การตรวจเขม่าปืนบนเสื้อผ้าด้วยเทคนิค SEM/EDS

โดย
ร้อยตำรวจเอกหญิงณัฐนันท์ ชาติรักวงศ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร
ปีการศึกษา 2551
ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

INVESTIGATION OF GUNSHOT RESIDUES ON CLOTHING BY SEM/EDS

By

Nuttanun Chatrakwong

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree

MASTER OF SCIENCE

Program of Forensic Science

Graduate School

SILPAKORN UNIVERSITY

2008

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร อนุมัติให้วิทยานิพนธ์เรื่อง “ การตรวจเขม่าปืนบนเสื้อผ้าด้วยเทคนิค SEM/EDS ” เสนอโดย ร้อยตำรวจเอกหญิงณัฐนันท์ ชาติรักวงศ์ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์

…….....
(รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริชัย ชินะตังกูร)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
วันที่.....เดือน..... พ.ศ.....

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

1. อาจารย์ ดร.ศุภชัย ศุภลักษณ์นารี
2. พันตำรวจโทสฤษดิ์ สืบพงษ์ศิริ
3. พันตำรวจตรีอัครวัฒน์ ชินวรสวัสดิ์

คณะกรรมการตรวจสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(อาจารย์ ดร.ศิริรัตน์ ชูสกุลเกรียง)
...../...../.....

..... กรรมการ
(พันตำรวจเอกสมภพ เองสมบุญ)
...../...../.....

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.ศุภชัย ศุภลักษณ์นารี)
...../...../.....

..... กรรมการ
(พันตำรวจโทสฤษดิ์ สืบพงษ์ศิริ)
...../...../.....

..... กรรมการ
(พันตำรวจตรีอัครวัฒน์ ชินวรสวัสดิ์)
...../...../.....

49312307 : สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์
คำสำคัญ : เขม่าปืน / กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

ณัฐนันท์ ชาติรักวงศ์ : การตรวจเขม่าปืนบนเสื้อผ้าด้วยเทคนิค SEM/EDS. อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ : อ.ดร.ศุภชัย ศุภลักษณ์นารี, พ.ต.ท.สฤษดิ์ สืบพงษ์ศิริ และพ.ต.ต.อัครวัฒน์ ชินวรสวัสดิ์. 90 หน้า.

ในงานวิจัยนี้ศึกษาการตรวจพิสูจน์เขม่าปืนที่คงอยู่บนเสื้อผ้าโดยใช้เครื่อง Scanning Electron Microscope/Energy Dispersive Spectrometer (SEM/EDS) อาวุธปืนที่ใช้คือ ปืนพกรีวอล-เวอร์ ยี่ห้อ Smith&Wesson ขนาด .38 Special กับกระสุนปืน ยี่ห้อ R-P ผู้ยิงสวมเสื้อแขนยาวทำการทดลองยิงในห้องทดลองที่ปิด จากนั้นเก็บตัวอย่างอนุภาค GSR บนแขนเสื้อ ด้วยวิธี Tape lift เพื่อนำไปวิเคราะห์ด้วย เครื่อง SEM/EDS อนุภาคที่มีองค์ประกอบธาตุ Pb, Ba และ Sb คืออนุภาคที่ใช้นับจำนวนอนุภาคเขม่าปืน ส่วนใหญ่พบอนุภาคที่ประกอบด้วยธาตุ Pb-Sb ที่มีขนาดอนุภาคในช่วง 0 ถึง 10 μm ผลการทดลองยังพบว่าอนุภาคเขม่าปืนยังคงอยู่บนแขนเสื้อนานถึง 24 ชั่วโมงหลังจากยิงปืน ในตัวอย่างที่เก็บจากบริเวณต่าง ๆ บนแขนเสื้อพบปริมาณอนุภาคเขม่าปืนที่แตกต่างกัน

สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร ปีการศึกษา 2551

ลายมือชื่อนักศึกษา.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ 1. ..... 2. ..... 3. .....

49312307 : MAJOR : FORENSIC SCIENCE
KEY WORD : GUNSHOT RESIDUES, SEM/EDS

NUTTANUN CHATRAKWONG : INVESTIGATION OF GUNSHOT RESIDUES ON CLOTHING BY SEM/EDS. THESIS ADVISORS : SUPACHAI SUPALAKNARI, Ph.D., POL.LT.COL.SARIT SUBPONGSIRI, AND POL.MAJOR AKARAWAT CHINAWORNSAWAD. 90 pp.

The investigation of Gunshot Residues (GSR) deposited on clothing was performed by using a Scanning Electron Microscope/Energy Dispersive Spectrometer (SEM/EDS). A revolver .38 Special Smith & Wesson with R-P ammunition was used in this study. The shooter wearing a long sleeves shirt carried out the gun firings in a closed room and the samples for the SEM/EDS analyses were collected from the sleeves by the tape-lift method. The unique elemental composition of Pb, Ba and Sb was identified for the counting of the GSR particles. Most GSR particles observed were composed of Pb and Sb with the sizes in the range of 0 to 10 μm. It was also observed that the GSR particles can be found on the sleeves after 24 hours of discharging. The samples collected from various positions on the sleeves showed different amounts of the GSR particles.

Program of Forensic Science Graduate School, Silpakorn University Academic Year 2008
Student's signature .....
Thesis Advisors' signature 1. ..... 2. ..... 3. .....

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาวิจัยเรื่อง การตรวจเขม่าปืนบนเสื้อผ้าด้วยเทคนิค SEM/EDS สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เนื่องมาจากความช่วยเหลือและความร่วมมือจากบุคคลหลายท่าน อันดับแรกสุดขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.ศุภชัย ศุภลักษณ์นารี อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ พันตำรวจโทสฤษดิ์ สืบพงษ์ศิริ และพันตำรวจตรี อัครวัฒน์ ชินวรสวัสดิ์ นักวิทยาศาสตร์ (สบ2) วิทยาการจังหวัดสมุทรสาคร ที่ให้ความเมตตาและกรุณามาเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ให้คำแนะนำ ให้คำปรึกษา ให้ข้อคิด ตลอดจนตรวจทานและแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้ถูกต้องสมบูรณ์ ด้วยความเมตตาตลอดงานศึกษาวิจัย

นอกจากนี้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.ศิริรัตน์ ชูสกุลเกรียง และพันตำรวจเอกสมภพ เองสมบุญ นักวิทยาศาสตร์ (สบ4) กลุ่มงานผู้เชี่ยวชาญ กองวิทยาการ 1 สำนักงานนิติ-วิทยาศาสตร์ตำรวจ ที่กรุณาสละเวลาและให้คำแนะนำทำให้วิทยานิพนธ์มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

สุดท้ายนี้ ขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ และขอขอบคุณ คุณวิฑูรย์ แซ่โง้ว ที่ให้ความช่วยเหลือแนะนำในการใช้เครื่อง SEM/EDS ตลอดการทำงานวิจัย และดาบตำรวจ สุขสันต์ พวงสมบัติ ผู้บังคับหมู่ งานพิสูจน์หลักฐาน วิทยาการเขต 15 (นครปฐม) ที่ให้ความช่วยเหลือในเรื่องเกี่ยวกับอาวุธปืนเป็นอย่างดี รวมทั้งผู้ที่ไม่ได้กล่าวนามทุกท่าน ซึ่งมีส่วนช่วยเหลือจนวิทยานิพนธ์นี้ประสบผลสำเร็จไปได้ด้วยดี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญตาราง ..... ฌ

สารบัญภาพ ..... ญ

บทที่

1 บทนำ 1

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2

สมมติฐานของการวิจัย 2

ขอบเขตของการวิจัย 2

นิยามศัพท์ที่ใช้ในการวิจัย 3

ตัวแปรที่ใช้ในการวิจัย 3

กรอบแนวคิดในการวิจัย 3

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย 4

2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 5

อาวุธปืนและเครื่องกระสุนปืน 9

ที่มาของคราบเขม่าปืนที่เกิดจากการยิงปืน 28

การเกิดอนุภาค GSR 29

การตรวจหาโลหะสำคัญในอนุภาค GSR เชิงคุณภาพด้วย SEM/EDS 32

หลักการพื้นฐานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope) 37

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 46

3 การทดลอง 52

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง 52

วิธีการทดลองวิเคราะห์เขม่าปืน (GSR) บนเสื้อผ้าด้วยเทคนิค SEM/EDS 52

บทที่

4 ผลการทดลอง 58
ผลการวิเคราะห์การนับจำนวนอนุภาคเขม่าปืน 58
ผลการวิเคราะห์ธาตุโลหะสำคัญที่เป็นองค์ประกอบในเขม่าปืน 62
ผลการวิเคราะห์จำนวนกับขนาดอนุภาคเขม่าปืนที่พบ 75
ผลวิเคราะห์ Blank Sample 82
5 สรุปผลการทดลอง 84

บรรณานุกรม 87

ประวัติผู้วิจัย 90

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ธาตุโลหะที่พบในชนวนท้ายกระสุนปืนของบริษัทต่าง ๆ	35
2	แสดงโลหะต่าง ๆ ที่ตรวจพบใน GSR	36
3	ผลการนับจำนวนอนุภาคเขม่าปืนบนแขนเสื้อบริเวณต่าง ๆ	59
4	ค่าเฉลี่ยของการนับอนุภาคเขม่าปืนที่แขนเสื้อบริเวณต่าง ๆ	61
5	ผลการวิเคราะห์ธาตุโลหะสำคัญที่เป็นองค์ประกอบในเขม่าปืน ครั้งที่ 1	63
6	ผลการวิเคราะห์ธาตุโลหะสำคัญที่เป็นองค์ประกอบในเขม่าปืน ครั้งที่ 2	67
7	ผลการวิเคราะห์ธาตุโลหะสำคัญที่เป็นองค์ประกอบในเขม่าปืน ครั้งที่ 3	71
8	ขนาดกับจำนวนอนุภาคเขม่าปืนที่พบบนแขนเสื้อที่บริเวณต่าง ๆ ที่เวลา 15 นาที	76
9	ขนาดกับจำนวนอนุภาคเขม่าปืนที่พบบนแขนเสื้อที่บริเวณต่าง ๆ ที่เวลา 1 ชั่วโมง	77
10	ขนาดกับจำนวนอนุภาคเขม่าปืนที่พบบนแขนเสื้อที่บริเวณต่าง ๆ ที่เวลา 3 ชั่วโมง	78
11	ขนาดกับจำนวนอนุภาคเขม่าปืนที่พบบนแขนเสื้อที่บริเวณต่าง ๆ ที่เวลา 6 ชั่วโมง	79
12	ขนาดกับจำนวนอนุภาคเขม่าปืนที่พบบนแขนเสื้อที่บริเวณต่าง ๆ ที่เวลา 12 ชั่วโมง	80
13	ขนาดกับจำนวนอนุภาคเขม่าปืนที่พบบนแขนเสื้อที่บริเวณต่าง ๆ ที่เวลา 24 ชั่วโมง	81

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	อาวุธปืน Percussion Locks แบบต่าง ๆ	11
2	โครงสร้างกระสุนปืนแบบ Pin Fire	14
3	โครงสร้างกระสุนปืนแบบ Pin fire	14
4	โครงสร้างกระสุนปืนแบบ Center fire	15
5	ส่วนประกอบสำคัญของกระสุนปืน	16
6	รูปร่างลักษณะของลูกกระสุนปืนแบบต่าง ๆ	19
7	รูปร่างของปลอกกระสุนปืนทั้งสามแบบ	20
8	รูปร่างลักษณะของส่วนท้ายปลอกกระสุนปืน	21
9	รูปร่างลักษณะของดินดำ	22
10	ส่วนสำคัญของ Primer Cap	28
11	ตัวอย่างอนุภาคแบบ Regular Spheroids	30
12	ตัวอย่างอนุภาคแบบ Irregular Spheroids	31
13	ตัวอย่างอนุภาคแบบ Peeled Orange	32
14	เครื่อง SEM/EDX ที่ใช้ในการวิจัย	37
15	ส่วนประกอบที่สำคัญของ SEM	38
16	ส่วนประกอบ Simplified electron lens (Cross-section)	39
17	แสดงการกวาดของลำอิเล็กตรอนใน 1 เฟรม	40
18	สัญญาณที่เกิดจากการที่อิเล็กตรอนชนกับชิ้นตัวอย่าง	41
19	โครงสร้างอะตอม และการเกิดX-rays	42
20	ภาพเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างSEI กับ BEI ของคราบแมลงที่อาศัยในทราย	43
21	X-Rays Spectrum ที่ได้จากSEM-EDS	44
22	แถบสีขาวคือตำแหน่งที่ทำการเก็บตัวอย่างจากแขนเสื้อทั้งสองข้าง	53
23	อาวุธปืนพกรีวอลเวอร์ ขนาด .38 (Special) ที่ใช้	53
24	กระสุนปืนขนาด .38 special ยี่ห้อ R-P	53
25	ลักษณะท่าทางที่ทำการยิงด้วยอาวุธปืน	54
26	ภาชนะที่ปิดมิดชิด สำหรับเก็บ stub	55
27	Stub ที่ได้ทำการเก็บตัวอย่าง เพื่อทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง SEM/EDS	56

ภาพที่ หน้า

28 แสดงตำแหน่งที่ทำการวิเคราะห์บน stub ((968, 014), (972, 980), (023, 975), (994, 029)) 57

29 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนอนุภาคเขม่าปืนที่พบบนแขนเสื้อบริเวณต่าง ๆ กับเวลาที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง 61

30 กลุ่มอนุภาค GSR ที่เก็บจากแขนเสื้อขวาบริเวณข้อมือ ภายหลังยิงปืนผ่านไป 15 นาที เมื่อวิเคราะห์ในภาพรวมพบ อนุภาคที่ประกอบด้วยธาตุ PbSb และธาตุ Ba (ผลการทดลองครั้งที่ 1) 66

31 กลุ่มอนุภาค GSR ที่เก็บจากแขนเสื้อขวาบริเวณข้อมือ ภายหลังยิงปืนผ่านไป 15 นาที เมื่อวิเคราะห์ในภาพรวมพบ อนุภาคที่ประกอบด้วยธาตุ PbSbBa และธาตุ PbSb (ผลการทดลองครั้งที่ 2)..... 70

32 กลุ่มอนุภาค GSR ที่เก็บจากแขนเสื้อขวาบริเวณข้อมือ ภายหลังยิงปืนผ่านไป 15 นาที เมื่อวิเคราะห์ในภาพรวมพบ อนุภาคที่ประกอบด้วยธาตุ PbSb (ผลการทดลองครั้งที่ 3) 74

33 อนุภาคเขม่าปืนที่มีลักษณะอนุภาคค่อนข้างกลม มีความสว่างจ้า มีธาตุ PbSb เป็นองค์ประกอบ 75

34 Spectrum ของเขม่าปืนซึ่งพบ ธาตุ PbSb 75

35 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดกับจำนวนอนุภาคเขม่าปืนที่พบบนแขนเสื้อที่บริเวณต่าง ๆ ที่เวลา 15 นาที 76

36 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดกับจำนวนอนุภาคเขม่าปืนที่พบบนแขนเสื้อที่บริเวณต่าง ๆ ที่เวลา 1 ชั่วโมง 77

37 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดกับจำนวนอนุภาคเขม่าปืนที่พบบนแขนเสื้อที่บริเวณต่าง ๆ ที่เวลา 3 ชั่วโมง 78

38 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดกับจำนวนอนุภาคเขม่าปืนที่พบบนแขนเสื้อที่บริเวณต่าง ๆ ที่เวลา 6 ชั่วโมง 79

39 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดกับจำนวนอนุภาคเขม่าปืนที่พบบนแขนเสื้อที่บริเวณต่าง ๆ ที่เวลา 12 ชั่วโมง 80

40 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดกับจำนวนอนุภาคเขม่าปืนที่พบบนแขนเสื้อที่บริเวณต่าง ๆ ที่เวลา 24 ชั่วโมง 81

ภาพที่ หน้า

41 ตรวจไม่พบกลุ่มอนุภาค GSR ที่เก็บจากแขนเสื้อขวาบริเวณข้อมือ ภายหลังทำกิจกรรมต่าง ๆ ในชีวิตประจำวันตามปกติผ่านไป 6 ชั่วโมง..... 83

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

นิติวิทยาศาสตร์ เป็นศาสตร์แขนงหนึ่งที่ใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์มายืนยันการกระทำผิดของบุคคล โดยนำวัตถุพยานที่เก็บได้จากสถานที่เกิดเหตุ หรือจากตัวผู้ต้องสงสัยมาทำการตรวจพิสูจน์ เพื่อช่วยเจ้าหน้าที่ของรัฐมีแนวทางในการสืบสวนสอบสวน ทำให้สามารถดำเนินการจับกุมตัวผู้กระทำความผิด และลงโทษผู้กระทำความผิดไม่ผิดตัว อันจะก่อให้เกิดความเป็นธรรมและความน่าเชื่อถือของกระบวนการยุติธรรมในสังคม

ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน อาชญากรรมนับเป็นสิ่งสำคัญอย่างหนึ่งที่บั่นทอนความสงบสุขและความเจริญงอกงามของสังคม แม้ว่าอาชญากรรมจะเป็นปรากฏการณ์อย่างหนึ่งที่สังคมไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ แต่ทว่าอาชญากรรมสามารถที่จะควบคุมให้ลดลงได้ โดยในปัจจุบันการประกอบอาชญากรรมของคนร้ายมักใช้อาวุธปืนในการกระทำความผิด ดังนั้นการตรวจพิสูจน์ทางนิติวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับอาวุธปืน จึงเป็นงานที่มีความสำคัญมากอีกแขนงหนึ่งของงานตรวจพิสูจน์หลักฐาน เพื่อนำสู่การสืบสวนสอบสวน และรวมถึงการควบคุมและป้องกันอาชญากรรมที่จะเกิดขึ้นในสังคมได้ด้วย

เมื่อมีการยิงปืนเกิดขึ้น ไอออนุภาคต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นจะปลิวฟุ้งกระจายออกมายังบริเวณรอบอาวุธปืน โดยอนุภาคที่เกิดขึ้นนี้จะเรียกว่า เขม่าปืนหรือเขม่าที่เกิดจากการยิงปืน ซึ่งเขม่าปืนนี้สามารถปลิวกระจายไปเกาะยังร่างกายของผู้ยิง เช่น มือ แขน ใบหน้า และเสื้อผ้า และวัตถุแวดล้อมต่าง ๆ ที่อยู่ใกล้ตัวผู้ยิงปืนได้ ดังนั้นการตรวจหาเขม่าที่เกิดจากการยิงปืน จึงสามารถระบุตัวผู้ที่ยิงปืนได้ อนุภาคเขม่าปืนที่เกิดขึ้นนั้น อาจมาจากชนวนท้ายกระสุนปืน ดินปืน โลหะอื่นที่เป็นส่วนประกอบของลูกกระสุนปืน ปลอกกระสุนปืน และลำกล้องปืนเมื่อมีการยิงปืน แต่ทั้งหมดนี้ เขม่าปืนที่เกิดจากชนวนท้ายกระสุนปืนมีลักษณะเฉพาะ ด้วยธาตุที่เป็นองค์ประกอบของชนวนท้ายกระสุนปืนเป็นหลัก ได้แก่ ตะกั่ว (Pb), แบเรี่ยม (Ba) และแอนติโมนี (Sb)

วิธีการตรวจพิสูจน์เขม่าปืนมีมากมายหลายวิธี แต่ละวิธีก็มีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันไป ในงานวิจัยนี้จึงใช้วิธีที่ง่ายและสะดวกรวดเร็วในการตรวจวิเคราะห์อนุภาคเขม่าปืน โดยใช้วิธี SEM/EDS ในการตรวจหาธาตุที่เป็นองค์ประกอบในเขม่าดินปืน

สำหรับการตรวจพิสูจน์เขม่าปืนที่มือในประเทศไทยนั้น ปัจจุบันที่กองพิสูจน์หลักฐานตรวจพิสูจน์ด้วยวิธี Atomic Absorption Spectrophotometry หรือ AAS โดยจะทำการเก็บเขม่าปืนบนมือของผู้ต้องสงสัยว่ายิงปืนนั้น ผู้เก็บจะต้องเก็บเขม่าปืนที่มือโดยเร็วที่สุดภายใน 6 ชั่วโมง นับตั้งแต่มีการยิงปืน ส่วนในกรณีเขม่าปืนที่ศพ ผู้เก็บจะต้องรีบเก็บภายใน 24 ชั่วโมง นับตั้งแต่การยิงปืน แต่ในสภาพความเป็นจริงการที่เจ้าหน้าที่จะติดตามตัวผู้ต้องสงสัยที่ยิงปืนมาเก็บเขม่าปืนที่มือให้ได้ภายในเวลา 6 ชั่วโมงนั้นไม่สามารถทำได้ทุกครั้ง ซึ่งยังมีปัจจัยอื่นอีกมากที่ทำให้เขม่าปืน transfer ไปได้ง่ายจากมือของผู้ยิง จึงทำให้ยากที่จะตรวจพบเขม่าปืนได้ ซึ่งจากการศึกษาที่ผ่านมา (Shigetoshi Kage, et al. 2001) อนุภาคเขม่าปืนที่เกาะอยู่บริเวณมือของคนที่มีชีวิตนั้นจะค่อย ๆ ลดลง เมื่อเวลาผ่านไป 3 – 6 ชั่วโมง ดังนั้นในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะทำการศึกษาเขม่าปืนบนเสื้อผ้า โดยวิธี SEM/EDS เพื่อเป็นประโยชน์ในแนวทางการสืบสวนของเจ้าหน้าที่ต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาวิธีการเก็บตัวอย่างจากบริเวณแขนเสื้อของผู้ยิงปืน เพื่อนำมาตรวจวิเคราะห์หาเขม่าปืนด้วยวิธี SEM/EDS

2. เพื่อศึกษาถึงระยะเวลาการคงอยู่ของเขม่าปืนบนเสื้อ ภายหลังจากผ่านการยิงปืนมาโดยวิเคราะห์หาธาตุโลหะสำคัญที่เกิดจากเขม่าปืนด้วยวิธี SEM/EDS

3. เพื่อศึกษารูปร่างลักษณะ ขนาด รวมถึงองค์ประกอบสำคัญของเขม่าปืนด้วยวิธี SEM/EDS

4. เพื่อศึกษาปัจจัยทางกายภาพของเสื้อผ้าที่มีผลต่อการตรวจพบเขม่าปืน

1.3 สมมติฐานของการวิจัย

1. ระยะเวลามีผลต่อการตรวจพบเขม่าปืน (gunshot residue) บนเสื้อผ้า โดยตรวจสอบด้วยวิธี SEM/EDS

2. บริเวณที่แตกต่างกันบนเสื้อผ้า มีผลต่อการตรวจพบเขม่าปืน (gunshot residue)

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

1. ศึกษาธาตุตะกั่ว (Pb), แบเรียม (Ba) และแอนติโมนี (Sb) ที่เป็นธาตุโลหะสำคัญที่เป็นองค์ประกอบของเขม่าปืน โดยวิธี SEM/EDS

2. ทำการเก็บตัวอย่างจากแขนเสื้อ จำนวน 6 ตำแหน่ง ได้แก่ แขนขวาบริเวณข้อมือ, แขนขวาบริเวณข้อศอก, แขนขวาก่อนถึงหัวไหล่, แขนซ้ายบริเวณข้อมือ, แขนซ้ายบริเวณข้อศอก และแขนซ้ายก่อนถึงหัวไหล่

3. ศึกษาระยะเวลาการคงอยู่ของเขม่าปืนบนเสื้อผ้า ที่เวลา 15 นาที, 1 ชั่วโมง, 3 ชั่วโมง, 6 ชั่วโมง, 12 ชั่วโมง และ 24 ชั่วโมง

4. ศึกษาโดยใช้อาวุธปืนพกรีวอลเวอร์ ขนาด .38 (special) ยี่ห้อ Smith&Wesson ความยาวลำกล้อง 3 นิ้ว โดยใช้กระสุนปืน ยี่ห้อ R-P ขนาด .38 (special) ยิงจำนวน 1 นัดต่อครั้ง

1.5 นิยามศัพท์ที่ใช้ในการวิจัย

เขม่าปืน หรือเขม่าที่เกิดจากการยิงปืน (Gunshot Residue, GSR) เป็นวัตถุพยานทางวิทยาศาสตร์อย่างหนึ่งที่เกิดขึ้นภายหลังจากการยิงปืน โดยไออนุภาคต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นจะปลิวฟุ้งกระจายออกมายังบริเวณรอบอาวุธปืน

ชนวนท้ายกระสุนปืน (Primer Cap) จะอยู่บริเวณจานท้ายของปลอกกระสุนปืน

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) กล้องจุลทรรศน์ที่ใช้อิเล็กตรอนในการสร้างภาพขยาย

นิติวิทยาศาสตร์ (Forensic science) การนำวิทยาศาสตร์ทุกสาขามาประยุกต์ใช้เพื่อประโยชน์แห่งกฎหมาย

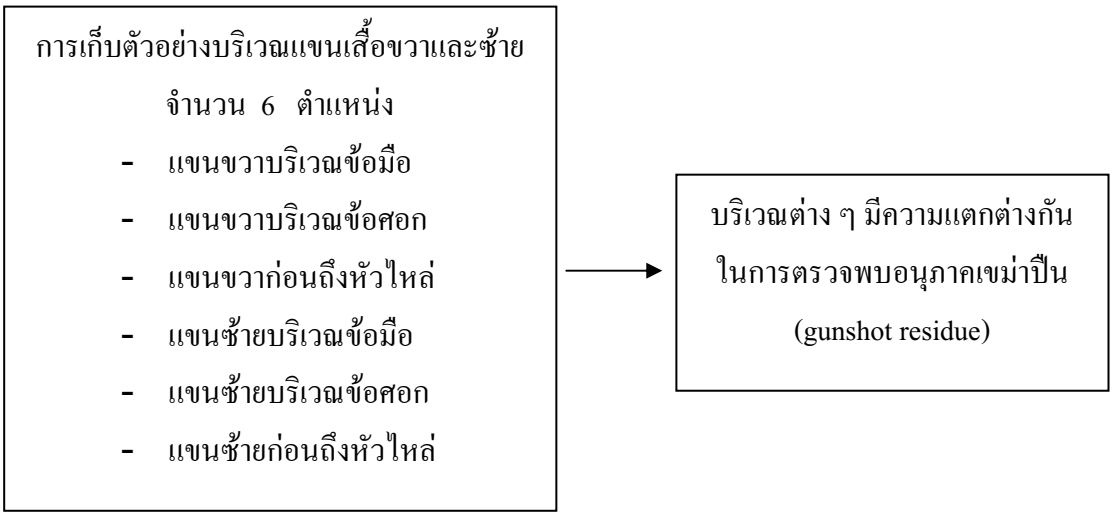
1.6 ตัวแปรที่ใช้ในการวิจัย

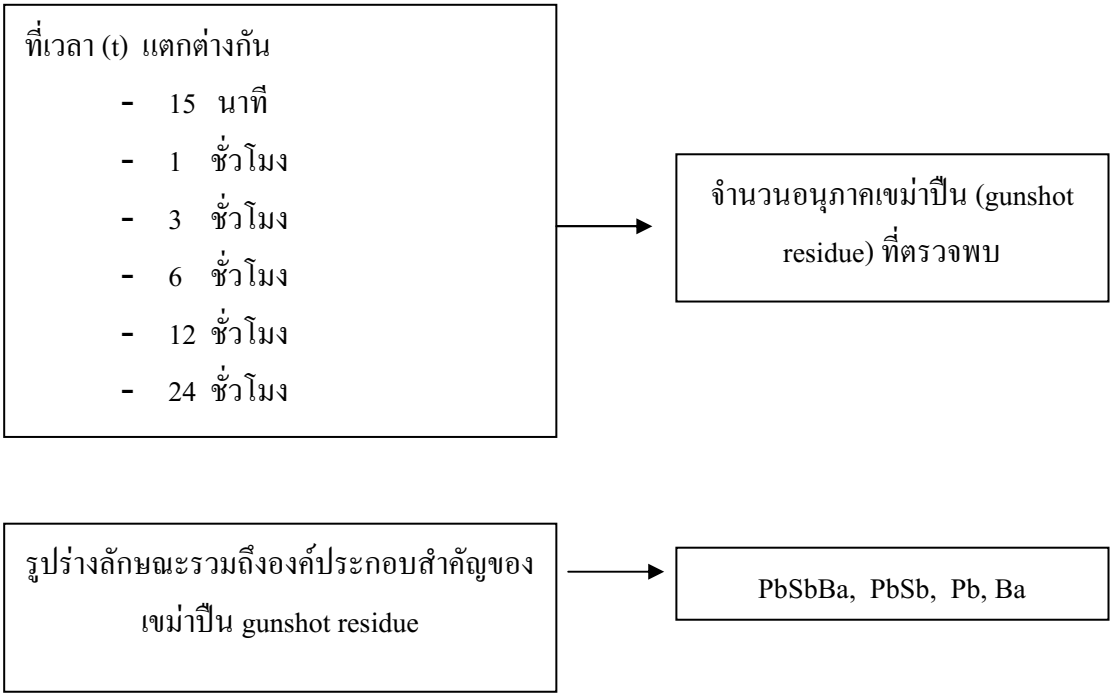
ตัวแปรอิสระ ได้แก่ เสื้อผ้าร่ม, ระยะยิง, อาวุธปืนพกรีวอลเวอร์ ขนาด .38 (special) และกระสุนปืน ยี่ห้อ R-P

ตัวแปรตาม ได้แก่ ระยะเวลา และบริเวณที่ทำการเก็บตัวอย่าง

1.7 กรอบแนวความคิดในการวิจัย

เพื่อศึกษาการเก็บตัวอย่างจากบริเวณแขนเสื้อของผู้ยิงปืน, ระยะเวลาการคงอยู่ของเขม่าปืนบนเสื้อผ้า และรูปร่างลักษณะรวมถึงองค์ประกอบสำคัญของเขม่าปืน ด้วยวิธี SEM/EDS ดังแสดงตามกรอบแนวคิด ดังนี้





1.8 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

1. เพื่อทราบถึงบริเวณต่าง ๆ บนแขนเสื้อ ที่สามารถตรวจพบอนุภาคเขม่าปืน (gunshot residue)

2. เพื่อทราบถึงระยะเวลาการคงอยู่ของเขม่าปืนบนเสื้อ ภายหลังจากการยิงปืนมาวิเคราะห์พบธาตุโลหะสำคัญที่เกิดจากเขม่าปืน ด้วยวิธี SEM/EDS

3. เพื่อทราบถึงรูปร่างลักษณะรวมถึงองค์ประกอบสำคัญของเขม่าปืน ด้วยวิธี SEM/EDS

4. เพื่อเป็นแนวทางที่เจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องสามารถนำเทคนิควิธีการนี้ไปใช้ในการสืบสวนสอบสวนเกี่ยวกับเขม่าปืน และในการศึกษาวิจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวกับเขม่าปืนต่อไป

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ความเป็นมาและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

เขม่าปืน หรือเขม่าที่เกิดจากการยิงปืน (Gunshot Residue, GSR) เป็นวัตถุพยานทางวิทยาศาสตร์อย่างหนึ่งที่เกิดขึ้นภายหลังจากการยิงปืน โดยไออนุภาคต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นจะปลิวฟุ้งกระจายออกมายังบริเวณรอบอาวุธปืน ซึ่งเขม่าปืนนี้สามารถปลิวกระจายไปเกาะยังร่างกายของผู้ยิง เช่น มือ แขน ใบหน้า และเสื้อผ้า และวัตถุแวดล้อมต่าง ๆ ที่อยู่ใกล้ตัวผู้ยิงปืนได้ ดังนั้นการตรวจหาเขม่าที่เกิดจากการยิงปืน จึงสามารถยืนยันการยิงปืนของบุคคลต้องสงสัย เพื่อใช้เป็นหลักฐานประกอบคดีได้ โดยมีความเป็นมาตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันพอสังเขป คือ

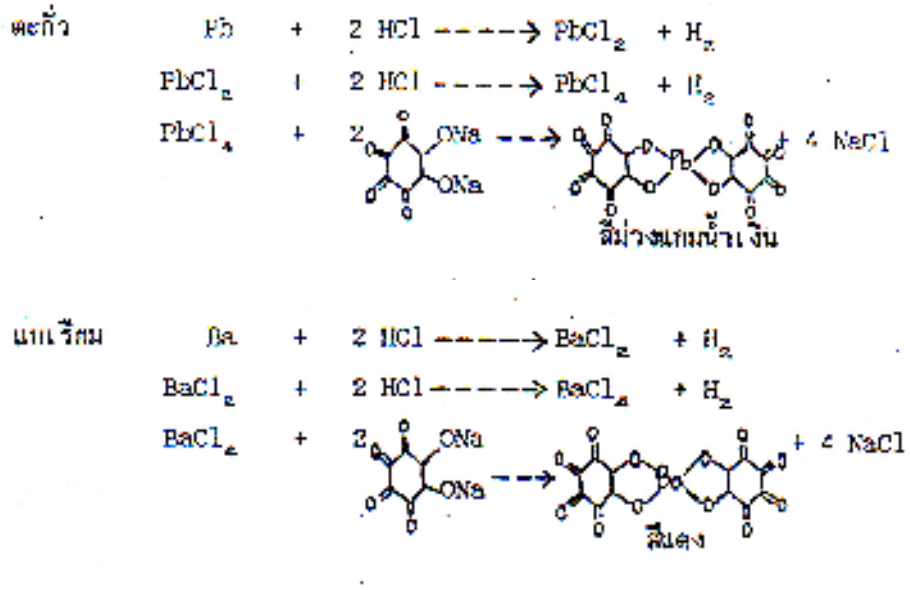
การตรวจพิสูจน์หาคราบเขม่าปืน ในระยะเริ่มแรกราวปี ค.ศ. 1932 วงการตำรวจสากลทั่วไปได้ทำการตรวจหาคราบเขม่าที่เกิดจากการยิงปืนที่มือ ด้วยวิธีที่เรียกว่า Dermal Nitrate Test Paraffin Test ซึ่งเป็นการทดสอบทางเคมี โดยดูการเปลี่ยนแปลงสีที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาของกระสุนปืน (ดินปืน) โดยใช้สารละลาย Diphenylamine ในกรดซัลฟูริคเข้มข้น หากมีสารประกอบจำพวกไนเตรทอยู่ สารละลาย Diphenylamine จะเปลี่ยนจากไม่มีสี เป็นสีน้ำเงินของ Diphenyl Benzidine ซึ่งปัจจุบันนี้เลิกใช้ไปแล้ว เพราะผลการตรวจที่ให้มีความไม่แน่นอน เนื่องจากสารประกอบไนเตรทอาจมาจากแหล่งอื่นที่ไม่ใช้มาจากการยิงปืนได้ เช่น ปุ๋ย เป็นต้น

ต่อมาราวปี ค.ศ. 1959 มีการนำวิธี Sodium Rhodizonate Test ซึ่งเป็นวิธีการตรวจหาอนุภาคของตะกั่ว (Pb) และแบเรี่ยม (Ba) ที่ปลิวออกมาติดมือผู้ยิงหลังจากการยิงปืน หลักการ คือ เมื่อเก็บตัวอย่างจากมือผู้ต้องสงสัยแล้ว จึงนำมาวางบนกระดาษกรอง จากนั้นหยดสารละลายกรดไฮโดรคลอริก เข้มข้น 1 % ให้ทั่วบนตัวอย่าง แล้วนำกระดาษกรองไปอบให้แห้ง จึงนำกระดาษกรองที่อบแห้งนี้มาหยดสารละลาย Saturated Sodium Rhodizonate ที่ได้เตรียมไว้ใหม่ ๆ (สีเหลืองแกมส้ม) แล้วหยดตามด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก เข้มข้น 5 % ลงไปอีกครั้ง

