



การวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของเขม่าป็นในกระสุนปืนชนิดที่ชนวนท้ายไม่มีองค์ประกอบเป็น
ธาตุโลหะหนัก (ตะกั่ว) และทดสอบระยะเวลาความคงอยู่ของเขม่าป็น โดยใช้ SEM/EDS

โดย

นายปรีชา หงษ์ศักดิ์ศิลป์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2554

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

การวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของเขม่าป็นในกระสุนปืนชนิดที่ชนวนท้ายไม่มีองค์ประกอบเป็น
ธาตุโลหะหนัก (ตะกั่ว) และทดสอบระยะเวลาความคงอยู่ของเขม่าป็น โดยใช้ SEM/EDS

โดย

นายปรีชา หงษ์ศักดิ์ศิลป์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2554

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

**ANALYSIS AND CHARACTERIZATION OF GUNSHOT RESIDUE FROM LEAD-FREE
PRIMER AMMUNITION AND TIME PERIODS OF THE PRIMER RESIDUE
PARTICLES AFTER DISCHARGED BY SEM/EDS**

By

Preecha Hongsaksilp

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 “ การวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของเขม่าป็นในกระสุนปืนชนิดที่ชนวนท้ายไม่มีองค์ประกอบเป็นธาตุโลหะหนัก (ตะกั่ว) และทดสอบระยะเวลาความคงอยู่ของเขม่าป็น โดยใช้ SEM/EDS ” เสนอโดย นายปรีชา หงษ์ศักดิ์ศิลป์ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปานใจ ชารัทสนวงศ์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่.....เดือน..... พ.ศ.....

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

รองศาสตราจารย์ พันตำรวจเอกสันต์ สุขวังนั

คณะกรรมการตรวจสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(พันตำรวจโท ดร.สฤษดิ์ สืบพงษ์ศิริ)

...../...../.....

..... กรรมการ

(พันตำรวจเอก สมภพ เองสมบูรณ์)

...../...../.....

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ พันตำรวจเอก สันต์ สุขวังนั)

...../...../.....

49312356 : สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์

คำสำคัญ : เหม่าปิ่น / ฆนวนท้ายกระสุนปืน

ปริชา หงษ์ศักดิ์ศิลป์ : การวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของเหม่าปิ่นในกระสุนปืนชนิดที่ ฆนวนท้ายไม่มีองค์ประกอบเป็นธาตุโลหะหนัก (ตะกั่ว) และทดสอบระยะเวลาความคงอยู่ของ เหม่าปิ่น โดยใช้ SEM/EDS. อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ : รศ.พ.ต.อ.สันต์ สุขวัจน์. 125 หน้า.

เหม่าปิ่นจัดเป็นวัตถุพยานประเภทหนึ่งที่สำคัญซึ่งใช้ในการสืบสวนคดี สามารถบ่งชี้ได้ว่าผู้ต้องสงสัยได้ใช้หรือผ่านการใช้อาวุธปืนมาหรือไม่ ทำให้เชื่อมโยงผู้ต้องสงสัยเข้ากับคดีได้ การตรวจหาเหม่าปิ่นโดยใช้เครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM.) จะเป็นการตรวจหาธาตุ Pb Sb และ Ba ในอนุภาคเหม่าปิ่น โดยธาตุเหล่านี้จะมาจาก primer อันเป็นส่วนหนึ่งในองค์ประกอบของกระสุนปืน เนื่องจากในปัจจุบันมีการผลิตกระสุนปืนชนิดใหม่โดยมุ่งเน้นลดการใช้ธาตุที่เป็นโลหะหนัก โดยเฉพาะ ธาตุ Pb และ Ba ที่เป็นส่วนประกอบใน primer ของกระสุนปืน และหาธาตุอื่นมาใช้แทน เรียกกระสุนปืนประเภทนี้ว่า lead-free primer ทำให้การตรวจหาธาตุในอนุภาคเหม่าปิ่นต้องมีการพัฒนาเพิ่มขึ้นจากเดิม

วัตถุประสงค์ของการวิจัยครั้งนี้ เพื่อศึกษาถึงรูปแบบ องค์ประกอบเฉพาะตัวของอนุภาค เหม่าปิ่นและจะสามารถตรวจพบอนุภาคเหม่าปิ่นบนเสื้อผ้าของผู้ยิงได้หรือไม่ หลังจากยิงด้วยกระสุน ปืนชนิด lead-free primer

ผลของการวิจัยพบว่า รูปแบบของอนุภาคเหม่าปิ่นในกระสุนปืนชนิด lead-free primer มีธาตุที่เป็นองค์ประกอบของอนุภาคเหม่าปิ่นแตกต่างจากเดิม โดยจะมี ธาตุ Si Al และK เป็นหลัก และมีส่วนประกอบของธาตุ Zn กับ Cu ปะปนในอนุภาค สามารถตรวจพบอนุภาคเหม่าปิ่น บนตัวเสื้อได้แม้เวลาจะผ่านไปแล้ว 7 ชั่วโมง โดยที่ยังปรากฏอนุภาคอยู่บนเสื้อในปริมาณที่มาก เมื่อเทียบกับปริมาณของอนุภาคเหม่าปิ่นจากกระสุนปืน ซึ่งใช้โลหะหนักเป็นส่วนประกอบหลัก ของ primer

49312356 : MAJOR : FORENSIC SCIENCE

KEY WORDS : GUNSHOT RESIDUE / PRIMER

PREECHA HONGSAKSILP : ANALYSIS AND CHARACTERIZATION OF GUNSHOT RESIDUE FROM LEAD-FREE PRIMER AMMUNITION AND TIME PERIODS OF THE PRIMER RESIDUE PARTICLES AFTER DISCHARGED BY SEM/EDS. THESIS ADVISORS: ASST.PROF.POL.COL.SANT SUKHVACHANA . 125 pp.

Gunshot residue is one of the major type of forensic science evidence used in the investigation to indicate that the suspects had discharged firearms or not and linked the suspect to the case. Examination by using Scanning Electron Microscope will detect gunshot residue particles of heavy metal as Pb Sb and Ba which these elements come from the primer of the cartridge. Currently, the production ammunition are focus on to replace the primer elements, especially trace elements Pb and Ba , with the other element which called lead-free primer. That allows the detection of gunshot residue particles must be developed from the original.

The purpose of this research were to study the characteristics of gunshot residue particle of lead-free primer and how could be detected gunshot residue particles on the shirt after discharged by lead-free primer ammunition

The research found that the elements of gunshot residue particles in ammunition type,lead-free primer are Si Al and K with traces of Zn and Cu which are different to former ammunition. Moreover ,gunshot residue particles can be found on the shirt even time will pass seven hours and that particle appears on the shirt in large quantity when compared with amount of gunshot residue from the cartridge that used to heavy metal as the main component of the primer.

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

Student's signature

Thesis Advisors' signature

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาวิจัยเรื่องการวิเคราะห์เขม่าป็นในกระสุนปืนชนิด lead-free primer ด้วยเทคนิค SEM/EDS สำเร็จลุล่วงด้วยดี เนื่องมาจากความช่วยเหลือและความร่วมมือจากบุคคลหลายท่าน ลำดับแรกสุดต้องขอขอบพระคุณ ท่าน รองศาสตราจารย์ พันตำรวจเอก สันต์ สุขวณิช อาจารย์ผู้ควบคุมงานวิจัย ที่ให้ความเมตตากรุณามาเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ให้คำแนะนำในทุกปัญหาที่พบในการวิจัย ตลอดจนตรวจทานและแนะนำแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆของงานวิจัยฉบับนี้ ให้มีความถูกต้องสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ท่านอาจารย์ พันตำรวจเอก สมภพ เองสมบุญ ที่ให้ความอนุเคราะห์คำปรึกษา และตรวจงานวิจัย รวมถึง ท่านอาจารย์ พันตำรวจโท ดร.สฤทธ์ สืบพงษ์ศิริ ที่กรุณาให้คำแนะนำด้านต่างๆ ของการทำงานวิจัย

นอกจากนี้ ผู้วิจัยต้องขอขอบพระคุณ ท่านอาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ ขอบคุณ คุณวิฑูรย์ แซ่โจ้ว ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำในการใช้เทคนิค SEM/EDS และวิธีตรวจหาอนุภาคเขม่าป็น คุณประกายทิพย์ กิติคุณ เจ้าหน้าที่ประจำศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ให้ความช่วยเหลือในการติดต่อและใช้เครื่อง SEM. คุณช้อย เพชรจันทร์านนท์ สำหรับอาวุธปืนที่ให้มาใช้ตลอดในงานวิจัยนี้ ครอบครัวหงษ์ศักดิ์ศิลป์ คุณจริยา หงษ์ศักดิ์ศิลป์ ภริยาผู้เป็นกำลังใจ ตลอดจนเพื่อนนักศึกษา สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์ โดยเฉพาะรุ่นที่ 2 มหาวิทยาลัยศิลปากร ที่เป็นแรงผลักดัน และให้ความช่วยเหลือ คุณสารัตน์ ล้วนดี ผู้ทำหน้าที่ประสานงานด้านต่างๆ ในโครงการปริญญาโทสาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์ รวมไปถึงผู้ที่มิได้กล่าวนามไว้ ณ ที่นี้ทุกท่าน ซึ่งมีส่วนช่วยเหลือ จนงานวิจัยนี้ประสบผลสำเร็จลงได้ด้วยดี

อนึ่ง งานวิจัยนี้สำเร็จได้ด้วยการสนับสนุนทุนบางส่วนจากโครงการปริญญาโทสาขานิติวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ซึ่งผู้วิจัยต้องขอขอบคุณไว้ ณ โอกาสนี้.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญภาพประกอบ	ญ

บทที่

1	บทนำ.....	1
	ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
	วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	4
	สมมติฐานของการวิจัย.....	4
	ขอบเขตของการวิจัย.....	5
	ข้อจำกัดในการวิจัย.....	5
	ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย.....	6
2	เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	7
	อาวุธปืนและเครื่องกระสุนปืน.....	9
	กระสุนปืน (Metallic Cartridge).....	17
	ลูก (หัว) กระสุนปืน (Bullet).....	22
	ปลอกกระสุนปืน (Cartridge Case).....	26
	ดินสักระสุน หรือดินปืน (Gun Powder, Propellant).....	29
	ประวัติและความเป็นมาของดินปืน.....	29
	แก๊ป (Primer cap) หรือชนวนท้ายกระสุนปืน (Primer)	34
	ขนาดของกระสุนปืนและชื่อเรียก.....	37
	ที่มาของคราบเขม่าปืนที่เกิดขึ้นจากการยิงปืน (GSR)	44
	การเกิดขึ้นและการรวมตัวของอนุภาคเขม่าปืน (Gunshot residue, GSR)	45
	ประเภทของอนุภาคที่เกิดขึ้นจากการยิงปืน	47
	รูปสัณฐานของอนุภาคที่เกิดขึ้นจากการยิงปืน	50

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	แสดงจุดหลอมเหลว (Melting point, T_m) และ จุดเดือด (Boiling point, T_b) ของธาตุที่พบในอนุภาคเขม่าป็น	46
2	ธาตุโลหะที่พบในชนวนท้ายกระสุนปืนของบริษัทต่าง ๆ	71
3	แสดงโลหะต่าง ๆ ที่ตรวจพบในอนุภาคเขม่าป็น	72
4	ตารางแสดงค่าเฉลี่ยการนับอนุภาคเขม่าป็นที่ด้านหน้าตัวเสื้อ แขนเสื้อ และที่มือ ณ เวลาที่กำหนด	116

สารบัญภาพประกอบ

ภาพที่	หน้า
1 อาวุธปืน Percussion Locks แบบต่าง ๆ.....	10
2 ปืนแก๊ป หรืออาวุธปืนแบบ Muzzle Loading.....	11
3 ปืนพกกึ่งอัตโนมัติ.....	12
4 ปืนพกลูกโม.....	13
5 แหวนปืน.....	14
6 ปืนปากกา.....	14
7 ปืนกลมือ (Sub-Machine Gun) – model. MP-5n.....	15
8 ปืนเล็ก (ในภาพเป็น ปืน Rifle หรือที่เรียกว่า ปลย. ปืนเล็กยาว AK-47 และ M-16).....	16
9 Machine gun.....	16
10 กระสุนแบบ Pin fire (ด้านซ้ายขนาด 7 มม. ด้านขวาขนาด 9 มม.).....	17
11 แสดงโครงสร้างกระสุนปืนแบบ Pin fire.....	18
12 กระสุนแบบ Rim Fire.....	19
13 แสดงโครงสร้างกระสุนปืนแบบ Rim fire.....	19
14 ตัวอย่างกระสุนปืนแบบ Center Fire (ในภาพเป็นกระสุน Winchester Winclean TM).....	20
15 แสดงโครงสร้างกระสุนปืนแบบ Center fire.....	20
16 ปืนกลมือ Ingram M. 10(ขวา) และ Ingram M. 11(ซ้าย) โดย M. 11 จะมีขนาดใหญ่กว่า.....	21
17 แสดงส่วนประกอบที่สำคัญของกระสุนปืน.....	22
18 รูปร่างลักษณะของ ลูก(หัว)กระสุนปืนชนิดต่าง ๆ.....	25
19 ภาพแสดงลักษณะที่สังเกตได้ง่ายของหัวกระสุนปืนชนิดต่างๆ.....	25
20 รูปร่างของปลอกกระสุนปืนทั้งสามแบบ.....	26
21 ลักษณะของส่วนท้ายปลอกกระสุนปืนทั้ง 5 แบบ.....	27

ภาพที่	หน้า
22 ตัวอย่างกระสุนปืนที่มีส่วนท้ายปลอกกระสุนทั้ง 5 แบบ (เรียงจากซ้ายไปขวา) Rimmed- straight(20x99R), Semi-rimmed (13x92SR), Rimless-bottle necked (15x115 experimental), Rebated (20x72RB), Belted (13x93B experimental).....	27
23 แสดงกระสุน ขนาด .38 นิ้ว(9x17 มม.), ขนาด 9 มม.Luger(Parabellum) (9x19 มม.), ขนาด .38 นิ้ว Super Auto(9x22 มม.), ขนาด .38 นิ้ว Special (9x29 มม.), ขนาด .357 นิ้ว Magnum(9x33 มม.)...	28
24 ลักษณะของดินดำ (Black Powder).....	30
25 แสดงตำแหน่งของ Priming Mixture ใน Primer cap.....	35
26 ตัวอย่าง Primer และ Anvil (ในภาพเป็น Boxer Primer).....	35
27 Primer Cap ทั้ง 2 แบบ คือ Boxer Primer และ Berdan Primer	36
28 แสดงการระเบิดของ primer เพื่อจุดประกายไฟไปจุดดินปืนในปลอกกระสุน ภาพบนเป็นชนิด Boxer Primer ภาพล่างเป็นชนิด Berdan Primer.....	36
29 แสดงสันเกลียว (Land) และร่องเกลียว (Groove) ในลำกล้องปืน.....	37
30 ปืนพาราเบลล์ม หรือลูเกอร์ P 08.....	38
31 มิติ-ขนาดของกระสุนปืน 9 มม. ลูเกอร์ (พาราเบลล์ม).....	39
32 กระสุนปืน Federal ขนาด 9 มม	39
33 กระสุน 9 mm Ultra.....	40
34 แสดงมิติ-ขนาดของกระสุนปืน 9x21.....	41
35 เทียบปลอกกระสุน 9x21(บน) กับ 9x19(ล่าง).....	41
36 กระสุนปืน 9 mm. Mauser เปรียบเทียบกับกระสุนปืน .22.....	42
37 กระสุนปืน 9 mm. Makarov	42
38 แสดงมิติ-ขนาด ของปลอกกระสุนปืน 9 มม.แบบต่างๆ.....	43
39 แสดงกลไกการเกิดอนุภาคเขม่าปืนทั้ง 3 สถานะคือ I - กลายเป็นไอ II – ควบนั่น และ III – เกิดการแข็งตัว.....	46
40 Secondary Electron Image (SEI) แสดงภาพตัดขวางของอนุภาคที่ได้มาจากการ เผาไหม้ของดินสักระสุนปืน (Partially Burned Smokeless Powder Particles) ด้วยเทคนิค SEM โดยใช้กำลังขยายต่ำ.....	48

ภาพที่	หน้า
41	อนุภาคเขม่าปื้นที่มีลักษณะกลมมน (Spherical Particles) ในลักษณะ แตกต่างกันไป ตามชนิด และปริมาณของธาตุที่เป็นองค์ประกอบ ของเขม่าปื้น : (บนซ้าย) Pb, Sb และ Ba (บนขวา) Pb, Ba, Ca และ Si (ล่างซ้าย) Pb (ล่างขวา) Pb และ Ba..... 49
42	Secondary Electron Image (SEI) แสดงอนุภาคเขม่าปื้นที่ไม่มีรูปร่างเฉพาะตัว (Nondescriptive Morphology Particles) ในรูปแบบต่างกันโดยมี ส่วนประกอบของธาตุต่างกัน: (บนซ้าย และล่างซ้าย) ประกอบด้วย Pb, Sb และ Ba (บนขวา) Pb, Si และ Cu (ล่างขวา) Pb, Ba, Si และ Ca..... 50
43	รูปร่างพื้นฐานของ Type I GSR Particle (รูป a, b, c และ d) Regular Spheroids GSR Particle (รูป e) X-ray Emission Spectrum ของ Regular Spheroids GSR Particle (รูป f, g, h และ i) Nodular Spheroids GSR Particle (รูป j) X-ray Emission Spectrum ของ Nodular Spheroids GSR Particle ตัวอักษร n ในรูป h ใช้เป็นสัญลักษณ์แทน Indicate Nodule (รูป a และ h) เก็บตัวอย่างจากมือข้างขวาของศพที่ฆ่าตัวตายด้วย กระสุนปืนชนิด Rim-fire .22 Federal และอาวุธปืน .22 Revolver Harrington & Richardson (รูป b-d, g และ i) เก็บตัวอย่างจากการ ยิงทดสอบด้วยอาวุธปืน .38 Smith & Wesson Revolver ด้วยกระสุนปืน .38 Special 200 grain Lead Bullet และ (รูป f) ตัวอย่าง จากการยิงทดสอบ ด้วยปืนลูกซอง 12-gauge Pump-action Winchester Model 1200 ด้วยกระสุนปืน 70 mm 00 Buckshot..... 52
44	รูปร่างพื้นฐานของ Type I-Irregular Spheroids GSR Particle (รูป a-c) แสดงถึง รูปร่างที่ไม่สมคุล (รูป d) X-ray Emission Spectrum ของ Irregular Spheroids GSR Particle เก็บตัวอย่างจากการยิงทดสอบ ด้วยอาวุธปืน .38 Smith & Wesson Revolver ด้วยกระสุนปืน.38..... 53

- 45 A hollow-shaped GSR Particle เก็บตัวอย่างจากการยิงทดสอบด้วยอาวุธปืนลูกซอง Semiautomatic Remington 1100 กำหนดมุมเพื่อวิเคราะห์ด้วย X-ray Detector (a) 450 (b) +160 และ (c) -160 โดยแสดงให้เห็นธาตุอันเป็นองค์ประกอบด้วย X-ray Emission Spectra (d) ธาตุอันเป็นองค์ประกอบของอนุภาคทั้งอนุภาค (e) ธาตุอันเป็นองค์ประกอบในโพรงขนาดใหญ่ ซึ่งในรูปแบบด้วยสัญลักษณ์อักษร e และ (f) ธาตุอันเป็นองค์ประกอบของฝวอนุภาค..... 54
- 46 (ซ้าย) รูปสัณฐานของ Atypical GSR Particle และการวิเคราะห์ด้วย X-ray Mapping ของตะกั่ว (Pb), แอนติโมนี (Sb) และแบเรียม (Ba) ที่อยู่บนผิวของอนุภาค โดยใช้สัญลักษณ์อักษร n แทนปุ่มที่อยู่บน ฝวอนุภาค (Nodule) และ h แทนรูที่อยู่บนฝวอนุภาค (Hole) : (a) แสดงรูปสัณฐาน(Morphology), (b) Lead Map, (c) Antimony Map, (d) Barium Map, (e) Lead, Aluminum, and Silicon Maps (ในลักษณะวางซ้อนกัน) และ (f) แสดงธาตุที่เป็นส่วนประกอบของอนุภาคด้วย X-ray Emission Spectrum โดยเก็บตัวอย่างจากการยิงด้วยอาวุธปืนลูกซองชนิดหักลำ (Hinge Frame) ขนาด Gauge 12 ซึ่งผลิตในประเทศ Brazil ด้วยกระสุนปืน 70-mm (23/4-in.) 00 buckshot และ (ขวา) อนุภาคแบบผิวเปลือกส้ม หรือ Peeled Oranges GSR (a, c, และ e) แสดงรูปสัณฐาน (b, d, และ f) แสดง X-ray Emission Spectra โดยใช้สัญลักษณ์อักษร c แทนแกนในอนุภาค (Core) และ o.1 แทนฝวอนุภาค (Outer Leaflet) (a และ b) เก็บตัวอย่างจากมือข้างขวาของศพที่ฆ่าตัวตาย รูป a และ h (c และ d) ยิงทดสอบด้วยปืน Walther PPK/S Pistol ใช้กระสุนปืน .380automatic 95-grain Western (e และ f) การยิงทดสอบด้วย .38 Smith & Wesson Revolver..... 55
- 47 ลักษณะรูปสัณฐาน และ X-ray Emission Spectra ของอนุภาคเขม่าปืนบนมือที่ได้จากกระสุนปืน Winchester WinCleanTM 58
- 48 ลักษณะรูปสัณฐาน และ X-ray Emission Spectra ของอนุภาคเขม่าปืนบนมือที่ได้จากกระสุนปืน Remington/UMC LeadLessTM 59

ภาพที่	หน้า
49	ลักษณะรูปสัณฐาน และ X-ray Emission Spectra ของอนุภาคเขม่าปืนบนมือที่ได้จาก กระสุนปืน FederaBallisticClean TM 60
50	ลักษณะรูปสัณฐาน และ X-ray Emission Spectra ของอนุภาคเขม่าปืนบนมือ ที่ได้จากกระสุนปืน Speer Lawman CleanFire TM 61
51	Backsettered Electron (BSE) Image และ EDX Spectra ของอนุภาคที่ได้จาก กระสุนปืน CleanRang® รุ่นการผลิตแรก ยิงด้วย 9 mm Luger ที่ แสดงให้เห็นว่ามีรูปร่างกลมและมี สตรอนเชียม (Sr) เป็นธาตุหลัก..... 62
52	BSE Image และ EDX Spectra ของอนุภาคที่ได้จากกระสุนปืน CleanRang® รุ่นการผลิตที่สอง ยิงด้วย 9 mm Luger โดยแสดงให้เห็นว่าส่วนใหญ่ ไม่มีรูปร่างกลม ไม่มีสตรอนเชียม (Sr) เป็น ส่วนประกอบ..... 63
53	ปฏิกิริยาทางเคมีจากวิธี Dermal Nitrate Test หรือ Paraffin Test..... 64
54	ปฏิกิริยาทางเคมีจากวิธี Sodium Rhodizonate Test..... 65
55	Scanning Electron Microscope – SEM และอุปกรณ์ EDS. (ในภาพเป็น ZEISS 1455VP)..... 75
56	เปรียบเทียบกล้องจุลทรรศน์แบบ LM แบบ TEM และ แบบ SEM..... 76
57	แสดงส่วนประกอบสำคัญของ Scanning Electron Microscope (SEM)..... 76
58	แสดงหลักการทำงานของ SEM..... 77
59	แสดงการกวาดของลำอิเล็กตรอนใน 1 เฟรม..... 78
60	สัญญาณต่างๆที่เกิดขึ้นจาก อิเล็กตรอนชนกับชิ้นตัวอย่าง..... 79
61	แสดง Characteristic X-ray..... 80
62	แผนผังแสดง Energy-dispersive spectrometer..... 81
63	X-Ray Spectrum ที่ได้จาก SEM/EDS 81
64	ภาพเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่าง SEI กับ BEI ของคราบแมลงที่อาศัย ในทราย ซ้าย- SEI เห็นรายละเอียดที่ผิวอย่างชัดเจน ขวา -BEI ผงทรายที่ติดอยู่เป็นเม็ดสีขาว เกิดจากน้ำหนักระเบิด ของ Si ในทรายมีมากกว่าองค์ประกอบคาร์บอนในคราบแมลง..... 82
65	กระสุนปืน Winchester รุ่น winclean TM ขนาด 9 mm..... 89
66	อาวุธปืน ขนาด 9 มม. (Sig sauer Model P228)..... 90

ภาพที่	หน้า
67	น้ำยาทำความสะอาดป็น..... 90
68	Stub และภาชนะบรรจุ..... 91
69	ตัวอย่างลักษณะ ทำทางและการจับอาวุธป็นขณะทำการยิง..... 92
70	แสดงพื้นที่บริเวณ ที่ทำการเก็บตัวอย่างอนุภาคเขม่าป็นจากมือทั้ง 2 ข้าง..... 94
71	แสดงตำแหน่งพื้นที่ ที่วิเคราะห์บน stub 4 จุด ได้แก่ (968, 014), (972, 980), (023, 975), (994, 029) ขนาดพื้นที่แต่ละส่วนเท่ากับ 660 x 530 μm 95
72	กลุ่มอนุภาคเขม่าป็นที่เก็บจากด้านหน้าตัวเสื้อหลังยิงป็นทันที..... 97
73	อนุภาคเขม่าป็นที่มีลักษณะกลมและมีความสว่างจ้า..... 97
74	ภาพ Spectrum พบธาตุ Al Si Mg และ S พบธาตุ Cu และ Zn เป็นองค์ประกอบรวม..... 97
75	กลุ่มอนุภาคเขม่าป็น ที่เก็บจากด้านหน้าตัวเสื้อ..... 98
76	ภาพ Spectrum พบธาตุ Al Si Mg S และ K หลังยิงป็น 1 ชั่วโมงรวมทั้ง พบธาตุ Zn และ Cu เป็นองค์ประกอบรวมในอนุภาค..... 98
77	กลุ่มอนุภาคเขม่าป็น ที่เก็บจากด้านหน้าตัวเสื้อ หลังยิงป็น 3 ชั่วโมง..... 99
78	Spectrum พบธาตุ Al Si Mg S และ K รวมถึงพบธาตุ Zn และ Cu เป็นองค์ประกอบ รวมอยู่ในอนุภาค..... 99
79	กลุ่มอนุภาคเขม่าป็น ที่เก็บจากด้านหน้าตัวเสื้อ หลังยิงป็น 5 ชั่วโมง..... 100
80	Spectrum พบธาตุ Al Si Mg S และ K พบธาตุ Zn และCu เป็นองค์ประกอบรวม อยู่ด้วยในอนุภาค..... 100
81	กลุ่มอนุภาคเขม่าป็น ที่เก็บจากด้านหน้าตัวเสื้อ หลังยิงป็น 7 ชั่วโมง..... 101
82	Spectrum พบธาตุ Al Si Mg S และ K พบธาตุ Zn และ Cu รวมอยู่ด้วย..... 101
83	กลุ่มอนุภาคเขม่าป็น ที่เก็บจากแขนเสื้อ หลังยิงป็นทันที..... 102
84	อนุภาคเขม่าป็นที่มีลักษณะค่อนข้างกลม..... 103
85	Spectrum พบธาตุ Al Si Mg S และ K รวมถึงพบธาตุ Zn และ Cu รวมตัว อยู่ด้วยในตัวอย่างอนุภาค..... 103
86	กลุ่มอนุภาคเขม่าป็น ที่เก็บจากแขนเสื้อ หลังการยิงป็นผ่านไปแล้ว 1 ชั่วโมง..... 104
87	Spectrum พบธาตุ Al Si Mg S และ K รวมถึงพบธาตุ Zn และ Cu รวมตัว อยู่ในอนุภาค..... 104

ภาพที่	หน้า
88	กลุ่มอนุภาคเขม่าป็น ที่เก็บจากแขนเสื้อ หลังการยิงปืนผ่านไป 3 ชั่วโมง..... 105
89	Spectrum พบธาตุ Al Si Mg S และ K รวมถึงพบธาตุ Zn และ Cu รวมอยู่ด้วย ในอนุภาค..... 105
90	กลุ่มอนุภาคเขม่าป็น ที่เก็บจากแขนเสื้อ หลังการยิงปืนผ่านไป 5 ชั่วโมง..... 106
91	Spectrum พบธาตุ Al Si Mg S และ K รวมถึงพบธาตุ Zn และ Cu รวมตัวอยู่ด้วยในตัวอย่างอนุภาค..... 106
92	กลุ่มอนุภาคเขม่าป็น ที่เก็บจากแขนเสื้อ หลังการยิงปืนผ่านไป 7 ชั่วโมง..... 107
93	Spectrum พบธาตุ Al Si Mg S และ K รวมถึงพบธาตุ Zn และ Cu รวมตัวอยู่ในอนุภาค..... 107
94	กลุ่มอนุภาคเขม่าป็น ที่เก็บจากมือ ทันทีหลังการยิงปืน..... 108
95	อนุภาคเขม่าป็นที่มีลักษณะค่อนข้างกลม และมีความสว่างจ้าปรากฏ..... 109
96	Spectrum พบธาตุ Al Si Mg S และ K รวมถึงพบธาตุ Zn และ Cu เป็น องค์ประกอบรวมตัวอยู่ในตัวอย่างอนุภาค..... 109
97	กลุ่มอนุภาคเขม่าป็น ที่เก็บจากมือหลังการยิงปืนผ่านไปแล้ว 1 ชั่วโมง..... 110
98	Spectrum พบธาตุ Al Si Mg S และ K รวมถึงพบธาตุ Zn และ Cu เป็นองค์ประกอบรวมตัวอยู่ในอนุภาค..... 110
99	กลุ่มอนุภาคเขม่าป็น ที่เก็บจากมือ หลังการยิงปืนผ่านไปแล้ว 3 ชั่วโมง..... 111
100	Spectrum พบธาตุ Al Si Mg S และ K รวมถึงพบธาตุ Zn และ Cu รวมตัว เป็นองค์ประกอบของธาตุในอนุภาค..... 111
101	กลุ่มอนุภาคเขม่าป็น ที่เก็บจากมือ หลังการยิงปืนผ่านไปแล้ว 7 ชั่วโมง..... 112
102	Spectrum พบธาตุ Al Si Mg S และ K รวมถึงพบธาตุ Zn และ Cu รวมตัว เป็นองค์ประกอบอยู่ในตัวอย่างอนุภาค..... 112
103	ภาพแสดงกลุ่มของอนุภาคเขม่าป็น ที่เก็บตัวอย่างมาจากบริเวณ ด้านหน้า ของตัวเสื้อ ซึ่งอนุภาคมีลักษณะค่อนข้างกลม และเมื่อตรวจ โดย BSE.(ภาพกลาง) จะมีความสว่างจ้าปรากฏให้เห็น..... 113
104	ภาพแสดงลักษณะของอนุภาค และกลุ่มของอนุภาคเขม่าป็น ที่เก็บตัวอย่าง มาจากบริเวณแขนเสื้อ ซึ่งอนุภาคมีลักษณะค่อนข้างกลม..... 114

ภาพที่	หน้า
105	ภาพแสดงลักษณะของอนุภาคเขม่าป็น ที่เก็บตัวอย่างมาจากมือทั้งสองข้าง (โดยเฉพาะบริเวณระหว่างง่ามนิ้วหัวแม่มือกับนิ้วชี้) ซึ่งอนุภาค จะมีลักษณะค่อนข้างกลมและเมื่อตรวจโดย BSE. จะมีความสว่างจ้า ปรากฏให้เห็น..... 115
106	แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนอนุภาคเขม่าป็นบนตัวเสื้อ(สีแดง), แขนเสื้อ(สีเขียว) และจากบริเวณมือ(สีฟ้า) กับช่วงเวลาที่กำหนด สำหรับการเก็บตัวอย่าง..... 116
107	แสดงค่าเฉลี่ยอนุภาคเขม่าป็นที่พบได้จากมือเมื่อเวลา ผ่านไป 0, 1, 3 และ 7 ชั่วโมง..... 117
108	แสดงค่าเฉลี่ยเป็นเปอร์เซ็นต์ที่ตรวจพบอนุภาคเขม่าป็นจากมือ เมื่อเวลาผ่านไป 0, 1, 3 และ 7 ชั่วโมง..... 117
109	Spectrum วิเคราะห์ตัวอย่างที่เก็บจากมือก่อนยิงปืน..... 119
110	ภาพ spectrum แสดงธาตุองค์ประกอบของ primer กระสุนปืน Winchester Winclean TM 120

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

จากสภาพของสังคมและเศรษฐกิจในปัจจุบันที่มีการเปลี่ยนแปลงไปอย่างรวดเร็ว ทำให้คนในสังคมต้องมีการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมเพื่อให้ดำรงชีวิตอยู่ได้ ซึ่งการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมของมนุษย์นั้น ย่อมก่อให้เกิดปัญหาตามมาในหลายๆด้าน เช่นด้านกายภาพต้องสรรหาสิ่งอำนวยความสะดวกในการดำรงชีวิตเพิ่มขึ้น ทางด้านของจิตใจต้องพยายามปรับตัวให้ทนต่อการบีบคั้นกดดัน จากสภาวะต่างๆที่จะต้องเผชิญอยู่ในแต่ละนาที่ของการใช้ชีวิตในสังคม ซึ่งจากสภาวะที่กล่าวมานี้ ย่อมทำให้เกิดกรณีของปัญหาในการก่ออาชญากรรมหรือคดีความต่างๆในหลายรูปแบบ ซึ่งมีความซับซ้อนและทวีจำนวนขึ้น

คดีต่างๆที่เกิดขึ้น โดยเฉพาะที่เป็นคดีเกี่ยวกับชีวิต เช่นคดีฆาตกรรม ปล้นทรัพย์ หรือในคดีอัคคีภัย (ฆ่าตัวตาย) พบว่ามีคดีเหล่านี้ที่ทวีจำนวนขึ้นอย่างรวดเร็วในหลายปีที่ผ่านมา รวมทั้งในปัจจุบันก็เช่นกัน ปีนั้นจะเป็นอาวุธประเภทหนึ่งซึ่งเข้ามาเกี่ยวข้องอยู่เสมอ และจัดเป็นอาวุธที่มีร่องรอยพยานหลักฐานเกิดขึ้นหลังการใช่มากที่สุดเช่น ไม่ว่าจะเป็น จากตัวอาวุธปืน ปลอกกระสุน หัวกระสุน หรือเขม่าปืน (Gunshot residue, GSR) เป็นต้น

การสืบสวนสอบสวนทางคดี ต้องมีการค้นหาวัดพยานซึ่งจะพบในที่เกิดเหตุ รวมไปถึงพบในบริเวณส่วนต่างๆของร่างกายของบุคคลที่มีส่วนเกี่ยวข้องในคดี มาใช้ประกอบการสืบสวนสอบสวนเสมอ ในปัจจุบันหลักฐานทางวิทยาศาสตร์ได้รับการยอมรับในกระบวนการยุติธรรม ซึ่งจะเป็นการพิสูจน์ได้ว่าผู้กระทำความผิดในคดีมาแล้วหรือไม่อย่างไร หรือมีส่วนเกี่ยวข้องกับการกระทำความผิดหรือไม่ (นอกจากจะนำมากล่าวอ้างในชั้นการพิจารณาคดีของศาลแล้ว ยังเป็นการชี้ถึงความบริสุทธิ์หรือกลายเป็นผู้ต้องสงสัย ด้วยในขณะเดียวกัน) ดังนั้นผู้เกี่ยวข้องกับเรื่องนี้ โดยเฉพาะผู้ตรวจหรือนักวิทยาศาสตร์ด้านการพิสูจน์หลักฐานจึงต้องให้ความสำคัญเป็นพิเศษกับหลักฐานและวิธีทางวิทยาศาสตร์ในการค้นหาความจริงทางคดี เพื่ออำนวยความสะดวกในทางกระบวนการทางยุติธรรมและสืบสวนสอบสวนของพนักงานเจ้าหน้าที่ ในการที่จะนำบุคคลที่กระทำความผิดมาลงโทษตามกฎหมาย (กองวิทยาการภาค 3.2548:4) ซึ่งหน้าที่ในการตรวจค้นหาและเก็บวัตถุพยานในที่เกิดเหตุ พนักงานสืบสวนผู้รับผิดชอบคดีจะร้องขอไปยังกองพิสูจน์หลักฐานหรือกองวิทยาการประจำจังหวัดหรือภาคที่รับผิดชอบในเขตพื้นที่ที่เกิดเหตุขึ้น ซึ่งจะมีหน่วยงานในการตรวจที่เกิดเหตุโดยเฉพาะเพื่อปฏิบัติหน้าที่ดังกล่าว

หลักการในการตรวจสอบสถานที่เกิดเหตุ สืบเนื่องมาจาก พื้นฐานแนวคิดตามทฤษฎีของ Dr. Edmand Locard [ค.ศ. 1877- 1966] (Locard exchange principle the basic principle of Forensic science) ที่ว่า “ Every contact leaves a trace” เมื่อวัตถุสองสิ่งกระทบกันย่อมเกิดการแลกเปลี่ยน วัตถุพยานซึ่งกันและกัน” ขยายความได้ดังนี้

การแลกเปลี่ยนหรือการเคลื่อนย้าย

1. ผู้กระทำผิดจะมีร่องรอยของเหยื่อและสถานที่เกิดเหตุติดไปด้วย
2. เหยื่อมีร่องรอยของผู้กระทำผิดและมีร่องรอยของเหยื่อติดไปกับผู้กระทำผิด
3. ผู้กระทำผิดจะทิ้งร่องรอยของตัวเองไว้ในที่เกิดเหตุ

ดังนั้น ถ้าได้ทำการตรวจสอบสถานที่เกิดเหตุอย่างมีลำดับขั้นตอนตามหลักการตรวจสอบสถานที่เกิดเหตุและใช้ความรู้ความสามารถไหวพริบปฏิภาณ ความละเอียดรอบคอบของเจ้าหน้าที่ผู้ตรวจที่เกิดเหตุ รวมไปถึงเครื่องมือที่ใช้ ในการตรวจสอบสถานที่เกิดเหตุแล้ว จะทำให้สามารถใช้ประโยชน์จาก พยานวัตถุต่างๆในสถานที่เกิดเหตุ รวมถึงจากตัวผู้เสียหายและตัวคนร้ายได้อย่างเต็มที่ ซึ่งจะนำไปสู่ความสำเร็จในการคลี่คลายคดีที่เกิดขึ้น ดังคำกล่าวที่ว่า “สถานที่เกิดเหตุคือหัวใจของงานสืบสวนสอบสวน คนร้ายจะทิ้งร่องรอยพยานหลักฐานไว้ในสถานที่เกิดเหตุเสมอ ขึ้นอยู่กับพนักงานสืบสวนสอบสวนและเจ้าหน้าที่ตรวจสอบสถานที่เกิดเหตุจะมีความรอบรู้มีไหวพริบปฏิภาณ มีประสบการณ์ในการตรวจสอบสถานที่เกิดเหตุ และเก็บวัตถุพยานมากน้อยเพียงใด” (อรรถพล แซ่มสุวรรณวงศ์และคณะ2546: คำนำ)

พยานหลักฐานตามประมวลกฎหมายวิธีพิจารณาความอาญา มาตรา 226 หมายถึง พยานวัตถุ พยานเอกสาร หรือพยานบุคคล ตลอดจนหลักฐานอื่นๆซึ่งอาจจะใช้เป็นเครื่องพิสูจน์ การกระทำผิดได้ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า พยานหลักฐานจึงหมายถึง สิ่งใดก็ตามที่สามารถจับต้องได้ ตามกฎหมาย และเป็นสิ่งที่สามารถนำเสนอในชั้นศาลเพื่อพิสูจน์ถึงข้อเท็จจริงในคดีได้

พยานหลักฐานแบ่งออกได้ 3 ประเภท ดังนี้

1. พยานหลักฐานโดยตรง (Direct Evidence) หรือเรียกว่า “พยานบุคคล” คือ หลักฐานทำให้การที่ได้จากปากคำของผู้ที่รู้เห็นเหตุการณ์ (เรียกอีกอย่างว่าประจักษ์พยาน) ซึ่งได้สัมผัสกับเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นด้วยตัวเองโดยประสาธตา หู จมูก การสัมผัสหรือลิ้มรส

2. พยานแวดล้อมกรณี (Circumstantial) พยานหลักฐานประเภทนี้มักจะไม่สามารถพิสูจน์ข้อเท็จจริงที่ต้องการทราบในคดี ได้โดยตรง แต่สามารถนำมาปะติดปะต่อ ให้เกิดความคิดลำดับหรือเชื่อมโยงเหตุการณ์เพื่อบอกถึงข้อเท็จจริงบางอย่าง หรือหลายอย่าง อาจเรียก พยานประเภทนี้ว่า พยานหลักฐานทางอ้อม (Indirect Evidence)

3. พยานหลักฐานที่แท้จริง (Real Evidence) คือพยานวัตถุทุกชนิด ไม่ว่าจะเป็น

สถานะของแข็ง ของเหลวหรือก๊าซ ซึ่งสามารถพิสูจน์ถึงข้อเท็จจริงในคดี มีความชัดเจนในตัวเอง โดยไม่ต้องอธิบาย เพียงแต่ให้รู้ว่าเป็นอะไรเท่านั้นก็เพียงพอแล้ว (อรรถพล เข้มสุวรรณวงศ์ และคณะ 2546:30)

ชนิดของพยานวัตถุแบ่งเป็นประเภทได้คือ

1. พยานวัตถุไม่ถาวร (Translate Evidence) เช่น กลิ่น อุณหภูมิ
2. พยานวัตถุที่เป็นรูปแบบ (Pattern Evidence) เช่น รูปแบบการกระเซ็นของโลหิต รูปแบบการไหม้
3. พยานวัตถุตามสภาพ (Conditional Evidence) เช่น สภาพของแสงไฟ สีของเปลวไฟ ตำแหน่งของอาวุธ
4. พยานวัตถุที่สามารถถ่ายทอดหรือโยกย้าย (Transfer Evidence) เป็นพยานวัตถุที่เกิดขึ้นจากการสัมผัสระหว่างบุคคลกับบุคคล บุคคลกับวัตถุ หรือวัตถุกับวัตถุ เช่น เขม่าปืนอันเกิดจากการใช้อาวุธปืน เป็นต้น

ประเภทของวัตถุพยานอาจแบ่งได้ดังนี้

1. วัตถุพยานจากร่างกาย (Body material) เช่น น้ำลาย โลหิต เส้นผม เส้นขน
2. วัตถุพยานที่เป็นสิ่งของ (Objects) เช่น อาวุธที่ใช้ก่อเหตุ เสื้อผ้าคนร้าย
3. รอยประทับ (Impression) เช่น รอยเท้า รอยนิ้วมือ

วัตถุพยานประเภทเขม่าดินปืนและเขม่าปืนที่เกิดจากการยิงปืน จัดเป็นวัตถุพยานที่มีลักษณะเฉพาะตัว เป็นวัตถุพยานที่สามารถนำมาใช้ตรวจสอบเพื่อทำให้ทราบว่าใครเป็นผู้ใช้อาวุธปืน (ใครเป็นคนยิง) ซึ่งจะช่วยในการเชื่อมโยงและคลี่คลายการสืบสวนสอบสวนคดีที่เกี่ยวข้องกับอาวุธปืน และเป็นพยานหลักฐานประเภทหนึ่งที่พบอยู่เสมอ ในคดีอาชญากรรมที่คนร้ายมีการใช้อาวุธปืนประกอบการก่อคดี เช่น ในคดีฆาตกรรม คดีปล้นทรัพย์ หรือคดีอื้อฉาววินาศกรรม สามารถตรวจพบเขม่าปืนได้มากจากบริเวณมือที่ใช้ยิงปืน นอกจากนั้นยังตรวจพบในบริเวณส่วนอื่นๆ ของร่างกาย เช่น จากบริเวณส่วนแขน ใบหน้า บนศีรษะ เส้นผม หรือเสื้อผ้าที่สวมใส่ในขณะที่ยิง ซึ่งจะขึ้นอยู่กับลักษณะการถืออาวุธปืนขณะทำการยิงด้วย

ตัวอย่างคดีที่มีการใช้การตรวจเขม่าปืนมาคลี่คลายคดีเช่น ในคดีคุณห้างทอง ซึ่งมีการเก็บเขม่าปืนที่มีมือทั้งสองข้าง นำไปตรวจวิเคราะห์เพื่อหาข้อสรุป และเป็นหลักฐานร่วมชิ้นหนึ่งในการพิสูจน์ถึงสาเหตุการตายว่าเกิดจากการฆาตกรรมหรืออื้อฉาววินาศกรรม

จะพิจารณาได้ว่าหากคดีที่เกิดขึ้นมีการใช้อาวุธปืนหรือมีส่วนเกี่ยวข้องกับคดี มักจะมีการตรวจพิสูจน์ที่มีความเกี่ยวข้องกับเรื่องเขม่าปืนก่อนเสมอ

จากที่ปัจจุบันกระแสนของการอนุรักษ์ธรรมชาติ การคำนึงถึงผลที่จะเกิดขึ้นของภาวะการณ์ การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิโลก (ภาวะโลกร้อน) อย่างรวดเร็ว และความเสี่ยงต่อการสะสมพิษโลหะหนักอันจะเป็นอันตรายต่อสุขภาพของผู้นิยมนการยิงปืน ทำให้ในหลายๆ โรงงานหรือบริษัทผู้ผลิตจำหน่ายกระสุนปืน หันมาลดการใช้หรือใช้ทรัพยากรธรรมชาติที่จะส่งผลกระทบต่อโลกและร่างกายของมนุษย์ น้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ ซึ่งทำให้โรงงานผลิตกระสุนปืนต่างพยายามจะพัฒนาวิธีการผลิตกระสุนปืนโดยการหาธาตุที่จะนำมาเป็นส่วนประกอบแทนธาตุโลหะหนักที่เป็นส่วนประกอบชนิดเดิม จึงเป็นที่มาของการผลิตกระสุนปืนชนิด lead-free primer ซึ่งมีแนวโน้มว่าจะมีการผลิตและใช้มากขึ้นในอนาคตอันใกล้

สันนิษฐานได้แน่นอนว่า กระสุนประเภทนี้ จะมีลักษณะเฉพาะตัวของอนุภาคหลังการยิงที่ทำให้รูปแบบของอนุภาคแตกต่างไปจากเดิม ทำให้การพิสูจน์เขม่าปืนมีความยากขึ้น จึงเป็นที่มาของงานวิจัย ที่จะหยิบยกเอาตัวอย่างของกระสุนปืนประเภทนี้ขึ้นมาทำการวิเคราะห์ และที่สำคัญ กระสุนประเภท lead-free primer ได้นำเข้ามาจำหน่ายอยู่แล้วในประเทศไทย ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเป็นแนวทางและเป็นตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์กระสุนปืนชนิด lead-free primer

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาหาลักษณะเฉพาะของเขม่าปืน(รูปแบบและองค์ประกอบของธาตุในอนุภาค) ที่เกิดขึ้นจากการยิงด้วยกระสุนปืนที่มีขนาดท้ายกระสุนปืนซึ่งไม่มีองค์ประกอบของธาตุโลหะหนัก (ตะกั่ว) หรือที่เรียก lead-free primer จากกระสุนปืนยี่ห้อ Winchester รุ่น WincleanTM ขนาด 9 มม. โดยใช้เครื่อง Scanning Electron Microscope/Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (SEM/EDS)

2. ศึกษาระยะเวลาการคงอยู่ (ระยะเวลาที่สามารถตรวจพบตามเวลาที่ได้กำหนดไว้) ของเขม่าปืนที่เกิดขึ้นจากการยิงด้วยกระสุนปืนที่มีขนาดท้ายกระสุนปืน ซึ่งไม่มีองค์ประกอบของธาตุโลหะหนัก (ตะกั่ว) หรือที่เรียก lead-free primer จากกระสุนปืนยี่ห้อ Winchester รุ่น WincleanTM ขนาด 9 มม. โดยใช้เครื่อง Scanning Electron Microscope/Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (SEM/EDS)

สมมติฐานของการวิจัย

1. ลักษณะและองค์ประกอบของธาตุจากอนุภาคเขม่าปืนของกระสุนปืนที่มีท้ายขนาดกระสุนปืนประเภทที่ไม่มีองค์ประกอบของธาตุโลหะหนัก (lead-free primer) จะมีลักษณะเฉพาะตัวและแตกต่างไปจากเขม่าปืนที่ตรวจพบจากกระสุนปืนทั่วไปที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน

2. การคงอยู่ของเขม่าป็นขึ้นอยู่กัระยะเวลา เมื่อเวลาผ่านไปจะตรวจพบจำนวนอนุภาคเขม่าป็นได้น้อยลงไปเรื่อยๆ

ขอบเขตของการวิจัย

1. ทำการศึกษาโดยการเก็บเขม่าป็นจากมือของผู้ยิง นำมาวิเคราะห์ลักษณะและองค์ประกอบของอนุภาคเขม่าป็น โดยใช้เทคนิค SEM/EDS และตรวจหาอนุภาคเขม่าป็นเมื่อเวลาผ่านไปตามที่กำหนดคือหลังยิงทันที (0 ชั่วโมง) 1 3 5 และที่ชั่วโมงที่ 7

2. ทำการศึกษาโดยการเก็บเขม่าป็นจากบริเวณแขนเสื้อและด้านหน้าของตัวเสื้อที่สวมใส่ขณะยิง โดยกำหนดให้มีช่วงระยะเวลาในการเก็บเขม่าป็นที่ต่างกันคือหลังยิงทันที (0 ชั่วโมง) 1 3 5 และที่ชั่วโมงที่ 7 เพื่อใช้ศึกษาถึงระยะเวลาตามที่กำหนดไว้ว่าจะยังสามารถตรวจพบอนุภาคเขม่าป็นบนตัวเสื้อได้หรือไม่ โดยใช้เทคนิค SEM/EDS

3. ศึกษาโดยใช้อาวุธปืนพกอัตโนมัติขนาด 9 มม. โดยใช้ กระสุนขนาด 9 มม. ยี่ห้อ Winchester รุ่น Winclean™ ยิงจำนวน 1 นัดต่อครั้งของการเก็บตัวอย่าง 1 ตัวอย่างในแต่ละช่วงเวลาตามที่กำหนดคือ หลังจากยิง(กำหนดให้เป็นที่ 0 ชั่วโมง) ชั่วโมงที่ 1, 3, 5, และชั่วโมงที่ 7 ตามลำดับ

4. การยิงปืนในทุกครั้ง ทุกตัวอย่าง และทุกนัด จะทำการยิงในระบบเปิด เนื่องจากผู้วิจัยต้องการเน้นให้เหมือนเป็นการยิงปืนตามความเป็นจริงทั่วไป

ข้อจำกัดในการวิจัย

1. เครื่อง Scanning electron microscope/Energy dispersive x-ray spectroscopy (SEM/EDS)

2. เนื่องจากไม่สามารถควบคุมตัวแปรแทรกซ้อน (Confounding Variable) เช่น อุณหภูมิ ความชื้น และสภาพแวดล้อมอื่นที่เกิดขึ้นในขณะที่เก็บตัวอย่าง การวิจัยนี้ได้พยายามลดความคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้นขณะเก็บตัวอย่างให้มากที่สุด โดยใช้วิธีการเก็บตัวอย่างแต่ละครั้งแต่ละตัวอย่างจากบุคคล ผู้ทดลองเพียงคนเดียวตลอดการทดลอง

นิยามศัพท์ที่ใช้ในการวิจัย

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM.)
เครื่องมือวิทยาศาสตร์ช่วยขยายตาประเภทกล้องจุลทรรศน์ ที่ใช้ลำแสงอิเล็กตรอนส่องกราดไป

บนพื้นผิวของตัวอย่างที่ต้องการตรวจสอบ ให้ได้ข้อมูลลักษณะปรากฏเป็นภาพขยายที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า

อนุภาคเขม่าปืน (Gunshot residue, GSR) เป็นวัตถุพยานทางวิทยาศาสตร์ประเภทหนึ่ง ซึ่งเกิดขึ้นภายหลัง จากการยิงปืน โดยมีลักษณะเป็นไอของอนุภาค ปลิวฟุ้งกระจายอยู่บริเวณ โดยรอบของอาวุธปืน

แบเรียม (Barium, Ba) เป็นธาตุโลหะหนัก และเป็นส่วนประกอบสำคัญในกระสุนปืน

ตะกั่ว (Lead, Pb) เป็นธาตุโลหะ และเป็นส่วนประกอบสำคัญในกระสุนปืน

พลวง (Antimony, Sb) จัดเป็นธาตุกึ่งโลหะ และเป็นองค์ประกอบสำคัญในกระสุนปืน

โพแทสเซียม (Potassium, K) เป็นโลหะอัลคาไลประเภทหนึ่ง ใช้เป็นองค์ประกอบ สำคัญในกระสุนปืนประเภท lead-free primer ของ Winchester Winclean™

ตัวแปรที่ใช้ในการวิจัย

ตัวแปรอิสระ ได้แก่ เสื้อ, ระยะเวลา, อาวุธปืนพกอัตโนมัติ ขนาด 9 มม.

