrate Binders
F/BallisticClean™	Ba, Si, Al	Cu, Zn (case) DDNP Tertracene Barium nitrate Aluminum Nitrocellulose Nitroglycerine	(mix only) DDNP Tertracene Barium nitrate Aluminum Nitrocellulose Nitroglycerine Ground glass Gum tragacanth
SL. CleanFire™	Sr, O, Al, Cl	Cu, Zn, Ni DDNP Tertracene Strontium nitrate Nitrocellulose Nitroglycerine	(mix only) DDNP Tertracene Strontium nitrate Nitrocellulose Nitroglycerine

ที่มา : Z. Oommen, and S.M. Pierce, “Lead-free Primer Residues : a Qualitative Characterization of Winchester WinClean™, Remington/UMC LeadLess™, Federal BallisticClean™, and Speer Lawman CleanFire™ Handgun Ammunition,” Journal of Forensic Science 51, 3 (May 2006) : 516.

ตารางที่ 15 ธาตุอันเป็นส่วนประกอบของกระสุนปืนชนิดปราศจากตะกั่ว CBC CleanRange® ที่ผลิตในประเทศ Brazil

composition of primer and plume CBC CleanRang® ammunition

generation produced	caliber	primer	plume	
		composition	major elements	major elements
1	9 mm Luger CR	Sr, N, Na, K	Sr	Sr
	9 mm Luger CR	Al, Si, K, Ca, Na, S, Mg	Al, Si, K	Al, Si, Ca
2	.40 S&W CR	Al, Si, K, Ca, Na, S, Mg	Al, Si, K	Al, Si, Ca
	.380 AUTO CR	Al, Si, K, Ca, Na, S, Mg	Al, Si, K	Al, Si, K, Ca, Na
	.38 SPL CR	Al, Si, K, Ca, Na, S, Mg	Al, Si, K	Al, Si, Ca

Data obtained from EDS analysis of particles collected from ignited primer, plume and from the shooters' hands after firearm discharge with the ammunition indicated

ที่มา : A. Martiny et al., "SEM/EDS Analysis and Characterization of Gunshot Residues from Brazilian Lead-free Ammunition," *Journal of Forensic Science International* 177, 1 (May 2008) : e15.

6. การตกค้างและการคงอยู่ของอนุภาคที่เกิดจากการยิงปืน

6.1 การตกค้างของอนุภาคที่เกิดจากการยิงปืน การตกค้าง (deposition) ของอนุภาคเขม่าปืนเกิดขึ้นหลังจากการยิงปืน โดยกลุ่มไอของอนุภาคเขม่าปืนซึ่งเกิดจากการเผาไหม้ของชนวนท้ายกระสุนปืน จะถูกขับออกมาพร้อมกับกลุ่มก๊าซด้วยแรงดันที่เกิดจากการเผาไหม้ของดินส่กระสุนปืน เกิดการกระจายตัวและตกค้างยังบุคคลหรือวัตถุต่างๆ ซึ่งตั้งอยู่ในบริเวณที่มีการใช้ปืน รวมทั้งเป้าหมายที่ถูกกระหน่ำด้วยลูกกระสุนปืน (Schwoeble and Exline 2000 : chap. 1 par. 11) ปริมาณของเขม่าปืนที่ตกค้าง มีจำนวนเล็กน้อยแตกต่างกัน เนื่องจากปัจจัยหลายประการ เช่น สภาพแวดล้อมในบริเวณที่ยิงปืน ชนิดและสภาพของอาวุธปืน ชนิดของกระสุนปืน ขนาดลำกล้องปืน จำนวนนัดที่ยิง สภาพพื้นผิวที่เขม่าปืนตกค้าง (Krishnan 1977; Schwoeble and Exline 2000 : chap. 1 par. 13)

การกระจายตัวและการตกค้างของอนุภาคเขม่าปืนในบุคคลที่ผ่านการยิงปืน เกิดขึ้นได้ในหลายตำแหน่ง เช่น มือ เสื้อผ้าที่สวมใส่ บริเวณส่วนของแขนที่อยู่ระหว่างศอกกับข้อมือ แขนเสื้อ รวมทั้งบริเวณหน้าอก (Schwoeble and Exline 2000 : chap. 1 par. 11,14) ทั้งยังมีตกค้างบนใบหน้าและ

ล้าคอ (Loyd 1986; Schwoeble and Exline 2000 : chap. 1 par. 14) เส้นผม (Zeichner and Levin 1993) ซึ่งเป็นไปตามหลักทั่วไปที่เกี่ยวกับร่องรอยและการเคลื่อนย้ายของวัตถุพยานหลักฐาน หรือ Locard Exchange Principle ที่ได้แสดงให้เห็นว่าเมื่อวัตถุสองสิ่งสัมผัสหรือกระทบกัน ย่อมเกิดการแลกเปลี่ยนพยานหลักฐานซึ่งกันและกัน การแลกเปลี่ยนที่เกิดขึ้นนี้เกิดขึ้นได้ทั้งโดยตรง (direct transfer) และโดยอ้อม (secondary transfer) (locard 1982 : 177-192, cite by Schwoeble and Exline 2000 : chap. 1 par. 12)

ในการศึกษานี้ให้ความสำคัญแก่การตกค้างของอนุภาคเขม่าป็นในบุคคล โดยเฉพาะบริเวณมือข้างที่ใช้อย่างเป็น เพราะเขม่าป็นที่ตกค้างบนมือของบุคคลซึ่งใช้ปืนยิง เป็นตำแหน่งที่นิยมใช้เก็บตัวอย่างเขม่าป็นจากผู้ต้องสงสัยเพื่อใช้ในการตรวจพิสูจน์ (Jalanti et al. 1999 : 48; Zadora 2003 : 346) เนื่องจากพบว่ามืออนุภาคเขม่าป็นกระจายตัวและตกค้างอยู่เป็นจำนวนมากที่สุด (Krishnan 1977; Zeichner 1995; Schwoeble and Exline 2000 : chap. 1 par. 14) มีรายงานว่า การกระจายและการตกค้างของตะกั่ว (Pb), แอนติโมนี (Sb) และแบเรียม (Ba) เกิดขึ้นในลักษณะเหมือนกัน แต่บางทีอาจจะไม่พบตะกั่ว (Pb) ในเขม่าป็น ทั้งนี้ ตำแหน่งการกระจายและการตกค้างของเขม่าป็นบนมือแตกต่างกันไปตามชนิดของอาวุธปืน (วิชาญ เกี่ยวการค้าและคณะ 2529) โดยพบว่าเขม่าป็นบริเวณหลังมือมีจำนวนมากกว่าบริเวณฝ่ามือ (Wessel et al. 1974)

6.2 การคงอยู่ของอนุภาคที่เกิดจากการยิงปืน การคงอยู่ของเขม่าป็น (persistence) คือ ระยะเวลาการติดอยู่ของเขม่าป็นบนบุคคล หรือวัตถุ หรือสิ่งหนึ่งสิ่งใด ที่เขม่าป็นตกค้างอยู่ด้วย ซึ่งอาจมีระยะเวลาน้อยกว่าหรือเท่ากับระยะเวลาที่ใช้สำหรับการสลายตัว (degradation) ของเขม่าป็น ในกรณีเขม่าป็นประเภท i-GSR ย่อมมีการคงอยู่ของเขม่าได้นาน เพราะเป็นเขม่าป็นที่มีแหล่งกำเนิดมาจากเครื่องกระสุนปืนซึ่งส่วนมากประกอบไปด้วยธาตุโลหะ ที่โดยปกติมีระยะเวลาการคงอยู่ในสภาพแวดล้อมได้นานเท่าที่นานจนกว่าอนุภาคโลหะหลักได้สลายตัวไปจนหมด อย่างไรก็ตาม ระยะเวลาการคงอยู่อาจไม่นานเท่ากับระยะเวลาปกติ หากปรากฏว่าเขม่าป็นได้ตกค้างอยู่บนมือหรือเสื้อผ้าของบุคคลใช้ปืนซึ่งยังมีชีวิต เนื่องจากกิจกรรมที่ผู้ยิงปืนได้กระทำลงไปหลังจากการตกค้างของเขม่าป็น ทั้งการล้างและการเช็ดมือมีผลต่อการคงอยู่ของเขม่าป็น (Jalanti et al. 1999 : 48; Schwoeble and Exline 2000 : chap. 1 pars. 10,12)

มีรายงานเกี่ยวกับระยะเวลาการคงอยู่ของอนุภาคเขม่าป็นภายหลังจากการยิงปืน โดยในแต่ละชั้นได้รายงานถึงระยะเวลาที่สามารถตรวจพบเขม่าป็นในตัวอย่าง ซึ่งแตกต่างกันไปตามเทคนิค วิธีการ และเงื่อนไขในการทดลอง โดยมีระยะเวลาการตกค้างหลังจากการยิงปืนตั้งแต่ 1 ชั่วโมงโดยใช้เทคนิค Photoluminescence Technique (Nesbitt et al. 1977), 2 ชั่วโมงเมื่อตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Neutron Activation Analysis-NAA (Kilty 1975), 3 ชั่วโมงที่ตรวจพบด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscopy-SEM (Andrasko and Maehly 1977), 6 ถึง 12 ชั่วโมงโดยตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscope/energy Dispersive X-ray-SEM/EDX (Jalanti et al. 1999 : 48; Wolten et al. a 1997; Wolten et al. c 1997) และอาจมีระยะเวลานาน 17 ถึง 24 ชั่วโมงเมื่อตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Neutron Activation Analysis-NAA (Krishnan 1974; Krishnan 1977) และยังพบว่ายังมีเขม่าป็นตกค้างที่เมืออกเยื่อบริเวณโพรงจมูก แม้ว่าได้ผ่านการยิงปืนมาแล้วนาน

48 ชั่วโมง (Schwartz and Zona 1995)

แม้จะพบได้ว่าการตกค้างของอนุภาคเขม่าป็นบนมือมีเป็นจำนวนมาก แต่หากเป็นเขม่าป็นที่อยู่บนมือของบุคคลที่มีชีวิต จำนวนของอนุภาคย่อมถูกทำลายหรือทำให้ลดลงได้เร็วที่สุด แม้ห้ามไม่ให้ผู้ยิงล้างมือ แต่อนุภาคมีจำนวนลดลงเนื่องจากกิจกรรมที่สร้างขึ้นภายหลังจากการยิงปืน (Andrasko and Maehly 1977; tillman 1987) โดยการลดลงของจำนวนอนุภาคเขม่าป็นเกิดขึ้นมากที่สุดในชั่วโมงแรก หลังจากการยิงปืน (Nesbitt et al. 1977; California Department of Justice, Bureau of Forensic Services 2008) และลดลงอย่างต่อเนื่องในชั่วโมงที่ 2 ถึงชั่วโมงที่ 3 (Nesbitt et al. 1977) นอกจากนี้ Kilty (1975) ได้รายงานไว้ว่าหลังจากการยิงปืนโดยอนุญาตให้ผู้ยิงได้ทำกิจกรรมตามปกติ แต่ห้ามไม่ให้ล้างมือ เป็นผลให้อนุภาคของแบเรียม (Ba) ลดจำนวนลง 10 เท่า ใน 2 ชั่วโมงแรก เช่นนี้ การคงอยู่ของอนุภาคเขม่าป็นไม่ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางเคมีของเขม่าป็น (Jalanti et al. 1999) แต่ขึ้นอยู่กับกิจกรรมที่ทำและเวลาหลังจากการยิงปืน (Kilty 1975; Schwoeble and Exline 2000 : chap. 1 pars. 25)

7. การเก็บและการเตรียมตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์หาอนุภาคเขม่าป็นบนมือ

การเก็บตัวอย่างและการเตรียมตัวอย่างเพื่อการตรวจวิเคราะห์หาอนุภาคเขม่าป็นมีอยู่หลายวิธี โดยขึ้นอยู่กับเทคนิคที่เลือกใช้สำหรับตรวจวิเคราะห์ แต่ละเทคนิคที่ในแต่ละหน่วยงานนำมาใช้เพื่อวิเคราะห์หาเขม่าป็น มีวิธีการเก็บและการเตรียมตัวอย่างในแบบแผนที่คล้ายคลึงกัน ทั้งนี้ การเก็บตัวอย่างที่มีดีและประสิทธิภาพต้องมีกระบวนการที่ไม่ยุ่งยาก รวดเร็ว และปราศจากการปนเปื้อน (Diana and Michael 2006)

7.1 การเก็บตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์หาอนุภาคเขม่าป็นด้วยเทคนิค SEM

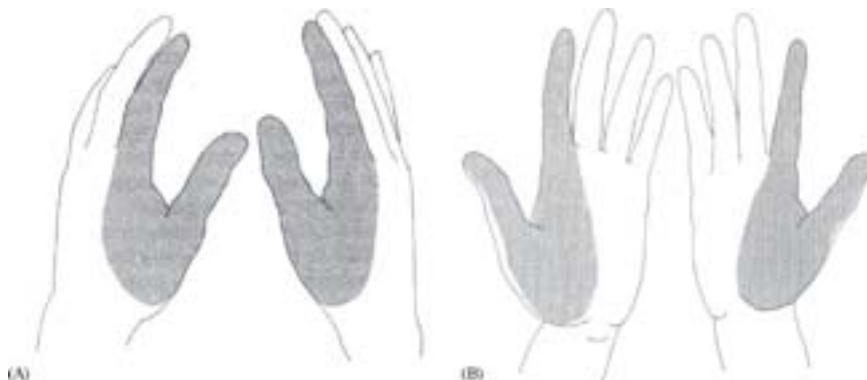
7.1.1 วิธีการเก็บตัวอย่างเขม่าป็นบนมือ การเก็บตัวอย่างต้องสวมถุงมือ (sterile gloves) ขณะทำเก็บตัวอย่าง ในการเก็บตัวอย่างเพื่อนำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscope (SEM) วิธีการเก็บตัวอย่างมีหลายวิธี เช่น glue-lift หรือการเก็บตัวอย่างด้วยกาว ใช้สำหรับการเก็บตัวอย่างในพื้นที่ที่จำกัด เช่นตัวอย่างจากเนื้อเยื่อหรือบาดแผล และ tape lifting ซึ่งเป็นเทคนิคที่มีประสิทธิภาพ (de Gaetano, Siegel, and Kiomparens 1992) ในปัจจุบันนิยมใช้เทคนิค tape lifting โดยเก็บตัวอย่างด้วย adhesive tape และ stub การเก็บตัวอย่างด้วยวิธี tape lifting นี้สามารถนำไปใช้กับเทคนิค Micellar Electrokinetic Capillary Electrophoresis (MECE) วิธีการ tape lifting นี้นิยมใช้กันโดยทั่วไปสำหรับเก็บตัวอย่างเขม่าป็นจากมือ บนใบหน้า เสื้อผ้า รวมทั้งวัสดุที่ใช้ภายในรถยนต์ อนึ่ง การเก็บตัวอย่างด้วยสารละลาย nitric acid 5% ที่อยู่ในรูปของเหลว ไม่เหมาะที่จะนำมาใช้วิเคราะห์ด้วยเทคนิค SEM เพราะเครื่องทำงานด้วยระบบสุญญากาศ ตัวอย่างที่เตรียมขึ้นไว้เพื่อวิเคราะห์ต้องแห้งไม่มีสารที่ระเหยได้ ซึ่งแตกต่างไปจากการเตรียมตัวอย่างด้วยเทคนิค Atomic Absorption (AA), Inductively Coupled Plasma (ICP) รวมถึง Neutron Activation Analysis (NAA) ที่ต้องเตรียมไว้ในรูปของสารละลายโดยใช้ cotton swab ชุบด้วยสารละลาย nitric acid 2%-5% เพื่อเก็บตัวอย่างเพื่อนำไปวิเคราะห์ นอกจากนี้ cotton swab ยังใช้เก็บตัวอย่างจากบริเวณโพรงจมูกและหู (Schwoeble and Exline 2000 : chap. 1 pars. 15-17)

ชนิดของ adhesive tape มีอยู่หลายชนิดซึ่งทำจากวัสดุซึ่งมีคุณสมบัติที่สามารถนำไฟฟ้าได้ เช่น เทปการชนิดธรรมดา (double-back tape) เทปการคาร์บอน (double-back carbon tape) เทปการอะลูมิเนียม (double-back aluminum tape) และเทปการชนิดพิเศษ (multiple-adhesive-layer tape) และหากใช้ aluminium stub ที่มี polymerize adhesive จะต้องเคลือบด้วย conductive layer เพื่อให้สามารถนำไฟฟ้าได้หรือเมื่อใช้การวิเคราะห์ด้วย variable pressure SEM (Schwoeble and Exline 2000 : chap. 1 pars. 18-19)

ก่อนเก็บตัวอย่างทำการล้างมือให้สะอาดและเช็ดมือให้แห้ง ห้ามสัมผัสกับมือตัวอย่าง ในขณะที่เก็บตัวอย่างให้สวมถุงมือเพื่อใช้หยิบจับ stub และเปลี่ยนใหม่ทุกครั้งเมื่อต้องเก็บตัวอย่างครั้งต่อไป ให้ทำการเก็บตัวอย่างเขม่าป็นโดยใช้ adhesive tape อนึ่ง เพื่อความสะดวกและรวดเร็วควรใช้ mouth ในการเก็บตัวอย่าง ทั้งนี้ ไม่ควรใช้วิธีเก็บตัวอย่างโดยการถูหรือหมุน stub การเก็บตัวอย่างให้ทำโดยการกด adhesive tape ให้ทั่วบริเวณที่ต้องการเก็บตัวอย่าง จนกระทั่งกาวยุบบนผิว adhesive tape ถูกใช้จดหมด (California Department of Justice, Bureau of Forensic Services 2008; Ted pella, inc 2008) บางวิธีอาจเก็บตัวอย่างโดยใช้วิธีการกด adhesive tape ให้ทั่วบริเวณที่ต้องการ เป็นจำนวนอย่างน้อย 100 ครั้งเมื่อเก็บตัวอย่างเขม่าป็นจากมือ (Brozek-mucha and Jankowicz 2001 : 40) และอาจมากถึง 200 ครั้งเมื่อเก็บตัวอย่างจากเสื้อผ้า (วิวัฒน์ ชินวร 2547 : 49)

7.1.2 ระยะเวลาการเก็บตัวอย่างเขม่าป็นบนมือ ในกรณีที่เขม่าป็นตกค้างบนมือของบุคคลที่ยังมีชีวิต ในทางปฏิบัติใช้เวลา cut off ภายใน 4-6 ชั่วโมงหลังจากการยิงปืน (วิวัฒน์ ชินวร 2547 : 94; Schwoeble and Exline 2000 : chap. 1 par. 25; California Department of Justice, Bureau of Forensic Services 2008) สำหรับ FBI laboratory ใช้ cut off ที่ 5 ชั่วโมงหลังจากการยิงปืน แต่สำหรับการตรวจวิเคราะห์ของ Florida Department of Law Enforcement และ Toronto Centre of Forensic Sciences มีเวลา cut off ที่ไม่เกินกว่า 8 ชั่วโมงหลังจากการยิงปืน (Diana and Michael 2006)

7.1.3 บริเวณที่เก็บตัวอย่างเขม่าป็น มีอยู่หลายจุดแตกต่างกัน เช่น การเก็บตัวอย่างเฉพาะบริเวณหลังมือของมือแต่ละข้าง หรืออาจเก็บรวมไว้เป็นตัวอย่างเดียวกันทั้งบริเวณหลังมือและฝ่ามือของมือแต่ละข้าง หรือเก็บตัวอย่างเป็น 4 ตัวอย่างจากบริเวณหลังมือและฝ่ามือของมือแต่ละข้าง ทั้งนี้ โดยทั่วไปนิยมเก็บตัวอย่างเขม่าป็นจากบริเวณหลังมือและฝ่ามือตั้งแต่นิ้วหัวแม่มือและนิ้วชี้ ในลักษณะรูปตัววี (v-shaped) ลงไปจนถึงข้อมือ โดยรวมทั้งบริเวณง่ามนิ้วมือที่อยู่ระหว่างนิ้วหัวแม่มือและนิ้วชี้ด้วย (Jalanti et al. 1999 : 49; Schwoeble and Exline 2000 : chap. 1 par. 18; Brozek-mucha and Jankowicz 2001 : 40; Morales and Vázquez 2007 : 227) (ภาพที่ 57)



ภาพที่ 57 พื้นที่ที่ใช้เก็บตัวอย่างเขม่าปืน (รูปซ้าย) และพื้นที่ที่ใช้เก็บตัวอย่างบริเวณฝ่ามือ (รูปขวา)
ที่มา : Ernesto Bernal Morales and Alma L. Revilla Vázquez, “Simultaneous Determination of Inorganic and Organic Gunshot Residues by Capillary Electrophoresis,” *Journal of Chromatography A* 1061, 2 (December 2004) : 225-233.

7.2 การเตรียมตัวอย่างเขม่าปืนบนมือเพื่อตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscope การเตรียมตัวอย่างมีทั้งแบบเคลือบและไม่เคลือบผิวตัวอย่าง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ การนำไฟฟ้า ในกรณีตัวอย่างนำไฟฟ้าได้น้อยต้องใช้วิธีเคลือบผิว (coating) เพื่อให้ผิวของตัวอย่างนำ ไฟฟ้าและช่วยสะท้อนอิเล็กตรอน หากตัวอย่างมีคุณสมบัตินำไฟฟ้าหรือใช้เทปกาวชนิด double-back aluminum tape ไม่จำเป็นต้องเคลือบผิวตัวอย่าง อนึ่ง สารที่นิยมใช้สำหรับเคลือบผิวตัวอย่างสำหรับ วิเคราะห์เขม่าปืนด้วยเทคนิค SEM คือคาร์บอน เพราะเป็นธาตุที่ไม่มีผลรบกวนการวิเคราะห์ (Schwoeble and Exline 2000 : chap. 1 pars. 20-21) รวมทั้งอาจใช้ทองเป็นสารเคลือบตัวอย่าง หากธาตุที่วิเคราะห์ไม่ใช้โลหะหนัก (Nesbitt et al. 1976)

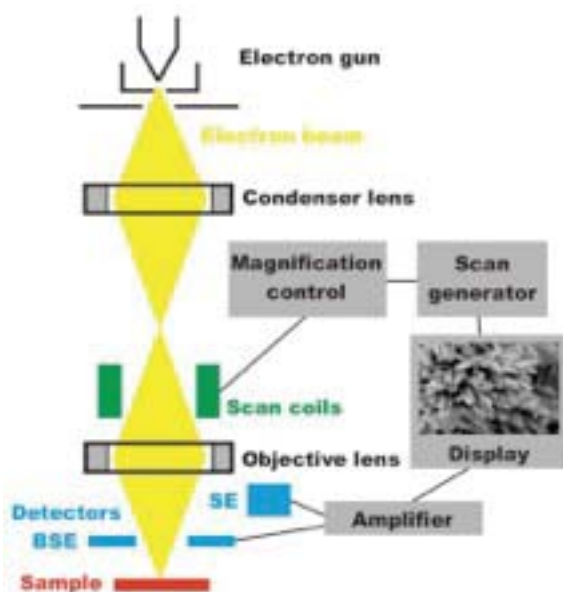
8. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

Scanning Electron Microscope เรียกโดยย่อว่า SEM หรือในภาษาไทยเรียกว่า กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด เป็นกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยายสูงโดยใช้ลำอิเล็กตรอนแทน แสงในการสร้างภาพขยายเพื่อศึกษาลักษณะของพื้นผิวและรูปร่างของตัวอย่าง SEM เครื่องแรก ประดิษฐ์ขึ้นในช่วงทศวรรษที่ 1960 จากนั้น SEM กลายเป็นเครื่องมือที่นำไปประยุกต์ใช้แพร่หลายทั่วไป ทั้งในด้านวิทยาศาสตร์เทคโนโลยี การแพทย์ อุตสาหกรรม นิติวิทยาศาสตร์ โบราณคดี และอื่นๆ อีก หลายด้าน

8.1 หลักการทำงานพื้นฐาน วิวัฒน์ ชินวร (2547) อธิบายหลักการทำงานพื้นฐานไว้ว่า ลำ อิเล็กตรอนถูกสร้างขึ้นจาก electron gun ที่ศักย์ไฟฟ้าต่ำคือในช่วงประมาณ 2-25 kv โดยลำ อิเล็กตรอนจะถูกโฟกัสให้เข้มข้นและถูกทำเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กลงโดย condenser lens จากนั้นจะถูก โฟกัสให้ตกลงบนผิวตัวอย่างโดย objective lens ซึ่ง ณ ตอนนี้อยู่ที่อิเล็กตรอนที่ตกลงบนผิวตัวอย่างจะเป็น เพียงจุดที่เล็กมาก โดยมี scan coils ทำหน้าที่ควบคุมให้เกิดการกวาดของลำอิเล็กตรอนจากซ้ายไปขวา

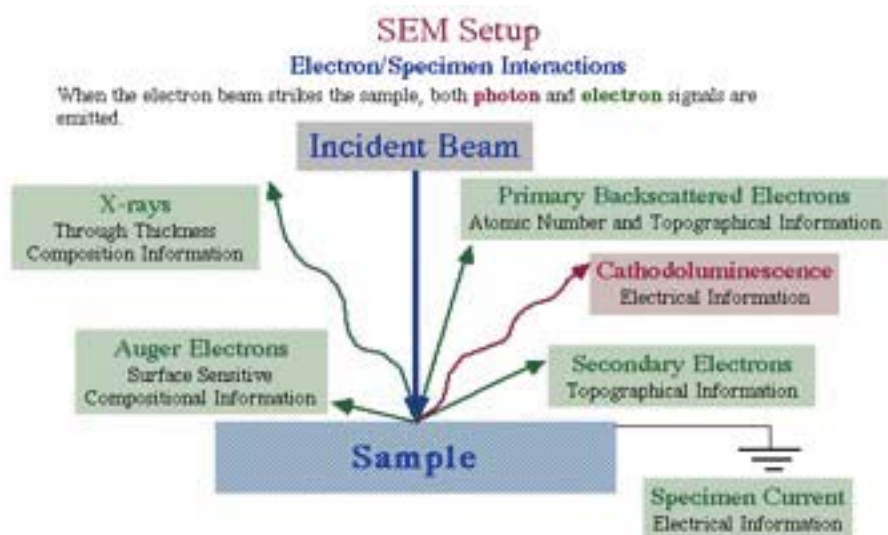
เมื่อสิ้นสุดก็จะเลื่อนลงอีกชั้น (ภาพที่ 58) และกราดจากซ้ายไปขวาจนครบ frame การกราดลำอิเล็กตรอนเช่นนี้เรียกว่า raster scan และเมื่อครบ frame แล้วก็จะไปเริ่มที่จุดแรกใหม่ ในการกราดลำอิเล็กตรอนในแต่ละ frame จะถูกกำหนดจำนวนจุดและแถวไว้อย่างแน่นอน ที่ผิวตัวอย่างซึ่งอิเล็กตรอนตกใส่จะเกิดสัญญาณอิเล็กตรอนขึ้นหลายรูปแบบซึ่งคล้ายกับการที่แสงตกกระทบวัตถุและสะท้อนออกจากผิววัตถุ สามารถรับสัญญาณได้โดยใช้ detector ที่เหมาะสมกับชนิดของสัญญาณ สัญญาณที่ได้จะนำมาขยายแล้วนำมาสร้างภาพโดยใช้หลอดรังสีแคโทด (cathod ray tube, crt) เพื่อแสดงภาพ ในหลอดรังสีแคโทดจะมีการสร้างลำอิเล็กตรอนและถูกบีบให้เป็นลำเล็กๆ แต่มีเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่าในกล้อง SEM มาก กล่าวคือใน SEM ลำอิเล็กตรอนมีขนาดศูนย์กลางในระดับนาโนเมตร คืออาจต่ำได้ถึง 5 นาโนเมตรหรือต่ำกว่า แต่ในจอ crt มีขนาดศูนย์กลางประมาณ 0.1 เซนติเมตร เมื่อพิจารณาอัตราส่วนของลำอิเล็กตรอนของ SEM ต่อ crt จะพบว่าห่างกันถึง 20,000 เท่า ทำให้เกิดเป็นอัตราส่วนของกำลังขยายที่จะให้ภาพที่มีรายละเอียดได้ดี การสแกนใน crt จะถูกควบคุมให้มีการสแกนแบบ raster scan พร้อมๆ กับการสแกนของลำอิเล็กตรอนในกล้อง ขณะเดียวกันความสว่างของจุดอิเล็กตรอนใน crt จะขึ้นอยู่กับความแรงของสัญญาณจาก amplifier ที่ขยายสัญญาณจาก detectors ซึ่งรับสัญญาณอิเล็กตรอนในกล้อง ถ้าสัญญาณแรงก็จะให้ความสว่างของลำอิเล็กตรอนมาก เมื่อส่งลงบนจอของ crt จะปรากฏเป็นจุดสว่าง ในทางกลับกันถ้าสัญญาณเบาาก็จะได้จุดที่มีความสว่างน้อย บนจอก็จะปรากฏเป็นจุดสว่างน้อยด้วย บนจอ crt จะทำการเรียงจุดของสัญญาณที่ได้นี้เป็นแถวจนครบแฟรมซึ่งจะได้เป็นภาพ ถ้าบนจอ crt มีขนาดกว้างและยาวเป็น 20 เซนติเมตร และหากกำหนดการกวาดลำอิเล็กตรอนในกล้องให้ 1 แฟรมมีพื้นที่ขนาดเป็น 20×20 เซนติเมตรด้วย อัตราส่วนการขยายของภาพก็จะเป็น 1 เท่า แต่ถ้าเราให้การกวาดลำอิเล็กตรอนในกล้องเป็นพื้นที่ 1×1 เซนติเมตร ก็จะขยายภาพเป็น 20 เท่า แต่ในความเป็นจริงขนาดของการสแกน 1 แฟรมในกล้องอาจควบคุมให้เล็กมากถึงระดับไมโครเมตรโดยการสแกนบนหน้าจอยังเท่าเดิม ดังนั้นการขยายจึงได้ถึงระดับหมื่นเท่า