หากมีตะกั่วอยู่ในตัวอย่าง กระดาษกรองจะมีสีม่วงเกิดขึ้นทันที

หากมีแบเรี่ยมอยู่ในตัวอย่าง กระดาษกรองจะมีสีแดงเกิดขึ้นทันที

ปฏิกิริยาเป็นดังนี้



แต่วิธีนี้ไม่แพร่หลายในการใช้มากนัก เนื่องจากเป็นวิธีที่ไม่ค่อยมีความว่องไว (Sensitive) และจำเพาะเจาะจง (Specific) ต่อธาตุโลหะที่ต้องการตรวจพิสูจน์

ต่อมาในปี ค.ศ. 1960 ได้มีผู้พยายามนำวิธี Neutron Activation Analysis (NAA) ซึ่งเป็นวิธีการวิเคราะห์เชิงปริมาณของธาตุแบเรี่ยม (Ba) และแอนติโมนี (Sb) ซึ่งเป็นธาตุที่ได้จากชนวนท้ายกระสุนปืน (แก็ปปืน) เกิดการระเบิดภายหลังจากถูกเข็มแทงชนวนกระแทก ดังนั้นหากสามารถตรวจพิสูจน์หาปริมาณธาตุทั้ง 2 ตัวนี้ ที่ติดอยู่บริเวณมือของผู้ต้องสงสัยในปริมาณที่มากพอที่เชื่อถือได้ว่ามาจากการยิงปืนแล้ว ก็สามารถใช้ยืนยันว่าบุคคลนั้นได้ผ่านการยิงปืนมาแล้วนั่นเอง

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 จะทำการสกัดเอาเขม่าที่มือโดยใช้ Paraffin แล้วจึงนำไปอาบรังสี Neutron พร้อมสารมาตรฐาน Ba และ Sb หลังจากนั้น จึงทำการแยกทางเคมี โดยตกตะกอนให้เป็น Stibnite (Sb_2S_3) และBarium Sulfate ($BaSO_4$) แล้วจึงนำไปคำนวณหาปริมาณของ Ba และ Sb ใน Paraffin จะเห็นได้ว่า วิธีนี้ต้องใช้เคมีช่วย มีวิธีการที่ยุ่งยากอีกทั้งเสียเวลามาก ส่วนวิธีที่สองนั้น เป็นการหาปริมาณของธาตุหลังการอาบรังสี Neutron โดยใช้การวัด Spectrum ของสารตัวอย่างทั้งหมดโดยตรง ไม่ต้องผ่านวิธีทางเคมีใด ๆ ทั้งสิ้น แต่วิธีนี้ต้องอาศัยเครื่องมือที่มี

ประสิทธิภาพสูงในการแยก peak ออกจากกัน และใช้หาโดยตรงเฉพาะธาตุ Sb เท่านั้น หากต้องการจะหาปริมาณ Ba จะต้องทำการแยกทางเคมีอีก

ข้อเสียของวิธี NAA คือ เป็นวิธีที่เสียค่าใช้จ่ายสูง เพราะต้องใช้หัววัดรังสี Ge (Li) ซึ่งหัววัดรังสีและเครื่องวัดรังสีจะมีราคาแพงมาก อีกทั้งวิธีนี้ยังเป็นวิธีที่ต้องใช้เวลามาก อีกทั้งวิธีนี้ยังเป็นวิธีที่ต้องใช้เวลามาก เนื่องจากต้องเสียเวลาคอยเพื่อให้สารตัวอย่างสลายตัวนานถึง 4-5 วัน จึงจะสามารถนำไปตรวจวิเคราะห์ได้ จึงเป็นวิธีที่ไม่เหมาะสมสำหรับงานที่ต้องการความเร่งด่วน นอกจากนี้วิธี NAA ยังตรวจวิเคราะห์ได้เพียงเฉพาะธาตุ Ba และ Sb เท่านั้น สำหรับธาตุ Pb จะไม่สามารถตรวจวิเคราะห์ได้ จึงไม่มีผู้นิยมใช้กันมากเท่าไรนัก แม้ว่าวิธี NAA จะเป็นวิธีที่สามารถวิเคราะห์ได้ละเอียด และมีความไวสูงก็ตาม

อีกวิธีหนึ่ง ซึ่งเป็นวิธีการตรวจวิเคราะห์ว่าผู้ต้องสงสัยได้ยิงปืนมาหรือไม่นั้น คือ วิธีการทาง Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS) ซึ่งได้มีรายงานการใช้ AAS ในปี ค.ศ. 1970 และถัดจากนั้นมาอีกสามปี ได้มีรายงานเกี่ยวกับการใช้ Flameless Atomic Absorption Spectrophotometry (FAAS) ในการหา GSR ด้วยวิธี AAS นี้ มีข้อดีกว่าการใช้วิธี NAA กล่าวคือ วิธี AAS เป็นวิธีที่ใช้เครื่องมือที่มีราคาไม่แพงมากนัก และยังสามารถใช้วิเคราะห์หาธาตุ Pb ได้ด้วยในขณะที่วิธี NAA ตรวจหาได้เพียงธาตุ Ba และ Sb เท่านั้น

หลักการของ Atomic Absorption Spectrophotometry คือ อาศัยหลักการที่ว่า อะตอมแต่ละชนิดนั้นจะสามารถดูดกลืนแสง (Absorb) ที่มีความยาวคลื่นเฉพาะไม่เท่ากัน ดังนั้น เมื่อสารละลายตัวอย่างซึ่งมีธาตุที่ต้องการจะวิเคราะห์หา ถูกพ่นผ่านเข้าไปในเปลวไฟที่มีความร้อนเพียงพอ ธาตุที่ต้องการวิเคราะห์จะกลายสภาพเป็นไอของอะตอมอิสระ (Free Atom) และเมื่อแสงที่มีความยาวคลื่นสอดคล้องกับชนิดของอะตอมอิสระถูกผ่านเข้าไปในเปลวไฟ ส่วนหนึ่งของแสงจะถูกดูดกลืนโดยอะตอมอิสระนั้น โดยขนาดความยาวคลื่นของแสงจะเป็นตัวบ่งบอกให้ทราบถึงชนิดของอะตอม และปริมาณของแสงที่ถูกอะตอมอิสระดูดกลืนเข้าไป จะเป็นตัวบ่งชี้ให้ทราบถึงปริมาณของธาตุที่วิเคราะห์ ซึ่งมีอยู่ในสารละลายตัวอย่างนั่นเอง

Flameless Absorption Spectrophotometry (FAAS) เป็นวิธีที่หลีกเลี่ยงการใช้เปลวไฟในการให้ความร้อน เพื่อทำให้ธาตุที่อยู่ในสารละลายกลายเป็นอะตอมอิสระ โดยเปลี่ยนมาใช้ท่อกราไฟต์ (Graphite Tube) แทน เมื่อทำให้ท่อกราไฟท์นี้ร้อนจัดด้วยการใช้กระแสไฟฟ้า ท่อกราไฟท์ที่ร้อนจัดนี้จำทำให้ธาตุที่ต้องการวิเคราะห์ซึ่งอยู่ในสารละลายตัวอย่างกลายเป็นอะตอมอิสระได้ ซึ่งวิธี FAAS หากมีระบบเครื่องมือและใช้ร่วมกับอุปกรณ์กำเนิดแสงที่ดีแล้ว จะตรวจวิเคราะห์ธาตุอย่างมีประสิทธิภาพสูงกว่าวิธีใช้เปลวไฟมาก

การใช้วิธี FAAS จะมีผลดีอย่างมากในการวิเคราะห์หาธาตุ Pb และ Sb แต่สำหรับธาตุ Ba นั้นจะมีปัญหาอยู่บ้าง เนื่องจากธาตุ Ba สามารถทำปฏิกิริยากับท่อกราไฟท์เกิดแบเรียมคาร์ไบ (Barium Carbide) ซึ่งมีจุดหลอมเหลวสูงมากถึง 3,000 ˚C แต่อุณหภูมิสูงสุดที่เครื่องจะทำให้ท่อกราไฟท์ร้อนได้เพียง 2,700 ˚C จะเห็นได้ว่า แบเรียมคาร์ไบด์มีอุณหภูมิของจุดหลอมเหลวสูงกว่าถึง 300 ˚C จึงทำให้ปริมาณของแบเรียมที่ถูก atomize น้อยกว่าปริมาณแบเรียมที่มีอยู่จริงในสารละลายตัวอย่าง ซึ่งต้องแก้ปัญหานี้โดยการใช้วัสดุทนไฟ นั่นคือใช้แทนทาลัม (Tantalum) บุภายในท่อกราไฟท์อีกชั้นหนึ่ง เพื่อป้องกันปฏิกิริยาการเกิดแบเรียมคาร์ไบด์ หรืออาจแก้ปัญหาโดยการเพิ่มปริมาณของสารตัวอย่างให้มากขึ้น เพื่อให้ปริมาณของ Ba ที่จะถูกทำให้กลายเป็นอะตอมอิสระมีมากขึ้นด้วย

แม้ว่าวิธี Atomic Absorption Spectrophotometry จะเป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถใช้วิเคราะห์หาปริมาณของธาตุที่มีน้อย ๆ ได้ ในระดับไมโครกรัม หรืออาจถึงระดับนาโนกรัม อีกทั้งยังมีความไวในการวิเคราะห์สูงด้วยก็ตาม แต่ก็ยังมีขีดจำกัดที่ไม่สามารถวิเคราะห์ธาตุที่เกิดจากการยิงปืน (GSR) ได้ทั้งหมดในเวลาเดียวกัน ต้องทำการวิเคราะห์ทีละธาตุ และยังไม่สามารถแยกแยะแหล่งที่มาของธาตุต่าง ๆ ที่วิเคราะห์ได้

ด้วยเหตุผลจำกัดต่าง ๆ ดังกล่าวข้างต้น จึงได้มีการพัฒนาวิธีการตรวจพิสูจน์หา GSR ที่ทันสมัย สะดวก แม่นยำมากขึ้น โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนขึ้น ที่มีชื่อเรียกว่า Scanning Electron Microscopy / Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (SEM/EDS) ซึ่งเป็นวิธีที่ได้รับการยอมรับว่า เป็นวิธีที่ทันสมัยและมีความแม่นยำมากที่สุด กล่าวคือ เป็นวิธีที่มีความจำเพาะ (Specificity) มากกว่าวิธีอื่นใดทั้งหมด เนื่องจาก SEM/EDS เป็นวิธีที่สามารถมองเห็นอนุภาคของเขม่าปืนที่มาจากการยิงปืนได้ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน (SEM) ซึ่งจะแสดงผลเป็นภาพสามมิติ คือ มีทั้งความกว้าง ความยาว และความลึกได้อย่างชัดเจน รวมทั้งยังแสดงขนาดอีกด้วย และสามารถบอกชนิดของธาตุที่อยู่ในอนุภาคนั้นได้ ด้วย X-Ray (EDX) ซึ่งวิธีการใช้ SEM/EDS สามารถวิเคราะห์ธาตุต่าง ๆ ได้หลายธาตุในเวลาเดียวกัน โดยไม่จำกัดว่าจะต้องเป็นเฉพาะธาตุตะกั่ว แบเรียม และแอนติโมเนียม เท่านั้น นอกจากนี้ หากผู้ที่ทำการตรวจวิเคราะห์มีความชำนาญมากพอก็จะสามารถแยกลักษณะภาพของอนุภาคที่เกิดจากการยิงปืน ออกจากสิ่งปนเปื้อนอื่นที่มาจากสิ่งแวดล้อม หรือจากอาชีพการงานได้อย่างถูกต้อง แม่นยำ โดยอาศัยรูปร่างเฉพาะของคราบเขม่าที่มาจากการยิงปืนและการหาชนิดของธาตุด้วย EDX เป็นสิ่งยืนยันในการตรวจพิสูจน์ นอกจากนั้น EDX ยังมีจุดเด่นอีกอย่างหนึ่ง คือ มีความไวสูงมาก สามารถวิเคราะห์ธาตุที่มีอยู่ในตัวอย่างปริมาณน้อยมาก ระดับ 10^{-11} กรัมได้

ยิ่งไปกว่านั้น ในการตรวจวิเคราะห์คราบเขม่าจากการยิงปืนด้วยวิธี NAA และ AAS เป็นวิธีการตรวจวิเคราะห์เชิงปริมาณ (Quantitative Analysis) ซึ่งบางครั้งอาจจะประสบปัญหาในการตัดสินใจลงความเห็นว่า บุคคลต้องสงสัยนั้นได้มีการยิงปืนมาหรือไม่ ในกรณีที่ตรวจพบปริมาณของธาตุใกล้ช่วง cutoff แต่สำหรับการตรวจพิสูจน์ด้วยวิธี SEM/EDS เป็นการตรวจวิเคราะห์เชิงคุณภาพ (Quantitative Analysis) แม้หากตรวจวิเคราะห์พบอนุภาคของคราบเขม่าที่มาจากการยิงปืนเพียงอนุภาคเดียว ก็เป็นการพิสูจน์ได้ว่า ตัวอย่างนั้นมีคราบที่มาจากการยิงปืนอยู่จริง (รัชนารถ กิตติดุษฎี 2535)

ปัจจุบัน วิธีการที่นิยมใช้หา 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

โดยในแต่ละประเทศจะเลือกวิธีใดนั้น ขึ้นอยู่กับความเหมาะสม ประเทศที่มีการพัฒนาทางด้านวิทยาศาสตร์สูง ส่วนใหญ่นิยมตรวจพิสูจน์ GSR ด้วยวิธี SEM/EDS ยังสามารถระบุธาตุที่เป็นองค์ประกอบใน GSR และยังลดระยะเวลาในการตรวจพิสูจน์ให้น้อยลง ทำให้ตอบสนองปริมาณงานที่เพิ่มขึ้นอยู่ตลอดเวลาได้อีกด้วย

2.1 อาวุธปืนและเครื่องกระสุนปืน (อัมพร จารุจินดา 2542)

2.1.1 อาวุธปืน

อาวุธปืนกระบอกแรกใครเป็นผู้สร้าง ไม่มีใครบอกได้ รู้แต่เพียงว่าอาวุธปืนแบบแรกทำด้วยท่อโลหะ ซึ่งสามารถส่งลูกกระสุนวิถีโค้งวิ่งไปได้ระยะทางหนึ่ง หรือไปยังเป้าหมายใกล้ ๆ โดยมีดินปืนเป็นตัวขับดันลูกกระสุน จึงใช้คำว่า “Lock” สำหรับเรียกระบบจุดดินระเบิดของอาวุธปืนแบบแรก

อาวุธปืนแบบเริ่มแรกเป็นแบบที่เรียกกันว่า “ปืนประจุปาก หรือบรรจุปาก” (Muzzle Loading) คือลักษณะของลำกล้องปืนท่อโลหะกลวง ปลายข้างหนึ่งอุดตัน ใกล้ ๆ ปลายท่อข้างอุดตันมีรูเล็ก ๆ เจาะทะลุเข้าไปภายในลำกล้องปืน เวลาบรรจุดินปืนและลูกกระสุนปืนก็จะต้องบรรจุเข้าทางปากลำกล้อง โดยเอาดินปืนบรรจุเข้าไปก่อน และใช้หมอนกระสุนปืน (Wad) อัดตามลงไปแล้วกระทุ้งให้แน่น แล้วจึงบรรจุลูกกระสุนปืนและมีหมอนกระสุนปืนอัดตามลงไปและกระทุ้งให้แน่นอีกครั้งหนึ่ง ดินปืนซึ่งถูกอัดแน่นก็จะมีบางส่วนล้นออกมาทางรูเจาะทะลุที่อยู่ข้างลำกล้องที่กล่าวข้างต้น ซึ่งใช้เป็นดินล่อ หรือบางทีดินล่ออาจจะใส่เข้าไปในรูดังกล่าวจากข้างนอกก็ได้ เวลาจะยิงปืนก็เอาไฟ หรือโลหะเผาไฟ หรือโลหะเผาไฟ หรือถ่านติดไฟแดง ๆ มาจุด

หรือจี้ที่ดินล่อ เมื่อดินล่อติดไฟไฟก็ลามเข้าไปติดดินปืนซึ่งถูกอัดแน่นอยู่ภายในลำกล้องปืนและเกิดการเผาไหม้ของดินปืนอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดแก๊สจำนวนมหาศาลและเกิดกำลังดันสูงขึ้นภายในลำกล้อง ดันให้ลูกกระสุนปืนวิ่งออกจากลำกล้องปืนไปได้

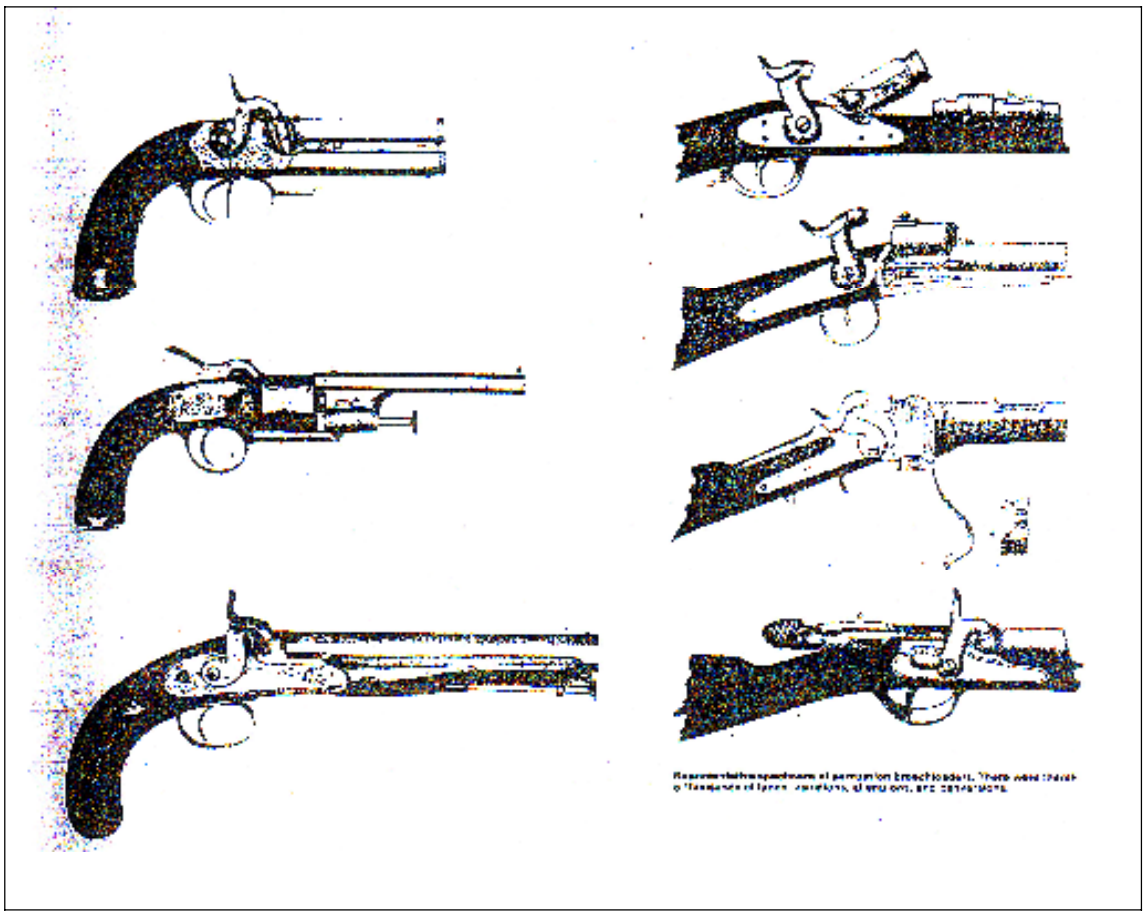
หมอนกระสุนปืนในสมัยเริ่มแรกนั้นทำด้วยไม้เนื้ออ่อน หรือพวกวัสดุเส้นใยนิ่ม ๆ เช่น ฝอยกาบมะพร้าวดังที่ใช้กันอยู่ในชนบทของประเทศเราในปัจจุบัน เพราะจะได้ง่ายต่อการที่จะใช้ไม้หรือแท่งโลหะกระทุ้งอัดให้แน่นได้ดีขึ้น ถ้าหมอนกระสุนปืนอัดไม่แน่นก็จะเกิดรอยรั่วของแก๊สตามขอบของหมอนได้ อันจะเป็นเหตุให้กำลังลูกกระสุนปืนไม่ดี ลูกกระสุนปืนที่ถูกยิงออกไปก็จะมีความเร็วต่ำทำให้ไปได้ไม่ไกล

ตั้งแต่ศตวรรษที่ 18 เป็นต้นมา มนุษย์มีความรู้ทางวิชาเคมีเพิ่มมากขึ้น ทำให้มีผู้คิดค้นสารเคมีที่เป็นสารวัตถุระเบิด ที่เมื่อถูกกระทบกระแทกอย่างแรงแล้วจะสามารถระเบิดขึ้นได้สารเคมีที่ว่านั้นคือ Fulminate of Mercury ซึ่งเป็นว่าเป็น 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 ขึ้นไว้หลายแบบ

ในยุคของ Percussion Locks นี้ มีอาวุธปืนแบบต่าง ๆ ได้ถูกประดิษฐ์ขึ้นมาอีกมากมายโดยเฉพาะพวกปืนแบบ Breech Loading เริ่มมีใช้กันมาก ถึงแม้ว่าจะยังไม่มีผู้ใดสามารถประดิษฐ์กระสุนปืนขึ้นมาได้ก็ตาม นอกจากนี้ภายในลำกล้องปืนก็ได้มีการทำเกลียวกันขึ้นมาใช้มากขึ้น และลูกกระสุนปืนก็มีรูปร่างต่าง ๆ กันไม่ได้เป็นลูกตะกั่วกลมเพียงอย่างเดียว อีกทั้งยังมีการประดิษฐ์ปืนแบบที่สามารถยิงซ้ำได้ (Repeating Arms) เช่น ปืนรีวอลเวอร์ เป็นต้น

ในกลางศตวรรษที่ 19 ปืนแบบ Percussion Locks ก็มีใช้กันอย่างแพร่หลายทั่วไปทั้งทวีปยุโรปและอเมริกา พร้อมกันนี้ก็ได้มีผู้พยายามคิดค้นสร้างกระสุนปืนชนิดเป็นนัดและมีระบบจุดดินปืนอยู่ภายในกระสุนปืนแต่ละนัดขึ้นมากมาย แต่ก็ยังใช้การไม่ได้ เพราะแก๊สจากการเผาไหม้ดินปืนสามารถรั่วออกทางท้ายลำกล้องปืนได้

ปืนแบบ Percussion Locks นี้ ในปัจจุบันยังคงมีใช้กันอยู่อย่างกว้างขวางทั่วไปทั่วโลก เช่น ในชนบทที่ห่างไกลของประเทศไทย ในประเทศอินเดียและบางประเทศในอาฟริกา ตลอดจนกลุ่มคนที่นิยมใช้อาวุธปืนแบบ Muzzle Loading ในประเทศสหรัฐอเมริกาและอังกฤษ เป็นต้น ซึ่งปืนแบบนี้ไทยเราเรียกว่า “ปืนแก็ป” นั่นเอง



ภาพที่ 1 อาวุธปืน Percussion Locks แบบต่าง ๆ

ที่มา : พลตำรวจตรีอัมพร จารุจินดา. “การตรวจพิสูจน์อาวุธปืนและเครื่องกระสุนปืน.” เอกสารความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับอาวุธปืนและกระสุนปืนสำหรับผู้เข้าอบรม กองพิสูจน์หลักฐาน สำนักงานวิทยาการตำรวจ, 2542. (อัดสำเนา)

ภายหลังจากการที่มีการประดิษฐ์กระสุนปืนแบบ Rim Fire และ Center Fire ขึ้นมาได้ อาวุธปืนและขนาดต่าง ๆ กัน ก็ถูกพัฒนาขึ้นมากมาย อาวุธปืนที่มีประสิทธิภาพสูง เช่น ปืนกลต่าง ๆ ได้รับการพัฒนาอย่างรวดเร็วมาก ทำให้การแยกแยะจัดหมวดหมู่อาวุธปืนทำได้ยาก ในที่นี้จะขอแบ่งประเภทอาวุธปืนตามการใช้งานสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ประเภท คือ

1. ปืนพก (Pistol) ปืนจำพวกนี้สามารถใช้ยิงได้ด้วยมือเดียว เพราะมีขนาดเล็ก ทำให้พกพาติดตัวไปได้สะดวก สามารถซ่อนหรือปกปิดได้ง่าย และเนื่องจากเป็นอาวุธปืนที่มีขนาดเล็ก จึงทำให้อำนาจการยิงมีระยะไม่ไกลมากนัก ซึ่งถ้าแบ่งตามลักษณะของอาวุธปืนจำพวกนี้แล้วสามารถแบ่งได้เป็น 3 ชนิด

ก. ปืนพกกึ่งอัตโนมัติ (Semi-Automatic Pistol) เป็นปืนพกที่บรรจุกระสุนปืนได้หลายนัดด้วยการบรรจุไว้ในซองกระสุนปืน (Magazine)

ข. ปืนพกลูกโม่ (Revolver) เป็นปืนพกที่มีส่วนบรรจุกระสุนที่เรียกว่า ลูกโม่ (Cylinder) ปืนพกชนิดนี้รังเพลิงและลำกล้องปืนแยกออกเป็นคนละส่วนกัน

ค. ปืนพกแบบอื่น ๆ (Miscellaneous Handgun) เป็นปืนที่ผลิตออกมา เพื่อให้ผู้ที่ไม่เคยพบเห็นคิดว่าไม่ใช่อาวุธปืน การผลิตดังกล่าวส่วนใหญ่เพื่อนำไปให้สายลับใช้ป้องกันตัวยามจำเป็น มีบ้างที่ผลิตเพื่อการค้า แต่ก็มักเป็นของต้องห้ามในเกือบทุกประเทศ เพราะปืนเหล่านี้มีขนาดเล็ก ซุกซ่อนได้ง่ายและยังสังเกตได้ยากว่าเป็นปืนหรือไม่ ตัวอย่างเช่น ปืนปากกา, ปืนหัวเข็มขัด, ปืนไฟแช็ค, ปืนพวงกุญแจ, ปืนไม้เท้า ฯลฯ เป็นต้น

2. ปืนกลมือ (Sub-Machine Gun) มีลักษณะอันพึงประสงค์อย่างหนึ่งคือสามารถใช้กระสุนปืนร่วมกับปืนพกได้ นอกจากนั้นยังสามารถยิงได้ทั้งแบบอัตโนมัติและกึ่งอัตโนมัติ ระยะยิงหวังผลได้ดีกว่าปืนพก

3. ปืนเล็ก ชนิดของปืนเล็กในที่นี้ หมายถึง ปืนที่ทำการยิงโดยอาศัยการประทับไหล่ ซึ่งมีขนาดต่าง ๆ กัน ดังนี้

ก. ปืนเล็กยาว (Rifle) เป็นอาวุธเล็กที่มีความยาวลำกล้องประมาณ 24-30 นิ้ว

ข. ปืนเล็กสั้น (Carbine) เป็นปืนที่สร้างขึ้นโดยประสงค์ให้ผู้ที่มีหน้าที่ขี่ม้าได้ใช้โดยไม่เกิดความเกะกะในการนำไปนำมา และสามารถใช้ได้คล่องตัวขึ้น ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับปืนเล็กยาวทุกอย่าง ตลอดจนการทำงานของเครื่องกลไก จะต่างกันเพียงความยาวลำกล้องที่สั้นกว่าเท่านั้น

ค. ปืนเล็กยาวบรรจุเอง (Self Loading Rifle) เป็นปืนเล็กยาวที่สามารถยิงซ้ำต่อเนื่องได้กล่าวคือ ผู้ยิงเพียงแต่ทำหน้าที่ในการเหนี่ยวไกเมื่อต้องการยิงกระสุนนัดต่อไป จึงทำให้การยิงมีความรวดเร็วขึ้น ประมาณ 8-16 นัด ภายในเวลา 3-4 วินาที

ง. ปืนเล็กสั้นบรรจุเอง (Self Loading Carbine) ก็มีหลักการเดียวกันกับปืนเล็กยาวบรรจุเอง ต่างกันก็เฉพาะลำกล้องที่สั้นกว่าเท่านั้นเอง

จ. ปืนกลเล็ก (Assault Rifle) เป็นปืนยาวที่สามารถยิงทั้งอัตโนมัติและแบบกึ่งอัตโนมัติ

4. ปืนกล (Machine Gun) เป็นปืนที่มีการยิงระบบครบรอบอัตโนมัติสมบูรณ์ (Full Automatic) กล่าวคือ ตลอดเวลาที่ผู้ยิงยังเหนี่ยวไกไว้ ปืนจะทำการยิงติดต่อกันได้โดยตลอดและจะหยุดยิงต่อเมื่อผู้ยิงปล่อยไกปืน หรือกระสุนหมด ใช้กับกระสุนปืนไรเฟิลทางทหาร เนื่องจากการยิงลักษณะนี้จะทำให้เกิดการสั่นสะเทือนกับตัวปืน จึงจำเป็นต้องอาศัยขาทรายหรือขา

หยั่งเป็นส่วนประกอบเพิ่มขึ้น อีกทั้งตัวปืนมีขนาดใหญ่และน้ำหนักมาก ต้องใช้คนยิงตั้งแต่ 2 คนขึ้นไป และมีระบบการป้อนกระสุนปืนด้วยแมกกาซีน ปืนกลแบบนี้มี 2 ชนิด คือ

ก. ปืนกลเบา เป็นปืนกลที่มีน้ำหนักตั้งแต่ 35 ปอนด์ลงไป

ข. ปืนกลหนัก เป็นปืนกลที่มีน้ำหนักมากกว่า 35 ปอนด์ขึ้นไป

อาวุธปืนแบบต่าง ๆ ตามที่ได้กล่าวมานั้น จะใช้ได้ผลดีมีอานุภาพสูงสุด ก็ต่อเมื่อกระสุนปืนจะต้องประกอบด้วยสิ่งสำคัญ 3 สิ่ง คือ

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

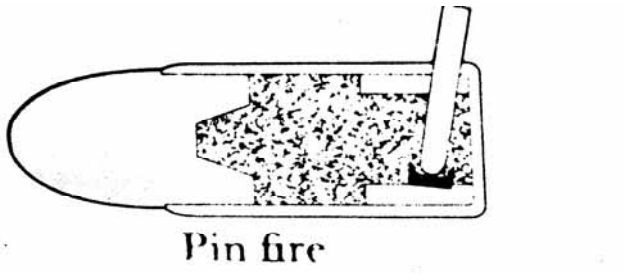
2. ปลอกกระสุนปืนจะต้องขยายตัวได้ เพื่อว่าเมื่อกระสุนปืนถูกยิงปลอกกระสุนปืนจะขยายตัวได้แนบสนิทกับผนังรังเพลิง เพื่อป้องกันไม่ให้แก็สรั่วย้อนออกทางข้างปลอกกระสุนปืนได้ และยังต้องง่ายต่อการที่ดึงปลอกกระสุนปืนที่ยิงแล้วออกจากรังเพลิง

3. แก็ป หรือ Primer Cap จะต้องมีตัวทั่ง (Anvil) สำหรับการกระแทกของเข็มแทงชนวนสร้างติดไว้ด้วย ในกรณีที่เป็นกระสุนแบบชนวนกลาง หรือมีตัวรับการตีของเข็มแทงชนวน แบบที่เรียกว่า Folded Head ในกระสุนปืนแบบชนวนริม

2.1.2 กระสุนปืน (Metallic Cartridge)

ตั้งแต่มีการผลิตกระสุนปืนขึ้นมาได้จนถึงปัจจุบันนี้ Metallic Cartridge มีด้วยกันถึง 11 แบบ ที่สำคัญ และผลิตออกมาจำหน่ายทางการค้ามีอยู่ 3 แบบ

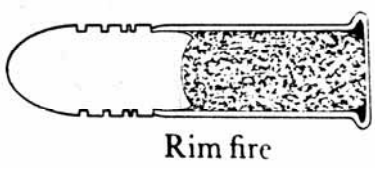
1. Pin Fire Cartridge เป็นกระสุนปืนแบบแรกที่สร้างขึ้นโดยช่างทำปืนชาวเมืองปารีส ชื่อ E.Lefaucheux ในปี ค.ศ. 1835 และผลิตออกจำหน่ายในปี ค.ศ. 1836 โดยมีทั้งกระสุนปืนไรเฟิลกระสุนปืนพก และกระสุนปืนลูกซอง ในตอนแรกปลอกกระสุนปืนทุกชนิดทำด้วยกระดาษส่วนท้ายเป็นทองเหลือง และมีเข็มโผล่ออกมาทางด้านข้างปลอกกระสุน ปลายเข็มอีกด้านหนึ่งฝังอยู่ภายในปลอกกระสุนปืนโดยวางอยู่บนแก็ป (Primer Cap) ซึ่งบรรจุอยู่ในถ้วยโลหะ อาวุธปืนที่ใช้กระสุนปืนแบบนี้ที่นกปืนไม่มีเข็มแทงชนวน เวลายิงนกปืนจะกระแทกลงบนเข็มที่โผล่ออกมาข้างปลอกกระสุนปืน และปลายเข็มอีกข้างหนึ่งก็จะกระแทกกับแก็ป เกิดระเบิดขึ้นประกายไฟก็จะไปเผาไหม้ดินปืนต่อไป กระสุนปืนแบบ Pin Fire มีอายุการใช้งานไม่นานนักก็ถูกแทนที่ด้วยกระสุนปืนแบบใหม่ คือ Rim Fire



ภาพที่ 2 โครงสร้างกระสุนปืนแบบ Pin Fire

ที่มา : พลตำรวจตรีอัมพร จารุจินดา. “การตรวจพิสูจน์อาวุธปืนและเครื่องกระสุนปืน.” เอกสารความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับอาวุธปืนและกระสุนปืนสำหรับผู้เข้าอบรม กองพิสูจน์หลักฐาน สำนักงานวิทยาการตำรวจ, 2542. (อัดสำเนา)

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



ภาพที่ 3 โครงสร้างกระสุนปืนแบบ Pin fire

ที่มา : พลตำรวจตรีอัมพร จารุจินดา. “การตรวจพิสูจน์อาวุธปืนและเครื่องกระสุนปืน.” เอกสารความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับอาวุธปืนและกระสุนปืนสำหรับผู้เข้าอบรม กองพิสูจน์หลักฐาน สำนักงานวิทยาการตำรวจ, 2542. (อัดสำเนา)

3. Center Fire Cartridge เป็นกระสุนปืนที่เข็มแทงชนวนจะต้องแทงให้ถูกตรงกลางของจานท้ายกระสุนปืนจึงลั่นได้ มีใช้กันตั้งแต่ปี ค.ศ. 1861 แต่กว่าจะมีคุณภาพเหมือนกับที่ใช้อยู่ในปัจจุบันนี้ ก็ได้มีการปรับปรุงแก้ไขกันอย่างมากมาย ตั้งแต่วัสดุที่ใช้ทำปลอกกระสุน, ดินปืน, ลูกกระสุนปืน, Primer Cap และ Priming Mixture