ตัวแปรตาม ได้แก่ ระยะเวลา และบริเวณที่ทำการเก็บตัวอย่าง

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการวิจัย

1. เพื่อทราบถึงลักษณะรูปร่างและองค์ประกอบธาตุโลหะสำคัญของอนุภาคเขม่าปืน (gunshot residue) ที่เก็บตัวอย่างเขม่าปืนมาจากกระสุนปืนประเภท lead-free primer
2. เพื่อทราบถึงระยะเวลาการคงอยู่ของเขม่าปืนบนเสื้อ แขนเสื้อ และที่มือ เมื่อเวลา ผ่านไป ในระบบเปิด เปรียบเทียบกับจำนวนอนุภาคเขม่าปืนที่สามารถตรวจพบภายหลังจากการ ยิงปืน ที่ยังสามารถเก็บตัวอย่างมาวิเคราะห์พบธาตุโลหะสำคัญที่เกิดจากเขม่าปืนด้วยวิธี SEM/EDS
3. เพื่อเป็นแนวทางในการนำเทคนิคนี้ไปวิเคราะห์ เกี่ยวกับอนุภาคเขม่าปืน (gunshot residue) ที่มาจากกระสุนปืนประเภท lead-free primer
4. เพื่อแสดงองค์ประกอบของธาตุในอนุภาคเขม่าปืน (gunshot residue) มีความ หลากหลาย ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับบริษัทและกระสุนปืนในแต่ละโมเดลที่ผลิตออกมาจำหน่ายอยู่ใน ขณะนั้น
5. เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาการศึกษาวิจัย ที่เกี่ยวข้องกับอนุภาคเขม่าปืน (gunshot residue)

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

แนวคิดทางทฤษฎีและงานวิจัย ที่เกี่ยวข้องเพื่อนำมาประกอบการศึกษา เปรียบเทียบ และ ยืนยันผลที่คาดว่าจะได้รับจากการศึกษาวิจัยนี้ ประกอบด้วยเนื้อหาในส่วนต่างๆดังนี้ 1.อาวุธปืน และเครื่องกระสุนปืน 2.คราบเขม่าปืน 3.อนุภาคที่เกิดจากการยิงปืน (Gunshot Residues Particles) และ 4.หลักการพื้นฐานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ที่ประกอบกับ EDS

ความหมายของคำว่าอาวุธปืนและเครื่องกระสุนปืน ได้มีการบัญญัติคำจำกัดความไว้ใน พระราชบัญญัติอาวุธปืน เครื่องกระสุนปืน วัตถุระเบิด ดอกไม้เพลิงและสิ่งเทียมอาวุธปืน พ.ศ.2490 แก้ไขเพิ่มเติมโดยมาตรา 3 แห่งพระราชบัญญัติอาวุธปืนฯ (ฉบับที่ 3) พ.ศ. 2501 และใช้บังคับมา จนถึงปัจจุบัน ซึ่งได้ปรากฏอยู่ในมาตรา 4 แห่งพระราชบัญญัติฉบับนี้ ความดังนี้

มาตรา 4(1) “อาวุธปืน” หมายความว่ารวมตลอดถึงอาวุธทุกชนิดซึ่งใช้ส่งเครื่องกระสุนปืน โดยวิธีระเบิดหรือกำลังดันของแก๊สหรืออัดลมหรือเครื่องกลไกอย่างใด ซึ่งต้องอาศัยอำนาจของ พลังงานและส่วนหนึ่งส่วนใดของอาวุธนั้น ซึ่งรัฐมนตรีเห็นว่าสำคัญและระบุไว้ในกฎกระทรวง

ดังนั้น “อาวุธปืน” ขยายความตามมาตรา 4 อนุมาตรา 1 จึงย่อมาหมายความว่า

1. อาวุธปืนโดยตรง ได้แก่

1.1 อาวุธสำหรับใช้ยิง

1.2 มีเครื่องประกอบด้วยลำกล้องที่ทำด้วยโลหะที่ทนทานต่อแรงระเบิดของดินปืน

1.3 ดินระเบิดที่เป็นพลังขับเคลื่อนกระสุนให้ออกจากลำกล้อง

1.4 เครื่องจุลชนวนดินระเบิด หรือที่เรียกว่าเครื่องลั่นไก

1.5 กระสุนซึ่งส่วนมากทำด้วยเหล็กหรือตะกั่วเรียกว่าเครื่องกระสุนจะถูกขับเคลื่อน ออกจากลำกล้องด้วยแรงระเบิดของดินปืน

2. นอกจากอาวุธปืนตามหลักที่กล่าวในข้อ 1. แล้ว ยังให้หมายความว่ารวมตลอดถึงอาวุธ ทุกชนิด ซึ่งใช้ส่งเครื่องกระสุนปืนโดยวิธีระเบิด หรือกำลังดันของแก๊ส หรืออัดลม หรือเครื่อง กลไกอย่างใดซึ่งต้องอาศัยอำนาจของพลังงานและส่วนหนึ่งส่วนใดของอาวุธนั้นๆ ซึ่งรัฐมนตรี (รัฐมนตรีว่าการกระทรวงมหาดไทย) เห็นว่าสำคัญและระบุไว้ในกฎกระทรวง

และตามมาตรา 4(1) ได้มีกฎกระทรวงมหาดไทย ฉบับที่ 3 (พ.ศ.2490) ออกตามความ ในพระราชบัญญัติอาวุธปืน เครื่องกระสุนปืน วัตถุระเบิด ดอกไม้เพลิงและสิ่งเทียมอาวุธปืน พ.ศ. 2490 ได้กำหนดไว้ว่า

ข้อ 1. ส่วนของอาวุธปืน ซึ่งจะกล่าวต่อไปนี้ให้ถือว่าเป็น“อาวุธปืน” ตามความในมาตรา 4(1) คือ

1. ลำกล้อง
2. เครื่องลูกเลื่อน หรือส่วนประกอบสำคัญของเครื่องลูกเลื่อน
3. เครื่องลั่นไก หรือส่วนประกอบสำคัญของเครื่องลั่นไก
4. เครื่องส่งกระสุน ของกระสุน หรือส่วนประกอบสำคัญของสิ่งเหล่านี้

ดังนั้น คำว่า“อาวุธปืน” ตามกฎหมาย จึงหมายถึง อาวุธปืนทุกชนิด เช่น ปืนพก ปืนยาว ปืนลูกซอง ปืนกล ปืนใหญ่ ฯลฯ และส่วนของอาวุธปืน เช่นลำกล้อง เครื่องลูกเลื่อน เครื่องลั่นไก เครื่องส่งกระสุน ของกระสุน หรือส่วนประกอบสำคัญของสิ่งเหล่านี้ (อรรถพล แซ่มสุวรรณวงศ์ และคณะ2546:92)

มาตรา 4(2) “เครื่องกระสุนปืน” หมายความว่ารวมตลอดถึงกระสุนลูกโคด กระสุนปราย กระสุนแตก ลูกกระเบิด ตอร์ปิโด ทุ่นระเบิด และจรวดทั้งชนิดที่มีหรือไม่มีกรดแก๊ส เชื้อเพลิง เชื้อโรค ไอพิช หมอกหรือควัน หรือกระสุนลูกกระเบิด ตอร์ปิโด ทุ่นระเบิด และจรวดที่มีคุณสมบัติคล้ายคลึงกันหรือเครื่องหรือสิ่งสำหรับอัดหรือทำหรือใช้ประกอบเครื่องกระสุนปืน

คำว่า“เครื่องกระสุนปืน” ขยายความตามมาตรา 4 อนุมาตรา 2 เครื่องกระสุนปืนจึงย่อมมีความหมายดังนี้

1. เป็นเครื่องหรือสิ่งสำหรับอัดหรือทำ หรือใช้ประกอบเครื่องกระสุนปืน อันได้แก่ดินปืนและลูกกระสุนปืนและเครื่องจุดระเบิดของดินปืนเป็นสาระสำคัญของเครื่องกระสุนปืน

2. เครื่องกระสุนปืนยังหมายความว่ารวมตลอดถึงกระสุนโคด กระสุนปราย กระสุนแตก ลูกกระเบิด ตอร์ปิโด ทุ่นระเบิด และจรวด ซึ่งใช้เป็นเครื่องมือประหารหรือทำลายด้วยแรงประทะของกระสุนปืน

3. เครื่องกระสุนปืนดังกล่าวในข้อ 2 ที่มีกรดแก๊ส เชื้อเพลิง เชื้อโรค ไอพิช หมอกหรือควัน เช่นปืนแก๊สน้ำตา ปืนเพลิงที่ใช้ในการปราบจลาจล หรือปืนที่ใช้ยิงหมอกควัน หรือแก๊สพิษ สำหรับใช้ในการสงคราม เป็นต้น

4. กระสุนของลูกกระเบิด ตอร์ปิโด ทุ่นระเบิดและจรวดที่มีคุณสมบัติคล้ายคลึงกัน ซึ่งตามข้อนี้ได้แก่ กระสุนปืนรถถัง หรือตอร์ปิโดที่ยิงไปจากเรือดำน้ำหรือจรวดที่ยิงจากฐานบนพื้นดินหรือจากเครื่องบิน หรือทุ่นระเบิดที่ถูกยิงจากเรือรบไปปล่อยไว้ในน่านน้ำใดน่านน้ำหนึ่งเพื่อดักทำลายฝ่ายข้าศึก เหล่านี้เป็นเครื่องกระสุนปืนที่ยิงมาจากอาวุธปืนแล้วไประเบิดด้วยตัวของมันเองอีกชั้นหนึ่ง (เฉลิม ศักดิ์อรรถกรณ2536,10-12)

ดังนั้นตามกฎหมาย คำว่า “เครื่องกระสุน” จึงหมายถึง

1. กระสุน ซึ่งประกอบด้วย ลูก(หัว)กระสุนปืน ปลอกกระสุนปืน ดินสักระสุนปืนหรือดินปืน ขนวนท้ายกระสุนปืนหรือแก๊ปปืน เช่น กระสุนปืนรีวอลเวอร์ ขนาด .38 special กระสุนปืนออโตเมติก ขนาด .45 เป็นต้น
2. กระสุนโคด กระสุนปราย กระสุนแตก ลูกกระเบิด ตอร์ปิโด พุนระเบิด และจรวดทั้งที่มีหรือไม่มีกรด แก๊ส เชื้อเพลิง เชื้อโรค ไอพิษ หมอกหรือควัน
3. กระสุน ลูกกระเบิด ตอร์ปิโด พุนระเบิด และจรวดที่มีคุณสมบัติคล้ายคลึงกัน
4. เครื่องหรือสิ่งสำหรับอัดหรือทำ หรือใช้ประกอบเครื่องกระสุน

อาวุธปืนและเครื่องกระสุนปืน (อัมพร จารุจินดา, 2542)

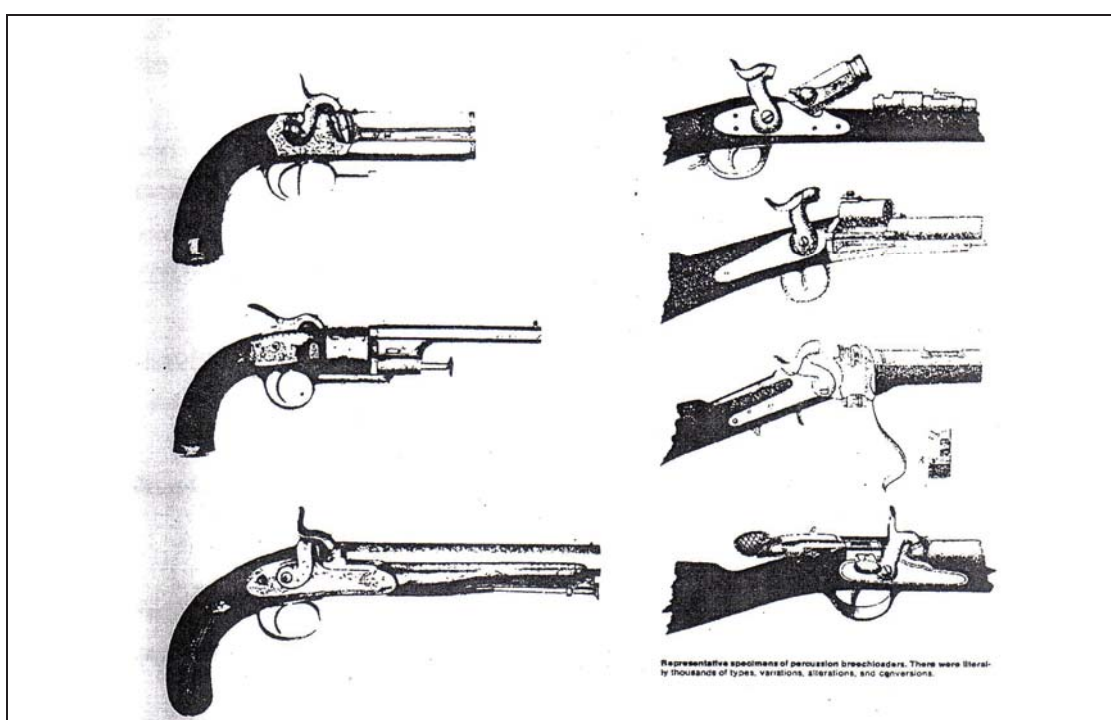
อาวุธปืนกระบอกแรกใครเป็นผู้สร้าง ไม่สามารถบอกได้ รู้แต่เพียงว่าอาวุธปืนแบบแรกทำด้วยท่อโลหะ ซึ่งสามารถส่งลูกกระสุนวิถีโค้งวิ่งไปได้ระยะทางหนึ่ง หรือไปยังเป้าหมายไกลๆ โดยมีดินปืนเป็นตัวขับเคลื่อนลูกกระสุน จึงใช้คำว่า “Lock” สำหรับเรียกกระบอกดินระเบิดของอาวุธปืนแบบแรกนี้

อาวุธปืนแบบเริ่มแรกเรียกกันว่า “ปืนประจุปาก หรือบรรจุปาก” (Muzzle Loading) คือลักษณะของลำกล้องปืนเป็นท่อโลหะกลวง ปลายข้างหนึ่งอุดตัน ใกล้เคียงปลายท่อข้างอุดตันมีรูเล็กๆ เจาะทะลุเข้าไปภายในลำกล้องปืน เวลาบรรจุดินปืนและลูกกระสุนปืนก็จะต้องบรรจุเข้าทางปากลำกล้อง โดยเอาดินปืนบรรจุเข้าไปก่อน และใช้หมอนกระสุนปืน(Wad) อัดตามลงไป แล้วกระทุ้งให้แน่น จึงบรรจุลูกกระสุนปืนและมีหมอนกระสุนปืนอัดตามลงไป กระทุ้งให้แน่นอีกครั้ง ดินปืนซึ่งถูกอัดแน่นจะมีบางส่วนล้นออกมาทางรูเจาะทะลุที่อยู่ข้างลำกล้องที่กล่าวข้างต้น ซึ่งใช้เป็นดินล่อ หรืออาจจะใส่ดินล่อเข้าไปในรูดังกล่าวจากข้างนอกก็ได้ เวลาจะยิงปืนก็เอาไฟ โลหะเผาไฟ หรือถ่านติดไฟแดงๆ มาจุดหรือจี้ที่ดินล่อ เมื่อดินล่อติดไฟ ไฟจะลามเข้าไปติดดินปืนซึ่งถูกอัดแน่นอยู่ภายในลำกล้องปืนและเกิดการเผาไหม้ของดินปืนอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดแก๊สจำนวนมากมหาศาลและเกิดกำลังดันสูงขึ้นภายในลำกล้อง ดันให้ลูกกระสุนปืนวิ่งออกจากลำกล้องปืนไปได้

หมอนกระสุนปืนในสมัยเริ่มแรกทำด้วยไม้เนื้ออ่อน หรือพวกวัสดุเส้นใยนุ่มๆ เช่น ฝอยกาบมะพร้าวที่ตั้งกันอยู่ในชนบทของประเทศไทยในปัจจุบัน เพราะจะได้ง่ายต่อการที่จะใช้ไม้หรือแท่งโลหะกระทุ้งอัดให้แน่นได้ดีขึ้น ถ้าหมอนกระสุนปืนอัดไม่แน่นก็จะเกิดรอยรั่วของแก๊สตามขอบของหมอนได้ อันจะเป็นเหตุให้กำลังลูกกระสุนปืนไม่ดี ลูกกระสุนปืนที่ถูกยิงออกไปก็จะมีความเร็วต่ำทำให้ไปไม่ได้ไม่ไกล

ตั้งแต่ศตวรรษที่ 18 เป็นต้นมา มนุษย์มีความรู้ทางเคมีเพิ่มมากขึ้น ทำให้มีผู้คิดค้นสารเคมีที่เป็นสารวัตถุระเบิด ที่เมื่อถูกกระทบกระแทกอย่างแรงแล้วจะสามารถระเบิดขึ้นได้ สารเคมีที่ว่า

นั่นคือ Fulminate of Mercury ซึ่งถือได้ว่าเป็น Priming powder ตัวแรก ที่มนุษย์นำมาใช้ในการยิงปืน หลักฐานตามประวัติศาสตร์ บันทึกไว้ว่าตั้งแต่ปี ค.ศ. 1703 นักวิทยาศาสตร์ชาวฝรั่งเศสเป็นผู้ค้นพบว่า Fulminate of Mercury เป็นวัตถุระเบิด จนกระทั่งในปี ค.ศ. 1793 บาทหลวงชาวสก็อตแลนด์ ชื่อ Alexander John Forsyth ได้ทดลองนำเอา Fulminate of Mercury เป็นตัวจุดดินปืนขึ้น โดยให้ชื่อปืนชนิดนี้ว่า ปืนแบบ Percussion Locks ซึ่งได้ผลิตขึ้นเป็นครั้งแรกในกรุงลอนดอน ต่อมาในปี ค.ศ. 1812 Forsyth ได้ร่วมมือกับ James Watts ประดิษฐ์ปืนแบบ Percussion Locks ขึ้นหลายแบบ



ภาพที่ 1 อาวุธปืน Percussion Locks แบบต่าง ๆ

ที่มา : พลตำรวจตรีอัมพร จารุจินดา, “การตรวจพิสูจน์อาวุธปืนและเครื่องกระสุนปืน,” เอกสารความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับอาวุธปืนและกระสุนปืนสำหรับผู้เข้าอบรม กองพิสูจน์หลักฐาน สำนักงานวิทยาการตำรวจ, 2542.1-38. (อัคราณา)

ในยุคของ Percussion Locks นี้ มีอาวุธปืนแบบต่าง ๆ ได้ถูกประดิษฐ์ขึ้นมาอีกมากมาย โดยเฉพาะพวกปืนแบบ Breech Loading เริ่มมีใช้กันมาก ถึงแม้ว่าจะยังไม่มีผู้ใดสามารถประดิษฐ์กระสุนปืนขึ้นมาได้ก็ตาม นอกจากนี้ภายในลำกล้องปืนก็ได้มีการทำเกลียวกันขึ้นมาใช้มากขึ้น และลูกกระสุนปืนก็มีรูปร่างต่าง ๆ กันไม่ได้เป็นลูกตะกั่วกลม เพียงอย่างเดียว อีกทั้งยังมีการประดิษฐ์ปืนแบบที่สามารถยิงซ้ำได้ (Repeating Arms) เช่น ปืนรีวอลเวอร์ เป็นต้น

ในกลางศตวรรษที่ 19 ปืนแบบ Percussion Locks ก็มีใช้กันอย่างแพร่หลายทั่วไปทั้งทวีปยุโรปและอเมริกา พร้อมกันนี้ก็ได้มีผู้พยายามคิดค้นสร้างกระสุนปืนชนิดเป็นนัด และมีระบบจุดดินปืน อยู่ภายในกระสุนปืนแต่ละนัดขึ้นมามากมาย แต่ก็ยังใช้การไม่ได้ เพราะเก็สจากการเผาไหม้ดินปืนสามารถรั่วออกทางท้ายลำกล้องปืนได้

ปืนแบบ Percussion Locks นี้ ในปัจจุบันยังคงมีใช้กันอย่างกว้างขวางทั่วไป เช่นในชนบทที่ห่างไกลของประเทศไทย ในประเทศอินเดียและบางประเทศในทวีปอาฟริกา ตลอดจนกลุ่มคนที่นิยมใช้อาวุธปืนแบบ Muzzle Loading ในประเทศสหรัฐอเมริกาและอังกฤษ เป็นต้น ซึ่งปืนแบบนี้ไทยเราเรียกว่า“ปืนแกล๊ป”



ภาพที่ 2 ปืนแกล๊ป หรืออาวุธปืนแบบ Muzzle Loading

ที่มา : TODAY'S MUZZLELOADER HUNTER in Alaska, Reviewing the Parts of the Muzzleloader [online], accessed 3 September 2011. Available from http://www.hunter-ed.com/akm/course/ch2_know_your_muzzleloader.htm

ภายหลังจากการที่มีการประดิษฐ์กระสุนปืนแบบ Rim Fire และ Center Fire ขึ้นมาได้ อาวุธปืนแบบและขนาดต่าง ๆ กัน ก็ถูกพัฒนาขึ้นมามากมาย อาวุธปืนที่มีประสิทธิภาพสูง เช่น ปืนกลต่าง ๆ ได้รับการพัฒนาอย่างรวดเร็ว ทำให้การแยกแยะจัดหมวดหมู่อาวุธปืนทำได้ยาก ในที่นี้จะแบ่งประเภทอาวุธปืนตามการใช้งาน ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ประเภท คือ

1. ปืนพก (Pistol) ปืนจำพวกนี้สามารถใช้งานได้ด้วยมือเดียว เพราะมีขนาดเล็กทำให้พกพาติดตัวไปได้สะดวก สามารถซ่อนหรือพกปิดได้ง่าย และเนื่องจากเป็นอาวุธปืนที่มีขนาดเล็กจึงทำให้อ่านการยิงมีระยะไม่ไกลมากนัก ซึ่งถ้าแบ่งตามลักษณะของอาวุธปืนจำพวกนี้แล้วสามารถแบ่งได้อีก เป็น 3 ชนิด คือ

1.1 ปืนพกกึ่งอัตโนมัติ (Semi-Automatic Pistol) เป็นปืนพกที่บรรจุกระสุนปืนได้หลายนัดด้วยการบรรจุไว้ในช่องกระสุนปืน (Magazine) หลักการทำงานคือเป็นปืนที่อาศัยพลังงานจากการระเบิดของกระสุนปืน มาเคลื่อนไหวก่อให้เกิดการเลื่อนเพื่อคายปลอกกระสุนปืนและบรรจุกระสุนปืนนัดใหม่เข้าในรังเพลิง แต่ต้องมีการปล่อยและเหนี่ยวไกใหม่เพื่อทำการยิงกระสุนปืนนัดต่อไป

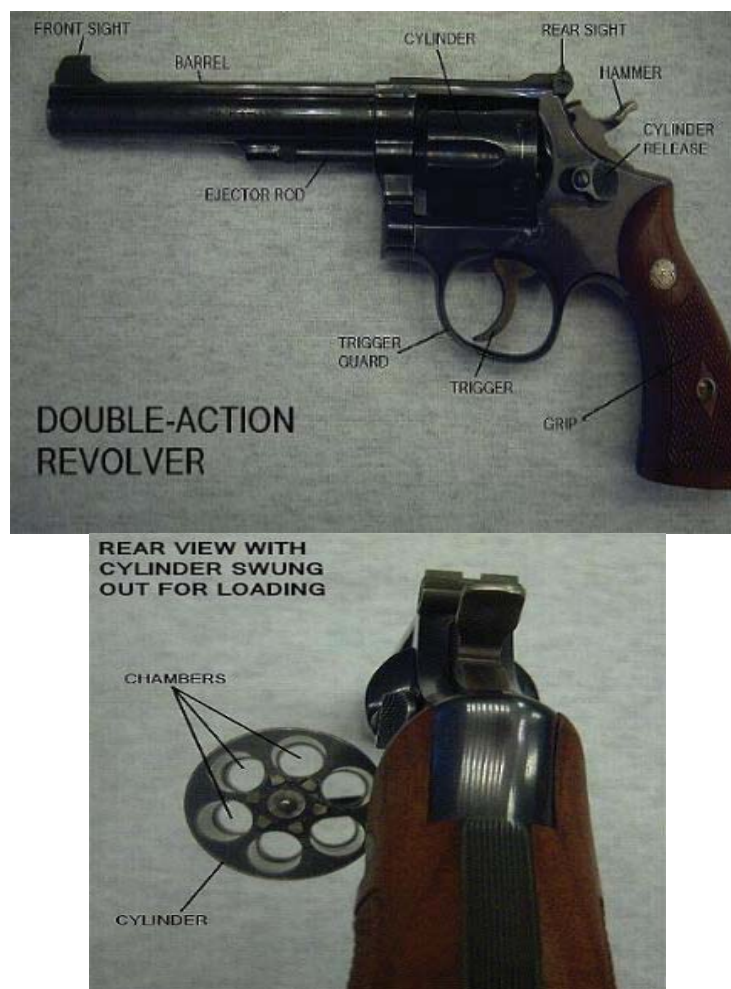


ภาพที่ 3 ปืนพกกึ่งอัตโนมัติ

ที่มา : [HANDGUN BASICS](http://www.sff.net/people/sanders/rrdws2.html) [online], accessed 3 September 2011. Available from <http://www.sff.net/people/sanders/rrdws2.html>

1.2 ปืนพกลูกโม้ (Revolver) เป็นปืนพกที่มีช่องรังเพลิงสำหรับบรรจุกระสุนปืนที่เรียงติดกันเป็นวงกลมรอบแนวแกนลำกล้องปืนเรียกว่า ลูกโม้ (Cylinder) และมีกลไกสำหรับหมุนเอาช่องรังเพลิงถัดไปมาจ่ออยู่กับท้ายลำกล้องปืนเมื่อมีการเหนี่ยวไกปืนหรือทำงานกัปัน ปืนพก

ชนิดนี้ รังเพลิงและลำกล้องปืนจะแยกออกเป็นคนละส่วนกัน (อรรถพล เข้มสุวรรณวงศ์และคณะ 2546:93)



ภาพที่ 4 ปืนพกลูกโม

ที่มา : HANDGUN BASICS [online], accessed 3 September 2011. Available from <http://www.sff.net/people/sanders/rdws2.html>

1.3 ปืนพกแบบอื่น ๆ (Miscellaneous Handgun) เป็นปืนที่ผลิตออกมาเพื่อให้ผู้ที่ไม่เคยพบเห็นคิดว่าไม่ใช่อาวุธปืน การผลิตดังกล่าวส่วนใหญ่เพื่อนำไปให้สายลับใช้ป้องกันตัว ยามจำเป็น มีบ้างที่ผลิตเพื่อการค้า แต่ก็มักเป็นของต้องห้ามในเกือบทุกประเทศ เพราะปืนเหล่านี้มีขนาดเล็ก ซุกซ่อนได้ง่ายและยังสังเกตได้ยากกว่าเป็นปืนหรือไม่ ตัวอย่างเช่น ปืนปากกา, ปืนหัวเข็มขัด, ปืนไฟแช็ค, ปืนพวงกุญแจ, ปืนไม้เท้า เป็นต้น



ภาพที่ 5 แหวนปิ่น

ที่มา : รูปแหวนปิ่น ก่อนจะมาเป็นปืนปากกา [online], accessed 3 September 2011. Available from <http://atcloud.com/stories/18115>



ภาพที่ 6 ปืนปากกา

ที่มา : ปืนปากกานวัตกรรมด้านอาวุธแบบฉบับไทยๆ [online], accessed 3 September 2011.

Available from <http://topicstock.pantip.com/wahkor/topicstock/2007/10/x5899379/x5899379.html>

2. ปืนกลมือ (Sub-Machine Gun) มีลักษณะอันพึงประสงค์อย่างหนึ่งคือ สามารถใช้กระสุนปืนร่วมกับปืนพกได้ นอกจากนั้นยังสามารถยิงได้ทั้งแบบอัตโนมัติและกึ่งอัตโนมัติระยะยิงหวังผลได้ดีกว่าปืนพก



ภาพที่ 7 ปืนกลมือ (Sub-Machine Gun) – model. MP-5n.

ที่มา : EQUIPMENT GUIDE, Weapon small arms [online], accessed 3 September 2011. Available from <http://tech.military.com/equipment/view/89062/mp-5n-9mm-submachine-gun.html>

3. ปืนเล็ก ชนิดของปืนเล็กในที่นี้ หมายถึง ปืนที่ทำการยิงโดยอาศัยการประทับไหล่ ซึ่งมีขนาดต่าง ๆ กัน ดังนี้

3.1 ปืนเล็กยาว (Rifle) เป็นอาวุธปืนที่เล็ก ที่มีความยาวลำกล้องประมาณ 24-30 นิ้ว

3.2 ปืนเล็กสั้น (Carbine) เป็นปืนที่สร้างขึ้นโดยประสงค์ให้ผู้ที่มิหนำซ้ำมีหน้าที่จะมาใช้ โดยไม่เกิดความเกะกะในการนำพา และสามารถใช้ได้คล่องตัวขึ้น ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับปืนเล็กยาวทุกอย่าง ตลอดจนการทำงานของเครื่องกลไก จะต่างกันเพียงความยาวลำกล้องที่สั้นกว่าเท่านั้น

3.3 ปืนเล็กยาวบรรจุเอง (Self Loading Rifle) เป็นปืนเล็กยาวที่สามารถยิงซ้ำต่อเนื่องได้ กล่าวคือผู้ยิงเพียงแต่ทำหน้าที่ในการเหนี่ยวไกเมื่อต้องการยิงกระสุนนัดต่อไป จึงทำให้การยิงมีความรวดเร็วขึ้น ประมาณ 8-16 นัด ภายในเวลา 3-4 วินาที

3.4 ปืนเล็กสั้นบรรจุเอง (Self Loading Carbine) ก็มีหลักการเดียวกันกับปืนเล็กยาวบรรจุเอง ต่างกันก็เฉพาะลำกล้องที่สั้นกว่าเท่านั้นเอง

3.5 ปืนกลเล็ก (Assault Rifle) เป็นปืนยาวที่สามารถยิงได้ทั้งแบบอัตโนมัติ และแบบกึ่งอัตโนมัติ



ภาพที่ 8 ปืนเล็ก (ในภาพเป็น ปืน Rifle หรือที่เรียกว่า ปลย.- ปืนเล็กยาว AK-47 และ M-16)

ที่มา : William Sanders. WHAT IS AN ASSAULT RIFLE? [online], accessed 3 September 2011.

Available from <http://www.sff.net/people/sanders/ar.html>

4. ปืนกล (Machine Gun) เป็นปืนที่มีการยิงระบบครบรอบอัตโนมัติสมบูรณ์ (Full Automatic) กล่าวคือ ตลอดเวลาที่ผู้ยิงยังเหนี่ยวไกปืนไว้ ปืนจะทำการยิงติดต่อกันได้โดยตลอด และจะหยุดยิงต่อเมื่อผู้ยิงปล่อยไกปืน หรือกระสุนหมด ใช้กับกระสุนปืนไรเฟิลทางทหาร เนื่องจากการยิงลักษณะนี้จะทำให้เกิดการสั่นสะเทือนกับตัวปืน จึงจำเป็นต้องอาศัยขาทรายหรือขาหยั่งเป็นส่วนประกอบเพิ่มขึ้น อีกทั้งตัวปืนมีขนาดใหญ่และน้ำหนักมาก ต้องใช้คนยิงตั้งแต่ 2 คนขึ้นไป และมีระบบการป้อนกระสุนปืนด้วยแมกกาซีน ปืนกลแบบนี้มี 2 ชนิด คือ

4.1 ปืนกลเบา เป็นปืนกลที่มีน้ำหนักตั้งแต่ 35 ปอนด์ลงไป

4.2 ปืนกลหนัก เป็นปืนกลที่มีน้ำหนักมากกว่า 35 ปอนด์ขึ้นไป



ภาพที่ 9 Machine gun

ที่มา : VISUAL DICTIONARY ONLINE [online], accessed 3 September 2011. Available from

<http://visual.merriam-webster.com/society/weapons/light-machine-gun.php>

อาวุธปืนแบบต่าง ๆ ตามที่ได้กล่าวมานั้น จะใช้ได้ผลดีมีอานุภาพสูงสุด ก็ต่อเมื่อ กระสุนปืนจะต้องประกอบด้วยสิ่งสำคัญ 3 สิ่ง คือ

1. กระสุนปืนจะต้องเป็นแบบ “Fixed Charge” คือ มีปลอกกระสุนปืน, แก๊ป, ดินปืน และลูกกระสุนปืน รวมอยู่เป็นอันเดียวกัน

2. ปลอกกระสุนปืนจะต้องขยายตัวได้ เพื่อว่า เมื่อกระสุนปืนถูกยิงปลอกกระสุนปืน จะขยายตัวได้แนบสนิทกับผนังรังเพลิง เพื่อป้องกันไม่ให้แก๊สรั่วย้อนออกทางข้างปลอกกระสุนปืน ได้ และยังต้องง่ายต่อการที่จะดึงปลอกกระสุนปืนที่ยิงแล้วออกจากรังเพลิง

3. แก๊ป หรือ Primer Cap จะต้องมีความแข็งแรง (Anvil) สำหรับรับการกระแทกของ เข็มแทงชนวนสร้างติดไว้ด้วย ในกรณีที่เป็นกระสุนแบบชนวนกลาง หรือมีตัวรับการตีของ เข็มแทงชนวน แบบที่เรียกว่า Folded Head ในกระสุนปืนแบบชนวนริม

กระสุนปืน (Metallic Cartridge)

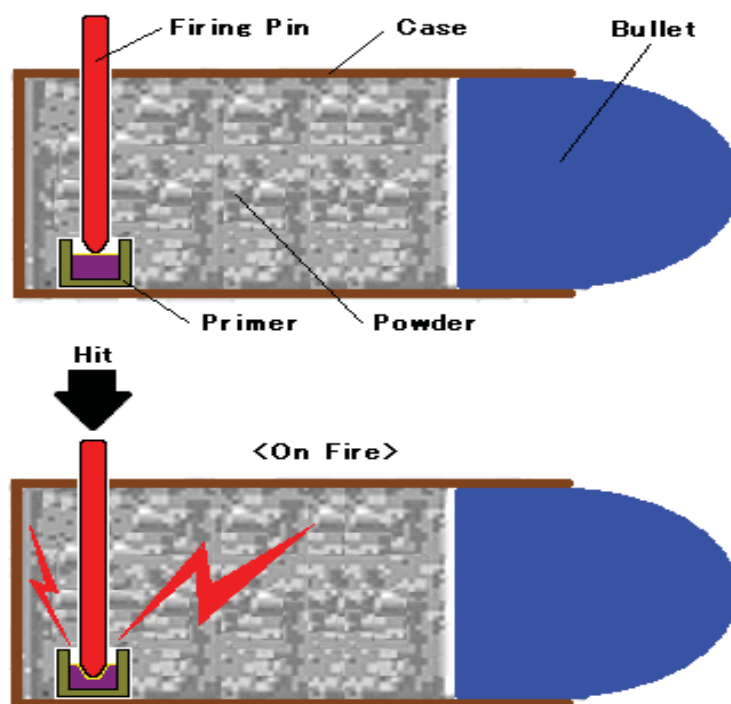
ตั้งแต่มีการผลิตกระสุนปืนขึ้นมาได้ จนถึงปัจจุบันนี้ Metallic Cartridge มีด้วยกันถึง 11 แบบ ที่สำคัญ และผลิตออกมาจำหน่ายทางการค้ามีอยู่ 3 แบบ

1. Pin Fire Cartridge เป็นกระสุนปืนแบบแรกที่สูงขึ้นโดยช่างทำปืนชาวเมืองปารีส ชื่อ E.Lefauchaux ในปี ค.ศ. 1835 และผลิตออกจำหน่ายในปี ค.ศ. 1836 โดยมีทั้งกระสุนปืน ไรเฟิล กระสุนปืนพก และกระสุนปืนลูกซอง ในตอนแรกปลอกกระสุนปืนทุกชนิดทำด้วย กระดาษ ส่วนท้ายเป็นทองเหลือง และมีเข็มโผล่ออกมาทางด้านข้างปลอกกระสุน ปลายเข็ม อีกด้านหนึ่งฝังอยู่ภายในปลอกกระสุนปืนโดยวางอยู่บนแก๊ป (Primer Cap) ซึ่งบรรจุอยู่ในถ้วย โลหะ อาวุธปืนที่ใช้กระสุนปืนแบบนี้ ที่นกปืนไม่มีเข็มแทงชนวน เวลายิง นกปืนจะกระแทกลง บนเข็มที่โผล่ออกมาข้างปลอกกระสุนปืน และปลายเข็มอีกข้างหนึ่งก็จะกระแทกกับแก๊ป เกิดระเบิดขึ้น ประกายไฟก็จะไปเผาไหม้ดินปืนต่อไป กระสุนปืนแบบ Pin Fire มีอายุการใช้งาน ไม่นานนัก ก็ถูกแทนที่ด้วยกระสุนปืนแบบใหม่ คือ Rim Fire



ภาพที่ 10 กระสุนแบบ Pin fire (ด้านซ้ายขนาด 7 มม. – ด้านขวาขนาด 9 มม.)

ที่มา : [HL EBOOKS](http://www.hlebooks.com/pinfire/pin00.htm) [online], accessed 3 September 2011. Available from [http:// www. hlebooks. com/pinfire/pin00.htm](http://www.hlebooks.com/pinfire/pin00.htm)



ภาพที่ 11 แสดงโครงสร้างกระสุนปืนแบบ Pin fire

ที่มา : [WIKIMEDIA COMMONS](http://commons.wikimedia.org/wiki/file:Pinfire.png) [online], accessed 3 September 2011. Available from <http://commons.wikimedia.org/wiki/file:Pinfire.png>

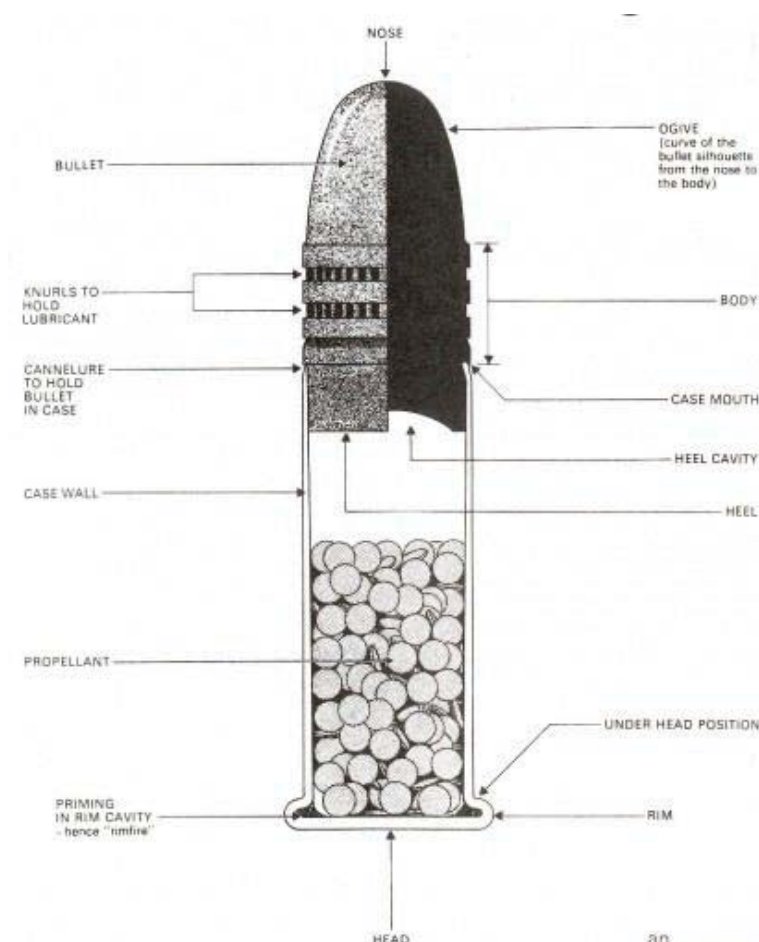
2. Rim Fire Cartridge เป็นกระสุนปืนที่ออกแบบทำให้มีชนวนท้ายกระสุนปืนอยู่บริเวณขอบจานท้ายกระสุนปืน โดยกระสุนปืนชนิดนี้จะลั่นได้ก็ต่อเมื่อเข็มแทงชนวนแทงไปที่บริเวณรอบขอบจานท้ายกระสุนปืนเท่านั้น จะเห็นได้ทั่วไปในกระสุนปืนลูกกรด ขนาด .22 ซึ่งใช้ Picrate จาก Picric Acid ในการทำชนวน เหตุที่กระสุนปืนลูกกรด ขนาด .22 ทำแบบชนวนริมเนื่องจากกระสุนปืนมีขนาดเล็ก การทำแบบชนวนกลาง (Center Fire) ทำได้ยากและมีต้นทุนสูง

กระสุนชนวนริมในอดีตมีใช้ตั้งแต่ขนาด .22 ขึ้นไปจนถึงขนาด .41 ข้อเสียของกระสุนประเภทนี้คือ ปลอกกระสุนไม่สามารถที่จะนำเอากลับมาบรรจุได้หรือรีโหลด (Reload) ได้ใหม่หรือถ้าจะต้องยุ่งยากและเสียเวลา ปัจจุบันกระสุนที่เป็น Rim fire ยังคงใช้อยู่ในกระสุนขนาด .22 short .22 long .22 rifle และ .22 magnum



ภาพที่ 12 กระสุนแบบ Rim Fire

ที่มา : [Sporting_GUN](http://www.sportinggun.co.uk/instruction/428384/Which_rimfire_rifle_is_best_for_me.html) [online], accessed 3 September 2011. Available from http://www.sportinggun.co.uk/instruction/428384/Which_rimfire_rifle_is_best_for_me.html



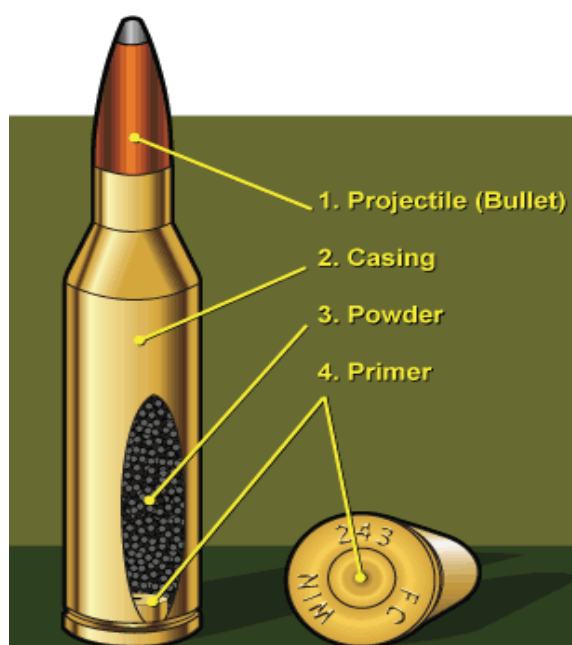
ภาพที่ 13 แสดงโครงสร้างกระสุนปืนแบบ Rim fire

ที่มา : [Firearms – weapons and ammunition](http://www.forensicmed.co.uk/wounds/firearms/) [online], accessed 3 September 2011. Available from <http://www.forensicmed.co.uk/wounds/firearms/>

3. Center Fire Cartridge เป็นกระสุนปืนที่เข็มแทงชนวนจะต้องแทงให้ถูกตรงกลางของงานท้ายกระสุนปืน จึงจะลั่นได้ มีใช้กันตั้งแต่ปี ค.ศ. 1861 แต่กว่าจะมีคุณภาพเหมือนกับที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน ก็ได้มีการปรับปรุงแก้ไขกันอย่างมากมาย ตั้งแต่วัสดุที่ใช้ทำปลอกกระสุน ดินปืน ลูกกระสุนปืน Primer Cap และ Priming Mixture



ภาพที่ 14 ตัวอย่างกระสุนปืนแบบ Center Fire (ในภาพเป็นกระสุน Winchester รุ่น Winclean™)



ภาพที่ 15 แสดงโครงสร้างกระสุนปืนแบบ Center fire

ที่มา : So What's The Deal? Explanation On Center Fire & Rim Fire Rifles [online], accessed 3 September 2011. Available from <http://activemerchandise.net/?tag=pigs>

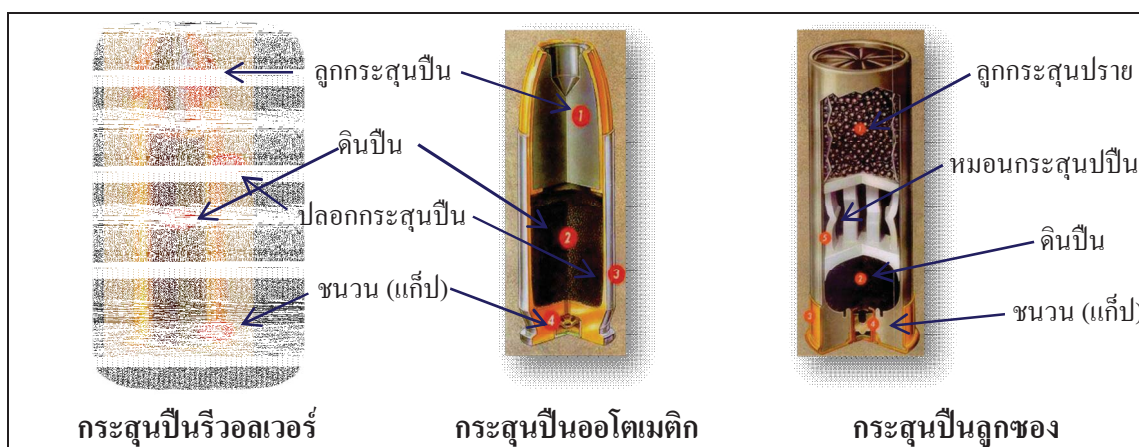
เมื่อกระสุนปืน Rim Fire และ Center Fire ถูกสร้างขึ้นมา ก็นับเป็นจุดเริ่มของการพัฒนาอาวุธปืนสมัยใหม่ขึ้นมา ทำให้มีปืนแบบที่สามารถยิงซ้ำได้ เช่นแบบ Lever Action, Pump Action, Semi-Automatic และปืนกลแบบต่าง ๆ ทำให้อาวุธปืนได้รับการพัฒนาทั้งทางคุณภาพและประสิทธิภาพขึ้นอย่างมากมาย โดยเฉพาะในช่วงหลังสงครามโลกครั้งที่ 2 เป็นต้นมา ซึ่งในสมัยเริ่มแรกที่มีอาวุธปืนนั้น กว่าจะยิงปืนแต่ละนัดต้องใช้เวลามาก ความแม่นยำก็ไม่ดี แต่ในปัจจุบันนี้อาวุธปืนลำกล้องเดี่ยวสามารถยิงได้เร็วที่สุดถึง 1,200 นัดต่อนาที ดังเช่นปืนกลมือ Ingram M.10 และ M.11 เป็นต้น



ภาพที่ 16 ปืนกลมือ Ingram M. 10(ขวา) และ Ingram M. 11(ซ้าย) โดย M. 11 จะมีขนาดใหญ่กว่า
ที่มา : [GUNS GUNS GUNS for VC](http://www.gtaforums.com/index.php?showtopic=185108) [online], accessed 3 September 2011. Available from
<http://www.gtaforums.com/index.php?showtopic=185108>

กระสุนปืนโดยทั่วไปมีส่วนประกอบที่สำคัญ 4 ส่วน คือ

1. ลูกกระสุนปืน หรือหัวกระสุนปืน (Bullet)
2. ปลอกกระสุนปืน (Cartridge Case)
3. ดินสักระสุนปืน (Gun Powder)
4. แก๊ป (Primer Cap) หรือ ขนวนท้ายกระสุนปืน (Primer)



ภาพที่ 17 แสดงส่วนประกอบที่สำคัญของกระสุนปืน

ที่มา : ญัฐนันท์ ชาตริภักดิ์, “การตรวจเขม่าปืนบนเสื้อผ้าด้วยเทคนิค SEM/EDS” (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบัณฑิต สาขานิติวิทยาศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2551), 16.

1. ลูก(หัว)กระสุนปืน (Bullet)

ลูกกระสุนปืนในตอนแรกเป็นพวกลูกดอก ลูกธนู หินกลม ๆ เป็นต้น ต่อมาก็ใช้ลูกเหล็กหรือตะกั่ว ซึ่งต่อมาพบว่า ลูกเหล็กหรือตะกั่วจะให้ระยะยิงไกลกว่าอย่างอื่น แต่ในที่สุดก็พบว่า ตะกั่วเป็นสารเดียวที่เหมาะสมที่สุดที่จะใช้ทำลูกกระสุนปืน เนื่องจากมีคุณสมบัติที่มีน้ำหนักดี ราคาถูก และง่ายในการที่จะหลอมหรือหล่อทำรูปแบบต่างๆ ตั้งแต่เริ่มวิวัฒนาการของอาวุธปืน เป็นต้นมา ลูกกระสุนปืนที่ใช้ จะทำด้วยตะกั่วล้วนๆ ยาวนานมาเป็นเวลานานถึง 525 ปี จนกระทั่งในปี ค.ศ. 1880 - 1890 จึงได้มีลูกกระสุนปืน แบบที่เรียกว่า Jacketed Bullet เกิดขึ้น ซึ่งในสมัยนั้น Jacket จะทำด้วยทองเหลือง หรือทองแดงบาง ๆ หุ้มแกนตะกั่วไว้ภายใน ลูกกระสุนปืนในปัจจุบันมีอยู่ด้วยกัน 2 แบบ คือ

1. Lead bullet เป็นลูกกระสุนปืนที่ทำด้วยตะกั่ว เพราะราคาถูกและเป็นลูกกระสุนปืนที่ใช้กับกระสุนปืนที่มีความเร็วต้นต่ำกว่า 2,000 ฟุตต่อวินาที เนื่องจากความร้อนที่เกิดจากแรงระเบิดของดินปืนไม่สูงเกินไปจนทำให้ตะกั่วละลาย แต่ลูกกระสุนปืนชนิดนี้ถ้าใช้จะทำด้วยตะกั่วล้วนๆ เพราะจะอ่อนเกินไป ดังนั้นจึงต้องใช้โลหะอื่นผสมลงไปเพื่อให้มีความแข็งแรงขึ้น ซึ่งส่วนใหญ่โลหะที่ใช้ผสมมักจะเป็นโลหะจำพวก พลวง (Sb) หรือดีบุก (Tin)

ลูกกระสุนปืนขนาดเล็กสำหรับปืนพกทั่ว ๆ ไป ที่โรงงานผลิตออกขาย จะใช้ตะกั่วผสมกับพลวง แต่ลูกกระสุนที่อัดใช้เอง มักจะใช้ตะกั่วผสมดีบุก เพราะง่ายในการหลอมและหล่อขึ้นรูป

ลูกกระสุนปืน ในปัจจุบันนี้ ลูกกระสุนปืนที่ทำด้วยตะกั่ว มีลักษณะตอนท้ายของลูกกระสุนปืนอยู่ 5 แบบ คือ

ก. Plain Base แบบนี้ ก้นลูกกระสุนปืนจะเรียบเสมอกัน
 ข. Hollow Base แบบนี้ก้นลูกกระสุนปืนจะเว้าเข้า หรือกลวงลึก
 ค. Gas Check Base แบบนี้จะมีถ้วยทองแดงหรือทองเหลืองบางๆ หุ้มก้นลูกกระสุนปืน เพื่อป้องกันตะกั่วส่วนก้นละลาย เนื่องจากความร้อนในกระสุนปืนเป็นแบบ High Temperature and Pressure

ง. Zinc Washer Base แบบนี้ส่วนก้นลูกกระสุนปืนจะชุบด้วยสังกะสี (Zn) เพื่อป้องกันไม่ให้ตะกั่วบริเวณก้นและด้านข้างของกระสุนปืนละลายเนื่องจากความร้อน และยังทำหน้าที่เป็นตัวล้างเอาเศษตะกั่วที่ติดอยู่ภายในลำกล้องปืน ให้ออกไปอีกด้วย

จ. Short or Half Jacketed แบบนี้มี Jacket หุ้มก้นลูกกระสุนปืนสูงขึ้นมาประมาณ $\frac{1}{4}$ หรือ $\frac{3}{4}$ ของความสูงของลูกกระสุนปืน ทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้ตะกั่วบริเวณก้นและด้านข้างของลูกกระสุนปืนละลายติดลำกล้องปืน เช่นเดียวกัน

2. Jacketed Bullet เป็นลูกกระสุนปืนที่มีโลหะหุ้มแกนตะกั่ว หรือแกนเหล็กไว้อีกชั้นหนึ่ง ทำให้ดูเหมือนว่าลูกกระสุนปืนนั้นทำด้วยโลหะที่เห็นล้วน ๆ โลหะที่หุ้มอยู่ภายนอกเรียกว่า Jacket ส่วนแกนตะกั่วหรือแกนเหล็กที่อยู่ภายในเรียกว่า Core ในปัจจุบัน Jacket ส่วนใหญ่ทำด้วยทองแดง 90 % ดีบุก 5 % และสังกะสี 5 % บางชนิดทำด้วยเหล็กชุบนิกเกิล หรือชุบทองแดง แบบใหม่ล่าสุดทำด้วยอลูมิเนียม สำหรับ Core นั้นทำด้วยตะกั่วล้วน หรือบางทีอาจทำด้วยเหล็กก็ได้ ซึ่งส่วนก้นของลูกกระสุนปืนแบบ Jacketed Bullet มี 2 แบบ คือ

ก. Flat Base แบบนี้ก้นลูกกระสุนปืนจะเรียบเสมอกัน และด้านข้างลูกกระสุนปืนก็ตรงตลอดเสมอกัน

ข. Boat Tail แบบนี้ก้นกระสุนปืนจะเรียบเสมอกัน แต่ด้านข้างกระสุนปืนตอนใกล้ก้นจะสอบเข้าหากันเล็กน้อย กล่าวคือ ส่วนปลายใกล้ก้นของกระสุนปืนจะเล็กกว่าตอนกลางของกระสุนปืน เพื่อประโยชน์ในการลด Air Drag หรือลดการเสียดสีของอากาศกับกระสุนปืน เมื่อใช้ยิงออกไป ทำให้กระสุนปืนนี้ยิ่งไปได้ไกลกว่า และมีวิธีกระสุนปืนแบบราบดีกว่า กระสุนปืนแบบ Flat Base เมื่อมีความเร็วต้นเท่ากัน

ลูกกระสุนปืนที่มีความเร็วต้นตั้งแต่ 2,000 ฟุตต่อวินาทีขึ้นไป จะต้องเป็นแบบ Jacketed Bullet เพราะถ้าเป็นแบบ Lead Bullet จะทำให้ส่วนก้นและผิวด้านข้างของกระสุนปืนละลายได้ ทำให้มีเศษตะกั่วติดค้างอยู่ภายในลำกล้องปืน อันจะทำให้เกิดผลเสียต่อความแม่นยำของปืนกระบอกนั้นได้

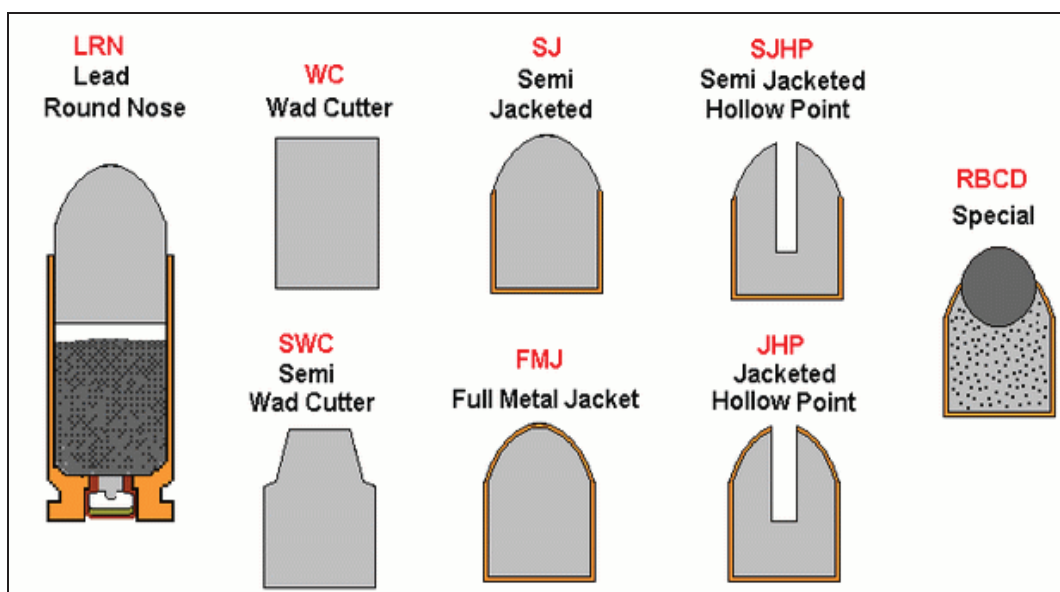
ลูก(หัว)กระสุนปืนมีชื่อเรียกแตกต่างกันออกไปมากมาย ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับรูปร่างลักษณะของลูกกระสุนปืนนั้น ตัวอย่างเช่น

1. Round Nose (RN) เป็นลูกกระสุนปืนธรรมดาทั่ว ๆ ไป มีปลายหัวมน
2. Semi-Wad Cutter (SWC) เป็นลูกกระสุนปืนที่มีส่วนปลายที่พันปลอกกระสุนออกมา มีขนาดเล็กกว่าส่วนใหญ่ที่อยู่ในปลอกกระสุน และส่วนปลายตัดตรงไม่มน
3. Wad Cutter (WC) เป็นลูกกระสุนปืนที่มีส่วนปลายสั้นเสมอปากปลอกกระสุนปืน และส่วนปลายตัดตรง
4. Hollow Point (HP) เป็นลูกกระสุนปืนมีลักษณะคล้ายกับแบบ Round Nose แต่ที่ส่วนปลายสุดจะมีรูเจาะลึกลงไป พบได้ในกระสุนปืนลูกกรด ขนาด .22 Magnum
5. Full Metal Jacket (FMJ) เป็นลูกกระสุนปืนที่มี Jacket หุ้มทั้งหมด แต่ส่วนปลายมน บางทีเรียกว่า Metal Case Bullet
6. Jacketed Hollow Point (JHP) เป็นลูกกระสุนปืนที่มี Jacket หุ้ม แต่ส่วนปลายมีรูเจาะเข้าไปในเนื้อของ Core ลึกพอควร
7. Jacketed Soft Point (JSP) เป็นลูกกระสุนปืนที่มี Jacket หุ้มเกือบหมดทั้งลูก ยกเว้นตอนปลายสุดเป็นตะกั่วไม่มีรู
8. Point เป็นลูกกระสุนปืนที่มี Jacket หุ้มหมด และปลายแหลม
9. Metal Piercing (MP) และ Armour Piercing (AP) เป็นลูกกระสุนปืนที่ใช้ยิงเจาะเกราะ โดยแบบ MP นั้น เป็นลูกกระสุนปืนขนาดเล็ก เช่น ปืนพกทั่วไป ส่วนปลายของลูกกระสุนปืนจะแหลม และ Jacket ที่หุ้มส่วนปลายนี้จะมีความหนากว่าส่วนอื่น ๆ ประโยชน์ใช้ยิงทะลุเกราะอ่อนหรือที่เรียกว่า เสื้อเกราะและแผ่นวัตถุหรือโลหะที่มีความหนาไม่มากนัก สำหรับลูกกระสุนแบบ AP เป็นลูกกระสุนปืนที่ใช้กับปืนทางทหาร โดยส่วนปลายของลูกกระสุนปืนแบบนี้จะแหลม และ Jacket เป็นทองแดงหรือเหล็กชุบทองแดง ส่วน Core จะทำด้วย Tungsten Carbine ซึ่งมีความแข็งแรงมาก สามารถเจาะทะลุเกราะเหล็กได้ วัตถุประสงค์เพื่อใช้สำหรับยิงทะลุยานยนต์หุ้มเกราะของทหาร หรือยิงทะลุแผ่นวัตถุหรือโลหะที่มีความหนามาก ๆ



ภาพที่ 18 รูปร่างลักษณะของ ลูก(หัว)กระสุนปืนชนิดต่าง ๆ

ที่มา : ตำราอาวุธศึกษา. ชนิดกระสุน [online], accessed 8 September 2011. Available from http://pisanu-9.blogspot.com/2009/01/blog-post_3411.html



ภาพที่ 19 ภาพแสดงลักษณะที่สังเกตได้ง่ายของหัวกระสุนปืนชนิดต่างๆ

ที่มา : รูปร่าง ชนิดของหัวกระสุน [online], accessed 8 September 2011. Available from <http://www.gunandgames.com/smf/index.php?topic=86184.0>

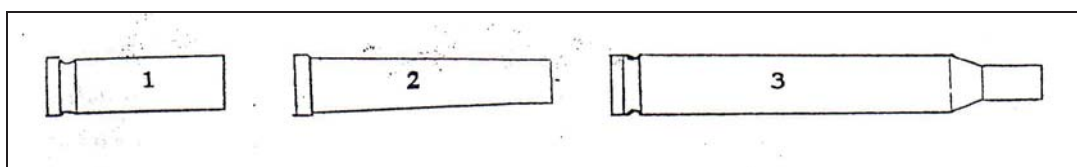
2. ปลอกกระสุนปืน (Cartridge Case)

เมื่อมีการประดิษฐ์กระสุนปืนขึ้นได้ ในตอนแรกปลอกกระสุนปืนทำด้วยกระดากแข็ง जानทำเป็นทองเหลือง แต่กระดากแข็งมีข้อเสียที่ว่า ปลอกกระสุนปืนจะบวมเมื่อถูกความชื้นทำให้ไม่สามารถใส่เข้าไปในรังเพลิงของอาวุธปืนได้ นอกจากนี้ยังทำได้ยากเมื่อเป็นกระสุนปืนขนาดเล็ก ต่อมาจึงพบว่า ทองเหลืองเป็นโลหะที่ดีที่สุดในการใช้ทำปลอกกระสุนปืน แต่สำหรับปลอกกระสุนปืนลูกซองยังทำด้วยกระดากแข็งอยู่ เพราะเป็นปลอกกระสุนปืนที่มีขนาดใหญ่และยังเป็นการลดต้นทุนการผลิต เนื่องจากกระดากมีราคาถูกกว่าทองเหลืองมาก ในปัจจุบันวิวัฒนาการของพลาสติกเจริญขึ้นมาก ปลอกกระสุนปืนลูกซองที่ผลิตจากประเทศที่เจริญแล้วจะทำด้วยพลาสติก ที่ทนความร้อนและแรงดันสูง อีกทั้งยังไม่เกิดการบวมของปลอกเมื่อถูกความชื้นอีกด้วย

ทองเหลืองเป็นโลหะผสมระหว่างทองแดงกับสังกะสี (Copper Zinc Alloy) ทองเหลืองที่ใช้ทำปลอกกระสุนปืนที่มีคุณภาพที่ดีที่สุด จะมีส่วนผสมของสังกะสีประมาณ 30 – 33 % ซึ่งปลอกกระสุนปืนที่มีใช้กันทั่วไปในปัจจุบันส่วนใหญ่ทำจากทองเหลือง ถึงแม้บางยี่ห้อจะมีปลอกเป็นสีชาวมันวาว ก็เป็นทองเหลืองชุบโครเมียมเพื่อความสวยงาม เพื่อดึงดูดผู้ซื้อ ปลอกกระสุนปืนที่ทำด้วยอลูมิเนียมจะมองเห็นเป็นสีชาวดำๆ ส่วนปลอกกระสุนปืนที่ผลิตจากกลุ่มประเทศในยุโรปตะวันออก เช่น โขเวียต โปแลนด์ และประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีนจะทำด้วยเหล็กชุบทองแดง หรือสี Epoxy อบอุ่นด้วยความร้อน เพื่อป้องกันสนิม ปลอกกระสุนปืนที่ทำด้วยโลหะอื่นนอกจากทองเหลืองแล้ว จะใช้ครั้งเดียวทิ้ง ไม่สามารถนำกลับไปอัดยิงใหม่ได้อีก

รูปร่างลักษณะภายนอกของปลอกกระสุนปืนจะมี 3 แบบ คือ

1. Straight Case คือปลอกกระสุนปืนที่มีรูปร่างแบบทรงตรง
2. Tapered Case คือปลอกกระสุนปืนที่เรียวเข้าหาส่วนปลายปลอก
3. Bottlenecked Case คือปลอกกระสุนปืนที่มีรูปร่างแบบคอขวด

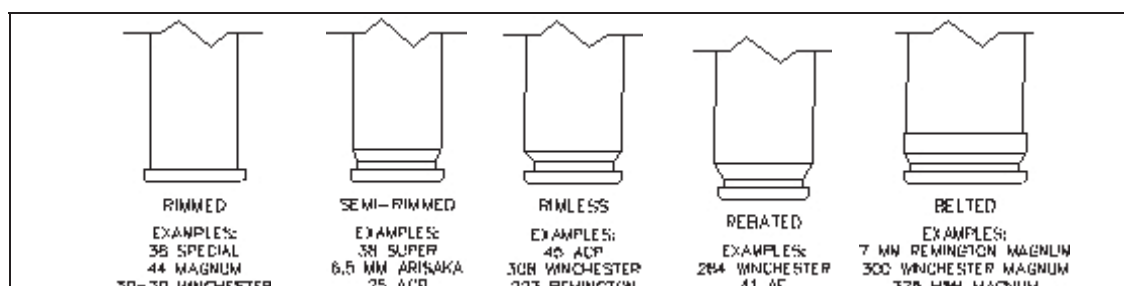


ภาพที่ 20 รูปร่างของปลอกกระสุนปืนทั้งสามแบบ

ที่มา : พลตำรวจตรีอัมพร จารุจินดา, “การตรวจพิสูจน์อาวุธปืนและเครื่องกระสุนปืน,” เอกสารความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับอาวุธปืนและกระสุนปืนสำหรับผู้เข้าอบรม กองพิสูจน์หลักฐาน สำนักงานวิทยาการตำรวจ, 2542.1-38. (อัดสำเนา)

รูปร่างลักษณะของส่วนท้ายปลอกกระสุนปืนมี 5 แบบคือ

1. Rimmed
2. Semi-Rimmed
3. Rimless
4. Rebated-Rim
5. Belted



ภาพที่ 21 ลักษณะของส่วนท้ายปลอกกระสุนปืนทั้ง 5 แบบ

ที่มา : The Cartridge Case [online], accessed 8 September 2011. Available from <http://www.Exterior ballistics.com/reloadbasics/cartcase.cfm>



ภาพที่ 22 ตัวอย่างกระสุนปืนที่มีส่วนท้ายปลอกกระสุนทั้ง 5 แบบ (เรียงจากซ้ายไปขวา) : Rimmed- straight(20x99R), Semi-rimmed (13x92SR), Rimless-bottle necked (15x115 experimental), Rebated (20x72RB), Belted (13x93B experimental)

ที่มา : It API FIRE [online], accessed 8 September 2011. Available from <http://www.nighttiger.net/heavy-machine-guns/it-api-fire.html>

กระสุนปืนแบบชนวนกลาง (Center Fire) ที่ออกแบบมาสำหรับใช้กับปืนรีวอลเวอร์ จะมีลักษณะของส่วนท้ายปลอกกระสุนปืนเป็นแบบ Rimmed เช่น .32 S&W .38 Special .44 Magnum พวกที่ออกแบบมาเพื่อใช้กับปืน Semi-Automatic จะเป็นแบบ Semi-rimmed หรือแบบ Rimless ส่วนแบบ Rebated-Rim จะพบในปืนไรเฟิล ที่ผู้ผลิตทำโครงปืนและลูกเลื่อนอาวุธปืน ที่เดิมใช้กระสุนปืนซึ่งมีแรงดันน้อยหรือขนาดเล็กกว่า มาดัดแปลงให้ใช้กับกระสุนปืนที่มีแรงดัน สูงกว่าหรือขนาดใหญ่กว่า จึงจำเป็นต้องออกแบบกระสุนปืนให้โตกว่าเดิม แต่จันท้ายยังคงมี ขนาดเล็กเท่ากับหน้าลูกเลื่อนเดิมของอาวุธปืนนั้น สำหรับแบบ Belted นั้น จะพบในกระสุนปืน ไรเฟิลขนาดใหญ่ ๆ สร้างเพื่อให้ส่วนท้ายของปลอกกระสุนปืนแข็งแรงขึ้น และเพื่อสามารถทนต่อ แรงระเบิดจำนวนมากมหาศาล ในขณะที่ดินปืนถูกเผาไหม้ได้ จะพบเห็นได้ในกระสุนปืนไรเฟิลขนาด .357 Magnum ขึ้นไป



ภาพที่ 23 แสดงกระสุน ขนาด .380 นิ้ว(9x17 มม.), ขนาด 9 มม.Luger(Parabellum)(9x19 มม.), ขนาด .38 นิ้ว Super Auto(9x22 มม.), ขนาด .38 นิ้ว Special(9x29 มม.), ขนาด .357 นิ้ว Magnum(9x33 มม.)