8.2 สัญญาณที่เกิดขึ้นเมื่ออิเล็กตรอนกระทบผิวตัวอย่าง เกิดได้เพราะอิเล็กตรอนจาก column ของ SEM ซึ่งเรียกว่า อิเล็กตรอนปฐมภูมิ (primary electron) เมื่อตกกระทบผิวตัวอย่างจะเหนี่ยวนำให้เกิดการปลดปล่อยอนุภาคและคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าตามคุณสมบัติทางกายภาพของตัวอย่าง อนุภาคและคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดจากปฏิกิริยานี้เรียกว่าสัญญาณ (signal) ซึ่งมีสัญญาณหลายอย่างเกิดขึ้น แต่ละอย่างให้ผลวิเคราะห์ที่แตกต่างกันพอจะแบ่งเป็นกลุ่มได้ 2 กลุ่มคือ inelastic scattering ได้แก่ secondary electrons, x-rays, auger electrons, phonons, transmitted electron, cathodoluminescent และ elastic scattering หรือ back scattered electrons (ภาพที่ 59 และ 60)



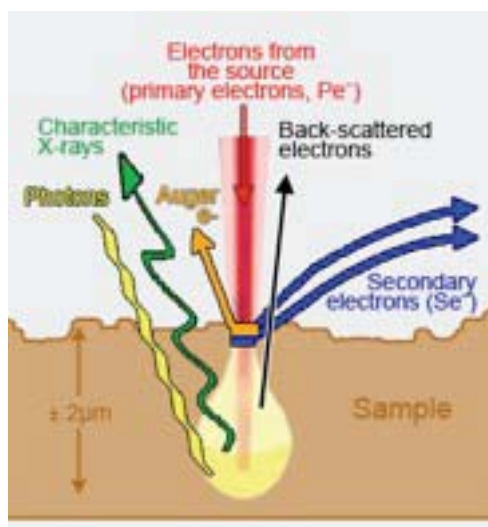
ภาพที่ 58 ส่วนประกอบสำคัญของ SEM

ที่มา : ETH Zurich, Morphology Scanning Electron Microscopy (SEM) [Online], accessed 26 March 2008. Available from <http://www.microscopy.ethz.ch/sem.htm>



ภาพที่ 59 สัญญาณที่เกิดจากการชนของ primary electrons กับชิ้นตัวอย่าง

ที่มา : Chris Cantafio, Scanning Electron Microscope Usage and Analysis of Metal Fatigue in Mead Silver Paperclips [Online], accessed 26 March 2008. Available from <http://antoine.frostburg.edu/engin/sem/Image5.gif>



ภาพที่ 60 สัญญาณที่เกิดจากการชนของ primary electrons กับชิ้นตัวอย่างในระดับความลึก
ที่มา: Faculty of Science Radboud University, Electron microscope (FESEM), Electrons and radiation in TEM and SEM [Online], accessed 26 March 2008. Available from <http://www.vcbio.science.ru.nl/en/fesem/info/principe/>

สัญญาณที่นำมาใช้ประโยชน์ได้แก่

8.2.1 secondary electrons (SE) เป็นอิเล็กตรอนทุติยภูมิพลังงานต่ำ ที่เกิดจาก primary electrons ไปชนเอาอิเล็กตรอนที่ผิวตัวอย่างหลุดออกมา โดยจะหลุดออกจากผิวตัวอย่างที่ความลึกจากพื้นผิวไม่เกิน 10 นาโนเมตร ให้ภาพที่มีรายละเอียดสูง ความเข้มของ SE จะขึ้นกับมุมที่ primary electrons ตกใส่ตัวอย่างและสภาพพื้นผิวตัวอย่าง ภาพที่ได้จาก SE เรียกว่า secondary electron image หรือ SEI

8.2.2 back scattered electrons (BSE) คือ primary electrons อิเล็กตรอนที่กระเจิงกลับออกมาจากผิวตัวอย่าง เมื่อ primary electrons วิ่งเข้าใกล้หรือเข้าชนนิวเคลียสของอะตอมบนผิวตัวอย่างก็จะเกิดการเปลี่ยนทิศทางกระเจิงกลับออกมาจากผิวตัวอย่าง โดย BSE จะเกิดมากกับธาตุที่มีเลขอะตอมสูง ความเข้มของสัญญาณ BSE จะขึ้นกับมุมที่ primary electrons ตกใส่ตัวอย่าง และยังขึ้นกับเลขอะตอมของธาตุที่ผิวตัวอย่าง ภาพที่ได้จาก BSE เราเรียกว่า back scattered electron image (BEI)

8.2.3 characteristic x-rays เกิดเพราะเมื่ออิเล็กตรอนวงในของธาตุตัวอย่างถูกชนโดย primary electrons จนหลุดออกไป จะเกิดเป็นระดับชั้นพลังงานที่ว่าง ทำให้อิเล็กตรอนที่ระดับพลังงานสูงกว่าลดระดับพลังงานลง พร้อมกันนี้ก็จะปล่อยพลังงานในรูป x-rays ออกมาซึ่งจะมีรูปแบบของระดับพลังงานเฉพาะตัวแตกต่างกันไปในแต่ละธาตุเรียกว่า characteristic x-rays ดังนั้นจึงสามารถ

ทำให้วิเคราะห์หาธาตุองค์ประกอบที่ผิวตัวอย่าง โดยอาศัยประโยชน์จากการวิเคราะห์พลังงานหรือความยาวคลื่นของ x-rays ที่เกิดขึ้นนี้ และ

8.2.4 cathodoluminescence เป็นสัญญาณ photon จากธาตุบางชนิดเมื่อได้รับการถ่ายทอดพลังงานจาก primary electrons จะปลดปล่อยพลังงานในรูปของแสงในช่วงที่ตาเห็นหรืออาจเลยไปถึงช่วง uv ปรากฏการณ์นี้เกิดขึ้นในตัวอย่างบางชนิด

8.3 การประยุกต์เพื่อตรวจวิเคราะห์อนุภาคที่ได้จากการยิงปืนด้วยเทคนิค SEM ในประเทศไทย วิวัฒน์ ชินวร (2547) ศึกษาการตรวจวิเคราะห์อนุภาคเขม่าปืนบนตัวอย่างเสื้อ โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด SEM ควบคู่ไปกับเทคนิคการวิเคราะห์รังสีเอ็กซ์แบบ EDX โดยไม่ต้องทำการเคลือบผิวตัวอย่างด้วยคาร์บอนหรือทองคำ โดยสามารถศึกษาฐานกลุมที่เป็นลักษณะเฉพาะของอนุภาคเขม่าปืนที่มีธาตุตะกั่ว (Pb), แบเรียม (Ba) และพลวงหรือแอนติโมนี (Sb) เป็นองค์ประกอบ และระยะเวลาการคงอยู่ของเขม่าปืนเมื่อยิงปืนบนตัวอย่างเสื้อ ที่มากถึง 24 ชั่วโมง

รัชนารถ กิตติสุขฎี (2535) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการตรวจหาคราบเขม่าปืนที่มีมือโดยวิธี SEM/EDX ได้ศึกษาการตรวจหาคราบจากการยิงเขม่าปืนที่มีมือโดยใช้วิธีกล้องจุลทรรศน์แบบสแกนที่มี energy dispersive x-ray spectrometer เป็นวิธีที่ให้ผลดี สามารถตรวจหาคราบเขม่าได้หลังจากที่มีการยิงปืนนานเกินกว่า 6 ชั่วโมง ซึ่งสามารถมองเห็นอนุภาคคราบเขม่าปืนได้ทั้งรูปร่าง ลักษณะ และขนาด นอกจากนี้ยังสามารถวิเคราะห์ธาตุได้หลายชนิดในเวลาเดียวกัน ให้ค่าความแม่นยำ ที่เที่ยงตรง และมีความแน่นอนสูงมาก

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

หัวข้อวิจัย การตรวจพิสูจน์เปรียบเทียบธาตุจากเขม่าปืนชนิดปราศจากตะกั่วกับแหล่งอื่น มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาธาตุอันเป็นองค์ประกอบสำคัญของอนุภาคเขม่าปืน Winchester WinClean™ และที่ได้มาจากแหล่งกำเนิดอื่น โดยเน้นศึกษาเฉพาะอนุภาคทรงกลมที่มีขนาด 1-15 μm เพื่อเปรียบเทียบและวิเคราะห์ถึงความแตกต่างของธาตุอันเป็นองค์ประกอบสำคัญและลักษณะสัณฐานของอนุภาคที่ได้มาจากแหล่งกำเนิดอื่นและอนุภาคเขม่าปืนที่ได้จากกระสุนปืนชนิดปราศจากตะกั่ว Winchester WinClean™ ซึ่งเป็นกระสุนชนิดใหม่

1. กลุ่มควบคุม ประชากรเป้าหมาย และกลุ่มตัวอย่าง

ผู้วิจัยได้ทำการกำหนดกลุ่มควบคุมเพื่อจัดเป็นกลุ่มเปรียบเทียบจากเขม่าปืน Winchester WinClean™ จำนวน 12 ตัวอย่าง โดยกลุ่มประชากรเป้าหมาย คือ อนุภาคเขม่าที่ได้รับจากงานหรือกิจกรรมของผู้ซึ่งไม่ได้ผ่านการใช้ปืนหรือยิงปืนมาก่อนอย่างน้อย 6 เดือน ของกลุ่มอาชีพทั้งหมด 7 กลุ่ม โดยไม่จำกัดเพศ ประกอบด้วย

- 1.1 งานตัดกระจก และมั่งลวดอะลูมิเนียม
- 1.2 งานติดตั้งและซ่อมกระจกรถยนต์
- 1.3 งานผลิตภาชนะเซรามิค
- 1.4 งานสีรถยนต์
- 1.5 งานตีเส้นจราจร
- 1.6 งานเชื่อมโลหะและเหล็กตัด
- 1.7 งานรับซื้อของเก่า

ผู้วิจัยเลือกศึกษากลุ่มประชากรดังกล่าวเนื่องจากสิ่งแวดล้อมอาจทำให้กลุ่มประชากรได้รับธาตุชนิดเดียวกับธาตุซึ่งเป็นส่วนประกอบของอนุภาคเขม่าปืนที่ได้จากกระสุนปืนชนิดปราศจากตะกั่ว (Garofano et al. 1999 : 7; Martiny et al. 2008 : e9) และประเทศไทยยังไม่มีบุคคลหรือหน่วยงานใดที่รวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับอนุภาคที่ได้รับจากแหล่งอื่นที่สามารถใช้อ้างอิงในการคำนวณขนาดของกลุ่มตัวอย่าง ผู้วิจัยจึงกำหนดขนาดของกลุ่มตัวอย่าง จำนวนกลุ่มละ 12 ราย รวม 84 ตัวอย่าง โดยไม่จำกัดเพศ เนื่องจากการลักษณะงานในแต่ละกลุ่มอาชีพอาจมีหลายแผนกและบางแผนกอาจจำกัดเพศในการทำงาน การวิจัยจึงเน้นลักษณะของการทำงานมากกว่าเพศชายและเพศหญิง นอกจากนี้ผู้วิจัยได้ทำการเก็บตัวอย่างในขณะประกอบอาชีพโดยไม่ให้ล้างมือก่อนทำการเก็บตัวอย่าง ทั้งนี้ เพราะผู้วิจัยสามารถเข้าถึงและควบคุมกลุ่มประชากรได้ และเพื่อจัดความคลาดเคลื่อนของข้อมูล กลุ่มตัวอย่างต้องไม่ได้ผ่านการใช้ปืนหรือยิงปืนมาก่อนอย่างน้อย 6 เดือน ซึ่งระยะเวลาดังกล่าวเป็นช่วงเวลาที่ไม่มีเขม่าปืนติด

อยู่บนมือของกลุ่มตัวอย่าง (Kilty 1975; Jalanti et al. 1999 : 48; Schwoeble and Exline 2000 : chap. 1 pars. 10,12)

2. วิธีการสุ่มตัวอย่างกลุ่มทดลอง

การวิจัยนี้ ผู้วิจัยไม่ทราบจำนวนประชากรที่แท้จริง ทำให้ไม่สามารถใช้การสุ่มแบบอาศัยความน่าจะเป็นได้ ผู้วิจัยจึงใช้การสุ่มแบบไม่อาศัยความน่าจะเป็น (non-probability sampling) และเนื่องจากไม่สามารถควบคุมตัวแปรแทรกซ้อน (confounding variable) เช่น อายุการทำงานของกลุ่มตัวอย่าง อุณหภูมิ ความชื้นและสภาพแวดล้อมที่เกิดขึ้นในขณะที่เก็บตัวอย่าง จึงได้ทำการเก็บข้อมูลวิจัยจากกลุ่มตัวอย่างแบบบังเอิญ (accidental sampling) กลุ่มตัวอย่างจะเป็นใครก็ได้ที่ให้ความร่วมมือกับผู้วิจัยในการเก็บตัวอย่างจากกลุ่มอาชีพทั้งหมด 7 กลุ่ม ในจังหวัดเชียงใหม่ ลำพูน และลำปาง และการวิจัยนี้พยายามลดความคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้นขณะเก็บตัวอย่างให้มากที่สุด (minimized error variance) จึงเก็บตัวอย่างในขณะที่ประกอบอาชีพและไม่ให้ล้างมือก่อนทำการเก็บตัวอย่าง ทั้งนี้การเก็บตัวอย่างทำขึ้นหลังจากได้ทำงานมาแล้วประมาณ 3 ชั่วโมง หรือระหว่างเวลา 11:30-12:00 น. โดยมีขั้นตอนดำเนินการคือ ทำการชี้แจงวัตถุประสงค์ ขั้นตอนและรายละเอียดของการวิจัย เพื่อขอความร่วมมือจากกลุ่มตัวอย่างในสถานที่ทำงานของกลุ่มตัวอย่าง และทำการนัดหมายกลุ่มตัวอย่างล่วงหน้าเป็นเวลา 1 สัปดาห์

3. อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

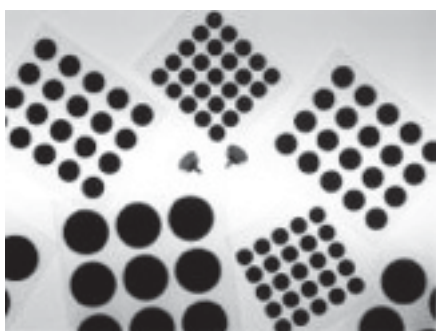
3.1 อุปกรณ์ตัวอย่างกลุ่มเปรียบเทียบ

1. กระสุนปืน ขนาด 9 มม. ยี่ห้อ Winchester Winclean™ ประเทศสหรัฐอเมริกา
2. อาวุธปืนพกอัตโนมัติ ขนาด 9 มม. (Sig Sauer Model. P228)
3. เสื้อยืด แขนสั้น
4. อุปกรณ์ และน้ำยาทำความสะอาดปืน
 - Birchwood casey synthetic gun oil ผลิตจากประเทศ USA
 - Birchwood casey bore scubber ผลิตจากประเทศ USA.
 - ผ้าสะอาด ก้านสำลี และสแก็ทำความสะอาดลำกล้องปืน
5. สบู่เหลว (สำหรับล้างมือ)
6. กระสอบทราย (เป้ายิง)

3.2 อุปกรณ์เก็บรวบรวมตัวอย่าง

1. เทปกาวยาคาร์บอน ชนิด conductive double-sided adhesive carbon disc ขนาดหนา 3 mm ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1/2 inch แหล่งที่มา agar scientific ประเทศอังกฤษ (ภาพที่ 61 รูปซ้าย)
2. SEM aluminium pin stab ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1/2 inch ยาว 6 mm แหล่งที่มา agar scientific ประเทศอังกฤษ (ภาพที่ 61 (2))

3. stab-storage tube แหล่งที่มา agar scientific ประเทศอังกฤษ (ภาพที่ 61 รูปขวา)
4. คีม (forcept) สำหรับหยิบจับ aluminium pin stab และ adhesive carbon
5. ถุงพลาสติกใสชนิด zip-lock สำหรับเก็บ stab-storage tube
6. ถุงมือยางสำหรับลดการปนเปื้อนขณะเก็บตัวอย่าง
7. สบู่เหลว (สำหรับล้างมือ)
8. สติ๊กเกอร์หลากสีสำหรับจัดกลุ่มตัวอย่าง



ซ้าย



ขวา

ภาพที่ 61 เทปถาวรคาร์บอน ชนิด conductive double-sided adhesive carbon disc ขนาดหนา 3 mm ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1/2 inch แหล่งที่มา agar scientific ประเทศอังกฤษ (รูปซ้าย) และ SEM aluminium pin stab ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1/2 inch ยาว 6 mm และ stab-storage tube แหล่งที่มา agar scientific ประเทศอังกฤษ (รูปขวา)

3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope : SEM)

1. เครื่อง sputtering (coater) รุ่น jfc-1100e ion sputter ประเทศญี่ปุ่น เพื่อเคลือบตัวอย่างด้วยทองคำแท้ (ภาพที่ 62)
2. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด JEOL JSM 5910 LV (ชนิด low vacuum SEM) ประเทศญี่ปุ่น (ภาพที่ 63) เป็นกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่สามารถทำงานในภาวะสุญญากาศต่ำ ในช่วง 1-270 pa ความแยกชัดในภาวะสุญญากาศต่ำมีค่าเท่ากับ 4.5 mm ศักย์เร่งอิเล็กตรอนปรับเปลี่ยนได้ในช่วง 0.330 kv ขึ้นงานขนาดใหญ่ที่สุดที่สามารถบรรจุได้คือ 20 cm มีระบบคอมพิวเตอร์ควบคุมให้ง่ายต่อการใช้งาน ติดตั้งพร้อม secondary electron detector, backscattered electron detector และ energy-dispersive x-ray microanalysis และมี specimen cooling unit ทำให้ลดขั้นตอนในการเตรียมชิ้นงานที่ยุ่งยากไปได้ โดยจะใช้ กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดสำหรับถ่ายภาพโครงสร้างจุลภาคและวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

3. เครื่องรังสีเอกซ์แบบกระจายพลังงาน (energy-dispersive x-ray microanalysis) ของ Oxford Instrument ซึ่งติดตั้งคู่กับกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด รุ่น JEOL JSM 5910 lv โดยจะใช้สำหรับศึกษาองค์ประกอบของตัวอย่าง



ภาพที่ 62 เครื่อง sputtering (coater) รุ่น JFC-1100e ion sputter ประเทศญี่ปุ่น เพื่อเคลือบตัวอย่างด้วยทองคำแท้



ภาพที่ 63 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด รุ่น JEOL JSM 5910 lv (ชนิด low vacuum SEM) แหล่งที่มา ประเทศญี่ปุ่น ติดตั้งพร้อม secondary electron detector, backscattered electron detector และ เครื่องรังสีเอกซ์แบบกระจายพลังงาน (energy-dispersive x-ray microanalysis) ของ Oxford Instrument

4. วิธีการวิจัย

4.1 วิธีการได้มาซึ่งตัวอย่างกลุ่มควบคุมที่ใช้ในการวิจัย

1. โดยก่อนการยิงในแต่ละนัด ให้ผู้ที่จะทำการยิงปืน ล้างมือให้สะอาดด้วยสบู่เหลว ส่วนอาวุธปืนให้ทำความสะอาดด้วยน้ำยาและอุปกรณ์ทุกครั้งหลังก่อนการยิงนัดต่อไป
2. ทำการยิงอาวุธปืน โดยใช้อาวุธปืนพกอัตโนมัติ ขนาด 9 มม. ยี่ห้อ Sig Sauer model. P228 และใช้กระสุนปืน Winchester Winclean™ ขนาด 9 มม. ยิงจำนวน 1 นัด ต่อ 1 ตัวอย่าง รวม 12 นัด (ตัวอย่าง)
3. หลังจากการยิงปืนแล้ว ให้ทำการเก็บตัวอย่างเขม่าปืนจากมือทั้งด้านหน้าและหลัง โดยเฉพาะบริเวณระหว่างง่ามนิ้วหัวแม่มือกับนิ้วชี้ ให้ทำการเก็บตัวอย่างทั้งมือซ้ายและมือขวา (ดังภาพที่ 57) การเก็บตัวอย่างเขม่าปืนดำเนินที่เวลาหลังยิงทันที

4.2 วิธีการเก็บรวบรวมตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย

1. การเตรียมอุปกรณ์สำหรับเก็บตัวอย่าง ผู้วิจัยล้างมือด้วยเจลให้สะอาด เช็ดมือให้แห้งและสวมถุงมือยาง นำ aluminium pin stab ติดเข้ากับฐานของ stab-storage tube ใช้คีม (forcept) ดึงเทปกาวยคาร์บอน conductive double-sided adhesive carbon discs เพื่อนำไปติดบน aluminium pin stab ที่ติดเข้ากับฐานของ stab-storage tube อยู่ก่อนแล้ว จากนั้นปิดฝา stab-storage tube โดยทำเครื่องหมายด้วยสติ๊กเกอร์สีที่แตกต่างกันตามกิจกรรมของกลุ่มตัวอย่าง ทำย่นสุดนำ stab-storage tube ใส่ในถุงพลาสติกใสชนิด zip-lock อีกชั้นหนึ่งเพื่อง่ายในการเคลื่อนย้าย
2. ก่อนการเก็บตัวอย่าง ผู้วิจัยล้างมือด้วยเจลให้สะอาด เช็ดมือให้แห้งและสวมถุงมือยางเพื่อลดการปนเปื้อน ถุงมือยางนี้เมื่อเก็บตัวอย่างเรียบร้อยแล้วจะถูกทิ้งไม่นำกลับมาใช้อีก และเปลี่ยนใหม่ทุกครั้งเมื่อต้องเก็บตัวอย่างครั้งต่อไป
3. เปิดฝา stab-storage tube ใช้คีมดึงเทปกาวยคาร์บอน conductive double-sided adhesive carbon discs เพื่อทำการเก็บตัวอย่าง โดยจับที่ฐานของ stab-storage tube
4. ทำการเก็บตัวอย่างเขม่าจากแหล่งอื่นของกลุ่มตัวอย่างจากมือข้างซ้ายซึ่งยิงปืนสำหรับกลุ่มควบคุม และจากมือข้างที่ถนัดสำหรับกลุ่มทดลอง โดยการกด stab บริเวณหลังมือและฝ่ามือตั้งแต่ นิ้วหัวแม่มือและนิ้วชี้ ในลักษณะรูปตัววี (v-shaped) ลงไปจนถึงข้อมือ โดยรวมทั้งบริเวณง่ามนิ้วมือที่อยู่ระหว่างนิ้วหัวแม่มือและนิ้วชี้ด้วย (Jalanti et al. 1999 : 49; Schwoeble and Exline 2000 : chap. 1 par. 18; Brozek-mucha and Jankowicz 2001 : 40; Morales and Vázquez 2007 : 227) (ภาพที่ 21) ทำซ้ำเช่นนี้ไปเรื่อยๆ ประมาณ 150 -200 ครั้ง จนมั่นใจว่าการที่อยู่บนผิว adhesive carbon discs ถูกใช้จดหมด (California Department of Justice, Bureau of Forensic Services 2008; Ted pella, inc 2008)
5. ปิดฝา stab-storage tube แล้วบรรจุไว้ในถุงพลาสติกชนิด zip lock เพื่อนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง SEM/EDX

4.3 วิธีการเตรียมตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย โดยธาตุอันเป็นองค์ประกอบของเขม่าปืนที่พบ

ได้บ่อยครั้งที่สุดในกระสุนปืนชนิดปราศจากตะกั่ว คืออะลูมิเนียม (Al), ซิลิคอน (Si), ทองแดง (Cu),

สังกะสี (Zn), โพแทสเซียม (K) และยังพบว่ามียังมีร่องรอยของธาตุแคลเซียม (Ca) และซัลเฟอร์ (S) ในจำนวนน้อย โดยอาจมีเหล็ก (Fe) และโซเดียม (Na) รวมอยู่ด้วย อนึ่ง ขบวนการย้ายกระสุนปืนชนิดนี้บางชนิดมีธาตุสตรอนเชียม (Sr) เป็นองค์ประกอบหลักเพียงธาตุเดียว (Oommen and Pierce 2006; Martiny et al. 2008) และเขม่าที่ได้จากสิ่งแวดล้อมอาจทำให้กลุ่มประชากรกลุ่มตัวอย่างได้รับธาตุชนิดเดียวกับธาตุซึ่งเป็นส่วนประกอบของอนุภาคเขม่าปืนที่ได้จากกระสุนปืนชนิดปราศจากตะกั่ว (Garofano et al. 1999 : 7; Martiny et al. 2008 : e9) ธาตุเหล่านี้ไม่ใช่ธาตุโลหะหนัก จึงต้องทำการเคลือบผิวตัวอย่างที่ศึกษาด้วยโลหะหนัก (metal coating) การศึกษาวิจัยนี้ใช้ทองคำ (Au) บริสุทธิ์ 99% ระเหิดให้เป็นละอองตกเคลือบลงบนตัวอย่าง ด้วยเครื่อง ion sputter ใช้เวลาเคลือบนาน 15 นาที ทั้งนี้เพิ่มคุณสมบัติการนำไฟฟ้า และรบกวนการวิเคราะห์น้อยที่สุด (Nesbitt et al. 1976) อนึ่ง การเคลือบตัวอย่างกระทำได้ขึ้นก่อนที่จะนำไปตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดในโหมดต่างๆ ตามความเหมาะสม เพื่อทำการศึกษาลักษณะโครงสร้างจุลภาคและหาธาตุอันเป็นองค์ประกอบสำคัญของอนุภาค

ตารางที่ 16 สภาวะที่ใช้ในการศึกษาวิจัยของ SEM/EDX

สภาวะที่ใช้ในการศึกษาวิจัย	ค่าที่ตั้ง
1. ค่าศักย์ไฟฟ้าเร่งอิเล็กตรอน (accelerating voltage)	15 kv
2. ความแยกชัดในภาวะสุญญากาศต่ำ (working distance)	4.5 mm
3. กำลังขยายภาพ (magnification)	5000x
4. พลังงาน EDX (EDX acquisition energy)	1-15 kev

4.3 วิธีศึกษาและวิเคราะห์ตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย ด้วยเทคนิค SEM/EDX นี้ อาศัยการโฟกัสลำอิเล็กตรอนเพื่อส่องกราดลงบนตัวอย่าง สัญญาณที่เกิดขึ้นจากอันตรกิริยาระหว่างอิเล็กตรอนที่ตกกระทบกับผิวตัวอย่างจะถูกถ่ายทอดผ่านระบบตรวจวัดและระบบอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งจะปรากฏบนจอภาพคล้ายกับภาพที่เห็นทางจอโทรทัศน์ กล้องจุลทรรศน์ที่ทำงานในลักษณะนี้ สัญญาณที่ใช้ในการสร้างภาพมีหลายชนิด เช่น อิเล็กตรอนทุติยภูมิ อิเล็กตรอนกระเจิงกลับ รังสีเอ็กซ์ เป็นต้น ทำให้สามารถศึกษาถึง สันฐานวิทยาของตัวอย่าง สภาพผิวของตัวอย่าง และหากใช้ตัวตรวจวัดรังสีเอ็กซ์ด้วยแล้วย่อมสามารถหาส่วนประกอบเคมีในระดับจุลภาควิเคราะห์ได้ เทคนิคนี้จึงสอดคล้องวัตถุประสงค์ในการศึกษาหาธาตุอันเป็นองค์ประกอบสำคัญของอนุภาคที่ได้มาจากแหล่งกำเนิดอื่น โดยจัดสภาวะที่ใช้ในการวิจัยตามตารางที่ 16 และเน้นศึกษาและตรวจสอบเฉพาะอนุภาคทรงกลมที่มีขนาด 1-15 μm กล่าวคือ จะทำการค้นหาโครงสร้างจุลภาคของตัวอย่างที่เตรียมด้วยตา (manual search) โดยใช้สัญญาณในโหมดอิเล็กตรอนกำลังขยายต่ำ 50-150x ที่เกิดจาก primary electrons ไปชนเอาอิเล็กตรอนที่ผิวตัวอย่างหลุดออกมา ภาพที่ได้เรียกว่า secondary electron image หรือ SEI จากนั้นยังได้ทำการวิเคราะห์ธาตุ

องค์ประกอบที่เกิดขึ้นด้วยเทคนิคการกระจายพลังงานของรังสีเอกซ์ (energy-dispersive x-ray microanalysis หรือ EDX) เมื่อได้ผลการศึกษาแล้วจะทำการถ่ายภาพโหมดอิเล็กตรอนกำลังขยายสูง 1500-5500x ซึ่งเกิดจาก primary electrons กระเจิงกลับออกมาจากผิวตัวอย่าง ซึ่งภาพที่ได้เรียกว่า back scattered electron image หรือ BSE image หรือ BEI จากนั้นทำการวิเคราะห์และรายงานผลการศึกษาเฉพาะอนุภาคที่มีธาตุองค์ประกอบที่เหมือนหรือมีความใกล้เคียงมากที่สุดเมื่อเทียบกับธาตุที่เป็นองค์ประกอบของอนุภาคเขม่าป็นที่ได้จากกระสุนปืนชนิดปราศจากตะกั่ว ทั้งนี้ ได้นำ aluminium pin stab ที่ติดเทปกาวยคาร์บอน conductive double-sided adhesive carbon discs มาวิเคราะห์เพื่อเป็นตัวควบคุม (negative controls sample) และตัวอย่างที่เก็บจากมือเปล่าเพื่อเป็นตัวอย่างเปรียบเทียบ (handblank sample)

บทที่ 4

ผลการศึกษาวิจัย

การศึกษานี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (experimental research) ใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดกำลังขยายสูงโดยใช้อิเล็กตรอนในการสร้างภาพ (SEM) ขยายโครงสร้างจุลภาพ ประกอบกับการวิเคราะห์ด้วย EDX เพื่อศึกษาธาตุอันเป็นองค์ประกอบสำคัญของอนุภาคทรงกลมที่มีขนาด 1-15 μm ของอนุภาคเขม่าป็น Winchester WinClean™ หลังจากการยิงทันที และเขม่าซึ่งได้รับจากแหล่งกำเนิดอื่นโดยไม่ให้ล้างมือก่อนทำการเก็บตัวอย่าง อนึ่ง การวิจัยนี้ใช้ธาตุที่เป็นองค์ประกอบของอนุภาคเขม่าป็นชนิดปราศจากตะกั่ว ซึ่งพบได้โดยทั่วไปตามรายงานการศึกษาของ Oommen และ Pierce (2006) และ Martiny และคณะ (2008) อันประกอบไปด้วย สังกะสี (Zn), ทองแดง (Cu), อะลูมิเนียม (Al), ซิลิคอน (Si), โพแทสเซียม (K) หรือแบเรียม (Ba), เป็นธาตุสำคัญในการวิเคราะห์ตัวอย่าง โดยได้ผลการวิจัยตามลำดับ ดังนี้