ภาพที่ 4 โครงสร้างกระสุนปืนแบบ Center fire

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

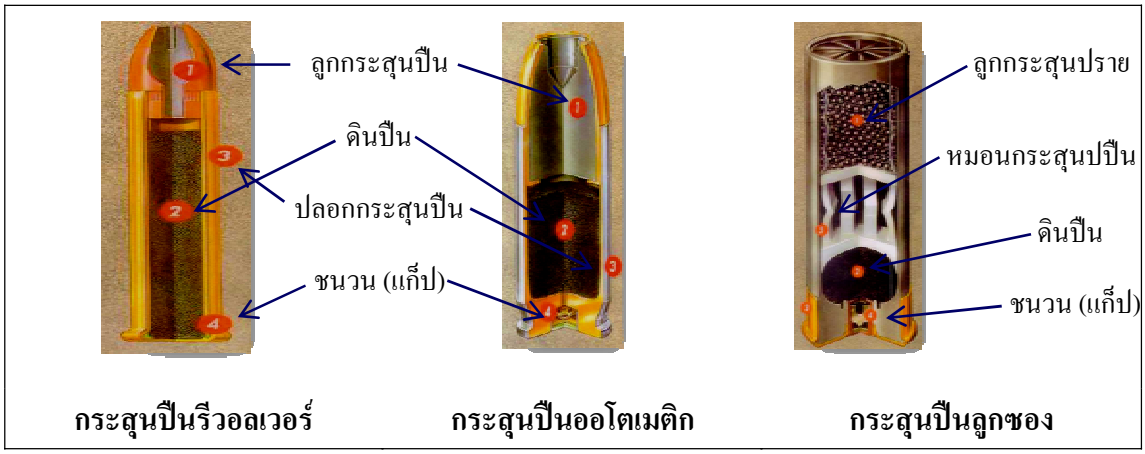
กระสุนปืนโดยทั่วไปมีส่วนประกอบที่สำคัญ 4 ส่วน คือ

1. ลูกกระสุนปืน หรือหัวกระสุนปืน (Bullet)

2. ปลอกกระสุนปืน (Cartridge Case)

3. ดินส่งกระสุนปืน (Gun Powder)

4. แก็ป (Primer Cap)



ภาพที่ 5 ส่วนประกอบสำคัญของกระสุนปืน

2.1.2.1 ลูกกระสุนปืน (Bullet)

ลูกกระสุนปืนในตอนแรกเป็นพวกลูกดอก, ลูกธนู, หินกลม ๆ เป็นต้น ต่อมาก็ใช้ลูกเหล็ก หรือตะกั่ว ซึ่งต่อมาพบว่า ลูกเหล็กหรือตะกั่วจะให้ระยะยิงไกลกว่าอย่างอื่น แต่ในที่สุดก็พบว่า ตะกั่วเป็นสารเดียวที่เหมาะสมที่สุดที่จะใช้ทำลูกกระสุนปืน เนื่องจากมีคุณสมบัติที่มีน้ำหนักดี ราคาถูก และง่ายในการที่จะหลอมหรือหล่อทำรูปแบบต่าง ๆ ตั้งแต่เริ่มวิวัฒนาการของอาวุธปืนเป็นต้นมา ลูกกระสุนปืนที่ใช้ทำตะกั่วล้วน ๆ ยาวนานมาเป็นเวลานานถึง 525 ปี จนกระทั่งในปี ค.ศ. 1880 - 1890 จึงได้มีลูกกระสุนปืนแบบที่เรียกว่า Jacketed Bullet เกิดขึ้น ซึ่งในสมัยนั้น Jacket จะทำด้วยทองเหลือง หรือทองแดงบาง ๆ หุ้มแกนตะกั่วไว้ภายใน ลูกกระสุนปืนในปัจจุบันมีอยู่ด้วยกัน 2 แบบ คือ

1. Lead bullet เป็นลูกกระสุนปืนที่ทำด้วยตะกั่ว เพราะราคาถูกและเป็นลูกกระสุนปืนที่ใช้กับกระสุนปืนที่มีความเร็วต้นต่ำกว่า 2,000 ฟุตต่อวินาที เนื่องจากความร้อนที่เกิดจากแรงระเบิดของดินปืนไม่สูงเกินไปจนทำให้ตะกั่วละลาย แต่ลูกกระสุนปืนชนิดนี้ก็ใช้ว่าจะทำด้วยตะกั่วล้วน ๆ เพราะจะอ่อนเกินไป ดังนั้นจึงต้องใช้โลหะอื่นผสมลงไปด้วยเพื่อทำให้มีความแข็งขึ้น ซึ่งส่วนใหญ่โลหะที่มักใช้ผสมจะเป็นโลหะพลวง (Sb) หรือดีบุก (Tin)

ลูกกระสุนปืนขนาดเล็กสำหรับปืนพกทั่ว ๆ ไป ที่โรงงานผลิตออกขายจะใช้ตะกั่วผสมกับพลวง แต่ลูกกระสุนที่อัดใช้เอง มักจะใช้ตะกั่วผสมดีบุก เพราะง่ายในการหลอมและหล่อขึ้นรูปลูกกระสุนปืนนั่นเอง ในปัจจุบันนี้ ลูกกระสุนปืนที่ทำด้วยตะกั่วมีลักษณะตอนท้ายของลูกกระสุนปืนอยู่ 5 แบบ คือ

ก. Plain Base แบบนี้ก้นลูกกระสุนปืนจะเรียบเสมอกัน

ข. Hollow Base แบบนี้ก้นลูกกระสุนปืนจะเว้าเข้าหรือกลวงลึก

ค. Gas Check Base แบบนี้จะมีถ้วยทองแดงหรือทองเหลืองบาง ๆ หุ้มก้นลูกกระสุนปืน เพื่อป้องกันตะกั่วส่วนก้นละลาย เนื่องจากความร้อนในกระสุนปืนแบบ High Temperature and Pressure

ง. Zinc Washer Base แบบนี้ส่วนก้นลูกกระสุนปืนจะชุบด้วยสังกะสี (Zn) เพื่อป้องกันไม่ให้ตะกั่วบริเวณก้นและด้านข้างของกระสุนปืนละลาย เนื่องจากความร้อน และยังทำหน้าที่เป็นตัวล้างเอาเศษตะกั่วที่ติดอยู่ภายในลำกล้องปืนให้ออกไปอีกด้วย

จ. Short or Half Jacketed แบบนี้มี Jacket หุ้มก้นลูกกระสุนปืนสูงมาประมาณ ¼ หรือ ¾ ของความสูงของลูกกระสุนปืน ทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้ตะกั่วบริเวณก้นและด้านข้างของลูกกระสุนปืนละลายติดลำกล้องปืนเช่นเดียวกัน

2. Jacketed Bullet เป็นลูกกระสุนปืนที่มีโลหะหุ้มแกนตะกั่ว หรือแกนเหล็กไว้อีกชั้นหนึ่ง ทำให้ดูเหมือนว่าลูกกระสุนปืนนั้นทำด้วยโลหะที่เห็นล้วน ๆ โลหะที่หุ้มอยู่ภายนอกเรียกว่า Jacket ส่วนแกนตะกั่วหรือแกนเหล็กที่อยู่ภายในเรียกว่า Core ในปัจจุบัน Jacket ส่วนใหญ่ทำด้วย ทองแดง 90 %,ดีบุก 5 % และสังกะสี 5 % บางชนิดทำด้วยเหล็กชุบนิเกิ้ล หรือชุบทองแดงแบบใหม่ล่าสุดทำด้วยอลูมิเนียม สำหรับ Core นั้นทำด้วยตะกั่วล้วน หรือบางทีอาจทำด้วยเหล็กก็ได้ซึ่งส่วนก้นของลูกกระสุนปืนแบบ Jacketed Bullet มี 2 แบบ คือ

ก. Flat Base แบบนี้ก้นลูกกระสุนปืนจะเรียบเสมอกัน และด้านข้างลูกกระสุนปืนก็ตรงตลอดเสมอกัน

ข. Boat Tail แบบนี้ก้นกระสุนปืนจะเรียบเสมอกัน แต่ด้านข้างลูกกระสุนตอนใกล้ก้นจะสอบเข้าหากันเล็กน้อย คือ ส่วนปลายใกล้ก้นของลูกกระสุนปืนจะเล็กกว่าตอนกลางของลูกกระสุนปืน เพื่อประโยชน์ในการลด Air Drag หรือลดการเสียดสีของอากาศกับลูกกระสุนปืนเมื่อใช้ยิงออกไป ทำให้ลูกกระสุนปืนนี้ยิงไปได้ไกลกว่า และมีวิถีกระสุนปืนแบบราบดีกว่าลูกกระสุนปืนแบบ Flat Base เมื่อมีความเร็วต้นเท่ากัน

ลูกกระสุนปืนที่มีความเร็วต้นตั้งแต่ 2,000 ฟุตต่อวินาทีขึ้นไป จะต้องเป็นแบบ Jacketed Bullet เพราะถ้าเป็นแบบ Lead Bullet จะทำให้ส่วนก้นและผิวด้านข้างของ

ลูกกระสุนปืนละลายได้ ทำให้มีเศษตะกั่วติดค้างอยู่ภายในลำกล้อง อันจะทำให้เกิดผลเสียต่อความแม่นยำของปืนกระบอกนั้น

ลูกกระสุนปืนมีชื่อเรียกแตกต่างกันออกไปมากมาย ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับรูปร่างลักษณะของลูกกระสุนปืนนั้น ตัวอย่างเช่น

1. Round Nose (RN) เป็นลูกกระปืนธรรมดาทั่ว ๆ ไปมีปลายหัวมน

2. Semi-Wad Cutter (SWC) เป็นลูกกระสุนปืนที่มีส่วนปลายที่พ้นปลอกกระสุนออกมามีขนาดเล็กกว่าส่วนใหญ่ที่อยู่ในปลอกกระสุน และส่วนปลายตัดตรงไม่มน

3. Wad Cutter (WC) เป็นลูกกระสุนปืนที่ส่วนปลายสั้นเสมอปากปลอกกระสุนปืนและส่วนปลายตัดตรง

4. Hollow Point (HP) เป็นลูกกระสุนปืนมีลักษณะคล้ายกันแบบ Round Nose แต่ที่ส่วนปลายสุดจะมีรูเจาะลึกลงไป พบได้ง่ายในกระสุนปืนลูกกรด ขนาด .22 Magnum

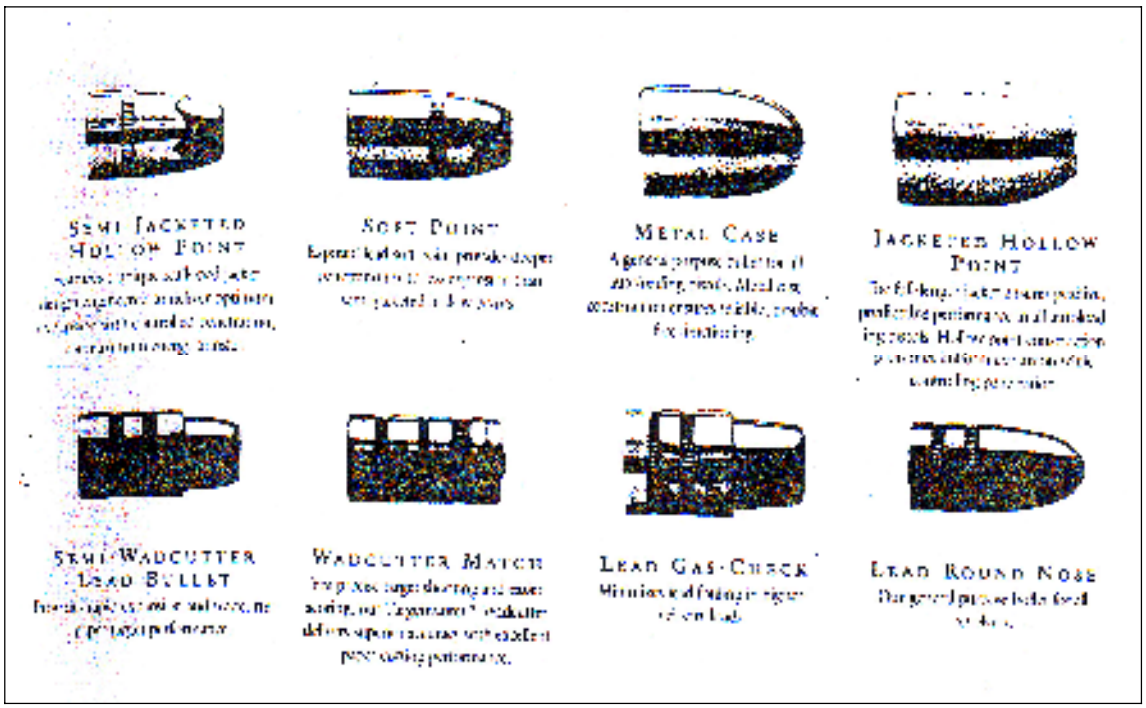
5. Full Metal Jacket (FMJ) เป็นลูกกระสุนปืนที่มี Jacket หุ้มทั้งหมด แต่ส่วนปลาย บางที่เรียกว่า Metal Case Bullet

6. Jacketed Hollow Point (JHP) เป็นลูกกระสุนปืนที่มี Jacket หุ้มแต่ส่วนปลายมีเจาะเข้าไปเนื้อของ Core ลึกพอควร

7. Jacketed Soft Point (JSP) เป็นลูกกระสุนปืนที่มี Jacket หุ้มเกือบหมดทั้งลูกยกเว้นตอนปลายสุดเป็นตะกั่วไม่มีรู

8. Point เป็นลูกกระสุนปืนที่ 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 เป็นลูกกระสุนปืนที่ใช้กับปืนทางการทหาร โดยส่วนปลายของลูกกระสุนปืนนี้จะแหลม และ Jacket เป็นทองแดง หรือเหล็กชุบทองแดง ส่วน Core จะทำด้วย Tungsten Carbine ซึ่งมีความแข็งมาก สามารถเจาะทะลุเกาะเหล็กได้ วัตถุประสงค์เพื่อใช้สำหรับยิงทะลุยานยนต์หุ้มเกราะของทหาร หรือยิงทะลุแผ่นวัตถุหรือโลหะที่มีความหนามาก ๆ



ภาพที่ 6 รูปร่างลักษณะของลูกกระสุนปืนแบบต่าง ๆ

ที่มา : พลตำรวจตรีอัมพร จารุจินดา. “การตรวจพิสูจน์อาวุธปืนและเครื่องกระสุนปืน.” เอกสารความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับอาวุธปืนและกระสุนปืนสำหรับผู้เข้าอบรม กองพิสูจน์หลักฐาน สำนักงานวิทยาการตำรวจ, 2542. (อัดสำเนา)

2.1.2.2 ปลอกกระสุนปืน

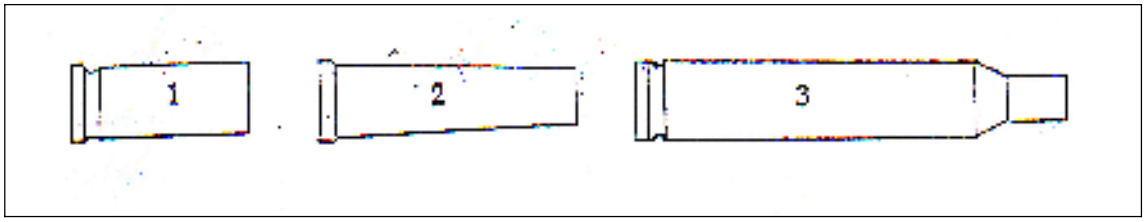
เมื่อมีการประดิษฐ์กระสุนปืนขึ้นได้ ในตอนแรกปลอกกระสุนปืนทำด้วยกระดาษแข็งจานท้ายเป็นทองเหลือง แต่กระดาษแข็งมีข้อเสียที่ว่า ปลอกกระสุนปืนจะบวมเมื่อถูกความชื้นทำให้ไม่สามารถใส่เข้าไปในรังเพลิงของอาวุธปืนได้ นอกจากนี้ยังทำได้ยากเมื่อเป็นกระสุนปืนขนาดเล็ก ๆ ต่อมาจึงพบว่า ทองเหลืองเป็นโลหะที่ดีที่สุดในการใช้ทำปลอกกระสุนปืน แต่สำหรับปลอกกระสุนปืนลูกซองยังทำด้วยกระดาษแข็งอยู่ เพราะเป็นปลอกกระสุนปืนที่มีขนาดใหญ่และยังเป็นการลดต้นทุนการผลิต เนื่องจากกระดาษมีราคาถูกกว่าทองเหลืองมาก ในปัจจุบันวิวัฒนาการของพลาสติกเจริญขึ้นมาก ปลอกกระสุนปืนลูกซองที่ผลิตจากประเทศที่เจริญแล้ว จะทำด้วยพลาสติกที่ทนความร้อนและแรงดันสูง อีกทั้งยังไม่เกิดการบวมของปลอกเมื่อถูกความชื้นอีกด้วย

ทองเหลืองเป็นโลหะผสมระหว่างทองแดงกับสังกะสี (Copper Zinc Alloy) ทองเหลืองที่ใช้ทำปลอกกระสุนปืนที่มีคุณภาพที่ดีที่สุด จะมีส่วนผสมของสังกะสี

ประมาณ 30 – 33 % ซึ่งปลอกกระสุนปืนที่มีใช้กันทั่วไปในปัจจุบัน ส่วนใหญ่ทำจากทองเหลือง ถึงแม้บางยี่ห้อจะมีปลอกเป็นสีขาวมันวาว ก็เป็นทองเหลืองชุบโครเมียมเพื่อความสวยงาม ดึงดูดผู้ซื้อนั่นเอง ปลอกกระสุนปืนที่ทำด้วยอลูมิเนียมจะมองเห็นเป็นสีขาวด้าน ๆ ส่วนปลอกกระสุนปืนที่ผลิตจากกลุ่มประเทศยุโรปตะวันออก เช่น โซเวียต, โปแลนด์, เชคโกสโลวาเกีย และประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีน จะทำด้วยเหล็กชุบทองแดง หรือสี Epoxy อบด้วยความร้อน เพื่อป้องกันสนิม ปลอกกระสุนปืนที่ทำด้วยโลหะอื่นนอกจากทองเหลืองแล้ว จะใช้ครั้งเดียวทิ้ง ไม่สามารถนำกลับไปอัดยิงใหม่ได้อีก

รูปร่างลักษณะภายนอกของปลอกกระสุนปืนจะมี 3 แบบ คือ

1. Straight Case
2. Tapered Case
3. Bottlenecked Case

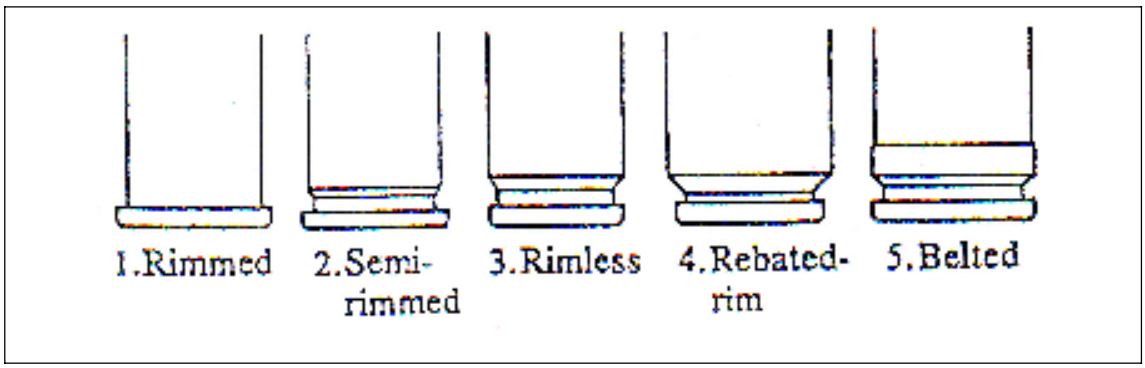


ภาพที่ 7 รูปร่างของปลอกกระสุนปืนทั้งสามแบบ

ที่มา : พลตำรวจตรีอัมพร จารุจินดา. “การตรวจพิสูจน์อาวุธปืนและเครื่องกระสุนปืน.” เอกสารความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับอาวุธปืนและกระสุนปืนสำหรับผู้เข้าอบรม กองพิสูจน์หลักฐาน สำนักงานวิทยาการตำรวจ, 2542. (อัดสำเนา)

รูปร่างลักษณะของส่วนท้ายปลอกกระสุนปืนมี 5 แบบคือ

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



ภาพที่ 8 รูปร่างลักษณะของส่วนท้ายปลอกกระสุนปืน
ที่มา : พลตำรวจตรีอัมพร จารุจินดา. “การตรวจพิสูจน์อาวุธปืนและเครื่องกระสุนปืน.” เอกสารความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับอาวุธปืนและกระสุนปืนสำหรับผู้เข้าอบรม กองพิสูจน์หลักฐาน สำนักงานวิทยาการตำรวจ, 2542. (อัดสำเนา)

กระสุนปืนแบบชนวนกลาง (Center Fire) ที่ออกแบบมาสำหรับใช้กับปืนรีวอลเวอร์ จะมีลักษณะของส่วนท้ายปลอกกระสุนปืนเป็นแบบ Rimmed เช่น .32 S&W, .38 Special, .44 Magnum เป็นต้น พวกที่ออกแบบมาเพื่อใช้กับปืน Semi-Automatic จะเป็นแบบ Semi-rimmed หรือแบบ Rimless ส่วนแบบ Rebated-Rim จะพบในปืนไรเฟิลที่ผู้ผลิตทำโครงปืนและลูกเลื่อนอาวุธปืน ที่เดิมใช้กระสุนปืนซึ่งมีแรงดันน้อยหรือขนาดเล็กกว่า มาดัดแปลงให้ใช้กับกระสุนปืนที่มีแรงดันสูงกว่า จึงจำเป็นต้องออกแบบกระสุนปืนให้โตกว่าเดิม แต่จานท้ายยังคงมีขนาดเล็กเท่ากับหน้าลูกเลื่อนเดิมของอาวุธปืนนั้น สำหรับแบบ Belted นั้น จะพบในกระสุนปืนไรเฟิลขนาดใหญ่ ๆ สร้างเพื่อให้ส่วนท้ายของปลอกกระสุนปืนแข็งแรงขึ้น เพื่อสามารถทนต่อแรงระเบิดจำนวนมหาศาล ในขณะที่ดินปืนถูกเผาไหม้ได้ จะพบเห็นกระสุนปืนไรเฟิลขนาด .357 Magnum ขึ้นไป

จากการที่ส่วนท้ายของปลอกกระสุนปืนมีด้วยกันถึง 5 แบบ ดังนั้นการออกแบบรังเพลิงของอาวุธปืนที่จะใช้กับกระสุนปืนแบบต่าง ๆ นั้น จะต้องพิถีพิถันเพื่อรองรับกระสุนแบบที่ใช้ให้พอดีทั้งความกว้าง ความยาว และรูปร่างเพื่อให้แน่ใจว่าในขณะที่ดินปืนไหม้และเกิดการระเบิดของแก๊สขึ้น ปลอกกระสุนปืนจะแนบสนิทกับผนังรังเพลิงทุกด้าน ถ้าหลอมจะเกิดปัญหาปลอกกระสุนบวมติดรังเพลิง ทำให้คัดปลอกไม่ออก

2.1.2.3 ดินส่งกระสุนปืน หรือดินปืน (Gun Powder, Propellant)

ดินส่งกระสุนปืน หรือดินปืน เป็นของแข็งซึ่งเมื่อเกิดการลุกไหม้จะให้แก๊สปริมาณมากในช่วงเวลาอันสั้น การลุกไหม้จะเกิดจากประกายไฟ หรือเปลวไฟที่ได้มาจากการ

ระเบิดของแก็ป หรือโดยวิธีอื่นก็ได้ ความรวดเร็วในการเผาไหม้ของดินปืนเป็นสิ่งสำคัญ หากเกิดการเผาไหม้เร็วเกินไป แก็สที่เกิดขึ้นก็เกิดอย่างรวดเร็วมาก มีความดันสูงเกินกว่าที่ลูกกระสุนปืนจะวิ่งออกจากลำกล้องปืนได้ทัน ลำกล้องปืนก็จะเกิดระเบิด ในทางตรงกันข้ามถ้าการเผาไหม้ช้าไป แก็สที่เกิดจะมีน้อยทำให้แรงขับดันลูกกระสุนปืนน้อยตามลงไปด้วย ก็จะทำให้วิถีกระสุนปืนไม่ดี หรือบางทีลูกกระสุนปืนอาจจะตกแค่ปากกระบอกปืนก็ได้ ดินปืนในปัจจุบันมี 3 แบบ

1. Black Powder (ดินดำ) เป็นดินปืนชนิดแรกที่ชาวยุโรปไปพบในประเทศจีน ซึ่งในขณะนั้นชาวจีนใช้ดินดำสำหรับทำประทัดและพลุเพื่อจุดในงานรื่นเริงต่างๆ โดยส่วนประกอบของดินดำ ประกอบด้วย ดินประสิว (Potassium Nitrate) ถ่านไม้ (Charcoal) และกำมะถัน (Sulphur) ซึ่งแต่เริ่มแรกนั้น อัตราส่วนผสมของสาร 3 ชนิดนี้มีด้วยกันหลายแบบ แต่อัตราส่วนมาตรฐานของดินดำในปัจจุบันที่ถือว่าเป็นอัตราส่วนโดยน้ำหนักที่ให้แรงระเบิดสูงสุด คือ ดินประสิว 75 % ถ่านไม้ 15 % และกำมะถัน 10 % ดินดำมีความไวต่อประกายไฟ มีจุดติดไฟที่ 500 °F และยังคงมีใช้กันอยู่ในปัจจุบัน

ภาพที่ 9 รูปร่างลักษณะของดินดำ

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

ปี ค.ศ. 1684 ได้มีการนำเอากระบวนการเคลือบผิวดินปืนมาใช้ เม็ดดินดำที่ยังไม่เรียบ จะนำมาเคล้าในถังไม้ขนาดใหญ่จนกระทั่งเม็ดดินมีผิวเรียบจึงเติมกราไฟต์

ลงไปเพื่อเคลือบ เม็ดดินที่ได้รับการเคลือบมาแล้ว จะดูดความชื้นได้น้อยกว่าและไหลลื่นได้ดีกว่าที่ไม่เคลือบ

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

ปี ค.ศ. 1742 BENJAMIN ROBINS นักคณิตศาสตร์ชาวอังกฤษ เป็นผู้ประดิษฐ์ BALLISTIC PENDULUM เพื่อหาความเร็วของลูกกระสุนในการกระทบโดยวัดแรงสะท้อนถอยหลังของ PENDULUM ที่ถูกกระแทก ได้แสดงให้เห็นความต้านทานของอากาศสำหรับลูกกระสุนที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงจะมีมากกว่าที่ความเร็วต่ำ นอกจากนี้ยังได้พัฒนาเครื่องวัดความเร็วต้นเครื่องแรกและทำการปรับปรุงเครื่องมือวัดกำลังการระเบิดอีกด้วย

ปี ค.ศ. 1784-1789 ได้มีการผลิตดินดำอัดเป็นแท่งที่ประเทศอังกฤษ โดยทำการอัดแผ่นดินดำก่อนนำไปทำเป็นเม็ดสำหรับ Pyrodex ที่ยิงแล้ว สามารถตรวจหาสารประกอบที่นอกเหนือจากดินดำ ได้หลายวิธี เช่น High Performance Liquid Chromatography, Energy Dispersive Elemental Analysis และ/หรือ FTIR (Infared Spectroscopy) เป็นต้น

3. Smokeless Powder (ดินควันน้อย) การพัฒนาดินควันน้อยนั้นเกิดขึ้นใกล้ ๆ กับการค้นพบ Guncotton, Nitroglycerine และ Dynamite โดยในปี 1845 Christian Schoenbein ชาวสวิสเป็นผู้ค้นพบ Guncotton ในปี ค.ศ. 1846 Alfred Nobel ชาวสวีเดน ได้พบ Dynamite แต่ทั้ง 3 นี้เป็นวัตถุระเบิดไม่สามารถนำมาใช้เป็นดินปืนได้ ทำให้มีการศึกษาหาวิธีทำดินปืนแบบใหม่ขึ้นมา เพื่อให้มีประสิทธิภาพสูงกว่าดินดำ และสามารถควบคุมอัตราการเผาไหม้ได้ ซึ่งมีผู้ค้นพบดินควันน้อยอยู่หลายคนด้วยกัน

ในปี ค.ศ. 1869 E.Schultz ชาวรัสเซีย เป็นคนแรกที่คิดได้ โดยการทำไม้ให้เป็นสารประกอบ Nitrate แล้วผสมกับ Barium Nitrate และ Potassium Nitrate ดินปืนแบบนี้ใช้ได้ดีกับกระสุนปืนลูกซอง แต่ยังคงเผาไหม้เร็วเกินไปสำหรับกระสุนปืนแบบอื่น ๆ

ในปี ค.ศ. 1870 Frederich Volkmann ชาวออสเตรีย ได้จดลิขสิทธิ์ดินปืนที่เข้าค้นพบโดยให้ชื่อว่า Collodin โดยใช้ไม้ Alder ป่นละเอียดแทนไม้ทั่ว ๆ ไป

ในปี ค.ศ. 1884 Vieile ชาวฝรั่งเศสและ Duttenhofer ชาวเยอรมันได้ละลาย Nitrocellulose ในAlcohol 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

และในปี ค.ศ. 1890 ดินควันน้อยก็ได้ถูกนำมาใช้เป็นดินปืนแทนดินดำ เนื่องจากดินควันน้อยให้แรงระเบิดสูงกว่าดินดำมากในปริมาณเท่ากัน และเมื่อใช้ยิงแล้วมีเขม่าหรือควันน้อยมากเมื่อเทียบกับดินดำ อีกทั้งง่ายต่อการควบคุมการจุดระเบิด แต่ข้อเสียคือ มีราคาแพงกว่าดินดำมาก และยังมีปัญหาเกี่ยวกับความปลอดภัยในการใช้ปืนสมัยใหม่นั้น ซึ่งสร้างจากเหล็กที่ทนแรงดันได้ไม่สูงนัก

ดินควันน้อยในปัจจุบันทำจากการนำเอา Cotton หรือ Cellulose Fiber อย่างอื่นทำปฏิกิริยาเคมีกับกรด Nitric และกรด Sulfuric เข้มข้น ได้สารประกอบทีมีชื่อว่า Nitrocellulose หรือ Cellulose Nitrate ดินควันน้อยที่ทำจากสารประกอบ Nitrocellulose เพียงอย่างเดียวเรียกว่า Single Base แต่ถ้าต้องการแบบที่มีแรงระเบิดสูงขึ้นใช้ Nitroglycerine ผสมเข้ากับ Nitrocellulose ในอัตราส่วนต่าง ๆ กัน แล้วแต่ว่าต้องการความเร็วในการเผาไหม้มากน้อยเพียงใด แบบนี้มีชื่อว่า Double Base การควบคุมอัตราการจุดระเบิดดินควันน้อย ทำให้ดินควันน้อยมีรูปร่างต่าง ๆ กัน เช่น ทำให้เป็นฝอย (Flake) , เป็นแผ่น (Disc), เป็นแท่ง (Tabular) หรือเป็นเม็ดกลม (Ball) เป็นต้น นอกจากนี้ยังเคลือบสารเคมีบางอย่างก็สามารถทำให้อัตราเร็วในการเผาไหม้แตกต่างกัน

ดินควันน้อยแบ่งออกเป็น 4 ชนิด

1. ฐานเดี่ยว (Single Base) มีส่วนประกอบหลัก คือ ไนโตรเซลลูโลส

2. ฐานคู่ (Double Base) มีส่วนประกอบหลัก 2 อย่าง คือ ไนโตรเซลลูโลส และไนโตรกลีเซอรีน หรือ DEGN

3. ฐานสาม (Triple Base) มีส่วนประกอบหลัก 3 อย่าง คือ ไนโตรเซลลูโลส, ไนโตรกลีเซอรีน และไนโตรกัวนิดิน หรือ ใช้ DEGN แทนไนโตรกลีเซอรีน

4. คอมโปสิต (Composite) ไม่มีไนโตรเซลลูโลสหรือไนโตรกลีเซอรีนประกอบอยู่เลย มีส่วนประกอบหลัก เช่น แอมโมเนียมพิเกรตเป็นเชื้อเพลิง โปแตสเซียมไนเตรทเป็นตัวให้ออกซิเจนและมีสารอื่น ๆ เป็นตัวยึด

1. ดินฐานเดี่ยว

1.1 ดินไพโรเซลลูโลส (pyrocellulose powder)

ดินส่งกระสุนที่ทำด้วยไนโตรเซลลูโลสชนิดแรกที่ได้นำมาใช้ คือ ดินไพโรเซลลูโลส ซึ่งทำมาจากไนโตรเซลลูโลสบริสุทธิ์ที่มีส่วนประกอบ ของไนโตรเจน 12.60 X 0.10 % ละลายในส่วนผสมของอีเธอร์และเอธานอล แล้วจึงนำมาทำเป็นเส้นมีรูเดียว หรือหลายรู ดินชนิดนี้ดูดความชื้นได้ง่าย และเมื่อทำการยิงจะให้เปลวไฟสว่างซึ่งเป็นลักษณะที่ไม่พึงประสงค์ แต่ก็ได้มีใช้เป็นมาตรฐานจนกระทั่งมีดินส่งกระสุนชนิด FNH (Flashless Nonhygroscopic) และ NH (Nonhygroscopic) ใช้เป็นมาตรฐานแทน

1.2 ดิน อี ซี เพราเดอร์ (E.C powder) เป็นดินส่งกระสุนที่เก่าแก่ชนิดหนึ่ง ประกอบด้วย

- ไนโตรเซลลูโลส
- แบเรียมไนเตรท
- โปแตสเซียมไนเตรท
- แป้ง/ออรีน
- ไดพินีลลามีน

ดินส่งกระสุนชนิดนี้มีความไวต่อแรงกระแทก การเสียดสี และดูดความชื้นได้ง่าย ใช้บรรจุในกระสุนซ้อมรบขนาด .30 กระสุนปืนลูกซองและใช้บรรจุในลูกระเบิดขว้างแบบเก่าได้ เพราะมีอัตราการลุกไหม้สูง และมีอำนาจการระเบิดพอ ๆ กับวัตถุระเบิดแรงสูง นอกเหนือจากที่กล่าวมาแล้ว ไม่มีใช้อย่างอื่นในราชการทหาร

1.3 ดินควันน้อยและเปลวน้อย (Flashless & Smokeless)

เดิมเรียกว่า FNH และ NH ดินชนิดนี้ดูดความชื้นน้อยกว่าดินไพโรเซลลูโลส ปัจจุบันเป็นดินส่งกระสุนมาตรฐานสำหรับกระสุนปืนเล็กและกระสุนปืนใหญ่ มีเปลวไฟและควันเกิดจากการยิงน้อยกว่าดินส่งกระสุนอื่น ๆ ดินส่งกระสุนชนิด M 1 กับ ปนร.75 มม. (ปืนใหญ่หนักวิถีกระสุนราบ) ปรากฏว่าเกิดเปลวไฟน้อย แต่ใช้กับ ปนร.8 นิ้ว (ปืนใหญ่หนักวิถีกระสุนราบ) ไม่ได้ผล เราประสงค์ที่จะให้ดินส่งกระสุนเกิดเปลวไฟน้อยกับอาวุธทุกชนิด แต่ยังเป็นไปไม่ได้เสมอไป ดินชนิดนี้ให้ความร้อนน้อย จึงทำให้ลดการสึกหรอของลำกล้องปืน

2. ดินฐานคู่ (Double base)

เป็นดินส่งกระสุนที่มีการใช้อย่างกว้างขวางทั้งกระสุนปืนเล็ก ปืนใหญ่ และจรวด JATO ดินส่งกระสุนปืนเล็กฐานคู่นี้ เดิมที่รู้จักกันในชื่อว่า BALLISTITE ของอังกฤษชื่อ “cordites” โดยไนโตรเซลลูโลสและไนโตรกลีเซอรีนเป็นสารหลัก และมีไดพินิลลามีนเป็น STABILIZER สำหรับดิน บัลลิสไตท์ ส่วนดินคอร์ไดท์ ใช้วุ้นปิโตรเลียมแทนต่อมาได้มีการปรับปรุง โดยลดอัตราส่วนของไนโตรกลีเซอรีนให้น้อยลงทำให้พลังงานศักย์ทางขีปนวิถีน้อยกว่า