ที่มา : 9 mm ชนิดต่างๆและน้ำหนักหัวกระสุนแบบต่างๆ [online], accessed 8 September 2011. Available from <http://www.korat4you.com/index.php?topic=2035.0>

จากการที่ส่วนท้ายของปลอกกระสุนปืนมีด้วยกันถึง 5 แบบ ดังนั้นการออกแบบรังเพลิง ของอาวุธปืนที่จะใช้กับกระสุนปืนแบบต่าง ๆ นั้น จะต้องพิถีพิถันเพื่อรองรับกระสุนแบบที่ใช้ ให้พอดีทั้งความกว้าง ความยาวและรูปร่าง เพื่อให้แน่ใจว่าในขณะที่ดินปืนไหม้และเกิดการระเบิด ของแก๊สขึ้น ปลอกกระสุนปืนจะแนบสนิทกับผนังรังเพลิงทุกด้าน ถ้าหลวมจะเกิดปัญหาปลอก กระสุนบวมติดรังเพลิง ทำให้คัดปลอกไม่ออก

3. ดินส่กระสุนปืน หรือดินปืน (Gun Powder, Propellant)

ดินส่กระสุนปืนหรือดินปืน เป็นของแข็งซึ่งเมื่อเกิดการลุกไหม้จะให้แก๊สปริมาณมากในช่วงเวลาอันสั้น การลุกไหม้จะเกิดจากประกายไฟ หรือเปลวไฟที่ได้มาจากการระเบิดของแก๊ป หรือโดยวิธีอื่นก็ได้ ความรวดเร็วในการเผาไหม้ของดินปืนก็เป็นสิ่งสำคัญ หากเกิดการเผาไหม้เร็วเกินไป แก๊สที่เกิดขึ้นจะเกิดอย่างรวดเร็วมาก มีความดันสูงเกินกว่าที่ลูกกระสุนปืนจะวิ่งออกจากลำกล้องปืนได้ทัน ลำกล้องปืนก็จะเกิดระเบิด ในทางตรงกันข้ามถ้าการเผาไหม้ช้าไป แก๊สที่เกิดจะมีน้อย ทำให้แรงขับเคลื่อนลูกกระสุนปืนน้อยลงตามไปด้วย ซึ่งจะทำให้วิถีกระสุนปืนไม่ดี หรือบางทีลูกกระสุนปืนอาจจะตกแค่ปากกระบอกปืนก็ได้ ดินปืนในปัจจุบันมี 3 แบบคือ

1. Black Powder (ดินดำ) เป็นดินปืนชนิดแรก ที่ชาวยุโรปไปพบในประเทศจีน ซึ่งในขณะนั้นชาวจีนใช้ดินดำสำหรับทำประทัดและพลุ เพื่อจุดในงานรื่นเริงต่างๆ โดยส่วนประกอบของดินดำ ประกอบด้วย ดินประสิว (Potassium Nitrate) ถ่านไม้ (Charcoal) และกำมะถัน (Sulphur)

ประวัติและความเป็นมาของดินปืน ดินปืนหรือแต่เดิมนั้น เรียกว่าดินดำ (Black Powder) เนื่องจากใช้ถ่านไม้เป็นส่วนผสม เมื่อทำการผสมกับสารตัวอื่นแล้วจะเกิดเป็นสีดำ ดินดำถูกค้นพบโดยชาวจีน ในรัชสมัยของ HAIAO TSUNG แห่ง NAN SUBNG (1169-1189 AD.) ในศตวรรษที่ 12 ปี 1249 AD. ROGER BACON บาทหลวงชาวอังกฤษฉบับที่กสูตรดินดำซึ่งประกอบด้วย ดินประสิว 7 ส่วน ถ่าน 4 ส่วน กำมะถันและถ่านนั้นเคยใช้เป็นสารเคมีมาหลายศตวรรษ ดินประสิวมียุ่ทั่วไปในธรรมชาติ แต่ต้องนำมาสกัดให้ได้ปริมาณออกซิเจนที่เหมาะสมเพื่อจุดส่วนผสมของดินดำ ความรู้ในการสกัดดินประสิวนี้อาจได้รับมาจากชาวอาหรับ ซึ่งได้ข่าวสารมาจากชาวจีนประมาณปี 1225 AD. BACON ได้จดบันทึกไว้ว่าส่วนผสมของดินดำสูตรนี้ใช้ในการทำประทัดแต่ปรากฏว่าในระแวกนั้นไม่อาจหาซื้อสรุปในการเผาไหม้ให้ได้ผล ที่สมบูรณ์ได้ เนื่องจากบางครั้งการเผาไหม้ค่อยๆ เป็นไป อย่างเชื่องช้าและเหลือเถ้าที่ถูกเผาไหม้ไว้เป็นจำนวนมาก แต่ก็ยังลุกไหม้ได้ในที่ที่จำกัดได้จึงได้มีการทดลองอย่างต่อเนื่องจนประสบผลสำเร็จ โดยใช้อัตราส่วนในการผสมคือ ถ่านไม้ 75 % ดินประสิว 15 % กำมะถัน 10 % สูตรดินปืนของBACON ต้องใช้สูตรดินประสิวถ่านและกำมะถันที่แตกต่างกันไปในการผลิตส่วนผสมดินปืนในระยะเริ่มต้นในการผลิตได้นาวัตถุต่างๆ มาผสมกันในครกโดยใช้สากตำด้วยมือ ต่อมาจึงได้มีพัฒนาโดยใช้ม้าเป็นต้นกำลังในการหมุนเครื่องจักรผสมดินปืน โดยเครื่องจักรดังกล่าวมีลักษณะเป็นลูกกลิ้งบดบนแผ่นหินอ่อนแล้วทำการป่นด้วยไม้ การผสมดินปืนต้องใช้ศิลปะทางเทคนิคอย่างสูง และเป็นงานที่อันตราย การทำดินปืนในยุคต้นมีบันทึกไว้ว่าเคยเกิดอุบัติเหตุระเบิดทั้งในเมือง และในกองทัพมากมายหลายครั้ง เคยมีการเติมส่วนผสมอื่นๆ เข้าไป เช่น อำพันแอลกอฮอล์ เงิน การบูร ยูรีน สารหนู และเยี่ยวอูฐเพื่อให้มีความคงทนดี ลดการดูดความชื้นและป้องกันการแข็งตัว มีบางประเทศใช้สูตร

ที่แตกต่างกันไป ซึ่งขึ้นอยู่กับอาวุธปืน ในปี 1895 ประเทศส่วนมากรวมทั้งสหรัฐได้ใช้สูตรมาตรฐานของอังกฤษ คือ ดินประสิว 75 %, ถ่านไม้ 15 % และกำมะถัน 10 % มาตรฐานนี้ใช้ได้ทั่วไปกับอาวุธปืนทุกชนิด มีความแตกต่างกันที่เม็ดดินเท่านั้น วิวัฒนาการระหว่างศตวรรษที่ 15 ถึง 18 ประมาณปี 1400 มีการผลิตปืนใหญ่ทำด้วยเหล็กมีห้วงเหล็กรัดไว้เพื่อป้องกันการระเบิด และเริ่มใช้ลูกปืนที่ทำด้วยเหล็ก ปี 1425 CORNING เป็นกระบวนการใหม่ในการทำดินดำให้เป็นเม็ด แทนที่จะทำเป็นผงโดยการทำดินดำให้เปียกเหลวแล้วนำมาบดเป็นแผ่นให้แตกออกเป็นก้อนเล็กๆ ด้วยมือ แล้วนำมาผ่านตะแกรงร่อน "CORNEDED POWDER" คุณความชื้นได้น้อยกว่า เหมาะในการใช้กับปืนใหญ่มากกว่าชนิดผง เปลวเพลิงจากดินชนวนจะจุดดินที่เป็นเม็ดใหญ่ได้ดีกว่า ทำให้ลูกใหม่ได้สมบูรณ์และมีกาน้อย ในปี 1540 ฝรั่งเศสผลิตดินปืนขนาดเม็ดดินเป็นมาตรฐาน สำหรับปืนพก ปืนยาวและปืนใหญ่ และได้มีการค้นพบว่าจะใช้ดินปืนน้อยกว่าที่ต้องการ ถ้ามีการควบคุมขนาดเม็ดดิน การใช้เม็ดดินขนาดเดียวกันที่ลูกใหม่ จึงจะสามารถควบคุมแรงดันในลำกล้องปืนได้ และลดอันตรายจากลำกล้องแตกได้ ดินดำมีความไวต่อประกายไฟที่ 500 F และยังคงมีใช้มากในปัจจุบัน

ส่วนประกอบที่สำคัญ : ดินประสิว / ถ่านไม้ / กำมะถัน (75 : 15 : 10)



ภาพที่ 24 ลักษณะของดินดำ (Black Powder)

2. Pyrodex (ดินดำแบบใหม่) ดินปืนชนิดนี้มีส่วนผสมหลักเหมือนกับดินดำ คือ มีดินประสิว ถ่านไม้ และกำมะถัน แต่มีอัตราส่วนของดินดำที่แตกต่างกัน นอกจากนี้ยังมีส่วนผสมอื่นเข้ามาอีก คือ Potassiumperchlorate, Sodiumbenzoate, Dicyandiamide (1-Cyanoguanidine) และยังมี Dextrine, Wax และ Graphite จำนวนเล็กน้อยผสมอยู่ Pyrodex ที่ยังไม่ใช้อย่างเห็นความแตกต่างจากดินดำอย่างชัดเจน เพราะ Pyrodex เป็นเม็ดสีเทา และมีบางส่วนโปร่งแสง นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติติดไฟยากกว่าดินดำ เนื่องจากมีจุดติดไฟที่ 750 °F

ประวัติและความเป็นมา Pyrodex (ดินดำแบบใหม่)

ปี ค.ศ. 1684 ได้มีการนำเอากระบวนการเคลือบผิวดินปืนมาใช้ เมื่อดินดำที่ยังไม่เรียบ จะนำมาเคล้าในถังไม้ขนาดใหญ่จนกระทั่งเม็ดดินมีผิวเรียบจึงเติมกราไฟต์ลงไปเพื่อเคลือบ เม็ดดินที่ได้รับการเคลือบมาแล้ว จะลดความชื้นได้น้อยกว่าและไหลลื่นได้ดีกว่าที่ไม่เคลือบ

ปี ค.ศ. 1735 RUGGIERI ชาวอิตาลี ได้ใช้ ANTIMONY SULFIDE และ ARSENIC SULFIDE เป็นส่วนผสม ของไฟโรเทคนิค สำหรับดอกไม้เพลิงที่ให้แสงสว่างจ้า

ปี ค.ศ. 1742 BENJAMIN ROBINS นักคณิตศาสตร์ชาวอังกฤษเป็นผู้ประดิษฐ์ BALLISTIC PENDULUM เพื่อหาความเร็วของลูกกระสุนในการกระทบ โดยวัดแรงสะท้อน ถอยหลังของPENDULUM ที่ถูกกระแทก ได้แสดงให้เห็นว่าความต้านทานของอากาศสำหรับ ลูกกระสุนที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงจะมีมากกว่าที่ความเร็วต่ำ นอกจากนี้ยังได้พัฒนาเครื่องวัด ความเร็วต้นเครื่องแรกและทำการปรับปรุงเครื่องมือวัดกำลังการระเบิดอีกด้วย

ปี ค.ศ. 1784-1789 ได้มีการผลิตดินดำอัดเป็นแท่งที่ประเทศอังกฤษ โดยทำการอัดแผ่น ดินดำ ก่อนนำไปทำเป็นเม็ด สำหรับ Pyrodex ที่ยิงแล้ว สามารถตรวจหาสารประกอบ ที่นอกเหนือจากดินดำได้หลายวิธี เช่น High Performance Liquid Chromatography, Energy Dispersive Elemental Analysis หรือ FTIR(Infrared Spectroscopy) เป็นต้น

3. Smokeless Powder (ดินควันน้อย) การพัฒนาดินควันน้อยนั้น เกิดขึ้นใกล้ๆกับการ ค้นพบ Guncotton, Nitroglycerine และ Dynamite โดยในปี 1845 Christian Schoenbein ชาวสวิสเป็นผู้ค้นพบ Guncotton และในปี ค.ศ. 1846 Alfred Nobel ชาวสวีเดนได้พบ Dynamite แต่ทั้ง 3 ตัวนี้ ล้วนเป็นวัตถุระเบิดที่ไม่สามารถนำมาใช้เป็นดินปืนได้ ทำให้มีการศึกษาหาวิธีทำ ดินปืนแบบใหม่ขึ้นมา เพื่อให้มีประสิทธิภาพสูงกว่าดินดำและสามารถควบคุมอัตราการเผาไหม้ได้ ซึ่งมีผู้ค้นพบดินควันน้อยอยู่ด้วยกันหลายคน โดย

ในปี ค.ศ. 1869 E.Schultz ชาวรัสเซีย เป็นคนแรกที่คิดค้นได้ โดยการทำให้เป็น สารประกอบ Nitrate แล้วผสมกับ Barium Nitrate และ Potassium Nitrate ดินปืนแบบนี้ใช้ได้ดี กับกระสุนปืนลูกซอง แต่ยังคงเผาไหม้เร็วเกินไปสำหรับกระสุนปืนแบบอื่น ๆ

ในปี ค.ศ. 1870 Frederich Volkmann ชาวออสเตรีย ได้จดลิขสิทธิ์ดินปืนที่เขาค้นพบ โดยให้ชื่อว่า Collodin โดยใช้ไม้ Alder ปั่นละเอียดแทนไม้ท้าว ๆ ไป

ในปี ค.ศ. 1884 Vieille ชาวฝรั่งเศสและ Duttchenhofer ชาวเยอรมัน ได้ละลาย Nitrocellulose ใน Alcohol หรือ Ether หรือสารละลายตัวอื่น ๆ ทำให้ได้ Plastic Gelatin ที่สามารถทำให้เป็นแผ่นและตากแห้ง แล้วหั่นเป็นชิ้นเล็ก ๆ ใช้เป็นดินปืนได้

ต่อมาในปี ค.ศ. 1887 Alfred Nobel ก็ได้ทำดินควันน้อยโดยใช้ Guncotton ละลายใน

Nitroglycerine ได้สารประกอบคอลลอยด์มีชื่อว่า Ballistite ซึ่งมีส่วนประกอบของ Nitrocellulose 60 % และ Nitroglycerine 40 % และสามารถทำเป็นแผ่นหรือหลอดได้

ในปี ค.ศ. 1890 ดินควันน้อยก็ได้ถูกนำมาใช้เป็นดินปืนแทนดินดำ เนื่องจากดินควันน้อยให้แรงระเบิดสูงกว่าดินดำมากในปริมาณเท่ากัน และเมื่อใช้ไปแล้วก็มีเขม่าหรือควันน้อยมากเมื่อเทียบกับดินดำ อีกทั้งยังง่ายต่อการควบคุมการจุดระเบิด แต่ข้อเสียคือ มีราคาแพงกว่าดินดำมาก และยังมีปัญหาเกี่ยวกับความปลอดภัยในการใช้ปืนในสมัยนั้น ซึ่งสร้างจากเหล็กที่ทนแรงดันได้ไม่สูงมากนัก

ดินควันน้อยในปัจจุบันทำขึ้นจากการนำเอา Cotton หรือ Cellulose Fiber อย่างอื่นทำปฏิกิริยาเคมีกับกรด Nitric และกรด Sulfuric เพิ่มขึ้น ได้สารประกอบที่มีชื่อว่า Nitrocellulose หรือ Cellulose Nitrate ดินควันน้อยที่ทำจากสารประกอบ Nitrocellulose เพียงอย่างเดียวเรียกว่า Single Base แต่ถ้าต้องการแบบที่มีแรงระเบิดสูงขึ้นก็ใช้ Nitroglycerine ผสมเข้ากับ Nitrocellulose ในอัตราส่วนต่างๆ กัน แล้วแต่ความต้องการความเร็วในการเผาไหม้เล็กน้อยเพียงใด แบบนี้มีชื่อว่า Double Base การควบคุมอัตราการจุดระเบิดดินควันน้อย ทำได้โดยการทำดินควันน้อยให้มีรูปร่างต่างๆ กัน เช่นทำให้เป็นเกล็ด (Flake) เป็นแผ่น (Disc) เป็นแท่ง (Tabular) หรือเป็นเม็ดกลม (Ball) นอกจากนี้การเคลือบสารเคมีบางอย่างก็สามารถทำให้อัตราเร็วในการเผาไหม้แตกต่างกัน

ดินควันน้อยแบ่งออกเป็น 4 ชนิด คือ

1. ฐานเดี่ยว (Single Based Powder) มีส่วนประกอบหลัก คือ ไนโตรเซลลูโลส เมื่อถูกเผาไหม้จะกลายเป็นก๊าซลอยไปในอากาศโดยไม่เหลือกากแต่อย่างใด
2. ฐานคู่ (Double Based Powder) มีส่วนประกอบหลัก 2 อย่าง คือ ไนโตรเซลลูโลส และ ไนโตรกลีเซอริน หรือ DEGN
3. สามฐาน (Tripple Based Powder) มีส่วนประกอบหลัก 3 อย่าง คือ ไนโตรเซลลูโลส ไนโตรกลีเซอริน และไนโตรกัวนิดิน หรือ ใช้ DEGN แทน ไนโตรกลีเซอริน
4. คอมโปสิต (Composite) ไม่มีไนโตรเซลลูโลสหรือไนโตรกลีเซอรินประกอบ มีส่วนประกอบหลัก เช่น แอมโมเนียมพิเกรตเป็นเชื้อเพลิง โปแตสเซียมไนเตรตเป็นตัวให้ออกซิเจนและมีสารอื่นๆ เป็นตัวยึด

1. ดินฐานเดี่ยว (Single Based Powder)

1.1 ดินไพโรเซลลูโลส (pyrocellulose powder)

ดินส่งกระสุนที่ทำด้วยไนโตรเซลลูโลสชนิดแรก ที่ได้นำมาใช้ คือ ดินไพโรเซลลูโลส ซึ่งทำมาจากไนโตรเซลลูโลสบริสุทธิ์ ที่มีส่วนประกอบของไนโตรเจน 12.60 X 0.10 % ละลายใน ส่วนผสมของ อีเทอร์ และเอทานอล แล้วจึงนำมาทำเป็นเส้นมีรูเดียว หรือหลายรู ดินชนิดนี้

ดูดความชื้นได้ง่ายและเมื่อทำการยิง จะให้เปลวไฟสว่างซึ่งเป็นลักษณะที่ไม่พึงประสงค์ แต่ก็มีใช้เป็นมาตรฐานจนกระทั่งมีดินส่กระสุนชนิด FNH (Flashless Nonhygroscopic) และ NH (Nonhygroscopic) ใช้เป็นมาตรฐานแทน

- 1.2 ดิน อี ซี เพราเดอร์ (E.C powder) เป็นดินส่กระสุนที่เก่าแก่ชนิดหนึ่ง ประกอบด้วย
 - ไนโตรเซลลูโลส
 - แบเรียมไนเตรท
 - โปแตสเซียมไนเตรท
 - แป้ง/ออรีน
 - ไดฟีนีลลามีน

ดินส่กระสุนชนิดนี้มีความไวต่อแรงกระแทกและการเสียดสีดูดความชื้นได้ง่ายใช้บรรจุในกระสุนซ้อมรบขนาด.30 กระสุนปืนลูกซอง และใช้บรรจุในลูกระเบิดขี้นแบบเก่าได้ เพราะมีอัตราการลุกไหม้สูงและมีอำนาจการระเบิดพอๆ กับวัตถุระเบิดแรงสูง

- 1.3 ดินควันน้อยและเปลวน้อย (Flashless & Smokeless)

เดิมเรียกว่า FNH และ NH ดินชนิดนี้ดูดความชื้นน้อยกว่าดินไฟโรเซลลูโลส ปัจจุบันเป็นดินส่กระสุนมาตรฐานสำหรับกระสุนปืนเล็กและกระสุนปืนใหญ่ มีเปลวไฟและควันเกิดจากการยิงน้อยกว่าดินส่กระสุนอื่น ๆ

2. ดินฐานคู่ (Double Based Powder)

เป็นดินส่กระสุนที่มีการใช้อย่างกว้างขวางทั้งกระสุนปืนเล็ก ปืนใหญ่ ลข./ค.และจรวด JATO ดินส่กระสุนปืนเล็กฐานคู่นี้ เดิมทีรู้จักกันในชื่อว่า BALLISTITE ของอังกฤษชื่อ "cordites" โดยมีไนโตรเซลลูโลสและไนโตรกลีเซอรินเป็นสารหลักและมีไดฟีนีลลามีนเป็น STABILIZER สำหรับดินบัลลิสไตท์ ส่วนดินคอร์ไดท์ใช้ฐานปิโตรเลียมแทน ต่อมาได้มีการปรับปรุงโดยลดอัตราส่วนของไนโตรกลีเซอรินให้น้อยลงทำให้พลังงานศักย์ทางเคมีน้อยกว่าดิน BALLISTITE แต่มีความคงทนดีกว่า ทำให้ล้าหลังสึกหรอน้อยกว่าและมีเปลวไฟน้อยกว่า สำหรับเม็ดยิงขนาดเล็กล้วนๆนั้นทำได้โดยทำส่วนประกอบต่างๆให้เป็นสารละลายแล้วนำมาอัดเป็นเส้นเม็ดยิงขนาดโต ๆ จำเป็นต้องอัดเป็นแผ่นก่อนแล้วนำมาหมุนเป็นแท่ง ดินขี้นจรวดจำเป็นต้องไม่มีรอยแตกแยกไม่มีรอยเป็นรู และจะต้องมีโครงสร้างเป็นอันหนึ่งอันเดียวกันถ้ามีลักษณะผิดปกติอาจทำให้เกิดการระเบิดและทำให้ส่วนขับเคลื่อนจรวดแตกได้ เม็ดยิงขนาดเล็กล้วนๆจะตรวจสอบด้วยสายตาได้ แต่เม็ดยิงขนาดโต ๆ จะต้องตรวจสอบด้วยเอกซเรย์ และคลื่นซูล์ฟเปอร์โซนิก

3. ดินสามฐาน (Triple based Powder)

พัฒนามาจากดินคอร์ไดท์ ซึ่งเป็นดินฐานคู่ของอังกฤษ โดยเพิ่มไนโตรกัวนิตินเข้าไป

ทำให้มีอุณหภูมิการลุกไหม้ค่อนข้างต่ำ แต่ให้แรงขับเคลื่อนได้มากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับดินสักระสุนอื่น ในการใช้งานมีความต้องการให้ลูกระสุนมีความเร็วต้นสูงสุดเท่าที่จะทำได้ แต่การจะให้มีความเร็วต้นสูงจำเป็นต้องเพิ่มแรงขับเคลื่อนของดินสักระสุน ซึ่งเป็นผลโดยตรงต่ออุณหภูมิในการเผาไหม้ของดินสักระสุน อุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นนี้จะทำให้ถ้ำล่องสีกกร่อนในอัตราที่เร็วขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงกว่ากำหนด การทำให้อุณหภูมิภายในรังเพลิงไม่เกินเกณฑ์ที่กำหนด แต่ลูกระสุนมีความเร็วต้นเพิ่มขึ้นจะทำให้ขีดอายุการใช้งานของถ้ำล่องได้เป็นอันมาก ดินสักระสุนสามฐานซึ่งมีไนโตรเจนดินผสมอยู่ด้วยจะส่งผลให้เกิดแรงขับเคลื่อนเพิ่มขึ้น โดยมีอุณหภูมิสูงสุดในรังเพลิงอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

4. ดินคอมโปสิต (Composite)

การผลิตดินขับจรวดและ JATO จากดินฐานทำให้มีเม็ดดินขนาดใหญ่ขึ้นทำได้ยากและมีผลทางชีพนวิธีไม่คงที่ จึงได้พัฒนาดินสักระสุนชนิดใหม่ขึ้น ชื่อว่า "ดินคอมโปสิต" ซึ่งไม่มีไนโตรเซลลูโลส และไนโตรกลีเซอรินเลย ตัวอย่างดินคอมโปสิต มีส่วนประกอบดังนี้.-

แอมโมเนียมพิเกรต

โปแตสเซียมไนเตรท

เอธิลเซลลูโลส

ลอรีเนต

แวกซ์

แคลเซียมสเตียเรต

ดินคอมโปสิต มีข้อเสีย คือ เมื่อลุกไหม้จะให้ควันสีขาวเป็นจำนวนมาก

4. แก๊ป (Primer cap) หรือ ขนวนท้ายกระสุนปืน (Primer)

Primer Cap มีส่วนประกอบสำคัญอยู่ 3 ส่วน คือ

1. Primer Cup ทำด้วยโลหะทองแดง ทองเหลือง หรือทองเหลืองชุบนิเกิล ทำหน้าที่เป็นตัวบรรจุ Priming Mixture

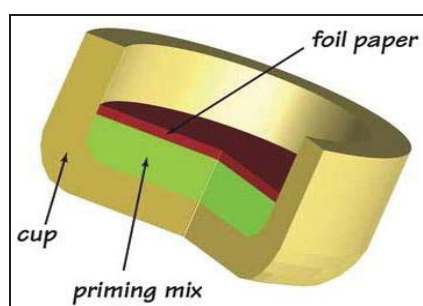
2. Priming Mixture เป็นวัตถุระเบิดประเภทกระทบแตก ทำหน้าที่เป็นตัวให้ประกายไฟจุดดินปืน

3. Anvil เป็นโลหะแข็ง ทำหน้าที่เป็นตัวรับการกระแทกของเข็มแทงชนวน เพื่อทำให้ Priming Mixture ที่อยู่ระหว่างกลางเกิดการระเบิดขึ้น

ชนวนท้ายกระสุนปืน จะอยู่บริเวณงานท้ายปลอกกระสุนปืน โดยถ้าเป็นกระสุนปืนชนิด Rimfire (ภาพที่ 13) จะอยู่บริเวณขอบของงานท้าย หรือหากเป็นกระสุนปืนประเภท

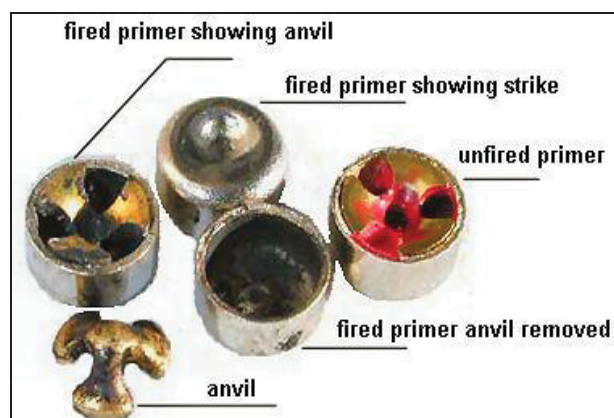
Centerfire (ภาพที่ 15) จะบรรจุอยู่ในภาชนะคล้ายถ้วย (Percussion Cup) ซึ่งมีขนาดเล็ก ทำมาจากทองเหลืองหรือทองเหลืองเคลือบด้วยนิกเกิล ผึงไว้กลางจานท้ายของกระสุนปืนชนิดนี้ นับเป็นหัวใจของกระสุนปืนในปัจจุบันกระสุนปืนแบบ Center Fire ยกเว้นกระสุนปืนลูกซองจะมี Primer Cap อยู่ 2 แบบ คือ

1. Berdan Primer จะใช้กับปลอกกระสุนปืนที่มีโลหะแข็งรับการกระแทก (Anvil) อยู่ภายในปลอกกระสุนปืน
2. Boxer Primer ที่มีโลหะแข็ง (Anvil) บรรจุไว้ด้านบนสุดของ Primer Cup



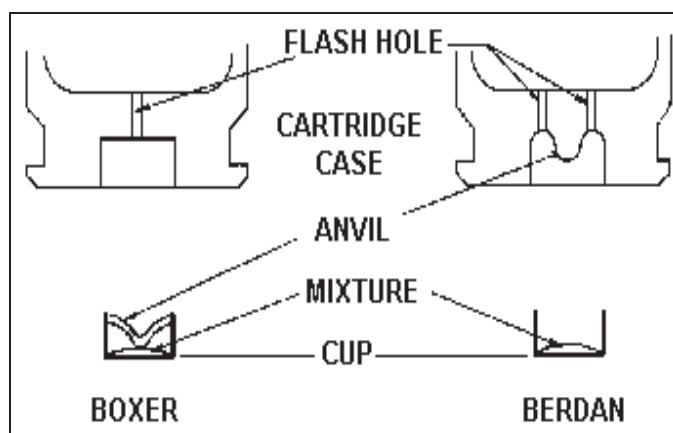
ภาพที่ 25 แสดงตำแหน่งของ Priming Mixture ใน Primer cap

ที่มา : [Primers](http://www.atgreloading.com/t401-primers) [online], accessed 8 September 2011. Available from <http://www.atgreloading.com/t401-primers>



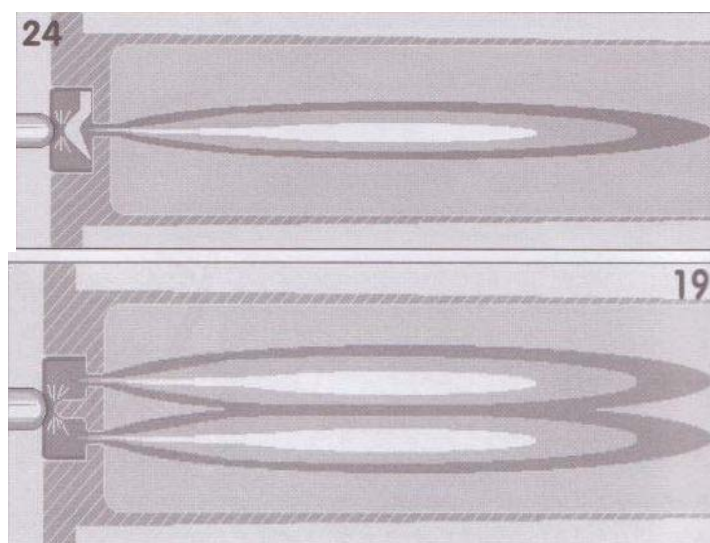
ภาพที่ 26 ตัวอย่าง Primer และ Anvil (ในภาพเป็น Boxer Primer)

ที่มา : [Examples of Boxer Primers](http://www.marplerifleandpistolclub.org.uk/pictures/primer1.htm) [online], accessed 8 September 2011. Available from <http://www.marplerifleandpistolclub.org.uk/pictures/primer1.htm>



ภาพที่ 27 Primer Cap ทั้ง 2 แบบ คือ Boxer Primer และ Berdan Primer

ที่มา : Miscellaneous Questions # 5 [online], accessed 8 September 2011. Available from <http://www.frfrogspad.com/miscelle.htm>



ภาพที่ 28 แสดงการระเบิดของ primer เพื่อจุดประกายไฟไปจุดดินปืนในปลอกกระสุน ภาพบนเป็นชนิด Boxer Primer ส่วนภาพล่างเป็นชนิด Berdan Primer

ที่มา : ชัยยศ ชีโนกุล, CARTRIDGES ทดสอบกระสุน, พิมพ์ครั้งที่ 1(กรุงเทพมหานคร : บริษัท GUN-TAC จำกัด, 2551), 224.

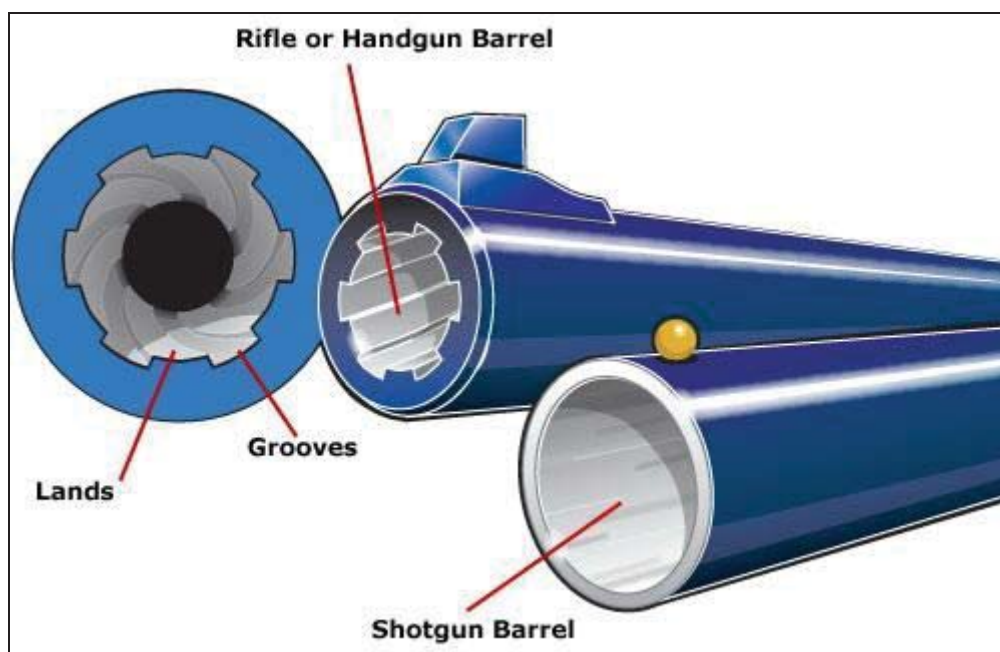
ขนาดของกระสุนปืนและชื่อเรียก

การเรียกขนาดกระสุนปืนที่นิยมใช้กันมีอยู่ 2 ระบบ คือ

1. ระบบอเมริกันหรือระบบนิ้ว นิยมใช้เรียกกระสุนปืนที่พัฒนาขึ้นมาในอเมริกา มีหน่วยเป็นนิ้ว แต่ไม่นิยมเขียนคำว่า นิ้ว หรือ Inch ไว้ท้ายตัวเลข แต่จะเขียนตัวเลขลอยๆ แล้วตามด้วยคำขยาย อาจจะเป็นชื่อของผู้พัฒนาหรือบริษัทที่พัฒนา เช่น ลูกเกอร์ เรมิงตัน หรือวินเชสเตอร์ ข้อสังเกตคือ ขนาดกระสุนจะขึ้นต้นด้วยจุดทศนิยม เช่น .22, .380, .357, .44, .45 เป็นต้น

2. ระบบอังกฤษหรือระบบเมตริก เป็นกระสุนที่พัฒนาขึ้นมาในแถบประเทศยุโรป มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร ขึ้นต้นตัวเลขที่เป็นตัวเต็มแล้วตามด้วยคำว่า มิลลิเมตร หรือ mm. เช่น 7.65 มม. หรือ 7.65 mm., 9 มม. หรือ 9 mm. เป็นต้น

ในการวัดขนาดของกระสุนจะวัดจาก แลนด์ ทุ แลนด์ หรือจากสันเกลียวถึงสันเกลียว ไม่ได้วัดจากร่องเกลียวถึงร่องเกลียว (ภายในลำกล้องปืน)



ภาพที่ 29 แสดงสันเกลียว (Land) และ ร่องเกลียว (Groove) ในลำกล้องปืน

ที่มา : [GAMEGUN MAGAZINE.Blog](http://www.gamestar.co.th/blog/indexblog.php?blID=36) เข้ากรรมข่าวคือ [online], accessed 8 September 2011.
Available from <http://www.gamestar.co.th/blog/indexblog.php?blID=36>

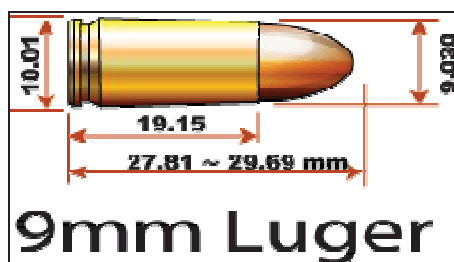
การเรียกชื่อกระสุนปืน ในที่นี้จะขอยกตัวอย่างการเรียกชื่อและประวัติโดยสังเขปของกระสุนปืนขนาด 9 มม.ที่มีชื่อเรียกต่าง ๆ กัน(วิทยา สุขสมโสตร. 2011) ดังนี้

1. กระสุน 9 มม.พาราฯ (9 mm. Para) หรือ 9 มม. ลูเกอร์ (9 mm. Luger) เป็นกระสุนที่เกอเธอร์ ลูเกอร์ ชาวอเมริกันพัฒนาขึ้นมาในปี ค.ศ. 1902 ใช้กับปืนลูเกอร์ที่เขาออกแบบ แต่ทางกองทัพอเมริกาไม่รับเข้าประจำการ ลูเกอร์จึงนำไปเสนอต่อเยอรมัน กองทัพเรือรับเข้าประจำการในปี ค.ศ. 1904 และกองทัพบก รับเข้าประจำการใน ค.ศ. 1908 เรียกปืนที่ลูเกอร์ออกแบบว่า พาราเบลล์ม์ พี 08 เรียกกระสุนว่า 9 มม.พาราเบลล์ม์ คำว่า “พาราเบลล์ม์” เป็นภาษาละตินมีความหมายว่าความสงบ กระสุนขนาดนี้รู้จักกันในอีกชื่อหนึ่งว่า 9 มม.ลูเกอร์ เพื่อเป็นเกียรติแก่ เกอเธอร์ ลูเกอร์ ในขณะที่ นาโต เรียกว่า 9x19 มม. ตัวเลขตัวแรกเป็นหน้าตัดกระสุน ส่วนตัวเลขหลังเป็นความยาวของปลอกกระสุน



ภาพที่ 30 ปืนพาราเบลล์ม์ หรือลูเกอร์ P 08

ที่มา : อาวุธปืน-เวบบอร์ดสนทนากาษาปืน,ลูเกอร์ P 08 กับทะเบียน [online],accessed 28 September 2011.Available from <http://www.gunandgames.com/smf/index.php?topic=102248.0>



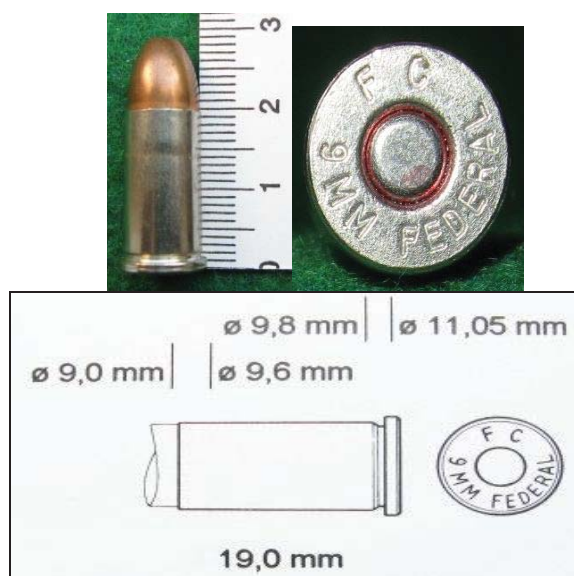
ภาพที่ 31 มิติ-ขนาดของกระสุนปืน 9 มม. ลูเกอร์ (พาราเบลลัม)

ที่มา : gun webboard, พาราเบลลัม พี 08 สมัยโบราณ [online], accessed 28 September 2011.

Available from <http://www.weekendhobby.com/gun/Webboard/Question.asp?ID=2663>

2. กระสุน 9 มม. เบราวน์นิงก์ (9 mm. Browning) เป็นกระสุนที่ John M Browning พัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้กับปืนเบราวน์นิงก์ เอ็ม 1903 ที่เขาเป็นคนออกแบบ กระสุนนี้ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในยุโรป แต่ไม่ได้รับการยอมรับในอเมริกา

3. กระสุน 9 มม. เฟดเดอรัล (9 mm. Federal) เป็นกระสุนที่ บริษัทเฟดเดอรัล คาร์ทริดจ์ คอมพานี พัฒนาขึ้นมาในปี ค.ศ. 1989 มีมิติเท่ากับกระสุน 9 มม. พาราฯ แต่มีขอบจานท้ายแบบบริมด์ (Rimmed) เพื่อใช้กับปืนรีวอลเวอร์



ภาพที่ 32 กระสุนปืน Federal ขนาด 9 มม.

ที่มา : weapons equipment, 9 mm Federal [online], accessed 26 September 2011. Available from

<http://en.vallka.cz/viewtopic.php/t/116455>

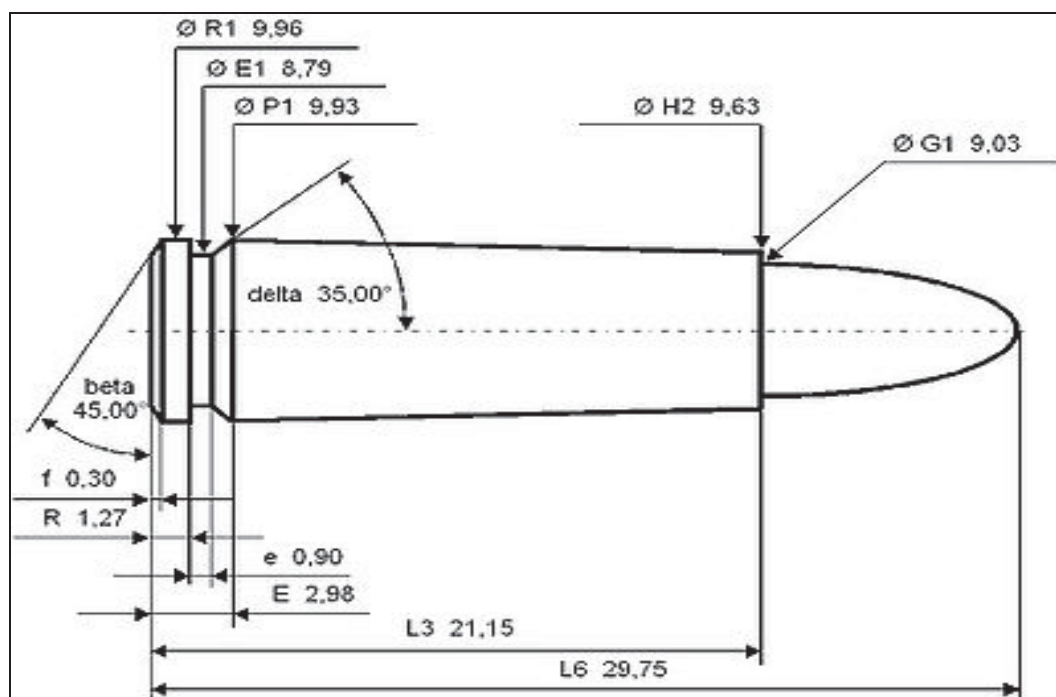
4. กระสุน 9 มม. อัลตรา (9 mm. Ultra) เป็นกระสุนที่เยอรมันตะวันตกพัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้กับปืน วอลเธอร์ พีพี ซุปเปอร์ ที่ผลิตออกมาในช่วงปี ค.ศ. 1972-1973 เป็นปืนที่ตำรวจเยอรมันรับเข้าประจำการ มีความยาวปลอก (0.72 นิ้ว) สั้นกว่า 9 มม.พาราฯ(0.76 นิ้ว)



ภาพที่ 33 กระสุน 9 mm Ultra

ที่มา : Weapons and Equipment, 9 mm Police [online], accessed 27 September 2011. Available from <http://en.valka.cz/viewtopic.php/t/19801>

5. กระสุน 9x21 มม. เป็นกระสุนที่พัฒนามาจากกระสุน 9 มม.พาราฯ ในปี ค.ศ.1980 โดยมีความยาวปลอกมากกว่า คือ 21 มิลลิเมตร เป็นกระสุนปืนที่ใช้อยู่ในประเทศอิตาลี ฝรั่งเศส และเม็กซิโกแม้จะมีความยาวของปลอกมากกว่า แต่ความยาวของกระสุนทั้งนัดเท่ากับ 9 มม.พาราฯ จึงไม่ต้องเปลี่ยนแม็กกาซีนใหม่ เพียงแค่เปลี่ยนลำกล้องให้มีความยาวรังเพลิง 21 มิลลิเมตรเท่านั้น



ภาพที่ 34 แสดงมิติ-ขนาดของกระสุนปืน 9x21

ที่มา : 9x21 mm, Cartridge dimensions [online], accessed 27 September 2010. Available from <http://en.wikipedia.org/wiki/9%C3%9721mm>



ภาพที่ 35 เทียบปลอกกระสุน 9x21(บน) กับ 9x19(ล่าง)

ที่มา : Glock Talk, Difference in 9x19 and 9x21 [online], accessed 27 September 2011. Available from <http://www.glocktalk.com/forums/showthread.php?t=1339204>

6. กระสุน 9 มม. เมาเซอร์ (9 mm Mauser) เป็นกระสุนปืนที่เมาเซอร์พัฒนาขึ้นมาในปี ค.ศ. 1908 เพื่อส่งออกจำหน่ายต่างประเทศพร้อมกับปืนเมาเซอร์รุ่นที่เรียกกันว่า “Export Model” แต่ก็ยุติสายการผลิตลงไปในปี ค.ศ. 1914 เมื่อเกิดสงครามโลกครั้งที่ 1 จัดเป็นกระสุนที่มีอำนาจสูงกว่กระสุน 7.63 เมาเซอร์ ต่อมาในปี ค.ศ. 1933-1934 กองทัพสวิตเซอร์แลนด์ก็นำเอากระสุน 9 มม.เมาเซอร์มาใช้ในปืนกลมือที่ประจำการอยู่ ในขณะที่ Austrian Steyer-Solothurn ก็ผลิตปืนที่ใช้กระสุนนี้ออกมา ทำให้กระสุน 9 มม.เมาเซอร์กลับมาได้รับความนิยมในกลุ่มประเทศยุโรป



ภาพที่ 36 กระสุนปืน 9 mm. Mauser เปรียบเทียบกับกระสุนปืน .22

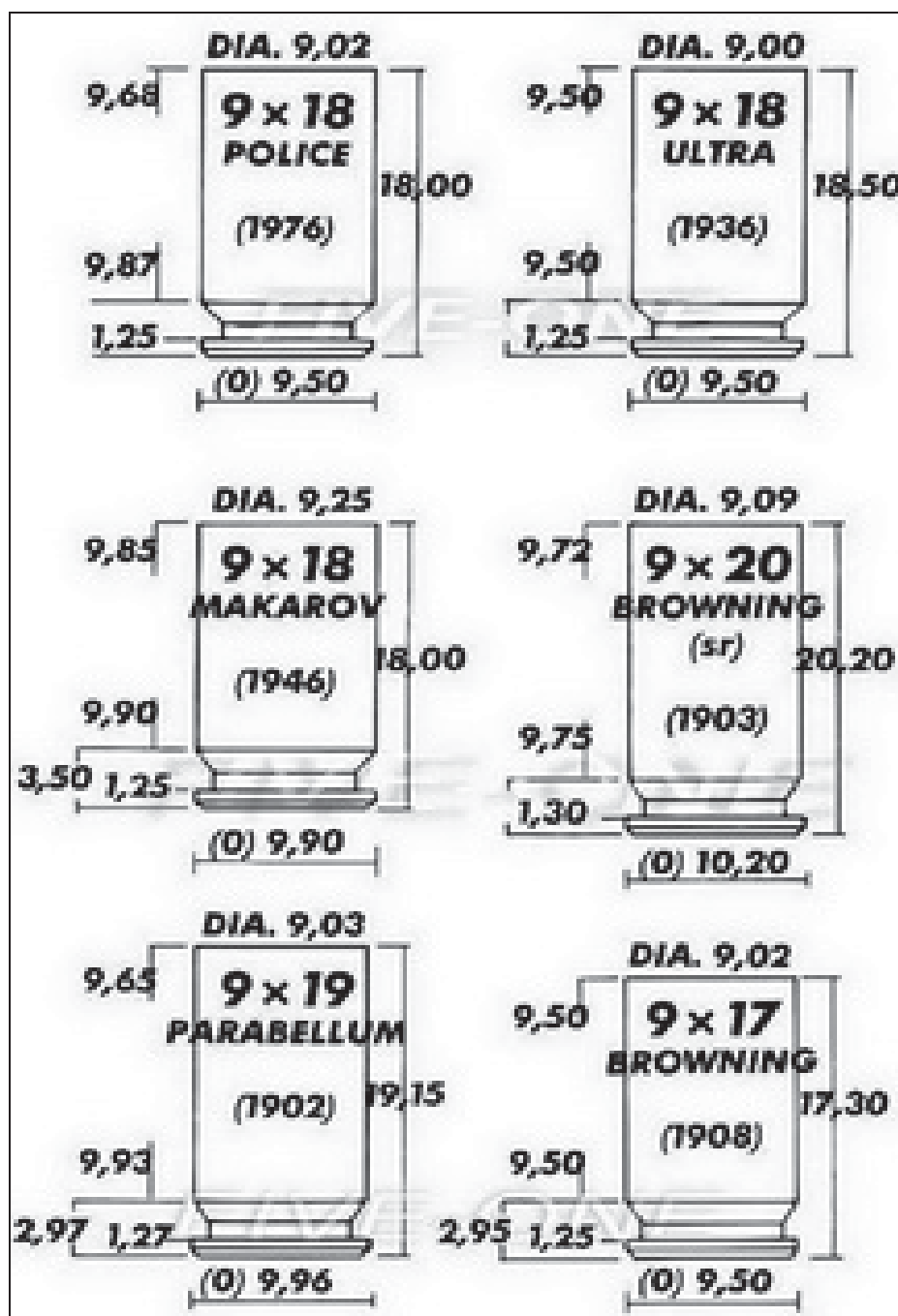
ที่มา : Collection de cartouches, 9 mm Mauser Export [online],accessed 27 September 2011.
Available from <http://la-cartouche.skynetblogs.be/index-2.html>