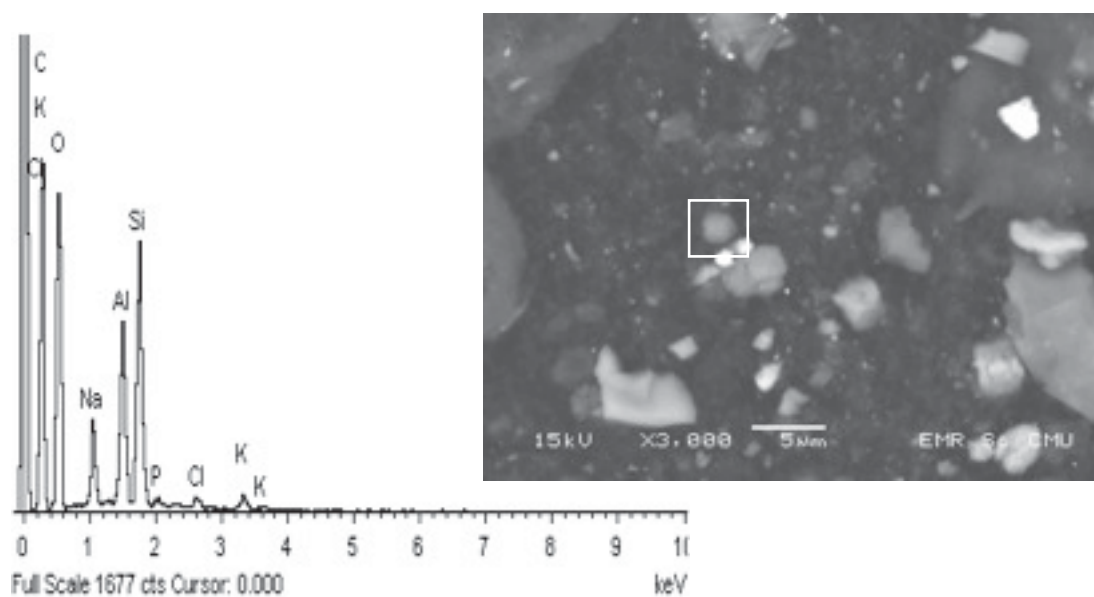
1. อนุภาคที่ได้จากงานตัดกระจก มุ้งลวดและอะลูมิเนียม

อนุภาคที่พบส่วนมากไม่มีสัณฐานทรงกลม จากการศึกษพบว่าอนุภาคทรงกลมอยู่บ้างที่ขนาดต่ำกว่า 5 μm แต่ในจำนวนน้อยมาก อนุภาคที่วิเคราะห์ได้นี้มีโครงสร้างจุลภาพรูปร่างกลมมน (spherical) มีลักษณะผิวที่เรียบ (smooth) และเมื่อวิเคราะห์ธาตุอันเป็นองค์ประกอบของเขม่าที่พบได้ในอาชีพนี พบว่ามีธาตุโซเดียม (Na), แมกนีเซียม (Mg), อะลูมิเนียม (Al), ซิลิคอน (Si), ฟอสฟอรัส (P), คลอรีน (Cl), โพแทสเซียม (K), แคลเซียม (Ca), ไททาเนียม (Ti) และเหล็ก (Fe) โดยมีธาตุซิลิคอน (Si) เป็นธาตุองค์ประกอบหลัก และอะลูมิเนียม (Al) เป็นธาตุองค์ประกอบรอง และยังพบได้อีกว่ามีธาตุโซเดียม (Na) เป็นธาตุอันเป็นองค์ประกอบเพิ่มเติม โดยอาจพบร่องรอยเล็กน้อยของธาตุฟอสฟอรัส (p), คลอรีน (Cl) และโพแทสเซียม (K) (ภาพที่ 64) รวมทั้งแมกนีเซียม (Mg) และไททาเนียม (Ti) (ภาพที่ 65)

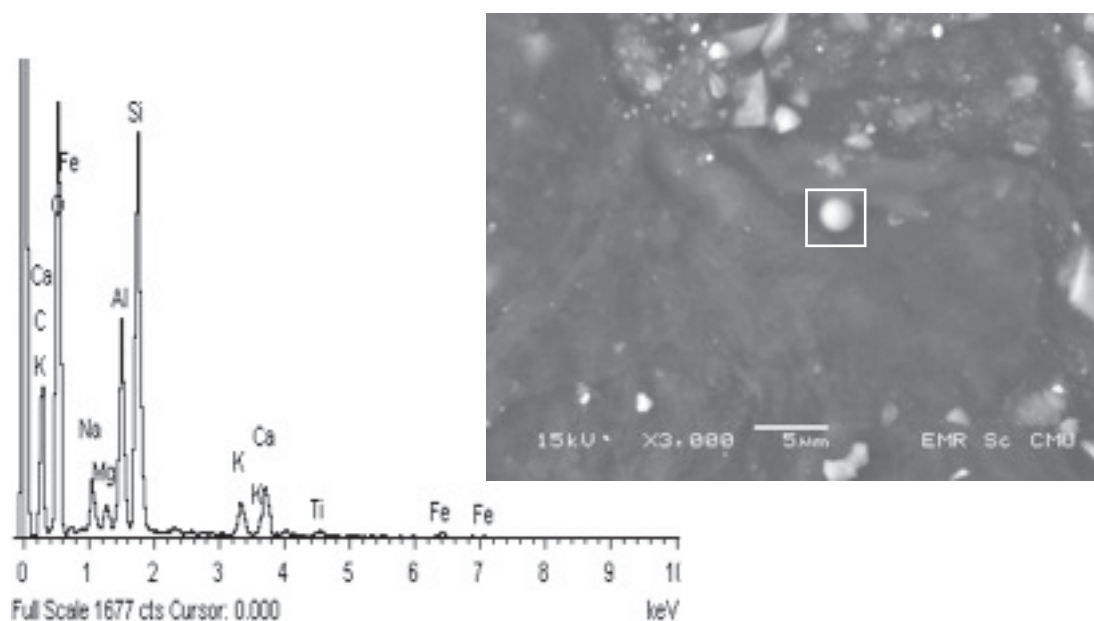
2. อนุภาคที่ได้จากงานติดตั้งและซ่อมกระจกรถยนต์

เมื่อศึกษาและวิเคราะห์แล้ว พบว่าธาตุอันเป็นองค์ประกอบของเขม่าที่พบได้ในอาชีพนี คือ โซเดียม (Na), แมกนีเซียม (Mg), อะลูมิเนียม (Al), ซิลิคอน (Si), ซัลเฟอร์ (S), คลอรีน (Cl), โพแทสเซียม (K), แคลเซียม (Ca), ไททาเนียม (Ti), แมงกานีส (Mn), เหล็ก (Fe) และสังกะสี (Zn)

จากการศึกษาระดับโครงสร้างจุลภาพของอนุภาคทรงกลมขนาด 1-15 μm สามารถจำแนกอนุภาคที่มีธาตุองค์ประกอบซึ่งเป็นกลุ่มซึ่งน่าสนใจต่อการศึกษาอยู่ 9 อนุภาค ที่มีธาตุอะลูมิเนียม (Al) และซิลิคอน (Si) เป็นธาตุประกอบในทุกกลุ่ม (ตารางที่ 17) มีขนาดและลักษณะแตกต่างกันไป (ภาพที่ 66 - ภาพที่ 74)



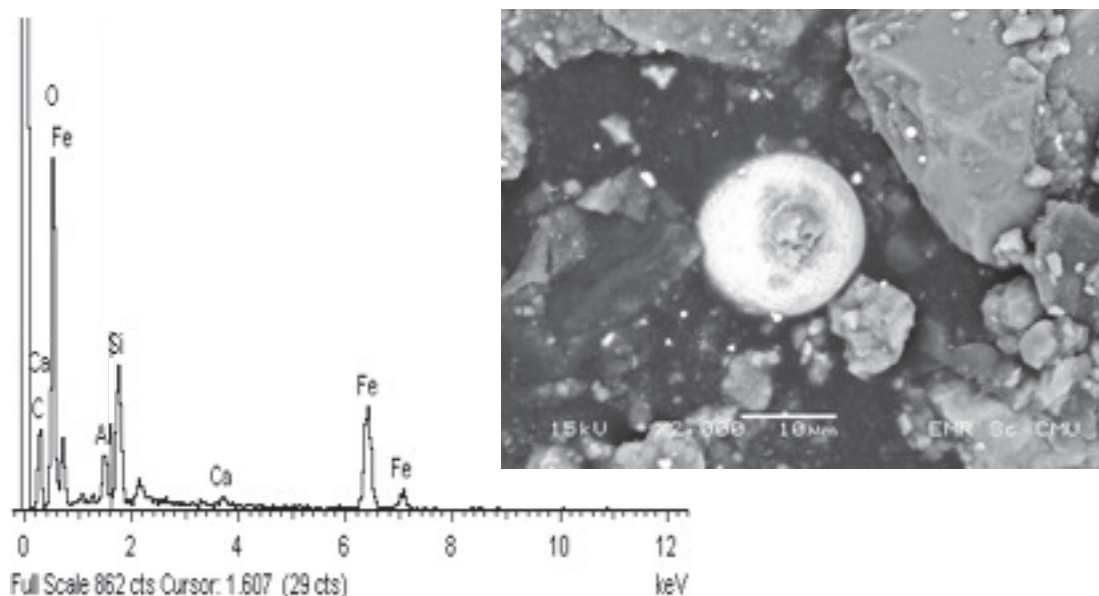
ภาพที่ 64 BSE image และ EDX spectra ของอนุภาคที่ได้จากงานกระຈก มั่งลวด และอะลูมิเนียม ขนาด 3 μm ประกอบด้วยธาตุ Na, Al (minor), Si (major), และ Trace ของ P, Cl, K ซึ่งมีรูปร่างกลมมน (regular spherical) และผิวอนุภาคมีลักษณะเรียบ (smooth)



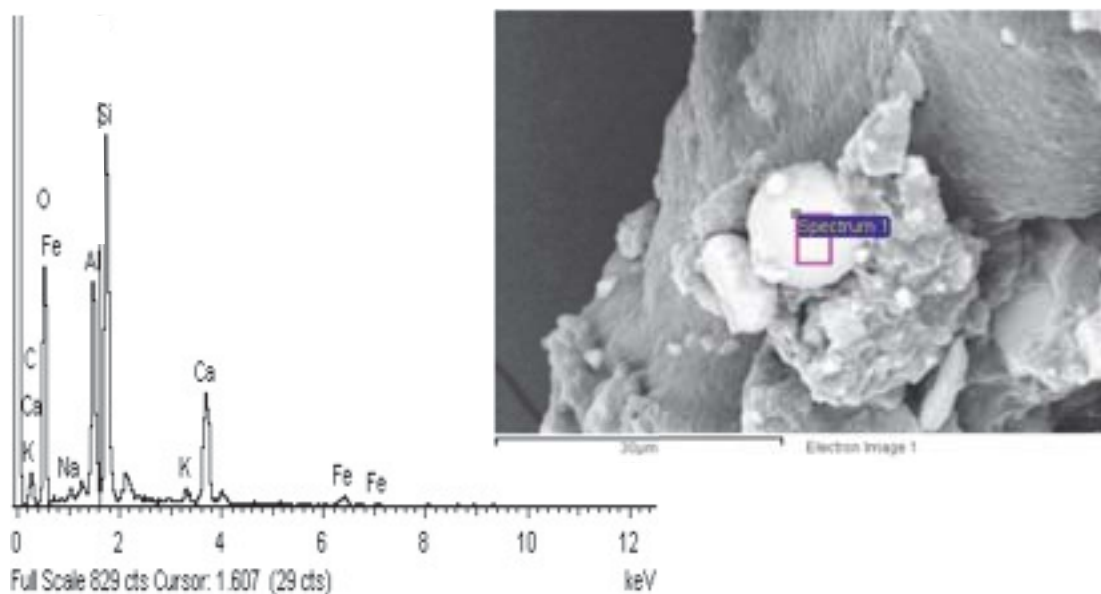
ภาพที่ 65 BSE image และ EDX spectra ของอนุภาคที่ได้จากงานกระຈก มั่งลวด และอะลูมิเนียม ขนาด 2 μm ประกอบด้วยธาตุ Na, Mg (trace), Al (minor), Si (major), K, Ca, Ti (trace) และ Fe ซึ่งมีรูปร่างกลมมน (regular spherical) และผิวอนุภาคมีลักษณะเรียบ (smooth)

ตารางที่ 17 ธาตุองค์ประกอบและสัณฐานของอนุภาคเขม่าที่ได้จากงานติดตั้งและซ่อมกระจกรถยนต์

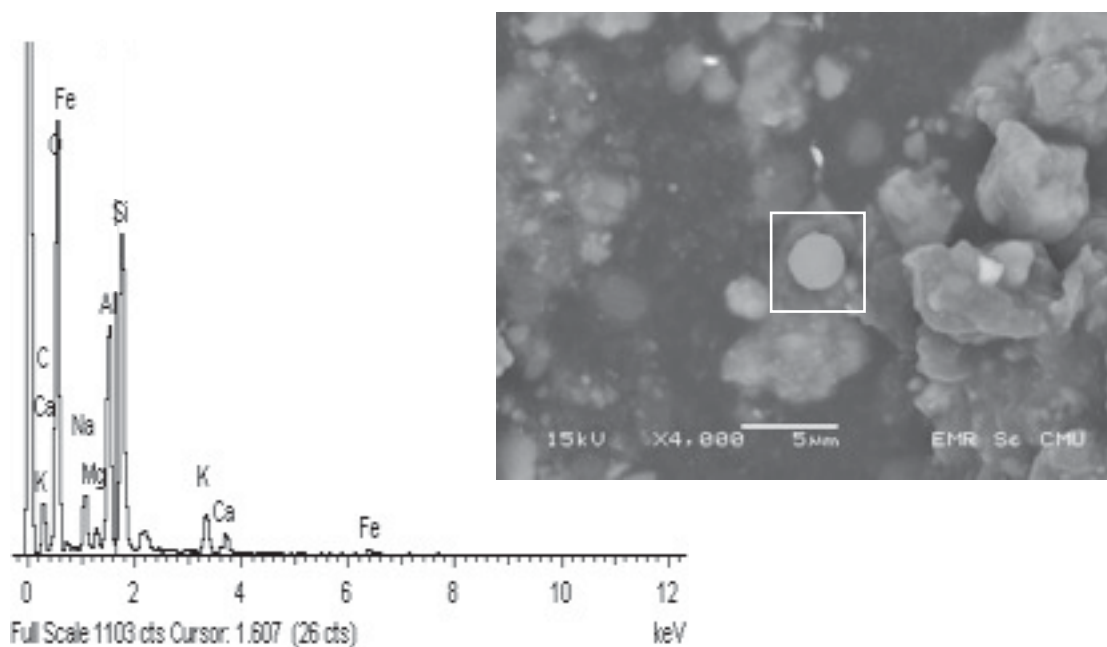
Particle	Elements	Morphology	
		Shape	Texture
1	Al, Si, Ca (trace), Fe (major)	Spherical	Not smooth
2	Na (trace), Al (minor), Si (major), K, Ca (minor), Fe	Spherical	Smooth/knobby
3	Na, Mg, Al (minor), Si (major), K, Ca, Fe	Spherical	Smooth
4	Al (minor), Si (major), K, Fe	Spherical/droplet	Smooth
5	Mg, Al (minor), Si (major), K, Fe (minor)	Irregular spherical	Smooth
6	Na, Al (minor), Si (major), K (trace)	Spheroid/globular	Not smooth
7	Na (trace), Al (minor), Si (major), K, Fe	Irregular spherical	Smooth
8	Al, Si (trace), S, K (minor), Ca (major)	Spheroid/globular	Knobby/hole
9	Na, Al, Si (major), Cl (trace), Ca (minor), Fe	Spherical	Smooth



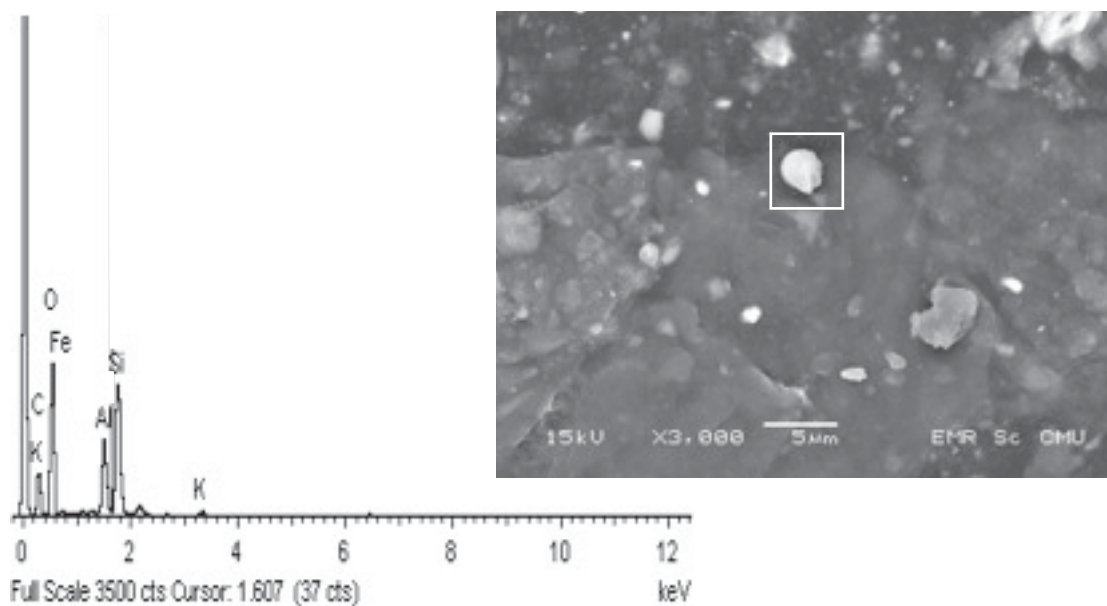
ภาพที่ 66 BSE image และ EDX spectra ของอนุภาคที่ได้จากงานติดตั้งและซ่อมกระจกรถยนต์ ขนาด 13-15 μm ที่ประกอบด้วยธาตุ Al, Si, Ca (trace), Fe (major) ซึ่งมีรูปร่างกลมมน (regular spherical) และผิวอนุภาคมีลักษณะไม่เรียบ (not smooth) โดยมีรอยหยักหรือร่อง



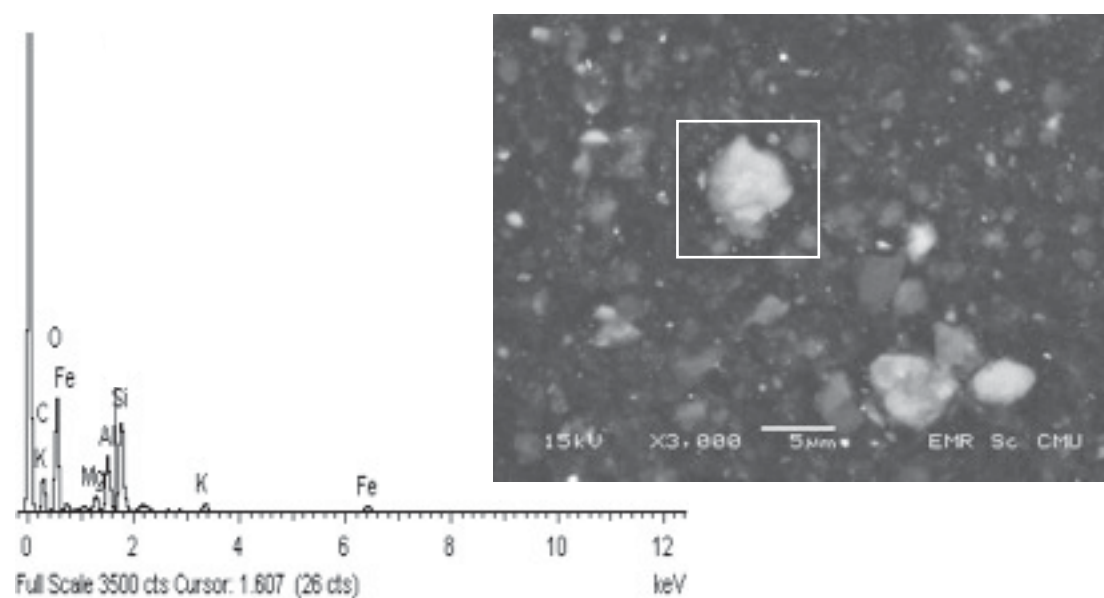
ภาพที่ 67 SE image และ EDX spectra ของอนุภาคที่ได้จากงานติดตั้งและซ่อมกระจกรถยนต์ ขนาด 10 μm ที่ประกอบด้วยธาตุ Na (trace), Al (minor), Si (major), K, Ca (minor), Fe ซึ่งมีรูปร่างกลมมน (regular spherical) และผิวอนุภาคมีลักษณะเรียบ (smooth) อาจมีปุ่มเล็กยื่นออกมาเล็กน้อย



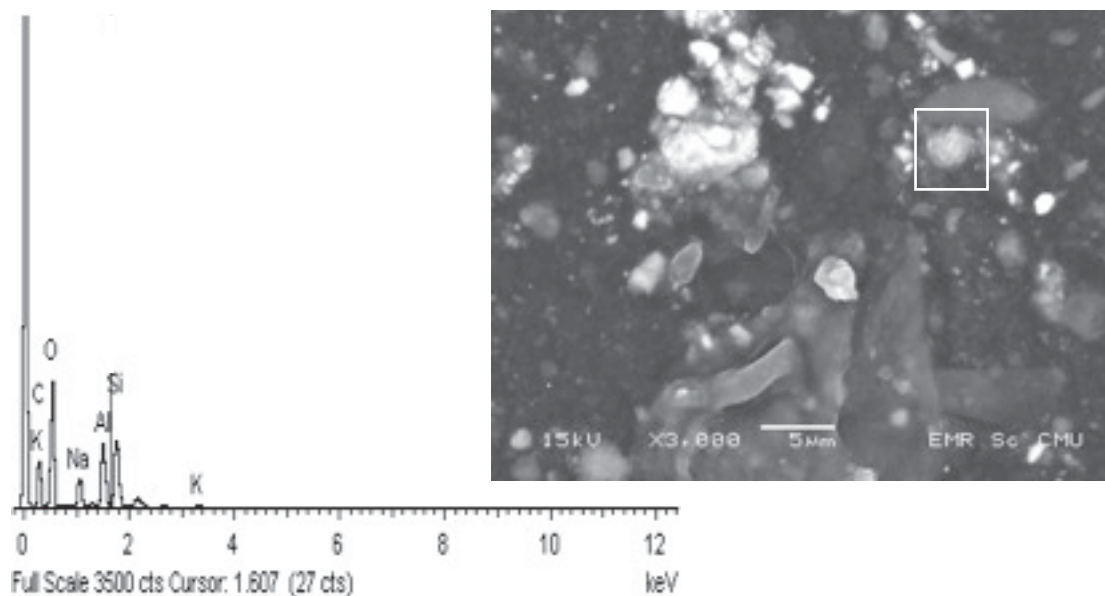
ภาพที่ 68 BSE image และ EDX spectra ของอนุภาคที่ได้จากงานติดตั้งและซ่อมกระจกรถยนต์ ที่ประกอบด้วยธาตุ Na, Mg (trace), Al (minor), Si (major), K, Ca, Fe ซึ่งมีรูปร่างกลมมน (regular spherical) และผิวอนุภาคมีลักษณะที่เรียบ โดยอนุภาคจะมีขนาดเล็กกว่า 5 μm



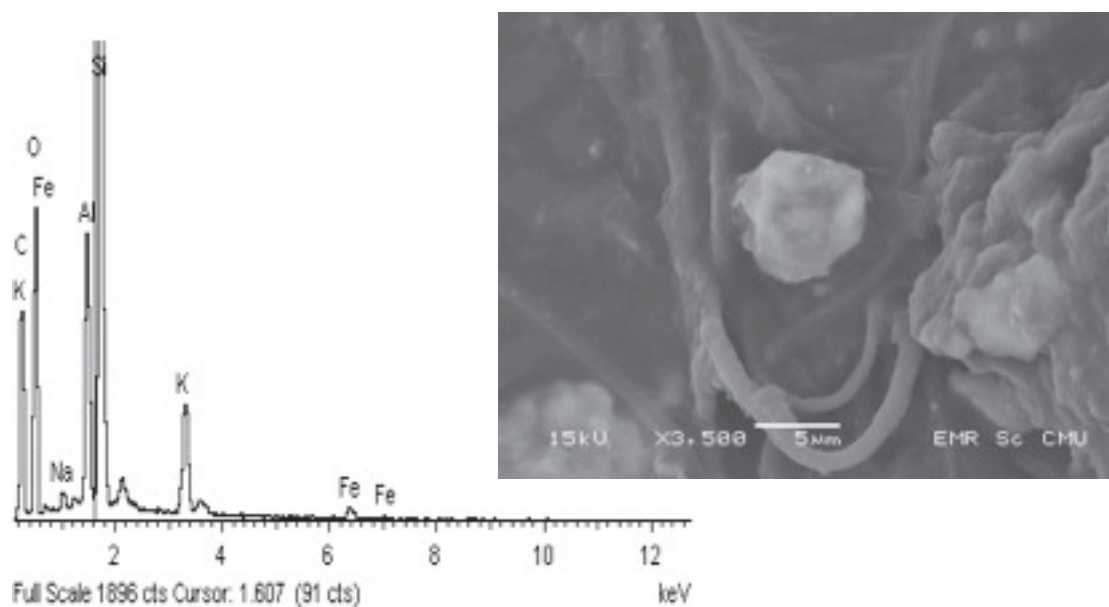
ภาพที่ 69 BSE image และ EDX spectra ของอนุภาคที่ได้จากงานติดตั้งและซ่อมกระจกรถยนต์ ที่ประกอบด้วยธาตุ Al (minor), Si (major), K, Fe ซึ่งมีรูปร่างกลมแบบหยดน้ำ (droplet spherical) ขนาด 3 μm และผิวอนุภาคมีลักษณะเรียบ (smooth) โดยอนุภาคจะมีขนาดเล็กกว่า 5 μm



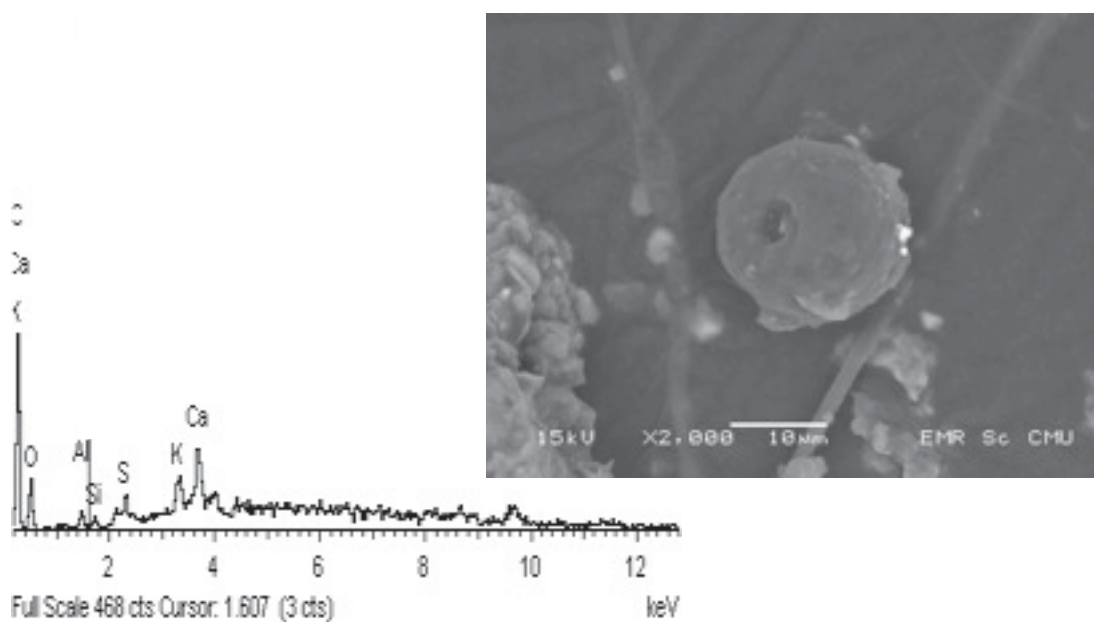
ภาพที่ 70 BSE image และ EDX spectra ของอนุภาคที่ได้จากงานติดตั้งและซ่อมกระจกรถยนต์ ที่ประกอบด้วยธาตุ Mg, Al (minor), Si (major), K, Fe (minor) ซึ่งมีรูปร่างกลมแบบไม่สมมาตร (irregular spherical) และผิวอนุภาคมีลักษณะเรียบ (smooth)



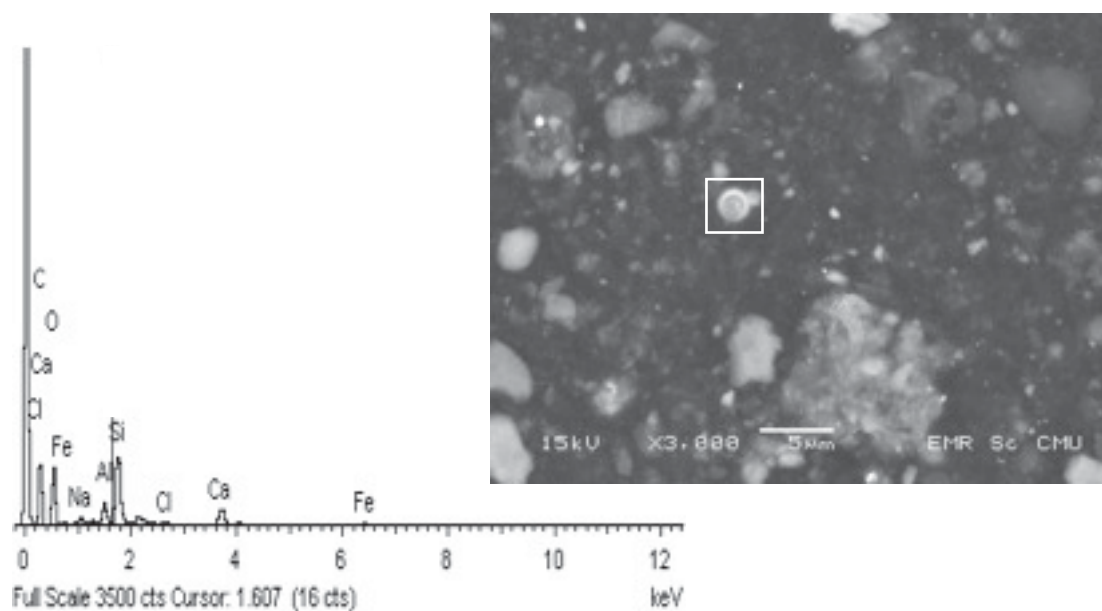
ภาพที่ 71 BSE image และ EDX spectra ของอนุภาคที่ได้จากงานติดตั้งและซ่อมกระจกรถยนต์ ขนาด 5 μm ที่ประกอบด้วยธาตุ Na, Al (minor), Si (major), K (trace) ซึ่งมีรูปร่างค่อนข้างกลม (spheroid) และผิวอนุภาคมีลักษณะที่ไม่เรียบ



ภาพที่ 72 BSE image และ EDX spectra ของอนุภาคที่ได้จากงานติดตั้งและซ่อมกระจกรถยนต์ ขนาด 8-10 μm ที่ประกอบด้วยธาตุ Na (trace), Al (minor), Si (major), K, Fe ซึ่งมีรูปร่างกลมไม่สมมาตร (irregular spherical) และผิวอนุภาคมีลักษณะเรียบ (smooth)



ภาพที่ 73 BSE image และ EDX spectra ของอนุภาคที่ได้จากงานติดตั้งและซ่อมกระจกรถยนต์ ขนาด 15 μm ที่ประกอบด้วยธาตุ Al, Si (trace), S, K (minor), Ca (major) ซึ่งมีรูปร่างค่อนข้างกลม (spheroid) และผิวอนุภาคมีลักษณะที่เรียบ มีปุ่มเล็กๆ ยื่นออกมา และมีหลุมขนาดใหญ่



ภาพที่ 74 BSE image และ EDX spectra ของอนุภาคที่ได้จากงานติดตั้งและซ่อมกระจกรถยนต์ ขนาด 2 μm ที่ประกอบด้วยธาตุ Na, Al, Si (major), Cl (trace), Ca (minor), Fe ซึ่งมีรูปร่างค่อนข้างกลมมน (spherical) และผิวอนุภาคมีลักษณะเรียบ

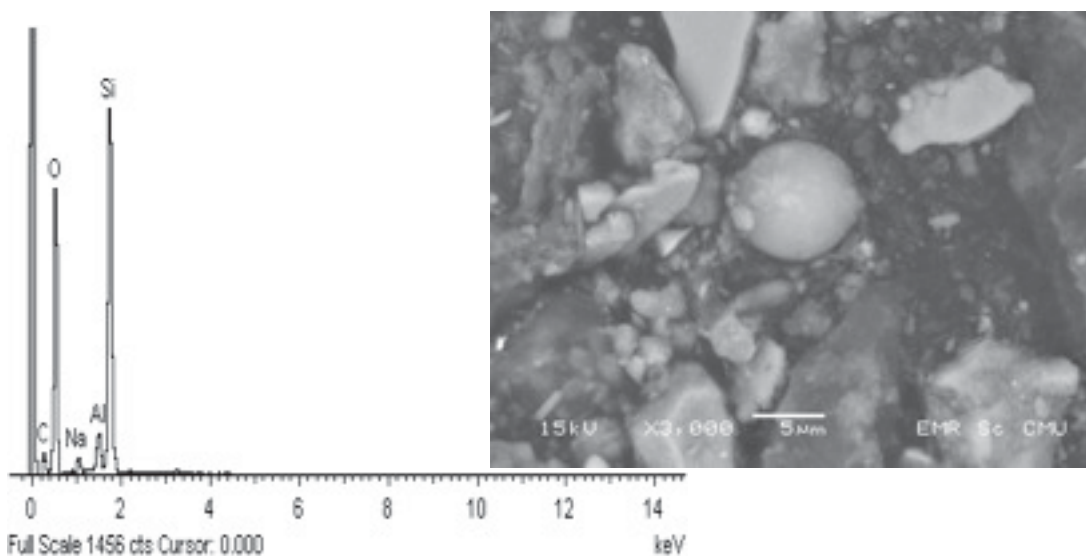
3. อนุภาคที่ได้จากงานผลิตภาชนะเซรามิค

จากการศึกษาพบธาตุอันเป็นองค์ประกอบของเขม่าที่พบได้ในอาชีพนี คือ ฟลูออไรน์ (F), โซเดียม (Na), แมกนีเซียม (Mg), อะลูมิเนียม (Al), ซิลิคอน (Si), ซัลเฟอร์ (S), แคลเซียม (Ca), ไททานเนียม (Ti), โครเมียม (Cr), เหล็ก (Fe), โคบอลต์ (Co), นิกเกิล (Ni), ซีลีเนียม (Se), ซีโคเนียม (Zr), โมลิบดีนัม (Mo), แคดเมียม (Cd), และแบเรียม (Ba)

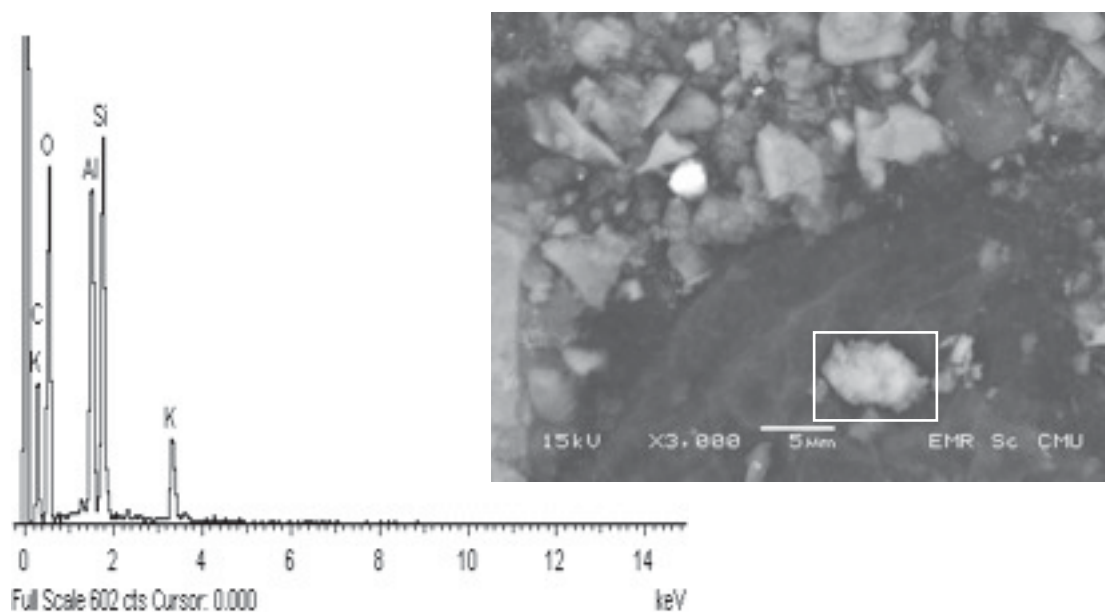
แม้ว่าอนุภาคที่พบส่วนมากไม่มีสัณฐานทรงกลม แต่สามารถพบอนุภาคทรงกลมอยู่บ้างที่ขนาด 5 μm โดยพบได้จำนวนน้อยมาก และการจากการศึกษาในระดับโครงสร้างจุลภาพของอนุภาคสามารถจำแนกอนุภาคที่มีธาตุองค์ประกอบใกล้เคียงกับอนุภาคเขม่าป็นชนิดปราศจากตะกั่ว ซึ่งเป็นกลุ่มที่น่าสนใจต่อการศึกษายู่ 3 อนุภาค ที่มีธาตุอะลูมิเนียม (Al) และซิลิคอน (Si) เป็นธาตุประกอบ (ตารางที่ 18) มีขนาดและลักษณะแตกต่างกันไป (ภาพที่ 75 - ภาพที่ 77)

ตารางที่ 18 ธาตุองค์ประกอบและลักษณะสัณฐานของตัวอย่างอนุภาคเขม่าจากงานผลิตภาชนะเซรามิค

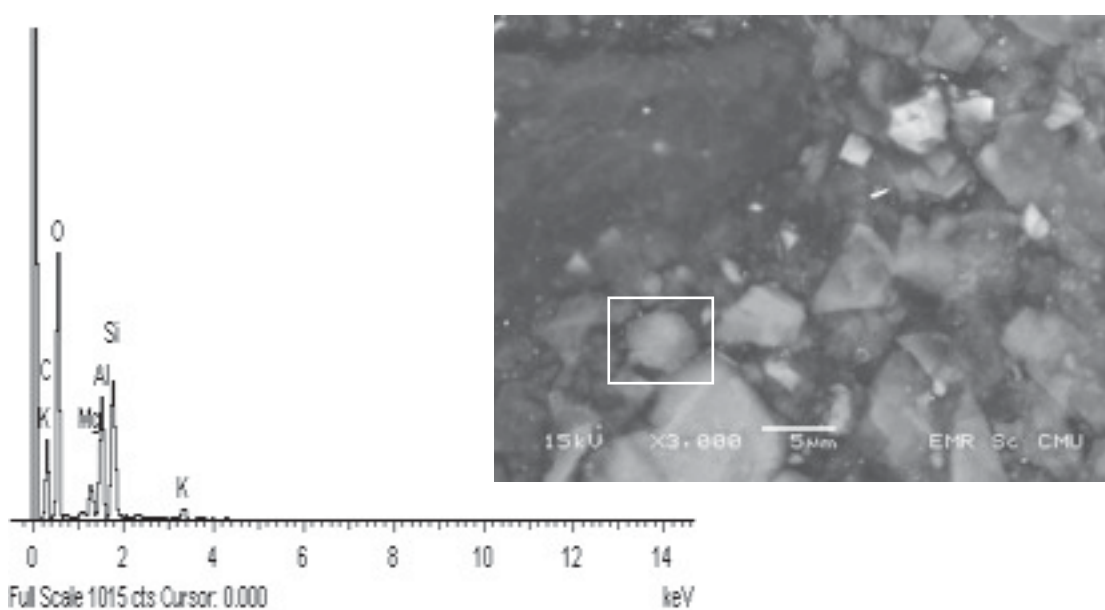
Particle	Elements	Morphology	
		Shape	Texture
1	Na (trace), Al (minor), Si (major)	Spherical	Smooth/knobby
2	Al, Si (major), K	Irregular	Not smooth
3	Al, Si, Ca (trace), Fe (major)	Spherical	Smooth



ภาพที่ 75 BSE image และ EDX spectra ของอนุภาคที่ได้จากงานผลิตภาชนะเซรามิค ขนาด 8-10 μm ที่ประกอบด้วยธาตุ Na (trace), Al (minor), Si (major) ซึ่งมีรูปร่างกลมมน (regular spherical) และผิวอนุภาคมีลักษณะเรียบ (smooth) อาจมีปุ่มเล็กยื่นออกมาเพียงเล็กน้อย



ภาพที่ 76 BSE image และ EDX spectra ของอนุภาคที่ได้จากงานผลิตภาชนะเซรามิค ขนาด 10 μm ที่ประกอบด้วยธาตุ Al, Si, K ซึ่งมีรูปร่าง irregular และผิวอนุภาคมีลักษณะไม่เรียบ



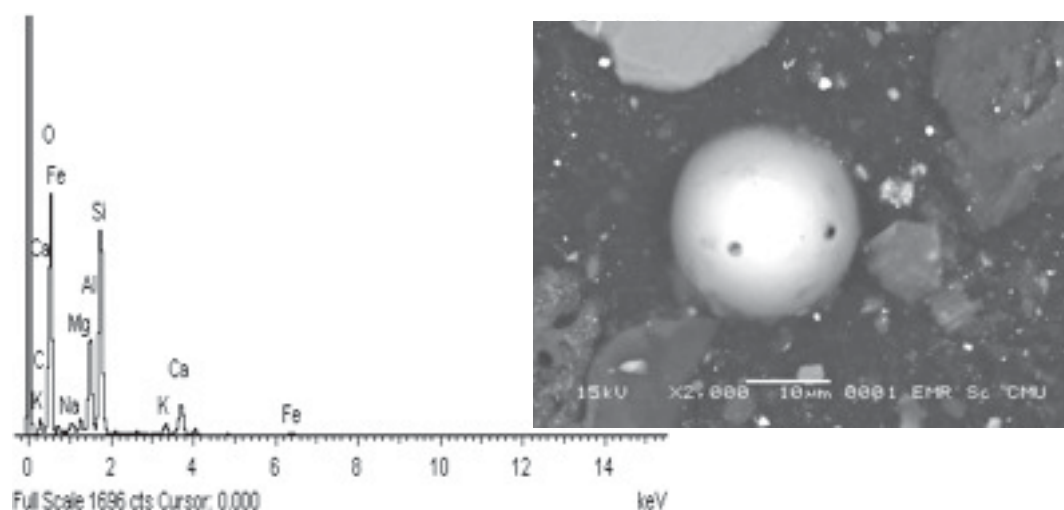
ภาพที่ 77 BSE image และ EDX spectra ของอนุภาคที่ได้จากงานผลิตภาชนะเซรามิค ขนาด 5 μm ที่ประกอบด้วยธาตุ Mg (trace), Al, Si, K (trace) ซึ่งมีรูปร่าง irregular และผิวเรียบ

4. อนุภาคที่ได้จากงานสัรณยนต์

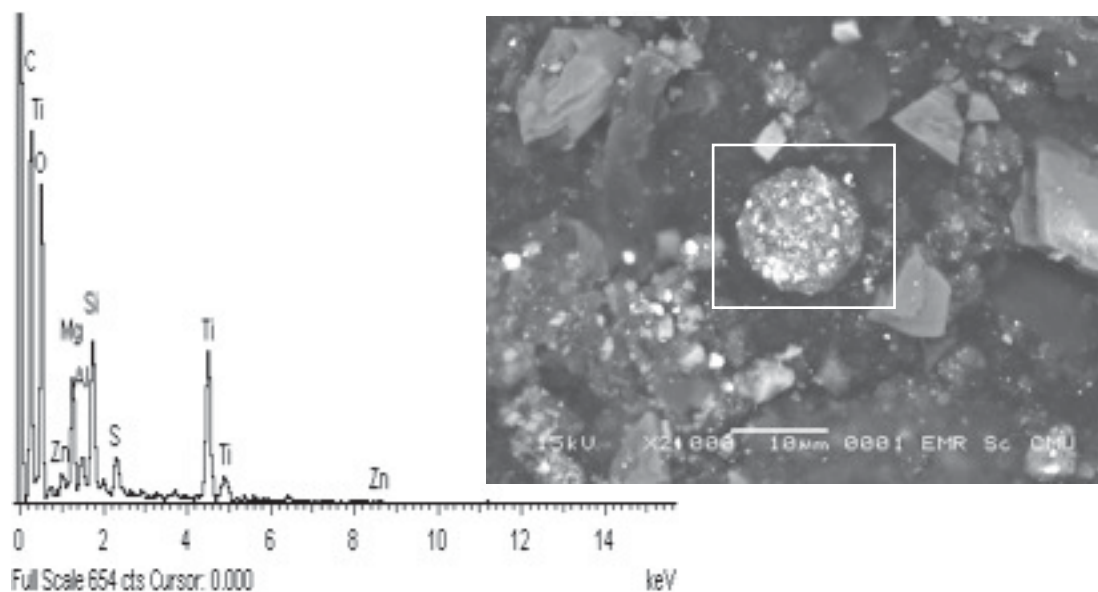
ธาตุอันเป็นองค์ประกอบของเขม่าที่พบได้ในอาชีพนี คือ โซเดียม (Na), แมกนีเซียม (Mg), อะลูมิเนียม (Al), ซิลิคอน (Si), ซัลเฟอร์ (S), คลอรีน (Cl), โพแทสเซียม (K), แคลเซียม (Ca), ไททาเนียม (Ti), เหล็ก (Fe), โคบอลต์ (Co), สังกะสี (Zn) โบรมีน (Br), สตรอนเชียม (Sr) และแบเรียม (Ba) (ตารางที่ 19) เมื่อได้วิเคราะห์เฉพาะอนุภาคทรงกลมขนาด 1-15 μm พบว่ามีอนุภาคที่น่าสนใจ 4 อนุภาค โดยอนุภาคที่มีธาตุอะลูมิเนียม (Al) และซิลิคอน (Si) เป็นธาตุประกอบหลัก และยังพบได้อีกว่าหากอนุภาคมีธาตุเหล็ก (Fe) เป็นธาตุอันเป็นองค์ประกอบเพิ่มเติมซึ่งมีลักษณะโครงสร้างจุลภาพของอนุภาคที่มีรูปร่างกลมมน (spherical) และผิวเรียบ (smooth) (ภาพที่ 78) หากอนุภาคมีธาตุไททาเนียม (Ti) เป็นองค์ประกอบอยู่ด้วย จะมีรูปร่างค่อนข้างกลม (spheroid) แต่ผิวไม่เรียบ (ภาพที่ 79) ส่วนอนุภาคมีแบเรียม (Ba) เป็นองค์ประกอบ อนุภาคจะมีขนาดเล็กกว่า 5 μm โดยมีรูปร่างกลมมน (spherical) และผิวเรียบ (smooth) (ภาพที่ 80) และหากไม่มี Fe, Ti และ Ba เป็นองค์ประกอบของอนุภาค อนุภาคนั้นมีรูปร่างค่อนข้างกลม (spheroid/globular) และผิวไม่เรียบ (ภาพที่ 81)

ตารางที่ 19 ธาตุองค์ประกอบและลักษณะของสัญญาณของตัวอย่างอนุภาคเขม่าที่ได้จากงานสัรณยนต์

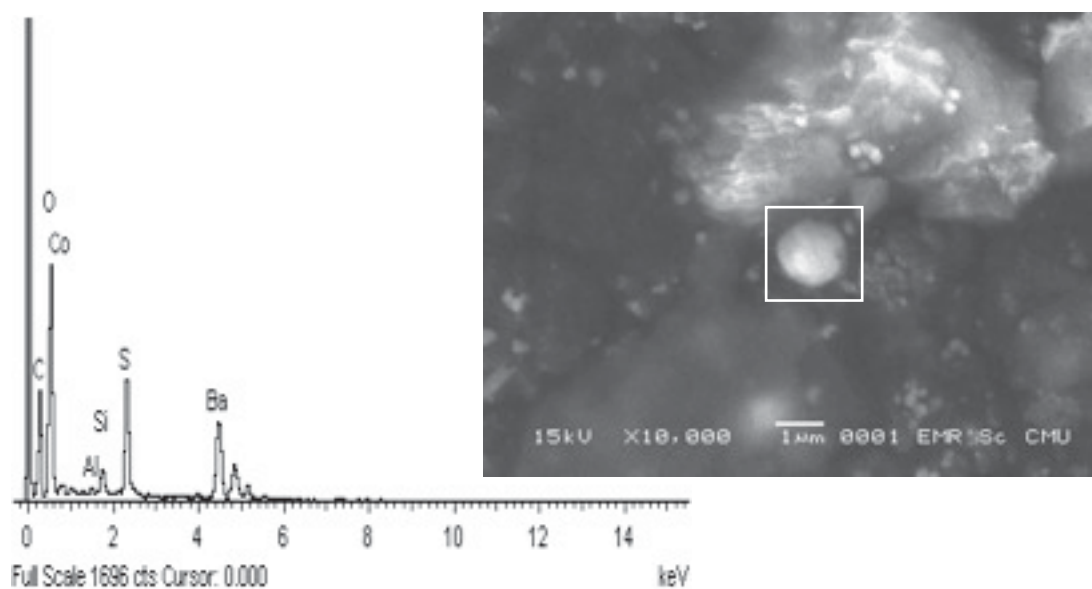
Particle	Elements	Morphology	
		Shape	Texture
1	Na (trace), Mg (trace), Al (minor), Si (major), K, Ca, Fe	Spherical	Smooth/pocked
2	Mg, Al, Si, S, Ti (major), Zn	Spheroid	Not smooth
3	Al, Si, S (minor), Co, Ba (major)	Spherical	Smooth
4	Na (trace), Al (minor), Si (major), K (trace), Ca (trace)	Globular	Not smooth



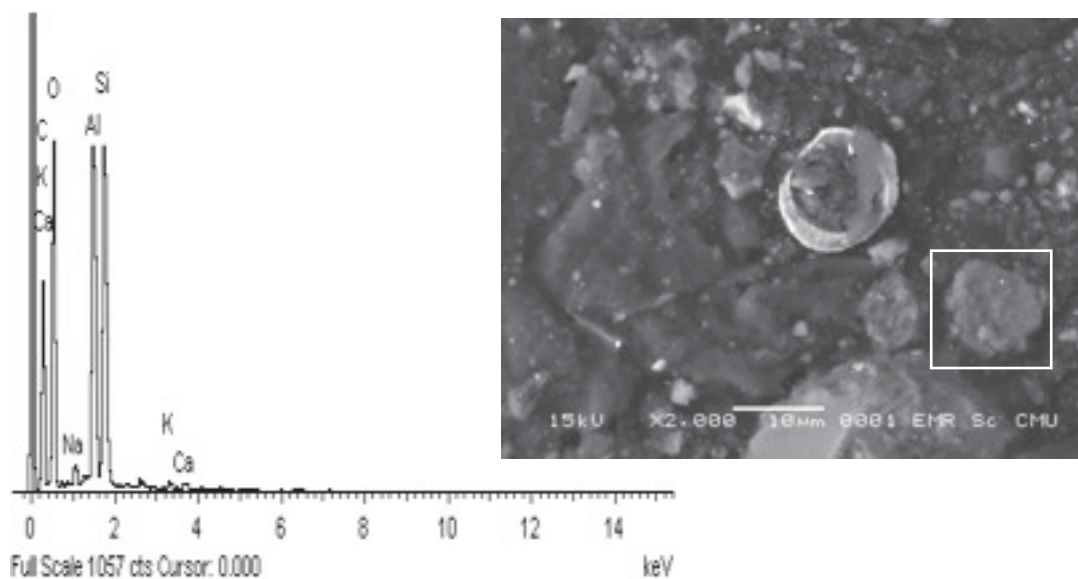
ภาพที่ 78 BSE image และ EDX spectra ของอนุภาคที่ได้จากงานสัรณยนต์ ขนาด 15 μm ที่ประกอบด้วยธาตุ Na (trace), Mg (trace), Al (minor), Si (major), K, Ca, Fe ซึ่งมีรูปร่างกลมมน (regular spherical) และผิวอนุภาคมีลักษณะเรียบและมีหลุมเล็กๆ (smooth/pocked)



ภาพที่ 79 BSE image และ EDX spectra ของอนุภาคที่ได้จากงานสัรยนต์ ขนาด 15 μm ที่ประกอบด้วยธาตุ Mg, Al, Si, S, Ti (major), Zn ซึ่งมีรูปร่างค่อนข้างกลม (spheroid) และผิวอนุภาคมีลักษณะที่ไม่เรียบ



ภาพที่ 80 BSE image และ EDX spectra ของอนุภาคที่ได้จากงานสัรยนต์ ขนาด 1 μm ที่ประกอบด้วยธาตุ Al, Si, S (minor), Co, Ba (major) ซึ่งมีรูปร่างกลมมน (regular spherical) และผิวอนุภาคมีลักษณะที่เรียบ โดยอนุภาคจะมีขนาดเล็กกว่า 5 μm



ภาพที่ 81 BSE image และ EDX spectra ของอนุภาคที่ได้จากงานสัรณยนต์ ขนาด 10 μm ที่ประกอบด้วยธาตุ Na (trace), Al (minor), Si (Major), K (trace), Ca (trace) ซึ่งมีรูปร่างค่อนข้างกลม (irregular spherical/globular) และผิวอนุภาคมีลักษณะไม่เรียบ

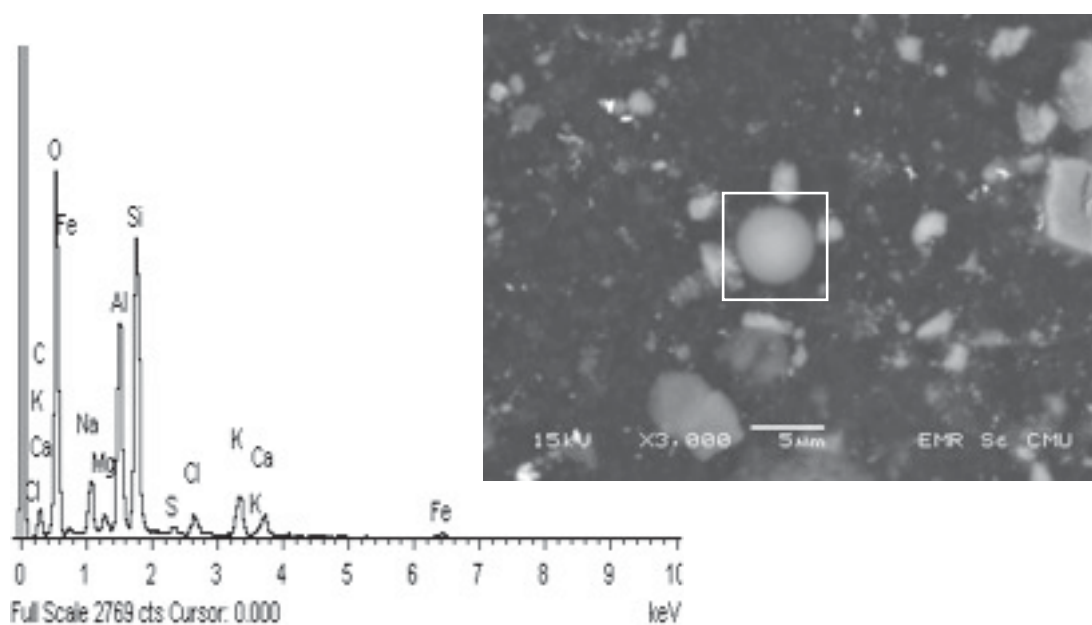
5. อนุภาคที่ได้จากงานตีเส้นจราจร

เมื่อศึกษาและวิเคราะห์แล้ว พบว่าธาตุอันเป็นองค์ประกอบของเขม่าที่พบได้ในอาชีพนี คือ โซเดียม (Na), แมกนีเซียม (Mg), อะลูมิเนียม (Al), ซิลิคอน (Si), ฟอสฟอรัส (p), ซัลเฟอร์ (S), คลอรีน (Cl), โพแทสเซียม (K), แคลเซียม (Ca), และเหล็ก (Fe)

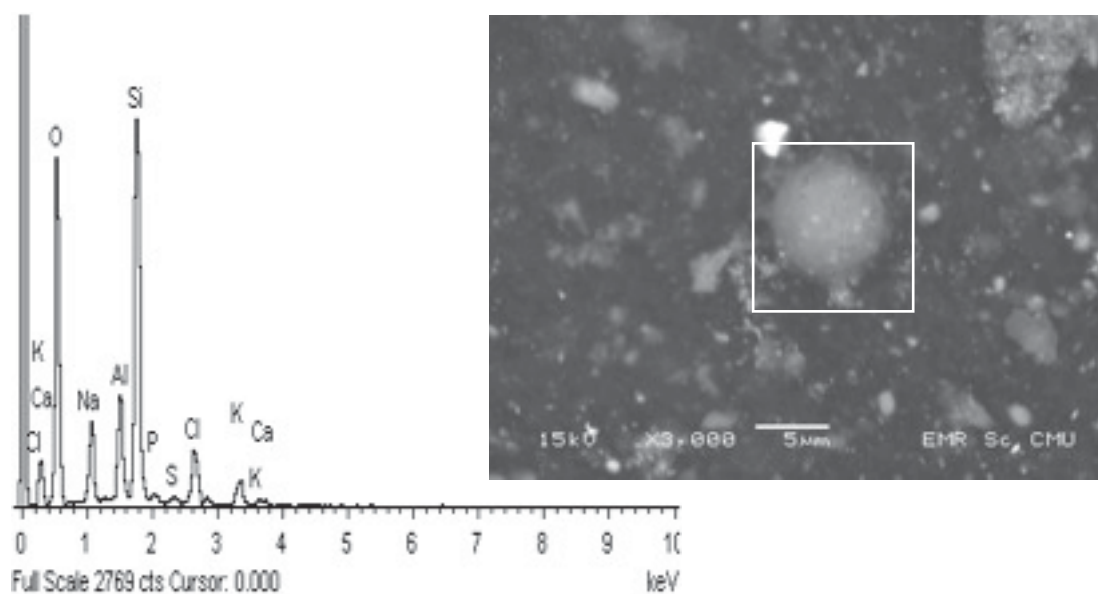
ในการศึกษาระดับโครงสร้างจุลภาพของอนุภาคทรงกลมขนาด 1-15 μm สามารถจำแนกอนุภาคที่ได้จากงานตีเส้นจราจรที่มีธาตุองค์ประกอบใกล้เคียงกับอนุภาคเขม่าป็นชนิดปราศจากตะกั่ว ซึ่งเป็นกลุ่มที่น่าสนใจต่อการศึกษานาน 4 อนุภาค ซึ่งมีธาตุอะลูมิเนียม (Al), ซิลิคอน (Si), โพแทสเซียม (K), แคลเซียม (Ca), และเหล็ก (Fe) เป็นธาตุประกอบ (ตารางที่ 20) ล้วนแต่เป็นอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 5 μm โดยมีรูปร่างกลมมน (regular spherical) และมีพื้นผิวลักษณะเรียบ (smooth) และมีปุ่มเล็กๆ จำนวนมากบนผิวอนุภาคหากมีธาตุฟอสฟอรัส (P) เป็นองค์ประกอบ ซึ่งเป็นรูปร่างและลักษณะสัญญาณที่มีลักษณะเช่นเดียวกับอนุภาคเขม่าป็นชนิดปราศจากตะกั่ว (ภาพที่ 82 - ภาพที่ 85)

ตารางที่ 20 ธาตุองค์ประกอบและลักษณะของสัณฐานของตัวอย่างอนุภาคเขม่าที่ได้จากงานตีเส้นจราจร

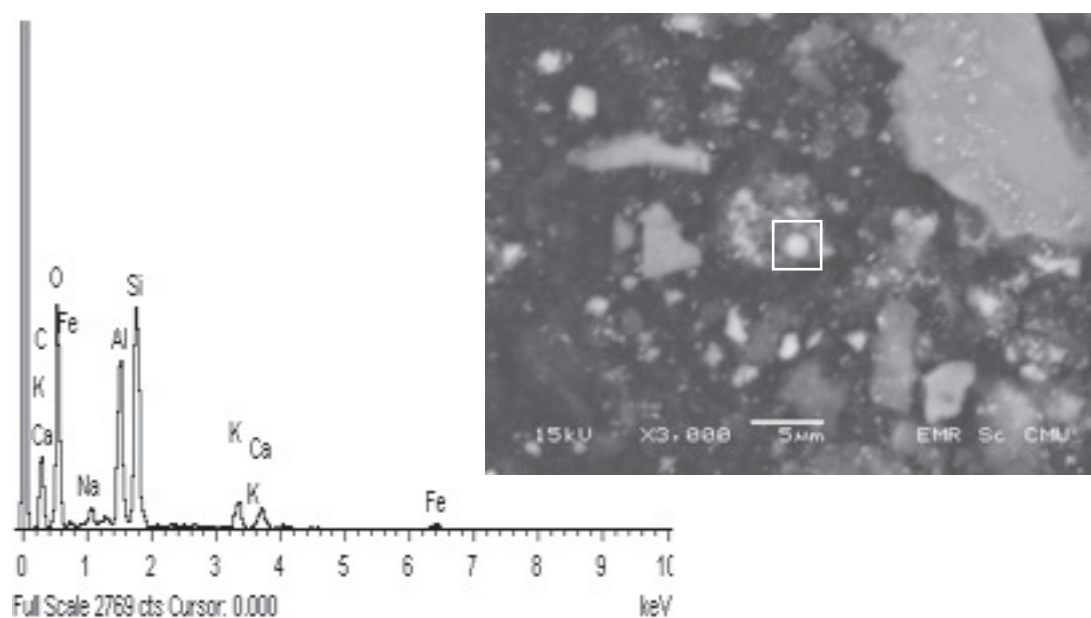
Particle	Elements	Morphology	
		Shape	Texture
1	Na, Mg (trace), Al (minor), Si (major), K (trace)	Spherical	Smooth
2	Na, Al, Si (major), P (trace), S (trace), Cl, K, Ca (trace)	Spherical	Smooth/knobby
3	Na (trace), Al (minor), Si (major), K, Ca, Fe	Spherical	Smooth
4	Na, Mg (trace), Al (minor), Si (major), K, Ca, Fe	Spherical	Smooth



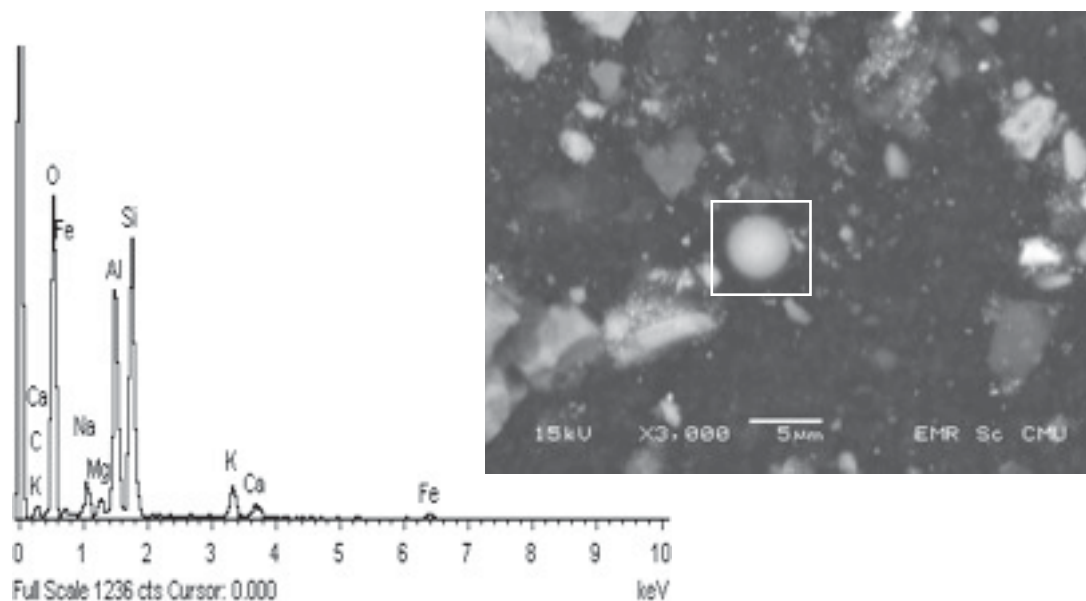
ภาพที่ 82 BSE image และ EDX spectra ของอนุภาคที่ได้จากงานตีเส้นจราจร ขนาด 5 μm ที่ประกอบด้วยธาตุ Na, Mg (trace), Al (minor), Si (major), K (trace) ซึ่งมีรูปร่างกลมมน (regular spherical) และผิวอนุภาคมีลักษณะเรียบ



ภาพที่ 83 BSE image และ EDX spectra ของอนุภาคที่ได้จากงานตีเส้นจราจร ขนาด 8 μm ที่ประกอบด้วยธาตุ Na, Al, Si (major), P (trace), S (trace), Cl, K, Ca (trace) ซึ่งมีรูปร่างกลมมน (regular spherical) และผิวอนุภาคมีลักษณะเรียบที่ประกอบเป็นปุ่มเล็กๆ ยื่นออกมาจำนวนมาก (knobby)



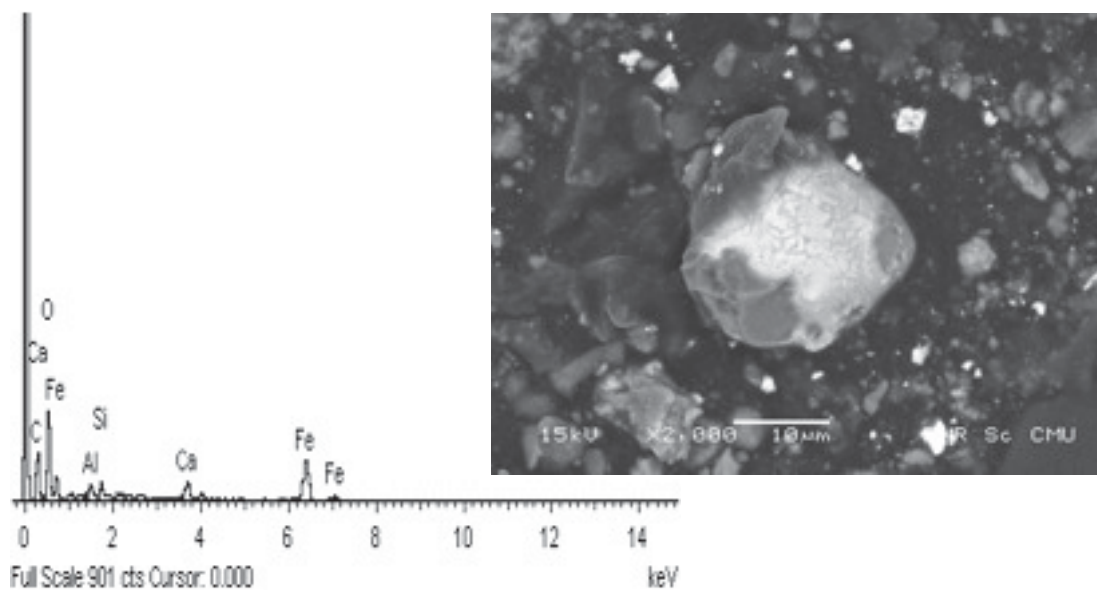
ภาพที่ 84 BSE image และ EDX spectra ของอนุภาคที่ได้จากงานตีเส้นจราจร ขนาด 2 μm ที่ประกอบด้วยธาตุ Na (trace), Al (minor), Si (major) , K, Co, Fe ซึ่งมีรูปร่างกลมมน (regular spherical) และผิวอนุภาคมีลักษณะเรียบ



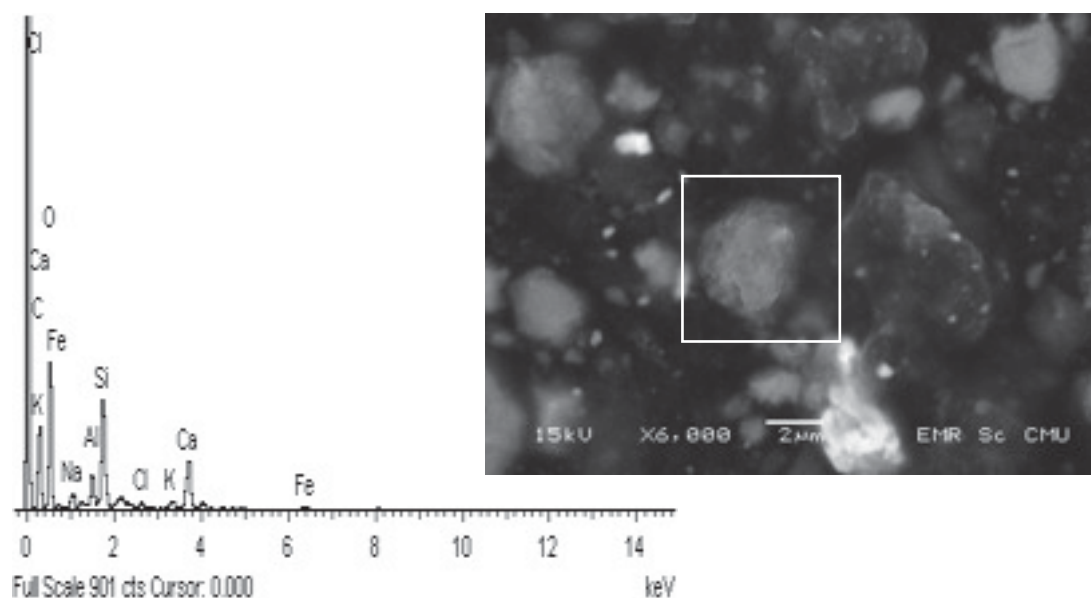
ภาพที่ 85 BSE image และ EDX spectra ของอนุภาคที่ได้จากงานตีเส้นจรรยา ขนาด 5 μm ที่ประกอบด้วยธาตุ Na, Mg (trace), Al (minor), Si (major), K, Ca, Fe ซึ่งมีรูปร่างกลมมน (regular spherical) และผิวอนุภาคมีลักษณะเรียบ

6. อนุภาคที่ได้จากงานเชื่อมโลหะและเหล็กดัด

จากการศึกษาและวิเคราะห์ ธาตุอันเป็นองค์ประกอบของเขม่าที่พบได้ในอาชีพนี คือ โซเดียม (Na), อะลูมิเนียม (Al), ซิลิคอน (Si), คลอรีน (Cl), โพแทสเซียม (K), แคลเซียม (Ca), ไททาเนียม (Ti), แมงกานีส (Mn), และเหล็ก (Fe) และเมื่อได้ศึกษาและวิเคราะห์เฉพาะอนุภาคทรงกลมขนาด 1-15 μm พบว่าอนุภาคส่วนใหญ่มีไททาเนียม (Ti) เป็นธาตุองค์ประกอบหลัก อาจมีเหล็ก (Fe) หรือซิลิคอน (Si) หรือแคลเซียม (Ca) เป็นธาตุประกอบรอง ซึ่งทำให้อนุภาคที่ได้จากเขม่าที่พบในอาชีพนีแตกต่างไปจากอนุภาคที่เกิดจากกระสุนปืนชนิดปราศจากตะกั่ว อย่างชัดเจน ส่วนอนุภาคที่น่าสนใจต่อการศึกษาคือ เป็นอนุภาคที่ไม่มีธาตุไททาเนียม (Ti) ซึ่งพบได้เพียง 2 อนุภาค โดยอนุภาคแรกที่พบมีขนาด 15 μm รูปร่างค่อนข้างกลม (irregular spherical/globular) และมีลักษณะผิวที่ไม่เรียบโดยพบว่ามียอกลายบนผิว อนุภาคที่เป็นแกนซึ่งถูกเคลือบด้วย outer leaflet แต่ไม่ทั้งหมด มีธาตุเหล็ก (Fe) เป็นองค์ประกอบหลัก (major) ธาตุแคลเซียม (Ca) เป็นธาตุรอง (minor) โดยมีอะลูมิเนียม (Al) และซิลิคอน (Si) เป็นธาตุประกอบเพียงเล็กน้อย (trace) (ภาพที่ 86) ส่วนอนุภาคที่สองมีขนาด 4 μm ลักษณะโครงสร้างจุลภาพของอนุภาคที่มีรูปร่างค่อนข้างกลม (irregular spherical) และผิวไม่เรียบ มีแคลเซียม (Ca) และซิลิคอน (Si) เป็นองค์ประกอบหลัก และมีอะลูมิเนียม (Al) และเหล็ก (Fe) เป็นธาตุรอง โดยมี โซเดียม (Na) และ โพแทสเซียม (K) ในจำนวนเล็กน้อยรวมอยู่ด้วย (ภาพที่ 87)



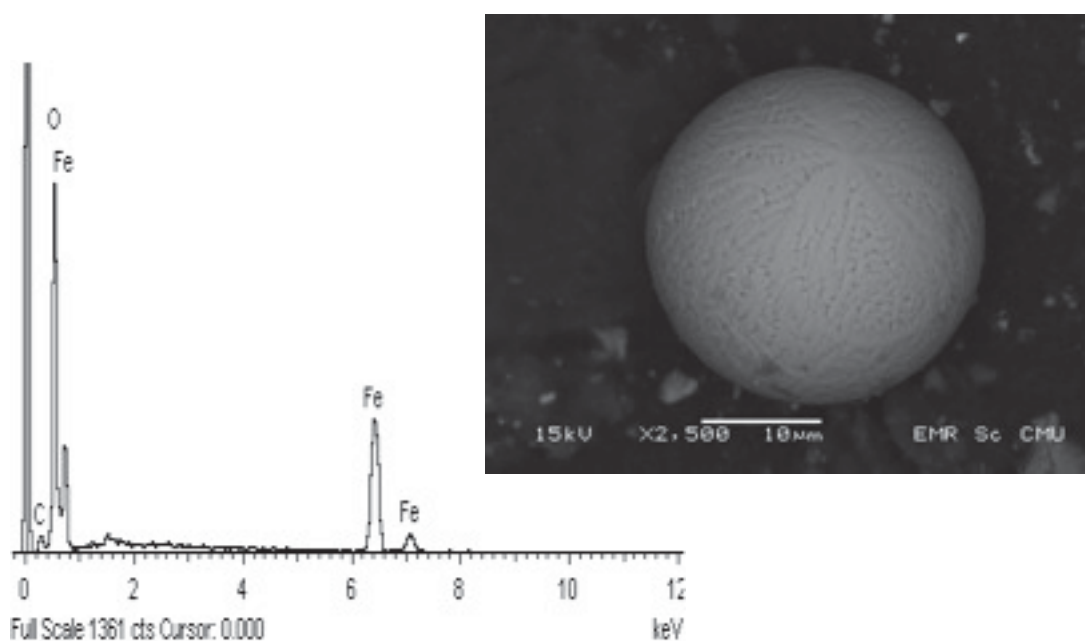
ภาพที่ 86 BSE image และ EDX spectra ของอนุภาคที่ได้จากงานเชื่อมโลหะและเหล็กดัด ขนาด 15 μm ที่ประกอบด้วยธาตุ Al (trace), Si (trace), Ca (minor), Fe (major) รูปร่างค่อนข้างกลม (irregular spherical/globular) และมีลักษณะผิวที่ไม่เรียบโดยพบว่ามีร่องลายบนผิวอนุภาคและมี outer leaflet ห่อหุ้มอยู่แต่ไม่เต็มอนุภาค



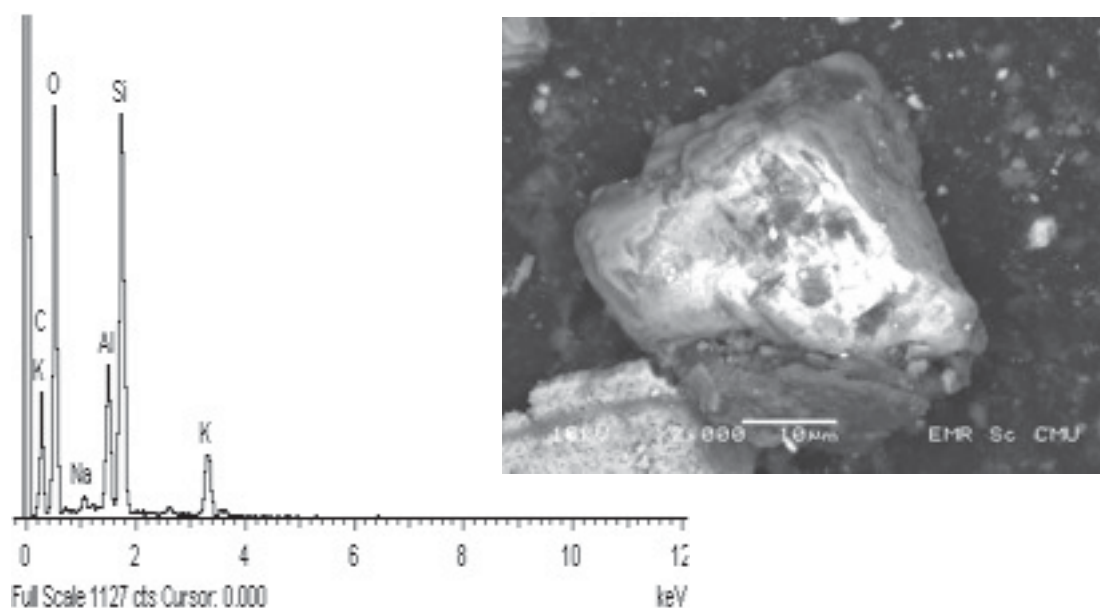
ภาพที่ 87 BSE image และ EDX spectra ของอนุภาคที่ได้จากงานเชื่อมโลหะและเหล็กดัด ขนาด 4 μm รูปร่างค่อนข้างกลม (irregular spherical) และผิวไม่เรียบ มีธาตุ Si และ Ca เป็นองค์ประกอบหลัก Fe และ Al เป็นองค์ประกอบรอง โดยมี Na และ K ในจำนวนเล็กน้อย

7. อนุภาคที่ได้จากงานรับซื้อของเก่า

อนุภาคที่พบได้จากการศึกษา มีหลายขนาดแตกต่างกันไป รูปร่างและลักษณะของอนุภาคมีความหลากหลาย เมื่อศึกษาอนุภาคมีรูปร่างกลมมน (regular spherical) พบที่อนุภาคขนาด 10-20 μm แต่ผิวอนุภาคไม่เรียบโดยมีลักษณะเป็นร่องหรือรอยหยักทั่วบริเวณผิวของอนุภาค และเมื่อวิเคราะห์ด้วย energy dispersive x-ray พบว่าเหล็ก (Fe) เป็นธาตุองค์ประกอบสำคัญเพียงชนิดเดียว (ภาพที่ 88) ทั้งนี้อาจพบร่องรอยของธาตุอะลูมิเนียม (Al) ได้ในอนุภาคกลมมนที่มีขนาดต่ำกว่า 10 μm โดยยังมีธาตุเหล็ก (Fe) เป็นธาตุองค์ประกอบหลัก ตลอดจนยังพบอนุภาคที่มีธาตุอะลูมิเนียม (Al), ซิลิกอน (Si) และโพแทสเซียม (K) เป็นธาตุสำคัญ ที่มีร่องรอยของธาตุโซเดียม (Na) เป็นองค์ประกอบรวมอยู่ด้วย อนุภาคที่พบมีผิวค่อนข้างเรียบ รูปร่างคล้ายก้อนหิน (rockpile) โดยมีขนาด 40 μm (ภาพที่ 89)



ภาพที่ 88 BSE image และ EDX spectra ของอนุภาคที่ได้จากงานรับซื้อของเก่า ซึ่งมีรูปร่างกลมมน (spherical) สามารถพบที่อนุภาคที่มีขนาด 10 μm แต่ผิวอนุภาคไม่เรียบ และพบว่ามี Fe เป็นธาตุองค์ประกอบสำคัญเพียงชนิดเดียว



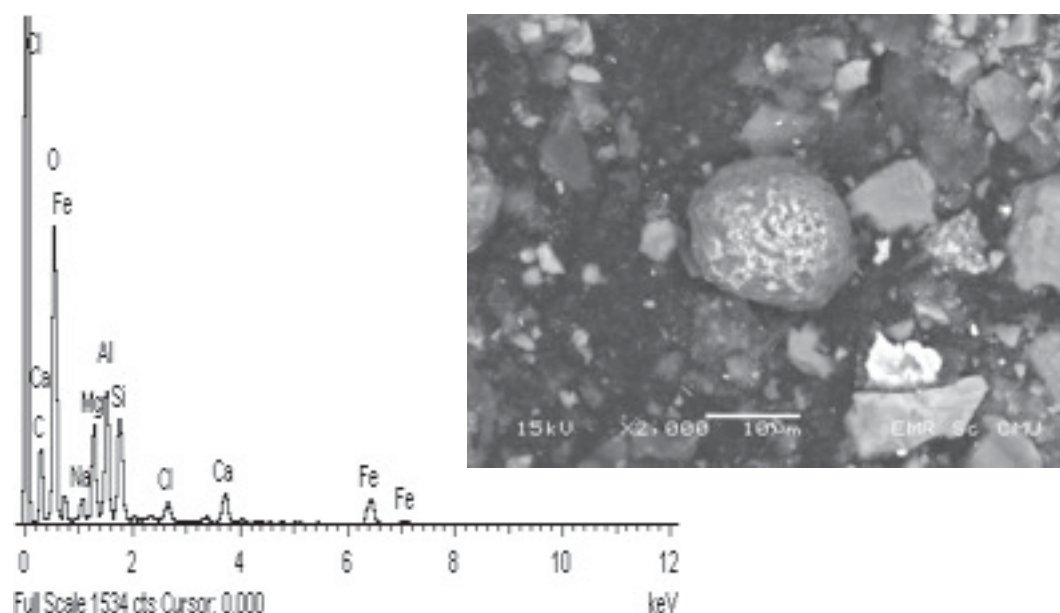
ภาพที่ 89 BSE image และ EDX spectra ของอนุภาคที่ได้จากงานรับซื้อของเก่า มี Al, Si, K เป็นธาตุหลัก ที่มีร่องรอยของ Na รวมอยู่ด้วยแต่ในปริมาณน้อย

เมื่อพิจารณาขอบเขตของการศึกษาที่เน้นศึกษาและวิเคราะห์เฉพาะอนุภาคทรงกลมขนาด 1-15 μm ธาตุอันเป็นองค์ประกอบของเขม่าที่พบได้ในอาชีพนี้ คือ โซเดียม (Na), แมกนีเซียม (Mg), อะลูมิเนียม (Al), ซิลิคอน (Si), ซัลเฟอร์ (S), คลอรีน (Cl), แคลเซียม (Ca) และเหล็ก (Fe) และยังพบว่ามีร่องรอยของธาตุสังกะสี (Zn) ในจำนวนน้อย โดยพบว่าธาตุอะลูมิเนียม (Al) และซิลิคอน (Si) ในทุกอนุภาค และยังพบได้อีกว่ามีธาตุเหล็ก (Fe) เป็นธาตุอันเป็นองค์ประกอบหลักในทุกอนุภาค (ตารางที่ 21)

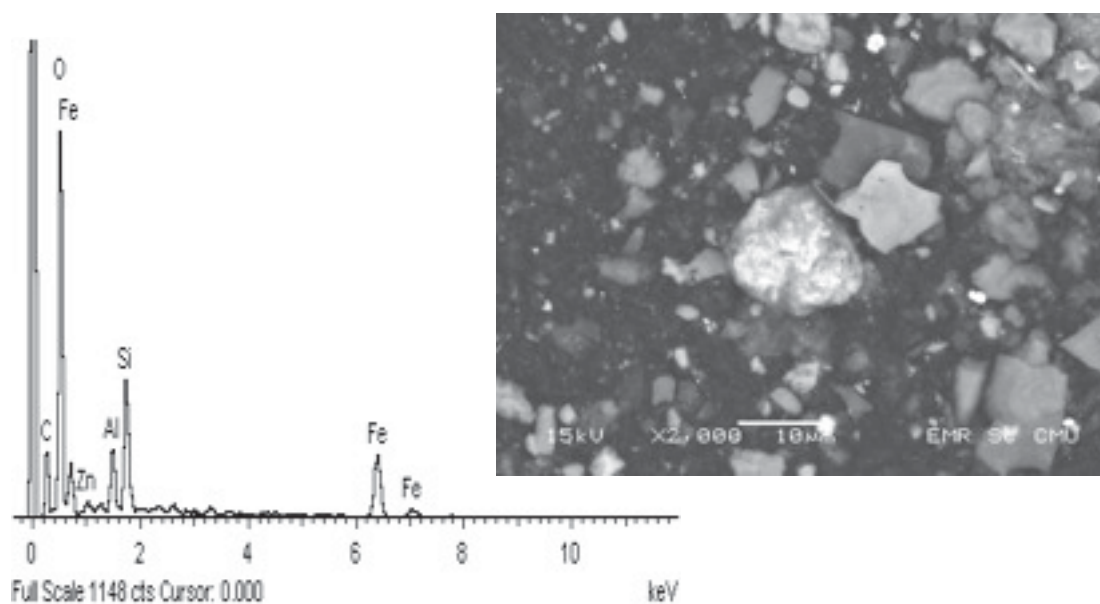
ตารางที่ 21 ธาตุองค์ประกอบและลักษณะสัญญาณของตัวอย่างอนุภาคเขม่าที่ได้จากงานรับซื้อของเก่า

Particle	Elements	Morphology	
		Shape	Texture
1	Na (trace), Mg, Al (minor) , Si, Cl (trace), Ca, Fe (major)	Spheroid/Globular	Not smooth
2	Al , Si (minor), Fe (major), Zn (trace)	Irregular	Rockpile
3	Al , Si , Ca (trace), Fe (major)	Spherical	Smooth
4	Mg, Al, Si, Ca, Fe (major)	Spheroid/Globular	Smooth

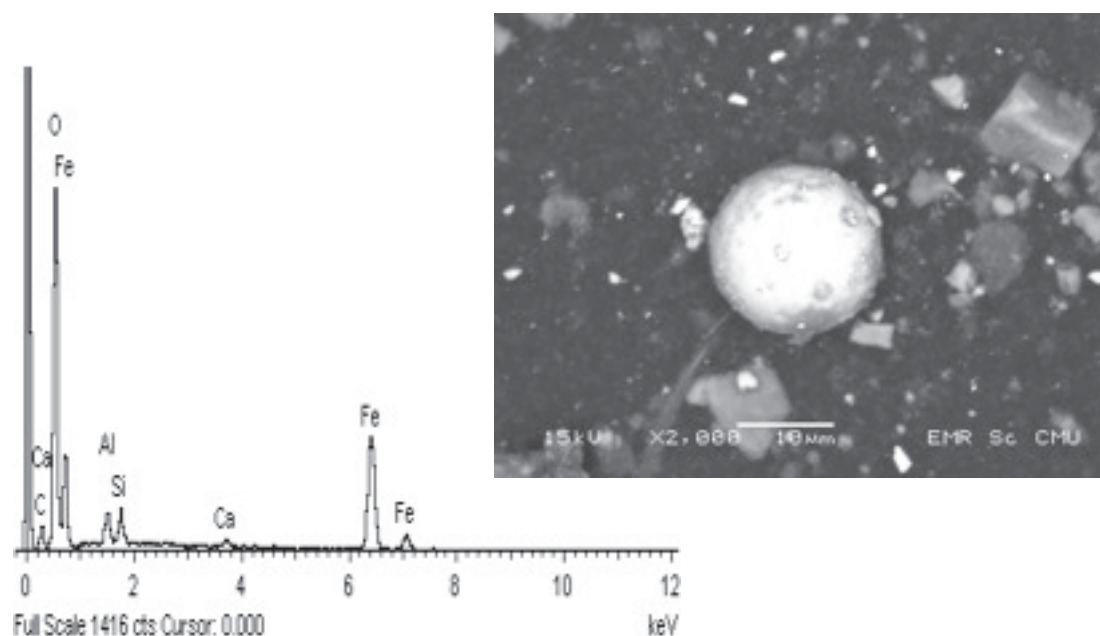
การศึกษาลักษณะโครงสร้างจุลภาพของอนุภาคพบว่า อนุภาคส่วนใหญ่มีรูปร่างค่อนข้างกลม และอนุภาคมีลักษณะของผิวที่แตกต่างกันไป พบว่าบางอนุภาคมีรูปร่างแบบไม่กลมมน (globular) และผิวไม่เรียบ (ภาพที่ 90) โดยที่อนุภาคที่มีรูปร่างไม่สมมาตรจะมีผิวลักษณะคล้ายก้อนหิน (rockpile) (ภาพที่ 91) อย่างไรก็ตามอนุภาคที่มีธาตุอะลูมิเนียม (Al), ซิลิคอน (Si) , แคลเซียม (Ca) และเหล็ก (Fe) เป็นองค์ประกอบมีรูปร่างกลมมนและผิวเรียบ (ภาพที่ 92) และถ้าอนุภาคหลังนี้มีแมกนีเซียม (Mg) อยู่ด้วยจะมีผิวเรียบแต่ไม่เต็มอนุภาค (ภาพที่ 93)



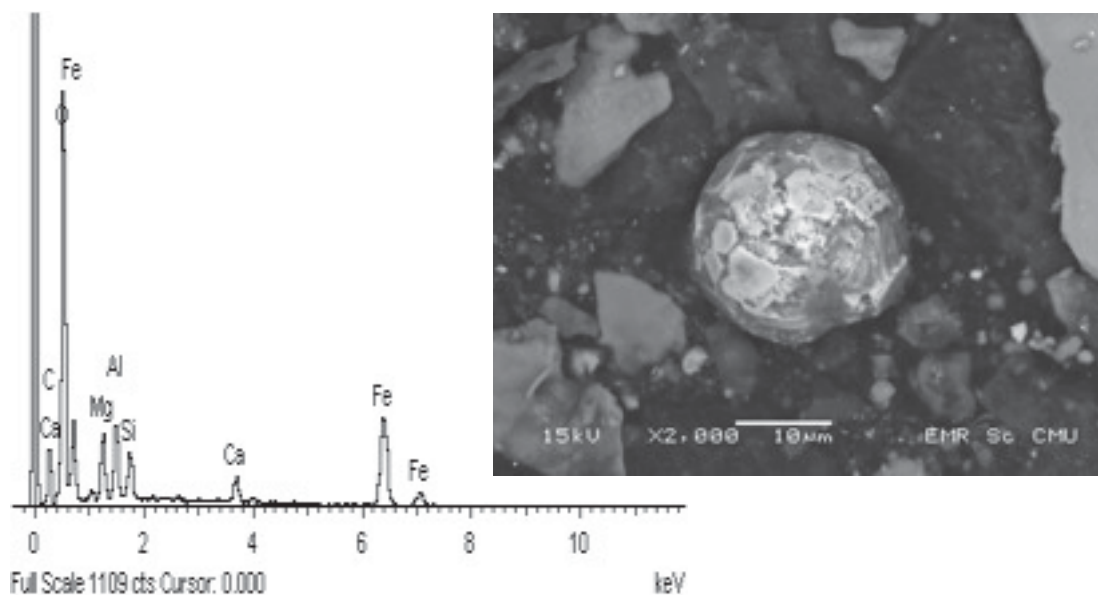
ภาพที่ 90 BSE image และ EDX spectra ของอนุภาคที่ได้จากงานรับซื้อของเก่า ที่ประกอบด้วยธาตุ Na (trace), Mg, Al (minor) , Si, Cl (trace), Ca, Fe (major) ซึ่งมีรูปร่างกลมแต่ไม่มน (globular) และผิวอนุภาคมีลักษณะไม่เรียบ



ภาพที่ 91 BSE image และ EDX spectra ของอนุภาคที่ได้จากงานรับซื้อของเก่า ที่ประกอบด้วยธาตุ Al , Si (minor), Fe (major), Zn (trace) ซึ่งมีรูปร่างไม่สมมาตร (irregular) และผิวอนุภาคมีลักษณะคล้ายก้อนหิน (rockpile)



ภาพที่ 92 BSE image และ EDX spectra ของอนุภาคที่ได้จากงานรับซื้อของเก่า ที่ประกอบด้วยธาตุ Al , Si , Ca (trace), Fe (major) ซึ่งมีรูปร่างกลมมน (spherical) และผิวอนุภาคมีลักษณะเรียบ (smooth)

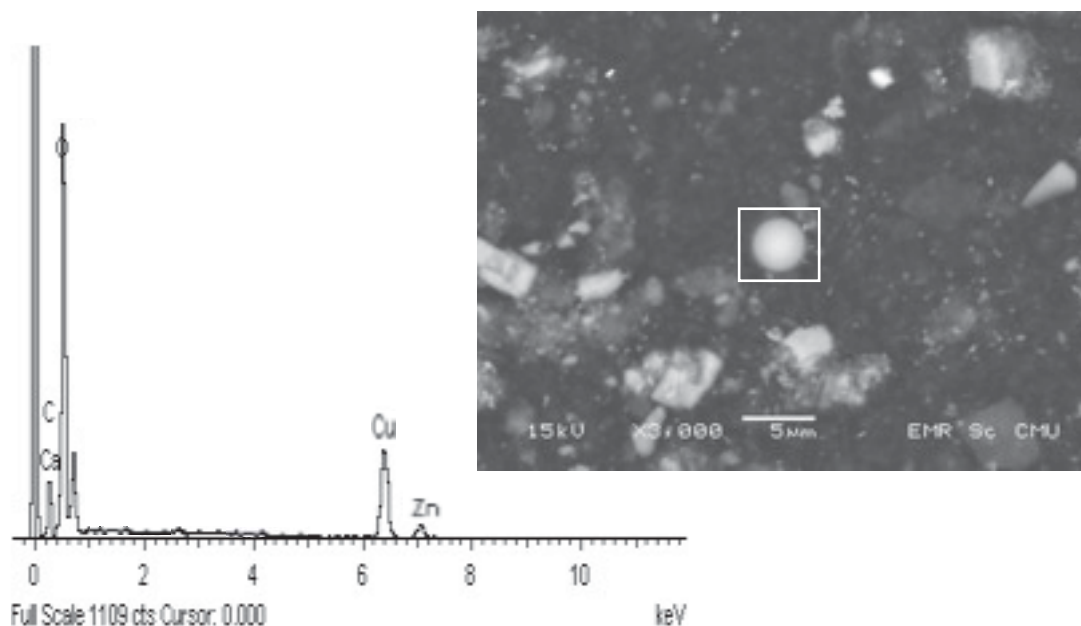


ภาพที่ 93 BSE image และ EDX spectra ของอนุภาคที่ได้จากงานรับซื้อของเก่า ที่ประกอบด้วยธาตุ Mg, Al, Si, Ca, Fe (major) ซึ่งมีรูปร่างค่อนข้างกลม (spheroid) และผิวอนุภาคมีลักษณะเรียบแต่ไม่เต็มอนุภาค

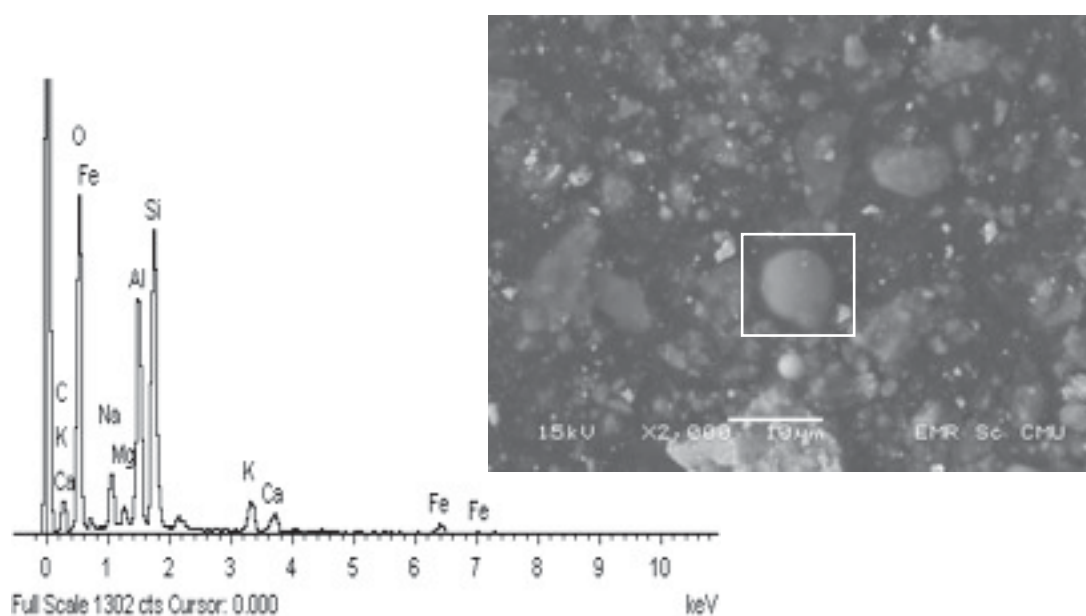
8. อนุภาคที่ได้จากเขม่าป็น Winchester WinClean™

การตรวจวิเคราะห์ห้อนุภาคเขม่าป็น Winchester WinClean™ ด้วยเครื่อง SEM/EDS ในงานวิจัยนี้ ได้ทำการศึกษาวินิจฉัยด้วยจำนวนตัวอย่างที่มากพอสมควรเมื่อเทียบกับจำนวนตัวอย่างในแต่ละกลุ่มทดลอง โดยในแต่ละตัวอย่างจะทดลองยิงปืนเพียงครั้งละหนึ่งนัดเท่านั้น เนื่องจากการยิงปืนหนึ่งนัดเป็นจำนวนนัดที่น้อยที่สุดที่จะเกิดขึ้นได้ในเหตุการณ์หรือคดี ดังนั้นหากในเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นจริง ผู้ใช้อาวุธปืนยิงหรือผู้กระทำความผิดทำการยิงปืนมากกว่าหนึ่งนัด โอกาสที่จะตรวจพบอนุภาคเขม่าป็นที่มีอยู่ย่อมมีมากขึ้นไปด้วย

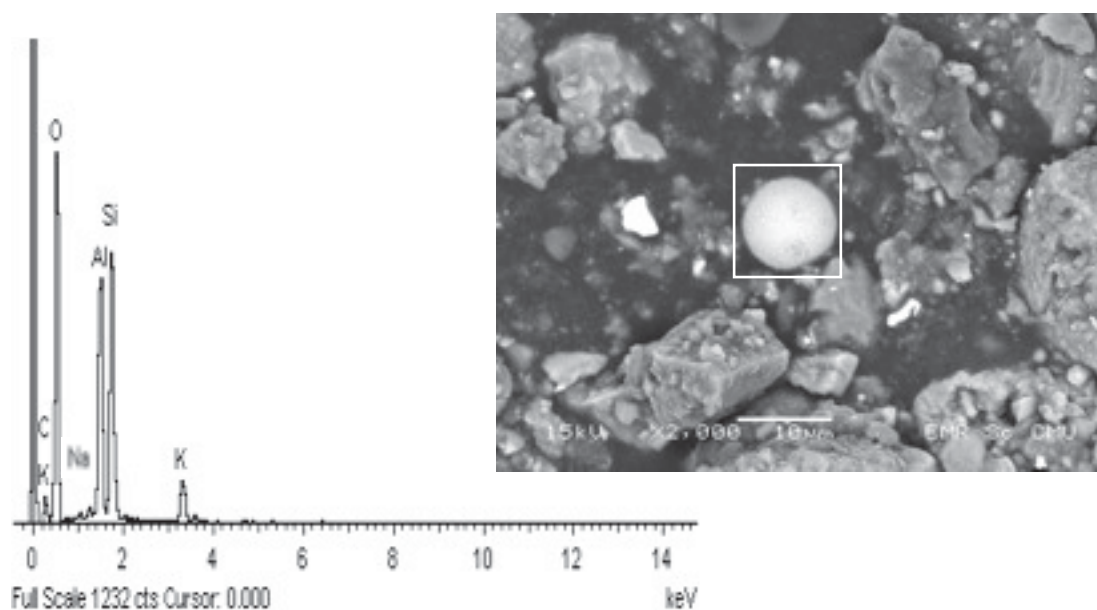
ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างอนุภาคเขม่าป็น Winchester WinClean™ ทั้งหมด ให้ผลในทำนองเดียวกัน คือ เมื่อศึกษาอนุภาคมีรูปร่างกลมมน (regular spherical) พบที่อนุภาคขนาด 1-10 μm ผิวอนุภาคเรียบ และเมื่อวิเคราะห์ด้วย energy dispersive x-ray พบว่าธาตุอนุภาคขนาด 1-5 μm ประกอบไปด้วยธาตุสังกะสี (Zn) และ ทองแดง (Cu) (ภาพที่ 94) อนุภาคขนาด 1-15 μm ประกอบไปด้วยธาตุอะลูมิเนียม (Al), ซิลิคอน (Si), โพแทสเซียม (K) โดยมีธาตุซิลิคอน (Si) เป็นธาตุองค์ประกอบหลัก และอะลูมิเนียม (Al) เป็นธาตุองค์ประกอบรอง โดยมีธาตุอื่นเพิ่มเติม (ภาพที่ 95-ภาพที่ 97)



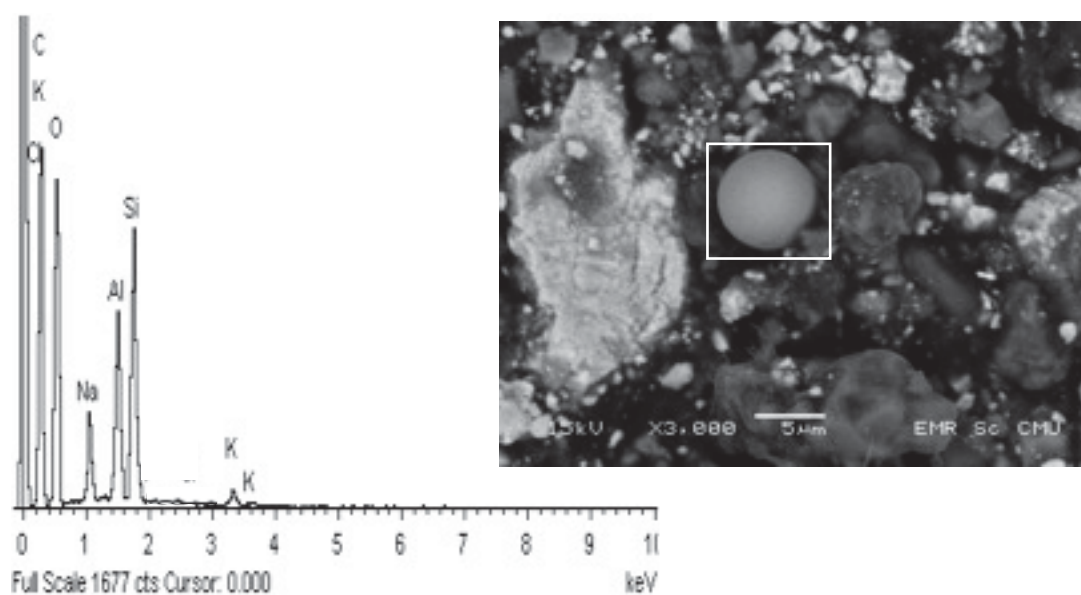
ภาพที่ 94 BSE image และ EDX spectra ของอนุภาคขนาด 1-5 μm ที่ได้จากเขม่าปืน Winchester WinClean™ ที่ประกอบด้วยธาตุทองแดง (Cu) และ สังกะสี (Zn) ซึ่งมีรูปร่างกลมมน (spherical) และผิวอนุภาคมีลักษณะเรียบ



ภาพที่ 95 BSE image และ EDX spectra มีอะลูมิเนียม (Al) และซิลิคอน (Si) เป็นธาตุองค์ประกอบหลัก (major elemental) โดยพบว่ามีธาตุโพแทสเซียม (K) และโซเดียม (Na) เป็นองค์ประกอบเพิ่มเติม มีร่องรอยของธาตุเหล็ก (Fe), แคลเซียม (Ca) และแมกนีเซียม (Mg) อยู่ในจำนวนน้อย



ภาพที่ 96 BSE image และ EDX spectra มีอะลูมิเนียม (Al) และซิลิคอน (Si) เป็นธาตุองค์ประกอบหลัก (major elemental) โดยพบว่ามีธาตุโพแทสเซียม (K) และโซเดียม (Na) ซึ่งมีรูปร่างค่อนข้างกลม (spheroid) และผิวอนุภาคมีลักษณะคล้ายผิวเปลือกส้ม



ภาพที่ 97 BSE image และ EDX spectra มีอะลูมิเนียม (Al) และซิลิคอน (Si) เป็นธาตุองค์ประกอบหลัก (major elemental) โดยพบว่ามีธาตุโพแทสเซียม (K) และโซเดียม (Na) ซึ่งมีรูปร่างค่อนข้างกลม (spheroid) และผิวอนุภาคมีลักษณะเรียบ

บทที่ 5

อภิปราย สรุปผลการศึกษา และข้อเสนอแนะ

1. อภิปรายผลการศึกษา

1.1 ธาตุอันเป็นองค์ประกอบ ตามรายงานการตรวจวิเคราะห์ที่ Martiny และคณะ (2008) ได้ศึกษาอนุภาคเขม่าปืนจากกระสุนปืน (CBC) CleanRange® ซึ่งรุ่นผลิตแตกต่างกัน พบว่าธาตุที่พบเป็นจำนวนมากในรุ่นการผลิตที่สองคือ อะลูมิเนียม (Al), ซิลิคอน (Si) โพแทสเซียม (K) และ เหล็ก (Fe) นอกจากนี้ยังพบว่ามีร่องรอยของธาตุแคลเซียม (Ca) และซัลเฟอร์หรือกำมะถัน (S) แต่ไม่พบธาตุสตรอนเชียม (Sr) เป็นองค์ประกอบอย่างอนุภาคของ CleanRange® รุ่นการผลิตแรก (ตารางที่ 22)

Oommen และ Pierce (2006) ได้ศึกษาพบว่าอนุภาคเขม่าปืนชนิดปราศจากตะกั่ว ที่มีขนาดเล็กกว่า 5 µm มีรูปร่างมนกลม (spherical) ธาตุที่พบได้คือ ทองแดง (Cu) และสังกะสี (Zn) หรือมีทองแดง (Cu) และดีบุก (Sn) เป็นองค์ประกอบ ส่วนอนุภาคที่มีขนาด 6-15 µm ซึ่งเป็นขนาดที่ใช้ในการศึกษาและเปรียบเทียบกับผลการศึกษาวิจัยนี้และแม้ว่าจะมีส่วนผสมที่แตกต่างกัน แต่พบได้ว่าอนุภาคมีรูปร่างกลมเหมือนกันโดยมีอะลูมิเนียม (Al) และซิลิคอน (Si) เป็นธาตุองค์ประกอบหลัก (major elemental) โดยพบว่าธาตุโพแทสเซียม (K) หรือธาตุแบเรียม (Ba) เป็นองค์ประกอบหลักเพิ่มเติม และมีโซเดียม (Na), คลอรีน (Cl), แคลเซียม (Ca) หรือแมกนีเซียม (Mg) ในบางอนุภาค และไม่พบว่ามีเหล็กเป็นองค์ประกอบ (ตารางที่ 23)

ตารางที่ 22 ธาตุของอนุภาคที่ตกค้างบนมือหลังยิงปืนด้วยกระสุนปืนชนิดปราศจากตะกั่ว CBC CleanRange® ที่ผลิตในประเทศ Brazil

Generation produced	Caliber	Shooters' hands Major elements
1	9 mm Luger CR	Sr, Na, K, Fe
	9 mm Luger CR	Al, K, Si, Ca (trace), Fe
2	.40 S&W CR	Al, K, Si, Ca (trace), Fe
	.380 AUTO CR	Al, K, Si, Ca (trace), Fe
	.38 SPL CR	Al, K, Si, Ca (trace), Fe, S (trace)

ที่มา : A. Martiny at el., "SEM/EDS Analysis and Characterization of Gunshot Residues from Brazilian Lead-free Ammunition," Journal of Forensic Science International 177, 1 (May 2008) : e15.

ตารางที่ 23 ธาตุอันเป็นองค์ประกอบหลักของอนุภาคที่ได้จากมือหลังยิงปืนด้วยกระสุนปืนชนิดปราศจากตะกั่ว ตามรายงานการวิจัยที่ศึกษาไว้โดย Oommen และ Pierce (2006)

Ammunition	Particle elements
Winchester WinClean™	Cu + Zn K + Al + Si + Na, Al + Na, Ca, or Mg K, Al, Si, Na, (trace S, Ca, Mg)
Remington/UMC LeadLess™	Cu + Zn Al, Si, K, (trace Na) Al, Si, K, (trace Na or Ca)
Federal BallisticClean™	Cu + Sn Al, Si, Ba, K, (trace Na) Al, Si, Ba, K, (trace Na)
Speer Lawman CleanFire™	Cu or Cu + Zn Sr + Al/Si, or Cl Sr + Al/Si, or Cl

ที่มา : Z. Oommen and S.M. Pierce, “Lead-free Primer Residues : a Qualitative Characterization of Winchester WinClean™, Remington/UMC LeadLess™, Federal BallisticClean™, and Speer Lawman CleanFire™ Handgun Ammunition,” *Journal of Forensic Science* 51, 3 (May 2006) : 516, 518.

การศึกษาพบว่าอนุภาคที่พบได้จากเขม่าปืน Winchester WinClean™ ขนาด 1-15 µm มีรูปร่างและลักษณะของอนุภาคมีลักษณะกลมมนผิวเรียบ (regular spherical) และเมื่อวิเคราะห์ด้วย energy dispersive x-ray พบว่าธาตุในอนุภาคขนาด 1-5 µm ประกอบไปด้วยธาตุสังกะสี (Zn) และทองแดง (Cu) (ภาพที่ 94) อนุภาคขนาด 1-15 µm ประกอบไปด้วยธาตุอะลูมิเนียม (Al), ซิลิคอน (Si), โพแทสเซียม (K) โดยมีธาตุซิลิคอน (Si) เป็นธาตุองค์ประกอบหลัก และอะลูมิเนียม (Al) เป็นธาตุองค์ประกอบรอง (ภาพที่ 95) ซึ่งได้ผลการศึกษาเช่นเดียวกันกับ Oommen และ Pierce (2006)

ในการตอบปัญหาการวิจัยประการแรก ซึ่งต้องการศึกษาหาธาตุอันเป็นองค์ประกอบสำคัญของอนุภาคที่ได้มาจากแหล่งกำเนิดอื่น โดยเน้นศึกษาเฉพาะอนุภาคที่มีขนาด 1-15 µm ว่าเหมือนหรือแตกต่างไปจากธาตุอันเป็นองค์ประกอบของเขม่าปืนที่พบได้บ่อยครั้งที่สุดในกระสุนปืนชนิดปราศจากตะกั่วยี่ห้อ Winchester WinClean™ หรือไม่นั้น ใช้สมมติฐานที่ว่า ธาตุซึ่งเป็นองค์ประกอบของอนุภาคเขม่าปืนชนิดปราศจากตะกั่ว คือ อะลูมิเนียม (Al), ซิลิคอน (Si), และโพแทสเซียม (K) หรือแบเรียม (Ba), และอาจมีธาตุเหล็ก (Fe) เป็นองค์ประกอบเพิ่มเติม รวมทั้งธาตุโซเดียม (Na), ซัลเฟอร์ (S) และแคลเซียม (Ca) รวมอยู่ด้วยในจำนวนเพียงเล็กน้อย

ผลการวิเคราะห์อนุภาคเขม่าที่ได้จากแหล่งอื่น ไม่พบว่ามีธาตุสังกะสี (Zn) และทองแดง (Cu) หรือ ดีบุก (Sn) ในอนุภาค 1-5 μm ซึ่งผลเช่นนี้ทำให้สามารถจำแนกแหล่งที่มาของอนุภาคเขม่าได้ว่าไม่ได้มาจากเขม่าป่นชนิดปราศจากตะกั่วยี่ห้อ Winchester WinClean™ แต่พบว่าส่วนใหญ่ของอนุภาคขนาด 1-15 μm มีธาตุซิลิคอน (Si) เป็นองค์ประกอบหลัก และมีอะลูมิเนียม (Al) เป็นธาตุองค์ประกอบรอง ซึ่งอนุภาคเหล่านี้มีลักษณะร่องรอยของธาตุองค์ประกอบเช่นเดียวกับอนุภาคเขม่าป่น Winchester WinClean™

1.1.1 กลุ่มที่หนึ่ง เป็นกลุ่มที่มีอนุภาคซึ่งประกอบไปด้วยธาตุอะลูมิเนียม (Al), ซิลิคอน (Si), และโพแทสเซียม (K) ที่เป็นองค์ประกอบสำคัญของอนุภาคเขม่าป่นชนิดปราศจากตะกั่ว จากการศึกษพบว่าได้มาจากการติดตั้งและซ่อมกระจกรถยนต์ งานผลิตภาชนะเซรามิค งานตีเส้นจราจร และงานสีรถยนต์ (ตารางที่ 24) และเมื่อวิเคราะห์โครงสร้างในแต่ละอนุภาคแล้วพบว่ามีเพียงบางอนุภาคที่มีธาตุอื่นเป็นองค์ประกอบเหมือนอนุภาคเขม่าป่นชนิดปราศจากตะกั่ว กล่าวคือ อนุภาคที่ได้จากการติดตั้งและซ่อมกระจกรถยนต์-6 มีธาตุองค์ประกอบเหมือนกับอนุภาคเขม่าป่น Winchester WinClean™ และงานสีรถยนต์ - 4 มีธาตุองค์ประกอบเหมือนกับอนุภาคเขม่าป่น Remington/UMC LeadLess™ โดยไม่พบว่ามีอนุภาคจากแหล่งอื่นใดเลยที่มีธาตุองค์ประกอบเหมือนกันกับอนุภาคเขม่าป่น Federal BallisticClean™, Speer Lawman CleanFire™ และ (CBC) CleanRang® (ตารางที่ 25)

ตารางที่ 24 ธาตุองค์ประกอบของตัวอย่างอนุภาคเขม่าที่ได้จากแหล่งอื่นซึ่งประกอบไปด้วยธาตุที่เป็นองค์ประกอบของอนุภาคเขม่าป่นชนิดปราศจากตะกั่ว (กลุ่มที่ 1)

sample - particle	composition
งานติดตั้งและซ่อมกระจกรถยนต์ - 2	Al, Si, K, Ca, Fe, (trace Na)
งานติดตั้งและซ่อมกระจกรถยนต์ - 3	Na, Al, Si, K, Ca, Fe, (trace Mg)
งานติดตั้งและซ่อมกระจกรถยนต์ - 4	Al, Si, K, Fe
งานติดตั้งและซ่อมกระจกรถยนต์ - 5	Mg, Al, Si, K, Fe
งานติดตั้งและซ่อมกระจกรถยนต์ - 6	Na, Al, Si, (trace K)
งานติดตั้งและซ่อมกระจกรถยนต์ - 7	Al, Si, K, Fe, (trace Na)
งานติดตั้งและซ่อมกระจกรถยนต์ - 8	Al, S, K, Ca, (trace Si)
งานผลิตภาชนะเซรามิค - 2	Al, Si, K
งานตีเส้นจราจร - 3	Na (trace), Al (minor), Si (major) , K, Ca, Fe
งานสีรถยนต์ - 4	Al, Si, (trace K, Na, Ca)

1.1.2 กลุ่มที่สอง เป็นกลุ่มอนุภาคที่มีธาตุประกอบธาตุใกล้เคียงกับธาตุที่เป็นองค์ประกอบของอนุภาคเขม่าป่นชนิดปราศจากตะกั่ว กล่าวคือ นอกจากที่ธาตุ อะลูมิเนียม (Al), ซิลิคอน (Si), โพแทสเซียม (K) หรือแบเรียม (Ba) และเหล็ก (Fe) รวมทั้งธาตุโซเดียม (Na), ซัลเฟอร์ (S) และแคลเซียม (Ca) เป็นธาตุองค์ประกอบ แต่มีธาตุอื่นๆ อย่างน้อยหนึ่งธาตุรวมอยู่ด้วยแต่ในปริมาณน้อยมากๆ ธาตุอื่นๆ เช่น ธาตุแมกนีเซียม (Mg), ฟอสฟอรัส (P), คลอรีน (Cl), ไททาเนียม (Ti) ผลการ

วิเคราะห์นี้ทำให้สามารถแยกแยะได้ว่าเขม่าที่ได้รับนั้นมาจากแหล่งอื่นหรือการยิงปืน กล่าวคือ หากอนุภาคตัวอย่างมีธาตุอื่นรวมอยู่ด้วยในปริมาณน้อยมากๆ เขม่าที่ได้รับย่อมมาจากแหล่งอื่น ไม่ใช่จากการยิงปืน จากการศึกษาพบว่าได้มาจากการงานตัดกระจก มุ่งลวดและอะลูมิเนียม งานสีรถยนต์ งานตีเส้นจราจร และงานรับซื้อของเก่า (ตารางที่ 26)

ตารางที่ 25 ธาตุองค์ประกอบของตัวอย่างอนุภาคเขม่าที่ได้จากแหล่งอื่นซึ่งมีธาตุอันเป็นองค์ประกอบเหมือนอนุภาคเขม่าปืนชนิดปราศจากตะกั่ว

sample - particle; composition	ammunition; composition
งานติดตั้งและซ่อมกระจกรถยนต์ - 6; Na, Al, Si, (trace K)	Winchester WinClean™; K + Al + Si + Na,
งานสีรถยนต์ - 4; Al, Si, (trace K, Na, Ca)	Remington/UMC LeadLess™; Al, Si, K, (trace Na or Ca)

ตารางที่ 26 ธาตุองค์ประกอบของตัวอย่างอนุภาคเขม่าที่ได้จากแหล่งอื่นที่มีธาตุประกอบธาตุใกล้เคียงกับธาตุที่เป็นองค์ประกอบของอนุภาคเขม่าปืนชนิดปราศจากตะกั่ว (กลุ่มที่ 2)

sample - particle	composition
งานตัดกระจก มุ่งลวดและอะลูมิเนียม - 1	Na, Al, Si, (trace P, Cl, K)
งานตัดกระจก มุ่งลวดและอะลูมิเนียม - 2	Na, Al, Si, K, Ca, Fe, (trace Ti, Mg)
งานสีรถยนต์ - 1	Al, Si, K, Ca, Fe, (trace Na, Mg)
งานตีเส้นจราจร - 2	Na, Al, Si, Cl, K, (trace P, S, Ca)
งานตีเส้นจราจร - 4	Na, Al, Si, K, Ca, Fe, (trace Mg)
งานรับซื้อของเก่า - 1	Mg, Al, Si, Ca, Fe, (trace Na, Cl)

1.1.3 กลุ่มที่สาม เป็นกลุ่มอนุภาคที่พบว่ามีธาตุที่เป็นองค์ประกอบหลักของอนุภาคเขม่าปืนชนิดปราศจากตะกั่ว ไม่ครบทุกธาตุ กล่าวคือ เป็นอนุภาคที่ขาดธาตุโพแทสเซียม (K) หรือแคลเซียม (Ca) อย่างน้อยธาตุใดธาตุหนึ่ง ทำให้ทราบว่าเขม่าที่ได้รับมานั้นไม่ใช่ได้มาจากการยิงปืน (ตารางที่ 27)

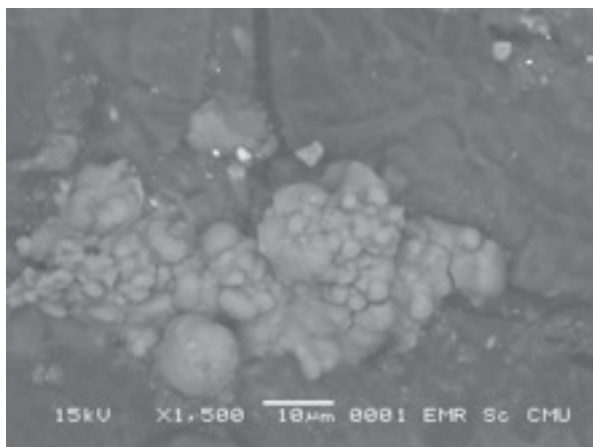
1.1.4 กลุ่มที่สี่ เป็นกลุ่มซึ่งนอกจากมีธาตุที่เป็นองค์ประกอบของอนุภาคเขม่าปืนชนิดปราศจากตะกั่ว แล้ว ยังมีธาตุอื่นๆ ซึ่งไม่พบว่าเป็นธาตุองค์ประกอบของอนุภาคเขม่าปืนชนิดปราศจากตะกั่ว ประกอบอยู่ด้วย เช่น แมงกานีส (Mn), ไททาเนียม (Ti), โครเมียม (Cr), โคบอลต์ (Co), นิกเกิล (Ni), ซีลีเนียม (Se), ซีโคเนียม (Zr), โมลิบดีนัม (Mo), แคดเมียม (Cd) โดยธาตุอื่นๆ ที่พบนี้พบได้ในทุกกลุ่ม

อาซีฟ และพบได้อีกว่าธาตุองค์ประกอบซึ่งพบได้ในปริมาณมาก (major) คือ ธาตุไททาเนียม (Ti) อย่างไรก็ตาม กลุ่มที่สี่นี้เป็นกลุ่มที่อยู่นอกเหนือขอบข่ายของการศึกษาวิจัย

ตารางที่ 27 ธาตุองค์ประกอบของตัวอย่างอนุภาคเขม่าที่ได้จากแหล่งอื่นที่มีธาตุที่เป็นองค์ประกอบหลักของอนุภาคเขม่าป็นชนิดปราศจากตะกั่ว ไม่ครบทุกธาตุ (กลุ่มที่ 3)

sample - particle	composition
งานติดตั้งและซ่อมกระจกรถยนต์ - 1	Al, Si, Fe (trace Ca)
งานติดตั้งและซ่อมกระจกรถยนต์ - 9	Na, Al, Si, Cl, Ca, Fe
งานผลิตภาชนะเซรามิก - 1	Na, Al, Si
งานผลิตภาชนะเซรามิก - 3	Al, Si, Fe (trace Ca)
งานเชื่อมโลหะและเหล็กตัด - 1	Fe, Ca (trace Al, Si)
งานรับซื้อของเก่า - 2	Al, Si, Fe (trace Zn)
งานรับซื้อของเก่า - 3	Al, Si, Fe (trace Ca)
งานรับซื้อของเก่า - 4	Mg, Al, Si, Ca, Fe
งานตีเส้นจราจร - 1	Na, Al, Si, (trace K, Mg)

ทั้งนี้ conductive double-sided adhesive carbon discs ถูกนำมาวิเคราะห์เพื่อเป็นตัวควบคุม (negative controls sample) พบว่ามีธาตุคาร์บอน (C) และมีจำนวนเล็กน้อยของธาตุออกซิเจน (O) ซึ่งทำให้พบว่ามีธาตุทั้งสองชนิดใน EDX spectra ของทุกตัวอย่าง อีกทั้งยังเป็นธาตุที่สามารถพบได้อื่นอยู่แล้วด้วย รวมทั้งอาจพบว่ามีทอง (Au) ปรากฏอยู่ด้วยเนื่องจากถูกนำมาใช้เพื่อเคลือบลงบนตัวอย่าง สำหรับตัวอย่างที่เก็บจากมือเปล่าเพื่อเป็นตัวอย่างเปล่าเปรียบเทียบกับ (handblank sample) คราบที่ได้มาจากคราบเหงื่อ (chloride salt) พบว่ามี แคลเซียม (Ca), โพแทสเซียม (K) และ โซเดียม (Na) เป็นองค์ประกอบ แต่ไม่มีสัญญาณกลมนน กล่าวคือ โซเดียม (Na) มีลักษณะเป็นเกิดผลึกแบบคิวบิก ส่วนโพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl) มีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า ซึ่งเป็นลักษณะสัญญาณทั่วไปของอนุภาคอยู่แล้ว หากอนุภาคนั้นประกอบด้วยแคลเซียม (Ca) และโพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl) อนุภาคมีลักษณะเป็นกลุ่มหรือเป็นกอง (piles) (ภาพที่ 98) โดยพบอนุภาคทั้งหมดเหล่านี้ที่ขนาด 5 -25 μm และไม่พบว่ามีอะลูมิเนียม (Al) และซิลิคอน (Si) ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Oommen และ Pierce ซึ่งแสดงให้เห็นว่าธาตุและอนุภาคที่ได้จาก negative control และ handblank sample ไม่ทำให้เกิดผลเบี่ยงเบนในการศึกษาวิจัยนี้



ภาพที่ 98 BSE image ตัวอย่างที่เก็บจากมือเปล่าเพื่อเป็นตัวอย่างเปรียบเทียบ (handblank sample) โดยคราบที่ได้มาจากคราบเหงื่อ

1.2 ลักษณะของอนุภาค จากผลการวิจัยโดยเน้นศึกษาเฉพาะอนุภาคที่มีขนาด 1-15 μm ที่มีรูปร่างทรงกลม (sphere shape) แม้ว่าธาตุอันเป็นองค์ประกอบจะเป็นคนละชนิดแตกต่างกันไปก็ตาม พบว่าส่วนใหญ่อนุภาคที่มีรูปร่างกลมมน (regular spherical) จะมีผิวเรียบ (smooth) บางอนุภาคอาจมีปุ่มเล็กๆ ยื่นออกมา (knobby) บางอนุภาคนอกจากผิวเรียบแล้วยังมีรูเล็กๆ (pocked) บนพื้นอนุภาคด้วย อย่างไรก็ตามหากอนุภาคนั้นมีธาตุเหล็ก (Fe) เป็นธาตุประกอบหลัก ผิวของอนุภาคไม่เรียบโดยพบว่ามีรอยหยักหรือร่องรอยทั่วบริเวณผิวอนุภาค ส่วนอนุภาคที่มีรูปร่างค่อนข้างกลม (spheroid/globular) หรือมีทรงกลมแบบไม่สมมาตร (irregular spherical) จะมีผิวที่ไม่เรียบ ซึ่งมีลักษณะสัญญาณโดยทั่วไปเช่นเดียวกันกับอนุภาคที่ได้รับจากการยิงปืน

ในการตอบปัญหาวิจัยประการที่สองที่ว่าหากอนุภาคที่พบอื่นมีธาตุอันเป็นองค์ประกอบเช่นเดียวกับอนุภาคของเขม่าปืน อนุภาคนั้นจะมีลักษณะสัญญาณ แตกต่างไปจากอนุภาคเขม่าปืนของกระสุนปืนชนิดปราศจากตะกั่วหรือไม่นั้น เนื่องจากการกลไกการกำเนิดของอนุภาคเขม่าปืน (formation of GSR) ซึ่งมีรายงานจำนวนมากกล่าวไว้ว่าอนุภาคเขม่าปืนเกิดขึ้นจากการระเบิดและเผาไหม้ขึ้นอย่างรวดเร็ว ภายในระยะเวลา 1 millisecond (ms) ภายใต้อุณหภูมิและความดันที่เปลี่ยนแปลงในระดับที่สูงขึ้นมากและลดต่ำลงอย่างรวดเร็ว เป็นเหตุให้อิทธิพลของธาตุเกิดการควบแน่น (condense) กลายเป็นอนุภาค (Wolten and Nesbitt 1980; Basu 1982 : 88-89; Mang and Caddy 1997; Flynn et al. 1998 : 22; Thornton 1994, cited by Romolo and Margot 2001 : 206; Romolo and Margot 2001 : 201-202; Fojtasek et al. 2003; Fojtasek and Kmjec 2005) ส่วนอนุภาคที่เกิดจากแหล่งอื่นอาจเกิดขึ้นด้วยความร้อนในหลายลักษณะไม่ว่าจะเป็นจากการกระแทก การตอก การเสียดสี การขีด การตัด การเชื่อม การเผา เช่นนี้จึงใช้สมมติฐานที่ว่าหากอนุภาคที่ได้มาจากแหล่งกำเนิดอื่นมีธาตุอันเป็นองค์ประกอบเช่นเดียวกับอนุภาคของเขม่าปืนชนิดปราศจากตะกั่ว อนุภาคนั้นย่อมมีลักษณะสัญญาณต่างจากอนุภาคเขม่าปืนของกระสุนปืนชนิดปราศจากตะกั่ว

ตามที่ Oommen และ Pierce (2006) ได้ศึกษาไว้ (ตารางที่ 28) พบว่าอนุภาคเข้ามาเป็นชนิดปราศจากตะกั่ว ที่อนุภาคขนาด 1-6 μm ซึ่งมีรูปร่างพื้นฐานทรงกลม (spherical particle) และแม้ว่าจะมีส่วนผสมที่แตกต่างกันแต่พบได้ว่าอนุภาคขนาด 6-10 μm มีรูปร่างกลมเหมือนกัน โดยที่ Winchester WinClean™ และ Remington/UMC LeadLess™ พบว่ามีธาตุโพแทสเซียม (K) เป็นองค์ประกอบเพิ่มเติม ซึ่งต่างจาก Federal BallisticClean™ (ภาพที่ 53) ที่มีธาตุแบเรียม (Ba) เป็นองค์ประกอบเพิ่มเติม โดยที่ผิวของอนุภาคมีลักษณะเป็นหลุมลึก (heavily pocked) อยู่จำนวนมาก และยังพบว่ามีรูปร่างและผิวลักษณะคล้ายก้อนหิน (rockpile) เมื่ออนุภาคมีขนาดมากกว่า 10 μm ซึ่งทำให้สามารถแยกแยะความแตกต่างจากอนุภาคเข้ามาที่ได้มาจากกระสุนปืน Winchester WinClean™ (ภาพที่ 51) ที่อนุภาคมีผิวคล้ายผิวเปลือกส้ม โดยพบว่ามีรูปร่างพื้นฐานเป็นแผ่น (sheet) เมื่อมีขนาด 30-100 μm และ Remington/UMC LeadLess™ (ภาพที่ 52) ซึ่งปกติมีผิวลักษณะเรียบ โดยพบว่ามีหลุมเมื่ออนุภาคมีขนาดใหญ่ขึ้น ทั้งนี้ พบว่าอนุภาคที่ได้จาก Speer Lawman CleanFire™ มี strontium (Sr) เป็นธาตุหลัก และมีรูปร่างพื้นฐานที่จำเพาะต่อการวิเคราะห์ เนื่องจากผิวอนุภาคมีรอยแตกร้าว (crackled) และมีรอยแยกขนาดใหญ่ (fissured) เมื่อขนาดอนุภาคมีขนาดมากกว่า 20 μm (ภาพที่ 54)

ตารางที่ 28 สัณฐานและธาตุอันเป็นองค์ประกอบหลักของอนุภาคที่ได้มาจากกระสุนปืนชนิดปราศจากตะกั่วตามรายงานการวิจัยที่ศึกษาไว้โดย Oommen และ Pierce (2006)

	particle Elements	shape	morphology	
			size (μm)	texture
Winchester	Cu + Zn	Spherical	0.5-6	Smooth
WinClean™	K + Al + Si + Na	Spherical/ “teardrop”	6-10	Orange peel
	Al + Na, Ca, or Mg	Spherical	6-10	Smooth
Remington/UMC LeadLess™	Cu + Zn	Spherical	1-6	Smooth
	Al, Si, K (trace Na)	Spherical	5-15	Smooth/pocked
	Al, Si, K (Na or Ca)	Varied	20+	Smooth to angular
Federal BallisticClean™	Cu + Sn	Spherical	1-6	Smooth
	Al, Si, Ba, K (Na)	Spherical	4-10	Heavily pocked
	Al, Si, Ba, K (Na)	Irregular (globular)	10-35	“Rockpile”
Speer Lawman CleanFire™	Cu or Cu + Zn	Spherical	2-5	Spherical
	Sr, Al/Si, or Cl	Spherical	3-20	Crackled
	Sr, Al/Si, or Cl	Spherical	20+	Heavily fissured

ที่มา : Z. Oommen and S.M. Pierce, “Lead-free Primer Residues : a Qualitative Characterization of Winchester WinClean™, Remington/UMC LeadLess™, Federal BallisticClean™, and Speer Lawman CleanFire™ Handgun Ammunition,” *Journal of Forensic Science* 51, 3 (May 2006) : 518.

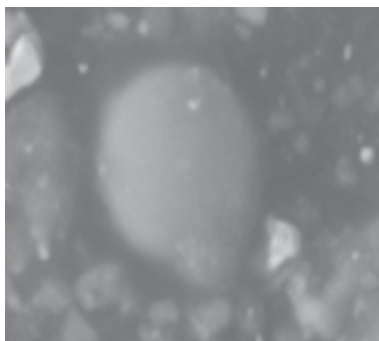
Martiny และคณะ (2008) ได้ศึกษาอนุภาคเขม่าปืนจากกระสุนปืน (CBC) CleanRang® ที่ผลิตขึ้นในประเทศ Brazil พบว่า CleanRang® รุ่นการผลิตแรกมีลักษณะอนุภาคแตกต่างจากรุ่นที่สอง คือ อนุภาคของ CleanRang® รุ่นการผลิตแรก (ภาพที่ 55) มีรูปร่างค่อนข้างกลม (globular morphology) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5-10 μm ผิวของอนุภาคมีลักษณะเรียบและคล้ายผิวเปลือกส้ม ส่วนอนุภาคจากกระสุนปืนรุ่นที่สอง (ภาพที่ 56) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1-25 μm โดยพบจำนวนมากที่สุดในขนาด 10 μm และพบขนาดใหญ่มากถึง 50 μm อนุภาคซึ่งมีลักษณะรูปร่างกลมมีจำนวนเพียงเล็กน้อยที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 μm โดยไม่พบว่ามีซิลิคอน (Si) โพแทสเซียม (K) และโซเดียม (Na) บนอนุภาค (ภาพที่ 56 c) อนุภาคที่พบโดยส่วนใหญ่ไม่ได้ปรากฏในรูปสัณฐานกลม รวมทั้งยังมีรูปร่างที่มีมุมแหลม ธาตุที่พบเป็นส่วนมาก คือ อะลูมิเนียม (Al), ซิลิคอน (Si) และ โพแทสเซียม (K) โดยพบว่า โซเดียม (Na), คลอรีน (Cl) และแมกนีเซียม (Mg) ในบางอนุภาค นอกจากนี้ยังพบว่ามีแคลเซียม (Ca) และซัลเฟอร์หรือกำมะถัน (S) ซึ่งล้วนแต่เป็นธาตุที่ได้มาจากสิ่งแวดล้อมและแหล่งอื่น (Martiny et al. 2008 : e15-e16)

จากผลการศึกษาพบว่า อนุภาคที่ได้จากงานติดตั้งและซ่อมกระจกรถยนต์-6 มีธาตุองค์ประกอบเหมือนกับอนุภาคเขม่าปืน Winchester WinClean™ และงานสีรถยนต์-4 มีธาตุองค์ประกอบเหมือนกับอนุภาคเขม่าปืน Remington/UMC LeadLess™ โดยไม่พบว่ามีอนุภาคจากแหล่งอื่นใดเลยที่มีธาตุองค์ประกอบเหมือนกันกับอนุภาคเขม่าปืน Federal BallisticClean™, Speer Lawman CleanFire™ และ (CBC) CleanRang® (ตารางที่ 29) แต่เมื่อวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคด้วย SEM/EDX โดยเน้นศึกษาเฉพาะอนุภาคที่มีขนาด 1-15 μm ที่มีรูปร่างทรงกลม (sphere shape) พบว่ารูปสัณฐานของอนุภาคที่ได้จากงานติดตั้งและซ่อมกระจกรถยนต์-6 มีสัณฐานซึ่งแตกต่างกับอนุภาคเขม่าปืน Winchester WinClean™ กล่าวคือ อนุภาคที่ได้จากงานติดตั้งและซ่อมกระจกรถยนต์ มีขนาด 5 μm ที่ประกอบด้วยธาตุ Na, Al (minor), Si (major), K (trace) ซึ่งมีรูปร่างค่อนข้างกลม (spheroid) และผิวอนุภาคมีลักษณะที่ไม่เรียบ ส่วนอนุภาคเขม่าที่ได้มาจากกระสุนปืน Winchester WinClean™ ที่ขนาด 5-15 μm มีรูปร่างกลมมน (regular spherical) สัณฐานของอนุภาคมีผิวคล้ายผิวเปลือกส้ม (orange peel) (ภาพที่ 99)

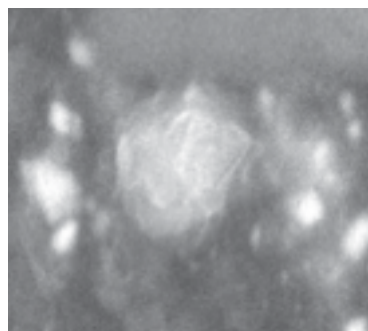
ตารางที่ 29 เปรียบเทียบรูปสัณฐานของตัวอย่างอนุภาคเขม่าที่ได้จากการประกอบอาชีพซึ่งมีธาตุอันเป็น องค์ประกอบเหมือนอนุภาคเขม่าปืนชนิดปราศจากตะกั่ว

Particle	Shape	Morphology	
		Size (μm)	Texture
งานติดตั้งและซ่อมกระจกรถยนต์ - 6	Spheroid	5	Not smooth
Winchester WinClean™	Spherical	5-15	Orange peel
งานสีรถยนต์ - 4	Globular	10	Not smooth
Remington/UMC LeadLess™	Spherical	5-15	Smooth / Pocked

ในทำนองเดียวกันรูปสัณฐานของอนุภาคที่ได้มาจากการสัรยนต์-4 มีขนาด 10 μm ที่ประกอบด้วยธาตุ Na (trace), Al (minor), Si (major), K (trace), Ca (trace) ซึ่งมีรูปร่างค่อนข้างกลม (irregular spherical/globular) และผิวอนุภาคมีลักษณะไม่เรียบ ซึ่งแตกต่างกับอนุภาคเขม่าปืน Remington/UMC LeadLess™ ที่ขนาด 5-15 μm ซึ่งปกติมีผิวลักษณะเรียบ โดยพบว่ามีหลุมเล็กๆ (pocked) บนผิวอนุภาค ทั้งนี้ ตามที่ Martiny และคณะ (2008) ได้ศึกษา (ภาพที่ 100)



ซ้าย

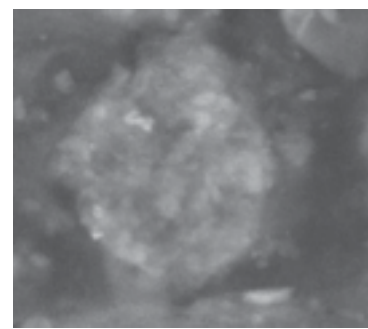


ขวา

ภาพที่ 99 BSE image อนุภาคเขม่าที่ได้มาจากการสัรยนต์ Winchester WinClean™ รูปร่างกลมมน (regular spherical) สัณฐานของอนุภาคมีผิวเรียบ (smoot peel) (รูปซ้าย) และอนุภาคที่ได้จากการติดตั้งและซ่อมกระจกรยนต์ - 6 ซึ่งมีรูปร่างค่อนข้างกลม (spheroid) และผิวอนุภาคมีลักษณะที่ไม่เรียบ คล้ายมีรอยแตกหรือรอยร้าว (รูปขวา)



ซ้าย



ขวา

ภาพที่ 100 BSE image อนุภาคเขม่าที่ได้มาจากการสัรยนต์ Remington/UMC LeadLess™ ซึ่งปกติมีผิวลักษณะเรียบ โดยพบว่ามีหลุมเมื่ออนุภาคมีขนาด 5-15 μm ทั้งนี้ ตามที่ Martiny และคณะ (2008) ได้ศึกษาไว้ (รูปซ้าย) และอนุภาคที่ได้จากการสัรยนต์ - 4 มีขนาด 10 μm ที่ประกอบด้วยธาตุ Na (trace), Al (minor), Si (major), K (trace), Ca (trace) ซึ่งมีรูปร่างค่อนข้างกลม (irregular spherical/globular) และผิวอนุภาคมีลักษณะไม่เรียบ (รูปขวา)

2. สรุปผลการศึกษา

แม้ว่าธาตุซึ่งเป็นส่วนประกอบของอนุภาคเขม่าป็นที่ได้จากกระสุนปืนชนิดปราศจากตะกั่วบางชนิดอาจได้รับมาจากแหล่งอื่น เช่น พบอนุภาคชนิด irregular particles ของธาตุ Al, Si, Mg, K, S, Fe, Cu และ Zn ในงานไฟฟ้ารถยนต์ ยังพบอนุภาคของธาตุ Al, Si, S, Fe, Cu และ Zn ในอาชีพนักงานเติมน้ำมันเชื้อเพลิงพบอนุภาคของธาตุ Mg, Al, Si, S, Fe และ Cu (Garofano et al. 1999 : 7) สำหรับงานซ่อมห้ามล้อรถยนต์พบว่ามีอนุภาคของธาตุ Mg, Al, Si, S, Fe, Cu และ Zn (Martiny et al. 2008 : e9) การวิจัยนี้ไม่ได้ศึกษากลุ่มตัวอย่างที่กล่าวมาข้างต้นเพราะเห็นว่ามียางงานไว้แล้ว และเมื่อวิเคราะห์ธาตุด้วย SEM/EDX พบว่าในการตรวจธาตุองค์ประกอบของเขม่าที่ได้รับจากแหล่งอื่นจากกลุ่มตัวอย่างให้ผลการศึกษาวิจัยที่ได้สอดคล้องกับรายงานการวิจัยดังกล่าวข้างต้น

แต่เมื่อทำการศึกษาและวิเคราะห์เปรียบเทียบในระดับโครงสร้างจุลภาคของอนุภาคทรงกลมที่มีขนาด 1-15 μm กับอนุภาคเขม่าป็นชนิดปราศจากตะกั่ว พบว่า อนุภาคส่วนใหญ่มีธาตุซิลิคอน (Si) เป็นองค์ประกอบหลัก (major) และมีอะลูมิเนียม (Al) เป็นธาตุองค์ประกอบรอง (minor) และเมื่อทำการศึกษาวិเคราะห์ธาตุองค์ประกอบอื่นๆ สามารถแยกกลุ่มอนุภาคที่ได้จากแหล่งอื่นออกเป็น 4 กลุ่ม กลุ่มที่หนึ่งเป็นกลุ่มที่มีอนุภาคซึ่งประกอบไปด้วยธาตุอะลูมิเนียม (Al), ซิลิคอน (Si), และโพแทสเซียม (K) ที่เป็นองค์ประกอบสำคัญของอนุภาคเขม่าป็นชนิดปราศจากตะกั่ว กลุ่มที่สองมีธาตุประกอบธาตุใกล้เคียงกับธาตุที่เป็นองค์ประกอบของอนุภาคเขม่าป็นชนิดปราศจากตะกั่ว กล่าวคือ นอกจากที่ธาตุอะลูมิเนียม (Al), ซิลิคอน (Si), โพแทสเซียม (K) หรือแบเรียม (Ba) และเหล็ก (Fe) รวมทั้งธาตุโซเดียม (Na), ซัลเฟอร์ (S) และแคลเซียม (Ca) เป็นธาตุองค์ประกอบ แต่มีธาตุอื่นๆ เช่น ธาตุแมกนีเซียม (Mg), ฟอสฟอรัส (P), คลอรีน (Cl), ไททาเนียม (Ti) อย่างน้อยหนึ่งธาตุรวมอยู่ด้วยแต่ในปริมาณน้อยมากๆ และกลุ่มที่สามพบว่ามีธาตุที่เป็นองค์ประกอบหลักของอนุภาคเขม่าป็นชนิดปราศจากตะกั่ว ไม่ครบทุกธาตุ กล่าวคือ เป็นอนุภาคที่ขาดธาตุโพแทสเซียม (K) หรือแคลเซียม (Ca) อย่างน้อยธาตุใดธาตุหนึ่ง จากผลการวิเคราะห์ทำให้สามารถแยกแยะได้ว่าเขม่าที่ได้รับในกลุ่มที่สองและที่สามเป็นเขม่าที่ได้รับจากแหล่งอื่น และสุดท้ายเป็นกลุ่มที่อยู่นอกเหนือขอบข่ายของการศึกษาวิจัย เพราะนอกจากมีธาตุที่เป็นองค์ประกอบของอนุภาคเขม่าป็นชนิดปราศจากตะกั่ว แล้ว ยังมีธาตุอื่นๆ ซึ่งไม่พบว่าเป็นธาตุองค์ประกอบของอนุภาคเขม่าป็นรวมอยู่ด้วย

อนุภาคที่พบอื่นมีธาตุอันเป็นองค์ประกอบเช่นเดียวกับอนุภาคของเขม่าป็นตามผลการศึกษาที่ได้ (กลุ่มที่หนึ่ง) พบว่าได้มาจากการติดตั้งและซ่อมกระจกรถยนต์ งานผลิตภาชนะเซรามิก และงานสีรถยนต์ซึ่งให้ผลทำนองเดียวกับรายงานการศึกษาของ Martiny และคณะ (2008 : e9) และเมื่อวิเคราะห์โครงสร้างในแต่ละอนุภาคแล้วพบว่ามีเพียงบางอนุภาคที่มีธาตุอันเป็นองค์ประกอบเหมือนอนุภาคเขม่าป็นชนิดปราศจากตะกั่ว กล่าวคือ อนุภาคที่ได้จากงานติดตั้งและซ่อมกระจกรถยนต์-6 มีธาตุองค์ประกอบเหมือนกับอนุภาคเขม่าป็น Winchester WinClean™ และงานสีรถยนต์-4 มีธาตุองค์ประกอบเหมือนกับอนุภาคเขม่าป็น Remington/UMC LeadLess™ โดยไม่พบว่ามีอนุภาคจากแหล่งอื่นใดเลยที่มีธาตุองค์ประกอบเหมือนกันกับอนุภาคเขม่าป็น Federal BallisticClean™, Speer Lawman CleanFire™ และ (CBC) CleanRang® เมื่อทำการศึกษาและวิเคราะห์ลักษณะสัณฐาน พบ

ว่าอนุภาคที่ได้รับจากแหล่งกำเนิดอื่นมีพื้นฐานที่แตกต่างไปจากอนุภาคเขม่าป็นของกระสุนปืนชนิดปราศจากตะกั่ว

เช่นนี้ การศึกษาวิจัยได้ผลการศึกษาเป็นไปตามสมมติฐานที่ว่า หากอนุภาคที่ได้มาจากแหล่งกำเนิดอื่นมีธาตุอันเป็นองค์ประกอบเช่นเดียวกับอนุภาคของเขม่าป็นชนิดปราศจากตะกั่ว อนุภาคนั้นย่อมมีลักษณะพื้นฐานแตกต่างไปจากอนุภาคเขม่าป็นของกระสุนปืนชนิดปราศจากตะกั่ว

3. ข้อเสนอแนะ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาธาตุอันเป็นองค์ประกอบสำคัญของอนุภาคที่ได้มาจากแหล่งกำเนิดอื่น เพื่อเปรียบเทียบและวิเคราะห์ถึงความแตกต่างของธาตุอันเป็นองค์ประกอบสำคัญและลักษณะพื้นฐานของอนุภาคที่ได้มาจากแหล่งกำเนิดอื่นและอนุภาคเขม่าป็นที่ได้จากกระสุนปืนชนิดปราศจากตะกั่ว ซึ่งเป็นกระสุนชนิดใหม่ โดยเน้นศึกษาเฉพาะอนุภาคทรงกลม ที่มีขนาด 1-15 μm เท่านั้น อย่างไรก็ตามยังมีอนุภาคที่ไม่มีลักษณะทรงกลมที่ขนาด 1-15 μm ปรากฏอยู่เป็นจำนวนมาก ทั้งยังพบว่ามีอนุภาคทรงกลมขนาดใหญ่กว่า 15 μm ซึ่งยังไม่มีผลการศึกษาที่แสดงให้เห็นว่าพบธาตุอันเป็นองค์ประกอบเช่นเดียวกับเขม่าป็นชนิดปราศจากตะกั่ว

ในการศึกษาและค้นหาตัวอย่างทำโดยการค้นหาโครงสร้างจุลภาคของตัวอย่างที่เตรียมด้วยตา (manual search) โดยใช้สัญญาณในโหมดอิเล็กทรอนิกส์กำลังขยายต่ำ เมื่อพบว่ามีอนุภาคที่อยู่ในขอบเขตของการศึกษาวิจัย (อนุภาคทรงกลม ที่มีขนาด 1-15 μm) จากนั้นจึงได้ทำการวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบที่เกิดขึ้นด้วยเทคนิคการกระจายพลังงานของรังสีเอกซ์ (energy-dispersive x-ray microanalysis หรือ EDX) เมื่อได้ผลการศึกษาแล้วจะทำการถ่ายภาพ back scattered electron ในโหมดอิเล็กทรอนิกส์กำลังขยายสูง 1500-5500x เทคนิคนี้ทำให้การศึกษานี้ใช้เวลานาน ควรทำการเปรียบเทียบระหว่างการตรวจวิเคราะห์แบบ manual searching และ automatic searching เพื่อศึกษาหาวิธีตรวจวิเคราะห์ที่รวดเร็วยิ่งขึ้น

และจากผลการวิเคราะห์ทำให้ทราบว่าอนุภาคที่พบสามารถแบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม จึงควรศึกษาในระดับโครงสร้างจุลภาคถึงธาตุอันเป็นองค์ประกอบสำคัญและลักษณะพื้นฐานในกลุ่มตัวอย่างอื่นๆ ด้วย แม้ว่าจะมีรายงานไว้ก็ตาม โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาชีพงานไฟฟ้ารถยนต์ อาชีพช่างยนต์ อาชีพพนักงานเติมน้ำมันเชื้อเพลิง (Garofano et al. 1999 : 7) รวมทั้งงานซ่อมห้ามล้อรถยนต์ (Martiny et al. 2008 : e9) เนื่องจากมีรายงานพบว่ามีธาตุองค์ประกอบเช่นเดียวกับเขม่าป็นชนิดปราศจากตะกั่วอันเป็นเพียงรายงานธาตุองค์ประกอบโดยรวม ไม่ได้วิเคราะห์โครงสร้างทางจุลภาค

บรรณานุกรม

ภาษาไทย

หนังสือ

- ไทพีศรีนิวัติ ภักดีกุล. หลักการสืบสวนสอบสวนและการพิสูจน์หลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์. เชียงใหม่ : คณะสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2545.
- พงศกรณ์ ชูเวช. การตรวจพิสูจน์อาวุธปืน เครื่องกระสุน ในการพิสูจน์หลักฐาน. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์นิติบรรณาการ, 2531.
- แม่น อมรสิทธิ์ และ อมร เพชรสม. Principles and Techniques of Instrumental Analysis กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์ชวนพิมพ์, 2535.
- อัมพร จารุจินดา, พลตำรวจตรี. การตรวจพิสูจน์อาวุธปืนและเครื่องกระสุนปืน. กองพิสูจน์หลักฐาน สำนักงานวิทยาการตำรวจ, 2542. 1-38.

บทความในวารสาร

- ประเทือง สุขสัมพันธ์, สุนทร คำชนนัท และ วีระวรรณ เรืองยุทธการณ. “การตกค้างของเขม่าปืน หลังยิง 6 ชั่วโมง เมื่อทดสอบด้วยวิธี Rhodizonate Test.” วารสารนิติวิทยาศาสตร์ 25, 1 (2539) : 31-40.
- วีระวรรณ เรืองยุทธการณ และ ศิริพร พันธศรี. “รายงานผลการตรวจเขม่าปืนจากภาควิชานิติเวชศาสตร์ คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ปี 2535.” วารสารนิติวิทยาศาสตร์ 22, 1 (2536) : 25-34.
- สุนทร คำชนนัท, ศิริพร พันธศรี และ สิริพันธ์ ฦกรชัย. “การตรวจเขม่าปืนที่มือ.” วารสารนิติวิทยาศาสตร์ 20 (2534) : 1-10.

เอกสารอื่น ๆ

- ชุมศักดิ์ พุกษาพงษ์, พลตำรวจตรี. “สุดยอดแห่งการใช้อาวุธปืน.” เดลินิวส์, 18 มีนาคม 2550.
- รัชนารถ กิตติสุขภู. “การตรวจหาคราบเขม่าปืนที่มีมือโดยวิธี SEM/EDX.” วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล, 2535.
- เลี้ยง หุยประเสริฐ, พลตำรวจตรี. บาดแผลกระสุนปืนและวัตถุระเบิด [ออนไลน์]. เข้าถึงเมื่อ 1 เมษายน 2552. เข้าถึงได้จาก http://www.ifm.go.th/articles/article006_007p1.php
- วิชาญ เกี่ยวการค้า และคณะ. “การวิเคราะห์หาตำแหน่งที่มีเขม่าดินปืนที่มากที่สุดหลังจากการยิงปืน ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนที่มี X-ray dispersive.” บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล รายงานสัมมนาปีการศึกษา 2529-2530, 2530.
- วิวัฒน์ ชินวร, ร้อยตำรวจเอก. “การวิเคราะห์เขม่าปืนด้วยเทคนิค SEM/EDX.” วิทยานิพนธ์ ปริญญา มหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมี บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2547.

วีระวรรณ เรืองยุทธิกการณ, ภัทรวดี พงษ์ระวีวงศ์ และ สุนทร คำชนนันท. “การตรวจเขม่าดินปืนโดยใช้เครื่องวิเคราะห์ธาตุ Zeeman Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrometer.” รายงานผลการวิจัยฉบับสมบูรณ์ กองทุนจุลวิจัยวิทยาศาสตร์การแพทย์ ศาสตราจารย์ ดร. นพ. ญัฐ ภูมิประวัติ, 2540.

วีระวรรณ เรืองยุทธิกการณ, สุนทร คำชนนันท และ ภัทรวดี พงษ์ระวีวงศ์. “ศึกษาการตกค้างของเขม่าดินปืนโดยใช้อะตอมมิคแอบซอร์ปชัน สเปกโตรมิเตอร์ แบบซีแมน กราไฟท์เฟอเนส.” รายงานผลการวิจัยฉบับสมบูรณ์ กองทุนพัฒนาคณะแพทยศาสตร์ ส่วนส่งเสริมการวิจัย, 2543.

อัษฎายุทธ ผลภาค. “ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับกฎหมายทั่วไป.” เอกสารประกอบวิชา 176101 คณะนิติศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2548. (อัดสำเนา)

สำนักงานตำรวจแห่งชาติ. สถิติคดีอาญา [Online]. Accessed 15 February 2008. Available from http://statistic.ftp.police.go.th/dn_main.htm

“กฎกระทรวง (ฉบับที่ 3) พ.ศ. 2491.” ราชกิจจานุเบกษา เล่มที่ 47, ตอนที่ 65 (17 สิงหาคม 2491) : 472-474.

“พระราชบัญญัติอาวุธปืน เครื่องกระสุนปืน วัตถุระเบิด ดอกไม้เพลิง และสิ่งเทียมอาวุธปืน (ฉบับที่ 3) พ.ศ. 2501.” ราชกิจจานุเบกษา เล่มที่ 75, ตอนที่ 72 (16 กันยายน 2501) : 449-457.

ภาษาต่างประเทศ

หนังสือ

Caddy, Brian, ed. Forensic Examination of Glass and Paint : Analysis and Interpretation. London : Taylor & Francis, 2001: chap. 11.

Drury, A. G. The Chemistry of Primers. In Cartridge of the World. 7th ed. 1999 : 408-410.

Fetterolf, D.D. “Detection and Identification of Explosives by Mass Spectrometry.” In Forensic Applications of Mass Spectrometry. Edited by Yinon, J. London : CRC Press, 1994 : 215-257.

Schwoeble, A.J., and David L. Exline. Current Methods in Forensic Gunshot Residue Analysis. Florida : CRC Press LLC, 2000.

Supica, Jim. Guns Introduction. 2nd ed. Surrey : TAJ Books, 2006 : 6-30.

Warlow, Tom. Firearms, The Law, and Forensic Ballistics : International Forensic Science and Investigation Series. 2nd ed. Florida : CRC Press LLC, 2005.

บทความในวารสาร

- Aaron, R. W. "Gunshot Primer Residue : The Invisible Clue." FBI Law Enforcement Bulletin 60, 6 (June 1991) : 19-22.
- Albu-Yaron, A., and S. Amiel. "Instrumental Neutron Activation Analysis of Gunpowder Residues." Journal of Radioanalytical Chemistry 11 (1972) : 123-132.
- Andrasko, J., and A.C. Maehly. "Detection of GSR on Hands by Scanning Electron Microscopy." Journal of Forensic Science 22, 2 (April 1977) : 279-287.
- Basu, S. "Formation of Gunshot Residues." Journal of Forensic Science 27, 1 (January 1982) : 72-91.
- Berk, E.R. et al. "Gunshot Residues in Chicago Police Vehicles and Facilities: An Empirical Study." Journal of Forensic Science 52, 4 (October 2007) : 838-841.
- Bohannan, E.W., and D.A. Van Galen. "A Sensitive Eletrochemical Method for the Analysis of Nitrite ion and Metals in Gunshot Residue." Journal of Forensic Science 36, 3 (May 1991) : 886-893.
- Brandone, A., F. De Ferrari, and P. Pelizza. "Appicazione di Diverse Metodiche nella Determinazione della Distanze di Sparo per Armi da Fuoco." Archivio di Medicina Legale e delle Assicurazioni 10 (1988) : 390-402.
- Brandone, A. et al. "La Determinazione della distanze di Sparo per Armi da Guerra : Analisi per Attivazione Neutronica e Autoradiografia." Archivio di Medicina Legale e delle Assicurazioni 11 (1989) : 313-333.
- Bratin, K. et al. "Determination of Nitro Aromatic, Nitramine and Nitrate Ester Explosive Compounds in Explosive Mixtures and Gunshot Residue by Liquid Chromatography and Reductive Electrochemical Detection. Analytica Chimica Acta 130, 2 (October 1981) : 295-311.
- Brazeau, J., and R.K. Wong. "Analysis or Gunshot Residue on Human Tissue and Clothing by X-ray Microfluorescence." Journal of Forensic Science 42, 3 (May 1997) : 424-428.
- Brihay, C., R. Machiroux, and G. Gillain. "Gunpowder Residues Detection by Anodic Stripping Voltammetry." Forensic Science International 20, 3 (November – December 1982) : 269-276.
- Brozek-Mucha, Zuzanna, and Agnieszka Jankowicz. "Evaluation of the Possibility of Differentiation between Various Types of Ammunition by Means of GSR Examination with SEM-EDX Method." Forensic Science International 123, 1 (November 2001) : 39-47.

- Burnett, B. "The Form of Gunshot Residue is Modified by Target Impact." Journal of Forensic Sciences 34, 4 (July 1989) : 808-822.
- Capannesi, G., and A.F. Sedda. "Bullet Identification : A Case of Fatal Hunting Accident Resolved by Comparison of Lead Shot Using Instrumental Neutron Activation Analysis." Journal of Forensic Science 37, 2 (March 1992) : 657-662.
- Cardinetti, Bruno et al. "X-ray Mapping Technique : a Preliminary Study in Discriminating Gunshot Residue Particles from Aggregates of Environmental Occupational Origin," Forensic Science International 143 (April 2004) : 1-19.
- Cowan, M.E., and P.L. Purdon. "A Study of the Paraffin Test." Journal of Forensic Science 12 (1967) : 19-36.
- Cruces-Bianco, C., L. Gamiz-Gracia, and A.M. Garcia-Campana. "Applications of Capillary Electrophoresis in Forensic Analytical Chemistry." Trend in Analytical Chemistry 26, 3 (2007) : 215-226.
- Dahl, D.B., J.C. Cayton, and P.E. Lott. "GSR Analysis : an Applicability Study." Microchemical Journal 35, 3 (June 1987) : 360-364.
- De Gaetano, D., and J.A. Siegel. "Survey of Gunshot Residues Analysis in Forensic Science Laboratories." Journal of Forensic Science 35, 5 (September 1990) : 1087-1095.
- De Gaetano, D., J.A. Siegel, and K.L. Kiomparens. "A Comparison of Three Techniques Developed for Sampling and Analysis of Gunshot Residues by Scanning Electron Microscopy / Energy Dispersive X -ray Analysis (SEM/EDX)." Journal of Forensic Science 37, 5 (January 1992) : 281-300.
- Flajnik, C., and D. Shrader. "Determination of Lead in Blood by GFAAS-Deuterium and Zeeman background correction." Varian Optical spectroscopy Instruments (Wood Dale, IL 60191 USA, June, 1993)
- Flynn, Joanne et al. "Evaluation of X-ray Microfluorescence Spectrometry for the Elemental Analysis of Firearm Discharge Residues." Forensic Science International 97, 1 (October 1998) : 21-36.
- Fojtasek, L. et al. "Distribution of GSR Particles in the Surroundings of Shooting Pistol." Forensic Science International 132, 2 (March 2003) : 99-105.
- Fojtasek, L., and T. Kmjec. "Time Periods of GSR Particles Deposition after Discharge-Final Results ." Forensic Science International 135, 2-3 (October 2005) : 132-135.

- Frontela Carreras, L. and L. Antonio Montes Palma. "Ejection Patterns of Gunshot Residues Made from 9 mm Parabellum Gun, 9 mm Short Gun, .38 Revolver and 7.62 mm Cetme Rifle." Forensic Science International 96, 2-3 (September 1998) : 143-172.
- Garofano, L. et al. "Gunshot Residue Further Studies on Particles of Environmental and Occupational Origin." Forensic Science International 103 (July 1999) : 1-21.
- Germani, M.S. "Evaluation of Instrumental Parameters for Automated Scanning Electron Microscopy/Gunshot Residue Particle Analysis." Journal of Forensic Science 36, 2 (March 1991) : 331-342.
- Goleb, A.J., and C.R. Midkiff, Jr. "Firearms Discharge Residue : Sample Collection Techniques." Journal of Forensic Science 20, 4 (October 1975) : 701-707.
- Guinn, V.P. "JFK Assassination : Bullet Analysis." Analysis Chemistry 51 (1979) : 484A-493A.
- Harris, A. "Analysis of Primer Residue from CCI Blazer Lead Free-Ammunition by Scanning Electron Microscopy / Energy Dispersive X-ray." Journal of Forensic Science 40, 1 (January 1995) : 27-30.
- Harrison, H.C., and R. Gilroy. "Firearms Discharge Residue." Journal of Forensic Science 4,2 (1959) : 184-199.
- Hellmiss, G., W. Lichtenberg, and M. Weiss. "Investigation of GSR by Means of Auger Electron Spectroscopy." Journal of Forensic Science 32, 3 (May 1987) : 747-760.
- Jalanti, T. et al. "The Persistence of Gunshot Residue on Shooter's Hand." Science & Justice 39, 1 (January 1999) : 48-52.
- Jones, R.F., and R.S. Nesbitt. "A Photoluminescence Technique for the Detection of Gunshot Residues." Journal of Forensic Science 20, 2 (April 1975) : 231-242.
- Kazimirov V.I., A.D. Zorin, and V.F. Zanozina. "Application of X-ray Fluorescence Analysis to Investigation of the Composition of Gunshot Residues." Journal of Applied Spectroscopy 73, 3 (May 2006) : 359-365.
- Kee, T.G. et al. "The Identification of Individual Propellant Particles." Journal of Forensic Science Society 30, 5 (September 1990) : 285-292.
- Kilty, J.W. "Activity after Shooting and Its Effect on the Retention of Primer Residue." Journal of Forensic Science 20, 2 (April 1975) : 219-230.
- Koons, R.D. "Flameless Atomic Absorption Spectroscopic Determination of Antimony in GSR." Crime Laboratory Digest 20 (1993) : 19-23.

- Koons, R.D., D.G. Havekost, and C.A. Peters. "Determination of Barium in Gunshot Residue Collection Swabs Using Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry." Journal of Forensic Science 33, 1 (January 1998) : 35-41.
- Krishnan, S.S. "Rapid Detection of Firearms Discharge Residues by Atomic Absorption and Neutron Activation Analysis." Journal of Forensic Science 16 (1971) : 144-151.
- _____. "Detection of Gunshot Residues on The Hands by Neutron Activation and Atomic Absorption Analysis." Journal of Forensic Science 19, 4 (October 1974) : 789-797.
- _____. "Detection of Gunshot Residues on the Hands by Trace Element Analysis." Journal of Forensic Science 22, 2 (April 1977) : 304-324.
- Laza, Desire et al. "Development of a Quantitative LC-MS/MS Method for the Analysis of Common Propellant Powder Stabilizers in Gunshot Residue." Journal of Forensic Science 52, 4 (July 2007) : 842-850.
- Lebiedzik, J., and D.L. Johnson. "Rapid Search and Quantitative Analysis of Gunshot Residue Particles in the SEM." Journal of Forensic Science 45, 1 (January 2000) : 83-92.
- Lichtenberg, W. "Determination of Gunshot Residues (GSR) in Biological Samples by Means of Zeeman Atomic Absorption Spectrometry" Fresenius' Journal of Analytical Chemistry 328, 4-5 (September 1987) : 367-369.
- Liu, J.H., W.F. Lin, and J.D. Nicol. "The Application of Anodic Stripping Voltammetry to Forensic Science, II : Anodic Stripping Voltammetric Analysis of Gunshot Residue." Forensic Science International 16, 1 (July - August 1980) : 53-62.
- Lloyd, J.B.E. "Detection and differentiation of nitrocellulose traces of forensic science interest with reductive mode electrochemical detection at a pendant mercury drop electrode coupled with size exclusion chromatography." Analytical Chemistry 56, 11 (1984) : 1907-12.
- _____. "Liquid Chromatography of Firearms Propellants Traces." Journal Energetic Materials 4, 1- 4 (1986) : 239-271.
- Locard, E. "Dust and Its Analysis." Police Journal 1 (1928) : 177-192.
- Loper, G.L. et al. "Use of Photoluminescence Technique to Investigate Apparent Suicide by Firearms." Journal of Forensic Science 26, 2 (April 1981) : 263-286.

- Macrehan, William A. et al. "Investigation the Effect of Changing Ammunition on The Composition of Organic Additives in Gunshot Residues." Journal of Forensic Science 46, 1 (January 2001) : 57-62.
- Macrehan, William A., and Mary Bedner. "Development of a Smokeless Powder Reference Material for Propellant and Explosives Analysis." Journal of Forensic Science International 163, 1-2 (November 2006) : 119-124.
- Mach, M.H, A. Pallos, and P.F. Jones. "Feasibility of GSR Detection Via its Organic Constituents Part I : Analysis of Smokeless Powders by Combined GC - Chemical Ionization Mass Spectrometry." Journal of Forensic Science 23, (July 1978) : 433- 445.
- Mahoney, C.M., Greg Gillen, and Albert J. Fahey. " Characterization of Gunpowder samples Using Time-Of-Flight Secondary Ion Mass Spectrometry (TOF-SIMS)." Forensic Science International 158, (April 2006) : 39-51.
- Maloney, R.S., and J.I. Thornton. "Colour Test for Diphenylamine Stabilizer and Related Compounds in Smokeless Gunpowder." Journal of Forensic Science 27, 2 (April 1982) : 318-329.
- Martiny, Andrea et al. "SEM/EDS Analysis and Characterization of Gunshot Residues from Brazilian Lead-free Ammunition." Forensic Science International 177, 1 (May 2008) : e9-e17.
- Mathis, J.A., and B.R. McCord. "Mobile Phase Influence on Electrospray Ionization for the Analysis of Smokeless Powders by Gradient Reversed Phase High-Performance Liquid Chromatography-ESIMS." Forensic Science International 154, 2-3 (November 2005) : 159-166.
- Meng, H.H., and B. Caddy. "High Performance Liquid Chromatographic Analysis with Fluorescence Detection of Ethyl Centralite and 2,4-dinitrotoluene in Gun Shot Residues after Derivatization with 9-fluorenylmethylchloroformate." Journal of Forensic Science 41, 2 (March 1996) : 213-220.
- _____. "Gunshot Residue Analysis - A Review." Journal of Forensic Science 42, 4 (July 1997) : 553-570.
- Morales, Ernesto Bernal, and Alma L. Revilla Vázquez. "Simultaneous Determination of Inorganic and Organic Gunshot Residues by Capillary Electrophoresis." Journal of Chromatography A 1061, 2 (December 2004) : 225-233.
- Mosher, P. V. et al. "Gunshot Residue- Similar Particles Produce Fireworks." Canadian Society of Forensic Science Journal 31, 2 1998 (June) : 157-168.

- Nag, N.K., and P. Sinha. "A Note on Assessability of Firing Distance from Gunshot Residues." Forensic Science International 56, 1 (September 1992) : 1-17.
- Nesbitt, R.S., J.E. Wessel, and R.F. Jones. "Detection of Gunshot Residue by Use of the Scanning Electron Microscope." Journal of Forensic Science 21, 3 (July 1976) : 595-610.
- Nesbitt, R.S. et al. "Evaluation of the Photoluminescence Technique for Detection of Gunshot Residues." Journal of Forensic Science 22, 2 (April 1977) : 288-303.
- Niewoehner, Ludwig et al. "GSR2005-Continuity of ENFSI Proficiency Test on Identification of GSR by SEM/EDX." Journal of Forensic Science 53, 1 (January 2008) : 162-167.
- Northrop, D.M., and W.A. Maccrehan. "Sample Collection, Preparation, and Quantitation in the Micellar Electrokinetic Capillary Electrophoresis of GSR." Journal of Liquid Chromatography & Related Technologies 15, 6 (April 1992) : 1041- 1062 .
- Pillay, K.S., W.A. Jester, and H.A. Fox. "New Method for the Collection and Analysis of Gunshot Residue as Forensic Evidence." Journal of Forensic Science 19, 4 (October 1974) : 768-783.
- Oommen, Z., and S.M. Pierce. "Lead-free Primer Residues : a Qualitative Characterization of Winchester WinClean™, Remington/UMC LeadLess™, Federal Ballistic-Clean™, and Speer Lawman CleanFire™ Handgun Ammunition." Journal of Forensic Science 51, 3 (May 2006) : 509-519.
- Pun, Ka-Man, and Alain Gallusser. "Macroscopic Observation of the Morphological Characteristics of the Ammunition Gunpowder." Forensic Science International 175, 2-3 (March 2008) : 179-185.
- Refeng Bai et al. "Identify the Injury Implement by SEM/EDX and ICP-AES." Forensic Science International 166, 1 (February 2007) : 8-13.
- Romolo, F.S., and P. Margot. "Identification of Gunshot Residue : A Critical Review." Forensic Science International 119, 2 (June 2001) : 195-211.
- Ruch, R.R. et al. "Neutron Activation Analysis in Scientific Crime Detection." Journal of Forensic Science 9 (1964) : 119-132.
- Rudzitis, E., M. Kipina, and M. Wahlgren. "Optimization of Firearm Residue Detection by Neutron Activation Analysis." Journal of Forensic Science 18, 2 (April 1973) : 93-100.

- Sarkis, Jorge E. Souza et al. "Measurements of Gunshot Residues by Sector Field Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry—Further Studies with Pistols." Forensic Science International 172, 1 (October 2007) : 63-66.
- Schwartz R.H., and C.A. Zona. "A recovery method for airborne gunshot residues retained in human nasal mucus." Journal of Forensic Science 40, 2 (March 1995) : 659-661.
- Sen, J.P. et al. "Application of Proton-Induced X-ray Emission Technique to Gunshot Residue Analysis." Journal of Forensic Science 27, 2 (April 1982) : 330-339.
- Singer, R.L., D. Davis, and M.M. Houck. "Survey of Gunshot Residues Analysis Method." Journal of Forensic Science 41, 2 (March 1996) : 195-198.
- Speers, S.J. et al. "Evaluation of Improved Methods for the Recovery and Detection of Organic and Inorganic Cartridge Discharge Residues." Journal of Chromatography A 674, 1-2 (July 1994) : 319-327.
- Steffen, S. et al. "Chemometric Classification of Gunshot Residue Base on Energy Dispersive X-ray Microanalysis and Inductively Coupled Plasma Analysis with Mass-spectrometric Detection." Spectrochimica Acta Part B 62, 9 (September 2007) : 1028-1036.
- Stone, Jr., I.C., and C.S. Petty. "Examination of Gunshot Residues." Journal of Forensic Science 19, 4 (October 1974) : 784-788.
- Thornton, John I. "The Chemistry of Death by Gunshot" Analytica Chimica Acta 288, 1-2 (March 1994) : 71-81.
- Tillman, W.L. "Automated Gunshot Residues Particle Search and Characterization." Journal of Forensic Science 32, 1 (January 1987) : 62-71.
- Tong, Y. et al. "Determination of DPA in Smokeless Gunpowder Using a Tandem MS Method," Analyst 126, (April 2001) : 480-484.
- Tschirhart, D.L., T.T. Noguchi, and E.C. Klatt. "A simple histochemical Technique for the Identification of Gunshot Residue." Journal of Forensic Science 36, 2 (March 1991) : 543-547.
- Wallace, J. S. "Chemical Aspects of Firearms Ammunition." Association of Firearm and Toolmark Examiners-AFTE Journal 22, 4 (1990) : 364-388.
- Wallace, J.S., and J. Mcquillan. "Discharge Residues from Cartridge-Operated Industrial Tools." Journal of Forensic Science Society 24, 3 (1984) : 495-508.
- West, C., G. Baron, and J.-J. Minet. "Detection of Gunpowder Stabilizers with Ion Mobility Spectrometry." Forensic Science International 166, 1-2 (March 2007) : 91-101.

- White, R.S., and A.D. Owens. "Automation of Gunshot Residues Detection and Analysis by Scanning Electron Microscopy/Energy Dispersive X-ray Analysis (SEM/EDX)." Journal of Forensic Science 32, 6 (November 1987) : 1595-1603.
- Wolten, G.M. et al. a "Particle Analysis for the Detection of Gunshot Residue I : Scanning Electron Microscope/energy Dispersive X-ray Characterization of Hand Deposit from Firing," Journal of Forensic Science 24, 2 (April 1979) : 409-422.
- _____. b "Particle Analysis for the Detection of Gunshot Residue II : Occupational and Environmental Particles." Journal of Forensic Science 24, 2 (April 1979) : 533-545.
- _____. c "Particle Analysis for the Detection of Gunshot Residue III : The Case Record." Journal of Forensic Science 24, 2 (April 1979) : 864-569 .
- Wolten, G.M., and R.S. Nesbitt. "On the Mechanism of Gunshot Residue Particles Formation." Journal of Forensic Science 25, 3 (July 1980) : 533-545.
- Woolever, C.A., D.E. Starkey, and H.D. Dewald. "Differential Pulse Anodic Stripping Voltammetry of Lead and Antimony in Gunshot Residue." Forensic Science International 102, 1 (May 1990) : 45-50.
- Zadora, G. and Z. Brozek-Mucha. "SEM-EDX-a Useful Tool for Forensic Examinations." Materials Chemistry and Physics 81, 2-3 (September 2003) : 345-348.
- Zeichner, A., N. Levin, and E. Springer. "Gunshot Residue Particles Formed by Using Different Types of in the Same Firearm." Journal of Forensic Science 36, 6 (July 1991) : 1020-1026.
- Zeichner, A., N. Levin, and M. Dvorachek "Gunshot Residue Particles Formed by Using Ammunitions That Have Mercury Fulminate Based Primers." Journal of Forensic Science 37, 6 (November 1992) : 1567-1573.
- Zeichner, A., and N. Levin. "Collection Efficiency of GSR Particles from Hair and Hand Using Double-side Adhesive Tape." Journal of Forensic Science 38, 3 (May 1993) : 571-584.
- _____. "Casework Experience of GSR Detection in Israel, on Sample from Hands, Hair and Clothing Using an Autosearch SEM/EDX System." Journal of Forensic Science 40, 6 (November 1995) : 1082-1085.
- _____. "More on the Uniqueness of Gunshot Residue (GSR) Particles ." Journal of Forensic Science 42, 6 (November 1997) : 1027-1028.

Zeichner, A. et al. "Vacuum Collection of Gunpowder Residues from Clothing Worn by Shooting Suspects, and Their Analysis by GC/TEA, IMS, and GC/MS." Journal of Forensic Science 48, 5 (September 2003) : 961-972.

Zeichner, A. et al. "Application of Lead Isotope Analysis in Shooting Incident Investigations." Forensic Science International 158, 1 (April 2006) : 52-64.

เอกสารอื่น ๆ

ASTM Standards. Standard Guide for Gunshot Residue Analysis by Scanning Electron Microscopy / Energy-Dispersive Spectrometry. ASTM GSR Collection, 1995 : 1006-1008 (Re-APproved 2001).

Canadian Firearm Information Source. Basic of Firearms [Online]. Accessed 12 April 2008. Available from <http://www.firearmsource.ca/>

California Department of Justice. Bureau of Forensic Services. Physical Evidence Bulletin [Online]. Accessed 29 February 2008. Available from <http://www.cci.ca.gov/Reference/peb/peb15.pdf>

Diana, M.W., and A.T. Michael. Forensic Science Communications. Summary of the FBI Laboratory's Gunshot Residue Symposium, May 31- June 3, 2005 [Online]. July 2006. Available from http://www.FBI.gov/hq/lab/fsc/backissu/july2006/research/2006_07_research 01.htm

Encyclopedia Britannica. The Online Encyclopedia. [Online]. Accessed 18 March 2008. Available from <http://www.britannica.com>

Jane, I. et al. "Detection of GSR via Analysis of Organic Constituents." In Proceeding of the International Symposium Analysis & Detection of Explosives, 475. Virginia : Quantico, 1983.

Kumarawickrama, R.A.D. "The Characterization and Identification of Organic GSR." M Sc Thesis, University of Strathclyde, UK, 1985.

MidwayUSA. Knowledge Center. GunTec Dictionary [Online]. Accessed 14 April 2008. Available from <http://www.midwayusa.com/guntecdictionary.exe/home>

Sam Barros' PowerLabs. ChemLabs [Online]. Accessed 14 April 2008. Available from <http://www.powerlabs.org/chemlabs/index.html>

Steffen, S. "Differentiation of Gunshot Residue (GSR) Particles from a Variety of Ammunition Brands Investigated by Energy-Dispersive Scanning Electron Microanalysis (SEM/EDX)." PhD Thesis, TU Bergakademie Freiberg, 2006.

- Ted Pella, Inc. Gunshot Residue (GSR) Collection Kit # 16256-2 and 16256-3 [Online]. Accessed 31 May 2008. Available from http://www.tedpella.com/technote_html/16256-2,%203%20TN.pdf
- The Cartridge Guys. Cartridge History [Online]. Accessed 14 April 2008. Available from <http://www.cartridgeid.com/index.html>
- The University of Utah. Eccles Health Sciences Library. Firearms Tutorial [Online]. Accessed 31 March 2008. Available from <http://library.med.utah.edu/WebPath/TUTORIAL/GUNS/GUNINTRO.html>
- Today's Hunter in South Carolina. South Carolina Hunter Safety Course and Hunting License Test. [Online]. Accessed 19 March 2008. Available from <http://www.hunter-ed.com/sc/index.htm>
- Wessel J.E. et al. Equipment Systems Improvement Program for GSR Detection. The Aerospace Corporation, El Segundo, CA, 1974.
- Wikipedia. The Free Encyclopedia. [Online]. Accessed 18 March 2008. Available from http://en.wikipedia.org/wiki/Main_Page
- Wolton, G.M. et al. Equipment Systems Improvement Program - Final Report on Particle Analysis for Gunshot Residue Detection. ATR-77 (7915)-3, The Aerospace Corporation, El Segundo, CA, Sept. 1977.
- Yinon, J. et al. "Differentiation between Nitroglycerin Explosive and Nitroglycerin Medication Using an IMS Detector." In Proceedings of the 8th International Symposium on Analysis and Detection of Explosives, 306-313. Edited by Garbutt, D., P. Pilon, and P. Lightfoot. Ottawa : Canada, 2004.

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล	นายอัษฎายุทธ ผลภาค
ที่อยู่	29 หมู่ 16 ตำบลบ่อแฮ้ว อำเภอเมืองลำปาง จังหวัดลำปาง 52000
ที่ทำงาน	คณะนิติศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ถนนห้วยแก้ว ตำบลสุเทพ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 50200
โทรศัพท์	053-943-576, 088-436-6286
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ. 2541	สำเร็จการศึกษาปริญญานิติศาสตรบัณฑิต มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
พ.ศ. 2543	สำเร็จการศึกษาระดับประกาศนียบัตรบัณฑิต (กฎหมายธุรกิจ) มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
พ.ศ. 2549	ศึกษาต่อระดับปริญญาโทสาขานิติวิทยาศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร
ประวัติการทำงาน	
พ.ศ. 2541 - 2548	ข้าราชการ ตำแหน่งอาจารย์ สาขาวิชานิติศาสตร์ ภาควิชารัฐศาสตร์ คณะสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
พ.ศ. 2548 - ปัจจุบัน	พนักงานมหาวิทยาลัยสายวิชาการ คณะนิติศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่