ดินบัลลิสไตท์ แต่มีความคงทนดีกว่า ทำให้ลำกล้องสึกหรอน้อยกว่าและมีเปลวไฟน้อยกว่าเม็ดดินขับจรวดขนาดเล็ก ๆ นั้นทำได้โดยทำส่วนประกอบต่างๆ ให้เป็นสารละลายแล้วนำมาอัดเป็นเส้น เม็ดดินขนาดโต ๆ จำเป็นต้องอัดเป็นแผ่นก่อนแล้วนำมาม้วนเป็นแท่ง ดินขับจรวดจำเป็นต้องไม่มีรอยแตกแยกไม่มีรอยเป็นรู และจะต้องมีโครงสร้างเป็นอันหนึ่งอันเดียวกันถ้ามีลักษณะผิดปกติอาจทำให้เกิดการระเบิดและทำให้ส่วนขับเคลื่อนจรวดแตกได้ เม็ดดินขนาดเล็กก็พอจะตรวจด้วยสายตาได้ เม็ดดินขนาดโต ๆ จะต้องตรวจด้วยเอกซเรย์ และคลื่นซุปเปอร์โซนิค

3. ดินฐานสาม (Triple base)

พัฒนามาจากดินคอร์ไดท์ ซึ่งเป็นดินฐานคู่ของอังกฤษ โดยเพิ่มไนโตรกัวนิดินเข้าไป ทำให้มีอุณหภูมิการลุกไหม้ค่อนข้างต่ำ แต่ให้แรงขับดันได้มากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับดินส่งกระสุนอื่น ในการใช้งานมีความต้องการให้ลูกกระสุนมีความเร็วต้นสูงสุดเท่าที่จะทำได้ แต่การจะให้มีความเร็วต้นสูงจำเป็นต้องเพิ่มแรงขับดันของดินส่งกระสุน ซึ่งเป็นผลโดยตรงต่ออุณหภูมิในการเผาไหม้ของดินส่งกระสุน อุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นนี้จะทำให้ลำกล้องสึกกร่อนในอัตราทวีคูณเมื่ออุณหภูมิสูงกว่ากำหนด อุณหภูมิภายในรังเพลิงไม่เกินเกณฑ์ ที่กำหนดแต่ลูกกระสุนมีความเร็วต้นเพิ่มขึ้นจะทำให้ยืดอายุการใช้งานของลำกล้องได้เป็นอันมาก ดินส่งกระสุนฐานสามซึ่งมีไนโตรกัวนิดีนผสมอยู่ด้วยจะส่งผลให้เกิดแรงขับดันเพิ่มขึ้น โดยมีอุณหภูมิสูงสุดในรังเพลิงอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

4. ดินคอมโปสิต

การผลิตดินขับจรวดและ JATO จากดินฐานคู่ให้มีเม็ดดินขนาดใหญ่นั้นทำได้ยาก และมีผลทางขีปนวิถีไม่คงที่ จึงได้พัฒนาดินส่งกระสุนชนิดใหม่ขึ้นชื่อว่า "ดินคอมโปสิต" ซึ่งไม่มีไนโตรเซลลูโลส และไนโตรกลีเซอรีนเลย ตัวอย่าง ดินคอมโปสิตมีส่วนประกอบดังนี้

- แอมโมเนียมพิเกรต
- โปแตสเซียมไนเตรท
- เอธิลเซลลูโลส
- ลอริเนต
- แวกซ์
- แคลเซียมสเตียเรต

เราผลิตดินคอมโปสิต โดยผสมสารดังกล่าวกันเข้าแล้วผลิตให้เป็นรูปร่างตามต้องการ ดินคอมโปสิตนี้ มีข้อเสีย คือ เมื่อลุกไหม้จะให้ควันสีขาวเป็นจำนวนมาก

รูปร่างของดินส่งกระสุน

ดินส่งกระสุนมีรูปร่างลักษณะต่าง ๆ กันหลายแบบแต่ที่ใช้กันโดยทั่ว ๆไปมี

1. แผ่น (Strip)

2. เส้น (cord)

3. รูเดียว (Single perforated)

4. หลายรู (Multi perforated)

อัตราการลุกไหม้

1. ลดลง ได้แก่ ดินส่งกระสุนแบบแผ่นและแบบเส้น

2. คงที่ ได้แก่ ดินส่งกระสุนแบบรูเดียว

3. เพิ่มขึ้น ได้แก่ ดินส่งกระสุนแบบหลายรู

2.1.2.4 แก็ป (Primer cap)

แก็ป หรือชนวนท้ายกระสุนปืน จะอยู่บริเวณจานท้ายปลอกกระสุนปืน นับเป็นหัวใจของกระสุนปืนในปัจจุบัน ซึ่งกระสุนปืนแบบ Center Fire ยกเว้นของกระสุนปืนลูกซอง จะมี Primer Cap อยู่ 2 แบบ คือ

1. Standard ใช้กับกระสุนปืนพกขนาดเล็กทั่ว ๆ ไป ตัว Primer Cap มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.175 นิ้ว

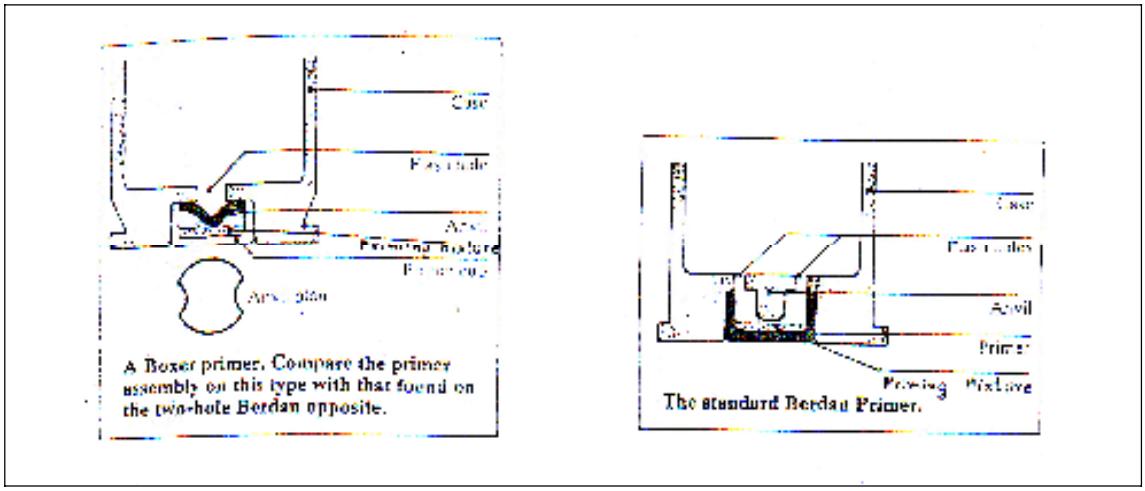
2. Magnum ใช้กับกระสุนปืนพกขนาดใหญ่ทั่ว ๆ ไป ตัว Primer Cap มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.210 นิ้ว

Primer Cap มีส่วนประกอบสำคัญอยู่ 3 ส่วน คือ

1. Primer Cup ทำด้วยโลหะทองแดง, ทองเหลือง หรือทองเหลืองชุบนิเกิล ทำหน้าที่เป็นตัวบรรจุ Priming Mixture

2. Priming Mixture เป็นวัตถุระเบิดประเภทกระทบแตก ทำหน้าที่เป็นตัวให้ประกายไฟจุดดินปืน

3. Anvil เป็นโลหะแข็ง ทำหน้าที่เป็นตัวรับการกระแทกของเข็มแทงชนวน ทำให้ Priming Mixture ที่อยู่ระหว่างกลางเกิดการระเบิดขึ้น



ภาพที่ 10 ส่วนสำคัญของ Primer Cap

ที่มา : พลตำรวจตรีอัมพร จารุจินดา. “การตรวจพิสูจน์อาวุธปืนและเครื่องกระสุนปืน.” เอกสารความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับอาวุธปืนและกระสุนปืนสำหรับผู้เข้าอบรม กองพิสูจน์หลักฐาน สำนักงานวิทยาการตำรวจ, 2542. (อัดสำเนา)

2.2 ที่มาของคราบเขม่าปืนที่เกิดจากการยิงปืน (GSR)

เมื่อมีการลั่นไกปืนเกิดขึ้น เข็มแทงชนวนจะไปกระทบที่ชนวนท้ายกระสุนปืน (Primer Cap) ซึ่งจะทำให้แก๊ปปืนที่อยู่ตรงชนวนท้ายกระสุนปืนนั้น เกิดการจุดชนวนเป็นประกายไฟแล้วไปเผาไหม้ให้ดินส่งกระสุนปืนซึ่งเป็นดินควันน้อย (Smokeless Powder) ที่บรรจุอยู่ภายในปลอกกระสุนปืน เกิดการลุกไหม้และให้แก๊สปริมาณมากอย่างรวดเร็วในเวลาอันสั้น แก๊สที่เกิดขึ้นนั้นจะขยายตัวทำให้เกิดความดันสูง หรือที่เรียกว่าการจุดระเบิด ทำให้กระสุนปืนสามารถวิ่งออกไปจากปากลำกล้องปืนเพื่อกระทบเป้าได้ นอกจากนี้ แรงระเบิดที่เกิดขึ้นจะผลักดันให้ไออนุภาคของสารต่าง ๆ ที่ถูกความร้อนเผาไหม้นั้น กระจายจากภายในอาวุธปืนออกมาสู่สิ่งแวดล้อมตามบริเวณช่องว่างต่าง ๆ ของอาวุธปืน ซึ่งไออนุภาคเหล่านี้เมื่อออกมาสู่บริเวณภายนอกที่มีความร้อนน้อยกว่าก็จะควบแน่นลงมา แล้วปลิวไปเกาะติดอยู่ที่บริเวณมือ เสื้อผ้า และพื้นผิวอื่น ๆ ที่อยู่บริเวณใกล้เคียง ซึ่งปริมาณมากน้อยของอนุภาคที่จะปลิวมาเกาะนั้น ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลักสำคัญหลายอย่าง เช่น ชนิด ขนาด และลักษณะรูปแบบของอาวุธปืนและกระสุนปืนที่ใช้ หรือสภาพพื้นที่ในขณะยิงปืน เช่น ยิงปืนภายในอาคาร หรือภายนอกอาคาร ก็จะทำให้ทิศทางการฟุ้งกระจายของไออนุภาคมีความแตกต่างกันด้วยเป็นต้น

ในขณะยิงปืนนั้น เขม่าที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ของชนวนท้ายกระสุนปืน (Primer Cap) จะก่อให้เกิดอนุภาคที่ประกอบด้วย ตะกั่ว (Pb), แบเรียม (Ba) และแอนติโมนี (Sb) ใน

ปริมาณที่แตกต่างกันไป นอกจากอนุภาคเหล่านี้แล้ว ก็ยังมีอนุภาคอื่น ๆ อีกหลายชนิดที่เป็นส่วนผสมอยู่ภายในกระสุนปืนด้วย โดยปกติแล้วขนาดของอนุภาคเหล่านี้ จะมีขนาดเล็กมากในระดับไม่กี่ไมครอน จนถึงกว่า 100 ไมครอน

ที่ชนวนท้ายของกระสุนปืน (Primer Cap) จะมีส่วนผสมของสารประกอบเคมีหลักสำคัญอยู่ 3 ส่วน ที่มีบทบาทสำคัญในการศึกษาและการวิเคราะห์ในเรื่องคราบเขม่าที่มาจากการยิงปืนด้วยกัน ได้แก่

1. Initiator เป็นเชื้อปะทุ มีคุณสมบัติ คือ เป็นสารประกอบเคมีที่สามารถระเบิดได้เองโดยไม่ต้องใช้ไฟจุด เป็นตัวเริ่มขบวนการเมื่อเข็มแทงชนวนกระทบแก๊ป Initiator ที่ใช้กันมากในปัจจุบัน คือ Lead Styphnate ($PbO_2C_6H(NO_2)_3$)

2. Oxidizer เป็นตัวให้ออกซิเจนเพื่อช่วยในการเผาไหม้ของ Fuel นิยมทำด้วย Barium Nitrate ($Ba(NO_3)_2$)

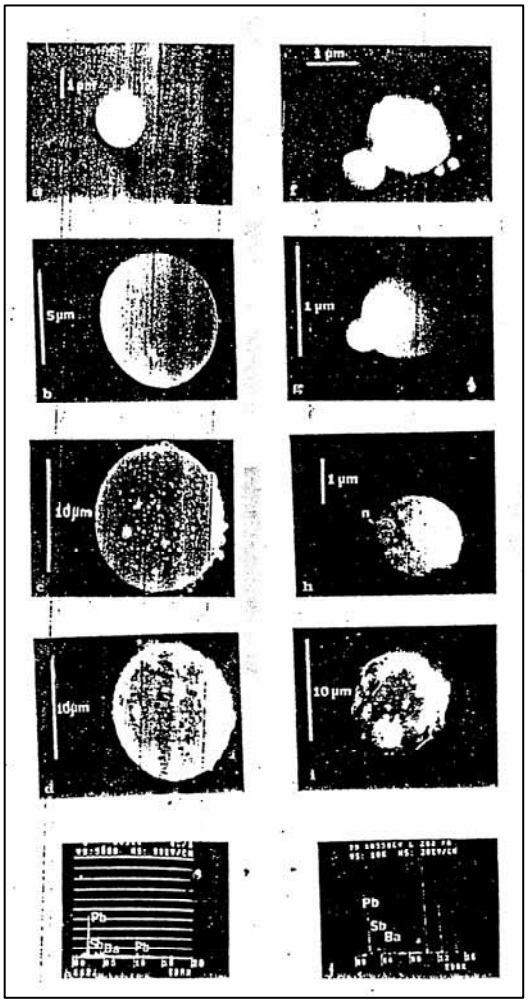
3. Fuel เป็นตัวทำให้เกิดเปลวไฟเพียงพอที่จะจุดดินปืนต่อไป นิยมใช้ Antimony Sulfide (Sb_2S_3) ซึ่งเชื้อปะทุที่ใช้กันมาในอดีต ได้แก่ Mercury Fulminate ($Hg(CNO)_2$), Stibnite (SB_2S_3) , Potassium Chlorate ($KClO_3$) และผงแก้ว (Powder Glass) แต่หลังจากสงครามโลกครั้งที่สองเป็นต้นมาจนถึงปัจจุบันมักจะใช้ Lead Styphnate ($PbO_2C_6H(NO_2)_3$), Stibnite (Sb_2S_3), Barium Nitrate ($Ba(NO_3)_2$) และ Tetracene ($C_{18}H_{12}$) โดยแต่ละบริษัทที่ผลิตจะมีองค์ประกอบของสารดังกล่าวแตกต่างกันออกไป

2.3 การเกิดอนุภาค GSR

เมื่อเข็มแทงชนวนกระทบที่ชนวนท้ายกระสุนปืน (Primer Cap) จะทำให้เกิดการระเบิดและเผาไหม้ขึ้นอย่างรวดเร็ว ในขณะนั้นจะเกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งอุณหภูมิและความดันสูงขึ้นเป็นอย่างมาก โดยภายในเวลา 1 millisecond อุณหภูมิจะสูงขึ้นเป็น 3,600 ºC และความดันเปลี่ยนเป็น 40,000 psi ซึ่งที่สภาวะนี้ จะมีอุณหภูมิสูงขึ้นกว่าจุดเดือดของตะกั่ว แบเรี่ยม และแอนติโมนี เนื่องจากตะกั่ว แบเรี่ยม และแอนติโมนี มีจุดเดือดเพียง 1,620 ºC, 1,140 ºC และ 1,380 ºC ตามลำดับ ดังนั้นธาตุโลหะทั้งสาม จึงเปลี่ยนสถานะเป็นไอ แต่เนื่องจากมีการอิ่มตัวของไอธาตุเหล่านี้มากเกินไป จึงเกิดการควบแน่นกลับคืนมาเป็นหยดเล็ก ๆ โดยที่ผิวของมันยังมีลักษณะเป็นของเหลวอยู่ โดยเหตุการณ์นี้จะเกิดอยู่ในสภาวะสมดุลไดนามิกที่อุณหภูมิ 1,500 – 2,000 ºC ความดัน 9,653 kpa (1,400 psi) และเมื่ออุณหภูมิลดลง หยดเล็ก ๆ เหล่านี้ก็จะแข็งตัวกลายเป็นคราบเขม่าที่มาจากการยิงปืนนั่นเอง

เนื่องจากอนุภาค GSR ที่เกิดจากการควบแน่นและรวมตัวของไอธาตุ Pb, Ba และ Sb นั่นมาจากการที่ไอธาตุได้เย็นตัวลงอย่างรวดเร็วภายหลังจากการเผาไหม้ของชนวนท้ายกระสุนปืน จึงทำให้รูปแบบหรือสัณฐานของอนุภาค GSR ที่เกิดขึ้นมีได้หลายแบบ โดย Basu ได้ทำการศึกษาสัณฐานของอนุภาค GSR และแบ่งออกเป็น 3 แบบ คือ

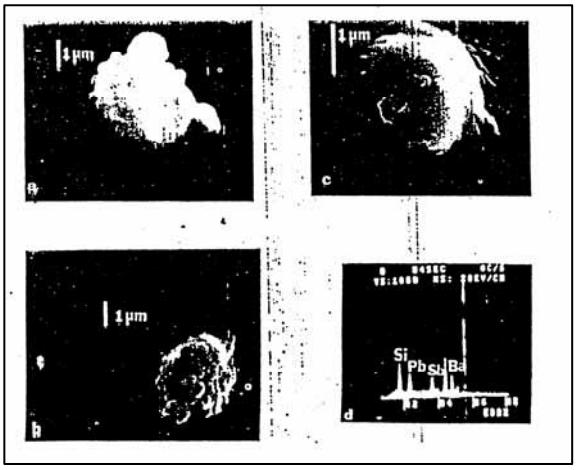
1. Regular Spheroids เป็นอนุภาคที่มีลักษณะเป็นทรงกลม และมีขนาดตั้งแต่ 1-10 ไมโครเมตร



ภาพที่ 11 ตัวอย่างอนุภาคแบบ Regular Spheroids

ที่มา : Samarendra Basu, “Formation of Gunshot Residue,” Journal of Forensic Science, no.27 (1982) : 76.

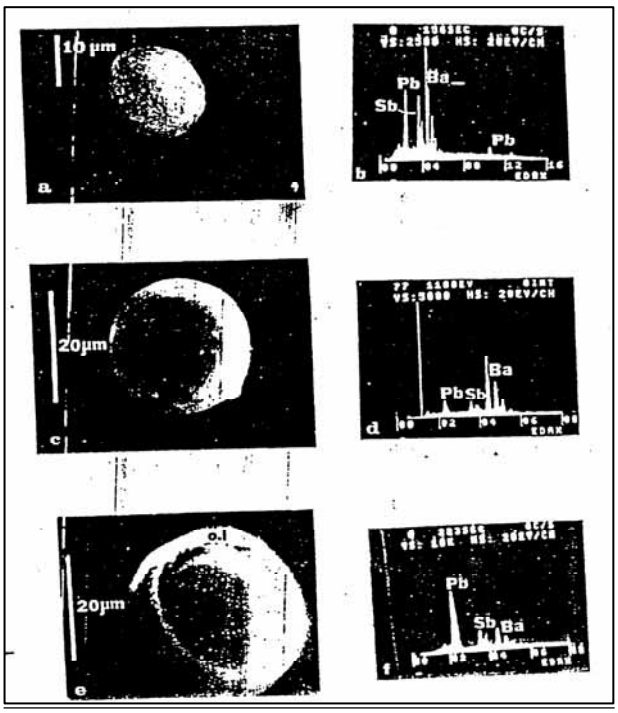
2. Irregular Particals หรือ Nodular Spheroids เป็นอนุภาคที่เกิดจากการรวมตัวของอนุภาคขนาดเล็กมาเกาะติดแน่นอยู่บนอนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่า ทำให้มีรูปลักษณ์เป็นทรงกลมโดยที่บริเวณผิวทรงกลมมีปุ่มงอกออกขึ้นมาอย่างเห็นได้ชัด



ภาพที่ 12 ตัวอย่างอนุภาคแบบ Irregular Spheroids

ที่มา : Samarendra Basu, “Formation of Gunshot Residue,” Journal of Forensic Science, no.27 (1982) : 77.

3. อนุภาคที่มีแบเรี่ยมและแอนติโมนีก่อตัวเป็นแกนกลาง โดยมีตะกั่วหุ้มล้อมรอบอยู่ภายนอกอนุภาค ซึ่งเรียกว่า “ Peeled Orange” เป็นผลเนื่องมาจากการเย็นตัวลงอย่างรวดเร็ว ทำให้แบเรี่ยมและแอนติโมนีแข็งตัวในเวลาใกล้เคียงกัน เพราะต่างมีจุดเยือกแข็งที่ใกล้เคียงกัน คือ 725 ºC และ 630.5 ºC ตามลำดับ ส่วนจุดเยือกแข็งของตะกั่วมีเพียง 327 ºC จึงเกิดการแข็งตัวช้าที่สุดเป็นเหตุให้อยู่ล้อมรอบสองธาตุดังกล่าว



ภาพที่ 13 ตัวอย่างอนุภาคแบบ Peeled Orange

ที่มา : Samarendra Basu, “Formation of Gunshot Residue,” Journal of Forensic Science, no.27 (1982) : 78.

2.4 การตรวจหาโลหะสำคัญในอนุภาค GSR เชิงคุณภาพด้วย SEM/EDS

จากรายงานของ Wolten G.M. และคณะที่ได้ทำการทดลองศึกษาลักษณะรูปแบบอนุภาคของ GSR ที่มือ โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน พบว่า ประมาณ 70 % ขึ้นไปของอนุภาคมักมีลักษณะสัณฐานเป็นทรงกลม (Spheroidal) และมีความสว่างจ้าของอนุภาคเกิดขึ้น อันเนื่องมาจากคุณสมบัติของโลหะหนักที่เป็นองค์ประกอบอยู่ภายในอนุภาค ทำให้สามารถจำแนกหรือแยกแยะอนุภาค GSR ออกจากอนุภาคปนเปื้อนอื่น ๆ ที่ไม่ได้มาจากการยิงปืนได้ อย่างไรก็ตามแม้สัณฐานอนุภาคของ GSR ส่วนใหญ่จะมีลักษณะเป็น Spheroidal แต่จากการวิเคราะห์มักพบอนุภาค GSR ที่มีลักษณะสัณฐานเป็น Irregularly Spheroidal ปะปนอยู่ด้วยเสมอ จึงจำเป็นที่ผู้ทำการตรวจวิเคราะห์ต้องมีความเชี่ยวชาญในการประมวลผลรูปลักษณ์อนุภาคต่างๆ เหล่านี้ (Wolten 1980)

จากการศึกษาสัณฐานของอนุภาค GSR ที่ได้จากการยิงมาจากอาวุธปืนพกรีวอลเวอร์และอาวุธพกกึ่งอัตโนมัติแบบละ 2 ยี่ห้อ 2 ขนาด คือ อาวุธปืนพกรีวอลเวอร์ ยี่ห้อ Colt Trooper ขนาด .357, อาวุธปืนพกรีวอลเวอร์ ยี่ห้อ Smith&Wesson 1917 ขนาด .45, อาวุธปืนพก

กึ่งอัตโนมัติ ยี่ห้อ Smith&Wesson MOD 39 ขนาด 9 มม. และอาวุธปืนพกกึ่งอัตโนมัติ ยี่ห้อ Colt 1911A1 ขนาด .45 โดยใช้กระสุนปืน 4 ยี่ห้อ ได้แก่ CCI, FED, REM และ WIN ซึ่งตัวอย่างที่เก็บมาตรวจวิเคราะห์จะประมวลด้วย CCSEM พบว่า

1. กรณีอาวุธปืนพกรีวอลเวอร์ 74 % ของอนุภาค GSR จะมีลักษณะสัณฐานเป็นทรงกลม (Spheroidal) และอนุภาคอีก 26 % จะมีรูปร่างเป็น Irregularly shaped

2. กรณีอาวุธปืนพกกึ่งอัตโนมัติ 59 % ของอนุภาค GSR จะมีลักษณะสัณฐานเป็นทรงกลม (Spheroidal) และอนุภาคอีก 41 % จะมีรูปร่างเป็น Irregularly shaped

3. ขนาดอนุภาคของ GSR ที่ได้จากการใช้อาวุธปืนรีวอลเวอร์ พบว่า 65 % ขนาดของอนุภาคจะเล็กกว่า 3 μm , 28 % อนุภาคจะมีขนาด 3 – 6 μm , 5 % อนุภาคจะมีขนาด 6 – 10 μm และอีก 2 % อนุภาคจะมีขนาดใหญ่กว่า 10 μm

4. สำหรับขนาดอนุภาคของ GSR ที่ได้จากการใช้อาวุธปืนพกกึ่งอัตโนมัตินั้น พบว่า 48 % ขนาดอนุภาคจะเล็กกว่า 3 μm , 29 % อนุภาคมีจะมีขนาด 3 – 6 μm , 9 % อนุภาคจะมีขนาด 6 – 10 μm และอีก 14 % อนุภาคจะมีขนาดกว่า 10 μm (Schwoeble,et.al. 2000)

เมื่ออนุภาคใดก็ตามที่มีธาตุโลหะ Pb, Ba และ Sb รวมตัวอยู่ด้วยกันในอนุภาคเดียวแล้ว นั่นคือคุณสมบัติหรือรูปแบบจำเพาะที่เป็นเอกลักษณ์ของอนุภาค GSR ดังนั้นการดูองค์ประกอบของธาตุที่อยู่ในอนุภาคจึงเป็นสิ่งที่สำคัญที่ใช้ในการลงความเห็นว่า อนุภาคที่เรากำลังวิเคราะห์อยู่นั้นเป็นอนุภาคที่เกิดจากการยิงปืนมาหรือไม่

โดยทั่วไปในแก๊ปปืนจะมีธาตุโลหะต่าง ๆ หลายชนิดเป็นองค์ประกอบ ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ

1. ประเภทที่แน่นอน (Unique Categories) ถ้าตรวจพบพร้อมกัน บอกได้แน่นอนว่าเป็นเขม่าที่มาจากการยิงปืน เมื่อตรวจพบว่าอนุภาคมีธาตุโลหะ Pb, Ba และ Sb เป็นองค์ประกอบ

2. ประเภทบ่งชี้ (Indicative Categories) ถ้าตรวจพบว่ามีธาตุเหล่านี้น่าเชื่อว่า เป็นอนุภาคของคราบเขม่าที่มาจากการยิงปืน 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)

โดยที่อนุภาค GSR ทั้ง 2 ประเภท อาจมีโลหะรองชนิดอื่นเป็นส่วนประกอบอยู่ด้วย ซึ่งธาตุโลหะรองเหล่านั้น ได้แก่ Si, Ca, Al, Cu, Fe, S, P, Ni, K, Cl และ Zn ดังจะเห็นได้จากรายงานของ Andrasko และ Machly ที่ทำการทดลองไว้ในปี ค.ศ. 1977 โดยได้ทำการตรวจหาธาตุต่าง ๆ ในชนวนท้ายกระสุนปืนหลายชนิดและขนาด ตามตารางที่ 1 และในอีก 5 ปีถัดมา Tazza และคณะได้มีรายงานการนำชนวนท้ายกระสุนปืนมาตรวจวิเคราะห์หาธาตุต่าง ๆ โดยใช้ SEM/EDS ด้วยเช่นกัน ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 1 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 (Swedan)	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 Sciences , no. 20 (1976) : 285.

ตารางที่ 2 แสดงโลหะต่าง ๆ ที่ตรวจพบใน GSR

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, $Ba(NO_3)_2$	7	Pb, Ba	Pb,$Ba(NO_3)_2$,PbO
.22 long-rifle Wincheater Super X Revolver	lead styhanate, $Ba(NO_3)_2$	10	Pb, Ba	Pb,$Ba(NO_3)_2$,Cu,PbO
5.56 mm. Winchester (USA) M-16 rifle	lead styhanate, $Ba(NO_3)_2$, Sb_2S_3, Alminium powder	7	Pb, Ba, Al, Sb	Pb,$BaAl_2O_4$,Sb.PbS
6.35 mm. Hirtenberg semiautomatic pistol	lead styhanate, $Ba(NO_3)_2$, $CaSi_2$	9	Pb, Ba, Ca, Si	Pb,$Ba(NO_3)_2$,PbO
7.65 mm. NATO,FN[a] Mauser rifle	lead styhanate, $CaSi_2$, $Ba(NO_3)_2$, Sb_2S_3	8	Pb, Ba, Ca, Si, Sb	Pb,PbS,Sb
7.65 x 39 mm. AK-47 (E.Germany) ammunition	$KClO_3$, Sb_2S_3	6	S, Cl, K, Sb	KCl,Sb
7.65 mm. NATO, FNM[b] (Portuguest) Mauser rifle	lead styhanate, $CaSi_2$, $Ba(NO_3)_2$, Sb_2S_3	4	Pb, Ba, Ca, Si, Sb	Pb.PbS,Sb
7.65 mm. SBP[c] semiautomatic pistol	lead styhanate, $CaSi_2$, $Ba(NO_3)_2$, tin	7	Pb, Ba, Ca, Si, Sn	Pb,$Ba(NO_3)_2$,,Sn
.38 Kynoch revolver	lead styhanate, $Ba(NO_3)_2$, $CaSi_2$	5	Pb, Ba, Ca, Si	Pb,$Ba(NO_3)_2$
.38 Remington Peters revolver	lead styhanate, $Ba(NO_3)_2$, Sb_2S_3	6	Pb, Ba, Al, Sb	Pb,$Ba(NO_3)_2$,,PbS,Ba Al_2O_4
9 mm. Parabellum Israeli SMG[d]	Lead compound, $KClO_3$, Sb_2S_3	12	Pb, Cl, K, Sb	Pb, KCl,PbS,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.

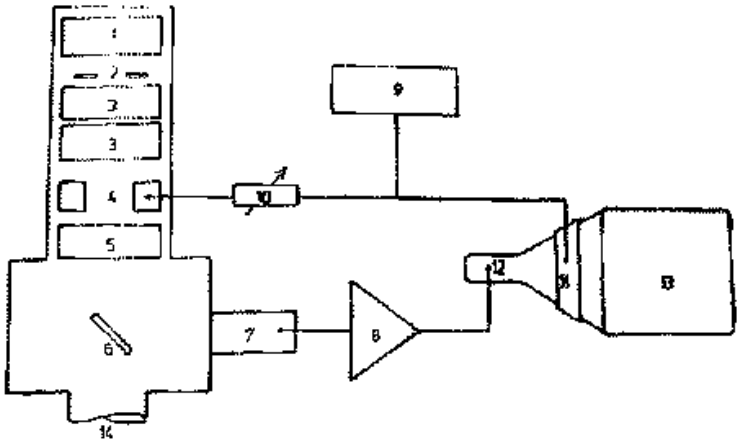
2.5 หลักการพื้นฐานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope) (วิฑูรย์ แซ่โง้ว 2549)

ภาพที่ 14 เครื่อง SEM/EDS ที่ใช้ในการวิจัย

Scanning Electron Microscope เรียกโดยย่อว่า SEM หรือในภาษาไทยเรียกว่า กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ใช้อิเล็กตรอนในการสร้างภาพขยาย เช่นเดียวกับ TEM แต่มีความแตกต่างในรายละเอียดของกระบวนการในการสร้างภาพอย่างมาก SEM เครื่องแรกประดิษฐ์ขึ้นในช่วงทศวรรษที่ ค.ศ. 1960 จากนั้น SEM ก็ค่อยๆกลายเป็นเครื่องมือที่นำไปประยุกต์ใช้แพร่หลายทั่วไป ทั้งในด้านวิทยาศาสตร์เทคโนโลยี การแพทย์ อุตสาหกรรม นิติวิทยาศาสตร์ โบราณคดี และอื่น ๆ อีกหลายด้าน

หลักการทำงานของ Scanning Electron microscope

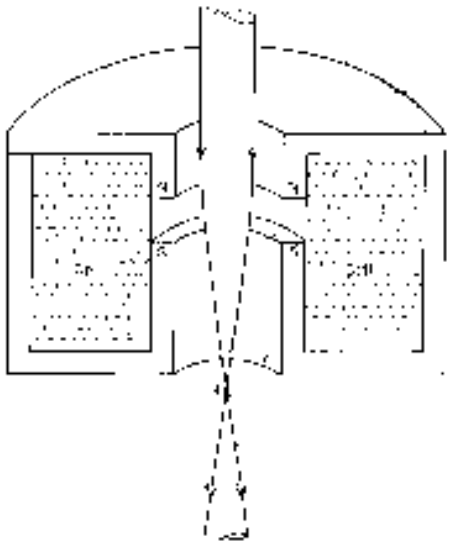
SEM มีหลักการสร้างภาพต่างจาก LM และ TEM เป็นอย่างมาก ซึ่งพอจะอธิบายได้ดังนี้



Layout of Scanning Electron Microscope

ภาพที่ 15 ส่วนประกอบที่สำคัญของ SEM

อิเล็กตรอนจะถูกสร้างขึ้นโดยใช้ Electron Gun จากนั้นลำอิเล็กตรอนจะถูกโฟกัสให้เข้มขึ้นและเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กลงโดย Condenser Lens จากนั้นจะถูกโฟกัสให้ตกลงบนผิวตัวอย่าง โดย Objective Lens ซึ่ง ณ ตอนนี้ อิเล็กตรอนที่ตกลงบนผิวตัวอย่างจะเป็นเพียงจุดที่เล็กมาก



ภาพที่ 16 ส่วนประกอบ Simplified electron lens (Cross-section)

Scan Coil จะควบคุมการกวาดของลำอิเล็กตรอนให้กวาดจากซ้ายไปขวา เมื่อสุดก็เลื่อนลงอีกขั้นและกวาดจากซ้ายไปขวาอีกครั้ง เป็นเช่นนี้จนครบ Frame การกวาดลำอิเล็กตรอนเช่นนี้เรียกว่า raster scan และเมื่อครบ frame แล้วก็จะไปเริ่มแสกนที่จุดแรกใหม่ ในการกวาดลำอิเล็กตรอนในแต่ละ frame จะถูกกำหนดจำนวนจุดและแถวไว้อย่างแน่นอน โดยในภาพตัวอย่าง 1 เฟรม ตามเส้นตามแนวนอนจะประกอบด้วยจุด 1000 จุด และมีทั้งหมด 1000 เส้น ที่ผิวตัวอย่างที่อิเล็กตรอนตกใส่ จะเกิดสัญญาณอิเล็กตรอนขึ้นหลายรูปแบบซึ่งคล้ายกับการที่แสงตกกระทบวัตถุและสะท้อนออกจากผิววัตถุ ในที่นี้ถ้ากล่าวอย่างง่าย ๆ ว่าถ้าผิวตัวอย่างเรียบก็จะให้สัญญาณสะท้อนอิเล็กตรอนได้ดี แต้ถ้าผิวตัวอย่างเป็นหลุมลึกก็จะไม่ให้สัญญาณหรือให้ได้น้อย ซึ่งเราสามารถรับสัญญาณได้โดยใช้ Detector ที่เหมาะสมกับชนิดของสัญญาณ สัญญาณที่ได้จะนำมาขยายให้มีความแรงที่เหมาะสมแล้วนำมาสร้างเป็นภาพ