7. กระสุน 9 มม.มาคารอฟ (9 mm. Makarov) เป็นกระสุนปืนที่พัฒนาโดยสหภาพโซเวียต รัสเซีย ใช้กับปืนมาคารอฟ และปืนกลมือสเทคกิน (Stechkin) ซึ่งเข้าประจำการหลังจากสิ้นสุดสงครามโลกครั้งที่ 2 เล็กน้อย ใช้ในกลุ่มประเทศสนธิสัญญาออร์ซอว์ (Warsaw Pact) และประเทศจีน มีอำนาจอยู่ระหว่างกระสุน .380 ACP กับ 9 มม.พาราฯ



ภาพที่ 37 กระสุนปืน 9 mm. Makarov

ที่มา : Modern Firearms Ammunition, Bullet types [online],accessed 27 September 2011.
Available from <http://world.guns.ru/ammunition/pistol-cartridges-e.html>



ภาพที่ 38 แสดงมิติ-ขนาด ของปลอกกระสุนปืน 9 มม.แบบต่างๆ

ที่มา : [เรียงลำดับกระสุนอย่างไร](http://www.weekendhobby.com/gun/webboard/Question.asp?ID=7535) [online], accessed 27 September 2011. Available from <http://www.weekendhobby.com/gun/webboard/Question.asp?ID=7535>

ที่มาของคราบเขม่าปืนที่เกิดขึ้น จากการยิงปืน (GSR)

เมื่อมีการลั่นไกปืนเกิดขึ้น เข็มแทงชนวน(firing pin) จะไปกระทบที่ชนวนท้ายกระสุนปืน(Primer Cap) ซึ่งจะทำให้แก๊สปืนที่อยู่ตรงชนวนท้ายกระสุนปืนนั้น เกิดการจุดชนวนระเบิดขึ้น เป็นประกายไฟแล้วไปเผาไหม้ให้ดินส่่งกระสุนปืนซึ่งเป็นดินควันน้อย (Smokeless Powder) ที่บรรจุอยู่ภายในปลอกกระสุนปืน เกิดการลุกไหม้และให้แก๊สปริมาณมากอย่างรวดเร็วในเวลาอันสั้น แก๊สที่เกิดขึ้นนั้นจะขยายตัว ทำให้เกิดความดันสูง หรือที่เรียกว่าการจุดระเบิด ทำให้ลูก(หัว)กระสุนปืนสามารถวิ่งออกไปจากปากลำกล้องปืนเพื่อกระทบเป้าหมายได้ นอกจากนี้แรงระเบิดที่เกิดขึ้นจะผลักดันให้อิออนูภาคของสารต่างๆ ที่อุกความร้อนเผาไหม้ กระจายจากภายในอาวุธปืน ออกมาสู่สิ่งแวดล้อมตามบริเวณช่องว่างต่างๆ ของอาวุธปืนซึ่งไอออนูภาคเหล่านี้เมื่อออกมาสู่บริเวณภายนอกที่มีความร้อนน้อยกว่าก็จะควบแน่นลงมา แล้วปลิวไปเกาะติดอยู่ที่บริเวณมือ เสื้อผ้า และพื้นผิวอื่นๆ ที่อยู่บริเวณใกล้เคียง ซึ่งปริมาณมากน้อยของอนุภาคที่จะปลิวมาเกาะนั้น ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลักสำคัญหลายอย่าง เช่น ชนิด ขนาด ลักษณะรูปแบบของอาวุธปืนและกระสุนปืนที่ใช้ หรือสภาพพื้นที่ในขณะยิงปืน เช่น ยิงปืนภายในอาคาร หรือภายนอกอาคารก็จะทำให้ทิศทางการฟุ้งกระจายของไอออนูภาคมีความแตกต่างกันด้วยเป็นต้น

ในขณะยิงปืนนั้น เขม่าที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ของชนวนท้ายกระสุนปืน (Primer Cap) จะก่อให้เกิดอนุภาคที่ประกอบไปด้วย ตะกั่ว (Pb) แบเรียม (Ba) และแอนติโมนี(พลวง) (Sb) ในปริมาณที่แตกต่างกันไป นอกจากอนุภาคเหล่านี้แล้ว ก็ยังมีอนุภาคอื่นๆ อีกหลายชนิดที่เป็นส่วนผสมอยู่ภายในกระสุนปืนด้วย โดยปกติแล้วขนาดของอนุภาคเหล่านี้ จะมีขนาดเล็กมากในระดับไมครอน และพบได้จนถึงขนาดกว่า 100 ไมครอน

ที่ชนวนท้ายของกระสุนปืน(Primer Cap) จะมีส่วนผสมของสารประกอบเคมีหลักสำคัญอยู่ 3 ส่วน ที่มีบทบาทสำคัญในการศึกษาและการวิเคราะห์ในเรื่องคราบเขม่าที่มาจากการยิงปืนได้แก่

1. Initiator เป็นเชื้อปะทุ มีคุณสมบัติคือเป็นสารประกอบเคมีที่สามารถระเบิดได้เองโดยไม่ต้องใช้ไฟจุด เป็นตัวเริ่มขบวนการเมื่อเข็มแทงชนวนกระทบกับแก๊สปืน Initiator ที่ใช้กันมากในปัจจุบัน คือ Lead Styphnate ($\text{PbO}_2\text{C}_6\text{H}(\text{NO}_2)_3$)

2. Oxidizer เป็นตัวให้ออกซิเจนเพื่อช่วยในการเผาไหม้ของ Fuel ซึ่งนิยมทำด้วย Barium Nitrate ($\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$)

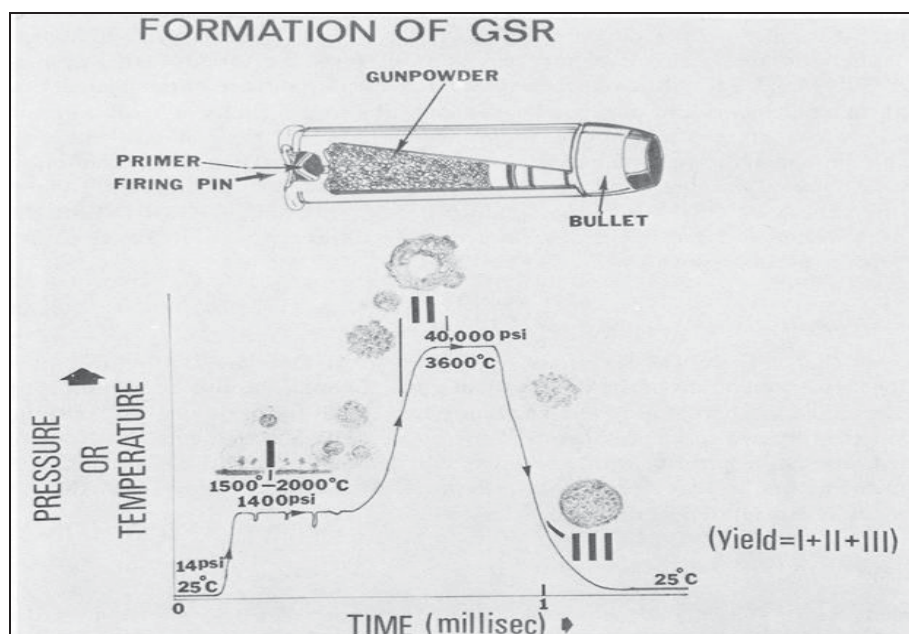
3. Fuel เป็นตัวทำให้เกิดเปลวไฟเพียงพอที่จะจุดดินปืนต่อไปได้ นิยมใช้ Antimony Sulfide (Sb_2S_3) เชื้อปะทุที่ใช้กันในอดีต ได้แก่ Mercury Fulminate ($\text{Hg}(\text{CNO})_2$), Stibnite (Sb_2S_3), Potassium Chlorate (KClO_3) และผงแก้ว (Powder Glass) แต่หลังจากสงครามโลกครั้งที่สอง

เป็นต้นมาจนถึงปัจจุบันมักจะใช้ Lead Styphnate ($\text{PbO}_2\text{C}_6\text{H}(\text{NO}_2)_3$), Stibnite (Sb_2S_3), Barium Nitrate ($\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$) และ Tetracene ($\text{C}_{18}\text{H}_{12}$) โดยแต่ละบริษัทที่ผลิตจะมีองค์ประกอบของสารดังกล่าวแตกต่างกันออกไป

ข้อสังเกตอีกอย่างหนึ่งคือนอกจากอนุภาคเขม่าปืนจะเกิดจากชนวนท้ายกระสุนปืนแล้ว ยังสามารถเกิดจากปลอกกระสุนปืนซึ่งจะให้อนุภาคของธาตุตามวัสดุที่นำมาใช้ทำปลอกกระสุน เช่น เหล็ก (Fe) โครเมียม (Cr) อลูมิเนียม (Al) หรือนิกเกิล (Ni) รวมทั้งทองแดง (Cu) กับ สังกะสี (Zn) เป็นต้น โดยจะไม่พบเขม่าของทองเหลืองในกรณีที่ปลอกกระสุนปืนได้ทำมาจากทองเหลือง (Schwoeble and Exline 2000 :chap.5 pars.25 ; Kazimirov et al. 2006 : 360)

การเกิดขึ้นและการรวมตัวของอนุภาคเขม่าปืน (Gunshot Residue- GSR)

เมื่อเข็มแทงชนวนกระทบที่ชนวนท้ายกระสุนปืน (Primer Cap) จะทำให้เกิดการระเบิดและเผาไหม้ขึ้นอย่างรวดเร็ว ในขณะนั้นจะเกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งอุณหภูมิและความดันสูงขึ้นเป็นอย่างมาก โดยภายในเวลา 1 millisecond (Thornton 1994: abstract) อุณหภูมิจะสูงขึ้นเป็น $3,600\text{ }^{\circ}\text{C}$ และความดันเปลี่ยนเป็น $40,000\text{ psi}$ ถือว่าเป็นการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและความดันอย่างทันทีทันใด ซึ่งที่สภาวะนี้จะมีอุณหภูมิสูงขึ้นกว่าจุดหลอมเหลว (Melting point) และจุดเดือด (Boiling point) ของตะกั่ว แบเรียม และแอนติโมนีเนียม เนื่องจากตะกั่ว แบเรียม และแอนติโมนีเนียม มีจุดเดือดเพียง $1,620\text{ }^{\circ}\text{C}$ $1,140\text{ }^{\circ}\text{C}$ และ $1,380\text{ }^{\circ}\text{C}$ ตามลำดับ (ตารางที่ 1) ดังนั้นธาตุโลหะทั้งสามจะเกิดการเปลี่ยนสถานะจากของแข็งเป็นของเหลวที่จุดหลอมเหลว (T_m) และกลายเป็นไอ (vapors) ที่จุดเดือด (T_b) โดยถูกปล่อยออกมาพร้อมกลุ่มก๊าซ (Plum) ที่ไต่จากการเผาไหม้ของดินสักระสุนปืน เมื่อความดันเพิ่มขึ้นในขณะที่อุณหภูมิลดลงอย่างรวดเร็ว ประกอบกับปริมาณไอที่เพิ่มขึ้นมีมากกว่าจุดอิ่มตัวเป็นเหตุให้อิของธาตุเกิดการควบแน่น (Condense) รวมตัวกันกลับสู่สถานะที่จุดหลอมเหลว เป็นของเหลวหยดเล็ก ๆ (Droplets) โดยที่ผิวของ Droplets นี้ยังมีการเคลื่อนที่อยู่ เหตุการณ์นี้จะเกิดอยู่ในสภาวะสมดุลไดนามิก (Thermodynamical) ที่อุณหภูมิ $1,500 - 2,000\text{ }^{\circ}\text{C}$ ความดัน $9,653\text{ kpa}$ ($1,400\text{ psi}$) เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและการเคลื่อนที่แบบบราวเนียน (Brownian Movement) ทำให้อนุภาคเล็กๆ ซึ่งแขวนลอยอยู่ในของเหลวเคลื่อนที่โดยอาศัยทฤษฎีพลังงานจลน์แห่งความร้อน (Kinetic Theory of Heat) ในระดับโมเลกุล กลายเป็น Droplets ที่มีธาตุองค์ประกอบเหมือนกันทั้งหมด เมื่อผ่านบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงกว่ามายังบริเวณที่อุณหภูมิต่ำกว่า เกิดการเย็นและแข็งตัว (Sediment) เป็นอนุภาคขนาด $0.1 - 30\text{ }\mu\text{m}$. (อนุภาคที่พบส่วนใหญ่มีขนาดเล็กกว่า $10\text{ }\mu\text{m}$.) กระจายตัวและตกค้างไปยังบุคคลและ วัตถุต่างๆ ในบริเวณที่มีการยิงปืน ทั้งนี้ อาจมีบางอนุภาคที่สามารถก่อตัว (Formed) ก่อนการระเบิด ของดินสักระสุนปืน (อัญญาฤทธิ์ ผลภาค, 2554 : 59-60)



ภาพที่ 39 แสดงกลไกการเกิดอนุภาคเขม่าปืนทั้ง 3 สถานะคือ I - กลายเป็นไอ II – ควบแน่น และ III – เกิดการแข็งตัว

ที่มา : S. Basu, “Formation of Gunshot Residues,” *Journal of Forensic Science* 27, (1982) : 89.

Melting and boiling point of some elements present in GSR [79] ^a				
Name	Atomic number	Atomic mass	T_m (°C)	T_b (°C)
Aluminum	13	26.98	660	2519
Antimony	51	121.75	631	1587
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
Mercury	80	200.59	-39	357
Tin	50	118.69	232	2602
Zinc	30	65.37	420	907

^a This table gives the melting point (T_m) and the boiling point (T_b) at a pressure of 101.325 kPa (1 atm). Values are given in °C.

ตารางที่ 1 แสดงจุดหลอมเหลว (Melting point, T_m) และ จุดเดือด (Boiling point, T_b) ของธาตุที่พบในอนุภาคเขม่าปืน

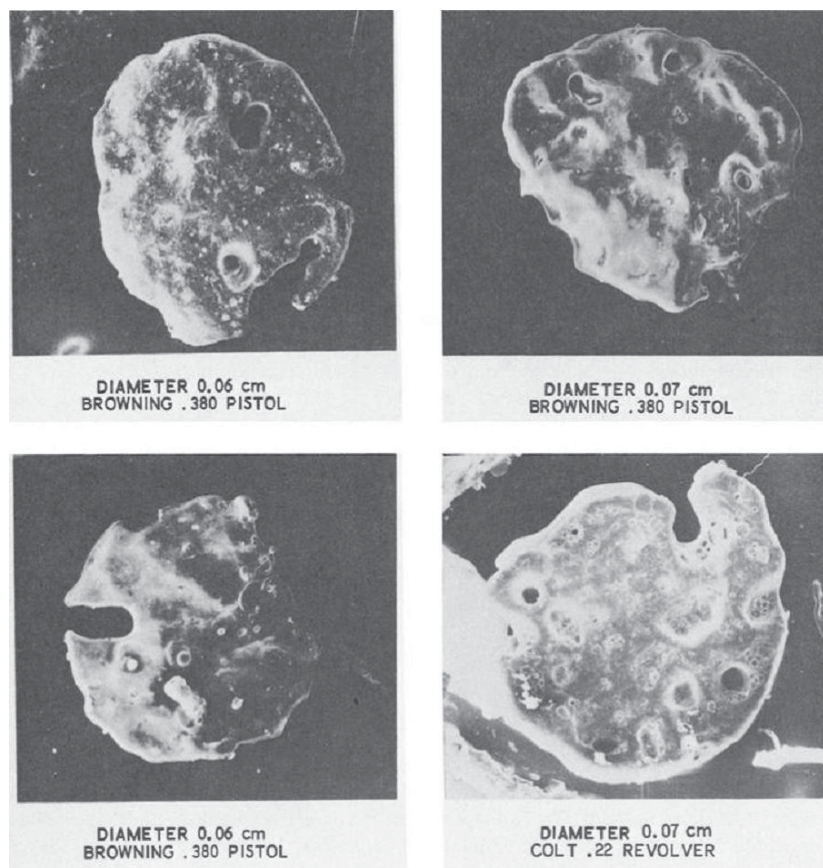
ที่มา : F.S. Romolo and P. Margot, “Identification of Gunshot Residue : A Critical Review”, *Forensic Science International* 119, 2 (June 2001) : 201.

ประเภทของอนุภาคที่เกิดจากการยิงปืน (อัยยยุทธ ผลภาค, 2554)

การจำแนกอนุภาคที่เกิดจากการยิงปืนบนมือ โดยเปรียบเทียบกับอนุภาคเขม่าปืนที่ได้จากปากลำกล้องปืนหลังการยิงปืน ด้วยเทคนิค SEM/EDX ได้จำแนกเป็น 3 ประเภท ซึ่งเป็นประโยชน์ในการตรวจวิเคราะห์ห้อนุภาคเขม่าปืน คือ

1. อนุภาคที่ได้มาจากการเผาไหม้ของดินส่่งกระสุนปืน (Partially Burned Smokeless Powder Particles) เป็นอนุภาคที่ได้จากดินส่่งกระสุนปืน ซึ่งมีสีดำ และมีขนาด 10-3- 10-1cm พบได้อย่างชัดเจนที่สุดในขนาด 0.1 cm โดยมีรูปร่างที่ไม่แน่นอนเพราะเกิดจากดินส่่งกระสุนปืนซึ่งเผาไหม้โดยไม่สมบูรณ์ เมื่อวิเคราะห์ที่กำลังขยายต่ำ (x100) พบว่าผิวบริเวณโครงร่างและขอบของอนุภาคมีลักษณะเรียบ และมีรูลักษณะคล้ายปล่องภูเขาไฟบนผิวของอนุภาค โดยมีบางรูทะลุผ่านผิวของอนุภาค เมื่อวิเคราะห์ด้วย SEM กำลังขยายสูงในอนุภาคที่ขนาดเล็กกว่า พบว่าอนุภาคมีผิวขรุขระคล้ายฟองน้ำ โดยมีรูคล้ายปล่องภูเขาไฟบริเวณผิวอนุภาค (ภาพที่ 40) เมื่อวิเคราะห์ด้วย CharacteristicX-ray พบสัญญาณสะท้อนของธาตุตะกั่ว (Pb) แอนติโมนี (Sb) และแบเรียม (Ba) ในระดับต่ำและเมื่อวิเคราะห์โดยใช้ Ba Mapping พบว่ามีแบเรียม (Ba) รวมกันในลักษณะจุดกลม ๆ อยู่ในรูบนผิวของอนุภาค โดยไม่พบจุดกลม ๆ ของแบเรียมในการวิเคราะห์อนุภาคที่มีขนาดใหญ่ เนื่องจากอนุภาคเขม่าปืนขนาดใหญ่มีสาร Organic ปะปนอยู่ที่บริเวณผิว แต่สามารถพบว่ามีธาตุ

ตะกั่ว (Pb) แอนติโมนี (Sb) และแบเรียม (Ba) ในอนุภาคขนาดใหญ่เมื่อใช้เทคนิค Ion Microprobe Mass Analysis หรือ IMMA แม้ว่าพื้นผิวของอนุภาคที่ศึกษานั้นไม่มีลักษณะกลมมนแต่อย่างไรก็ตาม ไม่พบสัญญาณของธาตุทั้งสามเมื่อใช้ Ion Beam วิเคราะห์ก็ลึกลงไปภายในอนุภาค ซึ่งแสดงให้เห็นว่าธาตุทั้งสามปรากฏอยู่บนบริเวณผิวของอนุภาคเท่านั้น

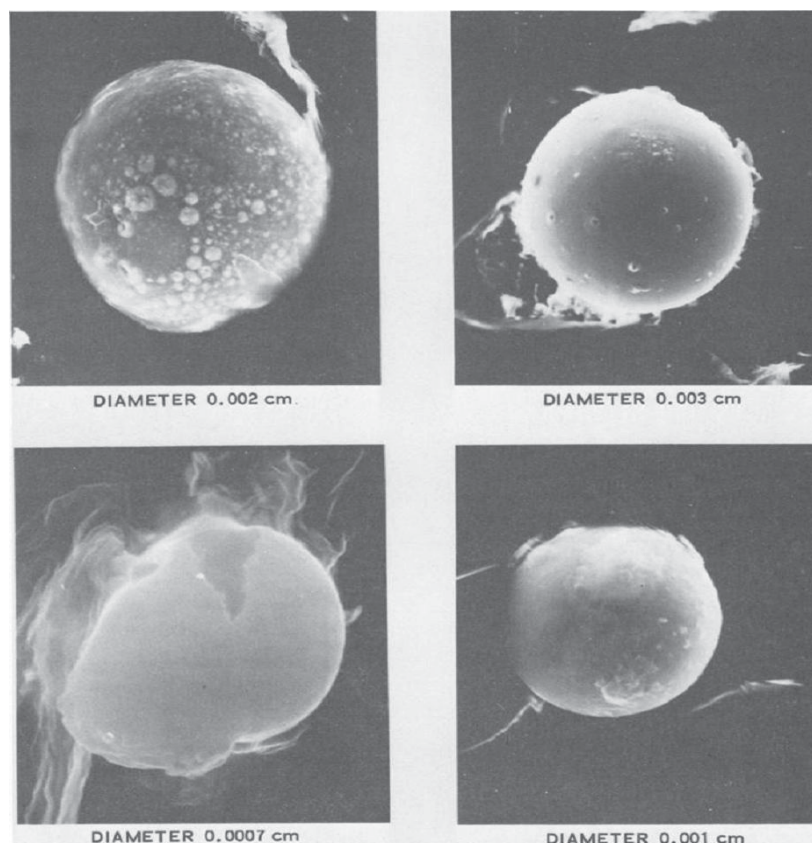


ภาพที่ 40 Secondary Electron Image (SEI) แสดงภาพตัดขวางของอนุภาคที่ได้มาจากการเผาไหม้ของดินสักระสุนปืน (Partially Burned Smokeless Powder Particles) ด้วยเทคนิค SEM โดยใช้กำลังขยายต่ำ

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.

2. อนุภาคที่มีลักษณะรูปทรงกลมและค่อนข้างกลม (Spherical or Spheroidal Particles) เป็นอนุภาคที่สำคัญเพื่อใช้หาอนุภาคเขม่าปืนบนมือ เนื่องด้วยพบว่ามีธาตุตะกั่ว (Pb) แอนติโมนี (Sb) และแบเรียม (Ba) รวมกันอยู่บนผิวของอนุภาคในลักษณะรูปทรงกลมหรือค่อนข้างกลม (ภาพที่ 41) เมื่อวิเคราะห์ด้วยอิเล็กตรอนพลังงานสูง (High Electron-beam Current) ประกอบกับ Cathodray และ IMMA อนุภาคประเภทนี้มีขนาดเล็กมาก มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 3×10^{-4} - 3×10^{-3} cm และสามารถพบอนุภาคเหล่านี้ได้ทุกครั้ง โดยพบสัญญาณ Characteristic X-ray ของธาตุตะกั่ว (Pb) แอนติโมนี (Sb) และแบเรียม (Ba) ในระดับสูง โดยพบว่ามีตะกั่ว (Pb) บ่อยครั้งที่สุด

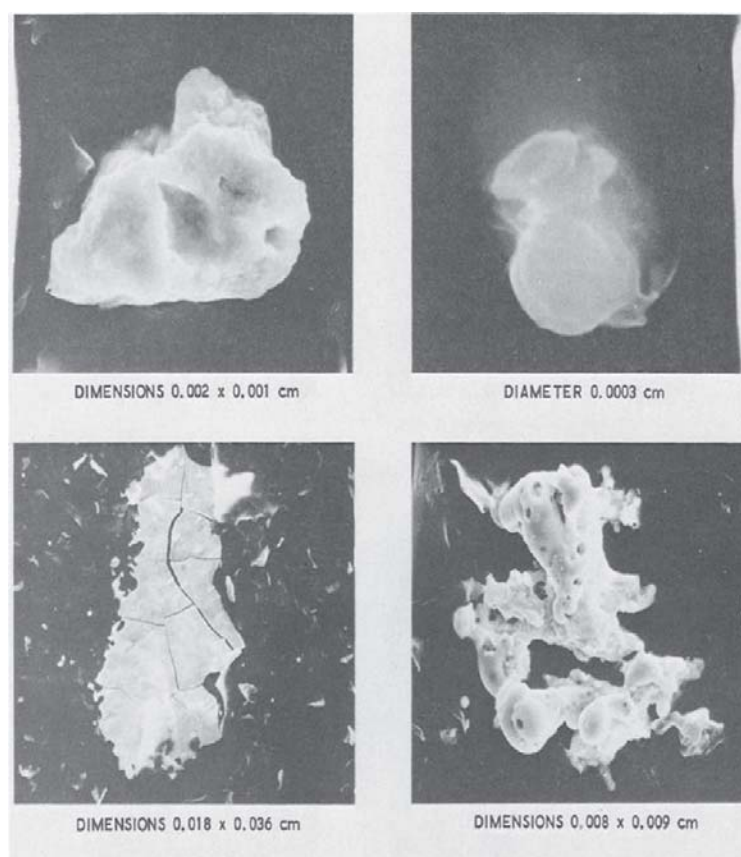
แอนติโมนี (Sb) และแบเรียม (Ba) พบได้เมื่อชนวนท้ายกระสุนปืนมีธาตุ 2 ชนิดนี้เป็นส่วนประกอบ และพบธาตุชนิดอื่นได้ในบางครั้งหรือในสัดส่วนที่ไม่แน่นอน



ภาพที่ 41 อนุภาคเขม่าปืนที่มีลักษณะกลมมน (Spherical Particles) ในลักษณะแตกต่างกันไปตามชนิด และปริมาณของธาตุที่เป็นองค์ประกอบของเขม่าปืน : (บนซ้าย) Pb, Sb และ Ba (บนขวา) Pb, Ba, Ca และ Si (ล่างซ้าย) Pb (ล่างขวา) Pb และ Ba

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.

3. อนุภาคที่ไม่มีรูปสัณฐานเฉพาะตัว (Non-descriptive Morphology Particles) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 1×10^{-4} ถึง 5×10^{-2} cm พบได้น้อยครั้งกว่าอนุภาคลักษณะกลมมน (Spherical Particles) แต่ยังพบได้บ่อยครั้งทั้งในเขม่าปืนที่เก็บจากมือและเขม่าจากปากกล้อยิงปืน มีรูปร่างไม่แน่นอน (ภาพที่ 42) มีหลายรูปแบบ เช่นมีรูปร่างคล้ายเศษโลหะหรืออาจรวมกันเป็นก้อน ซึ่งไม่มีลักษณะเฉพาะ (Characteristic) ที่ใช้เป็นประโยชน์สำหรับการแยกแยะหรือพิสูจน์เอกลักษณ์เขม่าปืน



ภาพที่ 42 Secondary Electron Image (SEI) แสดงอนุภาคเขม่าปืนที่ไม่มีรูปสัณฐานเฉพาะตัว (Nondescriptive Morphology Particles) ในรูปแบบต่างกัน โดยมีส่วนประกอบของธาตุต่างกัน : (บนซ้าย และ ล่างซ้าย) ประกอบด้วย Pb, Sb และ Ba (บนขวา) Pb, Si และ Cu (ล่างขวา) Pb, Ba, Si และ Ca

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.

รูปสัณฐานของอนุภาคที่เกิดจากการยิงปืน

รูปสัณฐานของอนุภาค (Morphology) เกิดจากผลการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและการเคลื่อนที่แบบบราวเนียน (Brownian Movement) โดยหลังจากการก่อตัวของอนุภาคที่สภาวะสมดุลไดนามิก Droplets หยดเล็ก ๆ อาจรวมตัวกันอย่างรวดเร็ว ในลักษณะเชื่อมติด (Coalesce) หรือห่อหุ้ม (Nucleate) กันไว้ จนกลายเป็นอนุภาคเดียวกันที่มีขนาดใหญ่ขึ้นๆ ส่วน Droplets หยดเล็ก ๆ ที่ไม่ได้เกิดการรวมตัว ด้วยขนาดของมันจึงเคลื่อนที่ได้ในความเร็วเฉลี่ยที่สูง ทำให้สามารถ

เคลื่อนที่ผ่านบริเวณซึ่งมีอุณหภูมิและความดันสูงได้ดีกว่า Droplets ขนาดใหญ่ และแม้ว่าจะถูกทำลายด้วยความร้อนน้อยกว่าแต่เกิดการเสียสมดุลทางรูปร่างได้มากกว่า เป็นเหตุให้เกิดการเสียรูปร่างไปจากเดิม เนื่องด้วยโมเมนตัม (Momentum) และพลังงานจลน์ (Kinetic Energy) ของ Droplets ขนาดเล็กมีอยู่ในจำนวนที่เท่า ๆ กัน ในทางตรงกันข้าม Droplets ที่มีขนาดใหญ่กว่าซึ่งมีน้ำหนักมาก ทำให้ต้องอยู่ในสภาวะการเปลี่ยนแปลง (Metastable State) หลาย ๆ สภาวะ เช่น การเดือด (Boiling) การแตกตัวออกเป็นชิ้นเล็ก ๆ (Fragmenting) และ การกัดกร่อน (Etching) ส่งผลทำให้รูปร่างมีความเสถียร โดยรูปร่างลักษณะและขนาดของอนุภาคย่อมแตกต่างกันไปตามชนิดอาวุธปืนและกระสุน การศึกษานี้แบ่งอนุภาคของเขม่าปืนเป็น 2 กลุ่ม ตามชนิดของกระสุนปืน

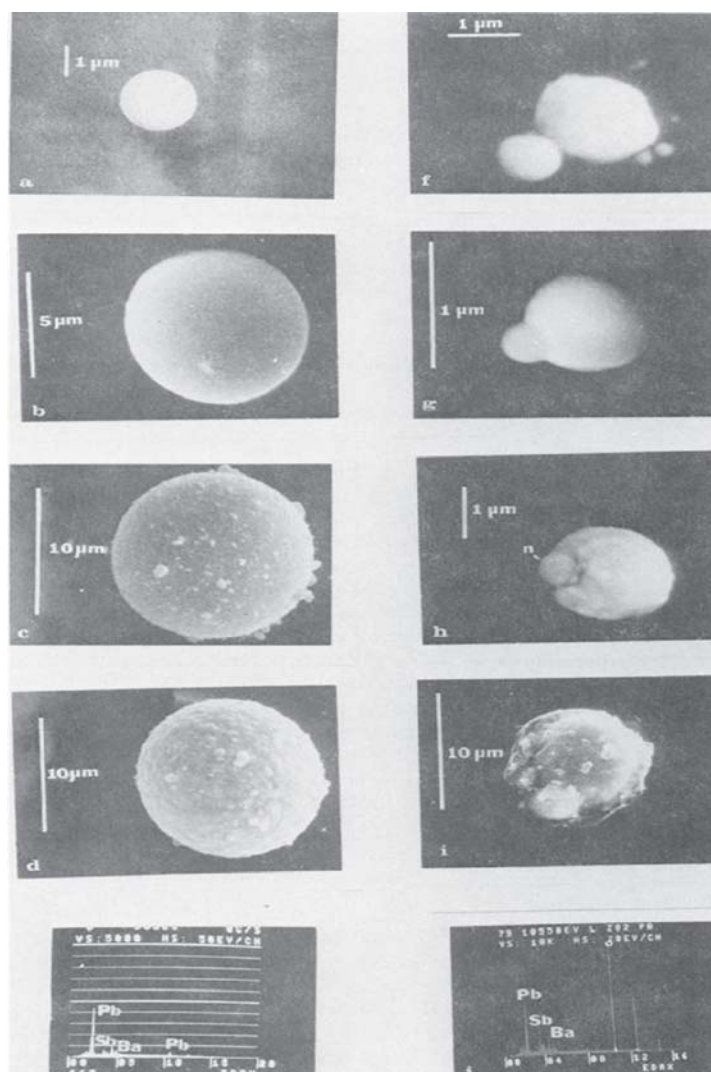
อนุภาคที่ได้มาจากกระสุนปืนชนิดธรรมดา (Regular Ammunition) ตามรายงานของ Basu (1980 : 75-81, 89) แสดงให้เห็นว่าโดยปกติมักพบอนุภาคเขม่าปืนในรูปร่างกลม (Spherical Particle) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Nesbitt และคณะ (1976) แต่เนื่องจากพบว่าผิวของอนุภาคมีลักษณะเฉพาะ จึงจำแนกพื้นฐานของอนุภาคเขม่าปืนออกเป็น 3 จำพวก คือ

1. อนุภาคจำพวกที่ 1 อนุภาคขนาดเล็ก (Type I- Regular, Nodular and Irregular Spheroids GSR Particles) (ภาพที่ 43 และ ภาพที่ 44) เป็นอนุภาคที่มีธาตุตะกั่ว (Pb) แอนติโมนี (Sb) และแบเรียม (Ba) เป็นองค์ประกอบเหมือนกันทั้งหมด แม้ว่าอนุภาคเขม่าปืนที่วิเคราะห์ได้มาจากการใช้ปืนและกระสุนปืนต่างชนิดกัน สามารถแบ่งกลุ่มย่อยของอนุภาคขนาดเล็กออกได้เป็น 3 ชนิด คือ

1.1 Regular Spheroids GSR (ภาพที่ 43 a, b, c และ d) คืออนุภาคขนาดเล็กที่รูปร่างปกติ มีลักษณะกลมมน ผิวเรียบ มีปุ่มเล็ก ๆ (Knobby) ปรากฏอยู่บนผิวอนุภาค จัดได้ว่าเป็นรูปพื้นฐานที่มีความสมดุลมากที่สุด

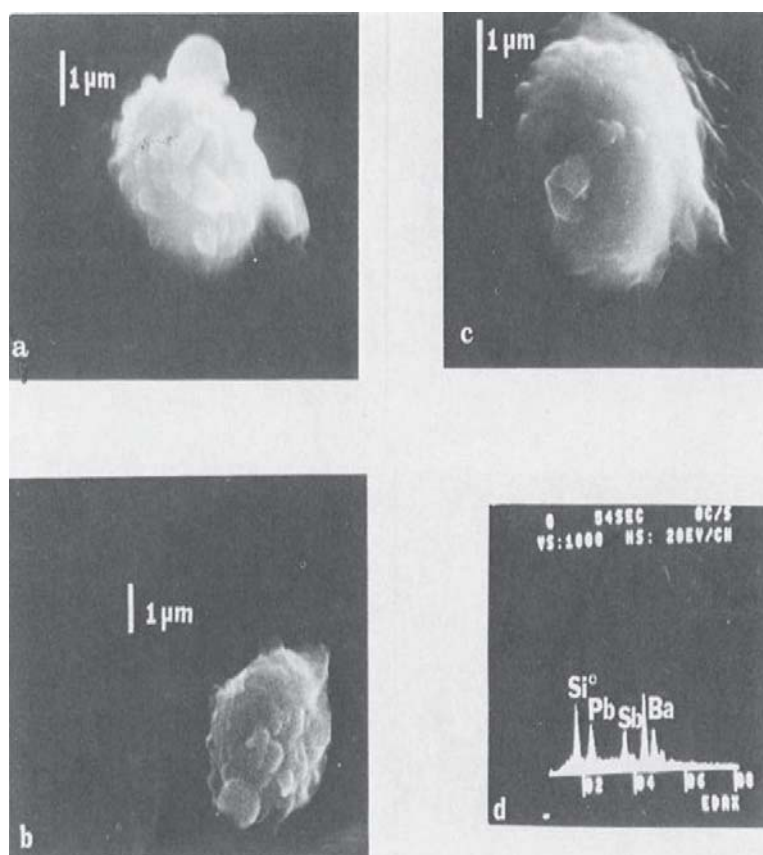
1.2 Nodular Spheroids GSR (ภาพที่ 43 f, g, h และ i) อนุภาคกลมขนาดเล็กที่มีปุ่มยื่นออกมาจากผิวของอนุภาค โดยเกิดจากการรวมตัวกันของอนุภาคทรงกลมขนาดเล็กและอนุภาคทรงกลมที่มีขนาดเล็กที่มีขนาดใหญ่กว่า

1.3 Irregular Spheroids GSR (ภาพที่ 33 a, b และ c) เป็นอนุภาคกลมขนาดเล็ก มีโครงสร้างผิวในลักษณะที่ไม่สม่ำเสมอ คือมีส่วนซึ่งมีลักษณะคล้ายปุ่มหรือยอดแหลม เป็นอนุภาคที่ไม่สมดุล และยังพบว่ามิธาตุซิลิคอน (Si) เป็นองค์ประกอบ



ภาพที่ 43 รูปสัณฐานของ Type I GSR Particle (รูป a, b, c และ d) Regular Spheroids GSR Particle (รูป e) X-ray Emission Spectrum ของ Regular Spheroids GSR Particle (รูป f, g, h และ i) Nodular Spheroids GSR Particle (รูป j) X-ray Emission Spectrum ของ Nodular Spheroids GSR Particle ตัวอักษร n ในรูป h ใช้เป็นสัญลักษณ์แทน Indicate Nodule (รูป a และ h) 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 และ (รูป 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.



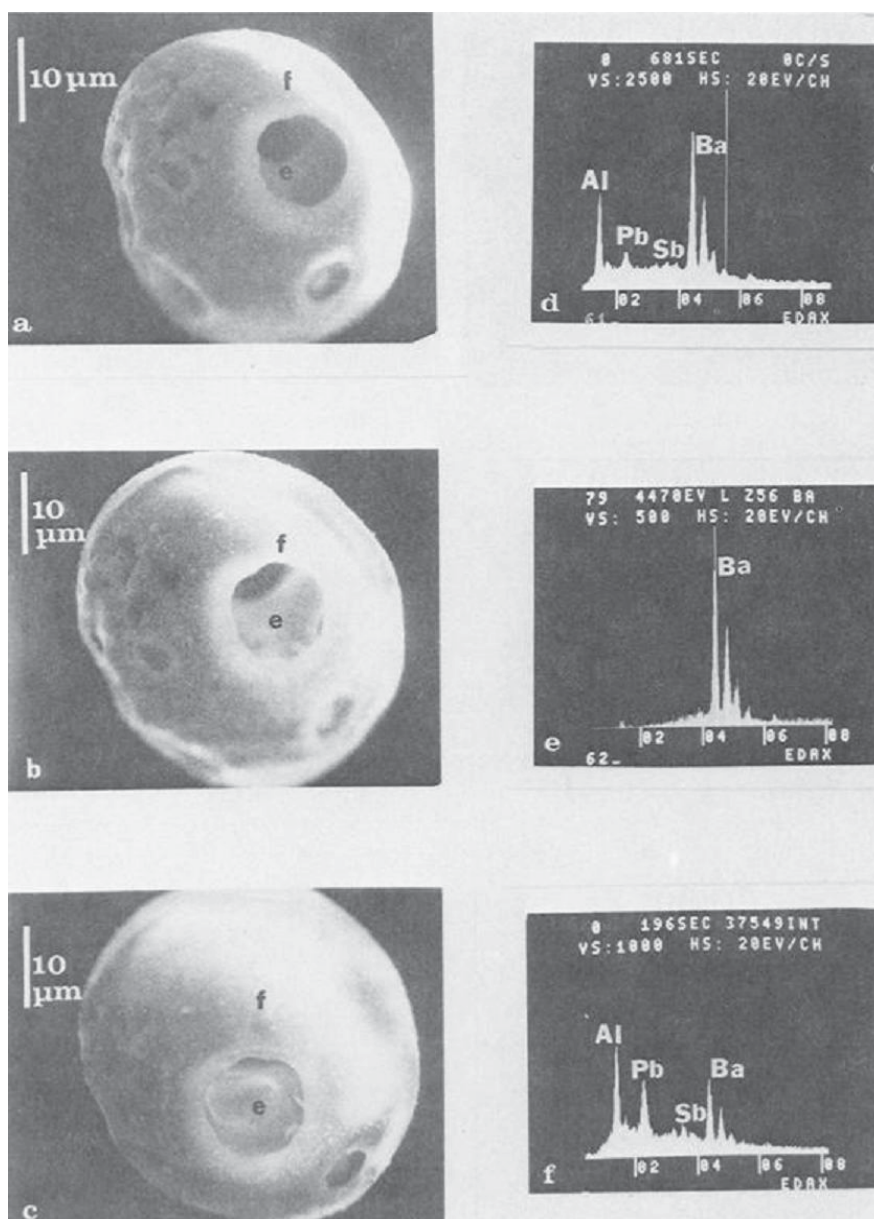
ภาพที่ 44 รูปสัณฐานของ Type I -Irregular Spheroids GSR Particle (รูป a-c) แสดงถึงรูปร่างที่ไม่สมคูล (รูป d) X-ray Emission Spectrum ของ Irregular Spheroids GSR Particle เก็บตัวอย่างจากการยิงทดสอบด้วยอาวุธปืน .38 Smith & Wesson Revolver ด้วยกระสุนปืน .38

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

2. อนุภาคจำพวกที่ 2 อนุภาคขนาดใหญ่ (Type II-Hollow-shape and Atypical Irregular GSR Particles) เกิดจากการรวมตัวของอนุภาคจนมีขนาดใหญ่ขึ้น โดยพบว่ามีขนาดใหญ่ที่สุดมีเส้นผ่านศูนย์กลางถึง 55 μm แบ่งกลุ่มย่อยของอนุภาคออกได้เป็น 2 ชนิด คือ

2.1 Hollowshape GSR (ภาพที่ 45) คืออนุภาคที่ผิวมีโพรงขนาดใหญ่ และหลุมเล็ก ๆ จำนวนมาก

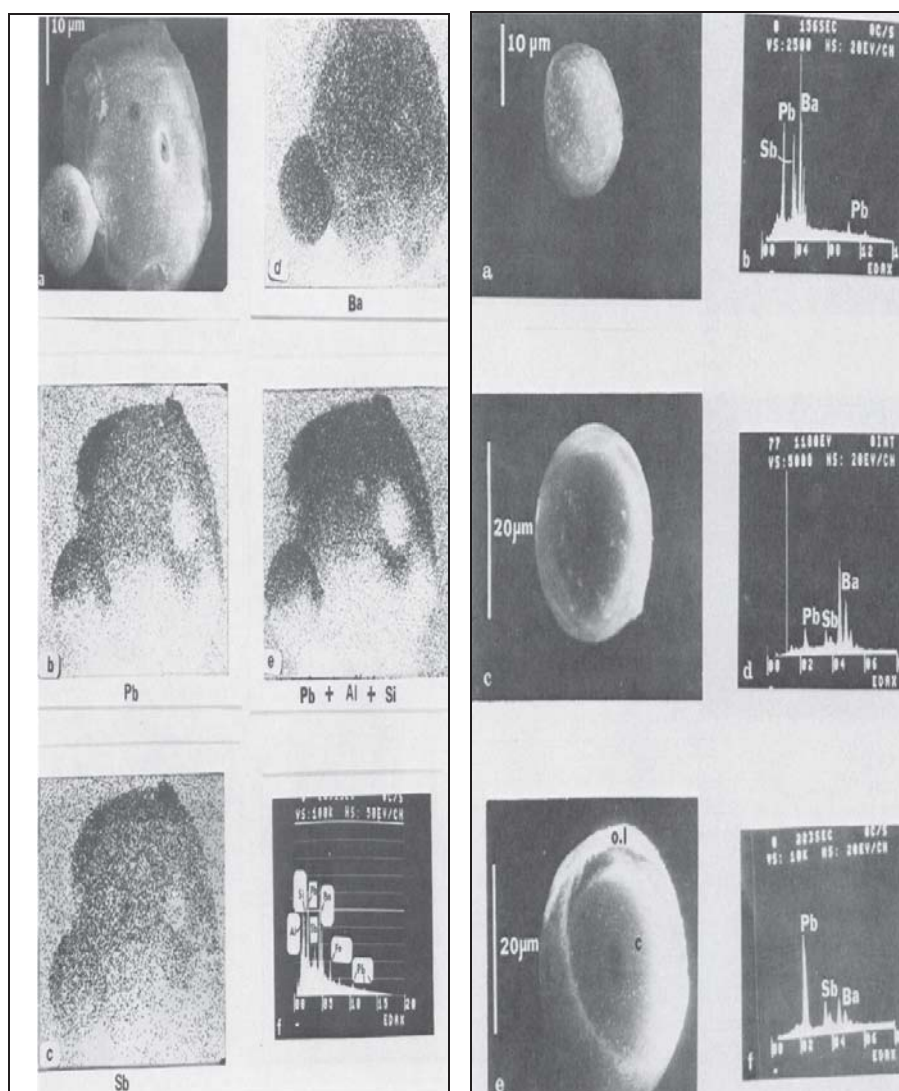
2.2 Atypical Irregular GSR (ภาพที่ 46 (ซ้าย)) เป็นอนุภาคขนาดใหญ่ชนิดที่มีรูปสัณฐานซึ่งไม่สมคูลและมีความผิดปกติสูง และมีธาตุชนิดอื่นเป็นองค์ประกอบ



ภาพที่ 45 A hollow-shaped GSR Particle เก็บตัวอย่างจากการยิงทดสอบด้วยอาวุธปืนลูกซอง Semiautomatic Remington 1100 กำหนดมุมเพื่อวิเคราะห์ด้วย X-ray Detector (a) 450 (b) +160 และ (c) -160 โดยแสดงให้เห็นธาตุอันเป็นองค์ประกอบด้วย X-ray Emission Spectra (d) ธาตุอันเป็นองค์ประกอบของอนุภาคทั้งอนุภาค (e) ธาตุอันเป็นองค์ประกอบในโพรงขนาดใหญ่ ซึ่งในรูปแบบด้วยสัญลักษณ์อักษร e และ (f) ธาตุอันเป็นองค์ประกอบของผิวอนุภาค

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

3. อนุภาคจำพวกที่ 3 อนุภาคแบบผิวเปลือกส้ม (Type III-Peeled Oranges GSR Particles) (ภาพที่ 46 (ขวา) a, b และ c) เป็นอนุภาคขนาดใหญ่ชนิดหนึ่ง ที่มีลักษณะเฉพาะ คือ มีแบเรียม (Ba) เป็นแกนซึ่งถูกเคลือบด้วยแอนติโมนี (Sb) และมีตะกั่ว (Pb) เคลือบผิวภายนอกสุดอีกชั้นหนึ่ง



ภาพที่ 46 (ซ้าย) รูปสัณฐานของ Atypical GSR Particle และการวิเคราะห์ด้วย X-ray Mapping ของ ตะกั่ว (Pb), แอนติโมนี (Sb) และแบเรียม (Ba) ที่อยู่บนผิวของอนุภาค โดยใช้สัญลักษณ์อักษร n แทนปุ่มที่อยู่บนผิวอนุภาค (Nodule) และ h แทนรูที่อยู่บนผิวอนุภาค (Hole) : (a) แสดงรูปสัณฐาน (Morphology), (b) Lead Map, (c) Antimony Map, (d) Barium Map, (e) Lead, Aluminum, and Silicon Maps (ในลักษณะวางซ้อนกัน) และ (f) แสดงธาตุที่เป็นส่วนประกอบของอนุภาคด้วย

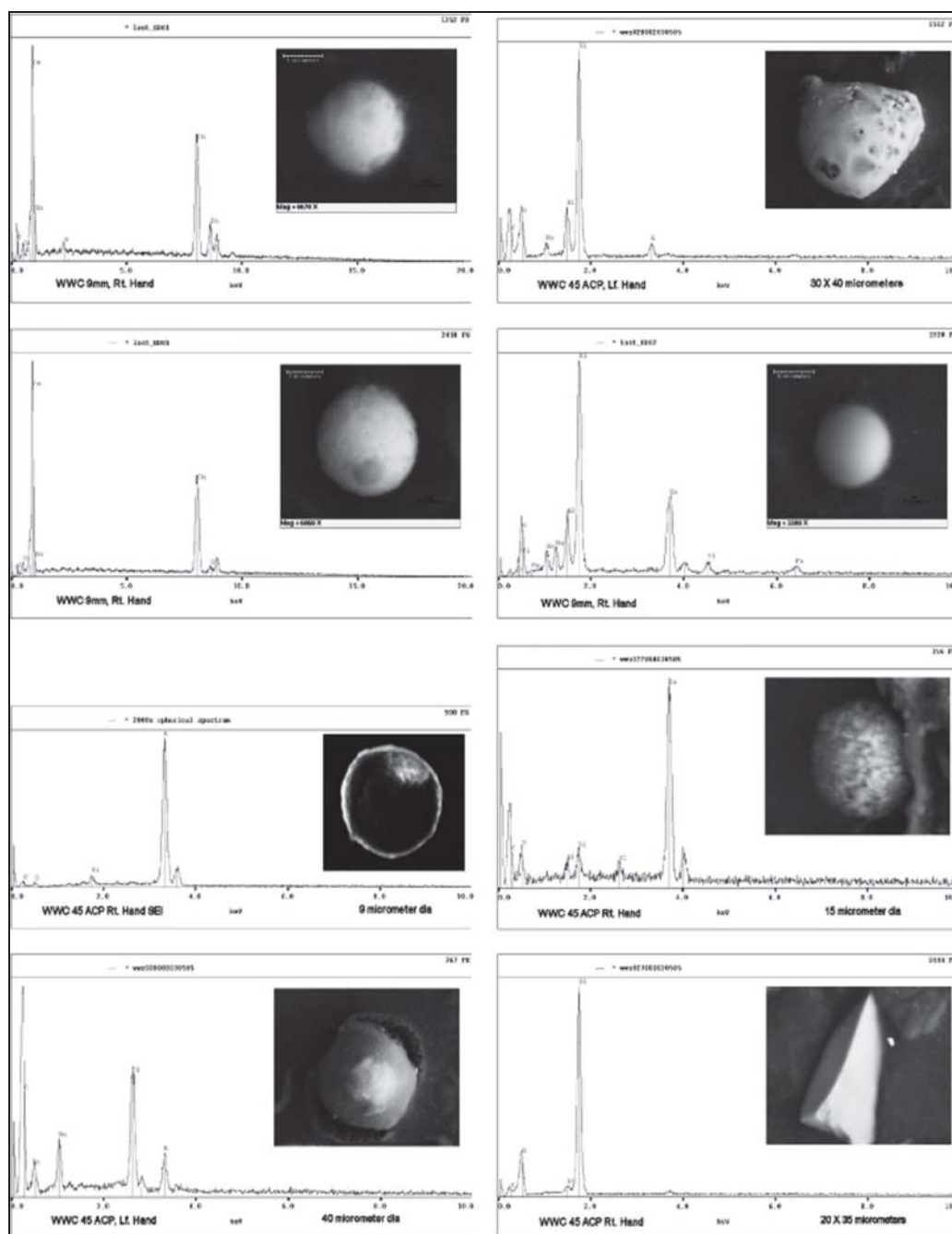
X-ray Emission Spectrum โดยเก็บตัวอย่างจากการยิงด้วยอาวุธปืนลูกซองชนิดหักลำ (Hinge Frame) ขนาด Gauge 12 ซึ่งผลิตในประเทศ Brazil ด้วยกระสุนปืน 70-mm (23/4-in.) 00 buckshot และ (ขวา) อนุภาคแบบผิวเปลือกส้ม หรือ Peeled Oranges GSR (a, c, และ e) แสดงรูปพื้นฐาน (b, d, และ f) แสดง X-ray Emission Spectra โดยใช้สัญลักษณ์อักษร c แทนแกนในอนุภาค (Core) และ o.1 แทนผิวอนุภาค (Outer Leaflet) (a และ b) เก็บตัวอย่างจากมือข้างขวาของศพที่ฆ่าตัวตาย รูป a และ h (c และ d) ยิงทดสอบด้วยปืน Walther PPK/S Pistol ใช้กระสุนปืน .380automatic 95-grain Western (e และ f) การยิงทดสอบด้วย .38 Smith & Wesson Revolver

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

จากรายงานของ Basu สรุปได้ว่า รูปพื้นฐานของอนุภาคเขม่าปืนที่สมบูรณ์มีลักษณะค่อนข้างกลมหรือกลม (Regular Spheroids Particle) มีขนาดตั้งแต่ 1-10 μm โดยมีตะกั่ว(Pb),แอนติโมนี(Sb) และแบเรียม(Ba) เป็นองค์ประกอบหลักเหมือนกันทั้งหมด อนึ่ง มีรายงานว่ามากกว่า 70% จนถึง 100 % ของอนุภาคเขม่าปืนชนิดที่ใช้เพื่อยืนยันว่าบุคคลนั้นผ่านการใช้ปืนมาจริง (Uniqueness GSR) มีรูปร่างกลม (Spheroid) (Wolten et al.1977,cited in Schwoeble and Exline2000 : chap. 2 par. 8) และพบมากในขนาดต่ำกว่า 5 μm (ASTM Standards 2001) ส่วนอนุภาคเขม่าปืนที่ไม่สมบูรณ์ (Irregular Particle) ให้รูปพื้นฐานที่ไม่มีลักษณะกลม เกิดจากการรวมตัวกันของอนุภาคจนมีขนาดใหญ่มากขึ้นๆ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง10-55 μm โดยพบว่ามีธาตุชนิดอื่นเป็นองค์ประกอบเพิ่มเติม และยังพบลักษณะเฉพาะของอนุภาคแบบผิวเปลือกส้ม(Peeled OrangesGSR) ที่แกนมีแบเรียม (Ba) เคลือบด้วยแอนติโมนี (Sb) และมีตะกั่ว (Pb) เคลือบผิวภายนอกสุด

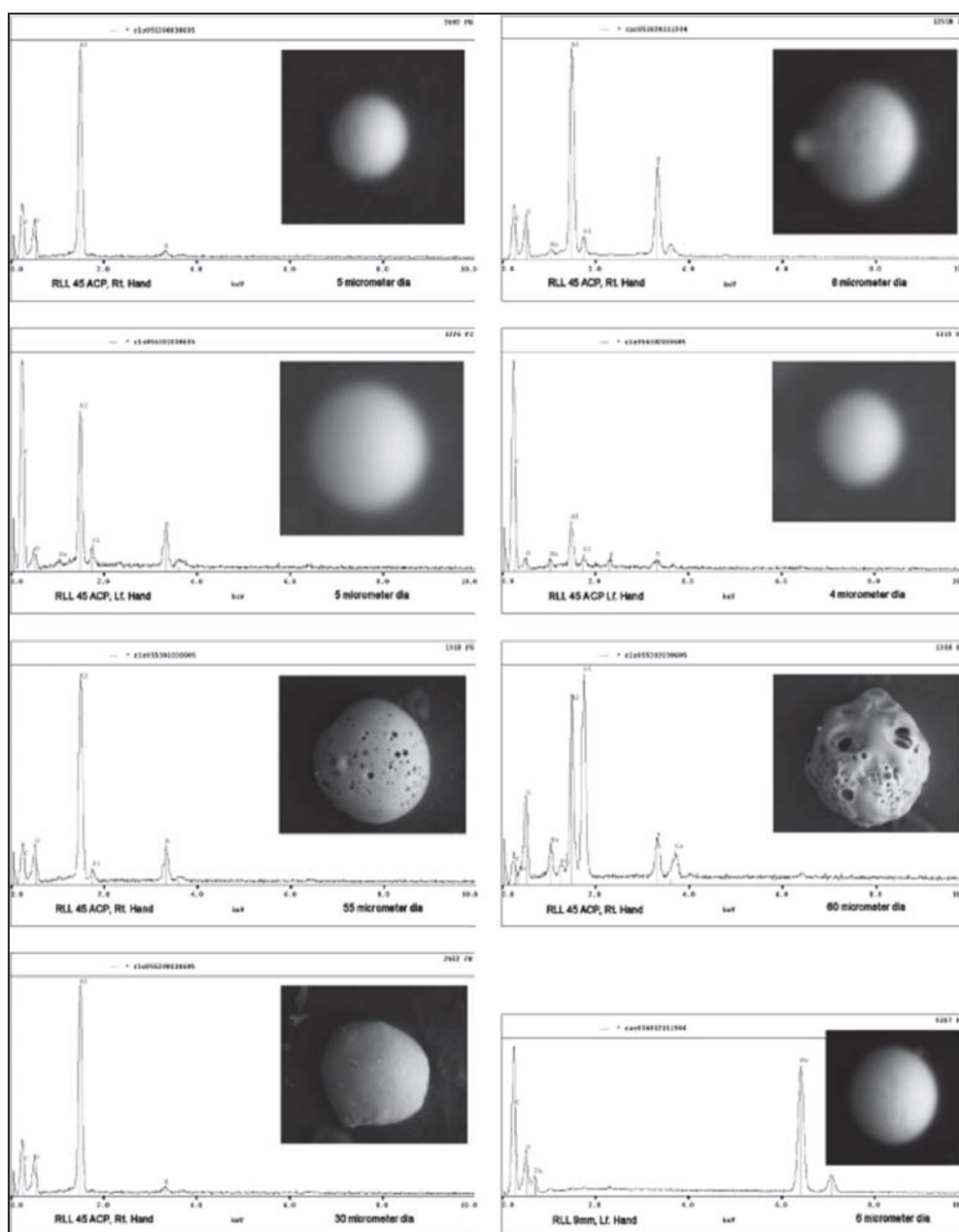
อนุภาคที่ได้จากกระสุนปืนชนิด Lead-free ตามที่ Oommen และ Pierce (2006) ได้ศึกษาจากกระสุนปืน Winchester WinClean™ (ภาพที่ 47), Remington/UMC LeadLess™ (ภาพที่ 48),Federal BallisticClean™ (ภาพที่ 49) และ Speer Lawman CleanFire™ (ภาพที่ 50) ธาตุที่พบจากการตรวจวิเคราะห์ คือ อะลูมิเนียม (Al), ซิลิคอน (Si), ทองแดง (Cu) และสังกะสี (Zn) โดยพบว่าอนุภาคเขม่าปืนทั้งหมดมีอะลูมิเนียม (Al) และซิลิคอน (Si) เป็นธาตุองค์ประกอบหลัก และมีโซเดียม (Na),คลอรีน(Cl),แคลเซียม (Ca) หรือแมกนีเซียม (Mg) ในบางอนุภาค ยกเว้นอนุภาคขนาด 1-6 μm ซึ่งมีรูปพื้นฐานทรงกลม (Spherical Particle) ที่ได้มาจาก Winchester WinClean™, Remington/UMC LeadLess™ และ Speer Lawman CleanFire™ มี ทองแดง (Cu) และสังกะสี (Zn) เป็นองค์ประกอบ แต่ Federal BallisticClean™ มีทองแดง (Cu) และดีบุก (Sn)

เป็นองค์ประกอบ และแม้ว่าจะมีส่วนผสมที่แตกต่างกัน แต่พบได้ว่าอนุภาคขนาด 1-6 μ และบางส่วนที่ไม่เกิน 10 μ มีรูปทรงกลมเหมือนกัน Winchester WinClean™ และ Remington/UMC LeadLess™ พบว่ามีธาตุโพแทสเซียม (K) เป็นองค์ประกอบเพิ่มเติม ซึ่งต่างจาก Federal BallisticClean™ (ภาพที่ 49) ที่มีธาตุแบเรียม (Ba) เป็นองค์ประกอบเพิ่มเติม โดยที่ผิวของอนุภาคมีลักษณะเป็นหลุมลึก (Heavily Pocked) อยู่จำนวนมาก และมีรูปร่างและผิวลักษณะคล้ายก้อนหิน (Rockpile) เมื่ออนุภาคมีขนาดมากกว่า 10 μ m ซึ่งทำให้สามารถแยกแยะความแตกต่างจากอนุภาคเขม่าที่ได้มาจากกระสุนปืน Winchester WinClean™ (ภาพที่ 47) ที่อนุภาคมีผิวคล้ายผิวเปลือกส้ม โดยมีรูปพื้นฐานเป็นแผ่น (Sheet) เมื่อมีขนาด 30-100 μ m และ Remington/UMC LeadLess™ (ภาพที่ 48) ซึ่งปกติมีผิวลักษณะเรียบ โดยพบว่ามีหลุมเมื่ออนุภาคมีขนาดใหญ่ขึ้น ทั้งนี้ พบว่าอนุภาคที่ได้จาก Speer Lawman CleanFire™ มี Strontium (Sr) เป็นธาตุหลัก และมีรูปพื้นฐานที่จำเพาะต่อการวิเคราะห์เนื่องจากผิวอนุภาคมีรอยแตกร้าว (Crackled) และมีรอยแยกขนาดใหญ่ (Fissured) เมื่อขนาดอนุภาคมีขนาดมากกว่า 20 μ m (ภาพที่ 50)



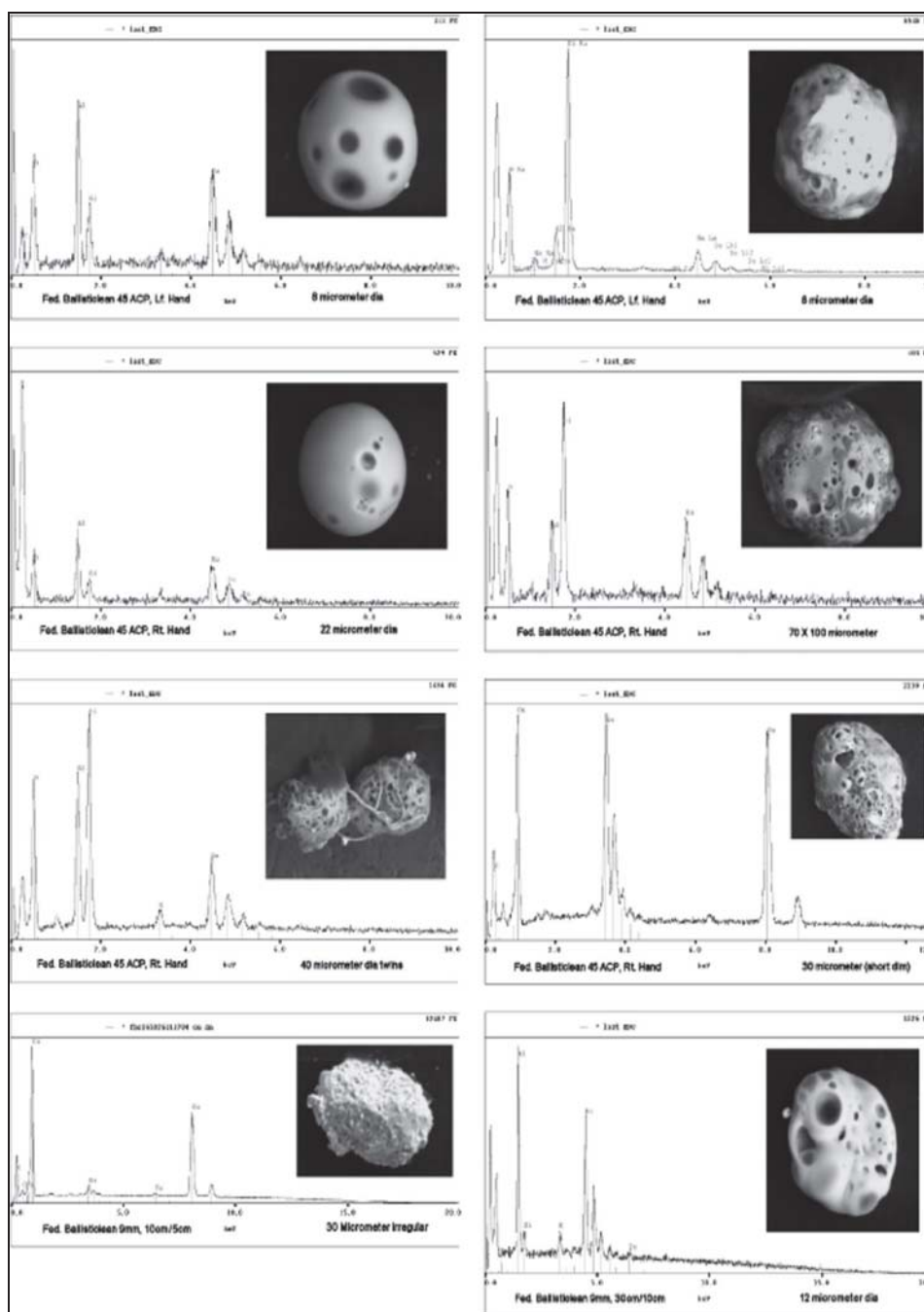
ภาพที่ 47 ลักษณะรูปสัณฐาน และ X-ray Emission Spectra ของอนุภาคเขม่าปืนบนมือที่ได้จากกระสุนปืน Winchester WinClean™

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.



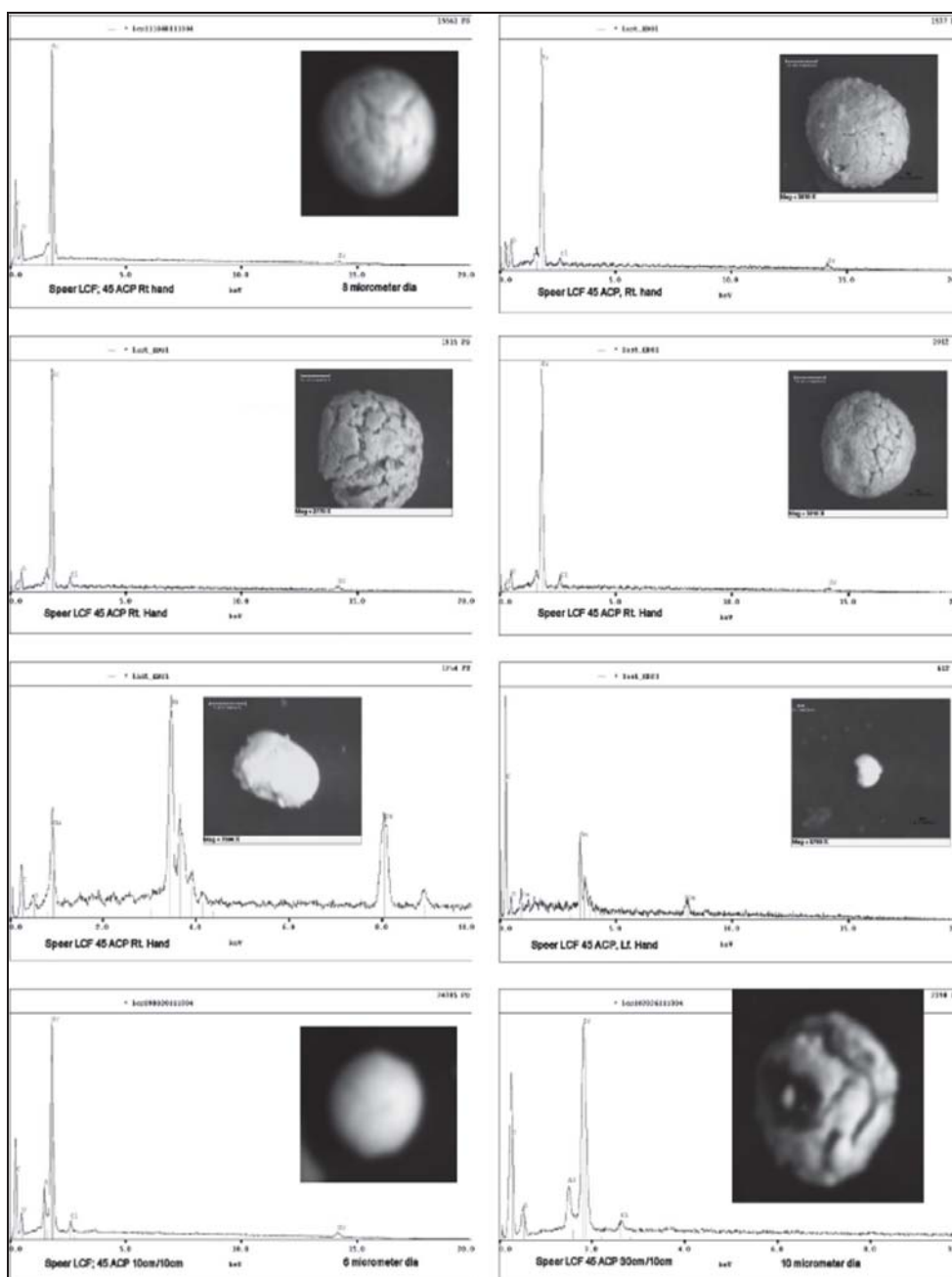
ภาพที่ 48 ลักษณะรูปพื้นฐาน และ X-ray Emission Spectra ของอนุภาคเขม่าปืนบนมือที่ได้จากกระสุนปืน Remington/UMC LeadLess™

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 49 ลักษณะรูปสัณฐาน และ X-ray Emission Spectra ของอนุภาคเขม่าปืนบนมือที่ได้จากกระสุนปืน Federal BallisticClean™

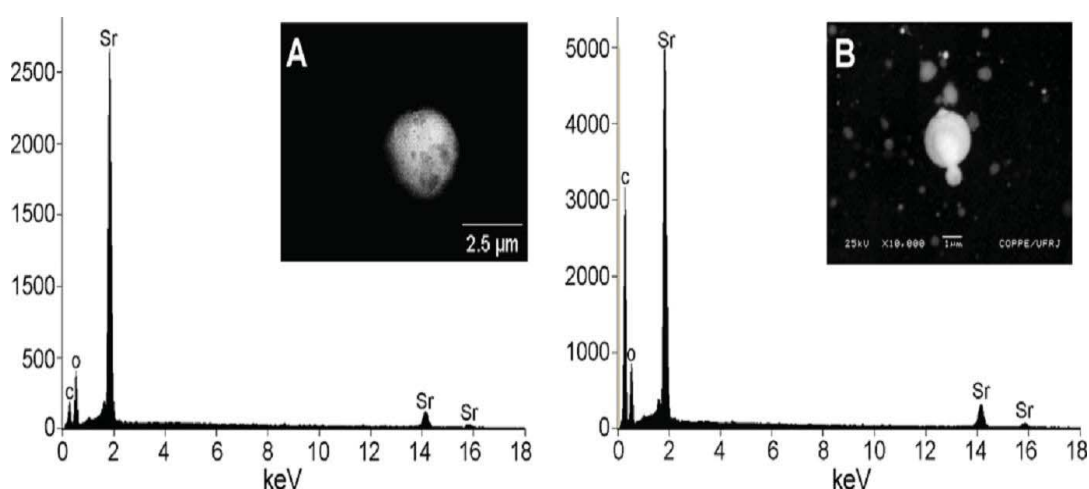
ที่มา : Z. Oommen and S.M. Pierce, “Lead-free Primer Residues : a Qualitative Characterization of Winchester WinClean™, Remington/UMC LeadLess™, Federal BallisticClean™, and Speer Lawman CleanFire™ Handgun Ammunition,” *Journal of Forensic Science* 51, 3 (May 2006) : 513.



ภาพที่ 50 ลักษณะรูปสัณฐาน และ X-ray Emission Spectra ของอนุภาคเขม่าปืนบนมือที่ได้จากกระสุนปืน Speer Lawman CleanFire™

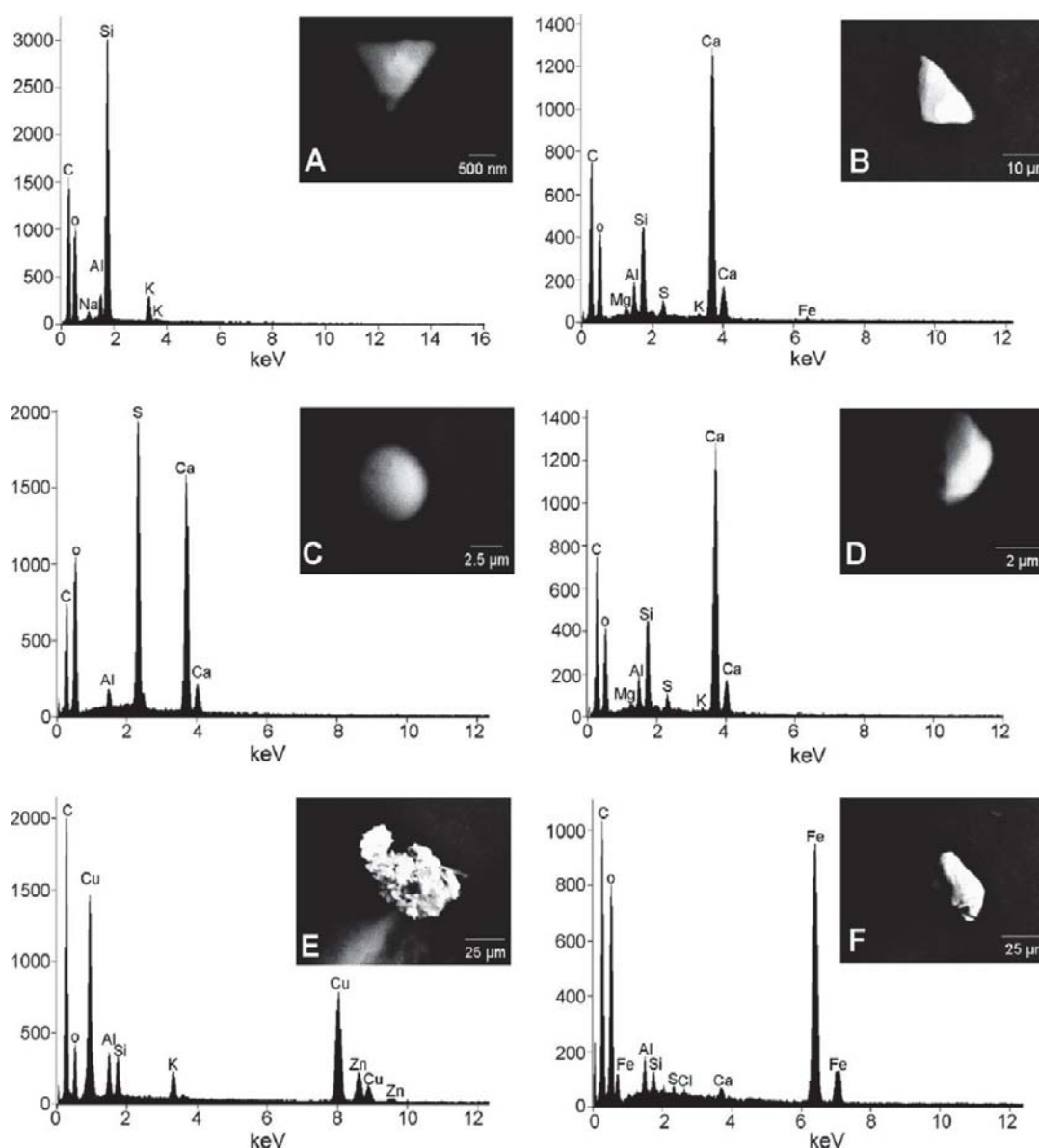
ที่มา : Z. Oommen and S.M. Pierce, “Lead-free Primer Residues : a Qualitative Characterization of Winchester WinClean™, Remington/UMC LeadLess™, Federal BallisticClean™, and Speer Lawman CleanFire™ Handgun Ammunition,” *Journal of Forensic Science* 51, 3 (May 2006) : 515.

Martiny และคณะ (2008) ได้ศึกษาอนุภาคเขม่าปืนจากกระสุนปืน Companhia Brasileira de Cartuchos (CBC) CleanRang® ที่ผลิตขึ้นในประเทศ Brazil พบว่า CleanRang® รุ่นการผลิตแรก มีลักษณะอนุภาคแตกต่างจากรุ่นที่สอง คือ อนุภาคของ CleanRang® รุ่นการผลิตแรก (ภาพที่ 51) มีรูปทรงค่อนข้างกลม (Globular Morphology) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5-10 μm ผิวของอนุภาคมีลักษณะเรียบและคล้ายผิวเปลือกส้ม ส่วนอนุภาคจากกระสุนปืนรุ่นที่สอง (ภาพที่ 52) มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1-25 μm โดยพบจำนวนมากที่สุดในขนาด 10 μm และพบขนาดใหญ่มากถึง 50 μm โดยอนุภาคซึ่งมีลักษณะรูปทรงกลมมีจำนวนเพียงเล็กน้อยที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 μm โดยไม่พบว่ามีซิลิคอน (Si) โพแทสเซียม (K) และโซเดียม (Na) บนอนุภาค (ภาพที่ 52 c) อนุภาค ที่พบโดยส่วนใหญ่ไม่ได้ปรากฏในรูปสัณฐานกลม รวมทั้งยังมีรูปร่างที่มีมุมแหลม ธาตุที่พบเป็นจำนวนมาก คืออะลูมิเนียม (Al), ซิลิคอน (Si) และ โพแทสเซียม (K) โดยพบว่ามีโซเดียม (Na), คลอรีน (Cl) และแมกนีเซียม (Mg) ในบางอนุภาค นอกจากนี้ยังพบว่ามีแคลเซียม (Ca) และกำมะถัน (S)



ภาพที่ 51 Backsettered Electron (BSE) Image และ EDX Spectra ของอนุภาคที่ได้จากกระสุนปืน CleanRang® รุ่นการผลิตแรก ยิงด้วย 9 mm Luger ที่แสดงให้เห็นว่ามีรูปร่างกลมและมีสตรอนเชียม (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.

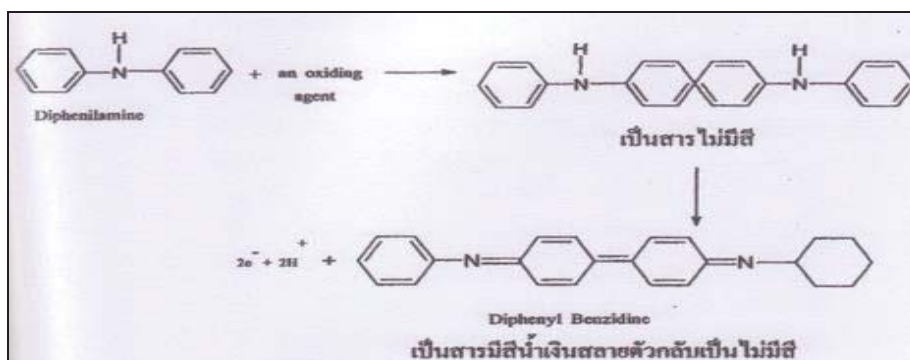


ภาพที่ 52 BSE Image และ EDX Spectra ของอนุภาคที่ได้จากกระสุนปืน CleanRang® รุ่นการผลิตที่สอง ยิงด้วย 9 mm Luger โดยแสดงให้เห็นว่าส่วนใหญ่ไม่มีรูปทรงกลม ไม่มีสตรอนเชียม (Sr) เป็น ส่วนประกอบ

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

วิวัฒนาการของการตรวจเขม่าป็นจากอดีตจนถึงปัจจุบัน

การตรวจพิสูจน์หาคราบเขม่าป็น ในระยะเริ่มแรกราวปี ค.ศ. 1932 วงการตำรวจสากลทั่วไป ได้ทำการตรวจหาคราบเขม่าที่เกิดจากการยิงปืนที่มีวิธีที่เรียกว่า Dermal Nitrate Test หรือ Paraffin Test ซึ่งเป็นการทดสอบทางเคมี โดยดูการเปลี่ยนแปลงสีที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาของสารประกอบจำพวกไนเตรทที่เกิดขึ้นหลังจากการยิงปืน โดยที่สารจำพวกไนเตรทนี้เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ของดินส่กระสุนป็น(ดินป็น) วิธีการก็โดยใช้สารละลาย Diphenylamine ในกรดซัลฟูริกเข้มข้น ในการทดสอบหากมีสารประกอบจำพวกไนเตรทอยู่ สารละลาย Diphenylamine จะเปลี่ยนจากไม่มีสี เป็นสีน้ำเงินของ Diphenyl Benzidine ซึ่งปัจจุบันนี้ได้เลิกใช้วิธีการทดสอบประเภทนี้ไปแล้ว (การพิสูจน์แบบนี้ในประเทศไทยได้ยกเลิกไปเมื่อปีพ.ศ. 2517) (อรรถพล แซ่มสุวรรณวงศ์ และคณะ 2546:109) เพราะผลการตรวจที่ให้ มีความไม่แน่นอน เนื่องจากสารประกอบไนเตรทอาจมาจากแหล่งอื่นที่ไม่ใช่มาจากการยิงปืนได้ เช่น มาจากปุ๋ยที่ใช้ในการเกษตร เป็นต้น

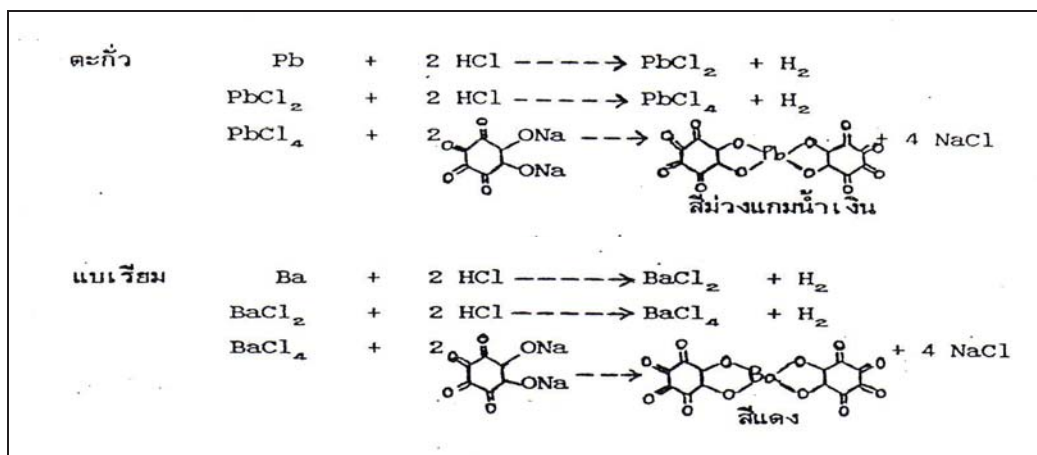


ภาพที่ 53 ปฏิกิริยาทางเคมีจากวิธี Dermal Nitrate Test หรือ Paraffin Test

ที่มา : รัชนารถ กิตติคุณฐิติ, “การตรวจหาคราบเขม่าจากการยิงปืนที่มีวิธี SEM/EDX” (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล, 2535), 31.

ต่อมาราวปี ค.ศ. 1959 มีการนำวิธี Sodium Rhodizonate Test ซึ่งเป็นวิธีการตรวจหาอนุภาคของตะกั่ว (Pb) และแบเรียม (Ba) ที่ปลิวออกมาติดมือผู้ยิงหลังจากการยิงปืน หลักการคือเมื่อเก็บตัวอย่างจากมือผู้ต้องสงสัยแล้ว นำมาวางบนกระดาษกรอง จากนั้นหยดสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1 % ให้ทั่วบนตัวอย่าง แล้วนำกระดาษกรองไปอบให้แห้ง นำกระดาษกรองที่อบแห้งนี้มาหยดสารละลาย Saturated Sodium Rhodizonate ที่ได้เตรียมไว้ใหม่ ๆ (สีเหลืองแกมส้ม) แล้วหยดตามด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 5 % ลงไปอีกครั้ง หากมีธาตุตะกั่ว

อยู่ในตัวอย่าง กระดาษกรองจะมีสีม่วงเกิดขึ้นทันที หากมีธาตุแบเรียมอยู่ในตัวอย่าง กระดาษกรองจะมีสีแดงเกิดขึ้นทันที โดยมีปฏิกิริยาเป็นดังนี้



ภาพที่ 54 ปฏิกิริยาทางเคมีจากวิธี Sodium Rhodizonate Test

วิธีนี้ไม่แพร่หลายในการใช้มากนัก เนื่องจากเป็นวิธีที่มีความไวน้อย พบเพียง 60% ของธาตุโลหะที่มีอยู่จริง

ต่อมาในปี ค.ศ. 1960 ได้มีผู้พยายามนำวิธี Neutron Activation Analysis (NAA) ซึ่งเป็นวิธีการวิเคราะห์เชิงปริมาณของธาตุแบเรียม(Ba) และธาตุแอนติโมนี(Sb) เป็นธาตุที่ได้จากชนวนท้ายกระสุนปืน(แก๊ปปืน) ซึ่งเกิดการระเบิดภายหลังจากถูกเข็มแทงชนวนกระแทก ดังนั้นหากสามารถตรวจพิสูจน์หาปริมาณธาตุทั้ง 2 ตัวนี้ ที่ติดอยู่บริเวณมือของผู้ต้องสงสัยในปริมาณที่มากพอที่เชื่อถือได้ว่ามาจากการยิงปืนแล้ว ก็สามารถยืนยันว่าบุคคลนั้นได้ผ่านการยิงปืนมา

วิธี NAA นี้ มีการตรวจวิเคราะห์อยู่ 2 วิธี คือ วิธีที่ต้องใช้เคมีช่วย (Chemical / Separation Method หรือ Destructive Method) และวิธีที่ไม่ต้องใช้เคมีช่วย (Non-destructive Method) หรือเป็นวิธีที่ใช้เครื่องมือช่วย (Instrumental Neutron Activation Analysis : INAA) สำหรับวิธีแรกนั้น จะทำการสกัดเอาเขม่าปืนที่มือโดยใช้พาราฟิน ปอกไปบนมือที่ต้องสงสัยหลังจากนั้นเอามาล้างด้วยกรดไนตริกเจือจาง แล้วจึงนำไปอบรังสี Neutron (ยิงด้วยอนุภาคนิวตรอน) พร้อมสารมาตรฐาน Ba และ Sb หลังจากนั้น ทำการแยกทางเคมีโดยตกตะกอนให้เป็น Stibnite (Sb₂S₃) และ Barium Sulfate (BaSO₄) แล้วนำไปคำนวณหาปริมาณของ Ba และ Sb ในพาราฟิน จะเห็นได้ว่า วิธีที่ต้องใช้เคมีช่วยนี้ มีวิธีการที่ยุ่งยาก และเสียเวลามาก ส่วนวิธีที่สองนั้น เป็นการหาปริมาณของธาตุหลังการอบรังสี Neutron โดยใช้การวัด Spectrum ของสารตัวอย่างทั้งหมด

โดยตรง ไม่ต้องผ่านวิธีทางเคมีใดๆ แต่วิธีนี้ต้องอาศัยเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพสูงในการแยก peak ออกจากกัน และใช้หาโดยตรงเฉพาะธาตุ Sb เท่านั้น หากต้องการจะหาปริมาณ Ba จะต้องทำการแยกทางเคมีอีก

ข้อเสียของวิธี NAA คือ เป็นวิธีที่เสียค่าใช้จ่ายสูง เพราะต้องใช้หัววัดรังสี Ge (Li) ซึ่งหัววัดรังสีและเครื่องวัดรังสีจะมีราคาแพงมาก ทั้งวิธีนี้ยังเป็นวิธีที่ต้องใช้เวลามาก เนื่องจากต้องเสียเวลาเพื่อให้สารตัวอย่างสลายตัวนานถึง 4-5 วัน จึงจะสามารถนำไปตรวจวิเคราะห์ได้ เป็นวิธีที่ไม่เหมาะสมสำหรับงานที่ต้องการความเร่งด่วน นอกจากนี้วิธี NAA ยังตรวจวิเคราะห์ได้เพียงเฉพาะธาตุ Ba และ Sb เท่านั้น สำหรับธาตุ Pb จะไม่สามารถตรวจวิเคราะห์ได้ จึงไม่มีผู้นิยมใช้วิธีนี้ แม้ว่าวิธี NAA จะเป็นวิธีที่สามารถวิเคราะห์ได้ละเอียด และมีความไวสูง

อีกวิธีหนึ่ง ซึ่งเป็นวิธีการตรวจวิเคราะห์ว่าผู้ต้องสงสัยได้ยิงปืนมาหรือไม่ คือตรวจโดยวิธีใช้เครื่องมือที่เรียกว่า Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS) ซึ่งได้มีรายงานการใช้ AAS ในปี ค.ศ. 1970 และจากนั้นอีกสามปี ได้มีรายงานเกี่ยวกับการใช้ Flameless Atomic Absorption Spectrophotometry (FAAS) ในการตรวจหาเขม่าปืน(GSR) ด้วยวิธี AAS นี้ มีข้อดีว่าการใช้วิธี NAA กล่าวคือ วิธี AAS เป็นวิธีที่ใช้เครื่องมือที่มีราคาไม่แพงมากนักและยังสามารถใช้วิเคราะห์หาธาตุ Pb ได้ ในขณะที่วิธี NAA ตรวจหาได้เพียงธาตุ Ba และ Sb

การตรวจโดย Atomic Absorption Spectrophotometry อาศัยหลักการที่ว่า อะตอมแต่ละชนิดจะสามารถดูดกลืนแสง (Absorp) ที่มีความยาวคลื่นเฉพาะ ที่ไม่เท่ากัน ดังนั้นเมื่อสารละลายตัวอย่างซึ่งมีธาตุที่ต้องการจะวิเคราะห์ หากถูกพ่นผ่านเข้าไปในเปลวไฟที่มีความร้อนเพียงพอ ธาตุที่ต้องการวิเคราะห์จะกลายสภาพเป็นไอของอะตอมอิสระ (Free Atom) และเมื่อแสงที่มีความยาวคลื่นสอดคล้องกับชนิดของอะตอมอิสระถูกผ่านเข้าไปในเปลวไฟ ส่วนหนึ่งของแสงจะถูกดูดกลืนโดยอะตอมอิสระนั้น โดยขนาดความยาวคลื่นของแสงจะเป็นตัวบ่งบอกให้ทราบถึงชนิดของอะตอม และปริมาณของแสงที่ถูกอะตอมอิสระดูดกลืนเข้าไป จะเป็นตัวบ่งชี้ให้ทราบถึงปริมาณของธาตุที่วิเคราะห์ ซึ่งมีอยู่ในสารละลายตัวอย่างนั่นเอง

Flameless Absorption Spectrophotometry (FAAS) เป็นวิธีที่หลีกเลี่ยงการใช้เปลวไฟ ในการให้ความร้อน เพื่อให้ธาตุที่อยู่ในสารละลายกลายเป็นอะตอมอิสระโดยเปลี่ยนมาใช้ท่อกราฟไฟต์ (Graphite Tube) แทน เมื่อทำให้ท่อกราฟไฟต์นี้ร้อนจัดด้วยการใช้กระแสไฟฟ้า ท่อกราฟไฟต์ ที่ร้อนจัดนี้จะทำให้ธาตุที่ต้องการวิเคราะห์ ซึ่งอยู่ในสารละลายตัวอย่างกลายเป็นอะตอมอิสระได้ ซึ่งวิธี FAAS หากมีระบบเครื่องมือและใช้ร่วมกับอุปกรณ์กำเนิดแสงที่ดี จะตรวจวิเคราะห์ธาตุได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงกว่าวิธีใช้เปลวไฟมาก

การใช้วิธี FAAS จะมีผลดีอย่างมากในการวิเคราะห์หาธาตุ Pb และ Sb แต่สำหรับธาตุ Ba นั้นจะมีปัญหาอยู่บ้าง เนื่องจากธาตุ Ba สามารถทำปฏิกิริยากับท่อกกราไฟต์เกิดเป็นแบเรียมคาร์ไบด์ (Barium Carbide) ซึ่งมีจุดหลอมเหลวสูงมากถึง 3,000 °C แต่อุณหภูมิสูงสุดที่เครื่องจะทำให้ท่อกกราไฟต์ร้อนได้เพียง 2,700 °C เห็นได้ว่า แบเรียมคาร์ไบด์มีอุณหภูมิของจุดหลอมเหลวสูงกว่าถึง 300 °C จึงทำให้ปริมาณของแบเรียมที่ถูก atomize น้อยกว่าปริมาณแบเรียมที่มีอยู่จริงในสารละลายตัวอย่าง ซึ่งต้องแก้ปัญหานี้โดยการใช้วัสดุทนไฟ นั่นคือใช้แทนทาลัม (Tantalum) ภายใต้อุณหภูมิที่ต่ำกว่าอีกชั้นหนึ่ง เพื่อป้องกันปฏิกิริยาการเกิดแบเรียมคาร์ไบด์ หรืออาจแก้ปัญหานี้โดยการเพิ่มปริมาณของสารตัวอย่างให้มากขึ้น เพื่อให้ปริมาณของ Ba ที่จะถูกทำให้กลายเป็นอะตอมอิสระมีมากขึ้นด้วย

แม้ว่าวิธี Atomic Absorption Spectrometry จะเป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถใช้วิเคราะห์หาปริมาณของธาตุที่มีน้อย ๆ ได้ในระดับไมโครกรัม หรืออาจถึงระดับนาโนกรัม อีกทั้งยังมีความไวในการวิเคราะห์สูงด้วยก็ตาม แต่ก็ยังมีขีดจำกัดที่ไม่สามารถวิเคราะห์ธาตุที่เกิดจากการยิงปืน (เขม่าปืน-GSR) ได้ทั้งหมดในเวลาเดียวกัน ต้องทำการวิเคราะห์ทีละธาตุ และยังไม่สามารถแยกแยะแหล่งที่มาของธาตุต่าง ๆ ที่วิเคราะห์ได้

ด้วยเหตุผลจำกัดต่าง ๆ ดังกล่าวข้างต้นได้มีการพัฒนาวิธีการตรวจพิสูจน์หาเขม่าปืน (GSR) ที่ทันสมัย สะดวก และมีความแม่นยำมากขึ้น โดยการใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด(สแกนนิ่ง) หรือที่มีชื่อเรียกว่า Scanning Electron Microscopy / Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (SEM/EDS) ซึ่งได้รับการยอมรับว่าเป็นวิธีที่ทันสมัยและมีความแม่นยำ เชื่อถือสูงมาก เป็นเทคนิคที่ไม่ทำลายตัวอย่าง(Brozek – Mucha and Jankowicz 2001: 39 ; Cardinetti et al. 2004 : 1) กล่าวคือ เป็นวิธีที่มีความจำเพาะ (Specificity) มากกว่าวิธีอื่นใดทั้งหมด เนื่องจาก SEM/EDX เป็นวิธีที่สามารถทำให้มองเห็นอนุภาคของเขม่าปืนที่มาจากการยิงปืนได้ และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนนิ่ง (SEM) จะให้การแสดงผลเป็นภาพสามมิติ คือ มีทั้งความกว้าง ความยาว และความลึกได้อย่างชัดเจน สามารถวัดหรือแสดงให้ทราบถึงขนาดของตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์ได้ และยังสามารถบอกชนิดของธาตุที่มีอยู่ในอนุภาคนั้นๆได้ จากการใช้ Characteristic X-Ray (EDX) ซึ่งวิธีการใช้ SEM/EDS สามารถวิเคราะห์ธาตุต่างๆได้หลายธาตุในเวลาเดียวกัน โดยไม่จำกัดว่าจะต้องเป็นเฉพาะ ธาตุตะกั่ว(Pb) แบเรียม(Ba) และแอนติโมนี(Sb) เท่านั้น นอกจากนี้ หากผู้ที่ทำการตรวจวิเคราะห์มีความชำนาญมากพอ จะสามารถแยกลักษณะรูปร่างของอนุภาคที่เกิดจากการยิงปืน ออกจากสิ่งปนเปื้อนอื่นที่มาจากสิ่งแวดล้อม หรือจากการประกอบอาชีพการงานได้อย่างถูกต้อง แม่นยำ โดยอาศัยรูปร่างเฉพาะของคราบเขม่าที่เกิดจากการยิงปืนและการหาชนิดของธาตุด้วย EDX เป็นสิ่งยืนยันในการตรวจพิสูจน์ นอกจากนั้น EDX ยังมี

จุดเด่นอีกอย่างหนึ่งคือ มีความไวสูงมาก สามารถวิเคราะห์ธาตุที่มีอยู่ในตัวอย่างปริมาณน้อยมากถึงระดับ 10^{-11} กรัมได้

ในการตรวจวิเคราะห์ทราบที่มาจากการยิงปืนด้วยวิธี NAA และ AAS เป็นวิธีการตรวจวิเคราะห์เชิงปริมาณ (Quantitative Analysis) ซึ่งบางครั้งอาจจะประสบปัญหาในการตัดสินใจลงความเห็นว่า บุคคลต้องสงสัยนั้นได้มีการยิงปืนมาหรือไม่ ในกรณีที่ตรวจพบปริมาณของธาตุใกล้ช่วง cut-off แต่สำหรับการตรวจพิสูจน์ด้วยวิธี SEM/EDX เป็นการตรวจวิเคราะห์เชิงคุณภาพ (Qualitative Analysis) หากตรวจวิเคราะห์พบอนุภาคของทราบที่มาจากการยิงปืนเพียงอนุภาคเดียว ก็เป็นการพิสูจน์ได้ว่า ตัวอย่างนั้นมีทราบที่มาจากการยิงปืนอยู่จริง (รัชนารถ กิตติคุณฎี 2535 : 167)

ปัจจุบัน วิธีการที่นิยมใช้หาเขม่าปืน (GSR) ในหลาย ๆ ประเทศมีอยู่ 3 วิธี คือ

1. Neutron Activation Analysis : NAA
2. Atomic Absorption Spectrophotometry : AAS
3. Scanning Electron Microscopy/Energy Dispersive X-ray Spectroscopy : SEM/EDS

โดยในแต่ละประเทศจะเลือกใช้วิธีใด ขึ้นอยู่กับความเหมาะสม ประเทศที่มีการพัฒนาทางด้านวิทยาศาสตร์สูง จะนิยมตรวจพิสูจน์เขม่าปืน(GSR) ด้วยวิธี SEM/EDS เช่นห้องปฏิบัติการนิติวิทยาศาสตร์ส่วนใหญ่ในสหรัฐอเมริกาหรือในแคนาดา(Nesbitt, Wessel, and Jones 1976 ; Wolten et al. 1979 a ; Wolten and Nesbitt 1980 ; Basu 1982) เนื่องจากเป็นวิธีที่สามารถแสดงให้เห็นถึง รูปร่าง ลักษณะ ขนาดของอนุภาค และยังสามารถระบุธาตุอันเป็นองค์ประกอบในอนุภาคเขม่าปืน(GSR)ได้ ซึ่งเป็นข้อดีที่ทำให้ผู้ตรวจพิสูจน์ใช้วิเคราะห์และวินิจฉัยได้ง่ายกว่าทุกวิธีที่มีดังกล่าว และวิธีการตรวจโดยใช้ SEM/EDX ยังลดระยะเวลาในการตรวจพิสูจน์ให้น้อยลงทำให้ตอบสนองปริมาณงานที่เพิ่มขึ้นอยู่ตลอดเวลาได้

การตรวจหาโลหะสำคัญในอนุภาคเขม่าปืน (GSR) เชิงคุณภาพ(Qualitative Analysis) ด้วย SEM/EDS.

จากรายงานของ G.M.Wolten และคณะ ที่ได้ทำการทดลองศึกษาลักษณะรูปแบบอนุภาคเขม่าปืนที่มีอยู่ โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน พบว่า ประมาณ 70 % ขึ้นไปของอนุภาค มักมีลักษณะพื้นฐานเป็นทรงกลม (Spheroidal) และมีความสว่างจ้าของอนุภาคเกิดขึ้นอันเนื่องมาจากคุณสมบัติของโลหะหนักที่เป็นองค์ประกอบอยู่ภายในอนุภาค ทำให้สามารถจำแนกหรือแยกแยะอนุภาคเขม่าปืน(GSR) ออกจากอนุภาคปนเปื้อนอื่นๆที่ไม่ได้มาจากการยิงปืนได้ อย่างไรก็ตามแม้พื้นฐานของอนุภาคเขม่าปืนส่วนใหญ่จะมีลักษณะเป็นทรงกลม(Spheroidal)

แต่จากการวิเคราะห์มักพบอนุภาคเขม่าป็น ที่มีลักษณะพื้นฐานเป็นทรงกลม-ผิวไม่เรียบ-มีปุ่มงอก (Irregularly Spheroidal) ประปนอยู่ด้วยเสมอ จึงจำเป็นที่ผู้ทำการตรวจวิเคราะห์ต้องมีความเชี่ยวชาญในการประมวลผลลักษณะของอนุภาคเขม่าป็นในรูปแบบต่างๆเหล่านี้

จากการศึกษาพื้นฐานของอนุภาคเขม่าป็น ที่ได้จากการยิงมาจากอาวุธปืนพกมือและอาวุธพกกึ่งอัตโนมัติแบบละ 2 ยี่ห้อ 2 ขนาด คือ อาวุธปืนพกมือ Colt Trooper ขนาด .357, อาวุธปืนพกมือ Smith&Wesson 1917 ขนาด .45, อาวุธปืนพกกึ่งอัตโนมัติ ยี่ห้อ Smith&Wesson Model 39 ขนาด 9 มม. และอาวุธปืนพกกึ่งอัตโนมัติ ยี่ห้อ Colt 1911A1 ขนาด .45 โดยใช้กระสุนปืน 4 ยี่ห้อ ได้แก่ CCL, FED., REM. และ WIN. ซึ่งตัวอย่างที่เก็บมาตรวจวิเคราะห์จะประมวลด้วย CCSEM พบว่า

1. กรณีอาวุธปืนพกมือ 74 % ของอนุภาคเขม่าป็น จะมีลักษณะพื้นฐานเป็นทรงกลม (Spheroidal) และอนุภาคอีก 26 % จะมีรูปร่างเป็น Irregularly shaped

2. กรณีอาวุธปืนพกกึ่งอัตโนมัติ 59 % ของอนุภาคเขม่าป็น จะมีลักษณะพื้นฐานเป็นทรงกลม (Spheroidal) และอนุภาคอีก 41 % จะมีรูปร่างเป็น Irregularly shaped

3. ขนาดอนุภาคของเขม่าป็น ที่ได้จากการใช้อาวุธปืนมือ พบว่า 65 % ขนาดของอนุภาคจะเล็กกว่า $3\ \mu\text{m}$, 28 % ของอนุภาคจะมีขนาด $3-6\ \mu\text{m}$, 5 % ของอนุภาคจะมีขนาด $6-10\ \mu\text{m}$ และอีก 2 % ของอนุภาคจะมีขนาดใหญ่กว่า $10\ \mu\text{m}$

4. สำหรับขนาดของอนุภาคเขม่าป็น ที่ได้จากการใช้อาวุธปืนพกกึ่งอัตโนมัติ นั้น พบว่า 48 % ขนาดอนุภาคจะเล็กกว่า $3\ \mu\text{m}$, 29 % อนุภาคจะมีขนาด $3-6\ \mu\text{m}$, 9 % อนุภาคจะมีขนาด $6-10\ \mu\text{m}$ และอีก 14 % อนุภาคจะมีขนาดมากกว่า $10\ \mu\text{m}$ (Schwoeble, et.al., 2000)

เมื่ออนุภาคใดก็ตามที่มีธาตุโลหะ Pb Ba และ Sb รวมตัวอยู่ด้วยกันในอนุภาคเดียวแล้ว นั่นคือคุณสมบัติหรือรูปแบบจำเพาะที่เป็นเอกลักษณ์ของอนุภาคเขม่าป็น (GSR) ดังนั้นการตรวจสอบประกอบของธาตุที่อยู่ในอนุภาคจึงเป็นสิ่งที่สำคัญที่ใช้ในการลงความเห็น ว่า อนุภาคที่เรา กำลังวิเคราะห์อยู่นั้นเป็นอนุภาคที่เกิดจากการยิงปืนมาหรือไม่

โดยทั่วไปในแก๊สปืนจะมีธาตุโลหะต่างๆ หลายชนิดเป็นองค์ประกอบ ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ

1. ประเภทที่แน่นอน (Unique Categories) กล่าวคือ เมื่อใดตรวจพบธาตุโลหะ Pb, Ba และ Sb ทั้ง 3 ประเภทพร้อมกัน เป็นองค์ประกอบอยู่ในอนุภาค บอกได้แน่นอนว่าเป็นเขม่าที่ มาจากการยิงปืน (GSR)

2. ประเภทบ่งชี้ (Indicative Categories) ถ้าตรวจพบว่า มีองค์ประกอบของธาตุเหล่านี้ในอนุภาค น่าจะเชื่อว่าเป็นอนุภาคของคราบเขม่าที่ มาจากการยิงปืน ได้แก่

- 2.1 อนุภาคที่ประกอบด้วย Ba, Ca และ Si ที่ปราศจาก S หรือมี S ในปริมาณน้อย
- 2.2 อนุภาคที่ประกอบด้วย Pb และ Sb
- 2.3 อนุภาคที่ประกอบด้วย Pb และ Ba
- 2.4 อนุภาคที่ประกอบด้วย Sb และ Ba
- 2.5 อนุภาคที่ประกอบด้วย Sb อย่างเดียวหรืออาจมี S เป็นองค์ประกอบด้วยก็ได้
- 2.6 อนุภาคที่ประกอบด้วย Pb อย่างเดียว
- 2.7 อนุภาคที่ประกอบด้วย Ba อย่างเดียว และไม่มี S เป็นองค์ประกอบ

(Schwoeble, et al., 2000)

โดยที่อนุภาคเขม่าป็น(GSR) ทั้ง 2 ประเภทนี้ อาจมีโลหะรอง ชนิดอื่นเป็นส่วนประกอบอยู่ด้วย ซึ่งธาตุโลหะรองเหล่านั้น ได้แก่ Si, Ca, Al, Cu, Fe, S, P, Ni, K, Cl และ Zn ดังจะเห็นได้จากรายงานของ Andrasko และ Machly ที่ทำการทดลองไว้ในปี ค.ศ. 1977 โดยได้ทำการตรวจหาธาตุต่างๆ ในชนวนท้ายกระสุนปืนหลายชนิดและหลายขนาด ตามตารางที่ 2 และในอีก 5 ปีถัดมา Tazza และคณะได้มีรายงานการวิจัยโดยการนำชนวนท้ายกระสุนปืน มาตรวจวิเคราะห์หาธาตุต่างๆ โดยใช้ SEM/EDX ด้วยเช่นกัน ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 2 ธาตุโลหะที่พบในชนวนท้ายกระสุนปืนของบริษัทต่าง ๆ

Qualitative analysis of residue removed from discharged cartridge cases of various bands of ammunition

Ammunition	Caliber	Elements Found (Traces)
Norma (Sweden)	7.65 mm.	Pb, Ba, Sb (Cu, Ca, Si)
Sako (Finland)	7.65 mm.	Pb, Ba, Sb, Ca, Si, Hg (Fe, Cu)
SM (Sweden)	7.65 mm.	Pb, Ba, Sb, Ca, Si (Fe, Cu)
Lapua (Finland)	7.65 mm.	Pb, Ba, Sb
Geco (W.Germany)	7.65 mm.	Pb, Ba, Sb (Cu,Sn)
S-40 (Finland,1940)	9 mm.	Pb, Ba, Sb, Sn, Ca, Si, Mn (Cu)
51 K (Sweden, 1951)	9 mm.	Pb, Ba, Sb, Ca, Si (Fe)
FN (Belgium)	9 mm.	Sb, Hg
RWS (W.Germany)	9 mm.	Pb, Ba, Sb, K, Cl, Hg (Cu)
H (USA) (Winchester)	0.22 in.	Pb, Ba, Si
ICI (England)	0.22 in.	Pb, Ba (Ca, Si)
X-Super (USA) (Winchester)	0.22 in.	Pb, Ba, Si
HP (Australia) (Hinterberger)	0.22 in.	Pb, Ba, Sb (K, Cl)
RWS (W.Germany)	0.22 in.	Pb, Ba, Sb, Si (Ca,Cu)
U (USA) (Remington)	0.22 in.	Pb, Si, Ca (Fe)
E (England)	0.22 in.	Pb, Ba, Si, Ca, P, (Na, K, Cl, Fe, Cu)
Perters HV (USA) (Remington)	0.22 in.	Pb, Si, Ca (Cu, Fe)
Z (Czechoslovakia)	6.35 mm.	Pb, Ba, Si, Ca (Cu, Fe)
FN (Belgium)	6.35 mm.	Sb, Hg, Sn, K, Cl
61 K (Sweden.1961)	9 mm.	Pb, Ba, Sn, Ca, Si

ที่มา : Andrasko J. and Maehly A.C. , “Detection of gunshot residue on hands by Scanning Electron Microscopy.” Journal of Forensic Science , no. 20 (1976) : 285.

ตารางที่ 3 แสดงโลหะต่าง ๆ ที่ตรวจพบในอนุภาคเขม่าปืน

Data from XRD and SEM-EDA on GSR obtained from primer shots.

Type of Ammunition and Weapon	Major Primer Compound	Number of Shots	Elemental Composition (SEM-EDA)	Composition (XRD)
.22 long-rifle Eley semiautomatic pistol	lead styhanate, $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$	7	Pb, Ba	$\text{Pb}, \text{Ba}(\text{NO}_3)_2, \text{PbO}$
.22 long-rifle Winchester Super X Revolver	lead styhanate, $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$	10	Pb, Ba	$\text{Pb}, \text{Ba}(\text{NO}_3)_2, \text{Cu}, \text{PbO}$
5.56 mm. Winchester (USA) M-16 rifle	lead styhanate, $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2, \text{Sb}_2\text{S}_3$, Aluminium powder	7	Pb, Ba, Al, Sb	$\text{Pb}, \text{BaAl}_2\text{O}_4, \text{Sb}, \text{PbS}$
6.35 mm. Hirtenberg semiautomatic pistol	lead styhanate, $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2, \text{CaSi}_2$	9	Pb, Ba, Ca, Si	$\text{Pb}, \text{Ba}(\text{NO}_3)_2, \text{PbO}$
7.65 mm. NATO, FN ^a Mauser rifle	lead styhanate, CaSi_2 , $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2, \text{Sb}_2\text{S}_3$	8	Pb, Ba, Ca, Si, Sb	$\text{Pb}, \text{PbS}, \text{Sb}$
7.65 x 39 mm. AK-47 (E.Germany) ammunition	$\text{KClO}_3, \text{Sb}_2\text{S}_3$	6	S, Cl, K, Sb	KCl, Sb
7.65 mm. NATO, FNM ^b (Portuguest) Mauser rifle	lead styhanate, CaSi_2 , $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2, \text{Sb}_2\text{S}_3$	4	Pb, Ba, Ca, Si, Sb	$\text{Pb}, \text{PbS}, \text{Sb}$
7.65 mm. SBP ^c semiautomatic pistol	lead styhanate, CaSi_2 , $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$, tin	7	Pb, Ba, Ca, Si, Sn	$\text{Pb}, \text{Ba}(\text{NO}_3)_2, \text{Sn}$
.38 Kynoch revolver	lead styhanate, $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2, \text{CaSi}_2$	5	Pb, Ba, Ca, Si	$\text{Pb}, \text{Ba}(\text{NO}_3)_2$
.38 Remington Peters revolver	lead styhanate, $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2, \text{Sb}_2\text{S}_3$	6	Pb, Ba, Al, Sb	$\text{Pb}, \text{Ba}(\text{NO}_3)_2, \text{PbS}, \text{BaAl}_2\text{O}_4$
9 mm. Parabellum Israeli SMG ^d	Lead compound, $\text{KClO}_3, \text{Sb}_2\text{S}_3$	12	Pb, Cl, K, Sb	$\text{Pb}, \text{KCl}, \text{PbS}, \text{Sb}$

ที่มา : Tazza M., Leist Y., and Steinberg M. “Characterization of Gunshot Residue by X-ray Diffraction.” Journal of Forensic Science , no.27 (1982) : 677-682.