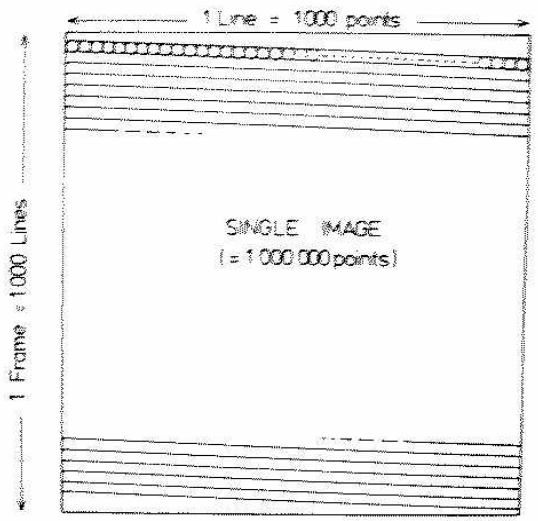


Fig. 1.2d. *Raster scan*

ภาพที่ 17 แสดงการกวาดของลำอิเล็กตรอนใน 1 เฟรม

เราใช้หลอดรังสีแคโธด (Cathod ray tube, CRT) เพื่อแสดงภาพ ในหลอดรังสีแคโธดจะมีการสร้างลำอิเล็กตรอนและถูกบีบให้เป็นลำเล็กๆ แต่มีเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่าในกล้อง SEM มาก กล่าวคือใน SEM ลำอิเล็กตรอนมีขนาดศูนย์กลางในระดับนาโนเมตร คืออาจต่ำได้ถึง 5 นาโนเมตรหรือต่ำกว่า แต่ในจอ CRT มีขนาดศูนย์กลางประมาณ 0.1 เซนติเมตร เมื่อพิจารณาอัตราส่วนของลำอิเล็กตรอนของ SEM ต่อ CRT จะพบว่าห่างกันถึง 20000 เท่า ทำให้เกิดเป็นอัตราส่วนของกำลังขยายที่จะให้ภาพที่มีรายละเอียดได้ดี ซึ่งจะได้กล่าวต่อไป

การแสกนใน CRT จะถูกควบคุมให้มีการสแกนแบบ Raster scan พร้อม ๆ กับการสแกนของลำอิเล็กตรอนในกล้อง ขณะเดียวกันความสว่างของจุดอิเล็กตรอนใน CRT จะขึ้นอยู่กับความแรงของสัญญาณจาก Amplifier ที่ขยายสัญญาณจาก Detector รับสัญญาณอิเล็กตรอนในกล้อง ถ้าสัญญาณแรงก็จะให้ความสว่างของลำอิเล็กตรอนมาก เมื่อส่งลงบนจอของ CRT ก็จะปรากฏเป็นจุดสว่าง ในทางกลับกันถ้าสัญญาณเบาก็จะได้จุดที่มีความสว่างน้อย บนจอก็จะปรากฏเป็นจุดสว่างน้อยด้วย บนจอ CRT จะทำการเรียงจุดของสัญญาณที่ได้นี้เป็นแถวจนครบเฟรมก็จะได้เป็นภาพออกมา

ถ้าบนจอ CRT มีขนาดกว้างและยาวเป็น 20 เซนติเมตร และเรากำหนดการกวาดลำอิเล็กตรอนในกล้อง ให้ 1 เฟรมมีพื้นที่ขนาด กว้างยาวเป็น 20 เซนติเมตรด้วย อัตราส่วนการขยายของภาพก็จะเป็น 1 เท่า แต่ถ้าเราให้การกวาดลำอิเล็กตรอนในกล้องเป็นพื้นที่ 1 x 1 เซนติเมตร ก็จะขยายภาพเป็น 20 เท่า แต่ในความเป็นจริงขนาดของการสแกน 1 เฟรมในกล้องอาจควบคุมให้

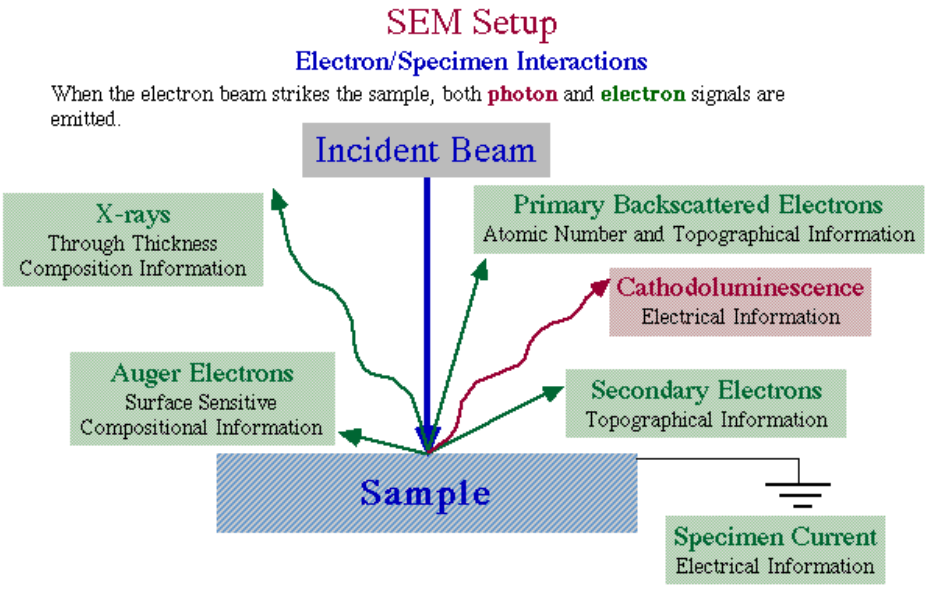
เล็กมากถึงระดับไมโครเมตร โดยที่การสแกนบนหน้าจอยังเท่าเดิม ดังนั้นการขยายจึงได้ถึงระดับหมื่นเท่า

2.5.1 สัญญาณที่เกิดขึ้นเมื่ออิเล็กตรอนกระทบผิวตัวอย่าง

อิเล็กตรอนจาก Column ของ SEM เราเรียกว่า Primary Electron เมื่อตกกระทบผิวตัวอย่างจะมีสัญญาณหลายอย่างเกิดขึ้น แต่พอจะแบ่งเป็นกลุ่มได้สองกลุ่ม คือ

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

สัญญาณที่นำมาใช้ประโยชน์ใน SEM มี 4 ชนิด ได้แก่

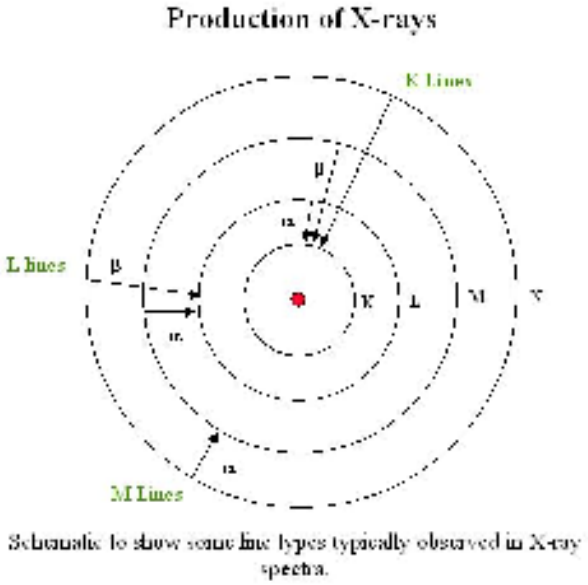


ภาพที่ 18 สัญญาณที่เกิดจากการที่อิเล็กตรอนชนกับชิ้นตัวอย่าง

a. <u>Secondary Electrons</u> (SE) เป็นอิเล็กตรอนพลังงานต่ำที่เกิดจาก Primary Electrons ไปชนเอาอิเล็กตรอนที่ผิวตัวอย่างหลุดออกมา โดยจะหลุดออกจากผิวตัวอย่างที่ความลึกจากพื้นผิวไม่เกิน 10 นาโนเมตร ให้ภาพที่มีรายละเอียดสูง ความเข้มของ SE จะขึ้นกับมุมที่ Primary Electrons ตกใส่ และสภาพพื้นผิวตัวอย่าง ให้ภาพที่มีรายละเอียดสูง ภาพที่ได้จาก SE เรียกว่า Secondary Electron Image, SEI

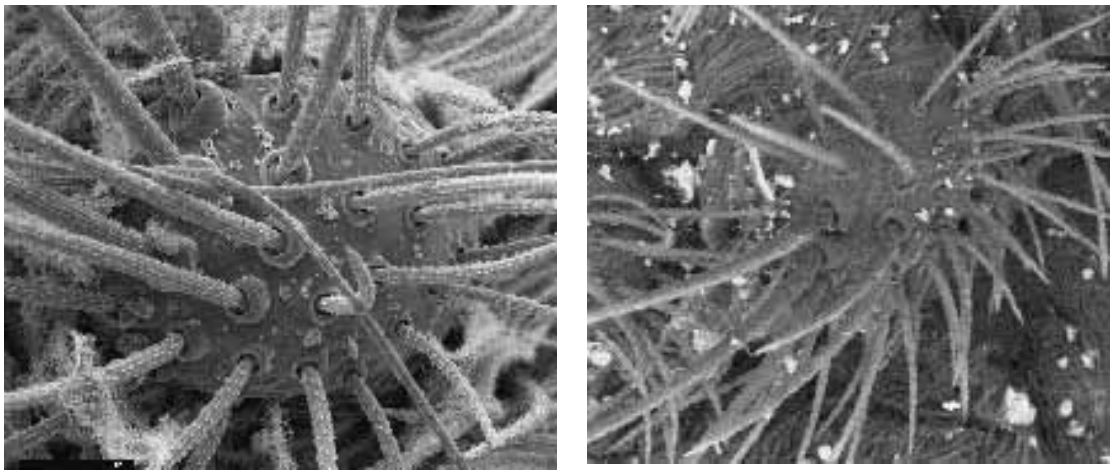
b. <u>Back Scattered Electrons</u> (BSE) คือ Primary Electrons ที่กระเจิงกลับออกมาจากผิวตัวอย่าง กล่าวคือ เมื่อ Primary Electrons วิ่งเข้าใกล้หรือเข้าชนนิวเคลียสของอะตอมบนผิวตัวอย่างก็จะเกิดการเปลี่ยนทิศทางกระเจิงกลับออกมาจากผิวตัวอย่าง โดย BSE จะเกิดมากกับธาตุที่มีเลขอะตอมสูง ความเข้มของสัญญาณ BSE จะขึ้นกับมุมที่ Primary Electrons ตกใส่ตัวอย่าง และยังขึ้นกับเลขอะตอมของธาตุที่ผิวตัวอย่าง ภาพที่ได้จาก BSE เราเรียกว่า Back Scattered Electron Image (BEI) หรือ Primary Electron Image

c. <u>Characteristic X-rays</u> เกิดจากการที่เมื่ออิเล็กตรอนวงในของธาตุตัวอย่างถูกชนโดย Primary Electrons จนหลุดออกไป ก็จะเกิดเป็นระดับชั้นพลังงานที่ว่าง ทำให้อิเล็กตรอนที่ระดับพลังงานสูงกว่าลดระดับพลังงานลง พร้อมกันนี้ก็จะปล่อยพลังงานในรูป X-Rays ออกมา พลังงานของ X-Rays ที่ได้จะมีรูปแบบของระดับพลังงานเฉพาะตัวแตกต่างกันไปในแต่ละธาตุ เรียกว่า Characteristic X-Rays ดังนั้นจึงสามารถทำให้วิเคราะห์หาธาตุองค์ประกอบที่ผิวตัวอย่างโดยอาศัยประโยชน์จากการวิเคราะห์พลังงานหรือความยาวคลื่นของ X-rays ที่เกิดขึ้นนี้

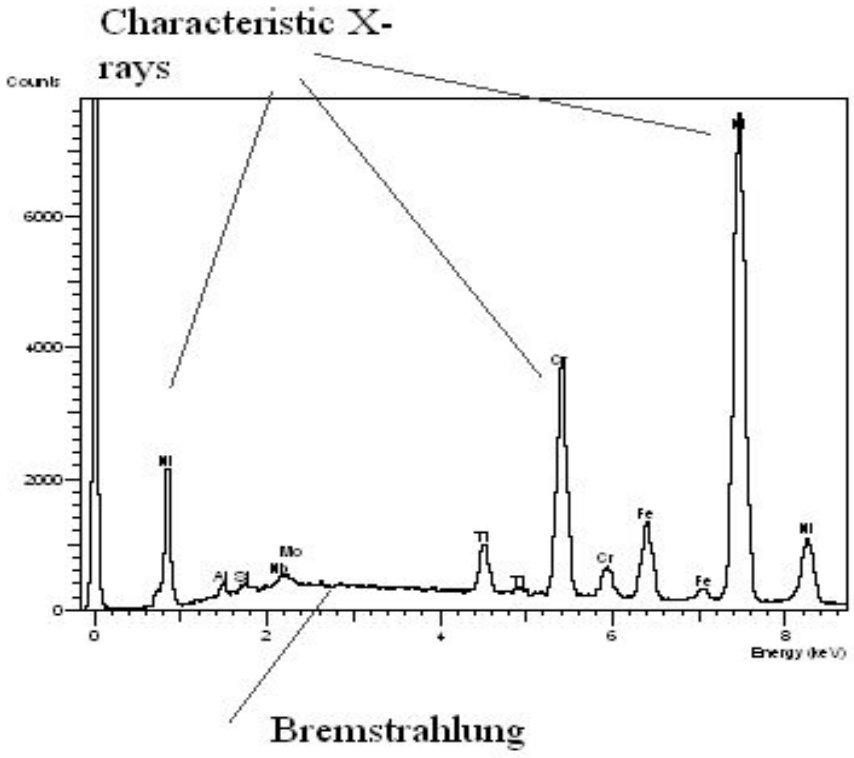


ภาพที่ 19 โครงสร้างอะตอม และการเกิด X-rays

d. <u>Cathodoluminescence</u> ธาตุบางชนิดเมื่อได้รับการถ่ายทอดพลังงานจาก Primary Electrons ก็จะปลดปล่อยพลังงานในรูปของแสงในช่วงที่ตาเห็นหรืออาจเลยไปถึงช่วง UV ปรากฏการนี้เกิดขึ้นในตัวอย่างบางชนิดเท่านั้น



ภาพที่ 20 ภาพเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่าง SEI กับ BEI ของคราบแมลงที่อาศัยในทราย
ซ้าย - SEI เห็นรายละเอียดที่ผิวอย่างชัดเจน
ขวา - BEI ผงทรายที่ติดอยู่เป็นเม็ดสีขาวเกิดจาก น้ำหนักอะตอมของ Si ในทรายมีมากกว่าองประกอบคาร์บอนในคราบแมลง



ภาพที่ 21 X-Rays Spectrum ที่ได้จาก SEM/EDS

2.5.2 ข้อจำกัดและสภาวะในการเดินเครื่อง SEM

ใน SEM เครื่องหนึ่ง ถ้าเราควบคุมสภาวะในการเดินเครื่องที่ต่างกัน จะทำให้เราถ่ายภาพออกมาได้ต่างกัน ภาวะเหล่านี้บางข้อนั้น เป็นข้อจำกัดของการทำงานด้วยเครื่องด้วย ข้อจำกัดและสภาวะที่สำคัญมีดังนี้

1. Resolution และกำลังขยายของ SEM ไม่ได้ถูกกำหนดที่ความยาวคลื่นของอิเล็กตรอนเหมือนกับ Transmission Electron Microscope (TEM) แต่มันจะถูกจำกัดด้วยขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของลำอิเล็กตรอน (Beam Diameter) กล่าวคือ เมื่อวางตัวอย่างห่างจากปลาย Column ที่ระยะหนึ่งใช้ลำอิเล็กตรอนที่เล็กลง เครื่องจะมีกำลังแยกที่ดีขึ้น แต่เครื่องโดยทั่วไปสามารถบีบลำอิเล็กตรอนได้เล็กที่สุดประมาณ 5 นาโนเมตร ใน SEM บางรุ่นบางยี่ห้อจะบีบได้เล็กกว่านี้ แต่ต้อง operate ที่ศักดิ์ไฟฟ้าที่สูงมาก ซึ่งจะทำให้เกิดปัญหาในเรื่องความคลาดเคลื่อนของเลนซ์สูงและการใช้งานยากขึ้น

กำลังขยายของ SEM จะสัมพันธ์กับ Beam Diameter โดยถ้าในการสแกน 1 เฟรม ถูกกำหนดให้มี 2,000 จุด และ 2,000 เส้น และหน้าจอ CRT สำหรับแสดงภาพมีขนาด 20 เซนติเมตรแล้ว นั่นเอง แต่ละเส้นจะมีขนาดเท่ากับ 0.1 มิลิเมตร ซึ่งค่านี้ก็คือค่า Screen Resolution ของจอโดยกำลังขยายสูงสุดของเครื่องสามารถคำนวณได้ดังนี้

กำลังขยาย = Screen Resolution / Beam Diameter

= 0.1 nm. / 5 nm. = 20,000 เท่า

ค่ากำลังขยาย 20,000 เท่า เป็นกำลังขยายสูงสุดของ SEM ทั่วไปที่มีอยู่ แต่ในสเปคเครื่องส่วนมากมักจะระบุกำลังขยายสูงสุดเกินค่านี้ไป ซึ่งภาพที่ได้จากการขยายเกินจุดนี้มักจะขาดความคมชัดไป

2. Accelerating Voltage คือ ศักดิ์ไฟฟ้าที่ใช้ในการเร่งความเร็วของอิเล็กตรอน มีหน่วยเป็น kV โดยทั่วไปความคลาดเคลื่อนของเลนซ์อิเล็กตรอน (Chromatic Aberration) จะลดลงเมื่อใช้ Acceleration Voltage ที่สูงขึ้น แต่อิเล็กตรอนที่ศักดิ์ไฟฟ้าสูงจะมีค่าพลังงานสูงมาก ซึ่งจะมีผลให้วิ่งทะลุเข้าไปในตัวอย่างที่มีเลขอะตอมต่ำได้ลึกเกินความต้องการ ทำให้ภาพที่ได้ไม่คมชัดดังความต้องการ ทำให้เกิดความร้อนที่ตัวอย่างเป็นผลให้เกิดความเสียหายของตัวอย่างได้ อีกทั้งยังทำให้เกิดการสะสมประจุที่ผิวตัวอย่างสูง (Charge up)

3. Scan Speed กล่าวง่าย ๆ ว่า ก็คือ ความเร็วที่อิเล็กตรอนสแกนบนผิวตัวอย่าง ซึ่งถ้าใช้ความเร็วสูงจะแสดงภาพที่หยาบมีสัญญาณรบกวนมาก ใน SEM โดยทั่วไปจะสแกนได้เร็วที่สุด 25 เฟรมต่อวินาที ซึ่งเท่ากับการสแกนในโทรทัศน์ ดังนั้นจึงเรียกการสแกนแบบนี้ว่า TV Mode ซึ่งมีประโยชน์มากในการปรับหาตำแหน่งของตัวอย่าง เพราะจะแสดงภาพได้เร็วขึ้น แต่ถ้าเราสแกนช้าลง สัญญาณที่ได้ก็จะดีขึ้นและมีความคมชัดมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากว่า ในการเคลื่อนที่ของจุดลำอิเล็กตรอนบนผิวตัวอย่างนั้น จะมีสัญญาณอิเล็กตรอนเกิดขึ้น ดังนั้นถ้ามีการเคลื่อนที่เร็วประสิทธิภาพของการให้สัญญาณจะน้อย สัญญาณที่เข้าสู่ Detector จะน้อยด้วย Amplifier ที่ขยายสัญญาณจะต้องขยายสัญญาณมากขึ้น เป็นผลให้สัญญาณรบกวนถูกขยายตามไปด้วย ดังนั้น สัญญาณที่ส่งไปยังจอ CRT จึงขาดความคมชัดเนื่องจากมีสัญญาณรบกวนมากนั่นเอง ในทางกลับกันถ้าเราใช้ Scan Speed ที่ช้าลง สัญญาณรบกวนไม่ถูกขยาย ทำให้ภาพที่ได้มีความคมชัดมากขึ้น แต่การแสดงภาพช้า และอาจเกิดความร้อนบนผิวตัวอย่าง ซึ่งถ้าตัวอย่างมีความเปราะบางก็จะทำให้เกิดความเสียหายของตัวอย่างเกิดขึ้น และอาจเกิด Charging up ได้

4. Spot Size คือ ขนาดของจุดอิเล็กตรอน แม้ว่า Resolution ของ SEM จะขึ้นกับเส้นผ่าศูนย์กลางของลำอิเล็กตรอน (Spot Size) แต่ถ้าเราใช้ Spot Size ที่เล็กมากจะทำให้สัญญาณอิเล็กตรอนจากผิวตัวอย่างออกมาน้อยด้วย เป็นผลให้ Amplifier ต้องขยายสัญญาณมาก สัญญาณรบกวนจึงมากตามไปด้วย ดังนั้นในการใช้กำลังขยายสูงที่มีความจำเป็นต้องใช้ Spot Size ขนาดเล็กจึงต้องใช้ Scan speed ที่ช้า ในทางกลับกันถ้าเราต้องการกำลังขยายต่ำ เราสามารถทำงานได้ง่ายและเร็วขึ้น โดยการใช้ Spot Size ที่ใหญ่ขึ้นและใช้ Scan Speed ที่ค่อนข้างเร็ว ทั้งนี้ Spot Size ที่ใหญ่ จะให้สัญญาณอิเล็กตรอนได้มาก จึงชดเชยกับการใช้ Scan Speed ที่เร็วขึ้นได้นั่นเอง

5. Working Distance ใน SEM คือ ระยะห่างระหว่างวัตถุกับ Final Objective Lens โดยทั่วไปมีค่าอยู่ระหว่าง 5 – 40 มิลิเมตร ซึ่งเมื่อใช้ค่า Working Distance มาก ก็จะทำให้มีการชัดลึกของภาพสูง แต่ในขณะที่หากต้องการถ่ายภาพที่มีกำลังขยายสูง ๆ จะต้องใช้ Working Distance ต่ำ

6. Aperture Size เป็นแผ่นโลหะบาง ๆ ที่มีรูอยู่ตรงกลาง โดยมีเส้นผ่าศูนย์กลางระหว่าง 25 ถึง 1,000 ไมโครเมตร Aperture จะช่วยลดการคลาดเคลื่อนของเลนส์อิเล็กตรอนได้ ถ้าเราต้องการภาพถ่ายที่มีกำลังขยายสูงและมีความชัดลึกมากเราต้องใช้ Aperture ขนาดเล็ก แต่ภาพที่ได้จะมีสัญญาณรบกวนสูง ในทางกลับกันภาพที่มีกำลังขยายต่ำ ไม่มีความจำเป็นที่จะต้องใช้ Aperture เล็ก แต่จะมีความชัดลึกที่ไม่ดี ดังนั้นในการเลือกใช้ขนาดของ Aperture ต้องเลือกใช้ให้เหมาะสมกับภาพที่เราต้องการ

ดังนั้น ในการใช้งาน SEM เพื่อถ่ายภาพให้ได้ตามที่ต้องการ จึงต้องอาศัยความเข้าใจในด้านพื้นฐานมากพอสมควรและต้องมีความชำนาญอยู่บ้าง จึงจะได้ภาพที่สวยงามตามต้องการ แม้ว่าในปัจจุบันกล้อง SEM จะมีการปรับ Focus, Brightness และ Contrast ได้โดยอัตโนมัติก็ตาม แต่สำหรับการปรับที่ละเอียดหรือการปรับที่กำลังขยายสูงยังคงต้องใช้การปรับด้วยมืออยู่

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

พ.ศ. 2535 รัชนารถ กิตติดุษฎี ศึกษาการตรวจหาคราบเขม่าปืนที่มือโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนที่มี Energy Dispersive X-Ray Spectrometer จากผลการศึกษาวิจัยพบว่า การตรวจหาคราบเขม่าปืนที่มือโดยวิธีที่ใช้ กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนที่มี Energy Dispersive X-Ray Spectrometer นี้นั้น เป็นวิธีที่ให้ผลดี สามารถตรวจหา

คราบเขม่าปืนที่มีมีการยิงปืนนานเกินกว่า 6 ชั่วโมง ซึ่งสามารถมองเห็นลักษณะ จนกระทั่งถึงขนาด นอกจากนี้ยังสามารถตรวจพิสูจน์ธาตุได้ทุกชนิด

พ.ศ. 2547 วิวัฒน์ ชินวร ศึกษาการตรวจวิเคราะห์อนุภาคเขม่าปืนบนตัวอย่างเสื้อ โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ควบคู่ไปกับเทคนิคการวิเคราะห์รังสีเอ็กซ์แบบ EDX โดยไม่ต้องทำการเคลือบผิวตัวอย่างด้วยคาร์บอนหรือทองคำ โดยสามารถศึกษารูปสัณฐานกลมที่เป็นลักษณะเฉพาะของอนุภาคเขม่าปืน, ตรวจหาธาตุที่เป็นองค์ประกอบ (Pb, Ba และ Sb) และระยะเวลาการคงอยู่ของเขม่าปืนเมื่อยิงปืน

ค.ศ. 1976 J. Andrasko และ A.C. Maehly ทำการศึกษาวิเคราะห์อนุภาค GSR บนมือ โดยวิธี SEM ภายหลังการยิงปืน ซึ่งตรวจหาธาตุสำคัญที่ประกอบใน GSR ได้แก่ Pb, Ba, Sb โดยใช้ tape lift เก็บจากมือ และพบว่าหลังจากล้างมือด้วยน้ำเบา ๆ และเช็ดด้วยผ้ายังสามารถตรวจพบอนุภาค GSR อยู่ ส่วนการล้างมืออย่างพิถีพิถันด้วยสบู่จะทำให้อนุภาค GSR หลุดออกไปได้

ค.ศ. 1991 J. Andrasko และ S. Pettersson ได้ออกแบบอุปกรณ์อย่างง่ายสำหรับการเก็บตัวอย่างอนุภาคเขม่าปืนจากเสื้อผ้า ภายในถุงหรือกระเป๋า และอื่น ๆ ซึ่งได้ถูกนำมาอธิบายการเก็บโดยใช้ vacuuming ผ่านตัวกรองสองชั้นซึ่งทำจาก Nucleopore aerosol holder ต่อกับ vacuum cleaner อนุภาคที่ถูกเก็บจะถูกนำมาทดสอบโดยเครื่อง SEM ผลที่ได้เป็นที่พอใจซึ่งสังเกตจากอุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบและวิธีการที่นำมาใช้ในห้องปฏิบัติการ อุปกรณ์ที่หลากหลายเป็นไปได้ที่จะมีการปนเปื้อนของอนุภาคเขม่าปืนบนเสื้อผ้า ซึ่งข้อดีของวัตถุพยานที่เป็นเสื้อผ้าคือสามารถใช้ในการค้นหาอนุภาคเขม่าปืนโดยได้ถูกนำมาอภิปรายในงานวิจัยนี้

ค.ศ. 1993 Arie Zeichner และ Nadav Levin ศึกษาการเก็บอนุภาค GSR จากผมและมือ โดยใช้ Double Side Adhesive ติดลงบน aluminium stub ในการวิเคราะห์พบว่าอนุภาค GSR สามารถตรวจพบจากผมภายหลัง 24 ชั่วโมงถ้ายังไม่ได้ทำความสะอาดผม ซึ่งบางกรณีตรวจพบอนุภาค GSR บนผมแต่ไม่พบบนมือ

ค.ศ. 1995 Arie Zeichner และ Nadav Levin จากประสบการณ์ในการทำงานเกี่ยวกับการวิเคราะห์อนุภาค GSR จากตัวอย่างที่เป็นมือ, ผม และเสื้อผ้า ได้นำมารายงานในช่วง เวลา 6 ปี (1989 – 1994) โดยการประเมินพบผลสำเร็จในการวิเคราะห์ตัวอย่างประมาณ 10 % หลักเกณฑ์วิธีการเก็บตัวอย่าง คือ จำนวนอนุภาคที่ตรวจพบต่อตัวอย่าง และได้อภิปรายปัญหาที่เป็นไปได้ของการปนเปื้อนในตัวอย่าง

ค.ศ. 1999 L. Garofano และคณะ ทำการศึกษาอนุภาคเขม่าปืนในสิ่งแวดล้อมและกลุ่มอาชีพอื่น ๆ ได้ดำเนินการทดสอบใน Reparto Carabinieri Investigation Scientifiche , Parma, Italy ข้อมูลที่ได้ 175 ตัวอย่าง จากมือของผู้ที่อยู่ในอาชีพที่มีความสัมพันธ์กันซึ่งได้มา

จากรถยนต์, จากมือขวาของผู้ขับขี่รถยนต์ภายหลังการขับขี่รถยนต์, แบตเตอรี่ และยางล้อรถ และจากมือของแต่ละคนภายหลังจากทำการผลิตปลอกกระสุนปืนในอุตสาหกรรม ปืนแก๊ปเด็กเล่น และดอกไม้ไฟ แม้ว่าการศึกษาได้ยืนยันว่าเป็นส่วนประกอบหลักของปลอกกระสุนปืน ตัวอย่างของกลุ่มอาชีพไม่สามารถยืนยันอนุภาคที่มาจากเขม่าปืน แม้ว่าจะพิสูจน์ได้ว่าประชาชนที่มีความเกี่ยวข้องกับอาชีพยวดยานพาหนะ (เช่น เครื่องยนต์, ช่างไฟฟ้า, ช่างซ่อมยาง) ก็สามารถปรากฏอนุภาคที่ประกอบด้วยธาตุโลหะ Ba และ Sb โดยอาจยากที่จะจำแนกอนุภาคเขม่าปืนจากรูปร่างที่ไม่สม่ำเสมอ, แบน และเป็นแผ่น ซึ่งเสี่ยงต่อผลบวกเทียม เมื่อค้นลักษณะเฉพาะในระบบ automatic และใช้ tape lift ในการเก็บโดยปราศจากการตรวจสอบรูปสัณฐานของอนุภาค ซึ่งเชื่อว่าการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยก็มีความจำเป็นในการจำแนก จึงได้มีความพยายามที่จะพิสูจน์ในงานที่ทำในปัจจุบันนี้ การค้นคว้าจึงได้ยืนยันการศึกษาก่อนหน้านี้ว่าผู้ทำปลอกกระสุนปืนในเครื่องมืออุตสาหกรรมของชาวอิตาลี พบธาตุโลหะ Ba, Pb และ Sb ปรากฏอยู่ในอนุภาคเขม่าปืน

ค.ศ. 2001 Francesco Saverio Romolo และ Pierre Margot ได้ทบทวนวารสารทางวิทยาศาสตร์ที่ถูกตีพิมพ์เกี่ยวกับการวิเคราะห์เขม่าปืนที่เป็นสารอนินทรีย์ โดยศึกษาถึงวิธีการวิเคราะห์อนุภาคซึ่งได้แสดงถึงความสามารถในการตรวจวิเคราะห์และพิสูจน์ยืนยันคราบเขม่าปืนโดย SEM เป็นเครื่องมือที่ความสามารถสูงสำหรับนักนิติวิทยาศาสตร์ที่จะวิเคราะห์ถึงความใกล้เคียงของการใช้อาวุธปืนที่ยิง หรือการสัมผัสกับพื้นผิวที่มีอนุภาค GSR การวิเคราะห์อนุภาคสามารถที่จะพิสูจน์ยืนยันเฉพาะอนุภาค GSR ได้ทั้งรูปสัณฐานและลักษณะเฉพาะของธาตุเมื่อไรที่อนุภาค GSR บนตัวอย่างที่ถูกเก็บมาทำการตรวจวัด ผลของการวิเคราะห์สามารถแปลผลได้ตามกฎทั่วไปของระบบการอธิบายที่เป็นรูปแบบ เพื่อที่จะวิเคราะห์ว่าอันไหนที่มาจากการระเบิดของ primer หรือจากแหล่งอื่นที่เป็นไปได้ อนุภาคจากตัวอย่างจะถูกจำแนกเป็น “unique GSR partical ” ที่มาจากแหล่งกำเนิดเดียวของการระเบิดของ primer และ “uniqueness” ที่ไม่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ GSR และการพิสูจน์ยืนยันของนักวิทยาศาสตร์ เกี่ยวกับ “not-unique” particle บนพื้นฐานของ Bayess rule สำหรับการประเมินคุณค่าของอนุภาคที่เชื่อมโยงผู้ต้องสงสัยกับอาชญากรรม เป็นสิ่งสำคัญที่จะเปรียบเทียบทั้งสองสมมุติฐาน : ข้อแรกบอกว่าเป็นหลักฐานได้ถ้าผู้ต้องสงสัยได้เคยยิงปืนโดยเฉพาะในสถานที่เกิดเหตุ ข้อที่สองนั้นเป็นหลักฐานได้ถ้าผู้ต้องสงสัยไม่เคยเกี่ยวข้องกับการยิงปืน การพิสูจน์นี้เป็นคดีที่พิเศษหรือเป็นรายคดีไปที่ว่าอะไรที่ศาลสนใจ ผู้แต่งได้พิจารณาว่า “case-by-case” เป็นการพิสูจน์ควรมาจากเมื่อไรที่มีความเป็นไปได้ ตัวอย่างและข้อมูลของการวิจัย เช่น การพัฒนาใช้สารที่มีปริมาณน้อย (เส้นใย, แก้ว ฯลฯ) ควรใช้ Bayesian พิสูจน์เพื่อที่จะได้แนะนำการแปลผลของ GSR

ค.ศ. 2001 Shigetoshi Kage และคณะ ได้ศึกษาวิธีการวิเคราะห์อนุภาคเขม่าปืนจากมือ, ผม, หน้า และเสื้อผ้า โดยใช้ Scanning Electron Microscopy / Wavelength Dispersive X-Ray (SEM/WDX) การทดลองได้ทำการเก็บตัวอย่างอนุภาค GSR บนมือ, ผม, หน้า และเสื้อผ้า โดยใช้ double-sided adhesive ติดลงบน aluminum stub (tape- lift method) ทำการวิเคราะห์อนุภาค GSR ด้วยเทคนิค SEM/WDX โดยได้ดำเนินการ 3 ขั้นตอน ขั้นตอนแรก ทำการสำรวจวิเคราะห์ธาตุ Ba เพื่อที่จะค้นหาอนุภาค GSR ที่มาจาก lead styphnate ซึ่งเป็นส่วนประกอบในชนวนท้ายกระสุนปืน หรือ ธาตุ Sn เพื่อที่จะค้นหาอนุภาคเขม่าปืนที่มาจาก mercury fulminate ซึ่งเป็นส่วนประกอบในชนวนท้ายกระสุนปืน ขั้นตอนที่สองวิเคราะห์ตำแหน่งของอนุภาค GSR โดย X-ray imaging ของธาตุ Ba หรือ Sn ที่กำลังขยาย 1000 – 2000 เท่า ของ SEM โดยใช้ข้อมูลของการสำรวจวิเคราะห์ในตอนแรก และขั้นตอนที่สาม เป็นการตรวจพิสูจน์ยืนยันอนุภาค GSR โดยใช้ WDX spectrometers การวิเคราะห์ตัวอย่างของแต่ละ primer ใน stub 1 อัน ใช้เวลาประมาณ 3 ชั่วโมง

ค.ศ. 2001 Zuzanna Brozek-Mucha และ Agnieszka Jankowicz ได้ทำการศึกษาอนุภาค GSR ที่มาจากกระสุนปืนจำนวน 6 ชนิด โดยใช้บุคคลผู้ที่โดยปกติไม่ได้มีการสัมผัสหรือเกี่ยวข้องกับอาวุธปืน มาทำการยิงปืนทั้งหมด 3 ครั้ง ซึ่งแต่ละคนจะใช้อาวุธปืนที่แตกต่างกัน จากนั้นทำการเก็บตัวอย่างอนุภาค GSR จากมือผู้ยิงโดยใช้ aluminium stub ที่ติดด้วย black carbon tabs และนำไปตรวจสอบรูปสัณฐานและองค์ประกอบของธาตุโดยเทคนิควิธี automatic SEM/EDX ในการศึกษาเปรียบเทียบใช้ primer residue มาพิจารณาความถี่ของการเกิดอนุภาคที่แสดงให้เห็น certain chemical class ต่อปริมาณทั้งหมดของอนุภาคที่ตรวจพบแสดงเป็นเปอร์เซ็นต์ความสัมพันธ์ร่วมกันระหว่างความถี่ของการเกิด residues ทางเคมีที่จำเพาะที่บรรจุอยู่ พบว่ามีความแตกต่างมากในกระสุนปืนที่นำมาศึกษา โดยพิสูจน์ด้วยวิธี non-statistical หรือ non-parametric statistical method เป็นไปได้ที่จะจำแนกกระสุนแต่ละชนิดจากกระสุนปืนที่ใช้ทดสอบ

ผลของการตรวจสอบ ได้แสดงถึงความแตกต่างของความถี่ของการเกิด certain chemical class ของ primer residues สังเกตได้จากประเภทที่หลากหลายของกระสุน ความแตกต่างเหล่านี้สามารถบอกการกระจายตัวที่มีความสำคัญของการพิสูจน์ยืนยันของกลุ่มกระสุนที่ได้จากพื้นฐานทางกายภาพและเคมีของอนุภาค GSR

ค.ศ. 2002 Carlo Torre และคณะ ในวารสารวิทยาศาสตร์ได้บรรยายเกี่ยวกับอนุภาคในสิ่งแวดล้อมมีส่วนประกอบที่คล้ายกับองค์ประกอบของเขม่าปืน เพื่อที่จะอธิบายแหล่งกำเนิดของอนุภาคเหล่านี้, ผ้าเบรก และผลิตภัณฑ์เหล่านั้น ถูกนำมาวิเคราะห์โดย SEM-EDX ผลที่ได้แสดงถึงผ้าเบรกบางประเภทที่ประกอบด้วยธาตุโลหะ Pb, Ba และ Sb และมันก็

สามารถที่จะแสดงถึงแหล่งของอนุภาคที่มีธาตุโลหะ เหมือนอนุภาค GSR อนุภาคส่วนมากเหล่านี้สามารถที่จะอธิบายได้อย่างง่ายจาก primer discharge residue เพราะมีธาตุ Fe ที่ปรากฏอยู่ใน spectrum อย่างไรก็ตามอนุภาคที่ประกอบด้วย Fe เป็นธาตุรองหรือมีระดับต่ำปรากฏอยู่ซึ่งควรที่จะอธิบายถึงองค์ประกอบที่คล้ายอนุภาค เนื่องจากเป็น unique ของ primer discharge residue

ค.ศ. 2003 Arie Zeichner และคณะ ได้ดำเนินการการทดลองเก็บ gunpowder residue จากเสื้อผ้าของผู้ยิงโดย vacuum และวิเคราะห์โดย Chromatography/thermal energy (GC/TEA), ion mobility spectrometry (IMS), และ gas chromatography/mass spectrometry (GC/MS) residue จะถูกเก็บบน fiber glass และ Teflon filter ใช้ระบบ portable sampler ทั้งหมดต่อกับ IMS instrument ตัวทำละลายหลาย ๆ ตัวนำมาใช้เป็นตัวสกัด องค์ประกอบของ propellant จาก filter สารสกัดนำไปหมุนเหวี่ยงและกรอง ทำให้เข้มข้นขึ้นโดยการนำไประเหยเป็นไอ ผลการทดลองของการศึกษาวิธีดำเนินการสำหรับการวิเคราะห์ของเขม่าปืน นำมาสู่การศึกษาการเปลี่ยนแปลงเทคนิคในปัจจุบัน สำหรับการวิเคราะห์เขม่าปืนบนเสื้อผ้าโดย Israel police ได้ปรับปรุงวิธีการเก็บบนเสื้อผ้าโดย double-side adhesive coated aluminium stubs (tape life method) และสำหรับวิธีการเก็บอนุภาค GSR ด้วย vacuum collection propellant ก็ยังเป็นวิธีที่ยังใช้อยู่

ค.ศ. 2003 Lubor Fojtasek และคณะ ทำการทดลองศึกษาการกระจายของอนุภาค GSR 7 ทิศทาง ในสิ่งแวดล้อมของการยิงปืน (ปืนพกสั้น ยี่ห้อ CZ ขนาด 9 มม. Luger) ทั้งปัจจัยภายในและภายนอก และชนิดของกระสุนปืนที่แตกต่างกัน 2 ชนิด ที่จะนำมาใช้ในการทดลองยิง ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าจำนวนอนุภาค GSR ที่มากที่สุดอยู่ทางด้านขวาห่างจากตำแหน่งที่ยิง 2-4 เมตร อนุภาค GSR ยังคงพบที่ระยะ 10 เมตร

ค.ศ. 2003 Zuzanna Brozek-Mucha และ Grzegorz Zadora ความพยายามที่จะพยายามสร้างการจำแนกแบบแผนสำหรับแหล่งตัวอย่าง GSR particle จากกระสุนปืนทั้ง 4 ชนิด โดยเก็บจากมือผู้ยิงภายหลังการยิงปืนทันทีทันใด ตัวอย่างถูกนำมาตรวจสอบโดยวิธี SEM-EDX ในระบบ automatic ผลที่ได้ถูกแสดงเป็นความถี่ของอนุภาคที่สร้างจาก chemical classes หลาย ๆ อัน สิ่งจำเป็นที่จะพิสูจน์แยกแยะลักษณะเฉพาะเหล่านั้น โดยกระทำโดยวิธี Mann-Whitney Test Cluster analysis ถูกนำมากระทำโดยกลุ่มการวิเคราะห์ตามแหล่งกำเนิดนั้น เช่น ประเภทของกลุ่มกระสุน พบว่าตัวอย่างอนุภาคเขม่าปืนที่มาจาก Browning 7.65 mm. และ Luger 9 mm จะจำแนกได้อย่างตรงไปตรงมาง่ายจากตัวอย่างอื่น ตัวอย่างของกระสุนที่มาจาก Makarov 9 mm

และ Tokarov 7.62 mm ไม่สามารถจำแนกได้โดยใช้ความถี่ของการเกิดอนุภาคโดยการจำแนก chemical classes

ค.ศ. 2004 Bruno Cardinetti และคณะ ศึกษาความเป็นไปได้ของการจำแนกอนุภาคเขม่าปืนจากการรวมของธาตุตะกั่ว – แอนติโมนี – แบเรียม ที่ไม่ได้มาจากการยิงปืนได้ถูกนำตรวจสอบในภาพถ่าย : วิธีนี้อยู่บนพื้นฐานของเทคนิค X-Ray mapping ภาพช่องว่างของการกระจายของการปลดปล่อยพลังงานของแต่ละธาตุในตัวอย่าง อนุภาคเขม่าปืนที่มีอยู่ประกอบด้วยตะกั่ว – แอนติโมนี – แบเรียมกระจายอยู่ เนื่องจากในการประกอบอาชีพในสิ่งแวดล้อมไม่มี

ดังนั้น เทคนิค X-Ray mapping ได้นำเสนอเป็นหลักการใหม่ในการวิเคราะห์เขม่าปืนด้วยวิธี SEM/EDS และเป็นวิธีใหม่ที่นำมาพิจารณา

ค.ศ. 2004 Lubor Fojtasek และ Tomas Kmjec ศึกษาปืนพกสั้นซึ่งเป็นที่นิยมใช้กันมากในประเทศบราซิล คือ ปืนพกรีวอลเวอร์ขนาด .38 อย่างไรก็ตามไม่กี่ปีที่ผ่านมาเนื่องจากอาวุธประจำกายของตำรวจมีความทันสมัยขึ้น และการหาซื้อปืนมาครอบครองทั้งในตลาดที่ถูกกฎหมายและที่ผิดกฎหมายทำได้ง่ายขึ้น อาวุธปืนจึงกลายมาเป็นที่นิยม และได้มีการจับกุมผู้กระทำความผิดเกี่ยวกับอาวุธปืนได้ประมาณ 20 % ในงานวิจัยก่อนหน้านี้ได้กล่าวถึงการเก็บตัวอย่างเขม่าปืนโดยใช้ สารละลาย EDTA ซึ่งเป็น complexing agent จากนั้นนำไปตรวจด้วยเทคนิค SF-ICP-MS ในการศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยได้กล่าวถึงความสามารถของวิธีการที่จะตรวจพิสูจน์ธาตุโลหะ Sb, Ba, Pb บนมือของอาสาสมัครภายหลังการยิงด้วยด้วยปืนพกสั้นขนาด 9 มม. กระสุนปืนที่ใช้ทดสอบคือขนาด 9 mm. (Taurus) และ clean range เทคนิคนี้ให้สภาพไวสูงเทคนิคหนึ่งก็คือ เทคนิค SF-ICP-MS ซึ่งสามารถตรวจพิสูจน์ธาตุโลหะที่มาจากการยิงปืนที่มีความเข้มข้นต่ำ (น้อยกว่า 1 µg/L) นับเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสูงในงานด้านนิติวิทยาศาสตร์

ในงานวิจัยนี้ได้อภิปรายถึงความสำคัญของขั้นตอนการเก็บตัวอย่างรวมถึงการเก็บตัวอย่างจากส่วนต่าง ๆ ของร่างกายและมือผู้ต้องสงสัยที่ยิงปืน ผลการวิเคราะห์ที่ได้สามารถแยกระหว่างผู้ที่ผ่านการยิงปืนและผู้ที่ไม่ได้ยิงปืนออกจากกัน

ดังนั้น จากการศึกษาวิจัยที่ผ่านมา ทำให้ผู้วิจัยสนใจที่จะศึกษาวิเคราะห์หาอนุภาคเขม่าปืนบนเสื้อผ้าโดยวิธี SEM/EDS เพื่อเป็นประโยชน์และเป็นแนวทางในการศึกษาวิจัยและการสืบสวนสอบสวนของเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องต่อไป

บทที่ 3
การทดลอง

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

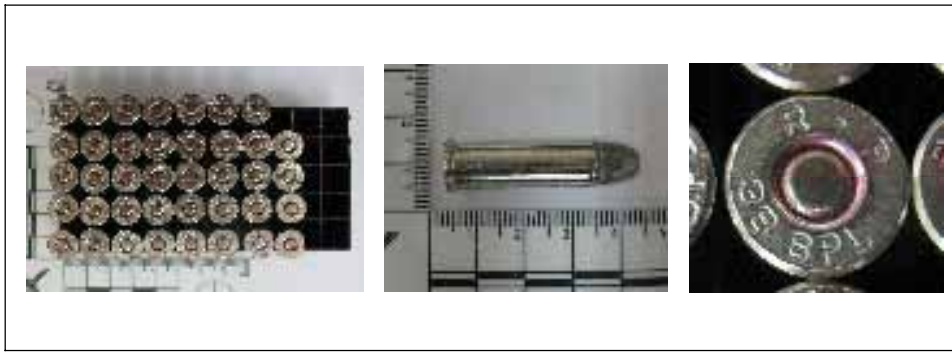
เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้	แหล่งที่มา
1. เครื่อง Scanning Electron Microscope and Energy Dispersive X-ray Spectroscope, SEM/EDS	Cam Scan Analytical
2. เทปกาวคาร์บอนเส้นผ่าศูนย์กลาง 12 มม. (Carbon Adhesive Discs)	บริษัท พรพลอินสตรูเม้นท์ จำกัด
3. Stub ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 12 มม.	Cam Scan Analytical
4. กล่องพลาสติกแบบมีฝาปิดสำหรับเก็บ Stub	ห้างสรรพสินค้า
5. อาวุธปืนพกรีวอลเวอร์ ขนาด .38 (Special) ยี่ห้อ Smith&Wesson ความยาวลำกล้อง 3 นิ้ว	วิทยาการเขต 15 (นครปฐม)
6. กระสุนปืนรีวอลเวอร์ ยี่ห้อ R-P ขนาด .38 (special)	วิทยาการเขต 15 (นครปฐม)
7. เสื้อแขนยาวผ้าร่ม	ตลาดโบ้เบ้
8. กระสอบทราย	ร้านวัสดุอุปกรณ์ก่อสร้าง
9. ห้องทดลองยิงปืน ขนาด 6x8 เมตร	วิทยาการเขต 15 (นครปฐม)

3.2 วิธีการทดลองวิเคราะห์เขม่าปืน (GSR) บนเสื้อผ้าด้วยเทคนิค SEM/EDX

การทดลองนี้ทำการศึกษาการเก็บตัวอย่างอนุภาคเขม่าปืนที่บริเวณแขนเสื้อส่วนต่าง ๆ ของผู้ยิงปืนทั้ง 2 ข้าง ข้างละ 3 บริเวณ ได้แก่ แขนเสื้อบริเวณเหนือข้อมือ, แขนเสื้อบริเวณข้อศอก และแขนเสื้อก่อนถึงหัวไหล่ (ดังภาพที่ 22 บริเวณแถบสีขาว) โดยใช้อาวุธปืนพกรีวอลเวอร์ ขนาด .38 (Special) ยี่ห้อ Smith&Wesson ความยาวลำกล้อง 3 นิ้ว (ดังภาพที่ 23) และใช้กระสุนปืน ยี่ห้อ R-P ขนาด .38 (special) (ดังภาพที่ 24) ทำการยิงปืนจำนวน 1 นัด ในห้องขนาดกว้าง X ยาว ประมาณ 6 X 8 เมตรที่ปิดมิดชิด และไม่มีลมพัด

ภาพที่ 22 แถบสีขาวคือตำแหน่งที่ทำการเก็บตัวอย่างจากแขนเสื้อทั้งสองข้าง

ภาพที่ 23 อาวุธปืนพกรีวอลเวอร์ ขนาด .38 (Special) ที่ใช้



ภาพที่ 24 กระสุนปืนยี่ห้อ R-P ขนาด .38 (special)

3.2.1 ขั้นตอนการดำเนินการเก็บตัวอย่างเขม่าปืนที่แขนเสื้อ มีดังนี้

3.2.1.1 ผู้ยิงทำการยิงปืนโดยสวมเสื้อแขนยาวผ้าร่ม

3.2.1.2 ทำการยิงอาวุธปืนในห้องทดลองที่ปิดมิดชิดและไม่มีลมพัด โดยใช้อาวุธปืนพกรีวอลเวอร์ ขนาด .38 (Special) ยี่ห้อ Smith&Wesson ความยาวลำกล้อง 3 นิ้ว และใช้กระสุนปืนรีวอลเวอร์ ขนาด .38 special ยี่ห้อ R-P ทำการยิงด้วยการจับอาวุธปืนด้วยมือทั้งสองข้าง (ดังภาพที่ 25) โดยใช้มือขวากำอาวุธปืนและมือซ้ายรองรับอาวุธปืนอยู่ด้านล่างมือขวา ยิงครั้งละจำนวน 1 นัด ที่ระยะห่างจากเป้ากระสอบทรายประมาณ 1.5 เมตร โดยในแต่ละครั้งหลังจากยิงปืนเสร็จให้ผู้ยิงยืนอยู่ภายในห้องเป็นระยะเวลา 15 นาที แล้วจึงออกจากห้องทดลองยิง

ภาพที่ 25 ลักษณะท่าทางที่ทำการยิงด้วยอาวุธปืน

3.2.1.3 หลังจากการยิงปืนแล้ว ให้ผู้ยิงทำกิจกรรมต่าง ๆ ในชีวิตประจำวันตามปกติ จนได้เวลาที่กำหนด จึงทำการเก็บตัวอย่างบนแขนเสื้อของผู้ยิงปืนทั้ง 2 ข้าง ได้แก่ แขนเสื้อบริเวณข้อมือ แขนเสื้อบริเวณข้อศอก และแขนเสื้อก่อนถึงหัวไหล่ โดยระยะเวลาที่จะทำการเก็บตัวอย่างคือ

3.2.1.3.1 เก็บตัวอย่างหลังจากผ่านการยิงปืนไปแล้ว 15 นาที

3.2.1.3.2 เก็บตัวอย่างหลังจากผ่านการยิงปืนไปแล้ว 1 ชั่วโมง

3.2.1.3.3 เก็บตัวอย่างหลังจากผ่านการยิงปืนไปแล้ว 3 ชั่วโมง

3.2.1.3.4 เก็บตัวอย่างหลังจากผ่านการยิงปืนไปแล้ว 6 ชั่วโมง

3.2.1.3.5 เก็บตัวอย่างหลังจากผ่านการยิงปืนไปแล้ว 12 ชั่วโมง

3.2.1.3.6 เก็บตัวอย่างหลังจากผ่านการยิงปืนไปแล้ว 24 ชั่วโมง

โดยผู้ยิงจะทำการเปลี่ยนเสื้อแขนยาวตัวใหม่ในแต่ละครั้งที่ทำการเก็บตัวอย่างที่แต่ละช่วงเวลา และทำการเก็บตัวอย่างที่ตำแหน่งเดียวกันตลอดการทดลอง

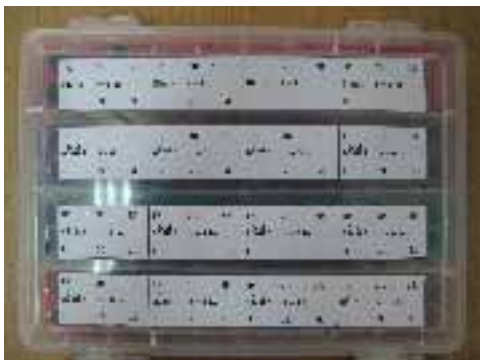
3.2.1.4 ทำการเก็บตัวอย่างโดยใช้ Stub

3.2.1.4.1 ทำการเตรียม Stub โดยนำเทปกาวสองหน้ามาปิดลงบน Stub ที่เตรียมไว้

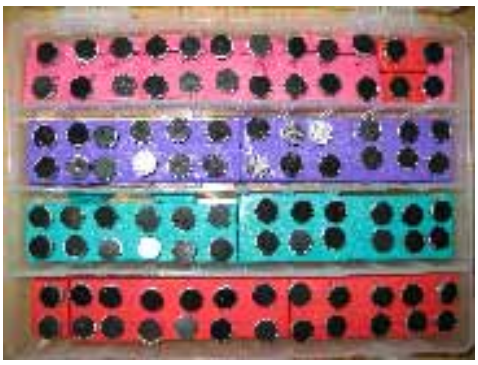
3.2.1.4.2 ลอกพลาสติกที่ติดอยู่บนกาวสองหน้าออก

3.2.1.4.3 นำ Stub ที่มีเทปกาวสองหน้าติดอยู่และลอกพลาสติกออกไป แล้วเก็บเขม่าปืนที่แขนเสื้อผู้ยิง ตรงบริเวณตำแหน่งต่าง ๆ ที่ได้กำหนดไว้ด้วยวิธี Lifting กล่าวคือ ให้ผู้ที่ทำการเก็บตัวอย่างกด Stub ด้านที่มีเทปกาวสองหน้าติดอยู่ลงบนตำแหน่งของแขนเสื้อที่ต้องการแล้วดึงขึ้น จากนั้นก็กด Stub ดังกล่าวลงบนแขนเสื้อบริเวณอื่นอีกแล้วดึงขึ้น ทำซ้ำเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ ประมาณ 150 -200 ครั้ง จนมั่นใจว่า แขนเสื้อบริเวณนั้นได้เก็บตัวอย่างทั่วทุกบริเวณแล้ว โดยบริเวณแขนเสื้อตำแหน่ง ต่าง ๆ ที่จะทำการเก็บเขม่าปืน ดังนั้นในการเก็บตัวอย่างแต่ละครั้งแต่ละเวลาที่ทดสอบ จะได้ตัวอย่างจำนวน 6 Stub (ตัวอย่างจากแขนเสื้อข้างขวาและข้างซ้าย ข้างละ 3 Stub)

3.2.1.4.4 นำ Stub ที่เก็บคราบเขม่าจากข้อ 3.2.1.4.3 เก็บไว้ในภาชนะที่ปิดมิดชิด ที่สามารถป้องกันการปนเปื้อนจากสิ่งต่าง ๆ โดยทำการกำหนดเลขหมายของตัวอย่าง Stub ที่บริเวณต่าง ๆ ไว้ด้วย เพื่อรอนำไปวิเคราะห์ด้วย SEM/EDS ต่อไป



ภาพที่ 26 ภาชนะที่ปิดมิดชิด สำหรับเก็บ stub



ภาพที่ 27 Stub ที่ได้ทำการเก็บตัวอย่าง เพื่อทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง SEM/EDS

3.2.2 นำ Stub จากข้อ 3.2.1.4.4 ที่ได้ทำการเก็บตัวอย่างมาแล้วนั้น ไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง SEM/EDS โดยไม่ต้องทำการฉาบผิวตัวอย่างด้วยคาร์บอนหรือทองคำก่อนการวิเคราะห์

- สภาวะของเครื่อง SEM ในโหมดของ Back Scatter Image (BEI)

gun voltage : 20 kV

spot size : 5

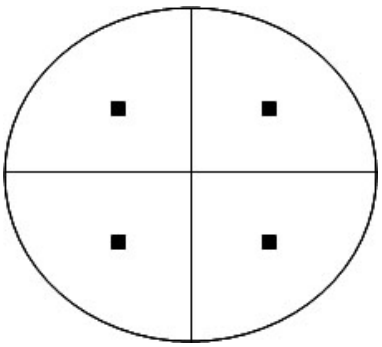
Magnification : 180X

Working distance : 30 mm

Scan speed : S6

- ขนาดของพื้นที่ที่ทำการวิเคราะห์ : 660x530 μm

ทำการวิเคราะห์เขม่าปืนบน stub โดยแบ่งพื้นที่บนเทปคาร์บอนออกเป็น 4 ส่วน และเลือกบริเวณที่อยู่ตรงกลางของทั้ง 4 พื้นที่มาวิเคราะห์ ที่ตำแหน่งดังนี้ (968, 014), (972, 980), (023, 975), (994, 029) (ดังภาพที่ 28)โดยแต่ละพื้นที่มีขนาดพื้นที่ประมาณ 660x530 μm. ในแต่ละส่วนที่ทำการนับจำนวน อนุภาค GSR และศึกษาที่กำลังขยาย 180 เท่า และทำการนับจำนวนอนุภาคเขม่าปืนทั้งหมดในบริเวณนั้น ๆ จำนวนอนุภาคทั้งหมดที่นับสันนิษฐานว่าเป็นตัวแทนของอนุภาค GSR ทั้งหมดบน Stub จากนั้นทำการวิเคราะห์ขนาด รูปร่างลักษณะ และธาตุที่เป็นองค์ประกอบของอนุภาคเพื่อพิสูจน์ยืนยันอนุภาค เขม่าปืน (GSR)



ภาพที่ 28 แสดงตำแหน่งที่ทำการวิเคราะห์บน stub ((968, 014), (972, 980), (023, 975), (994, 029))

3.2.3 ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง

3.2.4 ทำ Blank sample โดยให้ผู้ยิงปืนสวมเสื้อแขนยาวผ้าร่ม โดยไม่ต้องยิงปืนทำกิจกรรมต่าง ๆ ในชีวิตประจำวันตามปกติ จนเวลาผ่านไปประมาณ 6 ชั่วโมง จึงทำการเก็บตัวอย่างบริเวณแขนเสื้อทั้ง 2 ข้าง ได้แก่ แขนเสื้อบริเวณข้อมือ แขนเสื้อบริเวณข้อศอก และแขนเสื้อก่อนถึงหัวไหล่ โดยการ Stub ตามข้อ 3.2.1.4 จากนั้นนำไปวิเคราะห์ด้วย SEM/EDS

3.2.5 บันทึกและวิเคราะห์ผลการทดลอง

บทที่ 4
ผลการทดลอง

ในการศึกษาการตรวจวิเคราะห์เขม่าปืนบนเสื้อผ้าด้วยเทคนิค SEM/EDS ผู้วิจัยได้ใช้อาวุธปืนพกรีวอลเวอร์กระบอกเดียวกัน และใช้กระสุนปืนยี่ห้อ R-P ตลอดการวิจัย โดยเป็นอาวุธปืนอีกชนิดและขนาดหนึ่งที่พบมากจากสถิติการส่งตรวจพิสูจน์ที่วิทยาการเขต 15 (นครปฐม) ที่ใช้ในการก่ออาชญากรรมมาก และสามารถหาได้ง่ายตามท้องตลาดโดยที่บุคคลทั่วไปสามารถมีอาวุธปืนชนิดและขนาดนี้ในครอบครองได้

ในงานวิจัยนี้ทำการศึกษาซ้ำ 3 ครั้ง โดยมุ่งเน้นที่จะศึกษาจำนวนอนุภาคเขม่าปืนที่กระจายบนแขนเสื้อของผู้ยิง รูปร่าง ลักษณะ และขนาดของอนุภาคเขม่าปืนที่สามารถตรวจด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลกตรอนแบบ scan รวมถึงชนิดของธาตุที่เป็นองค์ประกอบของเขม่าปืนด้วย Energy Dispersive X-Ray Spectrometer (EDS) ได้แก่ ธาตุ Pb (ตะกั่ว), ธาตุ Sb (แอนติโมนี) และธาตุ Ba (แบเรียม)

4.1 ผลการวิเคราะห์การนับจำนวนอนุภาคเขม่าปืน

ค่าเฉลี่ยจำนวนอนุภาคเขม่าปืนที่พบบนแขนเสื้อบริเวณ 6 ตำแหน่ง คือ แขนเสื้อขวาบริเวณข้อมือ (1R), แขนเสื้อขวาบริเวณข้อศอก (2R), แขนเสื้อขวาบริเวณก่อนถึงหัวไหล่ (3R), แขนเสื้อซ้ายบริเวณข้อมือ (1L), แขนเสื้อซ้ายบริเวณข้อศอก (2L) และแขนเสื้อซ้ายบริเวณก่อนถึงหัวไหล่ (3L) ที่เวลาทำการยิงปืนผ่านไป 15 นาที, 1 ชั่วโมง, 3 ชั่วโมง, 6 ชั่วโมง, 12 ชั่วโมง และ 24 ชั่วโมง แสดงตามตารางที่ 3 และค่าเฉลี่ยจำนวนอนุภาคเขม่าปืนที่พบ แสดงตามตารางที่ 4 รวมทั้งแสดงเป็นแผนภูมิแท่ง ตามภาพที่ 29

ตารางที่ 3 ผลการนับจำนวนอนุภาคเขม่าปืนบนแขนเสื้อบริเวณต่าง ๆ

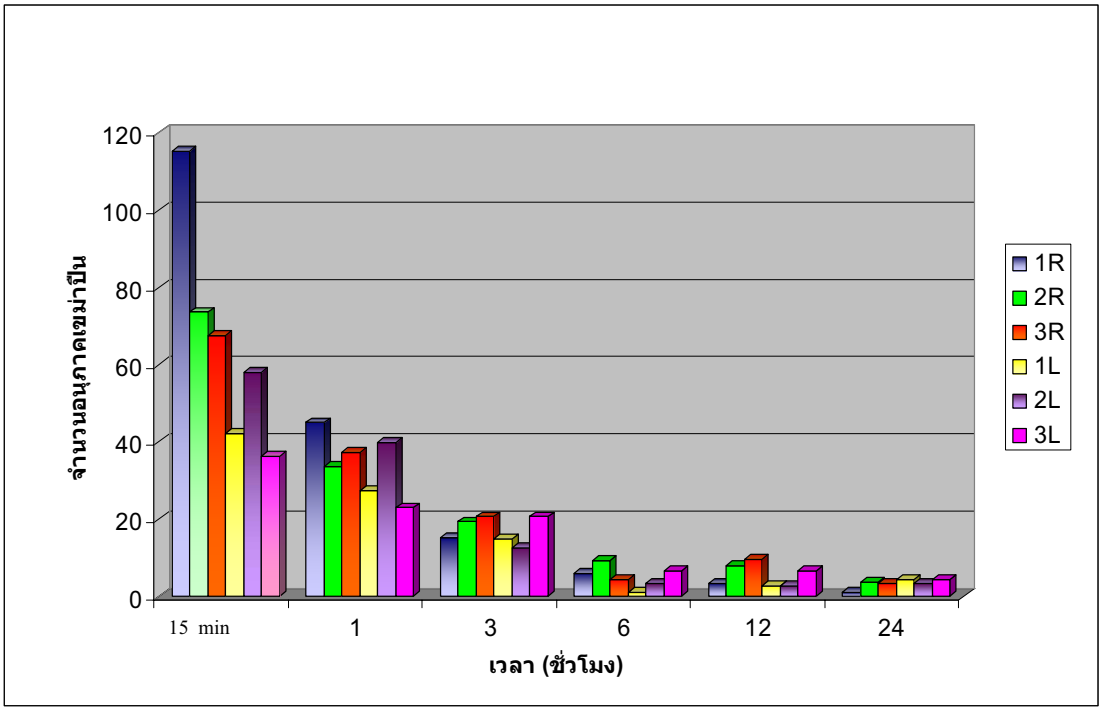
ระยะเวลา (ชั่วโมง)	บริเวณต่าง ๆ	จำนวนอนุภาคเขม่าปืนที่พบ			ค่าเฉลี่ย
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
0	แขนเสื้อขวาบริเวณเหนือข้อมือ (1R)	51	50	245	115.33
	แขนเสื้อขวาบริเวณข้อศอก (2R)	72	26	123	73.67
	แขนเสื้อขวาก่อนถึงหัวไหล่ (3R)	10	14	179	67.67
	แขนเสื้อซ้ายบริเวณเหนือข้อมือ (1L)	9	13	105	42.33
	แขนเสื้อซ้ายบริเวณข้อศอก (2L)	5	16	153	58.00
	แขนเสื้อซ้ายก่อนถึงหัวไหล่ (3L)	12	8	89	36.33
1	แขนเสื้อขวาบริเวณเหนือข้อมือ (1R)	10	39	86	45.00
	แขนเสื้อขวาบริเวณข้อศอก (2R)	9	24	68	33.67
	แขนเสื้อขวาก่อนถึงหัวไหล่ (3R)	6	4	102	37.33
	แขนเสื้อซ้ายบริเวณเหนือข้อมือ (1L)	7	16	59	27.33
	แขนเสื้อซ้ายบริเวณข้อศอก (2L)	10	5	105	40.00
	แขนเสื้อซ้ายก่อนถึงหัวไหล่ (3L)	8	3	58	23.00
3	แขนเสื้อขวาบริเวณเหนือข้อมือ (1R)	11	8	27	15.33
	แขนเสื้อขวาบริเวณข้อศอก (2R)	7	7	44	19.33
	แขนเสื้อขวาก่อนถึงหัวไหล่ (3R)	2	0	60	20.67
	แขนเสื้อซ้ายบริเวณเหนือข้อมือ (1L)	2	5	38	15.00
	แขนเสื้อซ้ายบริเวณข้อศอก (2L)	2	2	34	12.67
	แขนเสื้อซ้ายก่อนถึงหัวไหล่ (3L)	0	2	60	20.67
6	แขนเสื้อขวาบริเวณเหนือข้อมือ (1R)	4	9	5	6.00
	แขนเสื้อขวาบริเวณข้อศอก (2R)	7	3	18	9.33
	แขนเสื้อขวาก่อนถึงหัวไหล่ (3R)	2	1	10	4.33
	แขนเสื้อซ้ายบริเวณเหนือข้อมือ (1L)	2	1	0	1.00
	แขนเสื้อซ้ายบริเวณข้อศอก (2L)	1	1	8	3.33
	แขนเสื้อซ้ายก่อนถึงหัวไหล่ (3L)	9	1	10	6.67

ตารางที่ 3 (ต่อ)

ระยะเวลา (ชั่วโมง)	บริเวณต่าง ๆ	จำนวนอนุภาคเขม่าปืนที่พบ			ค่าเฉลี่ย
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
12	แขนเสื้อขวาบริเวณเหนือข้อมือ (1R)	1	6	3	3.33
	แขนเสื้อขวาบริเวณข้อศอก (2R)	1	4	19	8.00
	แขนเสื้อขวาก่อนถึงหัวไหล่ (3R)	10	14	5	9.67
	แขนเสื้อซ้ายบริเวณเหนือข้อมือ (1L)	2	0	6	2.67
	แขนเสื้อซ้ายบริเวณข้อศอก (2L)	0	8	0	2.67
	แขนเสื้อซ้ายก่อนถึงหัวไหล่ (3R)	9	8	3	6.67
24	แขนเสื้อขวาบริเวณเหนือข้อมือ (1R)	2	0	1	1.00
	แขนเสื้อขวาบริเวณข้อศอก (2R)	0	3	9	3.67
	แขนเสื้อขวาก่อนถึงหัวไหล่ (3R)	1	1	8	3.33
	แขนเสื้อซ้ายบริเวณเหนือข้อมือ (1L)	1	6	6	4.33
	แขนเสื้อซ้ายบริเวณข้อศอก (2L)	0	5	5	3.33
	แขนเสื้อซ้ายก่อนถึงหัวไหล่ (3L)	0	5	8	4.33

ตารางที่ 4 ค่าเฉลี่ยของการนับอนุภาคเขม่าปืนที่แขนเสื้อบริเวณต่าง ๆ

เวลา (ชั่วโมง)	ค่าเฉลี่ยจำนวนอนุภาคเขม่าปืนที่พบบริเวณต่าง ๆ					
	1R	2R	3R	1L	2L	3L
15 นาที	115.33	73.67	67.67	42.33	58.00	36.33
1	45.00	33.67	37.33	27.33	40.00	23.00
3	15.33	19.33	20.67	15.00	12.67	20.67
6	6.00	9.33	4.33	1.00	3.33	6.67
12	3.33	8.00	9.67	2.67	2.67	6.67
24	1.00	3.67	3.33	4.33	3.33	4.33



ภาพที่ 29 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนอนุภาคเขม่าปืนที่พบบนแขนเสื้อบริเวณต่าง ๆ กับเวลาที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง

จากผลการทดลองตารางที่ 4 ค่าเฉลี่ยของการนับอนุภาคเขม่าปืนที่แขนเสื้อ 6 ตำแหน่ง และเมื่อนำมาสร้างแผนภูมิแท่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนอนุภาคเขม่าปืนกับเวลาที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง แสดงในภาพที่ 29 พบอนุภาคเขม่าปืนจำนวนมากภายหลังการยิงปืนผ่านไป 15 นาที ซึ่งจำนวนอนุภาคเขม่าปืนจะลดลงอย่างมากจนถึงช่วงเวลา 6 ชั่วโมง และหลังจากนั้นจะค่อย ๆ ลดลงจนถึงที่เวลา 24 ชั่วโมง จะเห็นได้ว่าพบอนุภาคเขม่าปืนภายหลังการยิงปืนผ่านไป 15 นาที เป็นจำนวนมากที่แขนเสื้อขวาบริเวณข้อมือ และเมื่อเก็บตัวอย่างที่เวลา 3, 6, 12, 24 ชั่วโมง พบว่าจำนวนอนุภาคเขม่าปืนลดลงมากกว่าแขนเสื้อตำแหน่งอื่น ๆ อย่างไรก็ตามแสดงให้เห็นว่าอนุภาคเขม่าปืนยังสามารถตรวจพบได้บนเสื้อผ้าภายหลังการยิงปืนผ่านไป 24 ชั่วโมง

4.2 ผลการวิเคราะห์ธาตุโลหะสำคัญที่เป็นองค์ประกอบในเขม่าปืน

ผลการวิเคราะห์จำนวนอนุภาคแยกตามธาตุโลหะที่พบบนแขนเสื้อบริเวณ 6 ตำแหน่ง คือ แขนเสื้อขวาบริเวณข้อมือ (1R), แขนเสื้อขวาบริเวณข้อศอก (2R), แขนเสื้อขวาบริเวณก่อนถึงหัวไหล่ (3R), แขนเสื้อซ้ายบริเวณข้อมือ (1L), แขนเสื้อซ้ายบริเวณข้อศอก (2L) และแขนเสื้อซ้ายบริเวณก่อนถึงหัวไหล่ (3L) ที่เวลาทำการยิงปืนผ่านไป 15 นาที, 1 ชั่วโมง, 3 ชั่วโมง, 6 ชั่วโมง, 12 ชั่วโมง และ 24 ชั่วโมง ทำการศึกษาทั้งหมด 3 ครั้ง แสดงในตารางที่ 5, 6 และ 7 ดังนี้

4.2.1 ผลการวิเคราะห์ธาตุโลหะสำคัญที่เป็นองค์ประกอบในเขม่าปืน ครั้งที่ 1

ตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์ธาตุโลหะสำคัญที่เป็นองค์ประกอบในเขม่าปืน ครั้งที่ 1

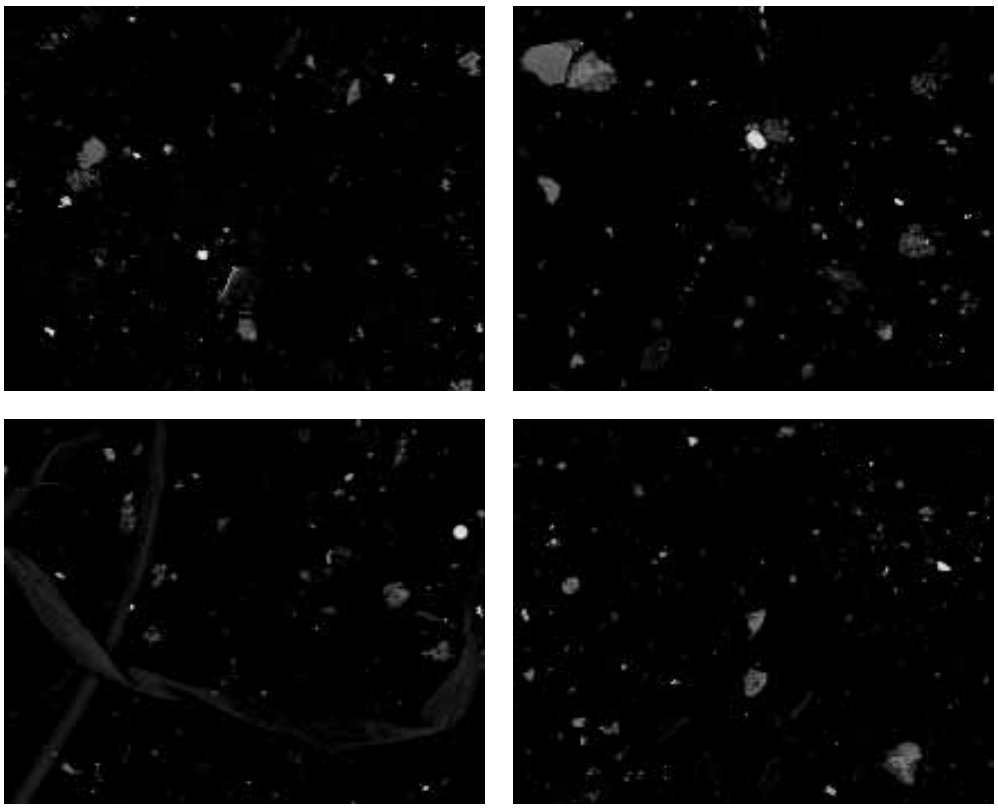
เวลา (ชั่วโมง)	บริเวณต่าง ๆ	จำนวนอนุภาคแยกตามธาตุโลหะที่พบ			
		Pb-Sb-Ba	Pb-Sb	Pb	Ba
15 นาที	1R	0	49	0	2
	2R	0	71	0	1
	3R	0	10	0	0
	1L	0	5	0	4
	2L	0	5	0	0
	3L	0	12	0	0
1	1R	0	10	0	0
	2R	2	6	0	1
	3R	0	6	0	0
	1L	0	4	0	3
	2L	0	10	0	0
	3L	1	7	0	0
3	1R	0	9	2	0
	2R	1	4	0	2
	3R	0	1	0	1
	1L	0	1	0	1
	2L	1	0	0	1
	3L	0	0	0	0
6	1R	0	4	0	0
	2R	1	1	4	1
	3R	0	2	0	0
	1L	0	1	1	0
	2L	0	0	1	0
	3L	0	6	2	1

ตารางที่ 5 (ต่อ)

เวลา (ชั่วโมง)	บริเวณต่างๆ	จำนวนอนุภาคแยกตามธาตุโลหะที่พบ			
		Pb-Sb-Ba	Pb-Sb	Pb	Ba
12	1R	0	1	0	0
	2R	0	1	0	0
	3R	0	10	0	0
	1L	0	2	0	0
	2L	0	0	0	0
	3L	0	9	0	0
24	1R	0	2	0	0
	2R	0	0	0	0
	3R	0	1	0	0
	1L	0	1	0	0
	2L	0	0	0	0
	3L	0	0	0	0

จากตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์ธาตุโลหะสำคัญที่เป็นองค์ประกอบในเขม่าปืน ครั้งที่ 1 โดยการแยกตามธาตุโลหะที่พบที่เวลาต่าง ๆ สรุปผลได้ดังนี้

ที่เวลาต่าง ๆ	ผลสรุป
15 นาที	พบอนุภาคของเขม่าปืนที่มีลักษณะอนุภาคค่อนข้างกลม มีความสว่างจ้า มีธาตุผสมและธาตุเดียว คือ PbSb และ Ba โดยอนุภาคที่พบส่วนใหญ่ คือ PbSb (ตัวอย่างแสดงในภาพที่ 30 ที่แขนขวาบริเวณข้อมือ)
1 ชั่วโมง	พบอนุภาคของเขม่าปืนที่มีลักษณะอนุภาคค่อนข้างกลม มีความสว่างจ้า มีธาตุผสมและธาตุเดียว คือ PbSbBa เป็นองค์ประกอบครบทั้ง 3 ธาตุ, PbSb , Pb และ Ba โดยอนุภาคที่พบส่วนใหญ่ คือ PbSb
3 ชั่วโมง	พบอนุภาคของเขม่าปืนที่มีลักษณะอนุภาคค่อนข้างกลม มีความสว่างจ้า มีธาตุผสมและธาตุเดียว คือ PbSbBa เป็นองค์ประกอบครบทั้ง 3 ธาตุ, PbSb , Pb และ Ba โดยอนุภาคที่พบส่วนใหญ่ คือ PbSb
6 ชั่วโมง	พบอนุภาคของเขม่าปืนที่มีลักษณะอนุภาคค่อนข้างกลม มีความสว่างจ้า มีธาตุผสมและธาตุเดียว คือ PbSbBa เป็นองค์ประกอบครบทั้ง 3 ธาตุ, PbSb , Pb และ Ba โดยอนุภาคที่พบส่วนใหญ่ คือ PbSb
12 ชั่วโมง	พบอนุภาคของเขม่าปืนที่มีลักษณะอนุภาคค่อนข้างกลม มีความสว่างจ้า มีธาตุผสม คือ PbSb
24 ชั่วโมง	พบอนุภาคของเขม่าปืนที่มีลักษณะอนุภาคค่อนข้างกลม มีความสว่างจ้า มีธาตุผสม คือ PbSb



ภาพที่ 30 กลุ่มอนุภาค GSR ที่เก็บจากแขนเสื้อขวาบริเวณข้อมือ ภายหลังยิงปืนผ่านไป 15 นาที เมื่อวิเคราะห์ในภาพรวมพบ อนุภาคที่ประกอบด้วยธาตุ PbSb และธาตุ Ba (ผลการทดลองครั้งที่ 1)

4.2.2 ผลการวิเคราะห์ธาตุโลหะสำคัญที่เป็นองค์ประกอบในเขม่าปืน ครั้งที่ 2

ตารางที่ 6 ผลการวิเคราะห์ธาตุโลหะสำคัญที่เป็นองค์ประกอบในเขม่าปืน ครั้งที่ 2

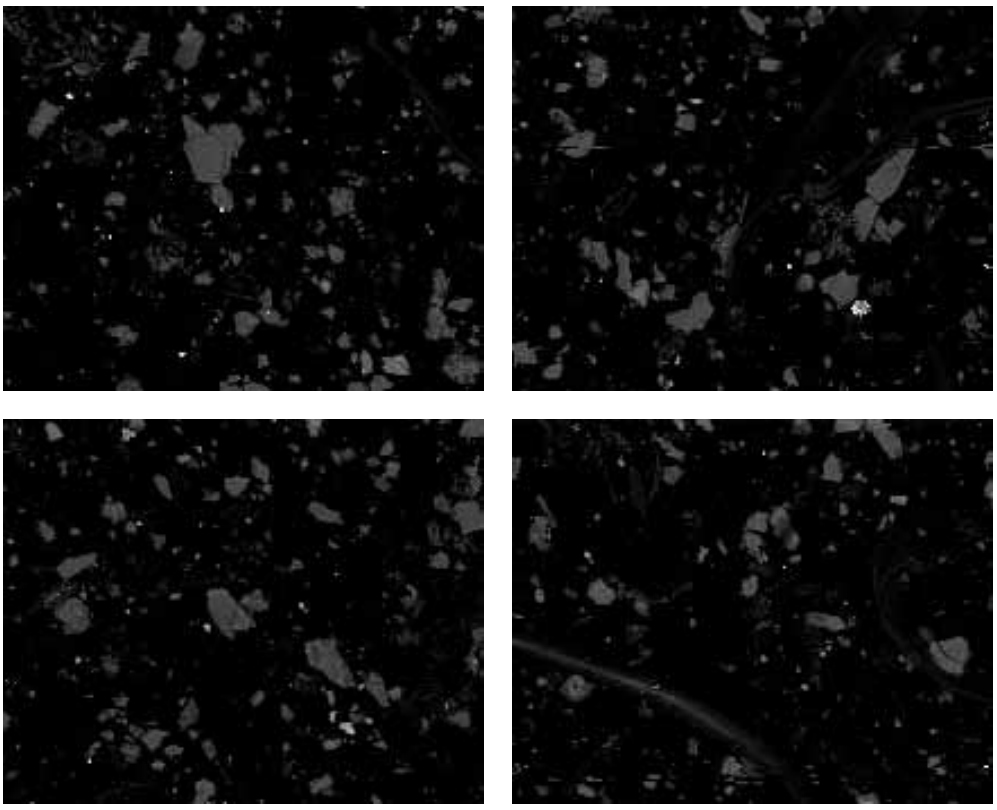
เวลา (ชั่วโมง)	บริเวณต่าง ๆ	จำนวนอนุภาคแยกตามธาตุโลหะที่พบ			
		Pb-Sb-Ba	Pb-Sb	Pb	Ba
15 นาที	1R	2	48	0	0
	2R	0	25	0	1
	3R	0	14	0	0
	1L	2	10	0	1
	2L	0	12	1	3
	3L	0	7	0	1
1	1R	0	39	0	0
	2R	1	22	0	1
	3R	0	3	0	1
	1L	1	14	0	1
	2L	0	5	0	0
	3L	0	3	0	0
3	1R	0	6	2	0
	2R	2	5	0	0
	3R	0	0	0	0
	1L	0	4	0	1
	2L	0	2	0	0
	3L	0	2	0	0
6	1R	0	6	0	3
	2R	0	3	0	0
	3R	0	1	0	0
	1L	0	0	0	1
	2L	0	0	1	0
	3L	0	1	0	0

ตารางที่ 6 (ต่อ)

เวลา (ชั่วโมง)	บริเวณต่าง ๆ	จำนวนอนุภาคแยกตามธาตุโลหะที่พบ			
		Pb-Sb-Ba	Pb-Sb	Pb	Ba
12	1R	0	6	0	0
	2R	0	4	0	0
	3R	0	14	0	0
	1L	0	0	0	0
	2L	0	8	0	0
	3L	0	8	0	0
24	1R	0	0	0	0
	2R	1	1	0	1
	3R	0	1	0	0
	1L	0	5	0	1
	2L	0	4	0	1
	3L	0	3	0	2

จากตารางที่ 6 ผลการวิเคราะห์ธาตุโลหะสำคัญที่เป็นองค์ประกอบในเขม่าปืน ครั้งที่ 2 โดยการแยกตามธาตุโลหะที่พบที่เวลาต่าง ๆ สรุปผลได้ดังนี้

ที่เวลาต่าง ๆ	ผลสรุป
15 นาที	พบอนุภาคของเขม่าปืนที่มีลักษณะอนุภาคค่อนข้างกลม มีความสว่างจ้า มีธาตุผสมและธาตุเดียว คือ PbSbBa เป็นองค์ประกอบครบทั้ง 3 ธาตุ, PbSb , Pb และ Ba โดยอนุภาคที่พบส่วนใหญ่ คือ PbSb (ตัวอย่างแสดงในภาพที่ 31 ที่แขนขวาบริเวณข้อมือ)
1 ชั่วโมง	พบอนุภาคของเขม่าปืนที่มีลักษณะอนุภาคค่อนข้างกลม มีความสว่างจ้า มีธาตุผสมและธาตุเดียว คือ PbSbBa เป็นองค์ประกอบครบทั้ง 3 ธาตุ, PbSb และ Ba โดยอนุภาคที่พบส่วนใหญ่ คือ PbSb
3 ชั่วโมง	พบอนุภาคของเขม่าปืนที่มีลักษณะอนุภาคค่อนข้างกลม มีความสว่างจ้า มีธาตุผสมและธาตุเดียว คือ PbSbBa เป็นองค์ประกอบครบทั้ง 3 ธาตุ, PbSb , Pb และ Ba โดยอนุภาคที่พบส่วนใหญ่ คือ PbSb
6 ชั่วโมง	พบอนุภาคของเขม่าปืนที่มีลักษณะอนุภาคค่อนข้างกลม มีความสว่างจ้า มีธาตุผสมและธาตุเดียว คือ PbSb , Pb และ Ba โดยอนุภาคที่พบส่วนใหญ่ คือ PbSb
12 ชั่วโมง	พบอนุภาคของเขม่าปืนที่มีลักษณะอนุภาคค่อนข้างกลม มีความสว่างจ้า มีธาตุผสมของ PbSb
24 ชั่วโมง	พบอนุภาคของเขม่าปืนที่มีลักษณะอนุภาคค่อนข้างกลม มีความสว่างจ้า มีธาตุผสมและธาตุเดียว คือ PbSbBa เป็นองค์ประกอบครบทั้ง 3 ธาตุ, PbSb และ Ba โดยอนุภาคที่พบส่วนใหญ่ คือ PbSb



ภาพที่ 31 กลุ่มอนุภาค GSR ที่เก็บจากแขนเสื้อขวาบริเวณข้อมือ ภายหลังยิงปืนผ่านไป 15 นาที เมื่อวิเคราะห์ในภาพรวมพบ อนุภาคที่ประกอบด้วยธาตุ PbSbBa และธาตุ PbSb (ผลการทดลองครั้งที่ 2)

4.2.3 ผลการวิเคราะห์ธาตุโลหะสำคัญที่เป็นองค์ประกอบในเขม่าปืน ครั้งที่ 3

ตารางที่ 7 ผลการวิเคราะห์ธาตุโลหะสำคัญที่เป็นองค์ประกอบในเขม่าปืน ครั้งที่ 3

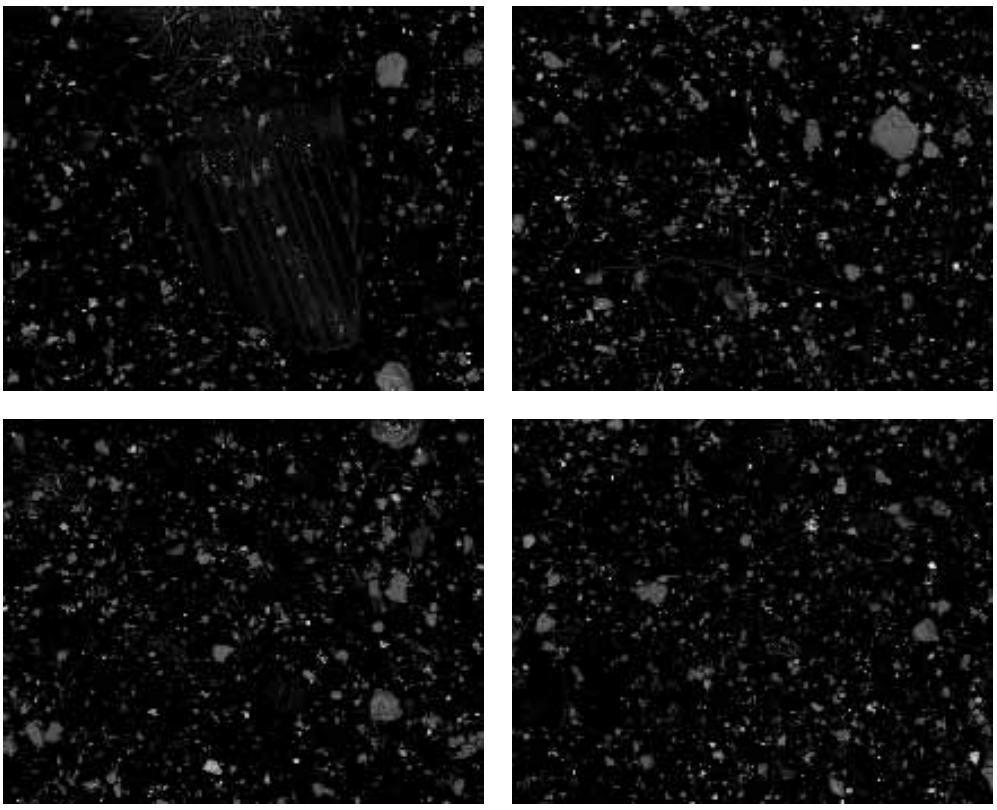
เวลา (ชั่วโมง)	บริเวณต่าง ๆ	จำนวนอนุภาคแยกตามธาตุโลหะที่พบ			
		Pb-Sb-Ba	Pb-Sb	Pb	Ba
15 นาที	1R	0	245	0	0
	2R	1	122	0	0
	3R	0	179	0	0
	1L	0	102	0	3
	2L	0	153	0	0
	3L	0	89	0	0
1	1R	1	84	0	1
	2R	0	68	0	0
	3R	0	102	0	0
	1L	1	56	0	2
	2L	8	97	0	0
	3L	0	58	0	0
3	1R	0	27	0	0
	2R	0	44	0	0
	3R	0	57	0	3
	1L	0	38	0	0
	2L	0	34	0	0
	3L	3	57	0	0
6	1R	0	4	0	1
	2R	1	16	0	1
	3R	1	9	0	0
	1L	0	0	0	0
	2L	0	7	0	1
	3L	0	10	0	0

ตารางที่ 7 (ต่อ)

เวลา (ชั่วโมง)	บริเวณต่าง ๆ	จำนวนอนุภาคแยกตามธาตุโลหะที่พบ			
		Pb-Sb-Ba	Pb-Sb	Pb	Ba
12	1R	0	3	0	0
	2R	0	18	0	1
	3R	1	3	0	1
	1L	0	3	1	2
	2L	0	0	0	0
	3L	0	3	0	0
24	1R	0	1	0	0
	2R	0	9	0	0
	3R	0	8	0	0
	1L	0	6	0	0
	2L	0	5	0	0
	3L	0	8	0	0

จากตารางที่ 7 ผลการวิเคราะห์ธาตุโลหะสำคัญที่เป็นองค์ประกอบในเขม่าปืน ครั้งที่ 3 โดยการแยกตามธาตุโลหะที่พบที่เวลาต่าง ๆ สรุปผลได้ดังนี้

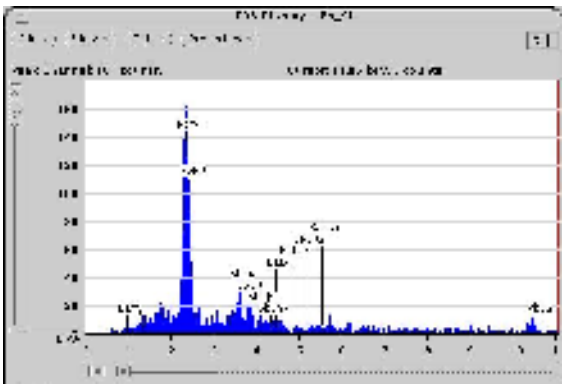
ที่เวลาต่าง ๆ	ผลสรุป
15 นาที	พบอนุภาคของเขม่าปืนที่มีลักษณะอนุภาคค่อนข้างกลม มีความสว่างจ้า มีธาตุผสมและธาตุเดียว คือ PbSbBa เป็นองค์ประกอบครบทั้ง 3 ธาตุ, PbSb และ Ba โดยอนุภาคที่พบส่วนใหญ่ คือ PbSb (ตัวอย่างแสดงในภาพที่ 32 ที่แขนขวาบริเวณข้อมือ)
1 ชั่วโมง	พบอนุภาคของเขม่าปืนที่มีลักษณะอนุภาคค่อนข้างกลม มีความสว่างจ้า มีธาตุผสมและธาตุเดียว คือ PbSbBa เป็นองค์ประกอบครบทั้ง 3 ธาตุ, PbSb และ Ba โดยอนุภาคที่พบส่วนใหญ่ คือ PbSb
3 ชั่วโมง	พบอนุภาคของเขม่าปืนที่มีลักษณะอนุภาคค่อนข้างกลม มีความสว่างจ้า มีธาตุผสมและธาตุเดียว คือ PbSbBa เป็นองค์ประกอบครบทั้ง 3 ธาตุ, PbSb และ Ba โดยอนุภาคที่พบส่วนใหญ่ คือ PbSb
6 ชั่วโมง	พบอนุภาคของเขม่าปืนที่มีลักษณะอนุภาคค่อนข้างกลม มีความสว่างจ้า มีธาตุผสมและธาตุเดียว คือ PbSbBa เป็นองค์ประกอบครบทั้ง 3 ธาตุ, PbSb และ Ba โดยอนุภาคที่พบส่วนใหญ่ คือ PbSb
12 ชั่วโมง	พบอนุภาคของเขม่าปืนที่มีลักษณะอนุภาคค่อนข้างกลม มีความสว่างจ้า มีธาตุผสมและธาตุเดียว คือ PbSbBa เป็นองค์ประกอบครบทั้ง 3 ธาตุ, PbSb, Pb และ Ba โดยอนุภาคที่พบส่วนใหญ่ คือ PbSb
24 ชั่วโมง	พบอนุภาคของเขม่าปืนที่มีลักษณะอนุภาคค่อนข้างกลม มีความสว่างจ้า มีธาตุผสม คือ PbSb



ภาพที่ 32 กลุ่มอนุภาค GSR ที่เก็บจากแขนเสื้อขวาบริเวณข้อมือ ภายหลังยิงปืนผ่านไป 15 นาที เมื่อวิเคราะห์ในภาพรวมพบ อนุภาคที่ประกอบด้วยธาตุ PbSb (ผลการทดลองครั้งที่ 3)

จากผลการวิเคราะห์ธาตุโลหะสำคัญที่เป็นองค์ประกอบในเขม่าปืนโดยการแยกตามธาตุโลหะที่เวลาต่าง ๆ ทั้ง 3 ครั้ง พบว่า สามารถพบอนุภาคเขม่าปืนที่มีลักษณะอนุภาคค่อนข้างกลม และมีความสว่างจ้า มีธาตุผสมและธาตุเดียว คือ PbSbBa เป็นองค์ประกอบครบทั้ง 3 ธาตุ, PbSb, Pb และ Ba โดยอนุภาคที่พบส่วนใหญ่ คือ PbSb ดังแสดงในภาพที่ 33 และ 34

ภาพที่ 33 อนุภาคเขม่าปืนที่มีลักษณะอนุภาคค่อนข้างกลม มีความสว่างจ้า มีธาตุ PbSb เป็นองค์ประกอบ



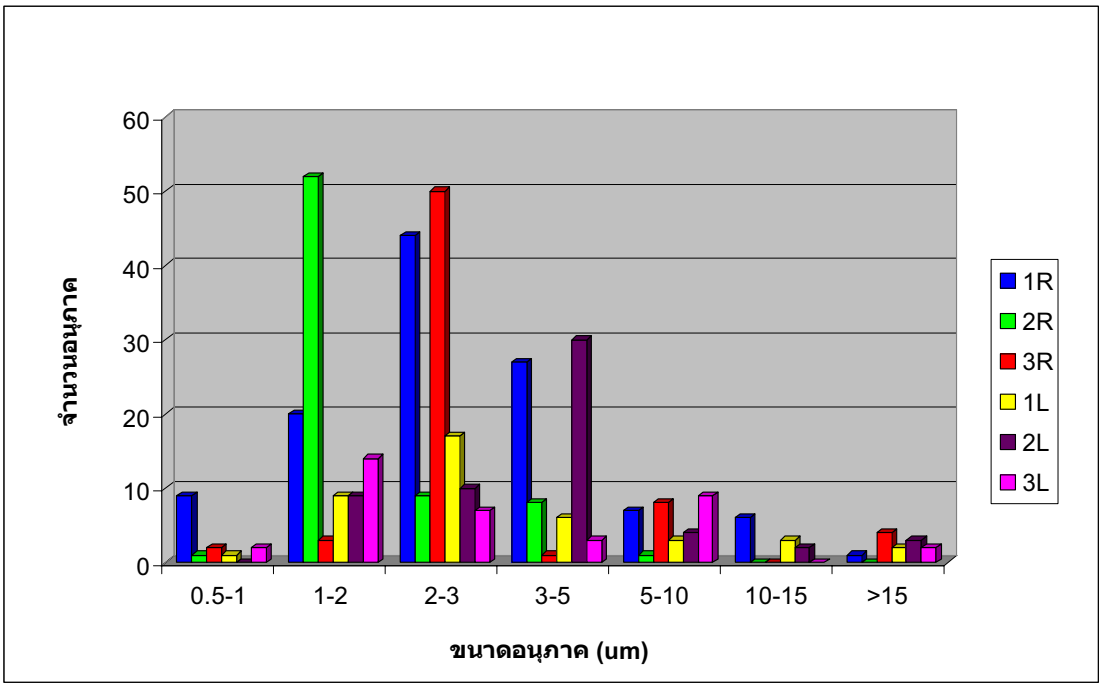
ภาพที่ 34 Spectrum ของเขม่าปืนซึ่งพบ ธาตุ PbSb

4.3 ผลการวิเคราะห์จำนวนกับขนาดอนุภาคเขม่าปืนที่พบ

ผลการนับจำนวนแยกตามขนาดอนุภาคเขม่าปืนที่พบบนแขนเสื้อบริเวณ 6 ตำแหน่ง คือ แขนเสื้อขวาบริเวณข้อมือ (1R), แขนเสื้อขวาบริเวณข้อศอก (2R), แขนเสื้อขวาบริเวณก่อนถึงหัวไหล่ (3R), แขนเสื้อซ้ายบริเวณข้อมือ (1L), แขนเสื้อซ้ายบริเวณข้อศอก (2L) และแขนเสื้อซ้ายบริเวณก่อนถึงหัวไหล่ (3L) ที่เวลาทำการยิงปืนผ่านไป 15 นาที, 1 ชั่วโมง, 3 ชั่วโมง, 6 ชั่วโมง , 12 ชั่วโมง และ 24 ชั่วโมง แสดงตามตารางที่ 8 – 13 รวมทั้งแสดงเป็นแผนภูมิแท่ง ตามภาพที่ 35 -40 มีดังนี้

ตารางที่ 8 ขนาดกับจำนวนอนุภาคเขม่าปืนที่พบบนแขนเสื้อที่บริเวณต่าง ๆ ที่เวลา 15 นาที

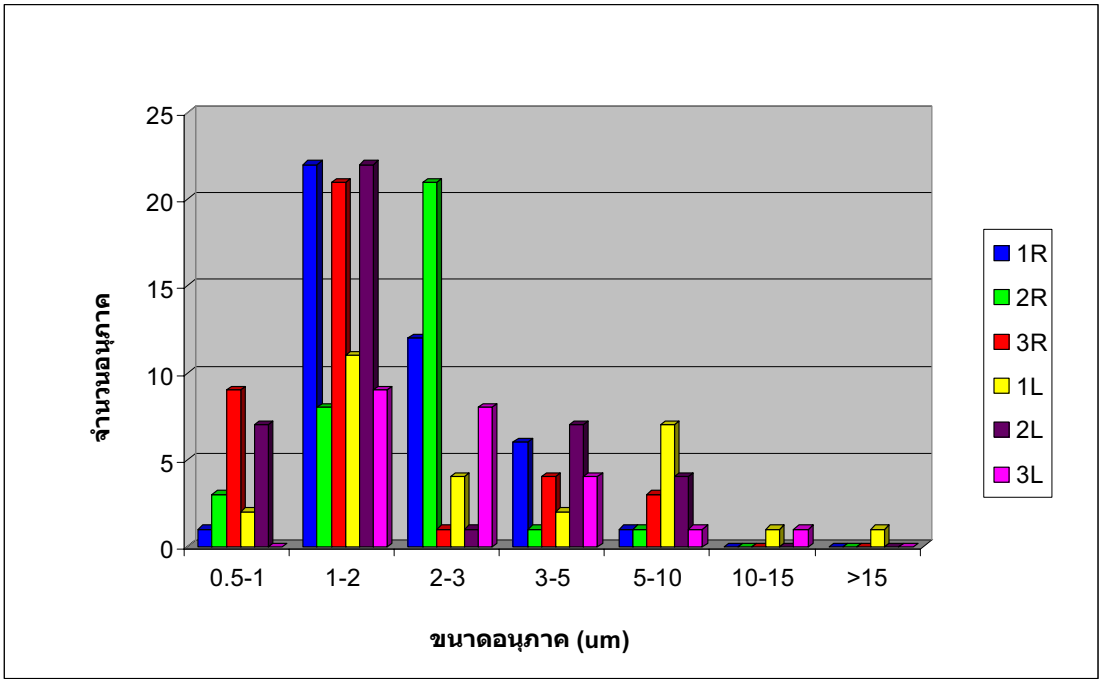
แขนเสื้อที่บริเวณต่าง ๆ	ค่าเฉลี่ยจำนวนอนุภาคเขม่าปืนขนาดต่างๆ ที่พบ						
	0.5-1 µm	1-2 µm	2-3 µm	3-5 µm	5-10 µm	10-15 µm	>15 µm
แขนเสื้อขวาบริเวณข้อมือ (1R)	9	20	44	27	7	6	1
แขนเสื้อขวาบริเวณข้อศอก (2R)	1	52	9	8	1	0	0
แขนเสื้อขวาบริเวณก่อนถึงหัวไหล่ (3R)	2	3	50	1	8	0	4
แขนเสื้อซ้ายบริเวณข้อมือ (1L)	1	9	17	6	3	3	2
แขนเสื้อซ้ายบริเวณข้อศอก (2L)	0	9	10	30	4	2	3
แขนเสื้อซ้ายบริเวณก่อนถึงหัวไหล่ (3L)	2	14	7	3	9	0	2



ภาพที่ 35 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดกับจำนวนอนุภาคเขม่าปืนที่พบบนแขนเสื้อที่บริเวณต่าง ๆ ที่เวลา 15 นาที

ตารางที่ 9 ขนาดกับจำนวนอนุภาคเขม่าปืนที่พบบนแขนเสื้อที่บริเวณต่าง ๆ ที่เวลา 1 ชั่วโมง

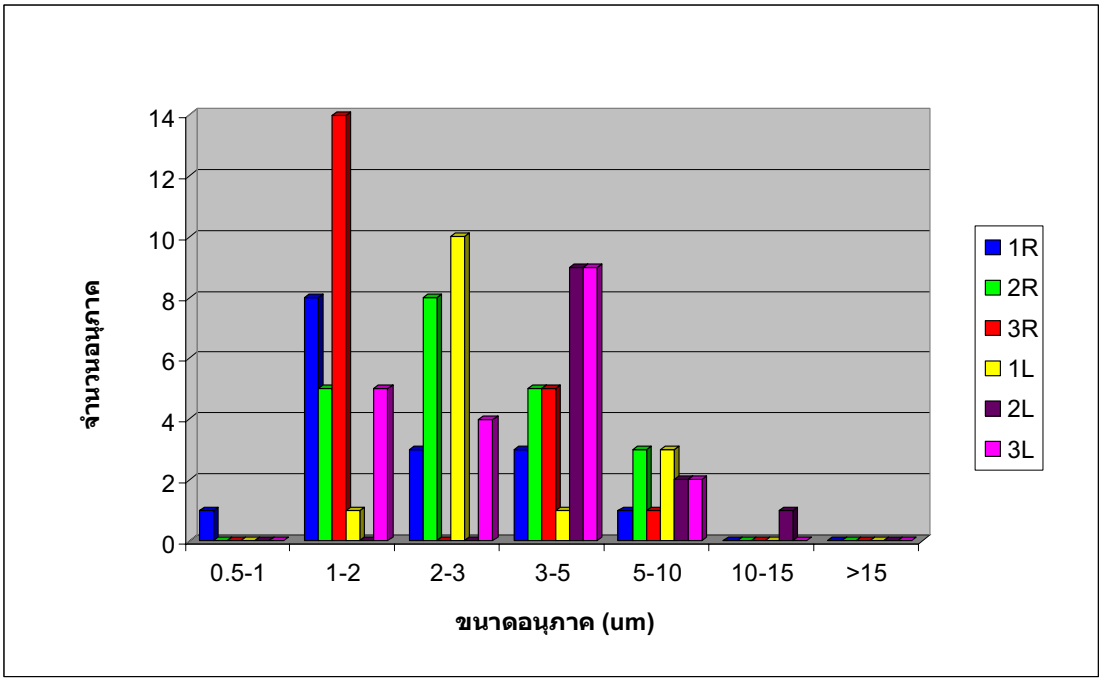
แขนเสื้อที่บริเวณต่าง ๆ	ค่าเฉลี่ยจำนวนอนุภาคเขม่าปืนขนาดต่างๆ ที่พบ						
	0.5-1 µm	1-2 µm	2-3 µm	3-5 µm	5-10 µm	10-15 µm	>15 µm
แขนเสื้อขวาบริเวณข้อมือ (1R)	1	22	12	6	1	0	0
แขนเสื้อขวาบริเวณข้อศอก (2R)	3	8	21	1	1	0	0
แขนเสื้อขวาบริเวณก่อนถึงหัวไหล่ (3R)	9	21	1	4	3	0	0
แขนเสื้อซ้ายบริเวณข้อมือ (1L)	2	11	4	2	7	1	1
แขนเสื้อซ้ายบริเวณข้อศอก (2L)	7	22	1	7	4	0	0
แขนเสื้อซ้ายบริเวณก่อนถึงหัวไหล่ (3L)	0	9	8	4	1	1	0



ภาพที่ 36 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดกับจำนวนอนุภาคเขม่าปืนที่พบบนแขนเสื้อที่บริเวณต่าง ๆ ที่เวลา 1 ชั่วโมง

ตารางที่ 10 ขนาดกับจำนวนอนุภาคเขม่าปืนที่พบบนแขนเสื้อที่บริเวณต่าง ๆ ที่เวลา 3 ชั่วโมง

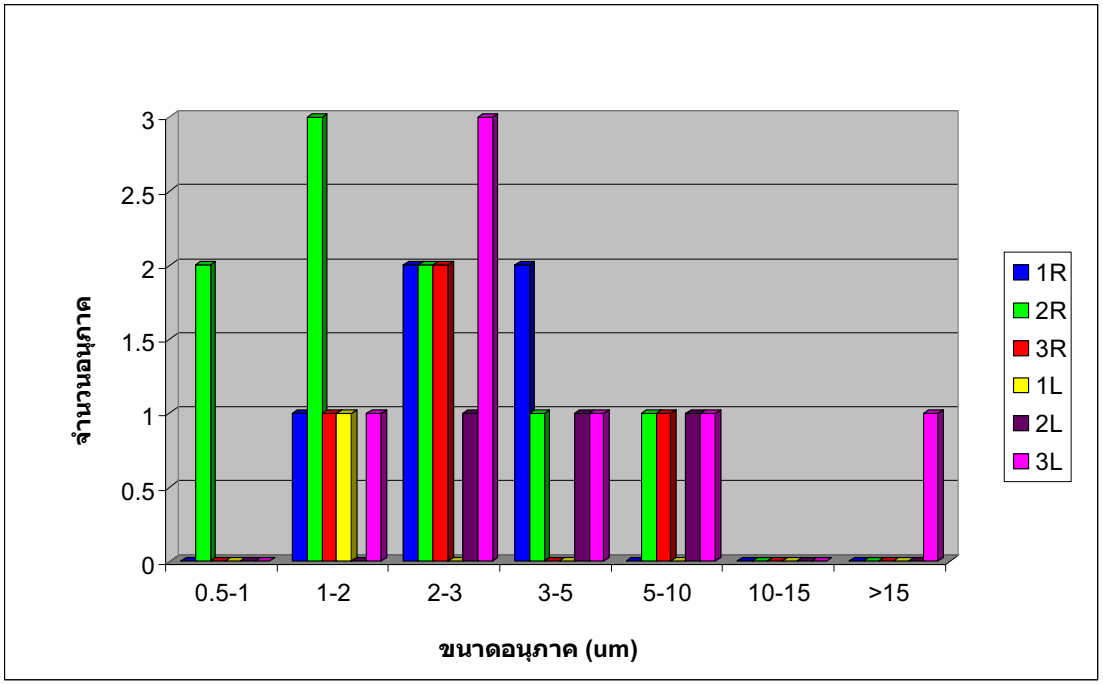
แขนเสื้อที่บริเวณต่าง ๆ	ค่าเฉลี่ยจำนวนอนุภาคเขม่าปืนขนาดต่างๆ ที่พบ						
	0.5-1 µm	1-2 µm	2-3 µm	3-5 µm	5-10 µm	10-15 µm	>15 µm
แขนเสื้อขวาบริเวณข้อมือ (1R)	1	8	3	3	1	0	0
แขนเสื้อขวาบริเวณข้อศอก (2R)	0	5	8	5	3	0	0
แขนเสื้อขวาบริเวณก่อนถึงหัวไหล่ (3R)	0	14	0	5	1	0	0
แขนเสื้อซ้ายบริเวณข้อมือ (1L)	0	1	10	1	3	0	0
แขนเสื้อซ้ายบริเวณข้อศอก (2L)	0	0	0	9	2	1	0
แขนเสื้อซ้ายบริเวณก่อนถึงหัวไหล่ (3L)	0	5	4	9	2	0	0



ภาพที่ 37 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดกับจำนวนอนุภาคเขม่าปืนที่พบบนแขนเสื้อที่บริเวณต่าง ๆ ที่เวลา 3 ชั่วโมง

ตารางที่ 11 ขนาดกับจำนวนอนุภาคเขม่าปืนที่พบบนแขนเสื้อที่บริเวณต่าง ๆ ที่เวลา 6 ชั่วโมง

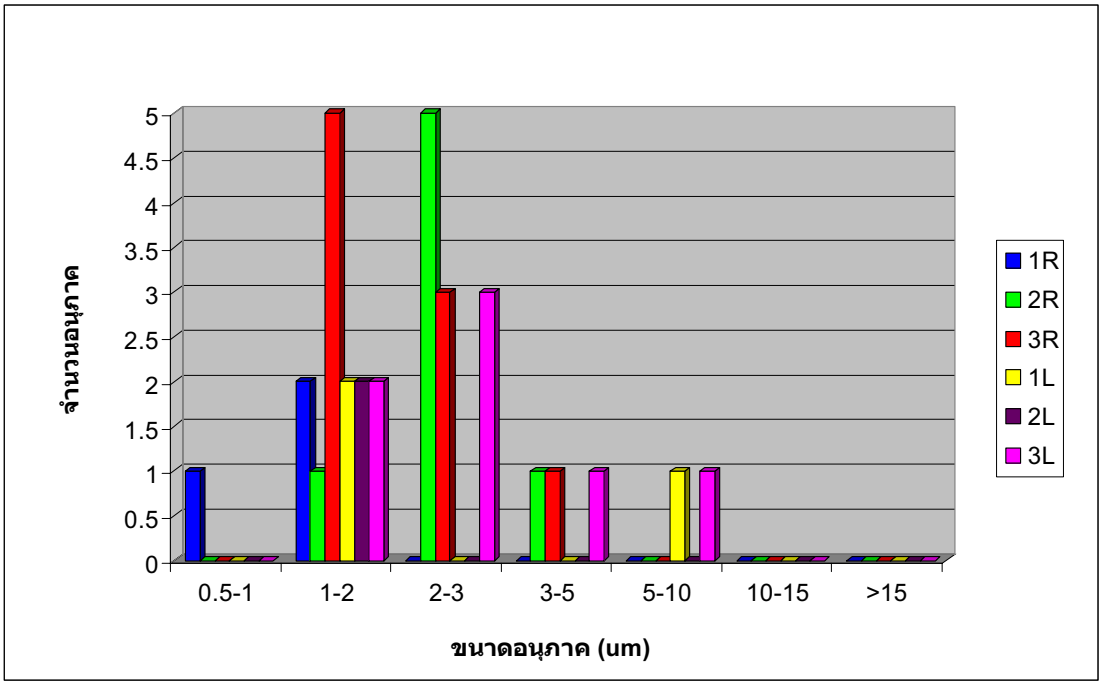
แขนเสื้อที่บริเวณต่าง ๆ	ค่าเฉลี่ยจำนวนอนุภาคเขม่าปืนขนาดต่างๆ ที่พบ						
	0.5-1 µm	1-2 µm	2-3 µm	3-5 µm	5-10 µm	10-15 µm	>15 µm
แขนเสื้อขวาบริเวณข้อมือ (1R)	0	1	2	2	0	0	0
แขนเสื้อขวาบริเวณข้อศอก (2R)	2	3	2	1	1	0	0
แขนเสื้อขวาบริเวณก่อนถึงหัวไหล่ (3R)	0	1	2	0	1	0	0
แขนเสื้อซ้ายบริเวณข้อมือ (1L)	0	1	0	0	0	0	0
แขนเสื้อซ้ายบริเวณข้อศอก (2L)	0	0	1	1	1	0	0
แขนเสื้อซ้ายบริเวณก่อนถึงหัวไหล่ (3L)	0	1	3	1	1	0	1



ภาพที่ 38 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดกับจำนวนอนุภาคเขม่าปืนที่พบบนแขนเสื้อที่บริเวณต่าง ๆ ที่เวลา 6 ชั่วโมง

ตารางที่ 12 ขนาดกับจำนวนอนุภาคเขม่าปืนที่พบบนแขนเสื้อที่บริเวณต่าง ๆ ที่เวลา 12 ชั่วโมง

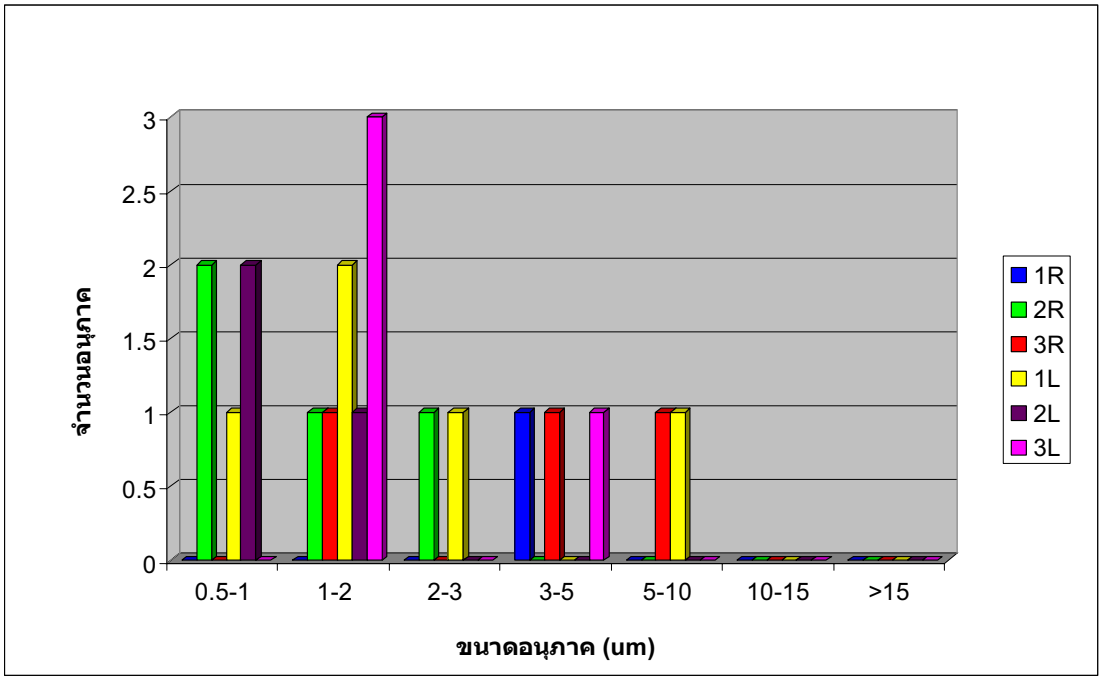
แขนเสื้อที่บริเวณต่าง ๆ	ค่าเฉลี่ยจำนวนอนุภาคเขม่าปืนขนาดต่างๆ ที่พบ						
	0.5-1 µm	1-2 µm	2-3 µm	3-5 µm	5-10 µm	10-15 µm	>15 µm
แขนเสื้อขวาบริเวณข้อมือ (1R)	1	2	0	0	0	0	0
แขนเสื้อขวาบริเวณข้อศอก (2R)	0	1	5	1	0	0	0
แขนเสื้อขวาบริเวณก่อนถึงหัวไหล่ (3R)	0	5	3	1	0	0	0
แขนเสื้อซ้ายบริเวณข้อมือ (1L)	0	2	0	0	1	0	0
แขนเสื้อซ้ายบริเวณข้อศอก (2L)	0	2	0	0	0	0	0
แขนเสื้อซ้ายบริเวณก่อนถึงหัวไหล่ (3L)	0	2	3	1	1	0	0



ภาพที่ 39 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดกับจำนวนอนุภาคเขม่าปืนที่พบบนแขนเสื้อที่บริเวณต่าง ๆ ที่เวลา 12 ชั่วโมง

ตารางที่ 13 ขนาดกับจำนวนอนุภาคเขม่าปืนที่พบบนแขนเสื้อที่บริเวณต่าง ๆ ที่เวลา 24 ชั่วโมง

แขนเสื้อที่บริเวณต่าง ๆ	ค่าเฉลี่ยจำนวนอนุภาคเขม่าปืนขนาดต่างๆ ที่พบ						
	0.5-1 µm	1-2 µm	2-3 µm	3-5 µm	5-10 µm	10-15 µm	>15 µm
แขนเสื้อขวาบริเวณข้อมือ (1R)	0	0	0	1	0	0	0
แขนเสื้อขวาบริเวณข้อศอก (2R)	2	1	1	0	0	0	0
แขนเสื้อขวาบริเวณก่อนถึงหัวไหล่ (3R)	0	1	0	1	1	0	0
แขนเสื้อซ้ายบริเวณข้อมือ (1L)	1	2	1	0	1	0	0
แขนเสื้อซ้ายบริเวณข้อศอก (2L)	2	1	0	0	0	0	0
แขนเสื้อซ้ายบริเวณก่อนถึงหัวไหล่ (3L)	0	3	0	1	0	0	0



ภาพที่ 40 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดกับจำนวนอนุภาคเขม่าปืนที่พบบนแขนเสื้อที่บริเวณต่าง ๆ ที่เวลา 24 ชั่วโมง

จากผลการนับจำนวนกับขนาดอนุภาคเขม่าปืนที่เวลา 15 นาที, 1 ชั่วโมง, 3 ชั่วโมง, 6 ชั่วโมง, 12 ชั่วโมง และ 24 ชั่วโมง ที่พบบนแขนเสื้อที่บริเวณต่าง ๆ 6 ตำแหน่ง ตามตารางที่ 8-13 แล้วนำมาสร้างแผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดกับจำนวนอนุภาคเขม่าปืน ดังแสดงในภาพที่ 35 – 40 พบว่า

4.3.1 ภายหลังการยิงปืนไปแล้ว 15 นาที พบอนุภาคเขม่าปืนขนาด 0.5-1 µm, 1-2 µm, 2-3 µm, 3-5 µm, 5-10 µm, 10-15 µm และ >15 µm โดยส่วนมากพบอนุภาคขนาด 3-5 µm 1-2, 2-3 และ 3-5 µm และอนุภาคขนาด 10-15 µm และ >15 µm ซึ่งพบจำนวนน้อยกระจายอยู่บนแขนเสื้อทั้ง 6 ตำแหน่ง

4.3.2 ภายหลังการยิงปืนไปแล้ว 1 ชั่วโมง พบอนุภาคเขม่าปืนขนาด 0.5-1 µm, 1-2 µm, 2-3 µm, 3-5 µm และ 5-10 µm, อนุภาคขนาด 10-15 µm ที่แขนเสื้อซ้ายบริเวณข้อมือและก่อนถึงหัวไหล่ และอนุภาคขนาด >15 µm ที่แขนเสื้อซ้ายบริเวณข้อมือ โดยส่วนมากพบอนุภาคขนาด 3-5 µm 1-2, 2-3 และ 3-5 µm

4.3.3 ภายหลังการยิงปืนไปแล้ว 3 ชั่วโมง พบอนุภาคขนาด 1-2 µm, 2-3 µm, 3-5 µm และ 5-10 µm, อนุภาคเขม่าปืนขนาด 0.5-1 µm ที่แขนเสื้อขวาบริเวณข้อมือ และ อนุภาคขนาด 10-15 µm ที่แขนเสื้อซ้ายบริเวณข้อศอก

4.3.4 ภายหลังการยิงปืนไปแล้ว 6 ชั่วโมง พบอนุภาคขนาด 1-2 µm, 2-3 µm, 3-5 µm และ 5-10 µm, อนุภาคเขม่าปืนขนาด 0.5-1 µm ที่แขนเสื้อขวาบริเวณข้อศอก และอนุภาคขนาด >15 µm ที่แขนเสื้อซ้ายบริเวณก่อนถึงหัวไหล่

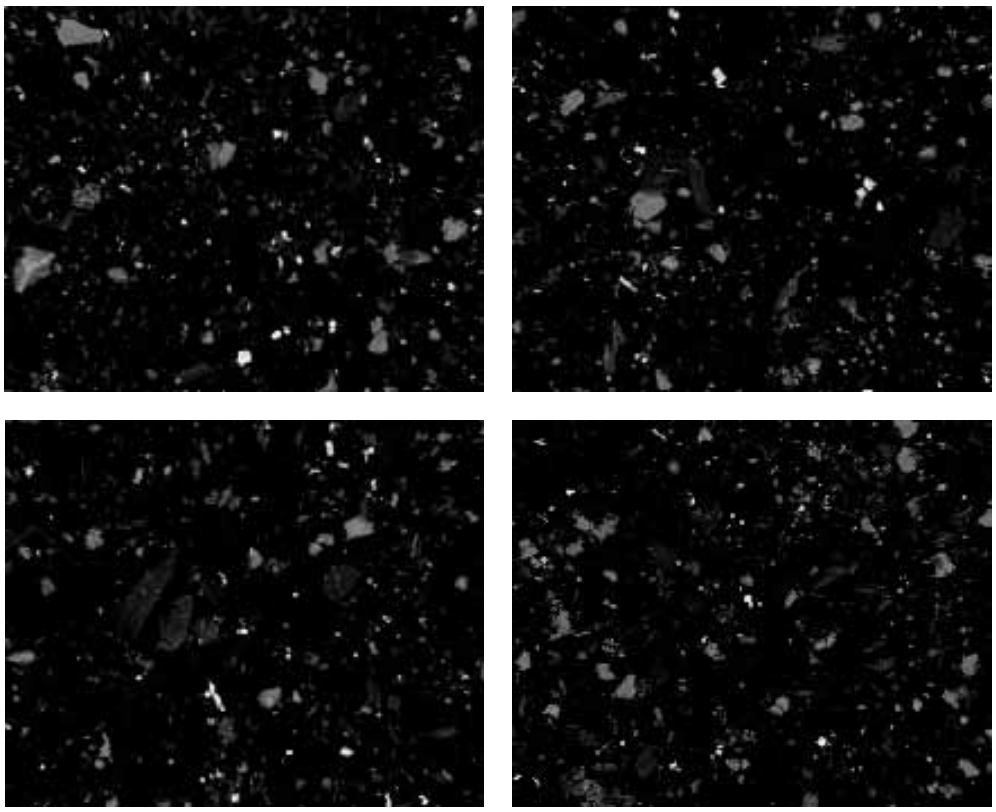
4.3.5 ภายหลังการยิงปืนไปแล้ว 12 และ 24 ชั่วโมง พบอนุภาคขนาด 0.5-1 µm, 1-2 µm, 2-3 µm, 3-5 µm และ 5-10 µm แต่ไม่พบอนุภาคขนาด 10-15 µm และ >15 µm

จะเห็นว่าโดยส่วนใหญ่พบอนุภาคขนาด 0.5-1, 1-2, 2-3, 3-5 และ 5-10 µm กระจายบนแขนเสื้อตั้งแต่ข้อมือจนถึงบริเวณก่อนถึงหัวไหล่หรือต้นแขน ส่วนอนุภาคที่มีขนาดใหญ่มีขนาด 10-15 µm และ >15 µm จะพบน้อยและไม่พบเมื่อเวลาผ่านไปจนถึง 24 ชั่วโมง แสดงให้เห็นว่าเมื่อเวลาผ่านไปสามารถตรวจพบอนุภาคเขม่าปืนที่มีขนาดเล็กบนเสื้อผ้าได้มากกว่าอนุภาคที่มีขนาดใหญ่

4.4 ผลวิเคราะห์ Blank Sample

ผลการทดลองวิเคราะห์อนุภาคเขม่าปืนผู้ที่ไม่ได้ทำการยิงปืนบนแขนเสื้อ 6 ตำแหน่ง โดยได้ทำกิจกรรมต่าง ๆ ในชีวิตประจำวันตามปกติ แล้วทำการเก็บอนุภาคเขม่าปืนภายหลังเวลาผ่านไป 6 ชั่วโมง พบว่าตรวจไม่พบอนุภาคเขม่าปืนที่แขนเสื้อทั้งสองข้าง ซึ่งแสดงว่าไม่พบการ

ปนเปื้อนบริเวณที่ผู้ที่ไม่ได้ยิงปืนทำกิจกรรมในชีวิตประจำวันตามปกติ (ตัวอย่างผลการวิเคราะห์แสดงตามภาพที่ 41)



ภาพที่ 41 ตรวจไม่พบกลุ่มอนุภาค GSR ที่เก็บจากแขนเสื้อขวาบริเวณข้อมือ ภายหลังทำกิจกรรมต่าง ๆ ในชีวิตประจำวันตามปกติผ่านไป 6 ชั่วโมง

บทที่ 5
สรุปผลการทดลอง

การตรวจพิสูจน์คราบเขม่าที่มาจากการยิงปืน ด้วยการใช้เครื่อง Scanning Electron Microscopy / Energy Dispersive X- Ray Spectroscopy (SEM/EDS) เป็นวิธีที่ได้รับการยอมรับว่าเป็นวิธีที่น่าเชื่อถือมากที่สุด เนื่องจากการที่ SEM/EDS เป็นวิธีที่สามารถมองเห็นภาพอนุภาคของคราบเขม่าปืนที่มาจากการยิงปืนได้ แสดงผลเป็นภาพสามมิติ คือ แสดงขนาด มีทั้งความกว้าง ความยาว และความลึก และสามารถวิเคราะห์ชนิดของธาตุที่มีอยู่ในอนุภาคได้หลายธาตุในเวลาเดียวกัน อย่างไรก็ตาม วิธีนี้ผู้ตรวจพิสูจน์ต้องเป็นผู้ที่มีความเชี่ยวชาญ และชำนาญมากพอที่จะสามารถแยกลักษณะภาพของอนุภาคที่เกิดจากการยิงปืน ออกจากสิ่งปนเปื้อนอื่นที่มาจากสิ่งแวดล้อม ได้อย่างถูกต้องแม่นยำ โดยอาศัยรูปร่างเฉพาะตัวของคราบเขม่าปืนที่มาจากการยิงปืนและการหาชนิดของธาตุด้วย EDX ซึ่งจะเป็นสิ่งยืนยันในการตรวจพิสูจน์

เมื่อมีการยิงปืนเกิดขึ้นอนุภาคเขม่าปืนสามารถปลิวไปเกาะได้หลายจุด เช่น มือ, ใบหน้า, เสื้อผ้าที่ผู้ยิงสวมใส่ และวัตถุสิ่งแวดล้อมที่อยู่ใกล้ตัวผู้ยิง โดยปกติการตรวจพิสูจน์อนุภาคเขม่าปืนที่มือของผู้ต้องสงสัยเพื่อที่จะยืนยันตัวผู้ต้องสงสัยนั้นจะทำการเก็บเขม่าปืนโดยเร็วที่สุดภายใน 6 ชั่วโมง ซึ่งโดยปกติแล้วอนุภาคเขม่าปืนที่คงอยู่บนมือหรือตัวบุคคลที่ยิงปืนจะมีการสูญหายไปอย่างต่อเนื่อง เนื่องมาจากการดำเนินกิจกรรมประจำวันตามปกติ ดังนั้นจึงยากที่ผู้ตรวจพิสูจน์จะตรวจพบอนุภาคเขม่าปืนที่เกินช่วงเวลานั้น อย่างไรก็ตามจากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าอนุภาคเขม่าปืนสามารถคงอยู่บนผมและเสื้อผ้าได้ยาวนานกว่าที่มือของผู้ต้องสงสัย (Shigetoshi Kage, et al. 2001)

ในการศึกษาระยะเวลาการคงอยู่ของเขม่าปืนบริเวณแขนเสื้อทั้งสองข้างของผู้ยิง โดยทำการศึกษาธาตุตะกั่ว (Pb), แบเรียม (Ba) และแอนติโมนี (Sb) ที่เป็นธาตุโลหะสำคัญที่เกิดจากการยิงปืนด้วยวิธี SEM/EDS โดยใช้อาวุธปืนรีวอลเวอร์ ขนาด .38 (Special) ยี่ห้อ Smith&Wesson และกระสุนปืนรีวอลเวอร์ ขนาด .38 special ยี่ห้อ R-P ทำการยิงปืนครั้งละ 1 นัด พบว่า

1. อนุภาคที่มาจากการยิงปืน เมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน โดยใช้โหมด BEI พบอนุภาค GSR มีลักษณะค่อนข้างกลม มีความสว่างจ้า และเมื่อวิเคราะห์ด้วย X-Ray Spectrometer พบอนุภาคของเขม่าปืนที่ประกอบด้วยธาตุผสมและธาตุเดียว คือ PbSbBa, PbSb, Pb และ Ba โดยอนุภาคที่พบส่วนใหญ่ คือ PbSb อนุภาคส่วนใหญ่จะค่อนข้างกลม (Spheroidal) มีความแวววาว สามารถแยกแยะอนุภาคเขม่าปืนออกจากอนุภาคปนเปื้อนอื่นที่ไม่ได้มาจากการยิงปืนได้ แต่จากการทดลองบางครั้งพบอนุภาคที่มีรูปร่างบิดเบี้ยวไปบ้าง คือไม่กลม (Spheroidal) หรือ รี ซึ่งจากงานวิจัยของ Basu S. (1982) รายงานว่าอนุภาคเขม่าปืนแบบ Irregular สามารถยืนยันได้ว่าเป็นคราบเขม่าที่มาจากการยิงปืน หากธาตุที่ตรวจพบเป็นองค์ประกอบในเขม่าปืน

2. จากผลการทดลองแสดงค่าเฉลี่ยของการนับอนุภาคเขม่าปืนที่แขนเสื้อบริเวณต่าง ๆ และเมื่อนำมาสร้างแผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนอนุภาค GSR บนแขนเสื้อบริเวณต่าง ๆ กับเวลาที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง (ภาพที่ 29) พบว่าอนุภาค GSR สามารถพบได้ทุกพื้นที่ของแขนเสื้อ ซึ่งได้แก่ แขนเสื้อขวาบริเวณข้อมือ, ข้อศอก และบริเวณก่อนถึงหัวไหล่ และแขนเสื้อซ้ายบริเวณข้อมือ, ข้อศอก และบริเวณก่อนถึงหัวไหล่ โดยจะพบมากจากแขนเสื้อขวาบริเวณข้อมือ แสดงให้เห็นว่า การฟุ้งกระจายของเขม่าปืนหลังจากการยิงปืนสามารถปลิวไปได้ไกลถึงบริเวณก่อนถึงหัวไหล่หรือต้นแขน แต่เมื่อเวลาผ่านไป 12 และ 24 ชั่วโมง พบว่าแขนเสื้อขวาบริเวณข้อมือลดลงมากกว่าบริเวณอื่น ๆ ดังนั้นนอกจากการเก็บตัวอย่างที่บริเวณแขนเสื้อแล้วบริเวณอื่นของเสื้อผ้า เช่น ต้นแขน ด้านหน้าลำตัวเสื้อผ้า หรือด้านหน้าของกางเกงที่ผู้ยิงปืนสวมใส่ ก็น่าจะสามารถตรวจพบอนุภาคเขม่าปืนได้

3. จากผลการทดลองพบขนาดอนุภาคเขม่าปืนส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 0 – 10 μm

4. การตรวจพิสูจน์เขม่าปืนจากเสื้อผ้าของผู้ยิงปืน เป็นวิธีที่สามารถยืดระยะเวลาในการเก็บตัวอย่างได้ถึง 24 ชั่วโมง จากการศึกษาที่ผ่านมาของ Kage S. (2001) พบว่า อนุภาคเขม่าปืนที่เกาะอยู่บริเวณมือของคนมีชีวิตนั้นจะค่อย ๆ ลดลงเมื่อเวลาผ่านไป 3 – 6 ชั่วโมง หลังการยิงปืน ดังนั้นจากการศึกษาวิจัยนี้ก็เพื่อเป็นแนวทางในการสืบสวนหาเขม่าปืนที่ระยะเวลายาวนานขึ้น

5. สำหรับกระสุนปืนรีวอลเวอร์ ขนาด .38 Special ยี่ห้อ R-P ที่ใช้ในการทดลองพบธาตุ Pb, Sb และ Ba เป็นองค์ประกอบอยู่ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า Priming Mixture ในชนวนท้ายกระสุนปืน ควรจะประกอบด้วย Lead Styphnate ($PbO_2C_6H(NO_2)_3$, Barium nitrate ($Ba(NO_3)_2$ และ Antimony Sulfide (Sb_2S_3)

6. จากการทดลองผู้วิจัยได้ทำการทดลองยิงปืนโดยให้ผู้ยิงปืนใช้มือทั้งสองข้างจับอาวุธปืนพกรีวอลเวอร์ โดยใช้มือขวากำอาวุธปืนและมือซ้ายรองรับอาวุธปืนอยู่ด้านล่างของมือขวา

พบว่าท่าทางที่ใช้ในการยิงปืนน่าจะมีผลต่อการตรวจพบจำนวนอนุภาคเขม่าปืน เนื่องมาจากอนุภาคเขม่าปืนที่พบไม่เท่ากันบนแขนเสื้อทั้งสองข้างของผู้ยิง โดยแขนขวาซึ่งอยู่ใกล้อาวุธปืนจะพบอนุภาคเขม่าปืนมากกว่าแขนซ้ายซึ่งอยู่ห่างจากอาวุธปืนมากกว่า

แม้ว่าการตรวจด้วยวิธี SEM/EDS เป็นการตรวจวิเคราะห์เชิงคุณภาพ (Quanlitative Analysis) แต่หากตรวจวิเคราะห์พบอนุภาคเขม่าปืนที่มาจากการยิงปืนเพียงอนุภาคเดียว ก็เป็นการพิสูจน์ได้ว่า ตัวอย่างนั้นมีคราบเขม่าที่มาจากการยิงปืนอยู่จริง สำหรับในงานวิจัยนี้ได้ทำการยิงปืนเก็บตัวอย่างครั้งละ 1 นัด เท่านั้น ก็สามารถตรวจพบเขม่าปืนเป็นจำนวนมาก นั่นก็แสดงให้เห็นว่าในการเกิดอาชญากรรมจริง ๆ ถ้าผู้กระทำผิดยิงปืนมากกว่า 1 นัดแล้ว ก็มีโอกาสที่จะตรวจพบเขม่าปืนที่แขนเสื้อหรือมือมากขึ้นด้วย

ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

1. ในงานวิจัยนี้เป็นการทดลองยิงปืนในห้องที่ปิดมิดชิดและไม่มีลมพัดจากภายนอก ซึ่งเป็นการจำลองสถานการณ์ขึ้น โดยในสภาพความเป็นจริงแล้วการก่ออาชญากรรมที่เกี่ยวข้องกับอาวุธปืนนั้น ก็ยังสามารถเกิดขึ้นได้ทั้งภายในและภายนอกอาคาร ที่อาจมีสภาพอากาศเข้ามาเกี่ยวข้อง เช่น ลม ดังนั้นเพื่อให้การทดลองมีความสมบูรณ์เหมือนกับสถานการณ์ที่เกิดขึ้นจริง ควรทำการทดลองในสภาพแวดล้อมอื่น ๆ ด้วย เช่น ในบริเวณที่โล่ง ภายนอกอาคาร ฯลฯ

2. ควรทำการศึกษาอาวุธปืนพกสั้นประเภทอื่น ๆ และอาวุธปืนยาว และทำการเก็บตัวอย่างจากด้านหน้าของตัวเสื้อ กางเกง และเส้นผม เพิ่มจากการเก็บที่แขนเสื้อ เพื่อที่จะทราบถึงบริเวณที่จะสามารถตรวจพบจำนวนอนุภาคเขม่าปืนได้มากเพิ่มขึ้น

3. ศึกษาการเก็บตัวอย่างจากสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ ที่มีการยิงปืน เช่น วัตถุสิ่งของภายในห้องหรืออาคาร เช่น โต๊ะ เก้าอี้ ผ้าม่าน ฯลฯ หรือบริเวณต่าง ๆ ภายในของรถยนต์ที่ใช้ในการยิงปืน เพื่อบอกถึงความสัมพันธ์ของตำแหน่งของผู้ยิงปืน หรือผู้ที่เกี่ยวข้องกับบริเวณสถานที่เกิดเหตุที่มีการยิงปืนเกิดขึ้น

บรรณานุกรม

ภาษาไทย

รัชนารถ กิตติดุษฎี. “การตรวจคราบเขม่าจากการยิงปืนที่มือ โดยวิธี SEM/RDX.” วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขานิติวิทยาศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล, 2535.

วิฑูรย์ แซ่โง้ว. “หลักการพื้นฐานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, (SEM)).” เอกสารประกอบการบรรยาย คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2549. (อัดสำเนา)

วิวัฒน์ ชินวร, ร้อยตำรวจเอก. “การวิเคราะห์เขม่าปืนด้วยทคนิค SEM/EDX.” วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาเคมี บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2547.

อัมพร จารุจินดา, พลตำรวจตรี. “การตรวจพิสูจน์อาวุธปืนและเครื่องกระสุนปืน.” เอกสารความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับอาวุธปืนและกระสุนปืนสำหรับผู้เข้าอบรม กองพิสูจน์หลักฐาน สำนักงานวิทยาการตำรวจ, 2542. (อัดสำเนา)

ภาษาต่างประเทศ

Andrasko, J., and A.C. Maehly. “Detection of gunshot residue on hands by scanning electron microscopy.” Journal of Forensic Sciences, no. (1976) : 279 – 287.

Andrasko, J., and S. Pettersson. “A simple method for collection of gunshot residues from clothing.” Journal of Forensic Science Society, 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.” Journal of Forensic Sciences International, no. 123 (2001) : 39 – 47.

Brozek – Mucha, Zuzanna., and Grzegorz Zadora. “Grouping of ammunition types by means of frequenceies of occurrence of GSR.” Journal of Forensic Sciences International, no. 135 (2003) : 97 – 104.

Cardinetti, Bruno. et al. “X-ray mapping technique : a preliminary study in discriminating gunshot residue particles from aggregates of environmental occupational origin.” Journal of Forensic Science International, no. 143 (2004) : 27 – 46.

Fojtasek, Lubor., and Tomas Kmjec. “Time periods of GSR particals deposition after discharge-final results.” Journal of Forensic Sciences International, no. 153 (2005) : 132 – 135.

Fojtasek, Lubor. et al. “Distribution of GSR particles in the surroundings of shooting pistal.” Journal of Forensic Science International, no. 132 (2003) : 99 – 105.

Garofano, L. et al. “Gunshot residue Fuether studies on particals of environmental and occupational origin.” Journal of Forensic Sciences International, no. 103 (1999) : 1 – 21.

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

Romolo, Francesco Saverio., and Pierre Margot. “Identification of gunshot residue : a critical review.” Journal of Forensic Sciences International , no.119 (2001) : 195 – 211.

Schowoeble, A.J., and Exline D.L. Current Methods in Forensic Gunshot Residue Analysis. Boca Raton London New York Washington, D.C.: CRC Press (1999) : 1-21.

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

Torre, Carlo. et.al. “Brake Linings : A Source of Non-GSR Particles Containing Lead, Barium, and Antimony.” Journal of Forensic Sciences, no. 47 (2002) : 494 – 504.

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, Arie., and Nadav Levin. “Collection efficiency of gunshot residue (GSR) particles from hair and hands using double-side adhesive tape.” Journal of Forensic Sciences, no. 38 (1993) : 571 – 584.

Zeichner, Arie., and Nadav Levin. “Casework Experience of GSR Detection in Israel, on Samples from Hands, Hair, and Clothing Using an Autosearch SEM/EDX System.” Journal of Forensic Science, no. 40(1995) : 1082 - 1085.

Zeichner, Arie. 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 Sciences, no. 48 (2003) : 961 – 972.

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ – สกุล	ร้อยตำรวจเอกหญิง ณัฐนันท์ ชาติรักวงศ์
ที่อยู่	58/2 หมู่ที่ 8 ตำบลบางบัวทอง อำเภอบางบัวทอง จังหวัดนนทบุรี
ที่ทำงาน	วิทยาการเขต 15 (นครปฐม) ตำบลพระปฐมเจดีย์ อำเภอเมือง จังหวัดนครปฐม โทรศัพท์ 0-3425-1981

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2544	ปริญญาตรีวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมี) คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันราชภัฏสวนดุสิต
พ.ศ. 2549-ปัจจุบัน	ศึกษาต่อระดับปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขานิติวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร

ประวัติการทำงาน

พ.ศ. 2546	รองสารวัตร งาน 4 งานตรวจสถานที่เกิดเหตุ กองกำกับการวิทยาการเขต 3 (นครปฐม)
พ.ศ.2549-ปัจจุบัน	นักวิทยาศาสตร์ (สบ1) งานตรวจสถานที่เกิดเหตุและถ่ายภาพ วิทยาการเขต 15 (นครปฐม)