การคงอยู่และตกค้างของอนุภาคที่เกิดจากการยิงปืน (อัยยายุทธ ผลภาค 2554 : 96 - 98)

การตกค้างของอนุภาคที่เกิดจากการยิงปืน การตกค้าง(Deposition) ของอนุภาคเข้ามาปืน เกิดขึ้นภายหลังจากการยิงปืน โดยกลุ่มไอของอนุภาคเข้ามาปืนซึ่งเกิดจากการเผาไหม้ของชนวนท้าย กระสุนปืน จะถูกขับออกมาพร้อมกับกลุ่มก๊าซด้วยแรงดันที่เกิดจากการเผาไหม้ของดินสักระสุนปืน เกิดการกระจายตัวและตกค้างยังบุคคลหรือวัตถุต่างๆ ซึ่งตั้งอยู่ในบริเวณที่มีการใช้ปืน รวมทั้งเป้าหมายที่ถูกกระทบด้วยลูกกระสุนปืน(Schwoeble and Exline 2000 : chap. 1 par. 11) ปริมาณของเข้ามาปืนที่ตกค้าง มีจำนวนเล็กน้อยแตกต่างกัน เนื่องจากปัจจัยหลายประการ เช่น สภาพแวดล้อมในบริเวณที่ยิงปืน ชนิดและสภาพของอาวุธปืน ชนิดของกระสุนปืน จำนวนนัดที่ยิง สภาพพื้นผิวที่เข้ามาปืนตกค้าง (Krishnan 1977; Schwoeble and Exline 2000 : chap. 1 par. 13)

การกระจายตัวและการตกค้างของอนุภาคเข้ามาปืนในบุคคลที่ผ่านการยิงปืน เกิดขึ้นได้ในหลายตำแหน่ง เช่น มือ เสื้อผ้าที่สวมใส่ บริเวณส่วนของแขนที่อยู่ระหว่างศอกกับข้อมือ แขนเสื้อ รวมทั้งบริเวณหน้าอก (Schwoeble and Exline 2000 : chap. 1 par. 11,14) ทั้งยังมีตกค้างบนใบหน้า และลำคอ(Lloyd 1986; Schwoeble and Exline 2000 : chap. 1 par. 14) เส้นผม (Zeichner and Levin 1993) ซึ่งเป็นไปตามหลักทั่วไปที่เกี่ยวกับร่องรอยและการเคลื่อนย้ายของวัตถุพยานหลักฐานหรือ Locard Exchange Principle ที่ได้แสดงให้เห็นว่าเมื่อวัตถุสองสิ่งสัมผัสหรือกระทบกัน ย่อมเกิดการแลกเปลี่ยนพยานหลักฐานซึ่งกันและกัน การแลกเปลี่ยนที่เกิดขึ้นนี้เกิดขึ้นได้โดยตรง(Direct Transfer) และโดยอ้อม (Secondary Transfer) (Locard 1982 : 177-192, cite by Schwoeble and Exline 2000 : chap. 1 par. 12) ในการศึกษาให้ความสำคัญแก่การตกค้างของอนุภาคเข้ามาปืนในบุคคล โดยเฉพาะบริเวณมือข้างที่ใช้ยิงปืน เพราะเข้ามาปืนที่ตกค้างบนมือของบุคคลซึ่งใช้ปืนยังเป็นตำแหน่งที่นิยมใช้เก็บตัวอย่างเข้ามาปืนจากผู้ต้องสงสัยเพื่อใช้ในการตรวจพิสูจน์(Jalanti et al.1999 : 48; Zadora 2009 : 346) เนื่องจากพบว่ามืออนุภาคเข้ามาปืนกระจายและตกค้างอยู่เป็นจำนวนมากที่สุด (Krishnan 1977; Zeichner 1995; Schwoeble and Exline 2000 : chap. 1 par. 14) มีรายงานว่า การกระจายและการตกค้างของตะกั่ว (Pb), แอนติโมนี (Sb) และแบเรียม (Ba) เกิดขึ้นในลักษณะเหมือนกัน แต่บางครั้งอาจไม่พบตะกั่ว (Pb)ในเข้ามาปืนทั้งนี้ ตำแหน่งการกระจายและการตกค้างของเข้ามาปืนบนมือแตกต่างกันไปตามชนิดของอาวุธปืน (วิชาญ เกี่ยวการค้าและคณะ 2529) โดยพบว่าเข้ามาปืนบริเวณหลังมือมีจำนวนมากกว่าบริเวณฝ่ามือ (Wessel et al. 1974)

การคงอยู่ของอนุภาคที่เกิดจากการยิงปืน การคงอยู่ของเข้ามาปืน(Persistence) คือ ระยะเวลาการติดอยู่ของเข้ามาปืน บนบุคคลหรือวัตถุ หรือสิ่งหนึ่งสิ่งใด ที่เข้ามาปืนตกค้างอยู่ด้วย ซึ่งอาจมีระยะเวลาน้อยกว่าหรือเท่ากับระยะเวลาที่ใช้สำหรับการสลายตัว(Degradation) ของเข้ามาปืน ในกรณีเข้ามาปืนประเภท I-GSR ย่อมมีการคงอยู่ของเข้ามาปืนได้นานเพราะเป็นเข้ามาปืนที่มีแหล่งกำเนิด

มาจากเครื่องกระสุนปืนซึ่งสวามิภักดิ์ประกอบไปด้วยธาตุโลหะ ที่โดยปกติมีระยะเวลาการคงอยู่ในสภาพแวดล้อมได้นานเท่านั้นจนกว่าอนุภาคโลหะหลักได้สลายตัวไปจนหมด อย่างไรก็ตาม ระยะเวลาการคงอยู่อาจไม่นานเท่ากับระยะเวลาปกติ หากปรากฏว่าเขม่าปืนได้ตกค้างอยู่บนมือหรือเสื้อผ้าของบุคคลใช้ปืนซึ่งยังมีชีวิต เนื่องจากกิจกรรมที่ผู้ยิงปืนได้กระทำลงไป หลังจากการตกค้างของเขม่าปืนทั้งการล้างและการเช็ดมือมีผลต่อการคงอยู่ของเขม่าปืน มีรายงานเกี่ยวกับระยะเวลาการคงอยู่ของอนุภาคเขม่าปืนภายหลังจากการยิงปืน โดยในแต่ละชั้นได้รายงานถึงระยะเวลาที่สามารถตรวจพบเขม่าปืนในตัวอย่าง ซึ่งแตกต่างกันไปตามเทคนิค วิธีการ และเงื่อนไขในการทดลอง โดยมีระยะเวลาการตกค้างหลังจากการยิงปืนตั้งแต่ 1 ชั่วโมงโดยใช้เทคนิค Photoluminescence Technique (Nesbitt et al. 1977), 2 ชั่วโมงเมื่อตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Neutron Activation Analysis-NAA (Kilty 1975), 3 ชั่วโมงที่ตรวจพบด้วยเทคนิค 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) และยังพบว่ามิเขม่าปืนตกค้างที่เมือกเยื่อบริเวณโพรงจมูก แม้ว่าได้ผ่านการยิงปืนมาแล้วนาน 48 ชั่วโมง (Schwartz and Zona 1995) แม้จะพบได้ว่าการตกค้างของอนุภาคเขม่าปืนบนมือ มีเป็นจำนวนมาก แต่หากเป็นเขม่าปืนที่อยู่บนมือของบุคคลที่มีชีวิต จำนวนของอนุภาคย่อมถูกทำลายหรือทำให้ลดลงได้เร็วที่สุด แม้ห้ามมิให้ผู้ยิงล้างมือ แต่อนุภาคมีจำนวนลดลงเนื่องจากกิจกรรมที่สร้างขึ้นภายหลังจากการยิงปืน (Andrasko and Maehly 1977; Tillman 1987) โดยการลดลงของจำนวนอนุภาคเขม่าปืนเกิดขึ้นมากที่สุดในช่วงแรกหลังจากการยิงปืน (Nesbitt et al. 1977; California Department of Justice, Bureau of Forensic Services 2008) และลดลงอย่างต่อเนื่องในช่วงที่ 2 ถึงช่วงที่ 3 (Nesbitt et al. 1997) นอกจากนี้ Kilty (1975) ได้รายงานไว้ว่าหลังจากการยิงปืนโดยอนุญาตให้ผู้ยิงได้ทำกิจกรรมตามปกติ แต่ห้ามมิให้ล้างมือ เป็นผลให้อนุภาคของแบเรียม (Ba) ลดจำนวนลง 10 เท่าใน 2 ชั่วโมงแรก เช่นนี้ การคงอยู่ของอนุภาคเขม่าปืนไม่ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางเคมีของเขม่าปืน (Jalanti et al. 1999) แต่ขึ้นอยู่กับกิจกรรมที่ทำและเวลาจากการยิงปืน (Kilty 1975; Schwoeble and Exline 2000 : chap. 1 pars. 25)

ระยะเวลาการเก็บตัวอย่างเขม่าปืนบนมือ ในกรณีที่เขม่าปืนตกค้างบนมือของบุคคลที่ยังมีชีวิต 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)

บริเวณที่เก็บตัวอย่างเขม่าปืน มีอยู่หลายจุดแตกต่างกัน เช่นการเก็บตัวอย่างเฉพาะบริเวณหลังมือของมือแต่ละข้าง หรืออาจเก็บรวมไว้เป็นตัวอย่างเดียวกันทั้งบริเวณหลังมือและฝ่ามือของมือแต่ละข้าง หรือเก็บตัวอย่างเป็น 4 ตัวอย่างจากบริเวณหลังมือและฝ่ามือของมือแต่ละข้าง ทั้งนี้โดยทั่วไปนิยมเก็บตัวอย่างเขม่าปืนจากบริเวณหลังมือและฝ่ามือตั้งแต่นิ้วหัวแม่มือและนิ้วชี้ 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 Vazquez 2007 : 227)

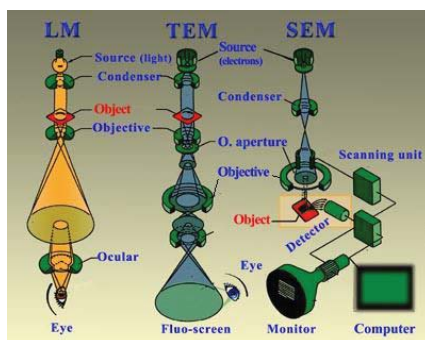
หลักการพื้นฐานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope-SEM.)



ภาพที่ 55 Scanning Electron Microscope – SEM และอุปกรณ์ EDS. (ในภาพเป็น ZEISS 1455VP)
ที่มา : caeTM The World's Marketplace for Secondary Capital EquipmentTM. Scanning Electron Microscopes:ZEISS 1455VP [online], accessed 27 September 2011. Available from <http://www.Caeonline.com/listing/product/137538/zeiss-1455vp>

Scanning Electron Microscope เรียกโดยย่อว่า SEM หรือในภาษาไทยเรียกว่า กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (อาจเรียก กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนนิ่ง) เป็นเครื่องมือวิทยาศาสตร์ที่มีประโยชน์เหนือกว่ากล้องจุลทรรศน์แบบธรรมดา(กล้องจุลทรรศน์แบบแสงหรือเรียกว่า optical microscope , OM) ขณะที่กล้องจุลทรรศน์แบบธรรมดา(OM)ใช้

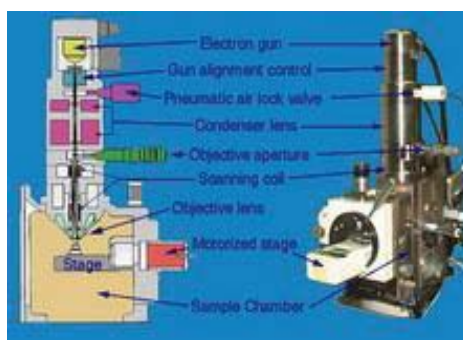
แสงสว่างและเลนส์แก้วเป็นส่วนประกอบหลักในการแสดงให้เห็นภาพวัตถุที่ต้องการขยาย แต่ SEM อาศัยลำของอิเล็กตรอน สนามแม่เหล็ก เป็นองค์ประกอบสำคัญส่วนหนึ่งที่ทำให้เกิดภาพที่มีกำลังขยายสูงมาก โดยภาพที่เกิดขึ้นจาก SEM จะมีรายละเอียดของภาพเป็น 3 มิติ และสามารถทำการบันทึกภาพและพิมพ์ภาพเพื่อประกอบการพิจารณาได้ อันมีประโยชน์ในการตรวจเปรียบเทียบวัตถุพยานต่างๆ ได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ SEM มีข้อได้เปรียบกว่ากล้องจุลทรรศน์แบบธรรมดาที่กล่าวแล้ว SEM ยังสามารถติดตั้งอุปกรณ์พิเศษเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ธาตุเชิงคุณภาพ เรียกว่า Energy Dispersive System (EDS) ซึ่งไม่ว่าวัตถุพยานจะมีขนาดชิ้นเล็กเท่าใด EDS จะสามารถวิเคราะห์ธาตุเชิงคุณภาพได้อย่างแม่นยำ (อรรถพล เข้มสุวรรณวงศ์และคณะ 2546:291)



ภาพที่ 56 เปรียบเทียบกล้องจุลทรรศน์แบบ LM แบบ TEM และ แบบ SEM

ที่มา : FESEM FAQ. What does the world FESEM mean? [online], accessed 27 September 2011.

Available from <http://www.vcbio.science.ru.nl/en/fesem/info/fesemfaq/>

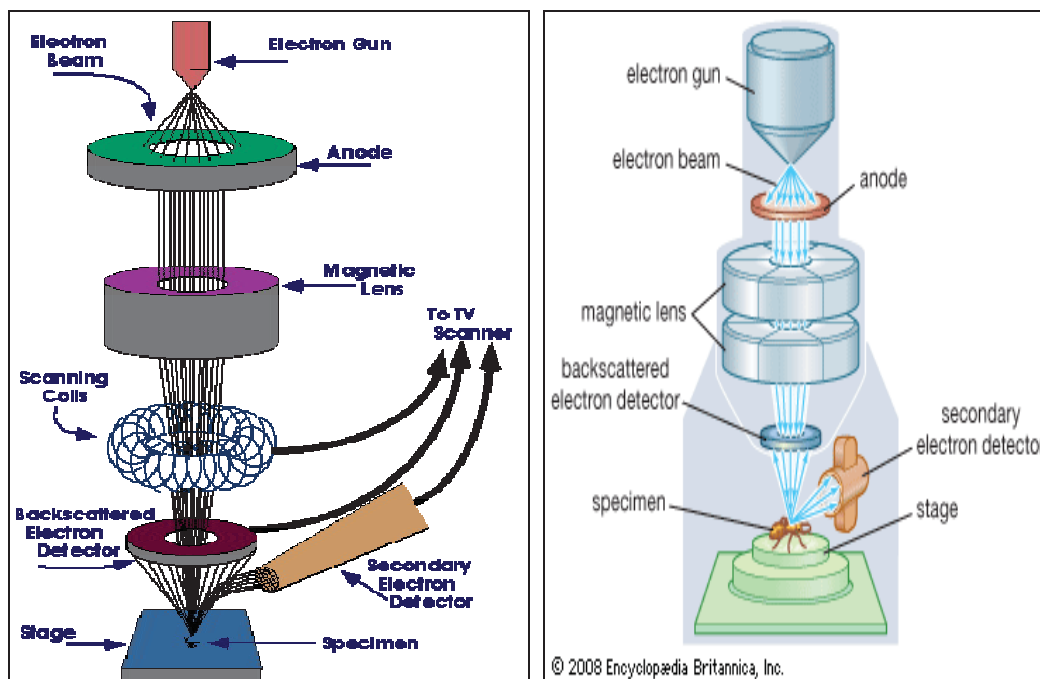


ภาพที่ 57 แสดงส่วนประกอบสำคัญของ Scanning Electron Microscope (SEM)

ที่มา : Nanopedia. How Scanning Electron Microscope Work [online], accessed 27 September

2011. Available from <http://nanopedia.case.edu/NWPPage.php?page=stu.harper.12>

หลักการทำงานของ Scanning Electron Microscope



ภาพที่ 58 แสดงหลักการทำงานของ SEM

ที่มา : Delicate.Scanning Electron Microscope [online], accessed 27 September 2011. Available from <http://www.digitalsmicroscope.com/scanning-electron-microscope-5/>

SEM มีหลักการสร้างภาพ อธิบายได้ดังนี้

อิเล็กตรอนจะถูกสร้างขึ้นโดยใช้ Electron Gun จากนั้นลำอิเล็กตรอนจะถูกโฟกัสให้เข้มข้นและเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กลงโดย Condenser Lens หลังจากนั้นจะถูกโฟกัสให้ตกลงบนผิวตัวอย่างโดย Objective Lens ซึ่ง ณ ตอนนี อิเล็กตรอนที่ตกลงบนผิวตัวอย่างจะเป็นเพียงจุดที่เล็กมาก Scan Coil จะควบคุมการกวาดของลำอิเล็กตรอนให้กวาดจากซ้ายไปขวา เมื่อสุดก็เลื่อนลงอีกชั้นและกวาดจากซ้ายไปขวาอีกครั้ง เป็นเช่นนี้จนครบ Frame การกวาดลำอิเล็กตรอนเช่นนี้เรียกว่า raster scan และเมื่อครบ Frame แล้วก็จะไปเริ่มสแกนที่จุดแรกใหม่ ในการกวาดลำอิเล็กตรอนในแต่ละ Frame จะถูกกำหนดจำนวนจุดและแถวไว้อย่างแน่นอนโดยในภาพตัวอย่าง 1 Frame ตามเส้นตามแนวนอนจะประกอบด้วยจุด 1000 จุด และมีทั้งหมด 1000 เส้น ที่ผิวตัวอย่างที่อิเล็กตรอนตกใส่ จะเกิดสัญญาณอิเล็กตรอนขึ้นหลายรูปแบบซึ่งคล้ายกับการที่แสงตกกระทบวัตถุและสะท้อนออกจากผิววัตถุในที่นี้กล่าวอย่างง่าย ๆ ว่า ถ้าผิวตัวอย่างเรียบก็จะให้สัญญาณ

สะท้อนอิเล็กตรอนได้ดี แต่ถ้าผิวตัวอย่างเป็นหลุมลึกก็จะไม่ให้สัญญาณหรือให้ได้น้อย ซึ่งเราสามารถรับสัญญาณได้โดยใช้ Detector ที่เหมาะสมกับชนิดของสัญญาณ และสัญญาณที่ได้จะนำมาขยายให้มีความแรงที่เหมาะสมแล้วนำมาสร้างเป็นภาพ

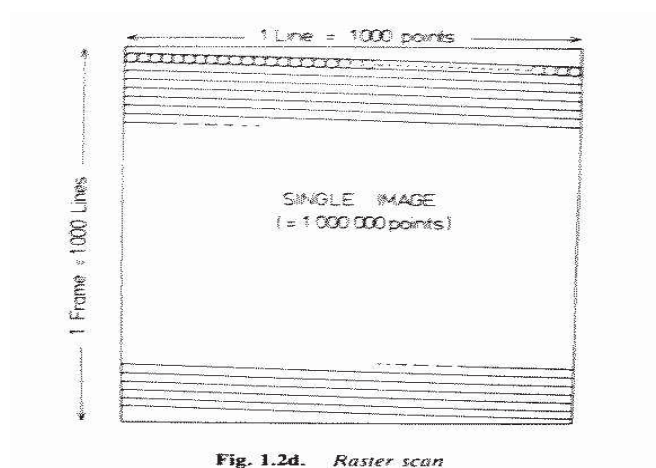


Fig. 1.2d. Raster scan

ภาพที่ 59 แสดงการกวาดของลำอิเล็กตรอนใน 1 เฟรม

เครื่อง SEM. จะใช้หลอดรังสีแคโทด (Cathod ray tube, CRT.) เพื่อแสดงภาพ ในหลอดรังสีแคโทดจะมีการสร้างลำอิเล็กตรอนและถูกบีบให้เป็นลำเล็กๆ แต่มีเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่าในกล้อง SEM มาก กล่าวคือ ใน SEM ลำอิเล็กตรอนมีขนาดศูนย์กลางในระดับนาโนเมตร คืออาจต่ำได้ถึง 5 นาโนเมตรหรือต่ำกว่า แต่ในจอ CRT มีขนาดศูนย์กลางประมาณ 0.1 เซนติเมตร เมื่อพิจารณาอัตราส่วนของลำอิเล็กตรอนของ SEM ต่อ CRT จะพบว่าห่างกันถึง 20,000 เท่า ทำให้เกิดเป็นอัตราส่วนของกำลังขยายที่จะทำให้ภาพที่มีรายละเอียดได้ดี

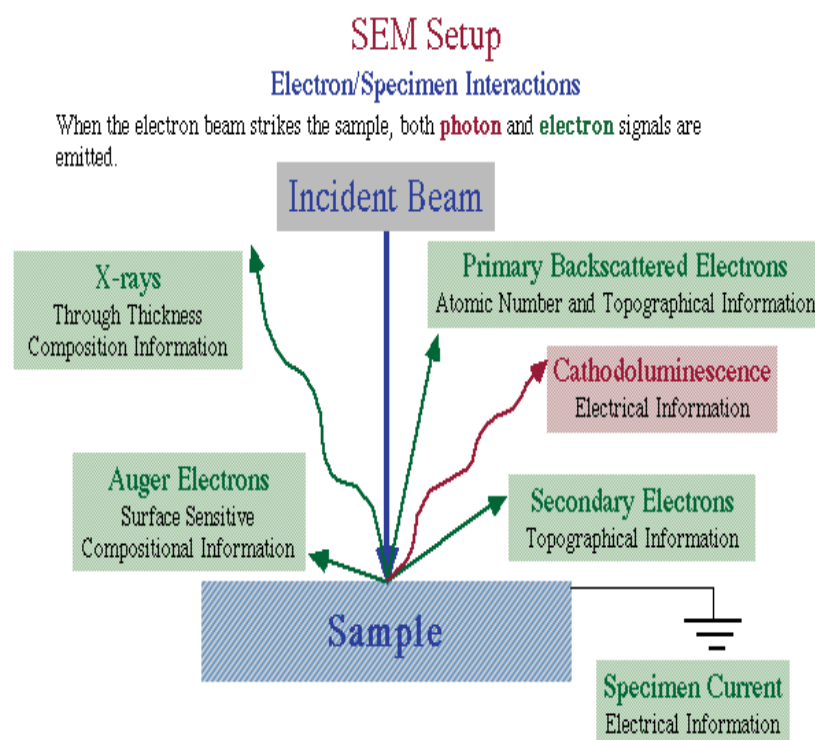
การสแกนใน CRT จะถูกควบคุมให้มีการสแกนแบบ Raster scan พร้อมๆ กับการสแกนของลำอิเล็กตรอนในกล้อง ขณะเดียวกันความสว่างของจุดอิเล็กตรอนใน CRT จะขึ้นอยู่กับความแรงของสัญญาณจาก Amplifier ที่ขยายสัญญาณจาก Detector รับสัญญาณอิเล็กตรอนในกล้อง ถ้าสัญญาณแรงก็จะให้ความสว่างของลำอิเล็กตรอนมาก เมื่อส่งลงบนจอของ CRT ก็จะปรากฏเป็นจุดสว่าง ในทางกลับกันถ้าสัญญาณเบาก็จะได้จุดที่มีความสว่างน้อย บนจอก็จะปรากฏเป็นจุดสว่างน้อยด้วย บนจอ CRT จะทำการเรียงจุดของสัญญาณที่ได้นี้เป็นแถวจนครบ Frame ก็จะได้เป็นภาพออกมา ถ้าบนจอ CRT มีขนาดกว้างและยาวเป็น 20 เซนติเมตร และเรากำหนดการกวาดลำอิเล็กตรอนในกล้องให้ 1 Frame มีพื้นที่ขนาด กว้างยาวเป็น 20 เซนติเมตรด้วย อัตราส่วนการขยายของภาพก็จะเป็น 1 เท่า แต่ถ้าเราให้การกวาดลำอิเล็กตรอนในกล้องเป็นพื้นที่ 1 x 1 เซนติเมตร ก็จะขยายภาพเป็น 20 เท่า แต่ในความเป็นจริงขนาดของการสแกน 1 Frame ในกล้องอาจควบคุมให้

เล็กมากถึงระดับไมโครเมตร (μm) โดยที่การสแกนบนหน้าจอยังเท่าเดิม ดังนั้นการขยายจึงได้ถึงระดับหมื่นเท่า

สัญญาณที่เกิดขึ้นเมื่ออิเล็กตรอนกระทบผิวตัวอย่าง

อิเล็กตรอนจาก Column ของ SEM. เราเรียกว่า Primary Electron เมื่อตกกระทบผิวตัวอย่างจะมีสัญญาณหลายอย่างเกิดขึ้น แต่พอจะแบ่งเป็นกลุ่มได้สองกลุ่มคือ

1. Inelastic Scattering
 - a. Secondary Electrons
 - b. X-Rays
 - c. Auger Electrons
 - d. Phonons
 - e. Transmitted Electron
 - f. Cathodoluminescence
2. Elastic Scattering
 - a. Back Scattered Electrons



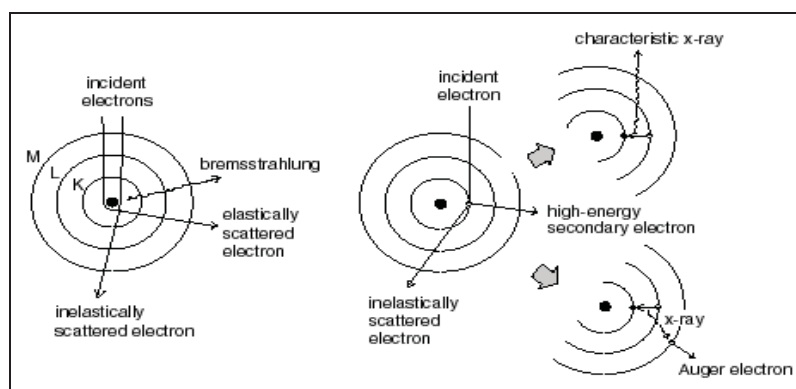
ภาพที่ 60 สัญญาณต่างๆที่เกิดขึ้นจาก อิเล็กตรอนชนกับชิ้นตัวอย่าง

สัญญาณที่นำมาใช้ประโยชน์ใน SEM มี 4 ชนิดได้แก่

a. **Secondary Electrons (SE)** เป็นอิเล็กตรอนพลังงานต่ำที่เกิดจาก Primary Electrons ไปชนเอาอิเล็กตรอนที่ผิวตัวอย่างหลุดออกมา โดยจะหลุดออกจากผิวตัวอย่างที่ความลึกจากพื้นผิวไม่เกิน 10 นาโนเมตร ความเข้มของ SE จะขึ้นกับมุมที่ Primary Electrons ตกใส่ และสภาพพื้นผิวตัวอย่าง ภาพที่ได้จาก SE เรียกว่า Secondary Electron Image, SEI ซึ่งจะให้ภาพที่มีรายละเอียดสูง

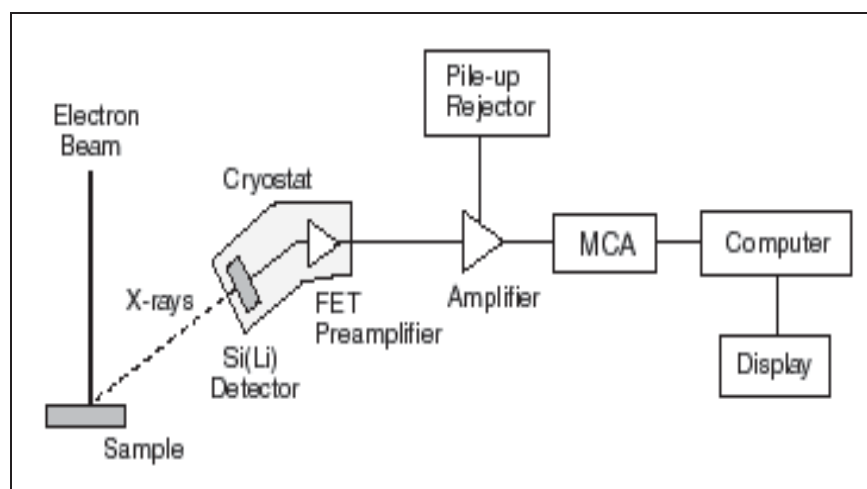
b. **Back Scattered Electrons (BSE)** คือ Primary Electrons ที่กระเจิงกลับออกมาจากผิวตัวอย่าง กล่าวคือ เมื่อ Primary Electrons วิ่งเข้าใกล้หรือเข้าชนนิวเคลียสของอะตอมบนผิวตัวอย่าง ก็จะเกิดการเปลี่ยนทิศทางกระเจิงกลับออกมาจากผิวตัวอย่าง โดย BSE จะเกิดมากกับธาตุที่มีเลขอะตอมสูง ความเข้มของสัญญาณ BSE จะขึ้นกับมุมที่ Primary Electrons ตกใส่ตัวอย่าง และยังขึ้นกับเลขอะตอมของธาตุที่ผิวตัวอย่าง ภาพที่ได้จาก BSE เราเรียกว่า Back Scattered Electron Image (BEI) หรือ Primary Electron Image

c. **Characteristic X-rays** เกิดจากการที่เมื่ออิเล็กตรอนวงในของธาตุตัวอย่างถูกชนโดย Primary Electrons จนหลุดออกไป ก็จะเกิดเป็นระดับชั้นพลังงานที่ว่าง ทำให้อิเล็กตรอนที่มีระดับชั้นพลังงานสูงกว่าระดับพลังงานลง พร้อมกันนี้ก็จะปล่อยพลังงานในรูป X-Rays ออกมา พลังงานของ X-Rays ที่ได้จะมีรูปแบบของระดับพลังงานเฉพาะตัวแตกต่างกันไปในแต่ละธาตุ เรียกว่า Characteristic X-Rays ดังนั้นจึงสามารถทำให้วิเคราะห์หาธาตุองค์ประกอบที่ผิวตัวอย่างโดยอาศัยประโยชน์จากการวิเคราะห์พลังงานหรือความยาวคลื่นของ X-rays ที่เกิดขึ้นนี้



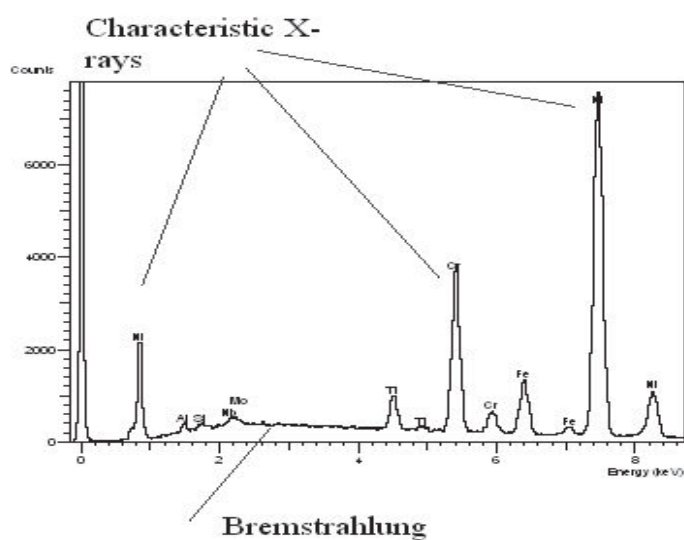
ภาพที่ 61 แสดง Characteristic X-ray

ที่มา : SEM/EDX Theory. A Basic Understanding of Scanning Electron Microscopy (SEM) and Energy Dispersive X-ray Detection (EDX) [online], accessed 27 September 2011. Available from <http://www.forensicevidence.net/iama/sem-edxtheory.html>



ภาพที่ 62 แผนผังแสดง Energy-dispersive spectrometer

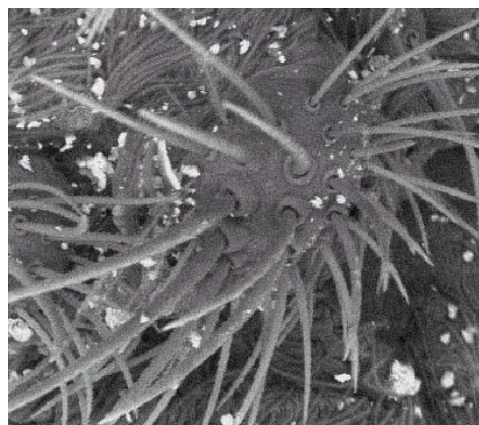
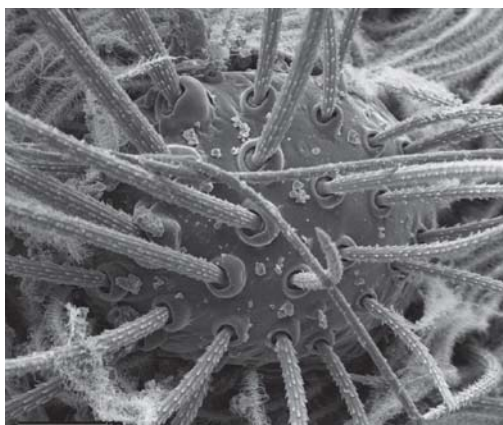
ที่มา : SEM/EDX Theory. A Basic Understanding of Scanning Electron Microscopy (SEM) and Energy Dispersive X-ray Detection (EDX) [online], accessed 27 September 2011. Available from <http://www.forensicevidence.net/iama/sem-edxtheory.html>



ภาพที่ 63 X-Ray Spectrum ที่ได้จาก SEM/EDS

ที่มา : ฐนันท์ ชาตirkวงศ์, “การตรวจเขม่าปืนบนเสื้อผ้าด้วยเทคนิค SEM/EDS” (วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขานิติวิทยาศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2551), 44.

d. **Cathodoluminescence** ธาตุบางชนิดเมื่อได้รับการถ่ายทอดพลังงานจาก Primary Electrons ก็จะปลดปล่อยพลังงานในรูปของแสงในช่วงที่ตาเห็นหรืออาจเลยไปถึงช่วง UV ปปรากฏการณ์นี้เกิดขึ้นในตัวอย่างบางชนิดเท่านั้น



ภาพที่ 64 ภาพเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่าง SEI กับ BEI ของคราบแมลงที่อาศัยในทราย

ซ้าย - SEI เห็นรายละเอียดที่ผิวอย่างชัดเจน

ขวา - BEI พงทรายที่ติดอยู่เป็นเม็ดสีขาว เกิดจากน้ำหนักอะตอมของ Si ในทรายมีมากกว่าองค์ประกอบคาร์บอนในคราบแมลง

ข้อจำกัดและสถานะในการใช้เครื่อง SEM.

ใน SEM เครื่องหนึ่ง ถ้าควบคุมสถานะในการใช้เครื่องที่ต่างกัน จะทำให้ถ่ายภาพออกมาได้ต่างกัน ภาพเหล่านี้บางข้อนั้น เป็นข้อจำกัดของการทำงานด้วยเครื่อง ข้อจำกัดและสถานะที่สำคัญมีดังนี้

1. Resolution และกำลังขยายของ SEM ไม่ได้ถูกกำหนดที่ความยาวคลื่นของอิเล็กตรอนเหมือนกับ Transmission Electron Microscope (TEM) แต่จะถูกจำกัดด้วยขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของลำอิเล็กตรอน (Beam Diameter) กล่าวคือ เมื่อวางตัวอย่างห่างจากปลาย Column ที่ระยะหนึ่งใช้ลำอิเล็กตรอนที่เล็กลง เครื่องจะมีกำลังแยกที่ดีขึ้น แต่เครื่องโดยทั่วไปสามารถบีบลำอิเล็กตรอนได้เล็กที่สุดประมาณ 5 นาโนเมตร ใน SEM บางรุ่นบางยี่ห้อจะบีบได้เล็กกว่านี้ แต่ต้องปฏิบัติงานที่ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่สูงมาก ซึ่งจะทำให้เกิดปัญหาในเรื่องความคลาดเคลื่อนของเลนส์สูงและมีการใช้งานยากขึ้น

กำลังขยายของ SEM จะสัมพันธ์กับ Beam Diameter โดยถ้าในการสแกน 1 Frame ถูกกำหนดให้มี 2,000 จุด และ 2,000 เส้น และหน้าจอ CRT สำหรับแสดงภาพมีขนาด 20 เซนติเมตร

แสดงว่าแต่ละเส้นจะมีขนาดเท่ากับ 0.1 มิลลิเมตร ซึ่งค่านี้ก็คือค่า Screen Resolution ของจอ โดยกำลังขยายสูงสุดของเครื่องสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\begin{aligned}\text{กำลังขยาย} &= \text{Screen Resolution} / \text{Beam Diameter} \\ &= 0.1 \text{ mm.} / 5 \text{ nm.} = 20,000 \text{ เท่า}\end{aligned}$$

ค่ากำลังขยาย 20,000 เท่า เป็นกำลังขยายสูงสุดของ SEM ทัวไปที่มีอยู่ แต่ในสเปกเครื่องส่วนมาก มักจะระบุกำลังขยายสูงสุดเกินค่านี้ ซึ่งภาพที่ได้จากการขยายเกินจุดนี้มักจะขาดความคมชัด

2. Accelerating Voltage คือ ศักย์ไฟฟ้าที่ใช้ในการเร่งความเร็วของอิเล็กตรอน มีหน่วยเป็น Kv. โดยทัวไปความคลาดเคลื่อนของเลนส์อิเล็กตรอน (Chromatic Aberration) จะลดลงเมื่อใช้ Acceleration Voltage ที่สูงขึ้น แต่อิเล็กตรอนที่ศักย์ไฟฟ้าสูงจะมีค่าพลังงานสูงมาก ซึ่งจะมีผลให้รังสีทะลุเข้าไปในตัวอย่างที่มีเลขอะตอมต่ำได้ลึกเกิน ภาพที่ได้จะไม่คมชัดดังความต้องการ ทำให้เกิดความร้อนที่ตัวอย่างเป็นผลให้เกิดความเสียหายต่อตัวอย่างได้ อีกทั้งยังทำให้เกิดการสะสมประจุที่ผิวตัวอย่างสูง (Charge up)

3. Scan Speed กล่าวง่ายๆ ก็คือ ความเร็วที่อิเล็กตรอนสแกนบนผิวตัวอย่าง ซึ่งถ้าใช้ความเร็วสูงจะแสดงภาพที่หายามีสัญญาณรบกวนมาก ใน SEM โดยทัวไปจะสแกนได้เร็วที่สุด 25 Frame ต่อวินาที ซึ่งเท่ากับการสแกนในโทรทัศน์ ดังนั้นจึงเรียกการสแกนแบบนี้ว่า TV Mode ซึ่งมีประโยชน์มากในการปรับหาตำแหน่งของตัวอย่างเพราะจะแสดงภาพได้เร็วขึ้นแต่ถ้าเราสแกนช้าลง สัญญาณที่ได้ก็จะดีขึ้นและมีความคมชัดมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากว่าในการเคลื่อนที่ของจุดลำอิเล็กตรอนบนผิวตัวอย่างนั้นจะมีสัญญาณอิเล็กตรอนเกิดขึ้น ดังนั้นถ้ามีการเคลื่อนที่เร็วประสิทธิภาพของการให้สัญญาณจะน้อย สัญญาณที่เข้าสู่ Detector จะน้อยด้วย Amplifier ที่ขยายสัญญาณจะต้องขยายสัญญาณมากขึ้น เป็นผลให้สัญญาณรบกวนถูกขยายตามไปด้วย ดังนั้นสัญญาณที่ส่งไปยังจอ CRT จึงขาดความคมชัดเนื่องจากมีสัญญาณรบกวนมากนั่นเอง ในทางกลับกันถ้าเราใช้ Scan Speed ที่ช้าลง สัญญาณรบกวนไม่ถูกขยาย ทำให้ภาพที่ได้มีความคมชัดมากขึ้นแต่การแสดงผลช้า และอาจเกิดความร้อนบนผิวตัวอย่าง ซึ่งถ้าตัวอย่างมีความเปราะบางก็จะทำให้เกิดความเสียหายของตัวอย่างเกิดขึ้น และอาจเกิด Charging up ได้

4. Spot Size คือขนาดของจุดอิเล็กตรอน แม้ว่า Resolution ของ SEM จะขึ้นกับเส้นผ่าศูนย์กลางของลำอิเล็กตรอน (Spot Size) แต่ถ้าเราใช้ Spot Size ที่เล็กมากจะทำให้สัญญาณอิเล็กตรอนจากผิวตัวอย่างออกมาน้อยด้วย เป็นผลให้ Amplifier ต้องขยายสัญญาณมาก สัญญาณรบกวนจึงมากตามไปด้วย ดังนั้นในการใช้กำลังขยายสูงที่มีความจำเป็นต้องใช้ Spot Size ขนาดเล็ก

จึงต้องใช้ Scan speed ที่ช้า ในทางกลับกันถ้าเราต้องการกำลังขยายต่ำ เราสามารถทำงานได้ง่ายและเร็วขึ้น โดยการปรับ Spot Size ที่ใหญ่ขึ้นและใช้ Scan Speed ที่ค่อนข้างเร็ว

5. Working Distance ใน SEM คือ ระยะห่างระหว่างวัตถุกับ Final Objective Lens โดยทั่วไปมีค่าอยู่ระหว่าง 5 – 40 มิลลิเมตรซึ่งเมื่อใช้ค่า Working Distance มากก็จะทำให้มีความชัดลึกของภาพสูง แต่ในขณะที่หากต้องการถ่ายภาพที่มีกำลังขยายสูงๆจะต้องใช้ Working Distance ต่ำ

6. Aperture Size เป็นแผ่นโลหะบางๆ ที่มีรูอยู่ตรงกลาง โดยมีเส้นผ่าศูนย์กลางระหว่าง 25 ถึง 1,000 ไมโครเมตร Aperture จะช่วยลดการคลาดเคลื่อนของเลนส์อิเล็กตรอนได้ ถ้าเราต้องการภาพถ่ายที่มีกำลังขยายสูงและมีความชัดลึกมากเราต้องใช้ Aperture ขนาดเล็ก แต่ภาพที่ได้จะมีสัญญาณรบกวนสูง ในทางกลับกันภาพที่มีกำลังขยายต่ำ ไม่มีความจำเป็นที่จะต้องใช้อพอร์ทขนาดเล็ก แต่จะมีความชัดลึกที่ไม่ดี ดังนั้นในการเลือกใช้นาฬิกาของ Aperture ต้องเลือกใช้ให้เหมาะสมกับภาพที่เราต้องการ

การเตรียมตัวอย่างและลักษณะของตัวอย่าง

วิธีการโดยทั่วไปของการเตรียมตัวอย่างคือนำชิ้นตัวอย่างติดบนแท่นโลหะสำหรับวางชิ้นงานซึ่งเรียกว่า “สตัป (stub)” และชิ้นงานจะยึดติดกับสตัปด้วยเทปกาวนำไฟฟ้า (conductive tape) ตัวอย่างที่จะนำมาศึกษาต้องแห้ง ไม่มีความชื้น และไม่ปนเปื้อนสารจำพวกไฮโดรคาร์บอน เช่น น้ำมัน เพราะเมื่อชิ้นงาน (ตัวอย่าง) อยู่ภายใต้สภาวะสุญญากาศ ความชื้นหรือสารไฮโดรคาร์บอนจะแตกตัวเป็นโมเลกุลเล็กๆไปขัดขวางเส้นทางของอิเล็กตรอน ทำให้ภาพที่ได้ไม่ชัดเจน อีกทั้งโมเลกุลเหล่านี้อาจไปเกาะส่วนต่างๆของกล้องเช่นผิวของแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอน เป็นเหตุให้แหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนมีอายุการใช้งานสั้นลง หากตัวอย่างหรือชิ้นงานนั้นเป็นวัสดุที่ไม่นำไฟฟ้าต้องเคลือบผิวหน้าชิ้นงานด้วยฟิล์มที่นำไฟฟ้าบางๆ(ประมาณ 100 อังสตรอม) ซึ่งวัสดุที่นิยมนำมาใช้เคลือบผิวของชิ้นงานตัวอย่างได้แก่ ทอง ทองผสมแพลตินัมและคาร์บอน การเคลือบด้วยทองหรือทองผสมแพลตินัมจะให้ภาพที่คมชัดกว่าการเคลือบด้วยคาร์บอน แต่จะทำให้ข้อมูลทางเคมีของเทคนิค EDS บิดเบือนไป ในกรณีที่ต้องการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี(วิเคราะห์องค์ประกอบธาตุ) เนื่องจากคาร์บอนเป็นธาตุเบา (เลขอะตอมเท่ากับ 6) มีฟลักซ์ต่ำพลังงานซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนตำแหน่งของอิเล็กตรอนในอะตอมเพียง 1 ฟลักซ์ ส่วนทองเป็นธาตุหนัก (เลขอะตอมเท่ากับ 79) จะมีฟลักซ์จำนวนมาก ซึ่งบางฟลักซ์ชนทับกับฟลักซ์ของธาตุเบา ทำให้ไม่สามารถระบุได้อย่างชัดเจนว่าชิ้นงานตัวอย่างนั้นประกอบด้วยธาตุอะไรบ้าง นอกจากนี้ทองยังสามารถดูดกลืนรังสีเอ็กซ์ที่มาจากธาตุอื่นๆได้ในปริมาณที่มาก ระดับหนึ่ง ข้อควรระวังอีกประการคือ ผิวหน้าของชิ้นงานตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์ต้องค่อนข้างเรียบ เนื่องจากพื้นผิวที่ขรุขระจะกระเจิง

สัญญาณเอ็กซ์เรย์ไปตกกระทบนอกขอบเขตของตัวตรวจจับ ทำให้การคำนวณปริมาณธาตุที่วิเคราะห์ได้จะมีปริมาณที่แตกต่างไปจากปริมาณที่จริง

ดังนั้น การใช้งาน SEM เพื่อให้เกิดอัตราประโยชน์สูงสุดในการตรวจวิเคราะห์อนุภาค หรือเพื่อพิสูจน์เขม่าป็น และถ่ายภาพให้ได้ตามที่ต้องการ จะต้องอาศัยความเข้าใจในด้านพื้นฐานการทำงานของ SEM มากพอสมควรและต้องมีความชำนาญในการตรวจวิเคราะห์ไปพร้อมกัน แม้ว่าในปัจจุบันจะมีโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ (soft ware) หรืออุปกรณ์ประกอบสำหรับช่วยวิเคราะห์ด้านต่างๆเข้ามาใช้ร่วมกับ SEM ก็ตาม

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

พ.ศ. 2535 รัชนารถ กิตติคุณฐิติ ศึกษาการตรวจหาคราบเขม่าป็นที่มีมือ โดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนที่มี Energy Dispersive X-Ray Spectrometer จากผลการศึกษาวิจัย พบว่าการตรวจหาคราบเขม่าป็นที่มีมือ โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนที่มี Energy Dispersive X-Ray Spectrometer นี้ เป็นวิธีที่ให้ผลดี สามารถตรวจหาอนุภาคเขม่าป็น หลังการยิงปืนผ่านมานานเกินกว่า 6 ชั่วโมง และสามารถมองเห็นลักษณะ จนกระทั่งถึงขนาด นอกจากนี้ยังตรวจพิสูจน์หาธาตุที่เป็นองค์ประกอบของอนุภาคเขม่าป็นได้

พ.ศ. 2547 วิวัฒน์ ชินวร ศึกษาการตรวจวิเคราะห์อนุภาคเขม่าป็นบนตัวอย่างเส้นโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ควบคู่ไปกับเทคนิคการวิเคราะห์หาธาตุที่เป็นองค์ประกอบในอนุภาคแบบ EDX โดยไม่ต้องทำการเคลือบผิวตัวอย่างด้วยคาร์บอน หรือทองคำ สามารถศึกษาลักษณะเฉพาะของอนุภาคเขม่าป็นที่ปรากฏเป็นรูปสัณฐานทรงกลมตรวจหาธาตุที่เป็นองค์ประกอบหลักของ อนุภาคเขม่าป็นได้ คือ ธาตุ Pb Ba และ Sb ทั้งยังสามารถตรวจพบอนุภาคเขม่าป็นบนเส้นเส้นได้แม้เวลาจะผ่านไปแล้ว 24 ชั่วโมงหลังการยิงปืน

ค.ศ. 1976 J.Andrasko และ A.C.Maehly ทำการศึกษาวิเคราะห์อนุภาคเขม่าป็นบนมือภายหลังการยิงปืนโดยใช้ SEM ตรวจหาธาตุสำคัญที่เป็นองค์ประกอบอยู่ในอนุภาคเขม่าป็น (GSR) ได้แก่ Pb Ba และ Sb โดยใช้ tape lift เก็บตัวอย่างอนุภาคจากมือ พบว่าหลังจากล้างมือด้วยน้ำ เบาๆ และเช็ดด้วยผ้า ยังสามารถตรวจพบอนุภาคเขม่าป็นได้ ส่วนการล้างมืออย่างพิถีพิถันด้วยสบู่จะทำให้อนุภาคเขม่าป็นหลุดออกไปได้

ค.ศ. 1991 J. Andrasko และ S. Petterson ได้ออกแบบอุปกรณ์อย่างง่ายสำหรับการเก็บตัวอย่างอนุภาคเขม่าป็นจากเสื้อผ้า ในถุงหรือกระเป๋ และนำมาทดสอบโดยใช้ SEM พบว่า มีการปนเปื้อนของอนุภาคเขม่าป็นบนเสื้อผ้า

ค.ศ. 1993 Arie Zeichner และ Nadav Levin ศึกษาการเก็บอนุภาคเขม่าป็น(GSR) จากผมและมือ โดยใช้ Double Side Adhesive ติดลงบน aluminium stub ในการวิเคราะห์พบว่าอนุภาคเขม่าป็น สามารถตรวจพบจากผมภายหลัง 24 ชั่วโมง ถ้ายังไม่ได้ทำความสะอาด ซึ่งบางกรณีสามารถตรวจพบอนุภาคเขม่าป็นบนผมแต่ไม่พบบนมือ

ค.ศ. 2001 Francesco Saverio Romolo และ Pierre Margot ได้พิจารณาทบทวนวารสารทางวิทยาศาสตร์ที่ถูกตีพิมพ์ เกี่ยวกับวิเคราะห์เขม่าป็นที่เป็นสารอนินทรีย์ โดยศึกษาวิธีการวิเคราะห์อนุภาคซึ่งได้แสดงถึงความสามารถในการตรวจวิเคราะห์และพิสูจน์ยืนยันอนุภาคเขม่าป็น โดยสรุปว่า SEM เป็นเครื่องมือที่มีความสามารถสูง สำหรับนักนิติวิทยาศาสตร์ที่จะใช้วิเคราะห์ถึงความใกล้เคียงของการใช้อาวุธปืนที่ยิง หรือการสัมผัสกับพื้นผิวที่มีอนุภาคเขม่าป็น การวิเคราะห์อนุภาคสามารถที่จะพิสูจน์ยืนยันเฉพาะอนุภาคเขม่าป็น ได้ทั้งรูปร่างและลักษณะเฉพาะของธาตุ เมื่อไรที่อนุภาคเขม่าป็นบนตัวอย่างที่ถูกเก็บมาทำการตรวจวัด ผลของการวิเคราะห์สามารถแปลผลได้ตามกฎทั่วไปของระบบการอธิบายที่เป็นรูปแบบ เพื่อที่จะวิเคราะห์ว่าส่วนไหนที่มาจาก การระเบิดของ primer หรือจากแหล่งอื่นที่อาจเป็นไปได้ อนุภาคจากตัวอย่างจะถูกจำแนกเป็น “unique GSR particle” ที่มาจากแหล่งกำเนิดเดียวของการระเบิดของ primer และ “uniqueness” ที่ไม่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์อนุภาคเขม่าป็น สำหรับการประเมินคุณค่าของอนุภาคที่เชื่อมโยงผู้ต้องสงสัยกับอาชญากรรม เป็นสิ่งสำคัญที่จะเปรียบเทียบได้ถ้าผู้ต้องสงสัยไม่เคยเกี่ยวข้องกับการยิงปืน เป็นการพิสูจน์ว่าเมื่อไรที่มีความเป็นไปได้

ค.ศ. 2001 Zuzanna Brozek-Mucha และ Agnieszka Jankowicz ได้ทำการศึกษาอนุภาคเขม่าป็น (GSR) ที่มาจากกระสุนปืนจำนวน 6 ชนิด โดยใช้บุคคลผู้ที่โดยปกติไม่ได้มีการสัมผัสหรือเกี่ยวข้องกับอาวุธปืน มาทำการยิงปืนทั้งหมดจำนวน 3 ครั้ง ซึ่งแต่ละคนจะใช้อาวุธปืนที่แตกต่างกัน จากนั้นทำการเก็บตัวอย่างอนุภาคเขม่าป็นจากมือผู้ยิงโดยใช้ aluminium stub ที่ติดด้วย black carbon tabs และนำไปตรวจสอบรูปร่างและองค์ประกอบของธาตุโดยเทคนิควิธี Automatic SEM/EDX ในการศึกษาเปรียบเทียบจะใช้ primer residue มาพิจารณาความถี่ของการเกิดอนุภาค ที่แสดงให้เห็น certain chemical class ต่อปริมาณทั้งหมดของอนุภาคที่ตรวจพบแสดงเป็นเปอร์เซ็นต์ ความสัมพันธ์ร่วมกันระหว่างความถี่ของการเกิด residues ทางเคมีที่จำเพาะที่บรรจพบที่มีความแตกต่างมากในกระสุนปืนที่นำมาศึกษา โดยพิสูจน์ด้วยวิธี non-statistical หรือ non-parametric statistical method เป็นไปได้ที่จะจำแนกกระสุนแต่ละชนิดจากกระสุนปืนที่นำมาใช้ทดสอบ

ผลของการตรวจสอบ ได้แสดงถึงความแตกต่างของความถี่ของการเกิด certain chemical class ของ primer residues สังเกตได้จากประเภทที่หลากหลายของกระสุนปืน

ความแตกต่างเหล่านี้สามารถบอกการกระจายตัวที่มีความสำคัญของการพิสูจน์ยืนยันของกลุ่มกระสุนที่ได้จากพื้นฐานทางกายภาพและเคมี ของอนุภาคเขม่าปืน

ค.ศ.2002 Carlo Torre และคณะ ในวารสารวิทยาศาสตร์ได้บรรยายเกี่ยวกับอนุภาคในสิ่งแวดล้อมมีส่วนประกอบที่คล้ายกับองค์ประกอบของอนุภาคเขม่าปืน เพื่อที่จะนิยามแหล่งกำเนิดของอนุภาคเหล่านี้ ผ้าเบรก และผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องสงสัย จึงถูกนำมาตรวจสอบโดย SEM-EDX ผลที่ได้แสดงถึงผ้าเบรกบางประเภทที่ประกอบด้วยธาตุโลหะ Pb Ba และ Sb ซึ่งคล้ายกับธาตุที่มาจากอนุภาคของเขม่าปืน อนุภาคส่วนมากเหล่านี้สามารถที่จะอธิบายได้อย่างง่ายจาก primer discharge residue เพราะมีธาตุ Fe ปรากฏอยู่ใน spectrum อย่างไรก็ดีตามอนุภาคที่ประกอบด้วย Fe เป็นธาตุรอง หรือมีระดับต่ำ ปรากฏอยู่ ซึ่งเป็องค์ประกอบที่คล้ายอนุภาค เนื่องจากเป็น unique ของ primer discharge residue

ค.ศ. 2003 Arie Zeichner และคณะ ได้ดำเนินการทดลองเก็บ gunpowder residue จากเสื้อผ้าของผู้ยิงโดยใช้ vacuum และวิเคราะห์โดย Chromatography/thermal energy (GC/TEA), ion mobility spectrometry (IMS) และ gas chromatography/mass spectrometry (GC/MS) เขม่า(residue)จะถูกเก็บบน fiber glass และ Teflon filter ใช้ระบบ portable sampler ทั้งหมดต่อกับ IMS instrument ตัวทำละลายหลาย ๆ ตัวนำมาใช้เป็นตัวสกัดองค์ประกอบของ propellant จาก filter สารสกัดนำไปหมุนเหวี่ยงและกรอง ทำให้เข้มข้นขึ้นโดยการนำไประเหยเป็นไอ ผลการทดลองของการศึกษาวิธีดำเนินการสำหรับการวิเคราะห์ของเขม่าปืน นำมาสู่การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของเทคนิคในปัจจุบัน สำหรับการวิเคราะห์เขม่าปืนบนเสื้อผ้าโดย Israel police ได้ปรับปรุงวิธีการเก็บตัวอย่างบนเสื้อผ้าโดยใช้ double-side adhesive coated aluminium stubs (tape life method) สำหรับการเก็บตัวอย่างอนุภาคเขม่าปืนด้วยวิธี vacuum collection propellant ยังเป็นวิธีที่ใช้กันอยู่

ค.ศ.2003 Zuzanna Brozek-Mucha และ Grzegorz Zadora พยายามสร้างการจำแนกแหล่งตัวอย่างอนุภาคเขม่าปืนจากกระสุนปืนทั้ง 4 ชนิดให้เป็นแบบแผน โดยการเก็บเขม่าปืนจากมือผู้ยิงภายหลังการยิงปืนทันทีทันใด ตัวอย่างถูกนำมาวิเคราะห์ตรวจสอบโดยวิธี SEM-EDX ในระบบ automatic ผลที่ได้จะถูกแสดงเป็นความถี่ของอนุภาคที่สร้างจาก chemical classes หลายๆ แบบ และพิสูจน์แยกแยะลักษณะเฉพาะโดยวิธี Mann-Whitney Test Cluster analysis ซึ่งจะวิเคราะห์ตามแหล่งกำเนิดนั้น เช่น ประเภทของกลุ่มกระสุน พบว่าตัวอย่างอนุภาคเขม่าปืนที่มาจากกระสุน Browning ขนาด 7.65 mm. และกระสุน Luger ขนาด 9 mm. จะจำแนกได้อย่างง่ายจากตัวอย่างอื่น ส่วนตัวอย่างของกระสุนปืน Makarov ขนาด 9 mm. และกระสุนปืน Tokarov ขนาด 7.62 mm. ไม่สามารถจำแนกได้โดยใช้ความถี่ของการเกิดอนุภาคโดยการจำแนก chemical classes

ค.ศ.2004 Bruno Cardinetti และคณะ ศึกษาความเป็นไปได้ของการจำแนกอนุภาคเขม่าป็นจากการรวมตัวของธาตุตะกั่ว(Pb) แอนติโมนี(Sb)และแบเรียม(Ba) ที่ไม่ได้เกิดจากการยิงปืนโดยใช้เทคนิค X-ray mapping เป็นภาพแสดงการกระจายตัวของธาตุแต่ละธาตุในตัวอย่างอนุภาคที่นำมาตรวจวิเคราะห์ โดยพบว่าอนุภาคเขม่าป็นจะประกอบด้วยธาตุ Pb Sb และBa กระจายอยู่ทั่วทั้งหมดบนอนุภาคอื่นเนื่องมาจากกระบวนการเกิดอนุภาคเขม่าป็น แต่อนุภาคเกิดที่ขึ้นในสิ่งแวดล้อมจากการประกอบอาชีพจะไม่มีการกระจายตัวของธาตุเหล่านี้

เทคนิค X-Ray mapping นี้ถือเป็นหลักการใหม่ในการวิเคราะห์อนุภาคเขม่าป็น ประกอบไปกับการใช้ SEM/EDS และเป็นวิธีใหม่ที่น่าสนใจมาพิจารณาใช้งาน

ค.ศ.2007 Hsien-Hui Meng และ Hsei-Chang Lee ได้ทำการศึกษาวิเคราะห์ primer mixtures และอนุภาคเขม่าป็นที่เก็บตัวอย่างจากกระสุนปืนพกทั่วไปที่มีอยู่ในไต้หวันโดยผลที่ได้หนึ่งในนั้นซึ่งเป็นกระสุนปืน Winchester รุ่น winclean™ เมื่อเก็บตัวอย่างเขม่าป็นจากมือแล้วนำไปวิเคราะห์พบธาตุที่มีองค์ประกอบคือ K, Mg, Si, Ca, S และ Cu ส่วนการเก็บตัวอย่างจากปลอกกระสุนปืนจะพบธาตุ K, Fe, S, Cu และ Zn นอกจากนี้ยังเก็บตัวอย่างจากปากทางเข้าของกระสุนที่เข้าตัวเป้า ซึ่งเป็นแผ่นกระดาษ พบธาตุ K, Fe, Si, Ca, Cu และ Zn

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

1. เครื่อง Scanning Electron Microscope and Energy Dispersive X-ray Spectroscopy, SEM/EDS ของ Zeiss รุ่น LEO 1455 VP ผลิตจากประเทศ USA.
2. เทปกาวยึดคาร์บอนเส้นผ่าศูนย์กลาง 12 มม. (Carbon Adhesive tape-discs) บริษัทพรพลอินสตรูเมนต์ จำกัด
3. Stub ของ Cam Scan Analytical บริษัท พรพลอินสตรูเมนต์ จำกัด
4. ภาชนะพลาสติกทรงกลมแบบมีฝาปิดสำหรับเก็บ Stub บริษัท พรพลอินสตรูเมนต์ จำกัด
5. กระสุนปืน ขนาด 9 มม. ยี่ห้อ Winchester รุ่น Winclean™ ผลิตจากประเทศ USA.
6. อาวุธปืนพกอัตโนมัติ ขนาด 9 มม. (Sig sauer Model. P228)
7. เสื้อยืดคอกลม แขนสั้น ห้างสรรพสินค้าทั่วไป
8. อุปกรณ์ และน้ำยาทำความสะอาดปืน ร้านปืนชาติรี กรุงเทพฯ
Birchwood casey Synthetic Gun oil ผลิตจากประเทศ USA
Birchwood casey Bore Scubber ผลิตจากประเทศ USA.
ผ้าสะอาด ก้านสำลี และสแตทำความสะอาดลำกล้องปืน
9. สบู่เหลว (สำหรับล้างมือ) ห้างสรรพสินค้าทั่วไป
10. กระสอบทราย (เป้ายิง) ร้านขายอุปกรณ์ก่อสร้างทั่วไป



ภาพที่ 65 กระสุนปืน Winchester รุ่น winclean™ ขนาด 9 mm



ภาพที่ 66 อาวุธปืน ขนาด 9 มม. (Sig sauer Model P228)



ภาพที่ 67 น้ำยาทำความสะอาดปืน



ภาพที่ 68 Stub และภาชนะบรรจุ

3.2 วิธีการวิจัยและวิเคราะห์เขม่าปืน (GSR) ด้วยเทคนิค SEM/EDX

ทำการศึกษาโดยการเก็บตัวอย่างอนุภาคเขม่าปืนจากบริเวณแขนเสื้อและด้านหน้าตัวเสื้อที่ใช้สวมใส่ในขณะยิงปืนและทำการศึกษาโดยการเก็บอนุภาคเขม่าปืนจากบริเวณมือของผู้ยิง (ดังภาพที่ 70) ทำการยิงปืนจำนวน 1 นัด โดยใช้อาวุธปืนพกอัตโนมัติ ขนาด 9 มม. สำหรับกระสุนปืนที่ใช้ในการยิงทดลอง ยี่ห้อ Winchester รุ่น Winclean™ ขนาด 9 มม. แล้วนำตัวอย่างไปวิเคราะห์ลักษณะรูปร่าง(shape) พื้นฐาน(morphology) และองค์ประกอบของธาตุในอนุภาคเขม่าปืน(elemental composition) โดยใช้เครื่อง Scanning Electron Microscope ที่มีอุปกรณ์ Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (SEM/EDS)

โดยการยิงปืนนี้จะทำในระบบเปิดทุกครั้งที่ยิง เนื่องจากผู้วิจัยต้องการให้การทดลองนี้เป็นไปตามเหตุการณ์ที่จะเกิดขึ้นจริงตามธรรมชาติ

ในการทดลองแต่ละครั้งในแต่ละตัวอย่างจะทำการยิงปืนเพียงครั้งละหนึ่งนัดเท่านั้น เนื่องจากการยิงปืนหนึ่งนัด เป็นจำนวนนัดที่น้อยที่สุดที่จะเกิดขึ้นได้ในเหตุการณ์หรือในคดี ดังนั้น หากในเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นจริง ผู้ใช้อาวุธปืน(ผู้ยิง) หรือผู้ต้องสงสัยทำการยิงปืนมากกว่าหนึ่งนัดแล้ว โอกาสที่จะตรวจพบอนุภาคเขม่าปืนที่เสื้อหรือที่มือ ก็จะมีมากขึ้นไปด้วย

3.2.1 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการเก็บตัวอย่างเขม่าปืนบริเวณด้านหน้าของตัวเสื้อ มีดังนี้

3.2.1.1 ให้ผู้ยิงทำการยิงปืนโดยสวมเสื้อยืดแขนสั้นตามที่กำหนด ทำการยิงอาวุธปืนโดยใช้อาวุธปืนพกอัตโนมัติ ขนาด 9 มม. ยี่ห้อ Sig sauer Model. P228 และใช้กระสุนปืน Winchester รุ่น Winclean™ ขนาด 9 มม. ทำการยิงด้วยการจับอาวุธปืนด้วยมือทั้งสองข้าง (ดังภาพที่ 69) ยิงครั้งละจำนวน 1 นัด ที่ระยะห่างจากเป้ากระสอบทรายพอประมาณ



ภาพที่ 69 ตัวอย่างลักษณะ ท่าทางและการจับอาวุธปืนขณะทำการยิง

3.2.1.2 หลังจากการยิงปืนแล้ว ให้ผู้ยิงปืนดำเนินกิจกรรมต่างๆ ในชีวิตประจำวัน ตามปกติที่เคยทำโดยสวมใส่เสื้อขณะที่ยิงไว้ตามเวลาที่กำหนด เมื่อครบตามเวลาที่กำหนด ให้ทำการเก็บตัวอย่างบริเวณด้านหน้าตัวเสื้อของผู้ยิงปืนและเก็บตัวอย่างจากบริเวณแขนเสื้อ (โดยแยกเก็บเป็นแต่ละตัวอย่าง) ระยะเวลาที่จะทำการเก็บตัวอย่างคือ

3.2.1.2.1 เก็บตัวอย่างทันทีหลังการยิงปืน กำหนดให้เป็นเวลา 0 ชั่วโมง

3.2.1.2.2 เก็บตัวอย่างหลังจากเวลาผ่านไปแล้วหลังการยิงปืน 1 ชั่วโมง

3.2.1.2.3 เก็บตัวอย่างหลังจากเวลาผ่านไปแล้วหลังการยิงปืน 3 ชั่วโมง

3.2.1.2.4 เก็บตัวอย่างหลังจากเวลาผ่านไปแล้วหลังการยิงปืน 5 ชั่วโมง

3.2.1.2.5 เก็บตัวอย่างหลังจากเวลาผ่านไปแล้วหลังการยิงปืน 7 ชั่วโมง

อนึ่ง หลังจากการยิงปืนแต่ละครั้ง(แต่ละนัด) จะทำความสะอาดปืนด้วยน้ำยาทำความสะอาดปืนและเช็ดด้วยอุปกรณ์ดังกล่าวไว้ใน หัวข้อ 3.1 ข้อที่ 8 พร้อมทั้งเปลี่ยนเสื้อตัวใหม่ ที่จะสวมใส่ขณะยิงในแต่ละครั้ง

3.2.1.3 ทำการเก็บตัวอย่างโดยใช้ Stub

3.2.1.3.1 ทำการเตรียม Stub โดยนำเทปกาวคาร์บอนสองหน้าที่มีลักษณะกลม มาปิดลงบน Stub ที่เตรียมไว้

3.2.1.3.2 ลอกพลาสติกที่ปิดอยู่บนเทปกาวคาร์บอนสองหน้าออก

3.2.1.3.3 นำ Stub ที่มีเทปกาวสองหน้าติดอยู่และลอกพลาสติกออกไป แล้ว เก็บเข้ามาเป็นจากบริเวณด้านหน้าเสื้อที่ผู้ยิงสวมใส่อยู่ในขณะยิงปืน ด้วยวิธี Lifting (รชันารด

กิตติคุณ 2535 : 128) กล่าวคือ ให้ผู้ที่ทำการเก็บตัวอย่างกด Stub ด้านที่มีเทพกาวคาร์บอนสองหน้าติดอยู่ลงบนตำแหน่งบริเวณด้านหน้าของตัวเสื้อแล้วดึงขึ้น จากนั้นก็กด stub ดังกล่าวลงบนด้านหน้าเสื้อบริเวณอื่นอีกแล้วดึงขึ้น ทำซ้ำเช่นนี้ไปเรื่อยๆ จนมั่นใจว่า ได้เก็บตัวอย่างทั่วทุกบริเวณด้านหน้าของตัวเสื้อนั้นแล้ว

3.2.1.3.4 สำหรับการเก็บตัวอย่างจากบริเวณแขนเสื้อก็ทำวิธีเช่นเดียวกับข้อ 3.2.1.3

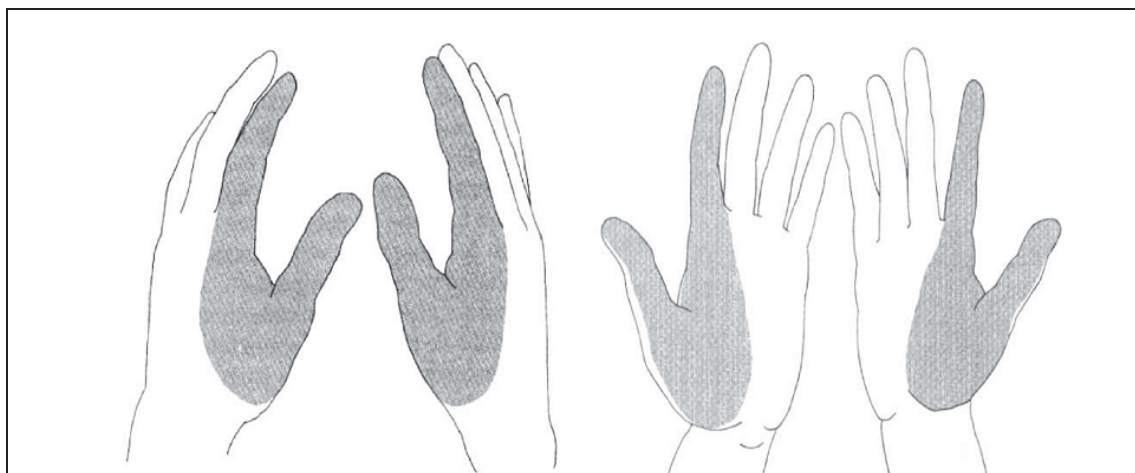
3.2.1.3.5 นำ Stub ที่เก็บอนุภาคเข้ามาป็นที่ได้จากข้อ 3.2.1.3.3 และจากข้อ 3.2.1.4 เก็บไว้ในภาชนะพลาสติกทรงกลมสำหรับเก็บ Stub โดยเฉพาะ เพื่อป้องกันการปนเปื้อนจากสิ่งต่าง ๆ โดยทำการกำหนดหมายเลขของตัวอย่าง Stub ที่เก็บอนุภาคเข้ามาป็น ณ เวลาต่างๆ ตามที่กำหนดไว้ในข้อ 3.2.1.2 พร้อมระบุแหล่งเก็บตัวอย่าง ว่ามาจากบริเวณหน้าตัวเสื้อหรือมาจากบริเวณแขนเสื้อ เพื่อรอนำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค SEM/EDS ต่อไป

3.2.2 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการเก็บตัวอย่างเข้ามาป็นบริเวณมือของผู้ยิงปืน

3.2.2.1 โดยก่อนการยิง ให้ผู้ที่ทำการยิงปืน ล้างมือให้สะอาดด้วยสบู่เหลว ส่วนอาวุธปืนให้ทำความสะอาดด้วยน้ำยาและอุปกรณ์ ตามหัวข้อ 3.1 ข้อย่อยที่ 8

3.2.2.2 ทำการยิงอาวุธปืน โดยใช้อาวุธปืนพกอัตโนมัติ ขนาด 9 มม. ยี่ห้อ Sig sauer Model. P228 และใช้กระสุนปืน Winchester รุ่น WincleanTM ขนาด 9 มม. ยิงจำนวน 1 นัด

3.2.2.3 หลังจากการยิงปืนแล้ว ให้ผู้ยิงปืนดำเนินกิจกรรมต่างๆ ตามปกติที่เคยทำ แต่จะละเว้นจากการล้าง หรือทำกิจกรรมใดๆ ที่ทำให้มือสัมผัสกับน้ำหรือเช็ดถูกับวัตถุอื่น จนกว่าจะครบตามเวลาที่กำหนด จึงทำการเก็บตัวอย่างเข้ามาป็นจากมือทั้งด้านหน้าและหลัง โดยเฉพาะบริเวณระหว่างง่ามนิ้วหัวแม่มือกับนิ้วชี้ ให้ทำการเก็บตัวอย่างทั้งมือซ้ายและมือขวา (ดังภาพที่ 70) โดยจะทำการเก็บตัวอย่างเข้ามาป็นที่เวลาหลังยิงทันที (กำหนดเป็นเวลาที่ 0 ชั่วโมง) ที่เวลาชั่วโมงที่ 1, 3 และ ชั่วโมงที่ 7 ตามลำดับ รวมทั้งหมด 4 ช่วงเวลา



ภาพที่ 70 แสดงพื้นที่บริเวณ ที่ทำการเก็บตัวอย่างอนุภาคเคมีปืนจากมือทั้ง 2 ข้าง

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.

3.2.2.4 ทำการเก็บตัวอย่างโดยใช้ Stub ที่มีเทปขาวสองหน้าติดอยู่เก็บอนุภาคเคมีปืนจากมือทั้งด้านหน้าและหลังโดยเฉพาะบริเวณระหว่างง่ามนิ้วหัวแม่มือกับนิ้วชี้ ด้วยวิธี Lifting กล่าวคือ ให้ผู้ที่ทำการเก็บตัวอย่างกด Stub ด้านที่มีเทปขาวคาร์บอนสองหน้าติดอยู่ลงบนมือ โดยเฉพาะบริเวณระหว่างง่ามนิ้วหัวแม่มือกับนิ้วชี้ จากนั้นก็กด stub ดังกล่าวลงบริเวณอื่นอีกแล้ว ดึงขึ้น ทำซ้ำเช่นนี้ไปเรื่อยๆ จนมั่นใจว่า ได้เก็บตัวอย่างทั่วทุกบริเวณตามตัวอย่างในภาพที่ 70 แล้ว และให้ทำการเก็บตัวอย่างเช่นนี้ทั้งมือซ้ายและมือขวา

3.2.2.5 นำ stub ที่เก็บอนุภาคเคมีปืนที่ได้จากข้อ 3.2.2.4 เก็บในภาชนะพลาสติกทรงกลมสำหรับเก็บ stub โดยเฉพาะ เพื่อป้องกันการปนเปื้อนจากสิ่งต่างๆ โดยระบุรายละเอียดหมายเลขของตัวอย่าง Stub ที่เก็บอนุภาคเคมีปืน ณ เวลาต่างๆตามที่กำหนดไว้ในข้อ 3.2.2.3 พร้อมระบุแหล่งเก็บตัวอย่างไว้ว่ามาจากมือ เพื่อรอนำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค SEM/EDS ต่อไป

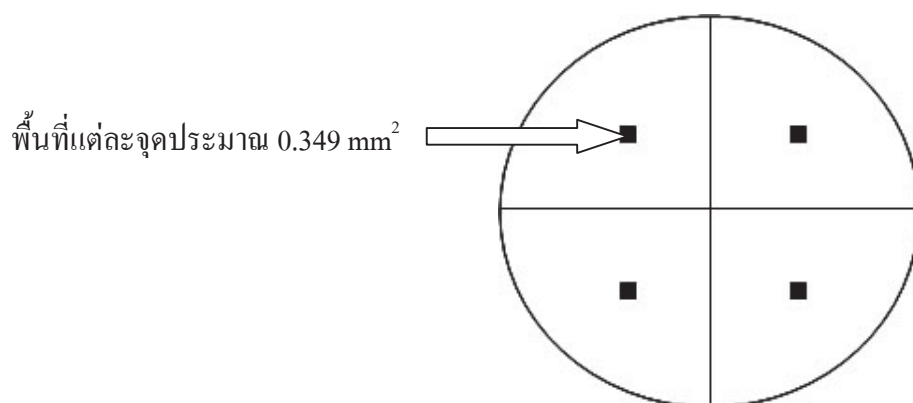
3.2.3 นำ Stub จากข้อ 3.2.1.3.5 และ จากข้อ 3.2.2.5 ทั้งหมด ที่ได้ทำการเก็บตัวอย่างมา ไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง SEM/EDS โดยไม่ต้องทำการฉาบผิวตัวอย่าง ด้วยคาร์บอนหรือทองคำก่อนการวิเคราะห์แต่อย่างใด

สภาวะของเครื่อง SEM จะใช้โหมดของ Back Scatter Image (BEI)

gun voltage	: 15-20 keV.
Magnification	: 150X
Working distance	: 30 mm
Scan speed	: S8

ขนาดของพื้นที่ที่ทำการวิเคราะห์ : $660 \times 530 \mu\text{m}$. (ประมาณ 0.349 mm^2)-

ในการวิเคราะห์ครั้งนี้เราจะถือว่าการกระจายตัวของเขม่าป็นบน stub เท่าๆกัน จึงทำการสุ่มบริเวณทั้งหมด 4 บริเวณเพื่อนำมาวิเคราะห์ โดยจะทำการแบ่งพื้นที่บนเทปคาร์บอนออกเป็น 4 ส่วน และเลือกบริเวณที่อยู่ตรงกลางของทั้ง 4 พื้นที่มาวิเคราะห์(ดังภาพที่ 3.7) โดยจะมีตำแหน่งดังนี้ (968, 014), (972, 980), (023, 975), (994, 029) และจะดูที่กำลังขยาย 150X และทำการนับจำนวนเขม่าป็นทั้งหมดในบริเวณนั้นๆ เป็นตัวแทนของเขม่าป็นทั้งหมดบน stub จากนั้นทำการจำแนกขนาดและชนิดของธาตุที่พบ



ภาพที่ 71 แสดงตำแหน่งพื้นที่ ที่วิเคราะห์บน stub 4 จุด ได้แก่ (968, 014), (972, 980), (023, 975), (994, 029) ขนาดพื้นที่แต่ละส่วนเท่ากับ $660 \times 530 \mu\text{m}$.

3.2.4 ในแต่ละตัวอย่างจะทำการทดลองซ้ำและทำการเก็บตัวอย่าง 3 ชุดตัวอย่าง โดยผู้ทดลองคนเดียวกัน และในแต่ละครั้งให้ผู้ทดลองเปลี่ยนชุดใหม่ และล้างมือให้สะอาดทุกครั้งด้วยสบู่เหลว ก่อนยิง

อนึ่งในการทดลองนี้ ผู้ทดลองได้ทดสอบแล้ว พบว่า การล้างมือด้วยสบู่เหลวจะตรวจไม่พบการปนเปื้อนแต่อย่างใด

3.2.5 ทำการบันทึกและวิเคราะห์ผลการทดลองในขั้นตอนต่อไป

บทที่ 4

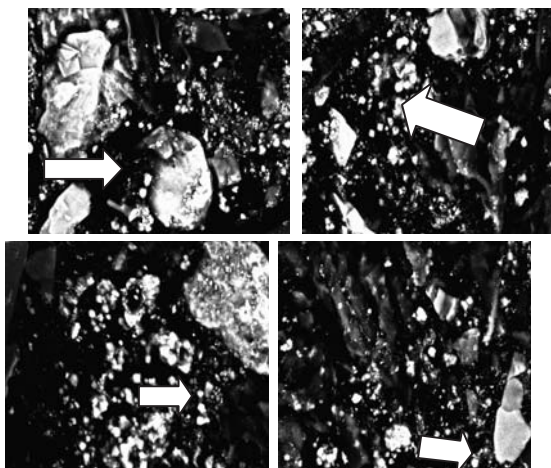
ผลการศึกษาวิจัย

ในการศึกษาวิจัยการตรวจวิเคราะห์และหาอนุภาคเข้ามาเป็นบริเวณด้านหน้าของตัวเสื้อแขนเสื้อ และจากบริเวณมือทั้งสองข้าง ด้วยวิธีใช้เครื่อง Scanning Electron Microscope และ Energy Dispersive X-ray Spectroscopy หรือรวมเรียกว่า “SEM/EDS” ผู้วิจัยได้ใช้อาวุธปืนกระบอกเดียวกันตลอดการวิจัย คือ อาวุธปืนพกอัตโนมัติกียี่ห้อ Sig sauer Model. P228 ขนาด 9 มม. และใช้กระสุนปืนยี่ห้อ Winchester Winclean™ ขนาด 9 มม. โดยในการยิงปืนทุกครั้งจะทำความสะอาด(เช็ด)ปืน หลังจากยิงแล้วด้วยอุปกรณ์และน้ำยาทำความสะอาดปืน(Birchwood casey Synthetic Gun oil และ Birchwood casey Bore Scubber – ภาพที่ 67)

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์ที่จะศึกษาถึง รูปร่าง ลักษณะเฉพาะตัว และองค์ประกอบของธาตุในอนุภาคเข้ามาปืนที่เกิดจากกระสุนปืนประเภท lead-free primer (จากตัวอย่างกระสุนปืนที่นำมาใช้ในการวิจัย) เป็นการใช้ SEM/EDS ตรวจหาธาตุ โดยมุ่งเน้นไปที่การตรวจวิเคราะห์เชิงคุณภาพ จะไม่เน้นทางด้านปริมาณของตัวธาตุที่เป็นองค์ประกอบของอนุภาคเข้ามาปืนแต่อย่างใด ซึ่งในการทดลองนี้จะเป็นการตรวจหาธาตุในอนุภาคเข้ามาปืนที่จะพบได้จากการทดลองในระบบเปิด เนื่องจากผู้วิจัยมีความต้องการจะเน้นจากเหตุการณ์ที่อาจเกิดขึ้นได้จริงโดยทั่วไปของการยิงปืน รวมไปถึงความสามารถที่จะตรวจพบอนุภาคได้ ณ เวลาที่ต่างก้นจากตัวเสื้อที่สวมใส่ขณะยิง และจากมือของผู้ยิงปืน

1. จากการวิเคราะห์ตัวอย่างอนุภาคเข้ามาปืนที่เก็บจากบริเวณด้านหน้าของตัวเสื้อด้วย SEM/EDS ภายหลังจากการยิงปืน 1 นัด โดยใช้อาวุธปืนพกอัตโนมัติ ขนาด 9 มม. กระสุนปืนขนาด 9 มม. ของ Winchester รุ่น Winclean™ และทำการเก็บตัวอย่างอนุภาคเข้ามาปืน ในช่วงระยะเวลาตามที่กำหนด คือ เก็บทันทีหลังยิง(กำหนดเป็นช่วงเวลาที่ 0 ชั่วโมง), ที่เวลาผ่านไป 1 ชั่วโมง, ที่เวลาผ่านไป 3 ชั่วโมง, ที่เวลาผ่านไป 5 ชั่วโมง และที่เวลาผ่านไป 7 ชั่วโมง รวมช่วงเวลาที่กำหนด 5 ช่วงเวลา ปรากฏผลวิเคราะห์ ดังนี้

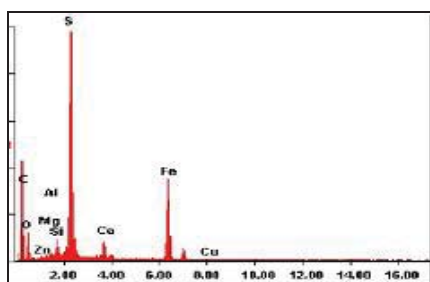
1.1 เก็บตัวอย่างทันทีหลังจากยิงปืน (กำหนดให้เป็นเวลาที่ 0 ชั่วโมง) สามารถตรวจพบอนุภาคเขม่าปืน ที่มีลักษณะค่อนข้างกลม มีความสว่างจ้า (ดังภาพที่ 72 และ ภาพที่ 73) พบอนุภาคเขม่าปืนประกอบด้วยธาตุ Al Si Mg และ S เป็นองค์ประกอบ รวมถึงพบธาตุ Zn และ Cu รวมอยู่ (ดังภาพที่ 74)



ภาพที่ 72 กลุ่มอนุภาคเขม่าปืน ที่เก็บจากด้านหน้าตัวเสื้อหลังยิงปืนทันที

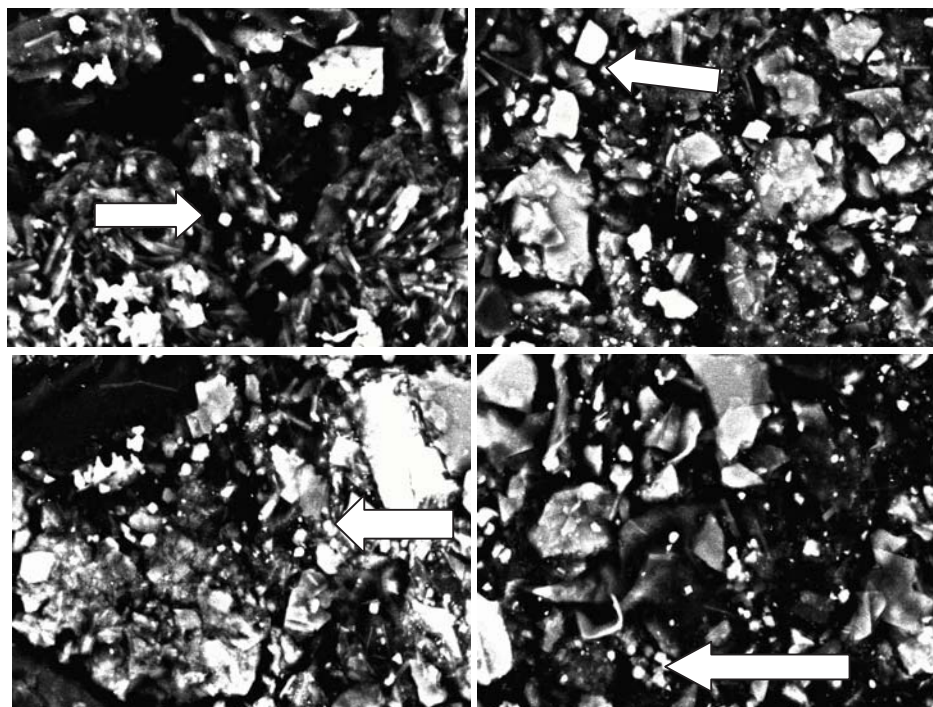


ภาพที่ 73 อนุภาคเขม่าปืนที่มีลักษณะกลม และมีความสว่างจ้า

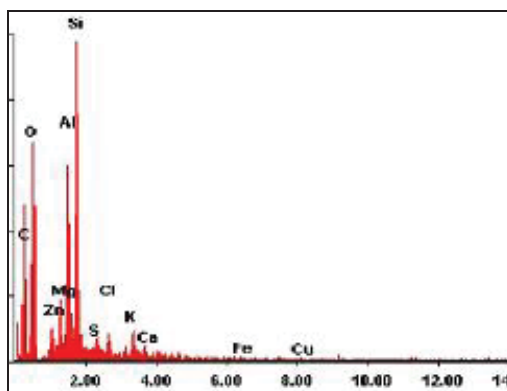


ภาพที่ 74 ภาพ Spectrum พบธาตุ Al Si Mg และ S พบธาตุ Zn และ Cu เป็นองค์ประกอบร่วม

1.2 เก็บตัวอย่างทันทีหลังจากยิงปืน ผ่านไปแล้วเป็นเวลา 1 ชั่วโมง สามารถตรวจพบอนุภาคเขม่าปืน ที่มีลักษณะค่อนข้างกลม มีความสว่างจ้า (ดังภาพที่ 75) พบอนุภาคเขม่าปืนประกอบด้วยธาตุ Al Si Mg S และ K เป็นองค์ประกอบ รวมถึงพบธาตุ Zn และ Cu รวมอยู่ด้วย (ดังภาพที่ 76)

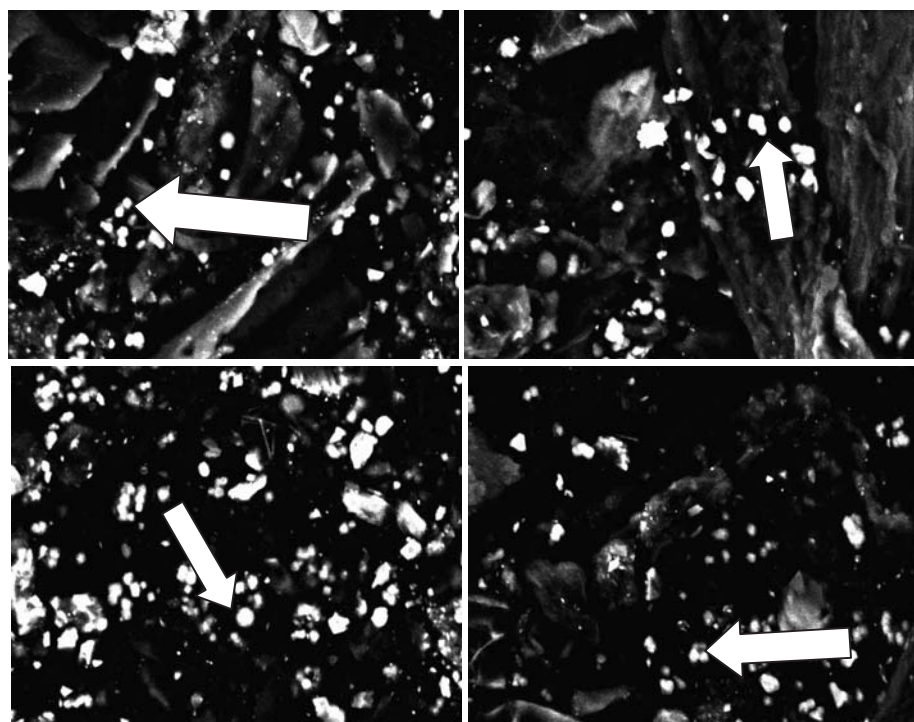


ภาพที่ 75 กลุ่มอนุภาคเขม่าปืน ที่เก็บจากด้านหน้าตัวเสื้อ

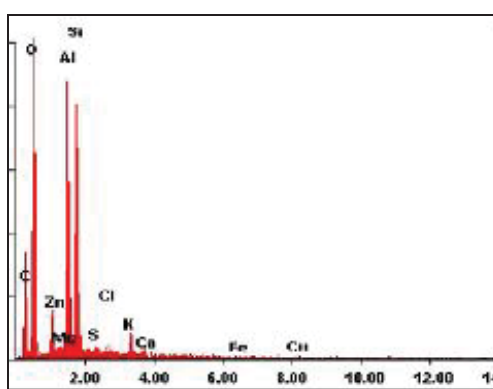


ภาพที่ 76 ภาพ Spectrum พบธาตุ Al Si Mg S และ K หลังยิงปืน 1 ชั่วโมงรวมทั้ง พบธาตุ Zn และ Cu เป็นองค์ประกอบรวมในอนุภาค

1.3 เก็บตัวอย่างทันทีหลังจากยิงผ่านไปเป็นเวลา 3 ชั่วโมง สามารถตรวจพบอนุภาคเขม่าป็น ที่มีลักษณะค่อนข้างกลม มีความสว่างจ้า (ดังภาพที่ 77) พบอนุภาคเขม่าป็น ประกอบด้วยธาตุ Al Si Mg S และ K เป็นองค์ประกอบ รวมถึงพบธาตุ Zn และ Cu รวมอยู่ในอนุภาค (ดังภาพที่ 78)

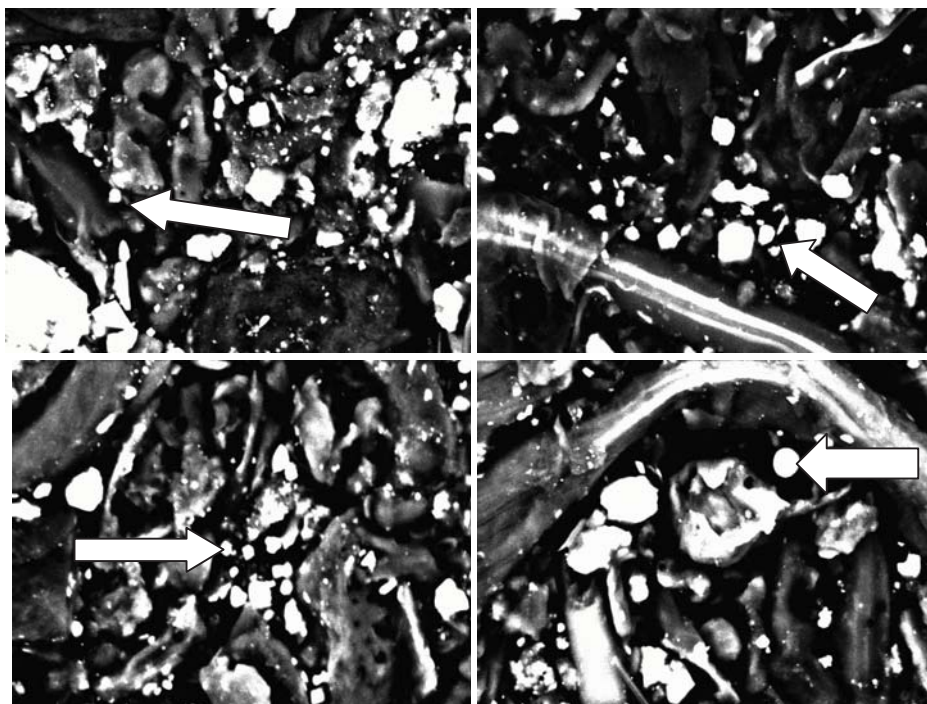


ภาพที่ 77 กลุ่มอนุภาคเขม่าป็น ที่เก็บจากด้านหน้าตัวเสื้อ หลังยิงปืน 3 ชั่วโมง

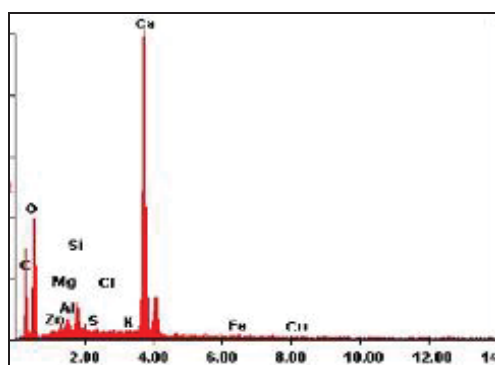


ภาพที่ 78 Spectrum พบธาตุ Al Si Mg S และ K รวมถึงพบธาตุ Zn และ Cu เป็นองค์ประกอบรวมอยู่ในอนุภาค

1.4 เก็บตัวอย่างทันทีหลังจากยิงผ่านไปแล้วเป็นเวลา 5 ชั่วโมง สามารถตรวจพบอนุภาคเขม่าป็น ที่มีลักษณะค่อนข้างกลม มีความสว่างจ้า (ดังภาพที่ 79) พบอนุภาคเขม่าป็น ประกอบด้วยธาตุ Al Si Mg S และ K เป็นองค์ประกอบ รวมถึงพบธาตุ Zn และ Cu ร่วมในอนุภาค (ดังภาพที่ 80)

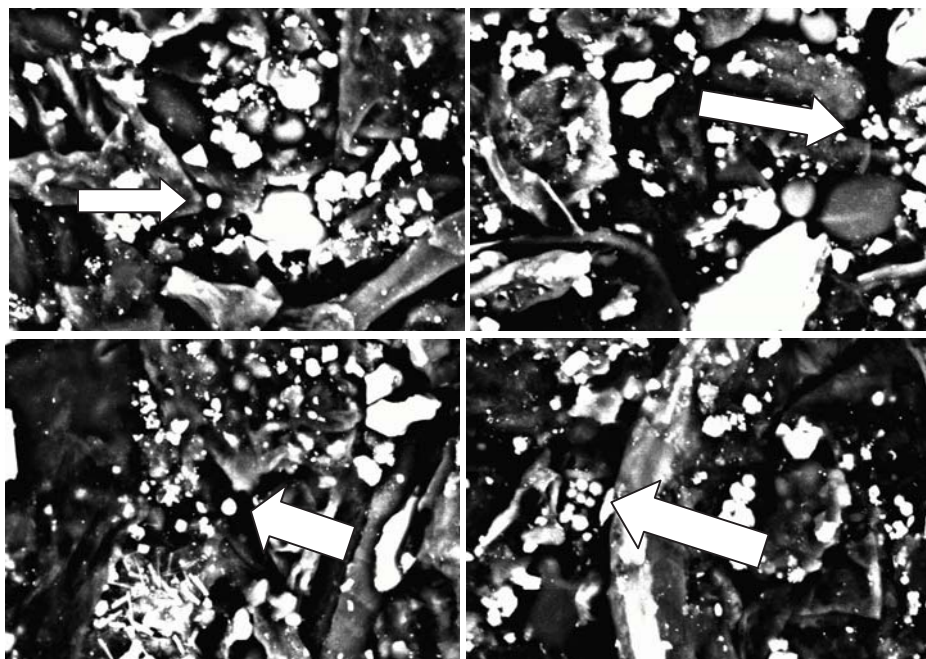


ภาพที่ 79 กลุ่มอนุภาคเขม่าป็น ที่เก็บจากด้านหน้าตัวเสื้อ หลังยิงปืน 5 ชั่วโมง

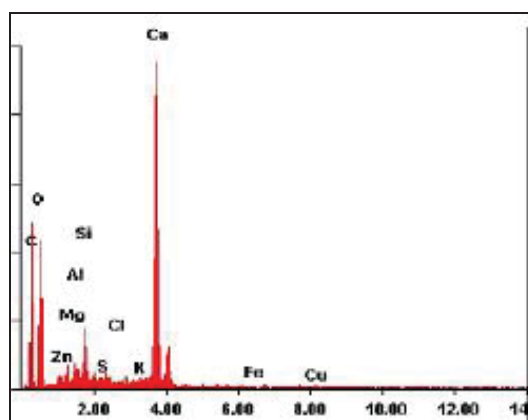


ภาพที่ 80 Spectrum พบธาตุ Al Si Mg S และ K พบธาตุ Zn และ Cu เป็นองค์ประกอบร่วมอยู่ในอนุภาค

1.5 เก็บตัวอย่างทันที หลังจากยิงปืนผ่านไปแล้วเป็นเวลา 7 ชั่วโมง สามารถตรวจพบอนุภาคเขม่าปืนที่มีลักษณะค่อนข้างกลม มีความสว่างจ้า (ดังภาพที่ 81) และพบอนุภาคเขม่าปืนประกอบด้วยธาตุ Al Si Mg S และ K เป็นองค์ประกอบ รวมถึงพบธาตุ Zn และ Cu รวมในอนุภาค (ดังภาพที่ 82)



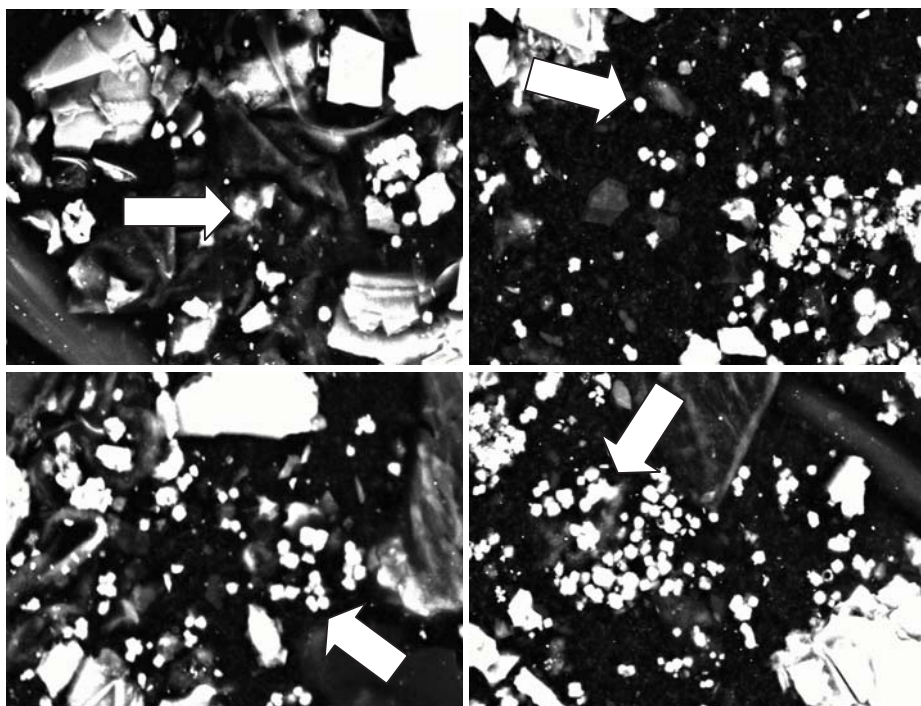
ภาพที่ 81 กลุ่มอนุภาคเขม่าปืน ที่เก็บจากด้านหน้าตัวเสื้อ หลังยิงปืน 7 ชั่วโมง



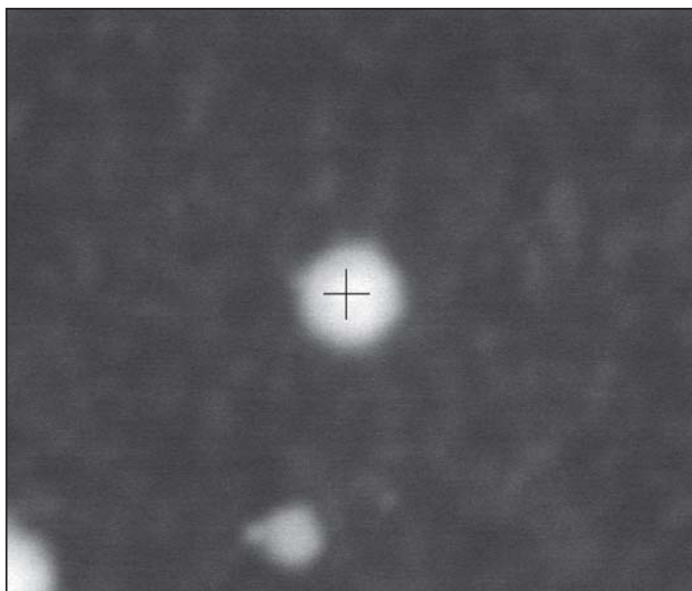
ภาพที่ 82 Spectrum พบธาตุ Al Si Mg S และ K พบธาตุ Zn และ Cu รวมอยู่

2. จากการวิเคราะห์ตัวอย่างอนุภาคเขม่าปืนที่เก็บจากบริเวณแขนเสื้อทั้งสองข้างด้วย SEM/EDS ภายหลังการยิงปืน 1 นัด โดยใช้อาวุธปืนพกอัตโนมัติ ขนาด 9 มม. กระสุนปืนขนาด 9 มม. ของ Winchester รุ่น Winclean™ และทำการเก็บตัวอย่างอนุภาคเขม่าปืน ที่ช่วงระยะเวลาตามที่กำหนด คือ เก็บทันทีหลังยิง(กำหนดเป็นช่วงเวลาที่ 0 ชั่วโมง), ที่เวลาผ่านไป 1 ชั่วโมง, ที่เวลาผ่านไป 3 ชั่วโมง, ที่เวลาผ่านไป 5 ชั่วโมง และที่เวลาผ่านไป 7 ชั่วโมง รวมช่วงเวลาที่กำหนด 5 ช่วงเวลา ปรากฏผลวิเคราะห์ ดังนี้

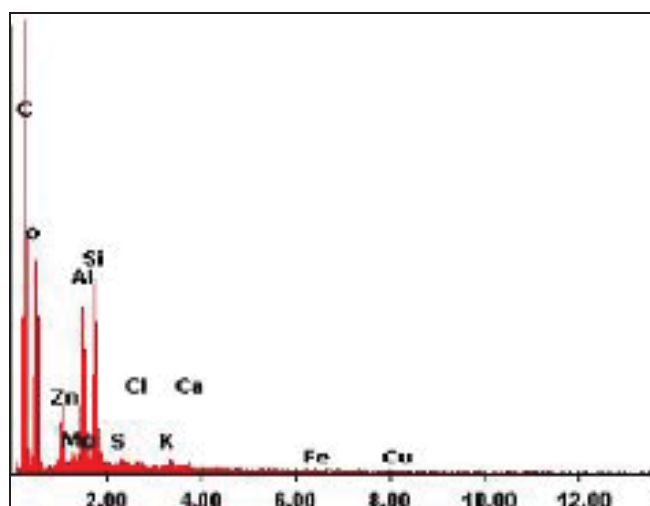
2.1 เก็บตัวอย่างทันทีหลังจากยิงปืน (กำหนดให้เป็นเวลาที่ 0 ชั่วโมง) สามารถตรวจพบอนุภาคเขม่าปืน ที่มีลักษณะค่อนข้างกลม (ดังภาพที่ 83 และ ภาพที่ 84) พบอนุภาคเขม่าปืน ประกอบด้วยธาตุ Al Si Mg S และ K เป็นองค์ประกอบ รวมถึงพบธาตุ Zn และ Cu ร่วมในอนุภาค (ดังภาพที่ 85)



ภาพที่ 83 กลุ่มอนุภาคเขม่าปืน ที่เก็บจากแขนเสื้อ หลังยิงปืนทันที

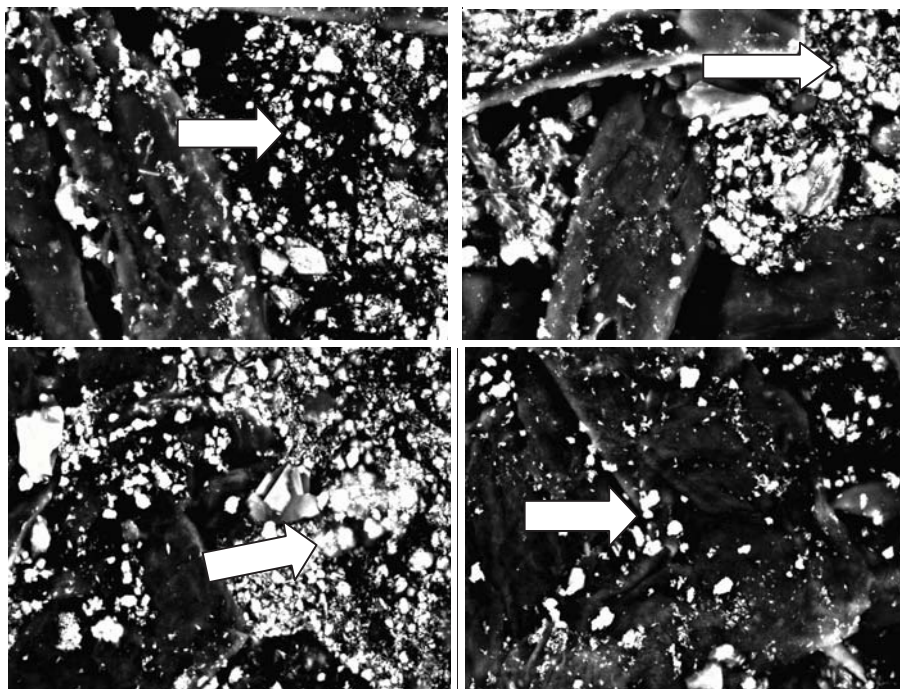


ภาพที่ 84 อนุภาคเขม่าป็นที่มีลักษณะค่อนข้างกลม

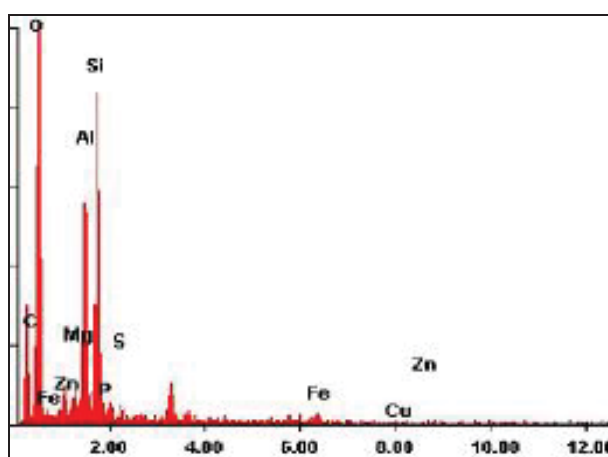


ภาพที่ 85 Spectrum พบธาตุ Al Si Mg S และ K รวมถึงพบธาตุ Zn และ Cu รวมตัวอยู่ในตัวอย่างอนุภาค

2.2 เก็บตัวอย่างทันทีหลังจากยิงปืน ผ่านไปแล้วเป็นเวลา 1 ชั่วโมง สามารถตรวจพบอนุภาคเขม่าปืน ที่มีลักษณะค่อนข้างกลม มีความสว่างจ้า (ดังภาพที่ 86) พบอนุภาคเขม่าปืนประกอบด้วยธาตุ Al Si Mg S และ K เป็นองค์ประกอบ รวมถึงพบธาตุ Zn และ Cu รวมในอนุภาค (ดังภาพที่ 87)

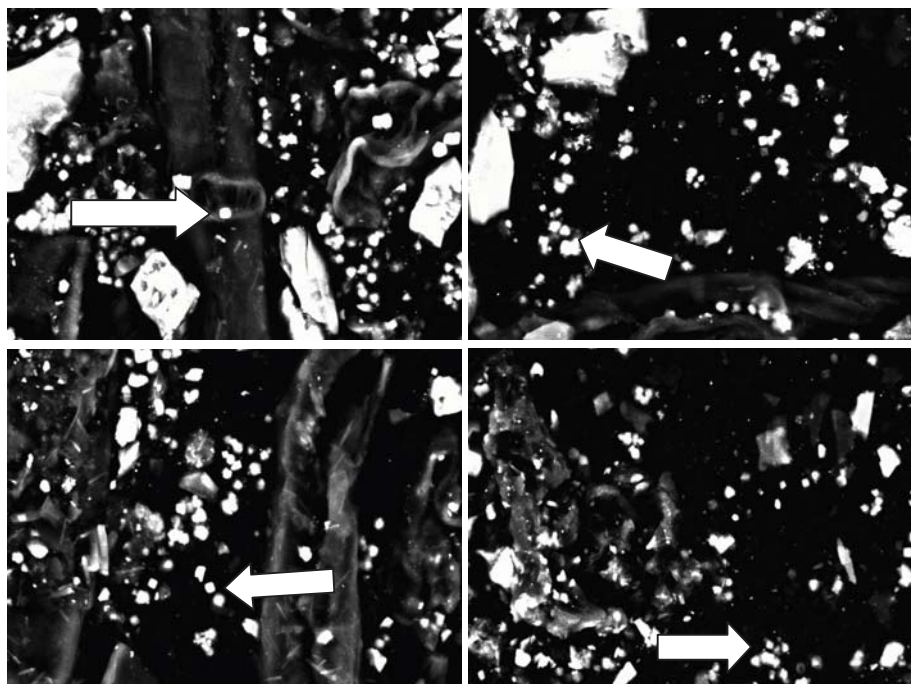


ภาพที่ 86 กลุ่มอนุภาคเขม่าปืน ที่เก็บจากแขนเสื้อ หลังการยิงปืนผ่านไปแล้ว 1 ชั่วโมง

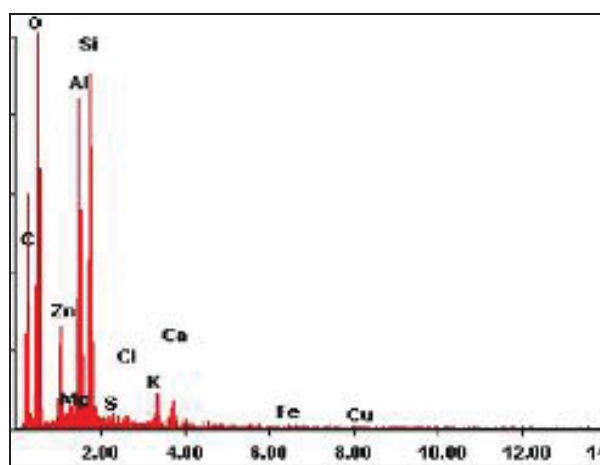


ภาพที่ 87 Spectrum พบธาตุ Al Si Mg S และ K รวมถึงพบธาตุ Zn และ Cu รวมตัวอยู่ในอนุภาค

2.3 เก็บตัวอย่างทันทีหลังจากยิงปืน ผ่านไปแล้วเป็นเวลา 3 ชั่วโมง สามารถตรวจพบอนุภาคเขม่าปืน ที่มีลักษณะค่อนข้างกลม มีความสว่างจ้า (ดังภาพที่ 88) พบอนุภาคเขม่าปืนประกอบด้วยธาตุ Al Si Mg S และ K เป็นองค์ประกอบ รวมถึงพบธาตุ Zn และ Cu รวมอยู่ด้วย (ดังภาพที่ 89)

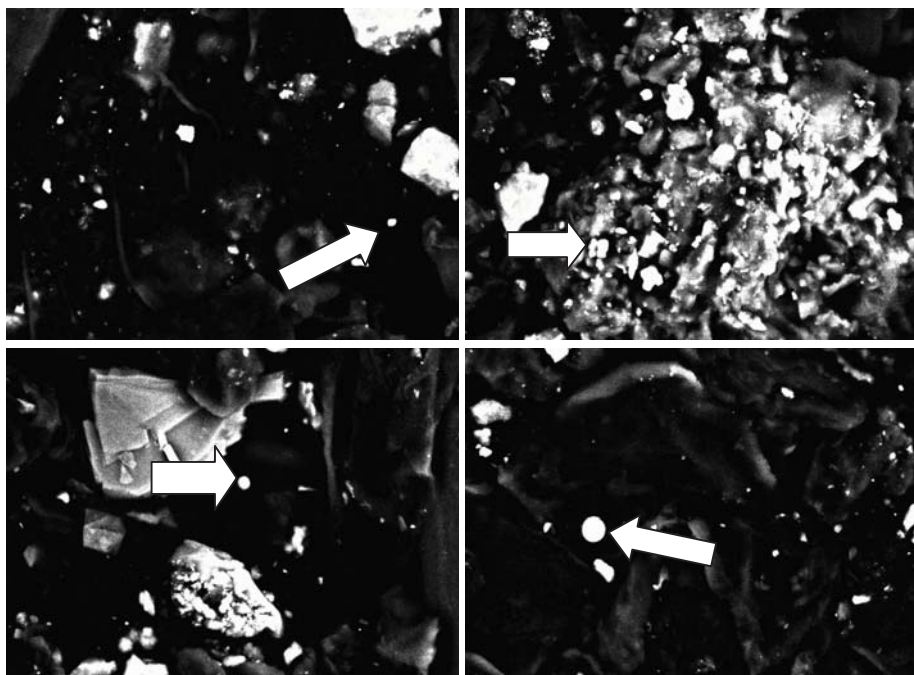


ภาพที่ 88 กลุ่มอนุภาคเขม่าปืน ที่เก็บจากแขนเสื้อ หลังการยิงปืนผ่านไป 3 ชั่วโมง

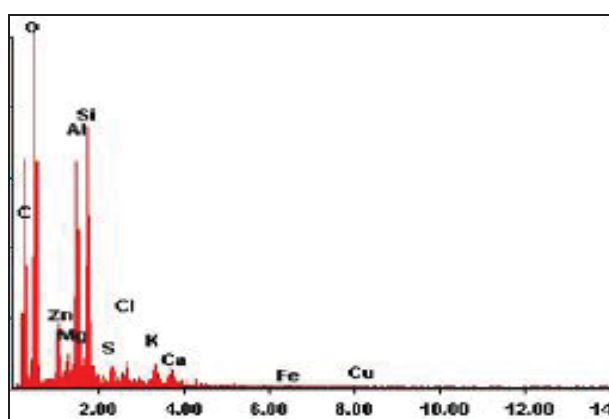


ภาพที่ 89 Spectrum พบธาตุ Al Si Mg S และ K รวมถึงพบธาตุ Zn และ Cu รวมอยู่ด้วยในอนุภาค

2.4 เก็บตัวอย่างทันทีหลังจากยิงปืน ผ่านไปแล้วเป็นเวลา 5 ชั่วโมง สามารถตรวจพบอนุภาคเขม่าปืน ที่มีลักษณะค่อนข้างกลม มีความสว่างจ้า (ดังภาพที่ 90) พบอนุภาคเขม่าปืนประกอบด้วยธาตุ Al Si Mg S และ K เป็นองค์ประกอบ รวมถึงพบธาตุ Zn และ Cu รวมอยู่ด้วย (ดังภาพที่ 91)

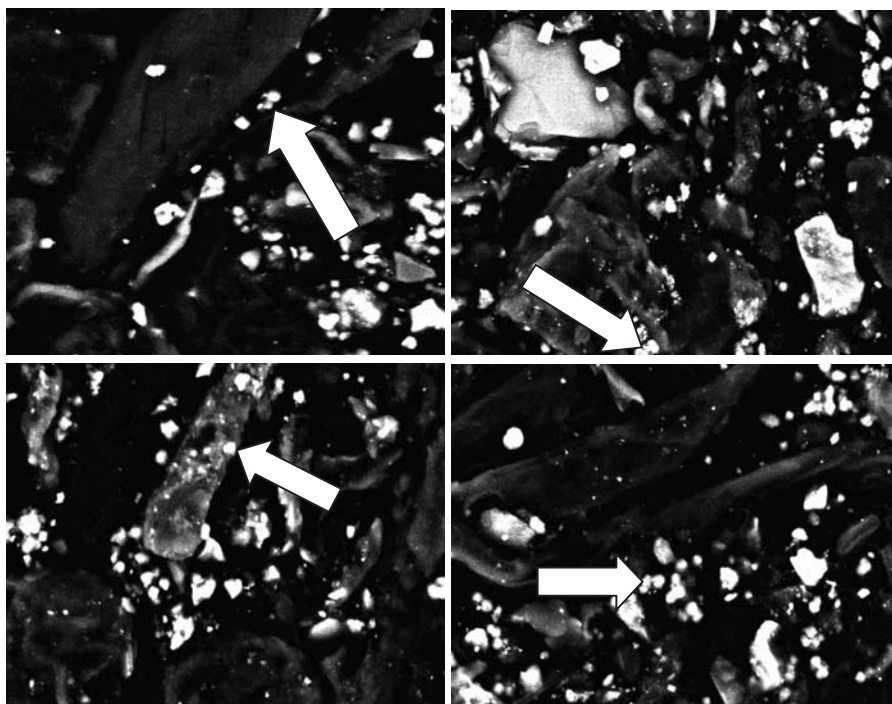


ภาพที่ 90 กลุ่มอนุภาคเขม่าปืน ที่เก็บจากแขนเสื้อ หลังการยิงปืนผ่านไป 5 ชั่วโมง

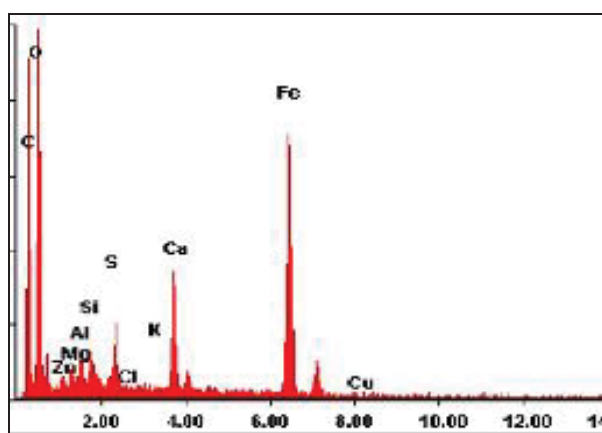


ภาพที่ 91 Spectrum พบธาตุ Al Si Mg S และ K รวมถึงพบธาตุ Zn และ Cu รวมตัวอยู่ด้วยในตัวอย่างอนุภาค

2.5 เก็บตัวอย่างทันทีหลังจากยิงปืน ผ่านไปแล้วเป็นเวลา 7 ชั่วโมง สามารถตรวจพบอนุภาคเขม่าปืน ที่มีลักษณะค่อนข้างกลม มีความสว่างจ้า (ดังภาพที่ 92) พบอนุภาคเขม่าปืนประกอบด้วยธาตุ Al Si Mg S และ K เป็นองค์ประกอบ รวมถึงพบธาตุ Zn และ Cu รวมอยู่ด้วย (ดังภาพที่ 93)



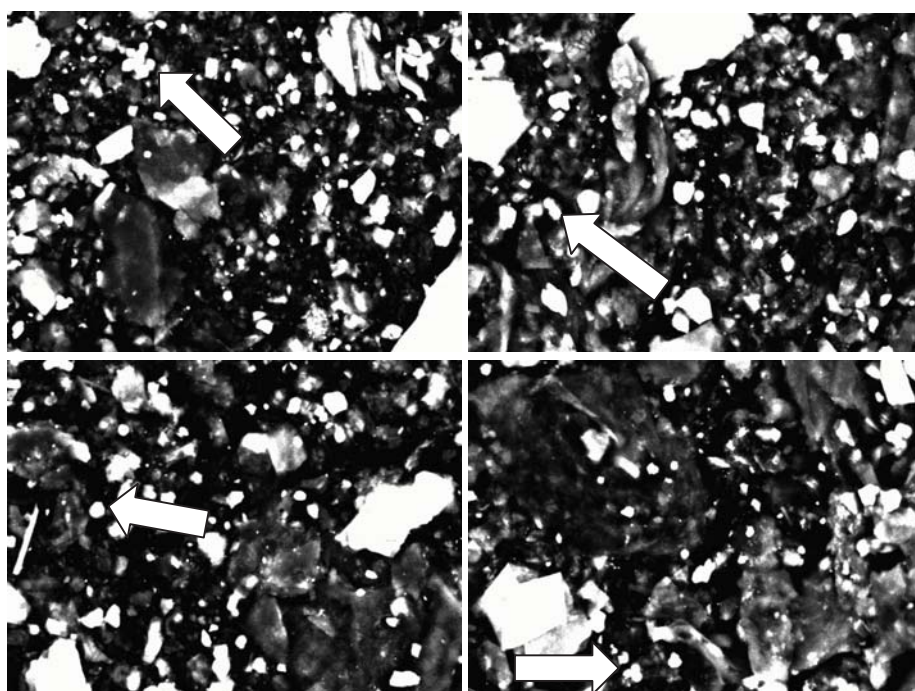
ภาพที่ 92 กลุ่มอนุภาคเขม่าปืน ที่เก็บจากแขนเสื้อ หลังการยิงปืนผ่านไป 7 ชั่วโมง



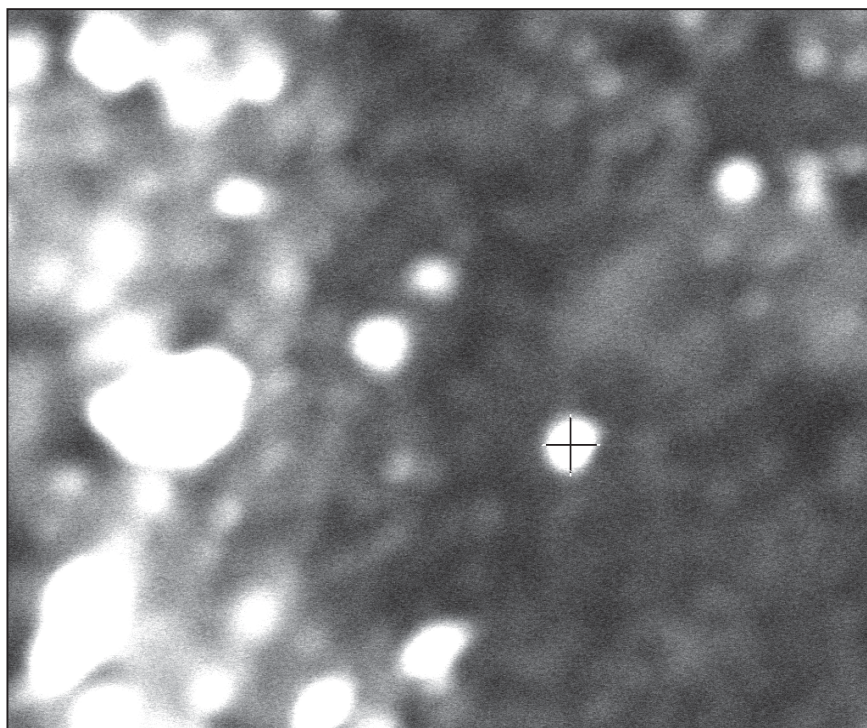
ภาพที่ 93 Spectrum พบธาตุ Al Si Mg S และ K รวมถึงพบธาตุ Zn และ Cu รวมตัวอยู่ในอนุภาค

3. จากการวิเคราะห์ตัวอย่างอนุภาคเขม่าป็นที่เก็บจากบริเวณมือทั้งสองข้าง(โดยเฉพาะบริเวณระหว่างง่ามนิ้วหัวแม่มือกับนิ้วชี้) ด้วย SEM/EDS ภายหลังจากยิงปืน 1 นัด โดยใช้อาวุธปืนพกอัตโนมัติ ขนาด 9 มม. กระสุนปืนขนาด 9 มม. ของ Winchester รุ่น Winclean™ และทำการเก็บตัวอย่างอนุภาคเขม่าป็น ที่ช่วงระยะเวลาตามที่กำหนดคือ เก็บทันทีหลังยิง(กำหนดเป็นช่วงเวลาที่ 0 ชั่วโมง), ที่เวลาผ่านไป 1 ชั่วโมง, ที่เวลาผ่านไป 3 ชั่วโมง และที่เวลาผ่านไป 7 ชั่วโมง รวมช่วงเวลาที่กำหนด 4 ช่วงเวลา ปรากฏผลวิเคราะห์ ดังนี้

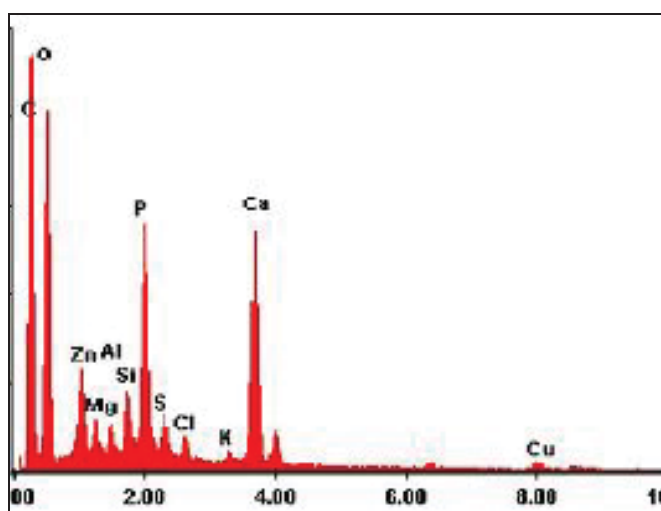
3.1 เก็บตัวอย่างทันทีหลังจากยิงปืน (กำหนดให้เป็นเวลาที่ 0 ชั่วโมง) สามารถตรวจพบอนุภาคเขม่าป็น ที่มีลักษณะค่อนข้างกลม มีความสว่างจ้า (ดังภาพที่ 94 และ ภาพที่ 95) เมื่อวิเคราะห์ในภาพรวม พบอนุภาคเขม่าป็นประกอบด้วยธาตุ Al Si Mg S และ K เป็นองค์ประกอบ รวมถึงพบธาตุ Zn และ Cu รวมอยู่ด้วย (ดังภาพที่ 96)



ภาพที่ 94 กลุ่มอนุภาคเขม่าป็น ที่เก็บจากมือ ทันทีหลังการยิงปืน

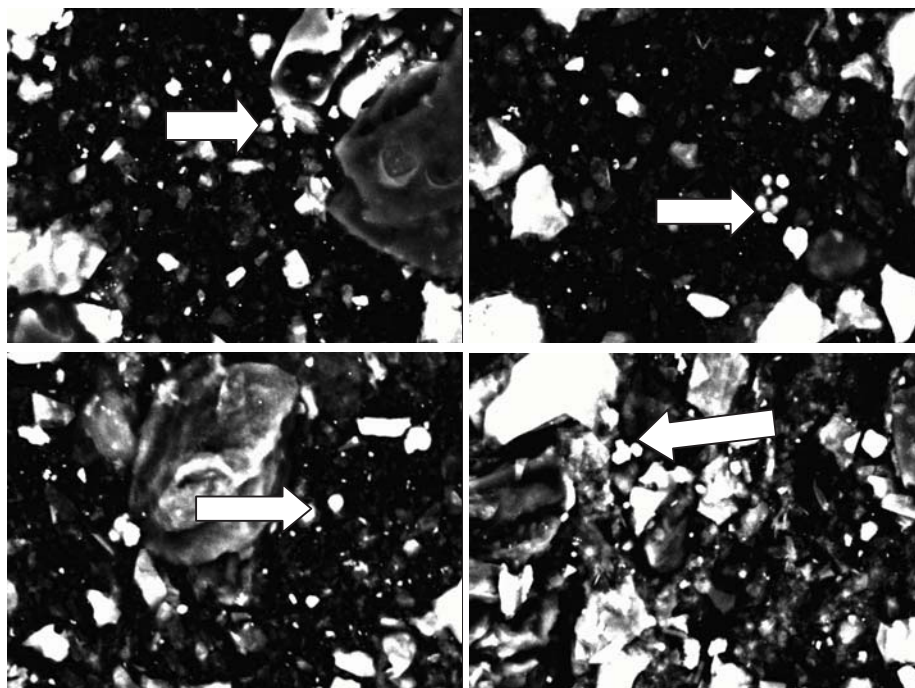


ภาพที่ 95 อนุภาคเขม่าป็นที่มีลักษณะค่อนข้างกลม และมีความสว่างจ้าปรากฏ

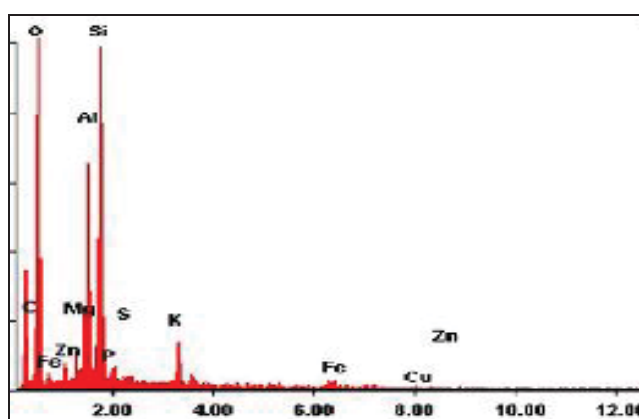


ภาพที่ 96 Spectrum พบธาตุ Al Si Mg S และ K รวมถึงพบธาตุ Zn และ Cu เป็นองค์ประกอบรวมตัวอยู่ในตัวอย่างอนุภาค

3.2 เก็บตัวอย่างทันทีหลังจากยิงปืน ผ่านไปแล้วเป็นเวลา 1 ชั่วโมง สามารถตรวจพบอนุภาคเขม่าปืน ที่มีลักษณะค่อนข้างกลม มีความสว่างจ้า (ดังภาพที่ 97) เมื่อวิเคราะห์ในภาพรวมพบอนุภาคเขม่าปืนประกอบด้วยธาตุ Al Si Mg S และ K เป็นองค์ประกอบ รวมถึงพบธาตุ Zn และ Cu รวมอยู่ด้วย (ดังภาพที่ 98)

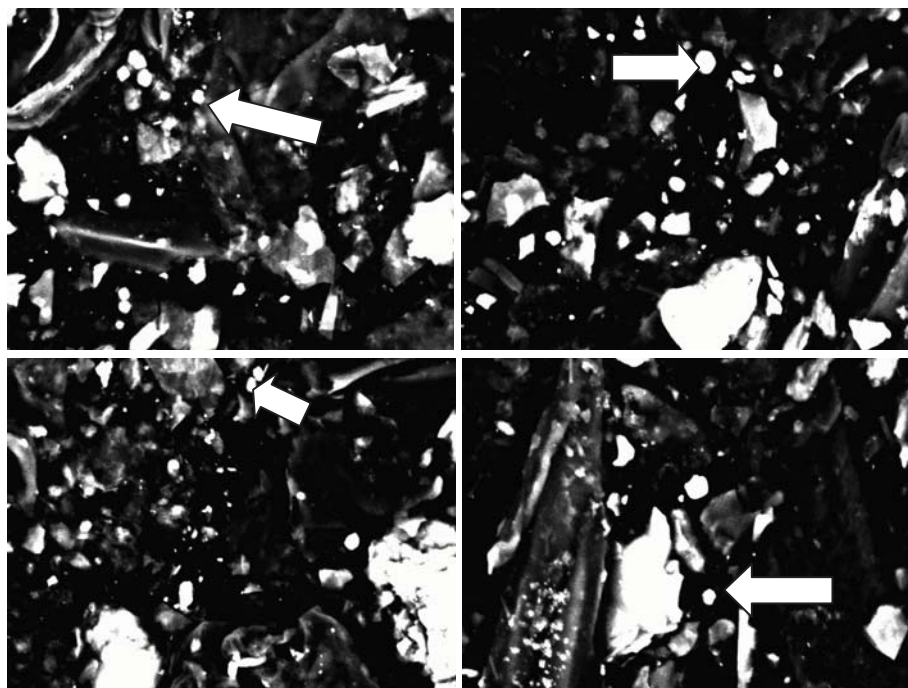


ภาพที่ 97 กลุ่มอนุภาคเขม่าปืน ที่เก็บจากมือ หลังการยิงปืนผ่านไปแล้ว 1 ชั่วโมง

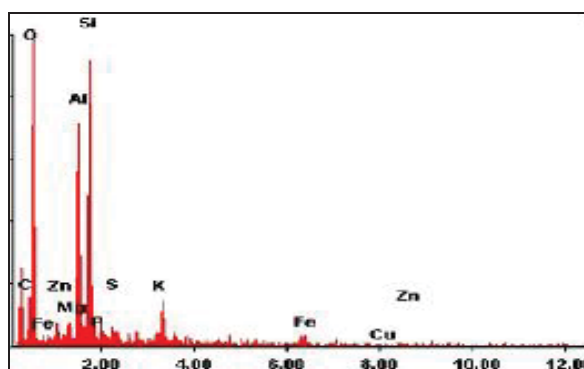


ภาพที่ 98 Spectrum พบธาตุ Al Si Mg S และ K รวมถึงพบธาตุ Zn และ Cu เป็นองค์ประกอบรวมตัวอยู่ในอนุภาค

3.3 เก็บตัวอย่างทันทีหลังจากยิงปืน ผ่านไปแล้วเป็นเวลา 3 ชั่วโมง สามารถตรวจพบอนุภาคเขม่าปืน ที่มีลักษณะค่อนข้างกลม มีความสว่างจ้า (ดังภาพที่ 99) เมื่อวิเคราะห์ในภาพรวมพบว่าอนุภาคเขม่าปืนประกอบด้วยธาตุ Al Si Mg S และ K เป็นองค์ประกอบ รวมถึงพบธาตุ Zn และ Cu รวมอยู่ด้วย (ดังภาพที่ 100)

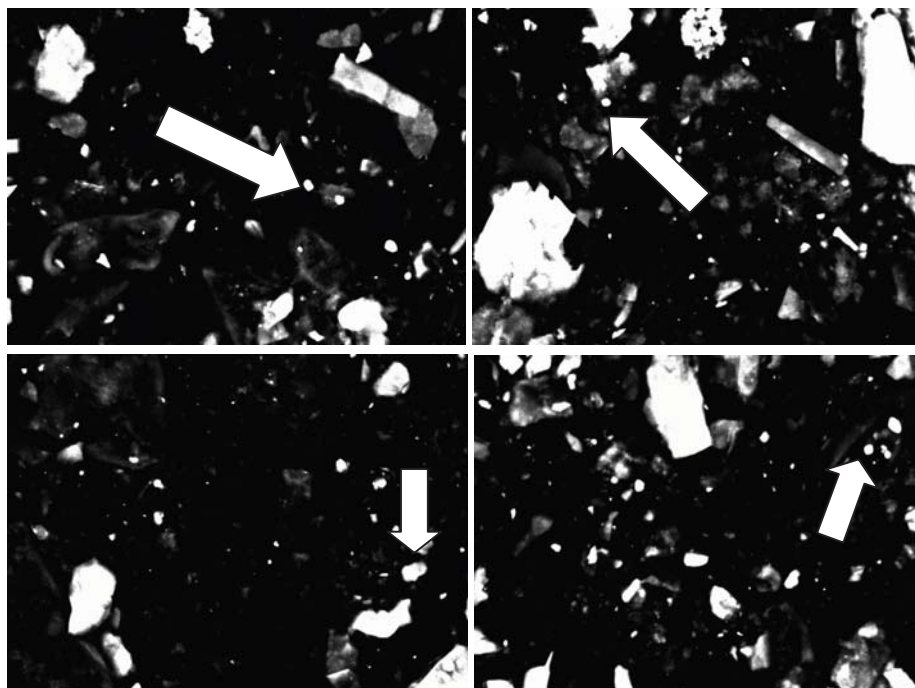


ภาพที่ 99 กลุ่มอนุภาคเขม่าปืน ที่เก็บจากมือ หลังการยิงปืนผ่านไปแล้ว 3 ชั่วโมง

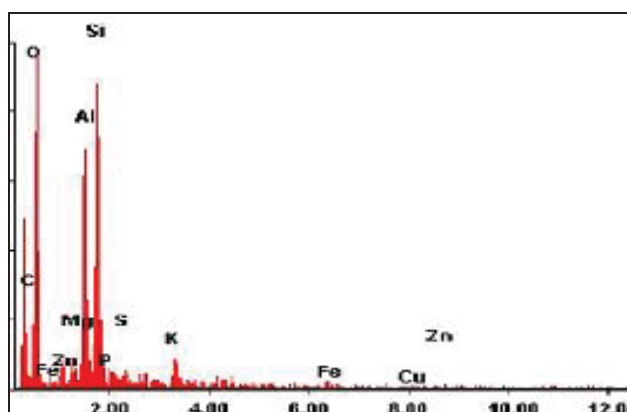


ภาพที่ 100 Spectrum พบธาตุ Al Si Mg S และ K รวมถึงพบธาตุ Zn และ Cu รวมตัวเป็นองค์ประกอบของธาตุในอนุภาค

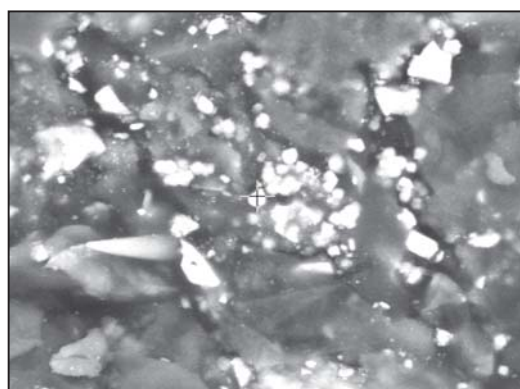
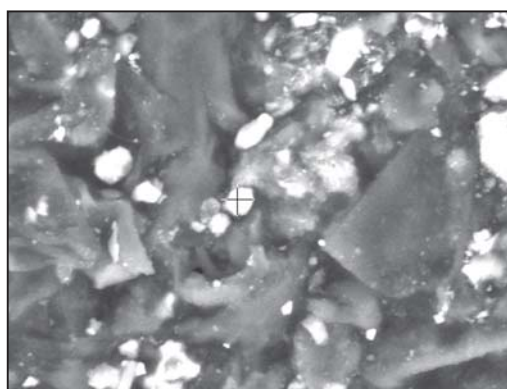
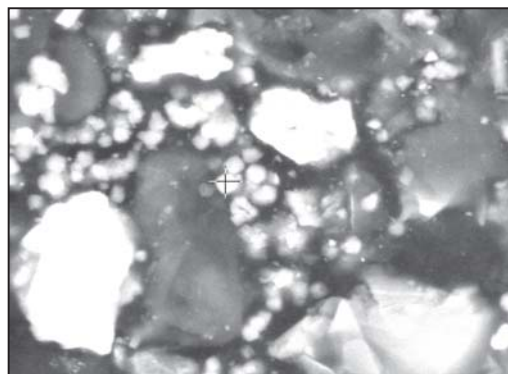
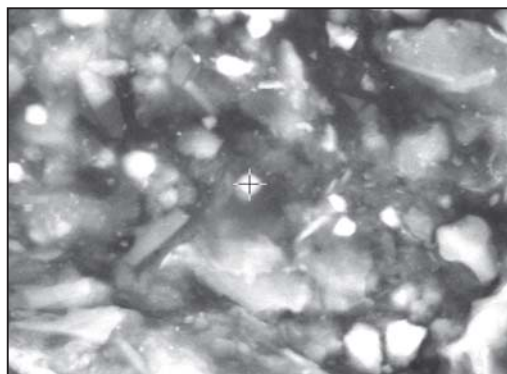
3.4 เก็บตัวอย่างทันทีหลังจากยิงปืน ผ่านไปแล้วเป็นเวลา 7 ชั่วโมง สามารถตรวจพบอนุภาคเขม่าปืน ที่มีลักษณะค่อนข้างกลม มีความสว่างจ้า (ดังภาพที่ 101) เมื่อวิเคราะห์ในภาพรวมพบว่าอนุภาคเขม่าปืนประกอบด้วยธาตุ Al Si Mg S และ K เป็นองค์ประกอบ รวมถึงพบธาตุ Zn และ Cu รวมอยู่ด้วย (ดังภาพที่ 102)



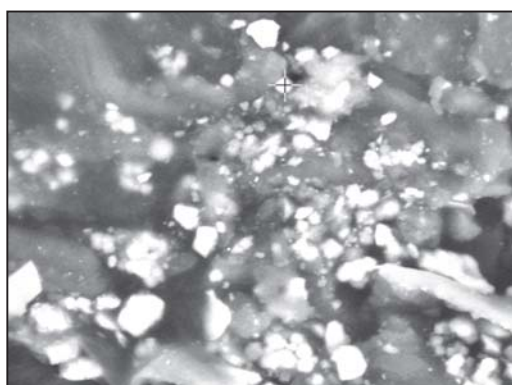
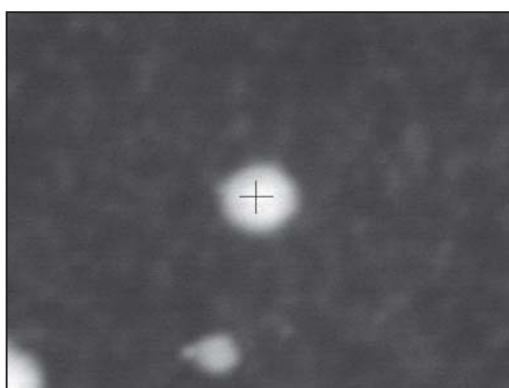
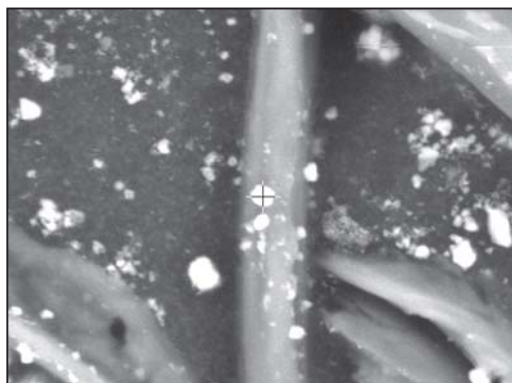
ภาพที่ 101 กลุ่มอนุภาคเขม่าปืน ที่เก็บจากมือ หลังการยิงปืนผ่านไปแล้ว 7 ชั่วโมง



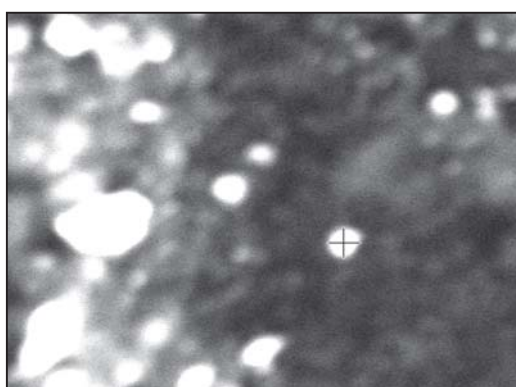
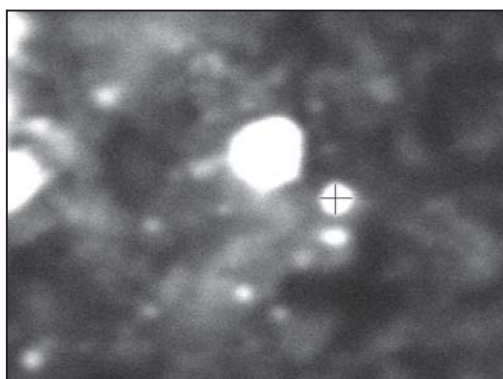
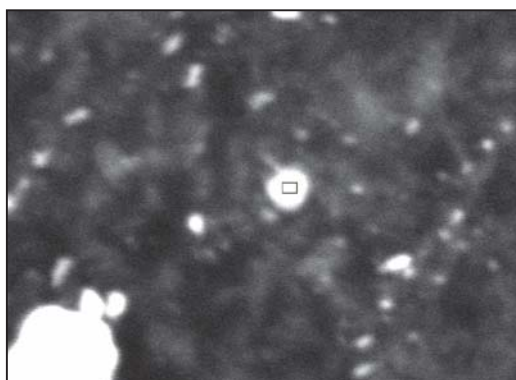
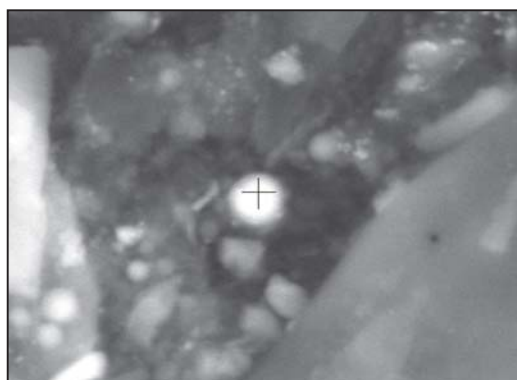
ภาพที่ 102 Spectrum พบธาตุ Al Si Mg S และ K รวมถึงพบธาตุ Zn และ Cu รวมตัวเป็นองค์ประกอบอยู่ในตัวอย่างอนุภาค



ภาพที่ 103 ภาพแสดงกลุ่มของอนุภาคเขม่าป็น ที่เก็บตัวอย่างมาจากบริเวณ ด้านหน้าของตัวเสื้อ ซึ่งอนุภาคมีลักษณะค่อนข้างกลม และเมื่อตรวจโดย BSE.(ภาพกลาง) จะมีความสว่างจ้าปรากฏให้เห็น



ภาพที่ 104 ภาพแสดงลักษณะของอนุภาค และกลุ่มของอนุภาคเขม่าป็น ที่เก็บตัวอย่างมาจากบริเวณ
 แขนเสื้อ ซึ่งอนุภาคมีลักษณะค่อนข้างกลม

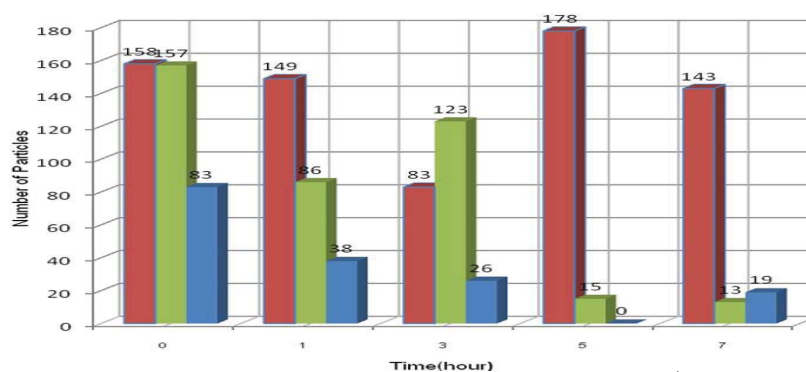


ภาพที่ 105 ภาพแสดงลักษณะของอนุภาคเขม่าป็น ที่เก็บตัวอย่างมาจากมือทั้งสองข้าง (โดยเฉพาะบริเวณระหว่างง่ามนิ้วหัวแม่มือกับนิ้วชี้) ซึ่งอนุภาคจะมีลักษณะค่อนข้างกลม และเมื่อตรวจโดย BSE. จะมีความสว่างจ้าปรากฏให้เห็น

จากผลการทดลองเก็บตัวอย่างอนุภาคทั้ง 3 ที่ คือ จากด้านหน้าตัวเสื้อ แขนเสื้อ และที่บริเวณมือของผู้ยิงปืน โดยกำหนดช่วงระยะเวลาการเก็บตัวอย่างไว้ดังกล่าว เมื่อนำมาตรวจด้วย SEM/EDS พบว่าอนุภาคเขม่าปืนจะมีลักษณะค่อนข้างกลม เมื่อใช้ BSE. จะพบว่าอนุภาคมีความสว่างจ้า และตรวจด้วย EDS พบว่าอนุภาคเขม่าปืน มีองค์ประกอบด้วยธาตุหลักๆ คือ Al Si Mg S และ K และจะมีธาตุ Cu กับ Zn รวมตัวอยู่ในอนุภาคด้วย เมื่อทำการนับเพื่อหาค่าเฉลี่ยของจำนวนอนุภาคที่พบในแต่ละช่วงเวลา จากแต่ละที่ที่เก็บตัวอย่าง สามารถเปรียบเทียบได้ดังที่แสดงไว้ในตารางด้านล่าง (ตารางที่ 4) และแผนภูมิที่แสดงไว้ในภาพที่ 106

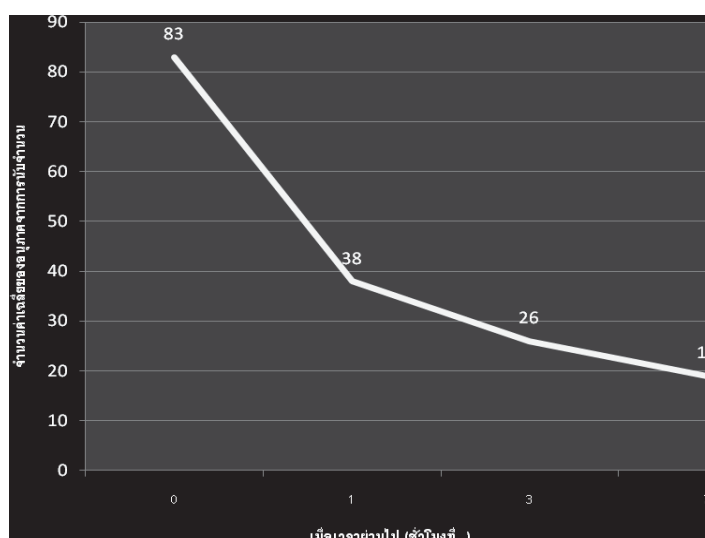
Time (hr.)	The mean values of GSR. Particle		
	Front of the shirt	Sleeve	Hand
after shoot (0)	158	157	83
1	149	86	38
3	83	123	26
5	178	15	—
7	143	13	19

ตารางที่ 4 ตารางแสดงค่าเฉลี่ยการนับอนุภาคเขม่าปืนที่ด้านหน้าตัวเสื้อ แขนเสื้อ และที่มือ ณ เวลาที่กำหนด

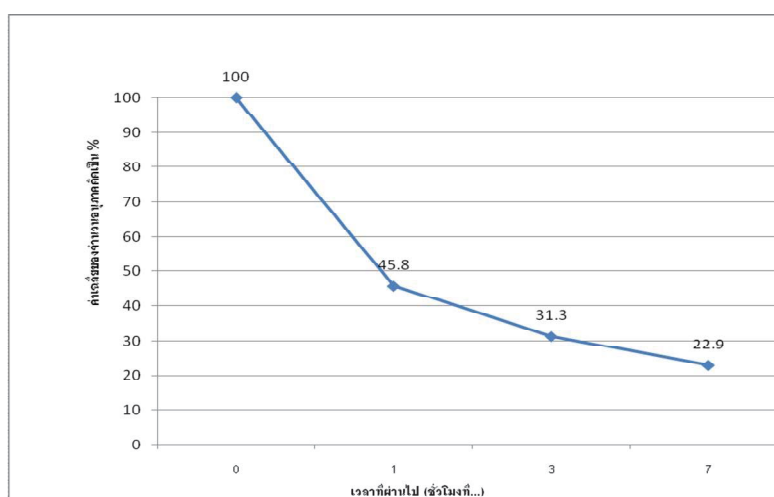


ภาพที่ 106 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนอนุภาคเขม่าปืนบนตัวเสื้อ(สีแดง), แขนเสื้อ (สีเขียว) และจากบริเวณมือ(สีฟ้า) กับช่วงเวลาที่กำหนดสำหรับการเก็บตัวอย่าง
หมายเหตุ: การเก็บตัวอย่างอนุภาคจากมือ ทำใน 4 ช่วงเวลา คือ ชั่วโมงที่ หลังจากยิงปืนทันที (0), 1, 3 และชั่วโมงที่ 7

เมื่อเปรียบเทียบจำนวนค่าเฉลี่ยของอนุภาคเขม่าป็น ที่สามารถตรวจพบเมื่อเวลาผ่านไป ในช่วงเวลาหลังจากยิง ที่ศูนย์ชั่วโมง ที่หนึ่งชั่วโมง ที่สามชั่วโมง ที่ห้าชั่วโมง และที่เจ็ดชั่วโมง จะพบว่า จำนวนค่าเฉลี่ยของอนุภาคที่เก็บตัวอย่างจากมือจะลดจำนวนลงอย่างรวดเร็วหลังจาก สามชั่วโมงผ่านไป (ดังภาพที่ 107) ส่วนที่ตัวเสื่อยังปรากฏอยู่ในปริมาณที่มีค่าเฉลี่ยมากกว่าจุดอื่น ที่ทำการเก็บตัวอย่าง (ดังภาพที่ 106)



ภาพที่ 107 แสดงค่าเฉลี่ยอนุภาคเขม่าป็นที่พบได้จากมือเมื่อเวลาผ่านไป 0, 1, 3 และ 7 ชั่วโมง



ภาพที่ 108 แสดงค่าเฉลี่ยเป็นเปอร์เซ็นต์ที่ตรวจพบอนุภาคเขม่าป็นจากมือเมื่อเวลาผ่านไป 0, 1, 3 และ 7 ชั่วโมง

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษาวิจัย

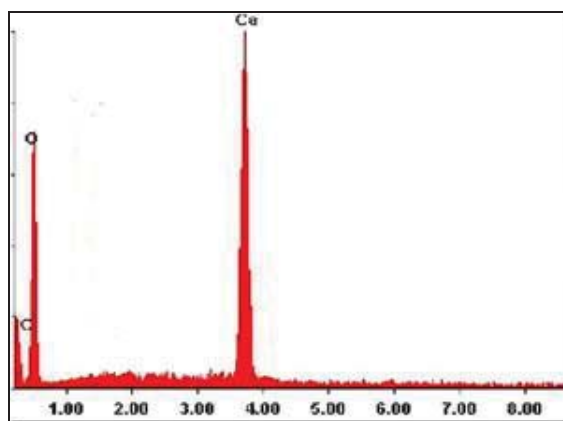
เขม่าปืน (Gunshot Residue, GSR) จัดเป็นวัตถุพยานประเภทหนึ่งที่มีความสำคัญในการสืบสวน สอบสวน และการพิสูจน์เพื่อใช้เป็นหลักฐานในคดี ผลที่ได้จากการตรวจวิเคราะห์เขม่าปืนจะช่วยเชื่อมโยงและคลี่คลายคดีที่มีการเกี่ยวข้องกับการใช้อาวุธปืน ไม่ว่าจะเป็นคดีฆาตกรรม คดีอื้อฉาววินาศกรรม (ฆ่าตัวตาย) หรือในคดีเกิดจากอุบัติเหตุที่เกี่ยวข้องกับอาวุธปืน เป็นต้น

การตรวจเพื่อวิเคราะห์และหาอนุภาคเขม่าปืนด้วยเครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ โดยเฉพาะการใช้เครื่องมือและวิธีซึ่งให้ผลที่มีความน่าเชื่อถือ แม่นยำ ให้ผลการตรวจที่รวดเร็ว ย่อมเกิดผลดีต่อการสืบสวน สอบสวน สามารถคลี่คลายคดีให้ลุล่วงไปได้ และเป็นผลให้การดำเนินการทางกระบวนการยุติธรรมเป็นไปอย่างมีระบบ ให้ประโยชน์ทั้งกับพนักงานสอบสวน หรือใช้เป็นข้อพิสูจน์ความผิด-ความบริสุทธิ์ของผู้ถูกกล่าวหาได้

การตรวจวิเคราะห์อนุภาคเขม่าปืนมีอยู่หลายเทคนิคและหลายวิธีการตรวจ ในปัจจุบันการใช้เครื่องมือ SEM/EDS จัดว่าเป็นวิธีการตรวจวิเคราะห์เขม่าปืนที่ได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางในระดับสากล เนื่องจากเป็นวิธีการตรวจที่ให้ผลการตรวจวิเคราะห์ที่มีความถูกต้องและแม่นยำสูง ทั้งนี้เป็นผลมาจาก การตรวจโดยใช้ SEM/EDS จะทำให้สามารถเห็นรูปร่างลักษณะและทราบขนาดของอนุภาคเขม่าปืน รวมทั้งสามารถวิเคราะห์หาธาตุสำคัญอันเป็นองค์ประกอบในอนุภาคเขม่าปืนได้ในเวลาเดียวกัน อย่างไรก็ตามการตรวจด้วยวิธีนี้ ผู้ตรวจพิสูจน์จะต้องมีความชำนาญ และเชี่ยวชาญพอสมควร สามารถแยกลักษณะ รูปร่าง เพื่อจะตัดสินได้ว่า อนุภาคที่เห็นเป็นอนุภาคเขม่าปืน หรือเป็นอนุภาคที่ปนเปื้อนมาจากสิ่งแวดล้อม ซึ่งทำให้ไม่ต้องไปวิเคราะห์ธาตุในอนุภาคโดย EDS. ในทุกๆอนุภาคที่พบ อันจะทำให้เสียเวลาและค่าใช้จ่ายอย่างไม่ควรจะเป็น

การศึกษาอนุภาคเขม่าปืนพบว่าอนุภาคเขม่าปืนที่เกิดจากการยิงด้วยกระสุนปืนชนิด lead-free primer โดยเฉพาะกระสุนที่ได้นำมาเป็นตัวอย่างการวิจัยนี้คือกระสุนปืนยี่ห้อ Winchester Winclean™ ขนาด 9 มม.(มิลลิเมตร) จะมีรูปแบบองค์ประกอบของธาตุในอนุภาคเขม่าปืน ประกอบไปด้วย ธาตุ Al (อลูมิเนียม) Si (ซิลิกอน) K (โพแทสเซียม) S (ซัลเฟอร์) Mg (แมกนีเซียม) และพบธาตุ Zn (สังกะสี) พร้อมกับธาตุ Cu (ทองแดง) ปนอยู่ในปริมาณเล็กน้อยด้วย โดยมีข้อสังเกตว่าธาตุ Zn กับ ธาตุ Cu ที่พบนี้จะมาจากส่วนของปลอกกระสุนปืนซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะตัวของปลอกกระสุนปืน Winchester ส่วนลักษณะอนุภาคที่พบส่วนมากจะเป็นทรงค่อนข้างกลม ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Zachariah Oommen and Scott M Pierce และงานวิจัยของ Hsien-Hui Meng and

Hsei-Chang Lee ที่สามารถตรวจพบอนุภาคเขม่าปืนที่เก็บตัวอย่างมาจากมือของผู้ยิงโดยในอนุภาคจะประกอบด้วยธาตุ K Mg Si Ca S และ Cu พิจารณาได้ว่า ธาตุ Ca ที่พบนั้นจะมาจากส่วนของผิวหนัง ซึ่งในการทดลองนี้ผู้วิจัยได้ทดลองเก็บตัวอย่างจากมือก่อนทำการยิง แล้วนำไปวิเคราะห์โดย SEM/EDS พบ spectrum ที่แสดงธาตุ Ca ดังรูป

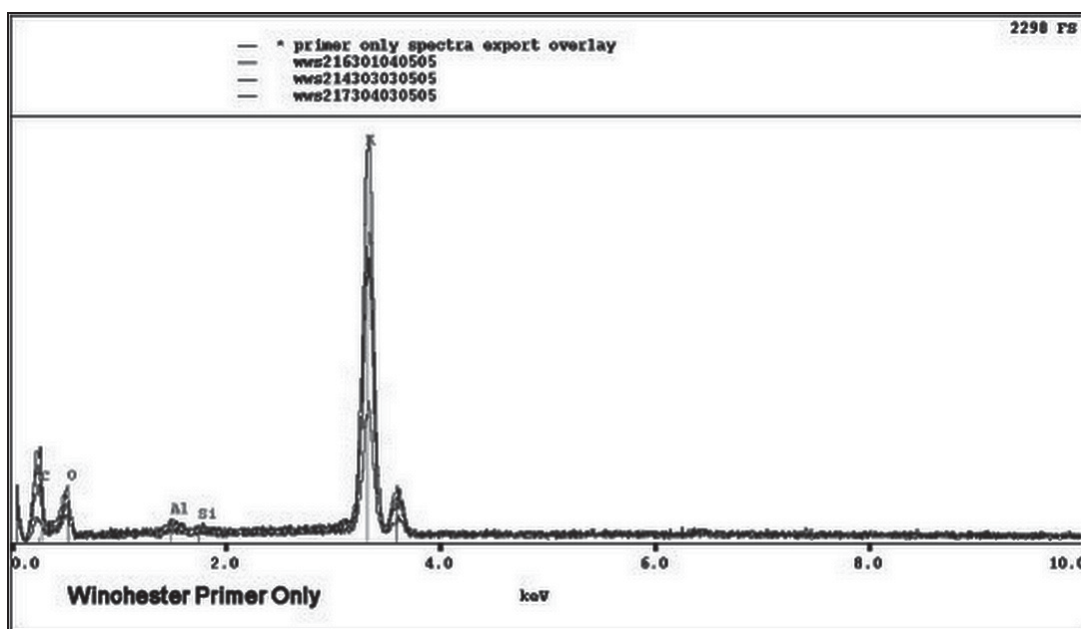


รูปที่ 109 Spectrum วิเคราะห์ตัวอย่างที่เก็บจากมือก่อนยิงปืน

เมื่อเปรียบเทียบจำนวนค่าเฉลี่ยของอนุภาคเขม่าปืนที่สามารถตรวจพบเมื่อเวลาผ่านไป ในช่วงเวลาหลังจากยิงปืน ที่ศูนย์ชั่วโมง ที่หนึ่งชั่วโมง ที่สามชั่วโมง ที่ห้าชั่วโมง และที่เจ็ดชั่วโมง จะพบว่าจำนวนค่าเฉลี่ยของอนุภาคที่เก็บตัวอย่างจากมือจะลดจำนวนลงอย่างรวดเร็วหลังจากสามชั่วโมงผ่านไป ส่วนที่ตัวเลื่อยังปรากฏอยู่ในปริมาณที่มีค่าเฉลี่ยมากกว่าจุดอื่น ที่ทำการ เก็บตัวอย่าง โดยได้เปรียบเทียบให้เห็นชัด ดังที่แสดงไว้ในตารางที่ 4 และ ภาพที่ 106 ซึ่งเป็นผล สอดคล้องเช่นเดียวกับการวิจัยของ Shigetoshi Kage และคณะ ที่สรุปการศึกษาไว้ว่าอนุภาค เขม่าปืน สามารถคงอยู่บนผผและเสื้อผ้าได้ยาวนานกว่าที่มือของผู้ต้องสงสัย (แม้ว่าการสรุปนี้ จะเป็นข้อสรุปที่เกิดจากอนุภาคเขม่าปืนแบบทั่วไปที่มีธาตุองค์ประกอบเป็น Pb Sb และ Ba ก็ตาม) แต่จะพิจารณาได้ว่า ในเรื่องระยะเวลาการคงอยู่ของอนุภาคบนเสื้อ และที่มือ เป็นไปในทิศทาง เช่นเดียวกับอนุภาคที่เกิดจากกระสุน lead-free primer (Winchester –Winclean™) ที่นำมาใช้ใน งานวิจัยนี้

ดังนั้นหากเป็นการตรวจโดยใช้เครื่อง Scanning Electron Microscope ดังการวิจัยนี้ แม้เวลาจะผ่านไปแล้วเจ็ดชั่วโมง ยังสามารถตรวจพบอนุภาคเขม่าปืนได้ และเมื่อพิจารณาจากอัตรา การลดลงของอนุภาค/ระยะเวลาหลังยิงแล้ว มีแนวโน้มที่สามารถจะสามารถตรวจพบอนุภาคเขม่า ปืนหลังการยิงนานเกินกว่า 7 ชั่วโมง ส่วนระยะเวลาที่อนุภาคเขม่าปืนจากกระสุนชนิดนี้ จะคงอยู่

นานเท่าไรจนไม่สามารถตรวจพบได้ด้วยการใช้เครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM.) ควรจะต้องทำการศึกษาเพิ่มเติมต่อไป.



รูปที่ 110 ภาพ spectrum แสดงธาตุองค์ประกอบของ primer กระสุนปืน 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) : 510.

ข้อเสนอแนะในการศึกษาวิจัยครั้งต่อไป

1. ศึกษาวิเคราะห์อนุภาค ที่มาจากกระสุนปืนประเภท lead-free primer ในระบบปิดที่มีการควบคุมการปนเปื้อน และนำไปเปรียบเทียบกับอนุภาคเขม่าปืนแบบทั่วไปที่ได้จากการทดลองในระบบปิดและระบบเปิด
2. ศึกษาวิเคราะห์โดยการเก็บตัวอย่างเขม่าปืนจากส่วนอื่น เช่น จากเส้นผม ใบหน้า หรือจากเครื่องประดับที่สวมใส่อาทิเช่นแหวน นาฬิกา ต่างหู แล้วนำมาเปรียบเทียบในเรื่องของลักษณะ รูปแบบอนุภาค เรื่องของระยะเวลาการคงอยู่หรือระยะเวลาที่ยังสามารถตรวจพบอนุภาคเขม่าปืนได้

3. ศึกษาและวิเคราะห์การเก็บตัวอย่างเขม่าป็นโดยใช้วัสดุหรืออุปกรณ์อื่นในการเก็บตัวอย่าง เช่น ทดลองใช้ก้านสำลี (cotton butt) แทนการใช้ stub และเทปกาวยคาร์บอน โดยเปรียบเทียบความแตกต่างของผลการตรวจวิเคราะห์ การเก็บตัวอย่างเขม่าป็นโดยใช้ก้านสำลีจะใช้ทดแทนเป็นการชั่วคราวได้หรือไม่
4. ศึกษาและวิเคราะห์โดยเพิ่มระยะเวลาการเก็บตัวอย่างเขม่าป็น จนไม่สามารถตรวจวิเคราะห์พบอนุภาคเขม่าป็นโดย SEM/EDS ได้.
5. ศึกษาวิเคราะห์โดยเปลี่ยนกระสุนปืนประเภท lead-free primer โดยเลือกเฉพาะกระสุนปืนที่มีจำหน่ายอยู่ในประเทศไทย
6. นำวิทยาการอื่นมาใช้วิเคราะห์อนุภาคเขม่าป็นที่มาจากกระสุนปืนประเภท lead-free primer เช่น การใช้ระบบคอมพิวเตอร์ช่วยตรวจวิเคราะห์อนุภาคเขม่าป็นหรือ computer-controlled scanning electron microscopy (CCSEM). วิธีการตรวจโดย X-ray mapping ร่วมกับ SEM เพื่อยืนยันผลการตรวจวิเคราะห์เขม่าป็น.

บรรณานุกรม

ภาษาไทย

อรรถพล แซ่มสุวรรณวงศ์ และคณะ. นิติวิทยาศาสตร์ 1 เพื่อการสืบสวนสอบสวน. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพมหานคร : บริษัท ทีจีซี พรินติ้ง จำกัด, 2546.

_____. นิติวิทยาศาสตร์ 1 เพื่อการสืบสวนสอบสวน. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพมหานคร : บริษัท ทีจีซี พรินติ้ง จำกัด, 2546.

อัมพร จารุจินดา, พลตำรวจตรี. การตรวจพิสูจน์อาวุธปืนและเครื่องกระสุนปืน. กองพิสูจน์หลักฐาน สำนักงานวิทยาการตำรวจ, 2542. 1-38.

เอกสารอื่นๆ

เฉลิม ศักดิ์อลงกรณ์. “การประมาณเวลาอิงจากปฏิกิริยาเคมีของเขม่าดินปืนในลำกล้องปืน โดยใช้สเปกโตรโฟโตมิเตอร์.” วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล, 2536.

รัชนารถ กิตติคุณฎี. “การตรวจหาคราบเขม่าปืนที่มีมือ โดยวิธี SEM/EDX.” วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล, 2535.

วิทยา สุขสมโสตร. ขนาดกระสุนวัดกันอย่างไร [online]. Accessed 27 September 2011. Available from http://www.guntactics.com/readarticle.php?article_id=69

วิวัฒน์ ชินวร, ร้อยตำรวจเอก. “การวิเคราะห์เขม่าปืนด้วยเทคนิค SEM/EDX.” วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมี บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2547.

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

อัยยยุทธ ผลภาค. “การตรวจพิสูจน์เปรียบเทียบธาตุจากเขม่าปืนชนิดปราศจากตะกั่วกับแหล่งอื่น” วิทยานิพนธ์ ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2554.

ภาษาต่างประเทศ

หนังสือ

Schwoeble, A.J., and David L. Exline. Current Methods in Forensic Gunshot Residue Analysis. Florida : CRC Press LLC, 2000 [Online]. Accessed 18 August 2011. Available from : <http://www.crcnetbase.com/isbn/9780849300295>.

บทความในวารสาร

Andrasko, J., and A.C. Maehly. “ Detection of GSR on Hand by Scanning Electron Microscopy.” Journal of Forensic Science 22, 2 (1977) : 279-287.

Andrasko, J., and S. Pettersson. “ A simple method for collection of gunshot residues from clothing.” Journal of Forensic Science, no. 31, (1991) : 321-330.

Basu, S. “ Formation of Gunshot Residue.” Journal of Forensic Science no. 27, (1982) : 72-91.

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, no. 123, (2001) : 39-47.

Brozek - Mucha, Zuzanna., and Grzegorz Zadora. “Grouping of Ammunition Types by Means of Frequencies of Occurrence of GSR.” Forensic Science International, no. 135, (2003) : 97-104.

Cardinetti, Bruno. et al. “X-ray mapping technique : a preliminary study in discriminating gunshot residue particle from aggregates of environmental occupational origin.” Forensic Science International, no. 143, (2004) : 1-19.

Kage, Shigetoshi. et al. “A simple method for detection of gunshot residue particles from hands, hair, face and clothing using scanning electron microscopy/wavelength dispersive X-ray (SEM/WDX).” Journal of Forensic Science, no. 46, (2001) : 830 - 834.

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 (2006) : 359 - 365.

Meng, H.H., and H.C. Lee. “ Elemental analysis of primer mixtures and gunshot residues from handgun cartridges commonly encountered in Taiwan.” Forensic Science Journal, 6, 1 (2007) : 39 - 54.

- Oommen, Z., and S.M. Pierce. "Lead-Free Primer Residues : A Qualitative Characterization of Winchester WincleanTM, Remington/UMC LeadLessTM, Federal BallistiCleanTM, and Speer Lawman CleanFireTM Handgun Ammunition." Journal of Forensic Science 51, 3 (2006) : 509 - 519.
- Romolo, F.S., and P. Maegot. " Identification of gunshot residue : a critical review." Forensic Science Journal 119, 2 (2001) : 195 - 211.
- Tazza, M.Y., Y.Leist, and M. Steinberg. " Characterization of Gunshot Residue by X-ray Diffraction." Journal of Forensic Science, no. 27 (1982) : 677 - 682.
- Thornton, John I. " The Chemistry of Death by Gunshot." Analytica Chimica Acta 288, 1-2 (1994) : 71 - 81.
- Torre, Carlo. et al. " Brake Linings : A Source of Non-GSR Particles Containing Lead, Barium, and Antimony." Journal of Forensic Science, no. 47, (2002) : 494 - 504.
- 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 (1979) : 409 - 422.
- Wolten, G.M., and R.S. Nesbitt. " On the Mechanism of Gunshot Residue Particle Formation." Journal of Forensic Science , no.25 (1980) : 533 - 545.
- Zeichner, A., and N. Levin. " Collection Efficiency of Gunshot Residue Particles from Hair and Hands using Double-side Adhesive tape." Journal of Forensic Science , no.38 (1993) : 571 - 584.
- Zeichner, A. et al. " Vacuum Collection of Gunpowder Residues from Clothing Worn by Shooting Suspects, and Their Analysis by GC/TEC, IMS, and GC/MS." Journal of Forensic Science , no.48 (2003) : 961 - 972.

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ – สกุล	นายปรีชา หงษ์ศักดิ์ศิลป์
ที่อยู่	76 หมู่ 3 ตำบลบางกระบือ อำเภอบางคนที จังหวัดสมุทรสงคราม 75120
โทรศัพท์	0801617077

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2539	ปริญญาตรีนิติศาสตร์บัณฑิต คณะนิติศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง
พ.ศ. 2549	ศึกษาต่อระดับปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร