การศึกษาหาการกระจายตัวของเขม่าปืนจากปืนที่ยิงในห้องปิดด้วยเทคนิค SEM/EDS

โดย

นายศรุต ดิสราธิคม

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2551

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

DETERMINATION OF THE DISTRIBUTION OF GSR FROM SHOOTING PISTOLS IN A CLOSED ROOM BY SEM/EDS

By

Sarut Disaratikom

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 “การศึกษาหาการกระจายตัวของเขม่าปืนจากปืนที่ยิงในห้องปิดด้วยเทคนิค SEM/EDS” เสนอโดย นายศรุต ดิสราธิคม เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์

…….....

(รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริชัย ชินะตังกูร)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่.....เดือน..... พ.ศ.....

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

1. อาจารย์ ดร.ศุภชัย ศุภลักษณ์นารี
2. พันตำรวจตรีอัครวัฒน์ ชินวรสวัสดิ์

คณะกรรมการตรวจสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(พันตำรวจโทณภพ ชุณหกรรณ์)
...../...../.....

..... กรรมการ
(อาจารย์อรทัย เขียวพุ่ม)
...../...../.....

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

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

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

49312327: สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์
คำสำคัญ : เขม่าปืน/นิติวิทยาศาสตร์/SEM

ศรุต ดิสราธิคม : การศึกษาหาการกระจายตัวของเขม่าปืนจากปืนที่ยิงในห้องปิดด้วยเทคนิค SEM/EDS. อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ :อ.ดร.ศุภชัย ศุภลักษณ์นารี และพ.ต.ต. อัครวัฒน์ ชินวรสวัสดิ์. 74 หน้า.

ผู้วิจัยทำการทดลองยิงปืนในห้องปิด และเก็บตัวอย่างเขม่าปืนจากพื้นห้องเพื่อนำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscope/Energy Dispersive Spectrometry (SEM/EDS) อาวุธที่ใช้คือปืนพกกึ่งอัตโนมัติขนาด 9 มม.ของ Glock รุ่น 19 และปืนพกรีวอลเวอร์ขนาด .38 ของ Smith & Wesson รุ่น M 60 จากการทดลอง พบเขม่าปืนจำนวนมากจากปืน 9 มม. ของ Glock บริเวณด้านหน้าผู้ยิงในระยะระหว่าง 0.5-1.0 เมตร และอนุภาคของเขม่าปืนมีขนาดค่อนข้างเล็ก สำหรับปืนลูกพกรีวอลเวอร์ อนุภาคเขม่าปืนกระจายตัวไปทั่วโดยรอบตัวผู้ยิงและมีปริมาณมากใกล้ตัวผู้ยิง อย่างไรก็ตามอนุภาคเขม่าปืนจากปืนพกรีวอลเวอร์ มีขนาดใหญ่กว่าขนาดอนุภาคเขม่าปืนจากปืนพกกึ่งอัตโนมัติ

สาขาวิชา นิติวิทยาศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร ปีการศึกษา 2551

ลายมือชื่อนักศึกษา.....

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

49312327: MAJOR: FORENSIC SCIENCE
KEY WORD: GUN SHOT RESIDUE/FORENSIC SCIENCE/SEM
SARUT DISARATIKOM: DETERMINATION OF THE DISTRIBUTION OF GSR FROM SHOOTING PISTOLS IN A CLOSED ROOM BY SEM/EDS. THESIS ADVISORS: SUPACHAI SUPALUKNARI, Ph.D., AND POL.MAJ. AKKARAWAT CHINAWARNSAWAD. 74 pp.

The shooting experiments were carried out in a closed room and the particles of the Gun Shot Residues (GSR) were collected from the floor for the Scanning Electron Microscope/Energy Dispersive Spectrometry (SEM/EDS) analysis. The firearms used in this study are a Semi-automatic 9mm Glock model 19 and a revolver .38 Smith & Wesson model M60. It was observed that a large number of the GSR particles from the 9mm Glock were found in the distance between 0.5-1.0 m, right in front of the shooter and the sizes of the particles were relatively small. For the revolver, the GSR particles were distributed in all directions from the shooter and the large amounts of particles were found at the positions close to the shooter. The sizes of the GSR particles from the revolver, however, were larger than those from the Semi-automatic.

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

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องมาจากความช่วยเหลือ ความเอื้อเฟื้อเมตตา และความร่วมมือจากบุคคลหลายท่าน อันดับแรกสุดขอขอบพระคุณ อ.ดร.ศุภชัย ศุภลักษณ์นารี และพันตำรวจตรี อัครวัฒน์ ชินวรสวัสดิ์ อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำปรึกษาให้ข้อคิด คำแนะนำ ตลอดจนตรวจทานและแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้ถูกต้องสมบูรณ์ ด้วยความเมตตาตลอดงานวิจัย

ขอขอบพระคุณ ท่านพลตำรวจโท วรพงษ์ ชิวปรีชา ผู้บัญชาการตำรวจนครบาล ที่ให้ความอนุเคราะห์จัดหาห้องที่ใช้สำหรับงานวิจัย สมัยดำรงตำแหน่งผู้บัญชาการตำรวจภูธรภาค 7

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ทุกท่านผู้มีส่วนช่วยเหลือในด้านการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ ตลอดการทำงานวิจัยเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่ง คุณวิฑูรย์ แซ่โง้ว ที่กรุณาให้คำแนะนำในการใช้เครื่อง SEM/EDS สิบตำรวจโท บรรเจิด คุณากรวงศ์ ผู้บังคับหมู่งานตรวจสถานที่เกิดเหตุและถ่ายภาพวิทยาการเขต 15 (นครปฐม) ที่เป็นธุระในการจัดหาอาวุธปืนพกกึ่งอัตโนมัติขนาด 9 มม. และทำการยิงปืนให้ และคุณปรีชา หงส์ศักดิ์ศิลป์ ที่เป็นธุระในการจัดหาอาวุธปืนพกรีวอลเวอร์ขนาด .38 รวมทั้งผู้ที่ไม่ได้กล่าวนามทุกท่าน สำหรับความช่วยเหลือและความเอื้อเฟื้อทุกอย่าง

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญตาราง ..... ฌ

สารบัญภาพ ..... ญ

บทที่

1 บทนำ 1

ที่มาและความสำคัญของปัญหา 1

อาวุธปืนและเครื่องกระสุนปืน 7

อาวุธปืน 7

กระสุนปืน (Metallic Cartridge) 10

ลูกกระสุนปืน (Bullet) 14

ปลอกกระสุนปืน 16

ดินส่งกระสุนปืน (Gun Powder, Propellant) 18

แก๊ป (Primer Cap) 20

ที่มาของคราบเขม่าที่เกิดจากการยิงปืน (GSR) 22

การรวมตัวของอนุภาค GSR 24

การตรวจโลหะสำคัญในอนุภาค GSR เชิงคุณภาพด้วย SEM/EDS 28

หลักการพื้นฐานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, (SEM)) 32

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 40

2 การทดลอง 42

เครื่องมือ อุปกรณ์ และสถานที่ทำการทดลอง 42

เครื่องมือและอุปกรณ์ 42

สถานที่ทำการทดลอง 42

วิธีการทดลองวิเคราะห์เขม่าปืน (GSR) ด้วยเทคนิค SEM/EDS 44

การเตรียมตัวอย่าง 47

สภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์ของเครื่อง SEM/EDS 47

บทที่ หน้า
การวิเคราะห์ตัวอย่าง 48
3 ผลการทดลอง 49
การศึกษาชนิดของปืนกับจำนวนอนุภาคของเขม่าปืนที่ตรวจพบ ณ ตำแหน่งต่างๆ 49
ปืน Semi-automatic ขนาด 9 มม. 49
ปืน Revolver ขนาด .38 56
การศึกษาชนิดของปืนกับขนาดของเขม่าปืนที่ตรวจพบ 64
ปืน Semi-automatic ขนาด 9 มม. 64
ปืน Revolver ขนาด .38 65
4 อภิปรายผลการทดลอง 67
บรรณานุกรม 71
ประวัติผู้วิจัย 73

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ธาตุโลหะที่พบในชนวนท้ายกระสุนปืนของบริษัทต่างๆ	30
2	แสดงโลหะต่างๆที่ตรวจพบใน GSR	31
3	จำนวนอนุภาคของเขม่าปืน ณ ตำแหน่งต่างๆรอบจุดยิงในการยิงปืน Semi-automatic ขนาด 9 มม. ครั้งที่ 1.....	50
4	จำนวนอนุภาคของเขม่าปืน ณ ตำแหน่งต่างๆรอบจุดยิงในการยิงปืน Semi-automatic ขนาด 9 มม. ครั้งที่ 2.....	51
5	จำนวนอนุภาคของเขม่าปืน ณ ตำแหน่งต่างๆรอบจุดยิงในการยิงปืน Semi-automatic ขนาด 9 มม. ครั้งที่ 3.....	52
6	จำนวนอนุภาคของเขม่าปืน ณ ตำแหน่งต่างๆรอบจุดยิงในการยิงปืน Semi-automatic ขนาด 9 มม. เฉลี่ย.....	53
7	จำนวนอนุภาคของเขม่าปืน ณ ตำแหน่งต่างๆรอบจุดยิงในการยิงปืน ขนาด .38 ครั้งที่ 1	57
8	จำนวนอนุภาคของเขม่าปืน ณ ตำแหน่งต่างๆรอบจุดยิงในการยิงปืน ขนาด .38 ครั้งที่ 2	58
9	จำนวนอนุภาคของเขม่าปืน ณ ตำแหน่งต่างๆรอบจุดยิงในการยิงปืน ขนาด .38 ครั้งที่ 3	59
10	จำนวนอนุภาคของเขม่าปืน ณ ตำแหน่งต่างๆรอบจุดยิงในการยิงปืน ขนาด .38 เฉลี่ย	60
11	จำนวนอนุภาคของเขม่าปืนที่ตรวจพบจากการยิงปืน Semi-automatic ขนาด 9 มม. โดยจำแนกตามขนาดต่างๆ.....	64
12	จำนวนอนุภาคของเขม่าปืนที่ตรวจพบจากการยิงปืน Revolver ขนาด .38 โดยจำแนกตามขนาดต่างๆ	65

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	อาวุธปืน Percussion Locks แบบต่างๆ	8
2	โครงสร้างกระสุนปืนแบบ Pin Fire	11
3	โครงสร้างกระสุนปืนแบบ Rim Fire	12
4	โครงสร้างกระสุนปืนแบบ Center Fire	12
5	แสดงส่วนประกอบสำคัญของกระสุนปืน	13
6	รูปร่างลักษณะของลูกกระสุนปืนแบบต่างๆ	16
7	รูปร่างของปลอกกระสุนปืนทั้ง 3 แบบ	17
8	รูปร่างลักษณะของส่วนท้ายปลอกกระสุนปืน	18
9	ส่วนสำคัญของ Primer Cap	21
10	ตัวอย่างอนุภาคแบบ Regular Spheroids	25
11	ตัวอย่างอนุภาคแบบ Irregular Spheroids	26
12	ตัวอย่างอนุภาคแบบ Peeled Orange	27
13	สถานที่และห้องที่ใช้ในการทำการทดลอง ศูนย์ฝึกอบรมตำรวจภูธรภาค 7	43
14	ปืนพกกึ่งอัตโนมัติ ขนาด 9 มม.ยี่ห้อ Glock model 19	44
15	กระสุนปืนยี่ห้อ Winchester ขนาด 9 มม.	44
16	ปืนพกรีวอลเวอร์ ขนาด .38 ยี่ห้อ Smith & Wesson model M 60	45
17	กระสุนปืนยี่ห้อ S&B ขนาด .38	45
18	แผนภาพการทดลอง	46
19	ลักษณะการวางกระเบื้อง ณ สถานที่จริง	46
20	แสดงตำแหน่งที่ทำการวิเคราะห์บน stub	48
21	ตำแหน่งที่มีจำนวนอนุภาคของเขม่าปืนเฉลี่ยมากที่สุด 5 อันดับแรก ของปืน Semi- automatic ขนาด 9 มม.	54
22	การกระจายตัวของเขม่าปืน (บริเวณที่เรืองแสง) ของปืน Semi-automatic ขนาด 9 มม. ที่กำลังขยาย 180X ตำแหน่งหมายเลข 1 ในทิศของการยิง ห่างจากจุดยิง 1 เมตร ซึ่งมีปริมาณเขม่าปืนมากที่สุด	54

ภาพที่		หน้า
23	ลักษณะของเขม่าปืนที่ตรวจพบซึ่งมีลักษณะกลมและเรืองแสง.....	55
24	Spectrum ของเขม่าปืนที่พบส่วนใหญ่มักจะเป็นสารประกอบของ Pb-Sb.....	56
25	ตำแหน่งที่มีจำนวนอนุภาคของเขม่าปืนเฉลี่ยมากที่สุด 5 อันดับแรก ของปืน Revolver ขนาด .38.....	61
26	ภาพการกระจายตัวของเขม่าปืน (บริเวณที่เรืองแสง) ของปืน Revolver ขนาด .38 ที่กำลังขยาย 180X ตำแหน่งหมายเลข 1 ณ ปลายกระบอกปืน ซึ่งมีปริมาณเขม่าปืนมากที่สุด.....	61
27	ลักษณะของเขม่าปืนที่ตรวจพบ ซึ่งไม่กลม แต่ยังเรืองแสง.....	62
28	Spectrum ของเขม่าปืนที่พบเป็นสารประกอบของ Pb-Sb-Ba.....	63
29	แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดและจำนวนอนุภาคของเขม่าปืน ที่ตรวจพบของปืน Semi- automatic ขนาด 9 มม.....	65
30	แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดและจำนวนอนุภาคของเขม่าปืน ที่ตรวจพบของปืน Revolver ขนาด .38.....	66
31	ลักษณะของเขม่าปืนที่ออกจากกระบอกปืนพกกึ่งอัตโนมัติ	68
32	ลักษณะของเขม่าปืนที่ออกจากกระบอกปืนพกรีวอลเวอร์.....	69

บทที่ 1
บทนำ

1. ที่มาและความสำคัญของปัญหา

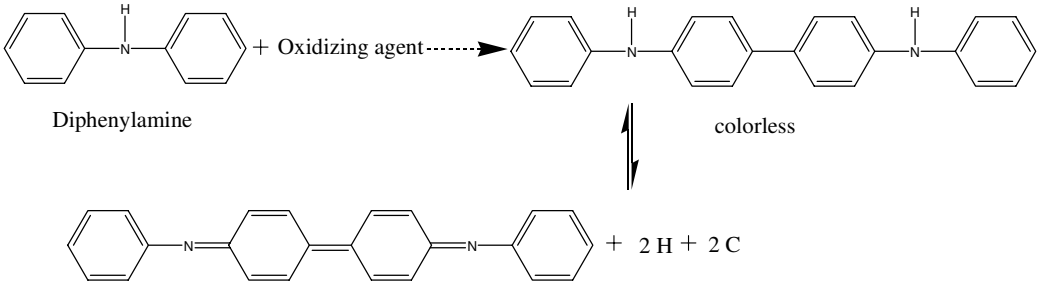
อาชญากรรมที่กระทำโดยอาวุธปืนในการประทุษร้ายต่อชีวิตในประเทศไทยนั้น นับว่าเป็นปัญหาใหญ่ โดยหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ สำนักงานตำรวจแห่งชาติ กระทรวงมหาดไทย ตลอดจนผู้เกี่ยวข้องในกลไกของการรักษาความสงบเรียบร้อยภายในประเทศ ได้พยายามออกกฎหมาย กฎระเบียบข้อบังคับต่างๆ เพื่อควบคุมการมีและการใช้อาวุธปืนของประชาชนให้อยู่ในขอบเขตตามภารกิจหน้าที่และความจำเป็นที่เกิดขึ้น ซึ่งก็ได้ผลดีในระดับหนึ่ง แต่เนื่องจากอาวุธปืนที่ใช้กันอยู่ในประเทศไทยนั้นมีจำนวนมาก และส่วนหนึ่งเป็นอาวุธปืนที่อยู่นอกกฎหมาย ซึ่งมีแหล่งผลิตอยู่ในเกือบทุกภาคของประเทศ อาวุธปืนที่ผลิตจากต่างประเทศ และลักลอบนำเข้าในประเทศไทย หรืออาวุธปืนแบบที่นายทะเบียนจะออกใบอนุญาตให้ไม่ได้ เช่น ปืนกลเล็ก ปืนกลเครื่องยิงกระสุนระเบิด ฯลฯ ซึ่งส่วนใหญ่มักจะลักลอบนำเข้ามาทางชายแดนและเป็นอาวุธปืนที่ผลิตในประเทศฝ่ายคอมมิวนิสต์ จึงต้องมีมาตรการป้องกันและปราบปราม มีบทลงโทษที่หนักขึ้น เพื่อไม่ให้ผู้ใดมีไว้ในครอบครองเพื่อใช้ในการกระทำผิดต่อไป

ในการสืบสวนคดีเกี่ยวกับอาวุธปืน วัตถุพยานต่างๆที่เกี่ยวกับอาวุธปืน และเครื่องกระสุนปืน เช่น อาวุธปืน ซองกระสุนปืน ลูกกระสุนปืน ปลอกกระสุนปืน หมอนรองกระสุนปืน ลูกซอง หรือลูกกระสุนปรายกระสุนปืนลูกซอง รวมถึงเขม่าปืน ซึ่งได้จากสถานที่เกิดเหตุ ผู้บาดเจ็บหรือศพ ผู้ต้องสงสัย และตัวผู้กระทำผิดเอง จำเป็นต้องมีการตรวจพิสูจน์เพื่อเป็นข้อมูลในการสืบสวนสอบสวน เพื่อนำไปใช้หาตัวผู้กระทำความผิด และทราบถึงพฤติการณ์ของคนร้าย

สำหรับอาวุธปืนนั้น สามารถนำมาตรวจพิสูจน์เพื่อทราบเครื่องหมายทะเบียน และเลขหมายประจำปืน ทำให้ทราบได้ว่าเจ้าของปืนเป็นใคร นอกจากนี้ยังอาจตรวจพิสูจน์หาลายนิ้วมือแฝงที่อาวุธปืนและซองกระสุนปืนได้ด้วย

เขม่าปืน หรือเขม่าจากการยิงปืน (Gunshot Residue, GSR) เป็นวัตถุพยานทางวิทยาศาสตร์อย่างหนึ่งที่เกิดขึ้นภายหลังจากการยิงปืน โดยเขม่าปืนที่เกิดขึ้นนี้สามารถปลิวกระจายไปเกาะยังร่างกายของผู้ยิง เช่น มือ แขน ใบหน้า เสื้อผ้า และวัตถุแวดล้อมต่างๆ ที่อยู่ใกล้ตัวผู้ยิงปืนได้ ดังนั้นการตรวจพิสูจน์หาเขม่าที่เกิดจากการยิงปืน จึงสามารถยืนยันการยิงปืนของบุคคลต้องสงสัย เพื่อใช้เป็นหลักฐานประกอบคดีได้ โดยมีความเป็นมาตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันพอสังเขปคือ

การตรวจพิสูจน์หาคราบเขม่าปืน ในระยะเริ่มแรกราวปี ค.ศ. 1932 วงการตำรวจสากลทั่วไปได้ทำการตรวจหาคราบเขม่าที่เกิดจากการยิงปืนที่มือ ด้วยวิธีที่เรียกว่า Dermal Nitrate Test หรือ Paraffin Test ซึ่งเป็นการทดสอบทางเคมี โดยดูการเปลี่ยนแปลงสีที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาของสารประกอบจำพวกไนเตรทที่มาจากเขม่าดินปืน ซึ่งเขม่าดินปืนนี้ เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ของดินส่งกระสุนปืน (ดินปืน) โดยใช้สารละลาย Diphenylamine ในกรดซัลฟิวริกเข้มข้น หากมีสารประกอบจำพวกไนเตรทอยู่ สารละลาย Diphenylamine จะเปลี่ยนจากไม่มีสีเป็นสีน้ำเงินของ Diphenyl Benzidine ซึ่งปัจจุบันวิธีนี้ได้เลิกใช้ไปแล้ว เพราะผลการตรวจที่ให้มีความไม่แน่นอน เนื่องจากสารประกอบไนเตรทอาจมาจากแหล่งอื่นที่ไม่ใช่มาจากการยิงปืนได้ เช่น ปุ๋ย เป็นต้น



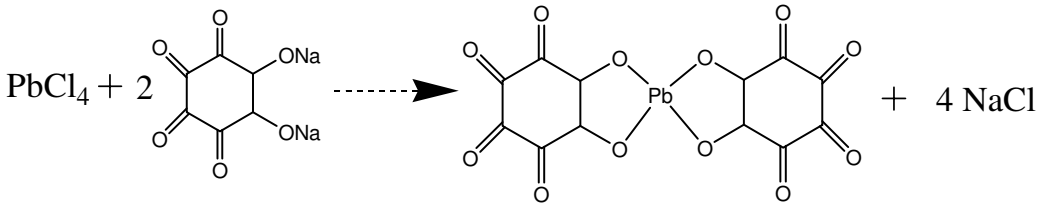
Diphenyl Benzidine (blue)

ต่อมาราวปีค.ศ. 1959 มีการนำวิธี Sodium Rhodizonate Test ซึ่งเป็นวิธีการตรวจหาอนุภาคของตะกั่ว (Pb) และแบเรียม (Ba) ที่ปลิวออกมาติดมือผู้ยิงหลังจากการยิงปืน หลักการคือ เมื่อเก็บตัวอย่างจากมือผู้ต้องสงสัยแล้ว จึงนำมาวางบนกระดาษกรอง จากนั้นหยดสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1% ให้ทั่วบนตัวอย่าง แล้วนำกระดาษกรองไปอบให้แห้ง แล้วจึงนำกระดาษกรองที่อบแห้งแล้วนั้นมาหยดสารละลาย Saturated Sodium Rhodizonate ที่ได้เตรียมไว้ใหม่ๆ (สีเหลืองแกมส้ม) แล้วหยดตามด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 5% ลงไปอีกครั้ง หากมีธาตุตะกั่วอยู่ในตัวอย่าง กระดาษกรองจะมีสีม่วงขึ้นทันที หากมีธาตุแบเรียมอยู่ในตัวอย่าง กระดาษกรองจะมีสีแดงเกิดขึ้นทันที โดยมีปฏิกิริยาเป็นดังนี้

ตะกั่ว

$$Pb + 2\,HCl \dashrightarrow PbCl_2 + H_2$$

$$PbCl_2 + 2\,HCl \dashrightarrow PbCl_4 + H_2$$

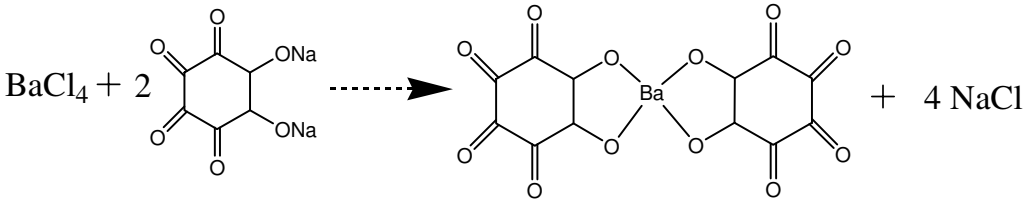


purple with blue

แบเรียม

$$Ba + 2\,HCl \dashrightarrow BaCl_2 + H_2$$

$$BaCl_2 + 2\,HCl \dashrightarrow BaCl_4 + H_2$$



RED

แต่วิธีนี้ไม่แพร่หลายในการใช้มากนัก เนื่องจากเป็นวิธีที่ไม่ค่อยมีความว่องไว (Sensitivity) และจำเพาะเจาะจง (Specific) ต่อธาตุโลหะที่ต้องการตรวจพิสูจน์

ต่อมาในปีค.ศ. 1960 ได้มีผู้พยายามนำวิธี Neutron Activation Analysis (NAA) ซึ่งเป็นการวิเคราะห์เชิงปริมาณของธาตุแบเรียม (Ba) และธาตุแอนติโมนี (Sb) ซึ่งเป็นธาตุที่ได้จากชนวนท้ายกระสุนปืน (แก๊ปปืน) เกิดจากการระเบิดภายหลังจากถูกเข็มแทงชนวนกระแทก ดังนั้นหากสามารถตรวจพิสูจน์หาปริมาณธาตุทั้ง 2 ตัวนี้ ที่ติดอยู่บริเวณมือของผู้ต้องสงสัยในปริมาณมากพอที่เชื่อได้ว่ามาจากการยิงปืนแล้ว 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 จะทำการสกัดเอาเขม่าปืนที่มือโดยใช้ Paraffin แล้วจึงนำไปอาบรังสี

Neutron พร้อมสารมาตรฐาน Ba และ Sb หลังจากนั้นจึงทำการแยกทางเคมี โดยตกตะกอนให้เป็น Stibnite (Sb_2S_3) และ Barium Sulfate ($BaSO_4$) แล้วจึงคำนวณหาปริมาณของ Ba และ Sb ใน Paraffin จะเห็นได้ว่า วิธีที่ต้องใช้เคมีช่วยนี้มีวิธีการที่ยุ่งยาก อีกทั้งเสียเวลามาก ส่วนวิธีที่สองนั้นเป็นการหาปริมาณของธาตุหลังการอาบรังสี Neutron โดยใช้การวัด Spectrum ของสารตัวอย่างทั้งหมดโดยตรง ไม่ต้องผ่านวิธีทางเคมีใดๆทั้งสิ้น แต่วิธีนี้ต้องอาศัยเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพสูงในการแยก peak ออกจากกัน และใช้หาโดยตรงเฉพาะธาตุ Sb เท่านั้น หากต้องการหาปริมาณ Ba จะต้องทำการแยกทางเคมีอีก

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

อีกวิธีหนึ่ง ซึ่งเป็นวิธีการตรวจวิเคราะห์ว่าผู้ต้องสงสัยได้ยิงปืนมาหรือไม่นั้น คือ วิธีการทาง Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS) ซึ่งได้มีการรายงานการใช้ AAS ไว้ในปี ค.ศ. 1970 และถัดจากนั้นมาอีกสามปี ได้มีรายงานเกี่ยวกับการใช้ Flameless Atomic Absorption Spectrophotometry (FAAS) ในการหา GSR ด้วยวิธี AAS นี้มีข้อดีกว่าการใช้วิธี NAA กล่าวคือ วิธี AAS เป็นวิธีที่ใช้เครื่องมือที่ราคาไม่แพงมากนัก และยังสามารถใช้วิเคราะห์หาธาตุ Pb ได้ด้วย ในขณะที่วิธี NAA ตรวจหาได้เพียงธาตุ Ba และ Sb เท่านั้น

หลักการของ Atomic Absorption Spectrophotometry คืออาศัยหลักที่ว่า อะตอมแต่ละชนิดนั้นจะสามารถดูดกลืนแสง (Absorb) ที่มีความยาวคลื่นเฉพาะที่ไม่เท่ากัน ดังนั้นเมื่อสารละลายตัวอย่างซึ่งมีธาตุที่ต้องการวิเคราะห์หา ถูกพ่นผ่านเข้าไปในเปลวไฟที่มีความร้อนเพียงพอ ธาตุที่ต้องการวิเคราะห์จะกลายสภาพเป็นไอของอะตอมอิสระ (Free Atom) และเมื่อแสงที่มีความยาวคลื่นสอดคล้องกับชนิดของอะตอมอิสระถูกผ่านเข้าไปในเปลวไฟ ส่วนหนึ่งของแสงจะถูกดูดกลืนโดยอะตอมอิสระนั้น โดยขนาดความยาวคลื่นของแสงจะเป็นตัวบ่งบอกให้ทราบถึงชนิดของอะตอม และปริมาณของแสงที่ถูกอะตอมอิสระดูดกลืนเข้าไป จะเป็นตัวบ่งชี้ให้ทราบถึงปริมาณของธาตุที่วิเคราะห์ ซึ่งมีอยู่ในสารละลายตัวอย่างนั่นเอง

Flameless Atomic Absorption Spectrophotometry (FAAS) เป็นวิธีที่หลีกเลี่ยงการใช้เปลวไฟในการให้ความร้อน เพื่อทำให้ธาตุที่อยู่ในสารละลายกลายเป็นอะตอมอิสระ โดยเปลี่ยนมาใช้ท่อกราไฟต์ (Graphite Tube) แทน เมื่อทำให้ท่อกราไฟต์นี้ร้อนจัดด้วยการใช้กระแสไฟฟ้า ท่อก

ราไฟต์ที่ร้อนจัดนี้จะทำให้ธาตุที่ต้องการวิเคราะห์ ซึ่งอยู่ในสารละลายตัวอย่างกลายเป็นอะตอมอิสระได้ ซึ่งวิธี FAAS หากมีระบบเครื่องมือและใช้ร่วมกับอุปกรณ์กำเนิดแสงที่ดีแล้ว จะตรวจวิเคราะห์ธาตุได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงกว่าวิธีใช้เปลวไฟมาก

การใช้วิธี FAAS จะมีผลดีอย่างมากในการตรวจวิเคราะห์หาธาตุ Pb และ Sb แต่สำหรับ ธาตุ Ba นั้นจะมีปัญหาอยู่บ้าง เนื่องจากธาตุ Ba สามารถทำปฏิกิริยากับท่อกราไฟต์เกิดเป็นแบเรียมคาร์ไบด์ (Barium Carbide) ซึ่งมีจุดหลอมเหลวสูงมากถึง 3,000 °C แต่อุณหภูมิสูงสุดที่เครื่องจะทำให้ท่อกราไฟต์ร้อนได้เพียง 2,700 °C จะเห็นได้ว่าแบเรียมคาร์ไบด์มีอุณหภูมิของจุดหลอมเหลวสูงกว่าถึง 300 °C จึงทำให้ปริมาณของแบเรียมที่ถูก atomize น้อยกว่าปริมาณแบเรียมที่มีอยู่จริงในสารละลายตัวอย่าง ซึ่งต้องแก้ปัญหานี้โดยการใช้วัสดุทนไฟ นั่นคือใช้แทนทาลัม (Tantalum) บุภายในท่อกราไฟต์อีกชั้นหนึ่ง เพื่อป้องกันปฏิกิริยาการเกิดแบเรียมคาร์ไบด์ หรืออาจแก้ปัญหาโดยการเพิ่มปริมาณของสารตัวอย่างให้มากขึ้น เพื่อให้ปริมาณของ Ba ที่จะถูกทำให้กลายเป็นอะตอมอิสระมีมากขึ้นไปด้วย

แม้ว่าวิธี Atomic Absorption Spectrophotometry จะเป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถใช้วิเคราะห์หาปริมาณของธาตุที่มีน้อยๆได้ในระดับไมโครกรัม หรืออาจจะถึงระดับนาโนกรัม อีกทั้งยังมีความไวในการวิเคราะห์สูงด้วยก็ตาม แต่ก็ยังมีขีดจำกัดที่ไม่สามารถวิเคราะห์ธาตุที่เกิดจากการยิงปืน (GSR) ได้ทั้งหมดในเวลาเดียวกัน ต้องทำการวิเคราะห์ทีละธาตุ และยังไม่สามารถแยกแยะแหล่งที่มาของธาตุต่างๆที่วิเคราะห์ได้

ด้วยเหตุผลจำกัดต่างๆดังกล่าวข้างต้น จึงได้มีการพัฒนาวิธีการตรวจพิสูจน์หา GSR ที่มีความทันสมัย สะดวก แม่นยำมากขึ้น โดยการใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนขึ้น ที่มีชื่อเรียกว่า Scanning Electron Microscope/ Energy Dispersive Spectrometry (SEM/EDS) ซึ่งเป็นวิธีที่ได้รับการยอมรับว่าเป็นวิธีที่ทันสมัยและมีความแม่นยำแน่นอนมากที่สุด กล่าวคือ เป็นวิธีที่มีความจำเพาะเจาะจง (Specificity) มากกว่าวิธีอื่นใดทั้งหมด เนื่องจาก SEM/EDS เป็นวิธีที่สามารถมองเห็นภาพอนุภาคของคราบเขม่าที่มาจากการยิงปืนได้ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM/EDS) ซึ่งจะแสดงผลเป็นภาพสามมิติคือมีทั้งความกว้าง ความยาว และความลึกได้อย่างชัดเจน รวมทั้งยังสามารถวัดขนาดได้อีกด้วย และสามารถบอกชนิดของธาตุที่มีอยู่ในอนุภาคนั้นได้จาก Characteristic X-Ray ซึ่ง SEM/EDS สามารถวิเคราะห์ธาตุต่างๆได้หลายธาตุในเวลาเดียวกัน โดยไม่จำกัดว่าจะต้องเป็นเฉพาะธาตุ Pb Sb และ Ba เท่านั้น นอกจากนี้ หากผู้ทำการตรวจวิเคราะห์มีความชำนาญมากพอ ก็จะสามารถแยกลักษณะของอนุภาคที่เกิดจากการยิงปืนออกจากสิ่งปนเปื้อนอื่นที่มาจากสิ่งแวดล้อม หรือจากอาชีพการงานได้อย่างถูกต้อง แม่นยำ โดยอาศัยรูปร่างเฉพาะตัวของคราบเขม่าที่เกิดจากการยิงปืน และการหาชนิดของธาตุด้วย SEM/EDS เป็นสิ่งยืนยัน

ในการตรวจพิสูจน์ นอกจากนั้น SEM/EDS ยังมีจุดเด่นอีกอย่างหนึ่งคือ มีความไวสูงมาก สามารถวิเคราะห์ธาตุที่มีอยู่ในตัวอย่างปริมาณน้อยมากระดับ 10^{-11} กรัมได้

ยิ่งไปกว่านั้น ในการตรวจวิเคราะห์คราบเขม่าที่เกิดจากการยิงปืนด้วยวิธี NAA และ AAS เป็นวิธีการตรวจวิเคราะห์เชิงปริมาณ (Quantitative Analysis) ซึ่งบางครั้งอาจจะประสบปัญหาในการตัดสินใจลงความเห็นว่า บุคคลต้องสงสัยนั้นได้มีการยิงปืนมาหรือไม่ ในกรณีที่ตรวจพบปริมาณของธาตุใกล้ช่วง cut-off แต่สำหรับการตรวจพิสูจน์ด้วยวิธี SEM/EDS เป็นการตรวจวิเคราะห์เชิงคุณภาพ (Quantitative Analysis) แม้หากตรวจวิเคราะห์พบอนุภาคของคราบเขม่าที่มาจากการยิงปืนเพียงอนุภาคเดียว ก็เป็นการพิสูจน์ได้ว่า ตัวอย่างนั้นมีคราบเขม่าที่มาจากการยิงปืนอยู่จริง

ปัจจุบัน วิธีการที่นิยมใช้ในการหา GSR ในหลายๆประเทศมีอยู่ 3 วิธี คือ

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

โดยในแต่ละประเทศจะเลือกใช้วิธีใดนั้น ขึ้นอยู่กับความเหมาะสม ประเทศที่มีการพัฒนาทางด้านวิทยาศาสตร์สูง ส่วนใหญ่นิยมตรวจพิสูจน์ GSR ด้วยวิธี SEM/EDS เพราะเป็นวิธีที่แสดงให้เห็นรูปร่าง ลักษณะ และขนาดอนุภาคของ GSR ซึ่งเป็นข้อดีที่ทำให้ผู้ตรวจพิสูจน์วินิจฉัยได้ง่ายกว่าทุกวิธีที่มีมา อีกทั้ง SEM/EDS ยังสามารถระบุธาตุที่เป็นองค์ประกอบใน GSR และยังลดระยะเวลาในการตรวจพิสูจน์ให้น้อยลง ทำให้ตอบสนองปริมาณงานที่มีเพิ่มขึ้นตลอดเวลาได้อีกด้วย

การกระจายตัวของเขม่าปืน ก็นับว่าเป็นสิ่งสำคัญอย่างหนึ่งที่บอกถึงตำแหน่งการยืนของผู้ยิง ว่าผู้ยิงยิงมาจากตำแหน่งใด ตรงตามการให้การหรือไม่ และคาดว่าถ้ายิงจากตำแหน่งนี้น่าจะมีเขม่าปืนติดอยู่ที่วัตถุพยานใดบ้าง และยังเป็นการยืนยันพยานบุคคลด้วย

2. อาวุธปืนและเครื่องกระสุนปืน (อัมพร จารุจินดา 2542)

2.1 อาวุธปืน

อาวุธปืนกระบอกแรกใครเป็นผู้สร้าง ไม่มีใครสามารถบอกได้ รู้กันเพียงแต่อาวุธปืนแบบแรกทำด้วยท่อโลหะ ซึ่งสามารถส่งกระสุนวิถีโค้งวิ่งไปได้ระยะทางหนึ่ง หรือไปยังเป้าหมายใกล้ๆ โดยมีดินปืนเป็นตัวขับดันกระสุน จึงใช้คำว่า “Lock” สำหรับเรียกระบบจุดระเบิดของอาวุธปืนแบบแรกนี้

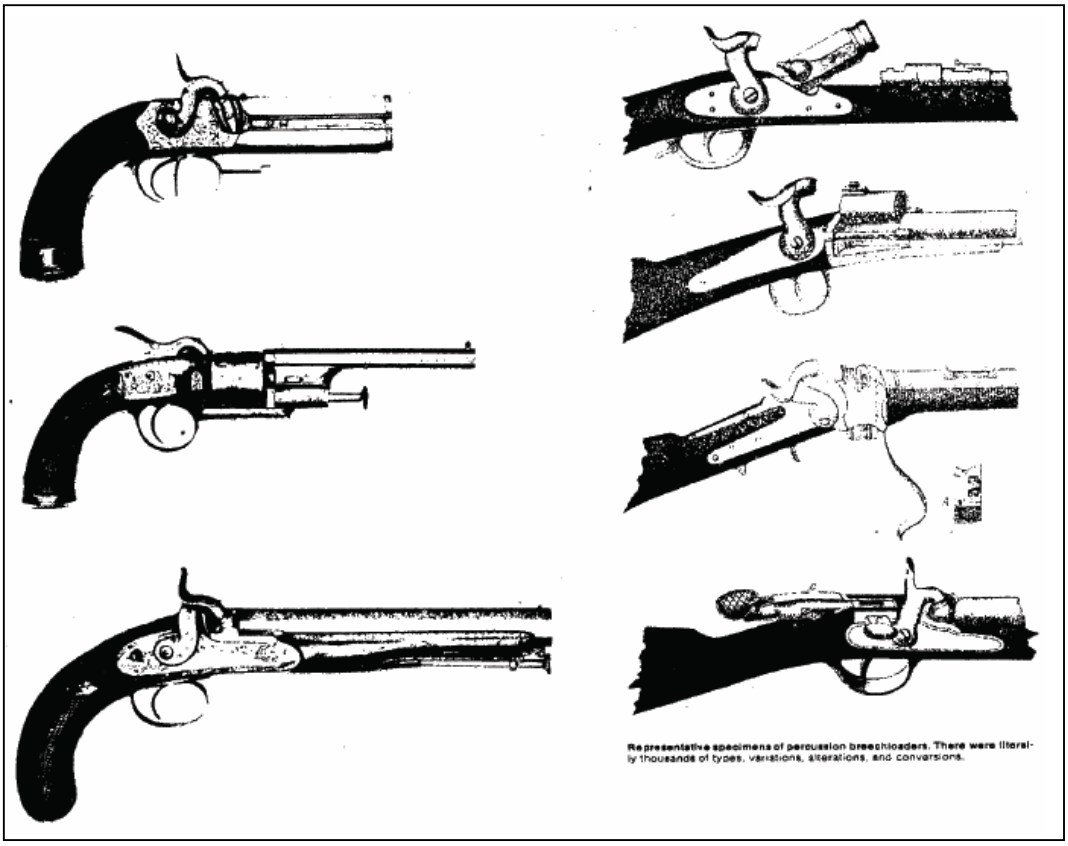
อาวุธปืนแบบเริ่มแรกเป็นแบบที่เรียกกันว่า “ปืนประจุปาก หรือบรรจุปาก” (Muzzle Loading) คือลักษณะของลำกล้องปืนเป็นท่อโลหะกลวง ปลายข้างหนึ่งอุดตัน ใกล้ๆปลายท่อข้างอุดตันมีรูเล็กๆเจาะทะลุเข้าไปถึงภายในลำกล้องปืน เวลาบรรจุดินปืนและลูกกระสุนปืนก็จะต้องบรรจุเข้าทางปากลำกล้อง โดยเอาดินปืนบรรจุเข้าไปก่อน และใช้หมอนกระสุนปืน (Wad) อัดตามลงไปแล้วกระทุ้งให้แน่น แล้วจึงบรรจุลูกกระสุนปืนและมีหมอนกระสุนปืนอัดตามลงไปและกระทุ้งให้แน่นอีกครั้งหนึ่ง ดินปืนซึ่งอัดแน่นก็จะมีบางส่วนล้นออกมาทางรูเจาะทะลุที่อยู่ข้างลำกล้องที่กล่าวข้างต้น ซึ่งใช้เป็นดินล่อ หรือบางทีดินล่ออาจจะใส่เข้าไปในรูดังกล่าวจากข้างนอกก็ได้ เวลาจะยิงปืนก็เอาไฟ หรือโลหะเผาไฟ หรือถ่านติดไฟแดงๆมาจุดหรือจี้ที่ดินล่อ เมื่อดินล่อติดไฟไฟก็ลามเข้าไปติดดินปืนซึ่งถูกอัดแน่นอยู่ภายในลำกล้องปืนและเกิดการเผาไหม้ของดินปืนอย่างรวดเร็ว ทำให้แก๊สจำนวนมหาศาลและเกิดกำลังดันสูงขึ้นภายในลำกล้องปืน ดันให้ลูกกระสุนปืนวิ่งออกจากลำกล้องปืนไปได้

หมอนกระสุนปืนในสมัยเริ่มแรกนั้นทำด้วยไม้เนื้ออ่อน หรือพวกวัสดุเส้นใยนิ่มๆ เช่น ฝอยกาบมะพร้าวดังที่ใช้กันอยู่ในชนบทของประเทศเราในปัจจุบัน เพราะจะได้ง่ายต่อการที่จะใช้ไม้หรือแท่งโลหะกระทุ้งอัดให้แน่นได้ดีขึ้น ถ้าหมอนกระสุนปืนอัดไม่แน่นก็จะเกิดรอยรั่วของแก๊สตามขอบของหมอนได้ อันจะเป็นเหตุให้กำลังดันลูกกระสุนปืนไม่ดี ลูกกระสุนปืนที่ถูกยิงออกไปจะมีความเร็วต่ำทำให้ไปได้ไม่ไกล

ตั้งแต่ศตวรรษที่ 18 เป็นต้นมา มนุษย์มีความรู้ทางเคมีเพิ่มมากขึ้น ทำให้มีผู้คิดค้นสารเคมีที่เป็นสารวัตถุระเบิด ที่เมื่อถูกกระทบกระแทกอย่างแรงแล้วจะสามารถระเบิดขึ้นได้ สารเคมีที่ว่านั้นคือ Fulminate of Mercury ซึ่งถือว่าเป็น Priming powder ตัวแรกที่มนุษย์นำมาใช้ในการยิงปืน หลักฐานตามประวัติศาสตร์บันทึกไว้ว่า ตั้งแต่ปีค.ศ. 1703 นักวิทยาศาสตร์ชาวฝรั่งเศสเป็นผู้ค้นพบว่า Fulminate of Mercury เป็นวัตถุระเบิด จนกระทั่งในปีค.ศ. 1793 บาทหลวงชาวสก็อตแลนด์ชื่อ Alexander John Forsyth ได้ทดลองนำเอา Fulminate of Mercury เป็นตัวจุดดินปืนขึ้น โดยใช้ชื่อปืนชนิดนี้ว่าปืนแบบ Percussion Locks ซึ่งได้ผลิตขึ้นเป็นครั้งแรกในกรุงลอนดอน

ต่อมาในปีค.ศ. 1812 Forsyth ได้ร่วมมือกับ James Watts ประดิษฐ์ปืนแบบ Percussion Locks ขึ้นไว้หลายแบบ

ในยุคของ Percussion Locks นี้ มีอาวุธปืนแบบต่างๆได้ถูกประดิษฐ์ขึ้นอีกมากมาย โดยเฉพาะพวกปืนแบบ Breech Loading เริ่มมีใช้กันมาก ถึงแม้ว่าจะยังไม่มีผู้ใดสามารถประดิษฐ์กระสุนปืนขึ้นมาได้ก็ตาม นอกจากนี้ภายในลำกล้องปืนก็ได้มีการทำเกลียวกันขึ้นมาใช้มากขึ้น และลูกกระสุนปืนก็มีรูปร่างต่างๆกัน ไม่ได้เป็นลูกตะกั่วกลมๆเพียงอย่างเดียว อีกทั้งยังมีการประดิษฐ์ปืนแบบที่สามารถยิงซ้ำได้ (Repeating Arms) เช่น ปืนรีวอลเวอร์เป็นต้น (ภาพที่ 1)



ภาพที่ 1 อาวุธปืน Percussion Locks แบบต่างๆ

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

ในกลางศตวรรษที่ 19 ปืนแบบ Percussion Locks ก็มีใช้กันอย่างแพร่หลายทั่วไปทั้งทวีปยุโรปและอเมริกา พร้อมกันนี้ก็ได้มีผู้พยายามคิดค้นสร้างกระสุนปืนชนิดเป็นนัด และมีระบบ

จุดดินปืนอยู่ภายในกระสุนปืนแต่ละนัด (ดังเช่นกระสุนปืนในปัจจุบัน) ขึ้นมากมาย แต่ก็ยังใช้การไม่ได้เพราะแก๊สจากการเผาไหม้ของดินปืนสามารถรั่วออกทางท้ายลำกล้องปืนได้

ปืนแบบ Percussion Locks นี้ ในปัจจุบันยังคงมีใช้กันอยู่อย่างกว้างขวางทั่วไปทั้งโลก เช่นในชนบทที่ห่างไกลของประเทศไทย ในประเทศอินเดีย และบางประเทศในแอฟริกา ตลอดจนกลุ่มคนที่นิยมใช้อาวุธปืนแบบ Muzzle Loading ในประเทศสหรัฐอเมริกาและอังกฤษ เป็นต้น ซึ่งปืนแบบนี้ ไทยเราเรียกว่า “ปืนแก๊ป” นั่นเอง

ภายหลังจากที่มีการประดิษฐ์กระสุนปืนแบบ Rim Fire และ Center Fire ขึ้นมาได้ อาวุธปืนแบบและขนาดต่างๆกัน ก็ถูกพัฒนาขึ้นมามากมาย อาวุธปืนที่มีประสิทธิภาพสูง เช่น ปืนกลต่างๆ ได้รับการพัฒนาอย่างรวดเร็วมาก ทำให้การแยกแยะจัดหมวดหมู่อาวุธปืนกระทำได้ยาก ในที่นี้จะขอแบ่งประเภทอาวุธปืนตามการใช้งาน สามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ประเภทคือ

1. ปืนพก (Pistol) ปืนจำพวกนี้สามารถใช้ทำการยิงได้ด้วยมือเดียว เพราะมีขนาดเล็กทำให้พกพาติดตัวไปได้สะดวก สามารถซ่อนหรือปกปิดได้ง่าย และเนื่องจากเป็นอาวุธที่มีขนาดเล็กจึงทำให้อำนาจการยิงมีระยะไม่ไกลมากนัก ซึ่งถ้าแบ่งตามลักษณะของอาวุธปืนจำพวกนี้แล้วสามารถแบ่งได้เป็น 3 ชนิดคือ

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

ข. ปืนพกลูกโม่ (Revolver) เป็นปืนพกที่มีส่วนบรรจุกระสุนที่เรียกว่า ลูกโม่ (Cylinder) ปืนพกชนิดนี้ รังเพลิงและลำกล้องปืนแยกออกเป็นคนละส่วนกัน

ค. ปืนพกแบบอื่นๆ (Miscellaneous Handgun) เป็นปืนที่ผู้ผลิตทำออกมา เพื่อให้ผู้ที่ไม่เคยพบเห็นคิดว่าไม่ใช่อาวุธปืน การผลิตดังกล่าวส่วนใหญ่ผลิตเพื่อนำไปให้สายลับใช้ป้องกันตัวยามจำเป็น มีบ้างที่ผลิตเพื่อการค้า แต่ก็มักจะเป็นของต้องห้ามในเกือบทุกประเทศ เพราะปืนเหล่านี้มีขนาดเล็ก ซุกซ่อนได้ง่าย และยังสังเกตได้ยากว่าเป็นปืนหรือไม่ ตัวอย่างเช่น ปืนปากกา ปืนหัวเข็มขัด ปืนไฟแช็ค ปืนพวงกุญแจ ปืนไม้เท้า ฯลฯ

2. ปืนกลมือ (Sub-machine Gun) มีลักษณะอันพึงประสงค์อย่างหนึ่งคือ สามารถใช้กระสุนร่วมกับปืนพกได้ นอกจากนั้นยังสามารถยิงได้ทั้งแบบอัตโนมัติและกึ่งอัตโนมัติ ระยะยิงหวังผลได้ดีกว่าปืนพก

3. ปืนเล็ก ชนิดของปืนเล็กในที่นี้หมายถึง ปืนที่ทำการยิงโดยอาศัยการประทับไหล่ซึ่งมีขนาดต่างๆกันดังนี้

ก. ปืนเล็กยาว (Rifle) เป็นอาวุธปืนที่เล็กที่มีความยาวกล้องประมาณ 24-30 นิ้ว

ข. ปืนเล็กสั้น (Carbine) เป็นปืนที่สร้างขึ้นโดยประสงค์ให้ผู้มีหน้าที่ขี่ม้าได้ใช้โดยไม่

เกิดความเกะกะในการนำไปนำมา และสามารถใช้ได้คล่องตัวขึ้น ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับปืนเล็กยาวทุกอย่าง ตลอดจนการทำงานของเครื่องกลไก จะต่างกันก็เพียงความยาวลำกล้องที่สั้นกว่าเท่านั้นเอง

ค. ปืนเล็กยาวบรรจุเอง (Self Loading Rifle) เป็นปืนเล็กยาวที่สามารถยิงซ้ำต่อเนื่องได้กล่าวคือ ผู้ยิงเพียงแต่ทำหน้าที่ในการเหนี่ยวไกเมื่อต้องการยิงกระสุนนัดต่อไปเท่านั้น จึงทำให้การยิงมีความรวดเร็วมากขึ้นประมาณ 8-16 นัด ภายในเวลา 3-4 วินาที

ง. ปืนเล็กสั้นบรรจุเอง (Self Loading Carbine) ก็มีหลักการเดียวกับปืนเล็กยาวบรรจุเองต่างกันก็แต่เฉพาะลำกล้องที่สั้นกว่าเท่านั้นเอง

จ. ปืนเล็กกล (Assault Rifle) เป็นอาวุธปืนยาวที่สามารถยิงได้ทั้งแบบอัตโนมัติ และแบบกึ่งอัตโนมัติ

4. ปืนกล (Machine Gun) เป็นปืนที่มีการยิงระบบครบรอบอัตโนมัติสมบูรณ์ (Full Automatic) กล่าวคือ ตลอดเวลาที่ผู้ยิงยังเหนี่ยวไกปืนไว้ ปืนจะทำการยิงติดต่อกันได้โดยตลอดและจะหยุดยิงต่อเมื่อผู้ยิงปล่อยไก หรือกระสุนหมด ใช้กับกระสุนปืนไรเฟิลทางทหาร เนื่องจากการยิงลักษณะนี้จะทำให้เกิดการสั่นสะเทือนกับตัวปืน จึงจำเป็นต้องอาศัยขาทรายหรือขาหยั่งเป็นส่วนประกอบเพิ่มขึ้น อีกทั้งตัวปืนมีขนาดใหญ่และน้ำหนักมาก ต้องใช้คนยิงตั้งแต่ 2 คนขึ้นไป และมีระบบการป้อนกระสุนปืนด้วยแมกกาซีน ปืนกลแบบนี้มี 2 ชนิดคือ

ก. ปืนกลเบา เป็นปืนกลที่มีน้ำหนักตั้งแต่ 35 ปอนด์ลงไป

ข. ปืนกลหนัก เป็นปืนกลที่มีน้ำหนักมากกว่า 35 ปอนด์ขึ้นไป

อาวุธปืนแบบต่างๆตามที่ได้กล่าวมานั้น จะใช้ได้ผลดีและมีอานุภาพสูงสุดก็ต่อเมื่อ กระสุนปืนจะต้องประกอบด้วยสิ่งสำคัญ 3 สิ่งคือ

1. กระสุนปืนจะต้องเป็นแบบ “Fixed Charge” คือมีปลอกกระสุนปืน แก๊ป ดินปืน และลูกกระสุนปืนรวมอยู่เป็นอันเดียวกัน

2. ปลอกกระสุนปืนจะต้องขยายตัวได้ เพื่อว่าเมื่อกระสุนปืนถูกยิง ปลอกกระสุนจะขยายตัวได้แนบสนิทกับผนังรังเพลิง เพื่อป้องกนไม่ให้แก๊สรั่วย้อนออกทางข้างปลอกกระสุนปืนได้ และยังง่ายต่อการที่จะดึงปลอกกระสุนปืนที่ยิงแล้วออกจากรังเพลิง

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

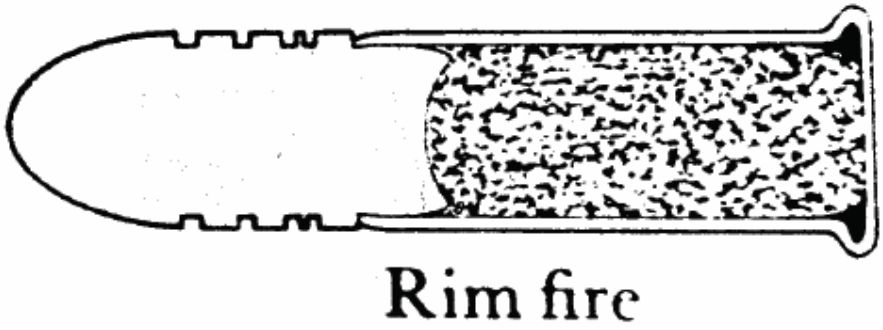
2.2 กระสุนปืน (Metallic Cartridge)

ตั้งแต่มีการผลิตกระสุนปืนขึ้นมาได้จนถึงปัจจุบันนี้ Metallic Cartridge มีด้วยกันถึง 11 แบบที่สำคัญ และผลิตออกมาจำหน่ายทางการค้ามีอยู่ 3 แบบคือ

1. Pin Fire Cartridge เป็นกระสุนปืนแบบแรกที่สร้างขึ้นโดยช่างทำปืนชาวเมืองปารีสชื่อ E. Lefaucheux ในปีค.ศ. 1835 และผลิตออกมาจำหน่ายในปีค.ศ. 1836 โดยมีทั้งกระสุนปืนไรเฟิล กระสุนปืนพก และกระสุนปืนลูกซอง ในตอนแรกปลอกกระสุนปืนทุกชนิดทำด้วยกระดาษ ส่วนท้ายเป็นทองเหลือง และมีเข็มโผล่ออกมาทางด้านข้างปลอกกระสุน ปลายเข็มอีกด้านหนึ่งฝังอยู่ภายในปลอกกระสุนปืนโดยวางอยู่บนแก๊ป (Primer Cap) ซึ่งบรรจุอยู่ในถ้วยโลหะ อาวุธปืนที่ใช้กระสุนปืนแบบนี้ ที่นกปืนจะไม่มีเข็มแทงชนวน เวลายิง นกปืนจะกระแทกลงบนเข็มที่โผล่ออกมาข้างปลอกกระสุนปืน และปลายเข็มอีกข้างหนึ่งก็กระแทกกับแก๊ป เกิดระเบิดขึ้น ประกายไฟก็จะเผาไหม้ดินปืนต่อไป กระสุนปืนแบบ Pin Fire มีอายุการใช้งานไม่นานนักก็ถูกแทนที่ด้วยกระสุนปืนแบบใหม่คือ Rim Fire

ภาพที่ 2 โครงสร้างกระสุนปืนแบบ Pin Fire
ที่มา : พลตำรวจตรีอัมพร จารุจินดา. “การตรวจพิสูจน์อาวุธปืนและเครื่องกระสุนปืน.” เอกสารความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับอาวุธปืนและกระสุนปืนสำหรับผู้เข้าอบรม กองพิสูจน์หลักฐาน สำนักวิทยาการตำรวจ, 2542. (อัดสำเนา)

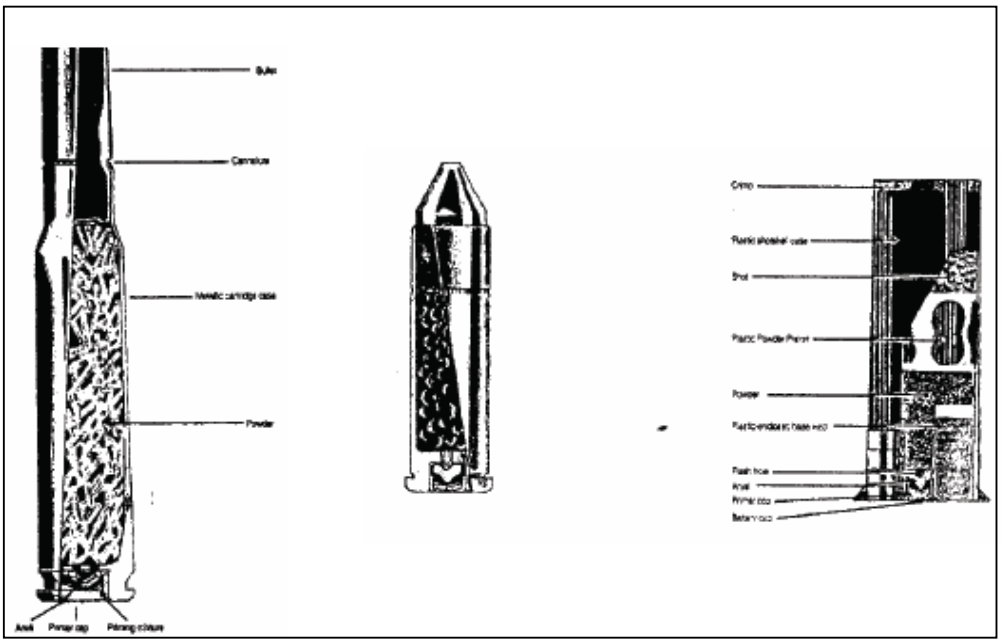
2. Rim Fire Cartridge เป็นกระสุนปืนที่ทำให้มีชนวนท้ายกระสุนปืนอยู่บริเวณขอบจานท้ายกระสุนปืน โดยกระสุนปืนชนิดนี้จะลั่นได้ก็ต่อเมื่อเข็มแทงชนวนแทงไปที่บริเวณรอบขอบจานท้ายกระสุนปืนเท่านั้น จะเห็นได้ทั่วไปในกระสุนปืนลูกกด ขนาด .22 ซึ่งใช้ Picrate จาก Picric Acid ในการทำชนวน เหตุที่กระสุนปืนลูกกดขนาด .22 ทำแบบชนวนริม เนื่องจากกระสุนปืนมีขนาดเล็ก การจะทำแบบชนวนกลาง (Center Fire) ทำได้ยากและมีต้นทุนสูง



ภาพที่ 3 โครงสร้างกระสุนปืนแบบ Rim Fire

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

3. Center Fire Cartridge เป็นกระสุนปืนที่เข็มแทงชนวนจะต้องแทงให้ถูกตรงกลางของจานท้ายกระสุนปืน จึงจะลั่นได้ มีใช้กันมาตั้งแต่ปีค.ศ. 1861 แต่กว่าจะมีคุณภาพเหมือนกับที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันนี้ ก็ได้มีการปรับปรุงแก้ไขกันอย่างมากมาย ตั้งแต่วัสดุที่ใช้ทำปลอกกระสุนปืน ดินปืน ลูกกระสุนปืน Primer Cap และ Priming Mixture



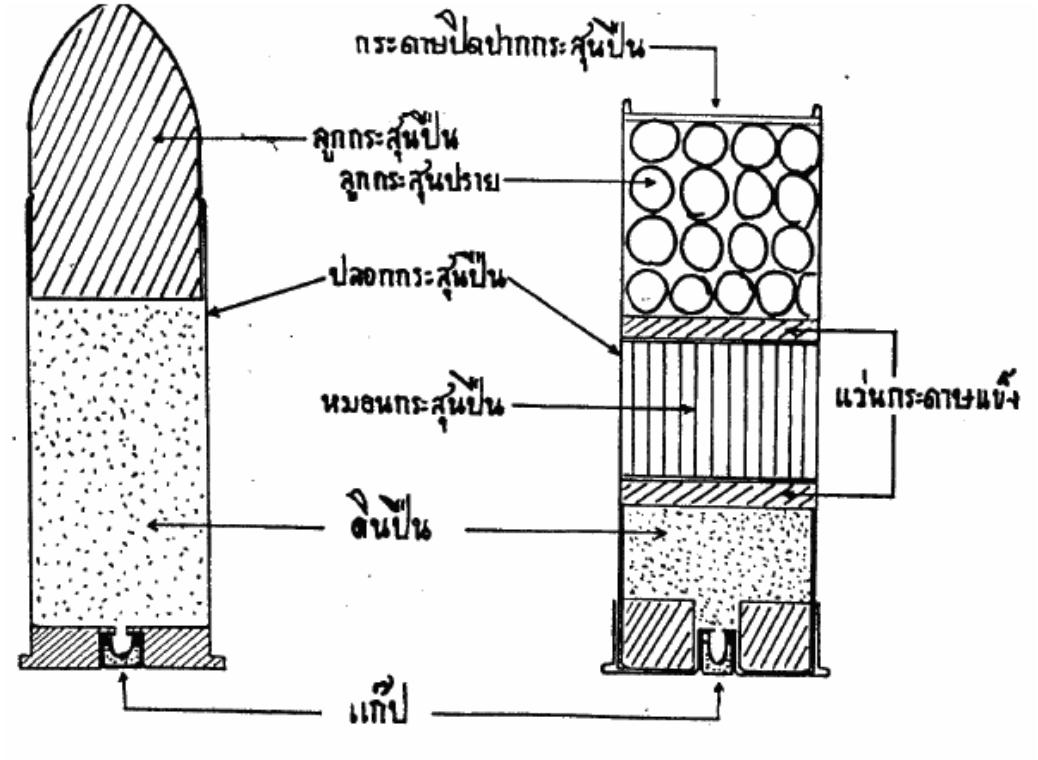
ภาพที่ 4 โครงสร้างกระสุนปืนแบบ Center Fire

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

เมื่อกระสุนปืน Rim Fire และ Center Fire ถูกสร้างขึ้นมา ก็นับเป็นจุดเริ่มต้นของการพัฒนาอาวุธปืนสมัยใหม่ขึ้นมา ทำให้มีปืนแบบที่สามารถยิงซ้ำได้ เช่นแบบ Lever Action, Pump Action, Semi-Automatic และปืนกลแบบต่างๆขึ้น ทำให้อาวุธปืนได้รับการพัฒนาทั้งทางด้านคุณภาพและประสิทธิภาพขึ้นอย่างมากมาย โดยเฉพาะในช่วงเวลาหลังสงครามโลกครั้งที่ 2 เป็นต้นมา ซึ่งในสมัยเริ่มแรกที่มีอาวุธปืนนั้น กว่าจะยิงปืนได้แต่ละนัดต้องใช้เวลามาก ความแม่นยำก็ไม่ดี แต่ในปัจจุบันนี้ อาวุธปืนลำกล้องเดี่ยวสามารถยิงได้เร็วที่สุดถึง 1,200 นัดต่อนาที ดังเช่นปืนกลมือ Ingram M.10 และ M.11 เป็นต้น

กระสุนปืนโดยทั่วไปมีส่วนประกอบที่สำคัญ 4 ส่วน (ภาพที่ 5) คือ

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



ภาพที่ 5 แสดงส่วนประกอบสำคัญของกระสุนปืน

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

1.2.3 ลูกกระสุนปืน (Bullet)

ลูกกระสุนปืนในตอนแรกเป็นพวกลูกดอก ลูกธนู หินกลม เป็นต้น ต่อมาก็ใช้ลูกเหล็กหรือตะกั่ว ซึ่งต่อมาพบว่า ลูกเหล็กหรือลูกตะกั่วจะให้ระยะยิงไกลกว่าอย่างอื่น แต่ในที่สุดก็พบว่าตะกั่วเป็นสารเดียวที่เหมาะสมที่สุดที่จะใช้ทำลูกกระสุนปืน เนื่องจากคุณสมบัติที่มีน้ำหนักดี ราคาถูก และง่ายในการหลอมหรือหล่อทำรูปแบบต่างๆ ตั้งแต่เริ่มวิวัฒนาการของอาวุธปืนเป็นต้นมา ลูกกระสุนปืนที่ใช้ทำด้วยตะกั่วล้วนๆ ยาวนานมาเป็นเวลา 525 ปี จนกระทั่งในปี ค.ศ. 1880-1890 จึงได้มีกระสุนปืนแบบที่เรียกว่า Jacketed Bullet เกิดขึ้น ซึ่งในสมัยนั้น Jacket จะทำด้วยทองเหลืองหรือทองแดงบางๆหุ้มแกนตะกั่วไว้ภายใน ลูกกระสุนปืนในปัจจุบันมีอยู่ด้วยกัน 2 แบบคือ

1. Lead Bullet เป็นลูกกระสุนปืนที่ทำด้วยตะกั่ว เพราะราคาถูก และเป็นลูกกระสุนปืนที่ใช้กับกระสุนปืนที่มีความเร็วต้นต่ำกว่า 2,000 ฟุตต่อวินาที เนื่องจากความร้อนที่เกิดจากแรงระเบิดของดินปืนไม่สูงเกินไปจนทำให้ตะกั่วละลาย แต่ลูกกระสุนปืนชนิดนี้ก็ใช่ว่าจะทำด้วยตะกั่วล้วนๆ เพราะจะอ่อนเกินไป ดังนั้นจึงต้องใช้โลหะอื่นผสมลงไปด้วยเพื่อทำให้มีความแข็งขึ้น ซึ่งส่วนใหญ่โลหะที่มักใช้ผสมจะเป็นโลหะพลวง (Sb) หรือ ดีบุก (Tin)

ลูกกระสุนปืนขนาดเล็กสำหรับปืนพกทั่วๆไปที่โรงงานผลิตออกขาย จะใช้ตะกั่วผสมกับพลวง แต่ลูกกระสุนปืนที่อัดใช้เองมักจะใช้ตะกั่วผสมกับดีบุก เพราะง่ายในการหลอมและหล่อขึ้นรูปกระสุนปืนนั่นเอง ในปัจจุบันนี้ ลูกกระสุนปืนที่ทำด้วยตะกั่วมีลักษณะตอนท้ายของลูกกระสุนปืนอยู่ 5 แบบ คือ

ก. Plain Base แบบนี้ก้นลูกกระสุนปืนจะเรียบเสมอกัน

ข. Hollow Base แบบนี้ก้นลูกกระสุนปืนจะเว้าเข้าหรือกลวงลึก

ค. Gas Check Base แบบนี้จะมีถ้วยทองแดงหรือทองเหลืองบางๆหุ้มก้นลูกกระสุนปืน เพื่อป้องกันตะกั่วส่วนก้นละลายเนื่องจากความร้อนในกระสุนปืนแบบ High Temperature and Pressure

ง. Zinc Washer Base แบบนี้ส่วนก้นลูกกระสุนปืนจะชุบด้วยสังกะสี (Zn) เพื่อป้องกันไม่ให้ตะกั่วบริเวณก้นและด้านข้างของลูกกระสุนปืนละลายเนื่องจากความร้อน และยังทำหน้าที่เป็นตัวล้างเศษตะกั่วที่ติดอยู่ภายในลำกล้องปืนให้ออกไปอีกด้วย

จ. Short or Half Jacketed แบบนี้ Jacket หุ้มก้นลูกกระสุนปืนสูงขึ้นมาประมาณ ¼ หรือ ¾ ของความสูงของลูกกระสุนปืน ทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้ตะกั่วบริเวณก้นและด้านข้างของลูกกระสุนปืนละลายติดลำกล้องปืนเช่นเดียวกัน

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

ก. Flat Base แบบนี้ก้นลูกกระสุนปืนจะเรียบเสมอกัน และด้านข้างลูกกระสุนปืนก็ตรงตลอดเสมอกัน

ข. Boat Tail แบบนี้ก้นลูกกระสุนปืนจะเรียบเสมอกัน แต่ด้านข้างลูกกระสุนปืน ก้น

จะสอบเข้าหากันเล็กน้อย คือส่วนปลายใกล้ก้นของลูกกระสุนปืนจะเล็กกว่าตอนกลางของลูกกระสุนปืน เพื่อประโยชน์ในการลด Air Drag หรือลดการเสียดสีของอากาศกับลูกกระสุนปืนเมื่อใช้ยิงออกไป ทำให้ลูกกระสุนปืนแบบนี้ยิงไปได้ไกลกว่า และมีวิถีกระสุนปืนแบนราบดีกว่าลูกกระสุนปืนแบบ Flat Base เมื่อมีความเร็วต้นเท่ากัน

ลูกกระสุนปืนที่มีความเร็วต้นตั้งแต่ 2,000 ฟุตต่อวินาทีขึ้นไป จะต้องเป็นแบบ Jacketed Bullet เพราะถ้าเป็นแบบ Lead Bullet จะทำให้ส่วนก้นและผิวด้านข้างของลูกกระสุนปืนละลายได้ทำให้มีเศษตะกั่วติดค้างอยู่ภายในลำกล้องปืน อันจะทำให้เกิดผลเสียต่อความแม่นยำของปืนกระบอกนั้น

ลูกกระสุนปืนมีชื่อเรียกแตกต่างกันออกไปมากมาย ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับรูปร่างลักษณะของลูกกระสุนปืนนั้น ตัวอย่างเช่น

ก. Round Nose (RN) เป็นลูกกระสุนปืนธรรมดาทั่วๆไป มีปลายหัวมน

ข. Semi-Wad Cutter (SWC) เป็นลูกกระสุนปืนที่มีส่วนปลายที่พ้นปลอกกระสุนออกมามีขนาดเล็กกว่าส่วนใหญ่ที่อยู่ในปลอกกระสุน และส่วนปลายตัดตรงไม่มน

ค. Wad Cutter (WC) เป็นลูกกระสุนปืนที่ส่วนปลายสั้นเสมอปากปลอกกระสุนปืน และส่วนปลายตัดตรง

ง. Hollow Point (HP) เป็นลูกกระสุนปืนมีลักษณะคล้ายกับแบบ Round Nose แต่ที่ส่วนปลายสุดจะมีรูเจาะลึกลงไป พบได้ง่ายในกระสุนปืนลูกกรด ขนาด .22 Magnum

จ. Full Metal Jacket (FMJ) เป็นลูกกระสุนปืนที่มี Jacket หุ้มทั้งหมด ส่วนปลายมน บางทีเรียกว่า Metal Case Bullet

ฉ. Jacketed Hollow Point (JHP) เป็นลูกกระสุนปืนที่มี Jacket หุ้ม แต่ส่วนปลายมีรูเจาะเข้าไปในเนื้อของ Core ลึกพอควร

ช. Jacketed Soft Point (JSP) เป็นลูกกระสุนปืนที่มี Jacket หุ้มเกือบหมดทั้งลูก ยกเว้นตอนปลายสุดเป็นตะกั่วไม่มีรู

ซ. Point เป็นลูกกระสุนปืนที่ Jacket หุ้มหมดและปลายแหลม

ฌ. Metal Piercing (MP) และ Armour Piercing (AP) เป็นลูกกระสุนปืนที่ใช้ยิงเจาะเกราะโดยแบบ MP นั้น เป็นลูกกระสุนปืนขนาดเล็ก เช่น ปืนพกทั่วไป ส่วนปลายของลูกกระสุนปืนจะแหลม และ Jacket ที่หุ้มส่วนปลายนี้จะมีความหนากว่าส่วนอื่นๆ ประโยชน์ใช้ยิงทะลุเกราะอ่อนหรือที่เรียกว่า เสื้อเกราะและแผ่นวัตถุหรือโลหะที่มีความหนาไม่มากนัก สำหรับลูกกระสุนปืนแบบ AP เป็นลูกกระสุนปืนที่ใช้กับปืนทางทหาร โดยส่วนปลายของลูกกระสุนแบบนี้จะแหลม และ Jacket เป็นทองแดงหรือเหล็กชุบทองแดง ส่วน Core จะทำด้วย Tungsten Carbide ซึ่งมีความ

แข็งมาก สามารถเจาะทะลุเกราะเหล็กได้ วัตถุประสงค์เพื่อใช้สำหรับยิงทะลุยานยนต์หุ้มเกราะของทหาร หรือยิงทะลุแผ่นวัตถุหรือโลหะที่มีความหนามากๆได้

ภาพที่ 6 รูปร่างลักษณะของลูกกระสุนปืนแบบต่างๆ

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

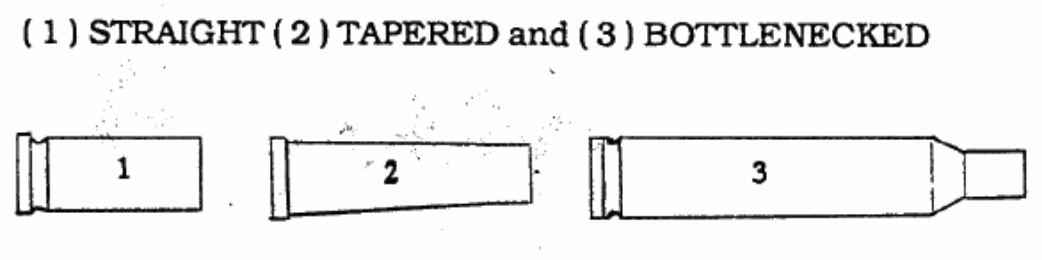
2.4 ปลอกกระสุนปืน

เมื่อมีการประดิษฐ์กระสุนปืนขึ้นได้ ในตอนแรกปลอกกระสุนปืนทำด้วยกระดาษแข็งจานท้ายเป็นทองเหลือง แต่กระดาษแข็งมีข้อเสียที่ว่า ปลอกกระสุนปืนจะบวมเมื่อถูกความชื้น ทำให้ไม่สามารถใส่เข้าไปในรังเพลิงของอาวุธปืนได้ นอกจากนี้ยังทำได้ยากเมื่อเป็นกระสุนปืนขนาดเล็กๆ ต่อมาจึงพบว่าทองเหลืองเป็นโลหะที่ดีที่สุดในการใช้ทำปลอกกระสุนปืน แต่สำหรับปลอกกระสุนปืนลูกซองยังคงทำด้วยกระดาษแข็งอยู่ เพราะเป็นปลอกกระสุนปืนที่มีขนาดใหญ่และยังเป็นการลดต้นทุนการผลิต เนื่องจากกระดาษมีราคาถูกกว่าทองเหลืองมาก ในปัจจุบัน วิวัฒนาการของพลาสติกเจริญขึ้นมาก ปลอกกระสุนปืนลูกซองที่ผลิตจากประเทศที่เจริญแล้วจะทำด้วยพลาสติกที่ทนความร้อนและแรงดันสูง อีกทั้งยังไม่เกิดการบวมของปลอกเมื่อถูกความชื้นอีกด้วย

ทองเหลืองเป็นโลหะผสมระหว่างทองแดงกับสังกะสี (Copper Zinc Alloy) ทองเหลืองที่ใช้ทำปลอกกระสุนปืนที่มีคุณภาพดีที่สุดจะมีส่วนผสมของสังกะสีประมาณ 30-33% ซึ่งปลอกกระสุนปืนที่เห็นมีใช้กันทั่วไปในปัจจุบัน ส่วนใหญ่จะทำจากทองเหลือง ถึงแม้บางยี่ห้อจะมีปลอกเป็นสีขาวมันวาว ก็เป็นทองเหลืองชุบโครเมียมเพื่อความสวยงามดึงดูดใจผู้ซื้อนั่นเอง ปลอกกระสุนปืนที่ทำด้วยอะลูมิเนียมจะมองเห็นเป็นสีขาวด้านๆ ส่วนปลอกกระสุนปืนที่ผลิตจากกลุ่มประเทศในยุโรปตะวันออก เช่น โซเวียต โปแลนด์ เชคโกสโลวาเกีย และประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีน จะทำด้วยเหล็กชุบทองแดง หรือสี Epoxy อบความร้อนเพื่อป้องกันสนิม ปลอกกระสุนปืนที่ทำด้วยโลหะอื่นนอกจากทองเหลืองแล้ว จะใช้ครั้งเดียวทิ้งไม่สามารถนำกลับไปอัดยิงใหม่ได้อีก

รูปร่างลักษณะภายนอกของปลอกกระสุนปืนจะมี 3 แบบคือ

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

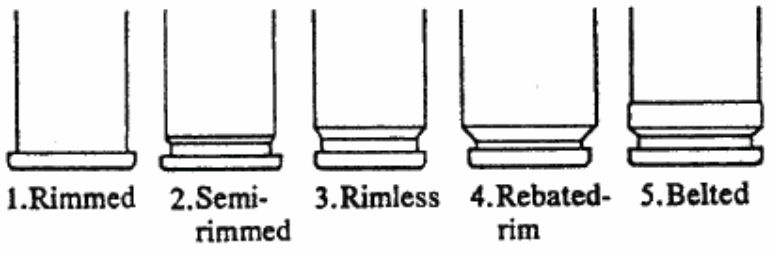


ภาพที่ 7 รูปร่างของปลอกกระสุนปืนทั้ง 3 แบบ

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

กระสุนปืนแบบชนวนกลาง (Center Fire) ที่ออกแบบมาสำหรับใช้กับปืนรีวอลเวอร์ จะมีลักษณะของส่วนท้ายปลอกกระสุนปืนเป็นแบบ Rimmed เช่น .32 S&W, .38 Special, .44 Magnum เป็นต้น พวกที่ถูกออกแบบมาเพื่อใช้กับปืน Semi-Automatic จะเป็นแบบ Semi-rimmed หรือแบบ Rimless ส่วนแบบ Rebated-Rim จะพบในปืนไรเฟิลที่ผู้ผลิตทำโครงปืนและลูกเลื่อนอาวุธปืน ที่เดิมใช้กระสุนปืนซึ่งมีแรงดันน้อยหรือขนาดเล็กกว่า มาดัดแปลงให้ใช้กระสุนปืนที่มีแรงดันสูงกว่าหรือขนาดใหญ่กว่า จึงจำเป็นต้องออกแบบปลอกกระสุนปืนให้โตกว่าเดิม แต่จานท้ายยังคงมีขนาดเล็กเท่ากับหน้าลูกเลื่อนเดิมของอาวุธปืนนั้น สำหรับแบบ Belted นั้น จะพบในกระสุนปืนไรเฟิลขนาดใหญ่ๆสร้างเพื่อให้ส่วนท้ายของปลอกกระสุนปืนแข็งแรงขึ้น เพื่อสามารถทนต่อแรงระเบิดจำนวนมหาศาล ในขณะที่ดินปืนถูกเผาไหม้ได้ จะพบเห็นในกระสุนปืนไรเฟิลขนาด .357 Magnum ขึ้นไป

จากการที่ส่วนท้ายของปลอกกระสุนปืนมีด้วยกันถึง 5 แบบ ดังนั้นการออกแบบรังเพลิงของอาวุธปืนที่จะใช้กับกระสุนปืนแบบต่างๆนั้น จะต้องพิถีพิถันเพื่อรองรับกระสุนแบบที่ใช้ให้พอดีทั้งความกว้าง ความยาว และรูปร่างเพื่อให้แน่ใจว่าในขณะที่ดินปืนเผาไหม้และเกิดการระเบิดของแก๊สขึ้น ปลอกกระสุนปืนจะแนบสนิทกับผนังรังเพลิงทุกด้าน ถ้าหลวมจะเกิดปัญหาปลอกกระสุนปืนบวมปิดรังเพลิง ทำให้คัดปลอกไม่ออก

2.5 ดินส่งกระสุนปืน (Gun Powder, Propellant)

ดินส่งกระสุนปืนหรือดินปืน เป็นของแข็งซึ่งเมื่อเกิดการลุกไหม้จะให้แก๊สในปริมาณมากในช่วงเวลาอันสั้น การลุกไหม้จะเกิดจากประกายไฟ หรือเปลวไฟที่ได้มาจากการระเบิดของ

แก๊ป หรือโดยวิธีอื่นก็ได้ ความรวดเร็วในการเผาไหม้ของดินปืนเป็นสิ่งสำคัญ หากเกิดการเผาไหม้เร็วเกินไป แก๊สที่เกิดขึ้นก็จะเกิดอย่างรวดเร็วมาก มีความดันสูงเกินกว่าที่ลูกกระสุนปืนจะวิ่งออกจากลำกล้องปืนได้ทัน ลำกล้องปืนก็จะระเบิด ในทางตรงข้ามกันถ้าเผาไหม้ช้าไป แก๊สที่เกิดจะมีน้อยทำให้แรงขับดันลูกกระสุนปืนน้อยตามลงไปด้วย ก็จะทำให้วิถีกระสุนปืนไม่ดี หรือบางทีลูกกระสุนปืนอาจจะตกแค่ปากกระบอกปืนก็ได้ ดินปืนในปัจจุบันมีด้วยกันอยู่ 3 แบบคือ

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

2. Pyrodex (ดินดำแบบใหม่) ดินปืนชนิดนี้มีส่วนผสมหลักเหมือนกับดินดำ คือ มีดินประสิว ถ่านไม้ และกำมะถัน แต่มีอัตราส่วนแตกต่างกับดินดำ นอกจากนี้ยังมีส่วนผสมอื่นเข้ามาอีก คือ Potassium perchlorate, Sodium benzoate, Dicyandiamide (1-Cyanoguanidine) และยังมี Dextrin, Wax และ Graphite จำนวนเล็กน้อยผสมอยู่ Pyrodex ที่ยังไม่ได้ใช้ยิงจะเห็นความแตกต่างจากดินดำชัดเจน เพราะ Pyrodex เป็นเม็ดสีเทา และมีบางส่วนโปร่งแสง นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติติดไฟยากกว่าดินดำ เนื่องจากมีจุดติดไฟที่ 750°F

สำหรับ pyrodex ที่ยิงแล้ว สามารถตรวจหาสารประกอบที่นอกเหนือจากดินดำได้หลายวิธี เช่น ใช้ High Performance Liquid Chromatography, Energy Dispersive Elemental Analysis และ/หรือ FTIR (Infrared Spectroscopy) เป็นต้น

3. Smokeless Powder (ดินควันน้อย) การพัฒนาดินควันน้อยนั้น เกิดขึ้นใกล้ๆกับการค้นพบ Guncotton, Nitroglycerine และ Dynamite โดยในปี 1845 Christian Schoenbein ชาวสวิสเป็นผู้ค้นพบ Guncotton ในปีค.ศ. 1846 Ascaio Sobrero ชาวอิตาลีได้พบ Nitroglycerine หรือ Glyceryl Nitrate ต่อมาในปีค.ศ. 1867 Alfred Nobel ชาวสวีเดนได้พบ Dynamite แต่ทั้ง 3 ตัวนี้ล้วนเป็นวัตถุระเบิดไม่สามารถนำไปใช้เป็นดินปืนได้ ทำให้มีการศึกษาหาวิธีทำดินปืนแบบใหม่ขึ้นมาเพื่อให้มีประสิทธิภาพสูงกว่าดินดำ และสามารถควบคุมอัตราการเผาไหม้ได้ ซึ่งมีผู้ค้นพบดินควันน้อยอยู่ด้วยกันหลายคนคือ

ในปีค.ศ. 1869 E. Schultz ชาวรัสเซียเป็นคนแรกที่คิดได้ โดยการทำไม้ให้เป็นสารประกอบ nitrate แล้วผสมกับ Barium Nitrate และ Potassium Nitrate ดินปืนแบบนี้ใช้ได้ดีกับกระสุนปืนลูกซอง แต่ยังคงเผาไหม้เร็วเกินไปสำหรับกระสุนปืนแบบอื่นๆ

ในปีค.ศ. 1870 Frederich Volkmann ชาวออสเตรียได้จดลิขสิทธิ์ดินปืนที่เค้าค้นพบ โดยให้ชื่อว่า Collodin ซึ่งใช้ไม้ Alder ป่นละเอียดแทนไม้ทั่วๆไป

ในปีค.ศ. 1884 Vieille ชาวฝรั่งเศส และ Duttenhofer ชาวเยอรมัน ได้ละลาย Nitrocellulose ในแอลกอฮอล์ หรือ ether หรือสารละลายตัวอื่นๆ ทำให้ได้ Plastic Gelatin ที่สามารถทำให้เป็นแผ่นแล้วตากแห้ง แล้วหั่นเป็นชิ้นเล็กๆ ใช้เป็นดินปืนได้

ต่อมาในปีค.ศ. 1887 Alfred Nobel ก็ได้ทำดินควันน้อยโดยใช้ Guncotton ละลายใน Nitroglycerine ได้สารประกอบคอลลอยด์มีชื่อว่า Ballistite ซึ่งมีส่วนประกอบของ Nitrocellulose 60% และ Nitroglycerine 40% และสามารถทำเป็นแผ่นหรือหลอดได้

และในปีค.ศ. 1890 ดินควันน้อยก็ได้ถูกนำมาใช้เป็นดินปืนแทนดินดำ เนื่องจากดินควันน้อยให้แรงระเบิดสูงกว่าดินดำมากในปริมาณที่เท่ากัน และเมื่อใช้ยิงแล้วก็มีเขม่า หรือควันปืนน้อยมากเมื่อเทียบกับดินดำ อีกทั้งยังง่ายต่อการควบคุมการจุดระเบิด แต่ข้อเสียคือ มีราคาแพงกว่าดินดำมาก และยังมีปัญหาเกี่ยวกับความปลอดภัยในการใช้ปืนในสมัยนั้น ซึ่งสร้างจากเหล็กที่ทนแรงดันไม่สูงนัก

ดินควันน้อยในปัจจุบันทำจากการนำเอา Cotton หรือ Cellulose Fiber อย่างอื่นทำปฏิกิริยาทางเคมีกับกรด Nitric และกรด Sulfuric เข้มข้น ได้สารประกอบที่มีชื่อว่า Nitrocellulose แบบ Single Base แต่ถ้าต้องการแบบที่มีแรงระเบิดสูงขึ้นก็ใช้ Nitroglycerine ผสมเข้ากับ Nitrocellulose ในอัตราส่วนต่างๆกัน แล้วแต่ว่าต้องการความเร็วในการเผาไหม้มากน้อยเพียงใด แบบนี้มีชื่อว่า Double Base การควบคุมอัตราการจุดระเบิดของดินควันน้อย ทำได้โดยการทำดินควันน้อยให้มีรูปร่างต่างๆกัน เช่น ทำให้เป็นเกล็ด (Flake) เป็นแผ่น (Disc) เป็นแท่ง (Tabular) หรือเป็นเม็ดกลม (Ball) เป็นต้น นอกจากนี้การเคลือบสารเคมีบางอย่างก็สามารถทำให้อัตราเร็วในการเผาไหม้แตกต่างกันได้อีกด้วย

2.6 แก๊ป (Primer Cap)

แก๊ปหรือชนวนท้ายกระสุนปืน จะอยู่ที่บริเวณจานท้ายปลอกกระสุนปืน นับเป็นหัวใจของกระสุนปืนในปัจจุบัน ซึ่งกระสุนปืนแบบ Center Fire ยกเว้นของกระสุนปืนลูกซองจะมี Primer Cap อยู่ 2 แบบคือ

1. Standard ใช้กับกระสุนปืนพกขนาดเล็กทั่วๆไป ตัว Primer Cap มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.175 นิ้ว

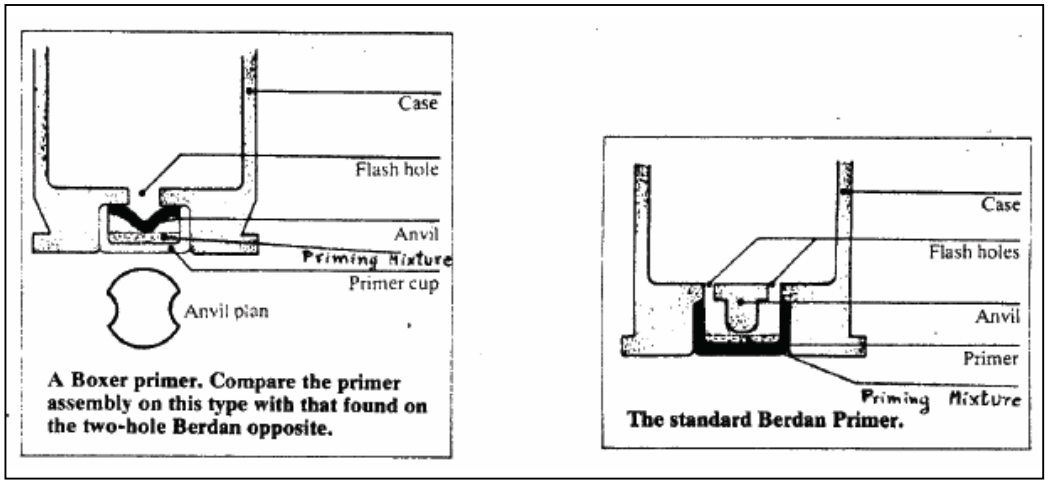
2. Magnum ใช้กับกระสุนปืนพกขนาดใหญ่ และกระสุนปืนไรเฟิล ตัว Primer Cap มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.210 นิ้ว

Primer Cap จะมีส่วนประกอบสำคัญอยู่ 3 ส่วนคือ

ก. Primer Cup ทำด้วยโลหะทองแดง ทองเหลือง หรือทองเหลืองชุบนิกเกิล ทำหน้าที่เป็นตัวบรรจุ Priming Mixture

ข. Priming Mixture เป็นวัตถุระเบิดประเภทกระทบแตก ทำหน้าที่เป็นตัวให้ประกายไฟจุดดินปืน

ค. Anvil เป็นโลหะแข็ง ทำหน้าที่เป็นตัวรับการกระแทกของเข็มแทงชนวน เพื่อทำให้ Priming Mixture ที่อยู่ระหว่างกลางเกิดการระเบิดขึ้น



ภาพที่ 9 ส่วนสำคัญของ Primer Cap

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

3. ที่มาของคราบเขม่าที่เกิดจากการยิงปืน (GSR)

เมื่อมีการลั่นไกปืนเกิดขึ้น เข็มแทงชนวนจะไปกระทบที่ชนวนท้ายกระสุนปืน (Primer Cap) ซึ่งจะทำให้แก๊ปปืนที่อยู่ตรงชนวนท้ายกระสุนปืนนั้น เกิดการจุดชนวนเป็นประกายไฟแล้วไปเผาไหม้ในดินส่งกระสุนปืนซึ่งเป็นดินควันน้อย (Smokeless Powder) ที่บรรจุอยู่ภายในปลอกกระสุนปืน เกิดการลุกไหม้และให้แก๊สปริมาณมากอย่างรวดเร็วในช่วงเวลาอันสั้น แก๊สที่เกิดขึ้นนั้นจะขยายตัวก่อให้เกิดความดันสูงหรือที่เรียกว่าเกิดการจุดระเบิด ทำให้ลูกกระสุนปืนสามารถวิ่งออกจากปากลำกล้องปืนเพื่อกระทบเป้าหมายได้ นอกจากนี้แรงระเบิดที่เกิดขึ้นจะผลักดันให้ไออนุภาคของสารต่างๆที่ถูกความร้อนเผาไหม้นั้น กระจายจากภายในอาวุธปืนออกมาสู่สิ่งแวดล้อมตามบริเวณช่องว่างต่างๆของอาวุธปืน ซึ่งไออนุภาคเหล่านี้เมื่อออกมาสู่บริเวณภายนอกที่มีความร้อนน้อยกว่าก็จะควบแน่นลงมา แล้วปลิวไปเกาะติดอยู่บริเวณมือ เสื้อผ้า และพื้นผิวอื่นๆที่อยู่บริเวณใกล้เคียง ซึ่งปริมาณความมากน้อยของอนุภาคที่จะปลิวมาเกาะนั้น ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลักสำคัญหลายอย่าง เช่น ชนิด ขนาด และลักษณะรูปแบบของอาวุธปืนและกระสุนปืนที่ใช้ หรือสภาพพื้นที่ในขณะยิงปืน เช่น ยิงปืนภายในอาคาร หรือภายนอกอาคาร ก็จะทำให้ทิศทางการฟุ้งกระจายของไออนุภาคมีความแตกต่างกันด้วย เป็นต้น

ในการยิงปืนนั้น เขม่าที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ของชนวนท้ายกระสุนปืน (Primer Cap) จะก่อให้เกิดอนุภาคที่ประกอบด้วยตะกั่ว (Pb) แบเรี่ยม (Ba) และแอนติโมนี (Sb) ในปริมาณที่แตกต่างกันไป ซึ่งอนุภาคทั้ง 3 ชนิดนี้ จะเป็นอนุภาคที่จะทำการศึกษา นอกจากอนุภาคเหล่านี้แล้วก็ยังมีอนุภาคอื่นๆอีกหลายชนิดที่เป็นส่วนผสมอยู่ภายในกระสุนปืนด้วย โดยปกติแล้วขนาดของอนุภาคเหล่านี้ จะมีขนาดเล็กมากในระดับไม่กี่ไมครอน จนถึงกว่า 100 ไมครอน

ที่ชนวนท้ายของกระสุนปืน (Primer Cap) จะมีส่วนผสมของสารประกอบเคมีหลักสำคัญอยู่ 3 ส่วน ที่มีบทบาทสำคัญในการศึกษาและการวิเคราะห์ในเรื่องคราบเขม่าที่มาจากการยิงปืนด้วยกัน ได้แก่

1. Initiator เป็นเชื้อประทุ มีคุณสมบัติคือเป็นสารประกอบเคมีที่สามารถระเบิดได้เองโดยไม่ต้องใช้ไฟจุด เป็นตัวเริ่มขบวนการเมื่อเข็มแทงชนวนกระทบแก๊ป Initiator ที่ใช้กันมากในปัจจุบันคือ Lead Styphnate ($PbO_2C_6H(NO_2)_3$) ซึ่งเชื้อประทุที่ใช้กันมาในอดีตได้แก่ 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 ($C_{18}H_{12}$) โดยแต่ละบริษัทที่ผลิตจะมีองค์ประกอบของสารดังกล่าวข้างต้นแตกต่างกันออกไป

2. Oxidizer เป็นตัวให้ออกซิเจนเพื่อช่วยในการเผาไหม้ของ Fuel นิยมทำด้วย Barium

Nitrate ($Ba(NO_3)_2$)

3. Fuel เป็นตัวทำให้เกิดเปลวไฟเพียงพอที่จะจุดดินปืนต่อไป นิยมใช้ Antimony Sulfide (Sb_2S_3)

ในราวปีค.ศ. 1986 Stone และคณะ ได้ทำการศึกษาองค์ประกอบของ Priming Mixture ใน Primer Cap ต่างๆดังนี้

ส่วนประกอบของแก๊ปปืนของทหารสหรัฐในยุคแรกๆ (ค.ศ. 1900)

Mercury Fulminate	13.7%
Potassium Chlorate	14.5%
Antimony Sulfide	33.4%
Powder Glass	10.7%
Gelatin Glue	0.7%

ส่วนประกอบของแก๊ปปืนที่ใช้ตั้งแต่สงครามโลกครั้งที่ 1จนถึงปีค.ศ. 1950

Potassium Chlorate	53.0%
Antimony Sulfide	17.0%
Lead Thiocyanate	25.0%
T.N.T.	5.0%

ส่วนประกอบของแก๊ปปืนที่เรียกว่า NCNM Priming ที่ใช้ตั้งแต่ปีค.ศ. 1950

Lead Styphnate	37.0±5%
Barium Nitrate	4.0±1%
Tetracene	32.0±5%
Antimony Sulfide	15.0±2%
Aluminium Powder	7.0±1%
P.E.T.N.	5.0±1%

ส่วนประกอบของแก๊ปปืนยี่ห้อ Belgin

Lead Styphnate	40.0%
Lead Oxide	15.0%
Barium Nitrate	42.0%
Antimony Sulfide	5.0%
Calcium Silicide	5.0%
Tetracene	3.0%

4. การรวมตัวของอนุภาค GSR

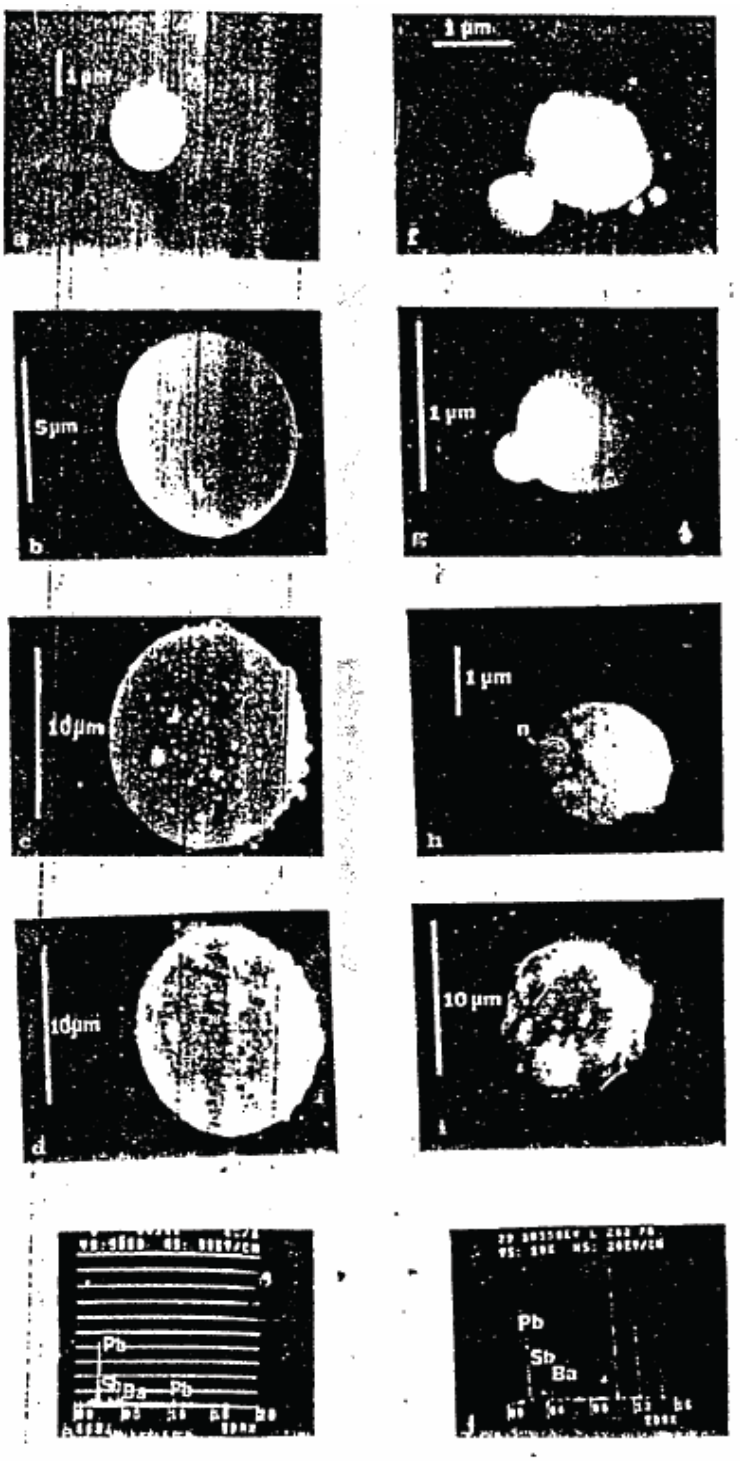
เมื่อเข็มแทงชนวนกระทบที่ชนวนท้ายกระสุนปืน (Primer Cap) จะทำให้เกิดการระเบิดและเผาไหม้อย่างรวดเร็ว ในขณะนั้นจะเกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งอุณหภูมิและความดันสูงขึ้นเป็นอย่างมาก โดยภายในเวลา 1 millisecond อุณหภูมิจะสูงขึ้นเป็น 3600°C และความดันเปลี่ยนเป็น 40,000 psi ซึ่งที่สภาวะนี้ จะมีอุณหภูมิที่สูงกว่าจุดเดือดของตะกั่ว แบเรียม และแอนติโมนี เนื่องจากตะกั่ว แบเรียม และแอนติโมนีมีจุดเดือดเพียง 1,620°C 1,140°C และ 1,380°C ตามลำดับ ดังนั้นธาตุโลหะทั้งสาม จึงเปลี่ยนสถานะเป็นไอ แต่เนื่องจากมีการอิ่มตัวของไอธาตุเหล่านี้มากเกินไป จึงเกิดการควบแน่นกลับคืนมาเป็นหยดเล็กๆ โดยที่ผิวของมันยังมีลักษณะเป็นของเหลวอยู่ โดยเหตุการณ์นี้จะเกิดในสภาวะสมดุลไดนามิกที่อุณหภูมิ 1,500-2,000°C ความดัน 9,653 kPa (1,400 psi) และเมื่ออุณหภูมิลดลง หยดเล็กๆเหล่านี้ก็จะแข็งตัวกลายเป็นคราบเขม่าที่มาจากการยิงปืนนั่นเอง

เนื่องจากอนุภาค GSR ที่เกิดจากการควบแน่นและรวมตัวของไอธาตุ Pb Ba และ Sb นั้นมาจากการที่ไอธาตุได้เย็นตัวลงอย่างรวดเร็ว ภายหลังจากการเผาไหม้ของชนวนท้ายกระสุนปืน จึงทำให้รูปแบบหรือสัณฐานของอนุภาค GSR ที่เกิดขึ้นมีได้หลายแบบ โดย Basu (Basu, 1982) ได้ทำการศึกษาสัณฐานของอนุภาค GSR และแบ่งออกเป็น 3 แบบคือ

ก. Regular Spheroids เป็นอนุภาคที่มีลักษณะเป็นทรงกลม และมีขนาดตั้งแต่ 1-10 ไมโครเมตร

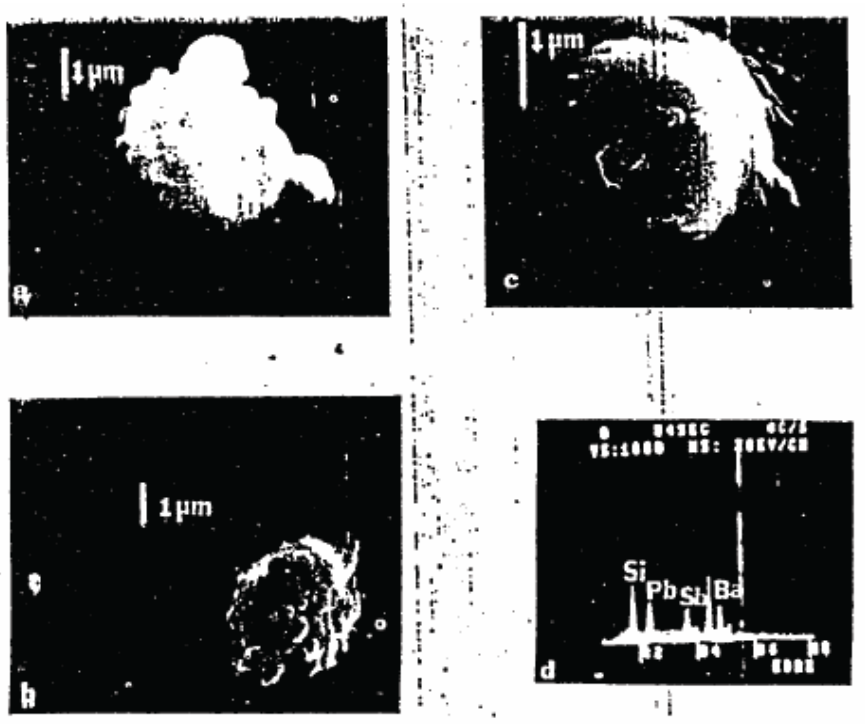
ข. Irregular Particles หรือ Nodular Spheroids เป็นอนุภาคที่เกิดจากการรวมตัวของอนุภาคขนาดเล็กมาเกาะติดแน่นอยู่บนอนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่า ทำให้มีรูปลักษณ์เป็นทรงกลมมีปุ่มงอกออกขึ้นมาอย่างเห็นได้ชัด

ค. อนุภาคที่มีแบเรียมและแอนติโมนีก่อตัวเป็นแกนกลาง โดยมีตะกั่วหุ้มล้อมรอบอยู่ภายนอกอนุภาค ซึ่งเรียกว่า “Peeled Orange” เป็นผลเนื่องมาจากการเย็นตัวอย่างรวดเร็ว ทำให้แบเรียมและแอนติโมนีแข็งตัวในเวลาที่ใกล้เคียงกัน เพราะต่างมีจุดเยือกแข็งที่ใกล้เคียงกัน คือ 725° C และ 630.5°C ตามลำดับ ส่วนจุดเยือกแข็งของตะกั่วเพียง 327°C จึงเกิดการแข็งตัวช้าที่สุด เป็นเหตุให้อยู่ล้อมรอบสองธาตุดังกล่าว



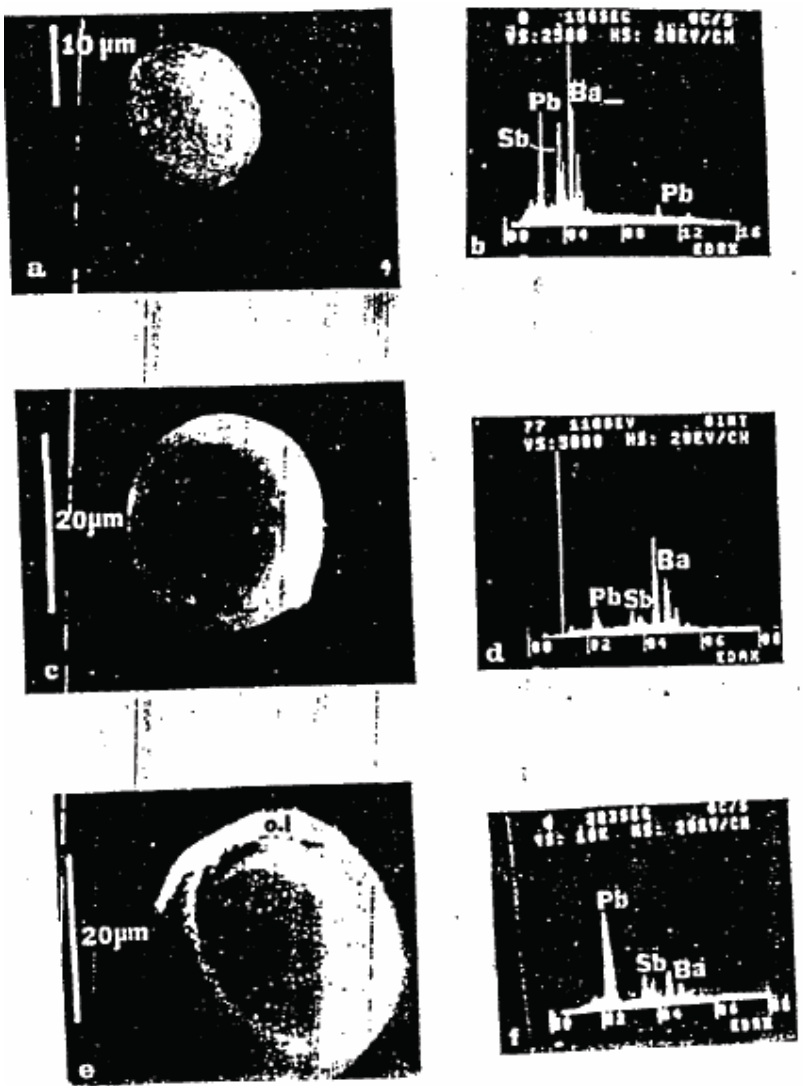
ภาพที่ 10 ตัวอย่างอนุภาคแบบ Regular Spheroids

ที่มา : Basu, S. “Formation of Gunshot Residue.” Journal of Forensic Science 27(1982): 72 – 91.



ภาพที่ 11 ตัวอย่างอนุภาคแบบ Irregular Spheroids

ที่มา : Basu, S. “Formation of Gunshot Residue.” Journal of Forensic Science 27(1982): 72 – 91.



ภาพที่ 12 ตัวอย่างอนุภาคแบบ Peeled Orange

ที่มา : Basu, S. “Formation of Gunshot Residue.” Journal of Forensic Science 27(1982): 72 – 91.

5. การตรวจโลหะสำคัญในอนุภาค GSR เชิงคุณภาพด้วย SEM/EDS

จากรายงานของ G.M. Wolten และคณะ ที่ได้ทำการทดลองศึกษาลักษณะรูปแบบอนุภาคของ GSR ที่มือ โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน พบว่าประมาณ 70% ขึ้นไปของอนุภาคมักจะมีลักษณะสัณฐานเป็นทรงกลม (Spheroidal) และมีความสว่างจ้าของอนุภาคเกิดขึ้น อันเนื่องมาจากคุณสมบัติของโลหะหนักที่เป็นองค์ประกอบอยู่ภายในอนุภาค ทำให้สามารถจำแนกหรือแยกแยะอนุภาค GSR ออกจากอนุภาคปนเปื้อนอื่นๆที่ไม่ได้มาจากการยิงปืนได้ อย่างไรก็ตาม แม้สัณฐานอนุภาคของ GSR ส่วนใหญ่จะมีลักษณะเป็น Spheroidal แต่จากการวิเคราะห์มักพบอนุภาค GSR ที่มีลักษณะสัณฐานเป็น Irregularly Spheroidal ปะปนอยู่ด้วยเสมอ จึงจำเป็นที่ผู้ทำการตรวจวิเคราะห์ต้องมีความเชี่ยวชาญในการประมวลผลรูปลักษณ์อนุภาคต่างๆเหล่านี้ Wolten,1980)

จากการศึกษาสัณฐานของอนุภาค GSR ที่ได้จากการยิงมาจากอาวุธปืนพกรีวอลเวอร์และอาวุธปืนพกกึ่งอัตโนมัติ แบบละ 2 ยี่ห้อ 2 ขนาด คืออาวุธปืนพกรีวอลเวอร์ ยี่ห้อ Colt Trooper ขนาด .357 และยี่ห้อ Smith & Wesson 1917 ขนาด .45 อาวุธปืนกึ่งอัตโนมัติยี่ห้อ Smith & Wesson MOD 39 ขนาด 9 มม. และยี่ห้อ Colt 1911A1 ขนาด .45 โดยใช้กระสุนปืน 4 ยี่ห้อ ได้แก่ CCI, FED, REM และ WIN ซึ่งตัวอย่างเก็บมาตรวจวิเคราะห์จะประมวลผลด้วย CCSEM พบว่า

1. กรณีอาวุธปืนพกรีวอลเวอร์ 74% ของอนุภาค GSR จะมีลักษณะสัณฐานเป็นทรงกลม (Spheroidal) และอนุภาคอีก 26% จะมีรูปร่าง Irregularly Shaped

2. กรณีอาวุธปืนพกกึ่งอัตโนมัติ 59% ของอนุภาค GSR จะมีลักษณะสัณฐานเป็นทรงกลม (Spheroidal) และอนุภาคอีก 41% จะมีรูปร่างเป็น Irregular Shaped

3. ขนาดอนุภาคของ GSR ที่ได้จากการใช้อาวุธปืนรีวอลเวอร์พบว่า 65% อนุภาคจะเล็กกว่า 3 μm, 28% อนุภาคจะมีขนาด 3-6 μm, 5% อนุภาคจะมีขนาด 6-10 μm และอีก 2% อนุภาคจะมีขนาดใหญ่กว่า 10 μm

4. ขนาดอนุภาคของ GSR ที่ได้จากการใช้อาวุธปืนพกกึ่งอัตโนมัติพบว่า 48% อนุภาคจะเล็กกว่า 3 μm, 29% อนุภาคจะมีขนาด 3-6 μm, 9% อนุภาคจะมีขนาด 6-10 μm และอีก 14% อนุภาคจะมีขนาดใหญ่กว่า 10 μm (Schwoeble, et al., 2000)

เมื่ออนุภาคใดก็ตามที่มีธาตุโลหะ Pb, Ba และ Sb รวมตัวอยู่ด้วยกันในอนุภาคเดียวกันแล้วนั่นคือคุณสมบัติหรือรูปแบบจำเพาะที่เป็นเอกลักษณ์ของอนุภาค GSR ดังนั้นการดูองค์ประกอบของธาตุที่อยู่ในอนุภาคจึงเป็นสิ่งสำคัญที่ใช้ในการลงความเห็นว่าอนุภาคที่เรากำลังวิเคราะห์เป็นอนุภาคที่เกิดจากการยิงปืนหรือไม่

โดยทั่วไป ในแก๊ปปืนจะมีธาตุโลหะต่างๆหลายชนิดเป็นองค์ประกอบ ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ

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

2. ประเภทบ่งชี้ (Indicative Categories) ถ้าตรวจพบว่ามีธาตุเหล่านี้เชื่อได้ว่า 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 อย่างเดียว หรืออาจมี S เป็นองค์ประกอบด้วยก็ได้

2.6 อนุภาคที่ประกอบด้วย Pb อย่างเดียว

2.7 อนุภาคที่ประกอบด้วย Ba อย่างเดียว และไม่มี S เป็นองค์ประกอบ

(Schwoeble, et al., 2000)

โดยที่อนุภาค GSR ทั้ง 2 ประเภทอาจมีธาตุโลหะรองชนิดอื่นเป็นส่วนประกอบอยู่ด้วย ซึ่งธาตุโลหะรองเหล่านี้ได้แก่ Si, Ca, Al, Cu, Fe, S, P, Ni, K, Cl และ Zn ดังจะเห็นได้จากรายงานของ Andrasko และ Machly ที่ทำการทดลองไว้ในปีค.ศ. 1977 โดยได้ทำการตรวจหาธาตุต่างๆในชนวนท้ายกระสุนปืนหลายชนิดและขนาด ตามตารางที่ 1.1 และในอีก 5 ปีถัดมา Tazza และคณะได้มีรายงานการนำชนวนท้ายกระสุนปืนมาตรวจวิเคราะห์หาธาตุต่างๆโดยใช้ SEM/EDS ด้วยเช่นกัน ดังตารางที่ 1.2

ตารางที่ 1 ธาตุโลหะที่พบในชนวนท้ายกระสุนปืนของบริษัทต่างๆ

Ammunition	Caliber	Elements Found (Traces)
Norma (Sweden)	7.65 mm	Pb, Ba, Sb (Cu, Ca, Si)
Sako (Finland)	7.65 mm	Pb, Ba, Sb, Ca, Si, Hg (Fe, Cu)
SM (Sweden)	7.65 mm	Pb, Ba, Sb, Ca, Si (Fe, Cu)
Lapua (Finland)	7.65 mm	Pb, Ba, Sb
Geco (W. Germany)	7.65 mm	Pb, Ba, Sb (Cu, Sn)
S-40 (Finland, 1940)	9 mm	Pb, Ba, Sb, Sn, Ca, Si, Mn (Cu)
51 K (Sweden, 1951)	9 mm	Pb, Ba, Sn, Ca, Si (Fe)
FN (Belgium)	9 mm	Sb, Hg
RWS (W. German y)	9 mm	Pb, Sb, Sn, 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. German y)	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)
Peters 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 Machly, Ac. “Detection of Gunshot Residue on Hands by SEM.” Journal of Forensic Science 22 (1977): 279 – 287.

ตารางที่ 2 แสดงโลหะต่างๆที่ตรวจพบใน GSR

Type of Ammunition and Weapon	Major Primer Compounds	Number of Shots	Elemnetal Composition (SEM-EDA)	Composition (XRD)
.22 long-rifle Eley semiautomatic pistol	lead styphnate, $Ba(NO_3)_2$	7	Pb, Ba	Pb, $Ba(NO_3)_2$, PbO
.22 long-rifle Winchester Super X Revolver	lead styphnate, $(Ba(NO_3)_2)$	10	Pb, Ba	Pb, $Ba(NO_3)_2$, Cu, PbO
5.56 mm. Winchester (USA) M-16 rifle	lead styphnate, $Ba(NO_3)_2$, Sb_2S_3, aluminium powder	7	Pb, Ba, Al, Sb	Pb, $BaAl_2O_4$, Sb, PbS
6.35 mm. Hirtenberg semiautomatic pistol	lead styphnate, $Ba(NO_3)_2$, $CaSi_2$	9	Pb, Ba, Ca, Si	Pb, $Ba(NO_3)_2$, PbO
7.62 mm. NATO, FN[a] Mauser rifle	lead styphnate, $CaSi_2$ $Ba(NO_3)_2$, Sb_2S_3	8	Pb, Ba, Ca, Si, Sb	Pb, PbS, Sb
7.62 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] (Portuguese) Mauser rifle	lead styphnate, $CaSi_2$ $Ba(NO_3)_2$, Sb_2S_3	4	Pb, Ba, Ca, Si, Sb	Pb, PbS, Sb
7.65 mm. SBP[c] semiautomatic pistol	lead styphnate, $CaSi_2$ $Ba(NO_3)_2$, tin	7	Pb, Ba, Ca, Si, Sn	Pb, $Ba(NO_3)_2$, Sn
.38 Kynoch revolver	lead styphnate, $Ba(NO_3)_2$, $CaSi_2$	5	Pb, Ba, Ca, Si	Pb, $Ba(NO_3)_2$
.38 Remington Peters revolver	lead styphnate, $Ba(NO_3)_2$, Sb_2S_3	6	Pb, Ba, Al, Sb	Pb, $Ba(NO_3)_2$, PbS, $BaAl_2O_4$
9 mm. Parabellum Israeli SMG[d]	lead compound, $KClO_3$, Sb_2S_3	12	Pb, Cl, K, Sb	Pb, KCl, PbS, Sb

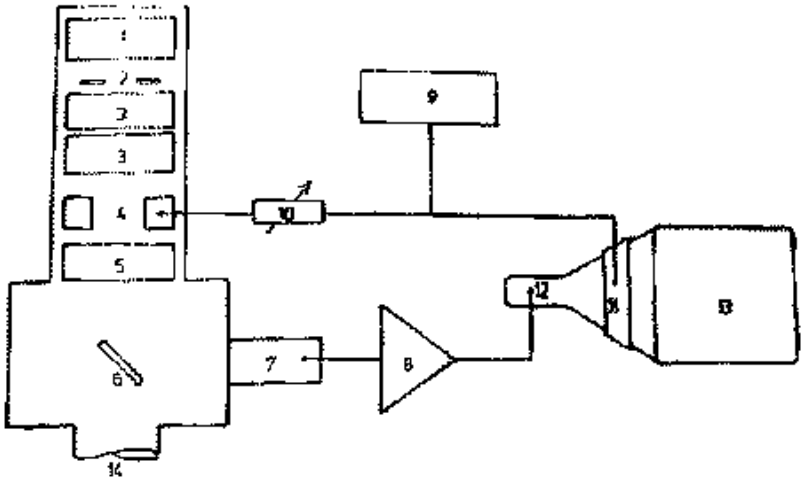
[a] Fabrique National
[b] Fabrica National Munitiones
[c] Silleir Bellot Prague
[d] Submachine gun

ที่มา : Tazza, M., Leist, Y., and Steinberg, M. “Characterization of Gunshot Residue by X-ray Diffraction.” Journal of Forensic Science 27 (1982) 677-682.

6. หลักการพื้นฐานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, (SEM)) (วิฑูรย์ แซ่โง้ว 2549)

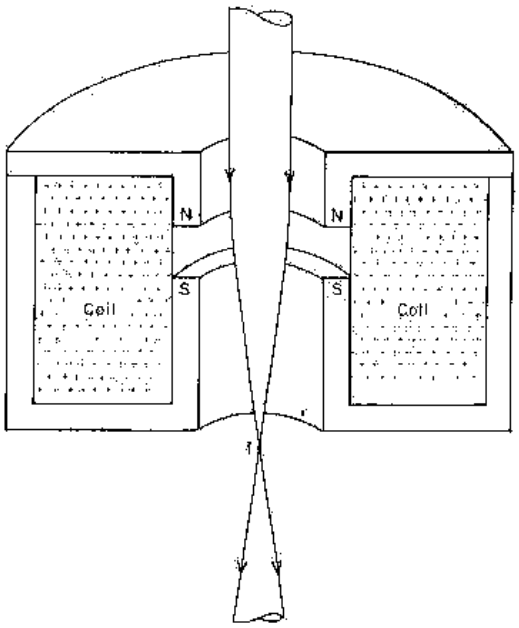
Scanning Electron Microscope เรียกโดยย่อว่า SEM หรือในภาษาไทยเรียกว่า กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ใช้อิเล็กตรอนในการสร้างภาพขยาย มีรายละเอียดของกระบวนการในการสร้างภาพอย่างมาก SEM เครื่องแรกประดิษฐ์ขึ้นในช่วงทศวรรษที่ 1960 จากนั้น SEM ก็ค่อยๆกลายเป็นเครื่องมือที่นำไปประยุกต์ใช้แพร่หลายทั่วไป ทั้งในด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี การแพทย์ อุตสาหกรรม นิติวิทยาศาสตร์ โบราณคดี และอื่นๆอีกหลายด้าน

หลักการทำงานของScanning Electron Microscope



Layout of Scanning Electron Microscope

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



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 ในที่นี้ถ้ากล่าวอย่างง่ายๆ ว่าถ้าผิวตัวอย่างเรียบก็จะให้สัญญาณสะท้อนอิเล็กตรอนได้ดี แต้ถ้าผิวตัวอย่างเป็นหลุมลึกก็จะไม่ให้สัญญาณหรือให้ได้น้อย ซึ่งสามารถรับสัญญาณได้โดยใช้ Detector ที่เหมาะสมกับชนิดของสัญญาณ สัญญาณที่ได้จะนำมาขยายให้มีความแรงที่เหมาะสมแล้วนำมาสร้างเป็นภาพ

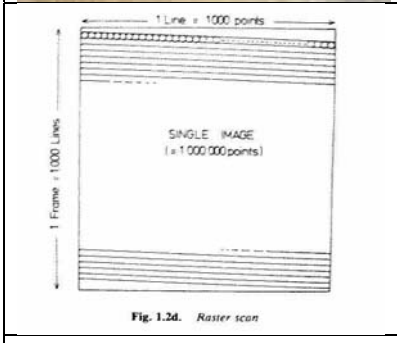
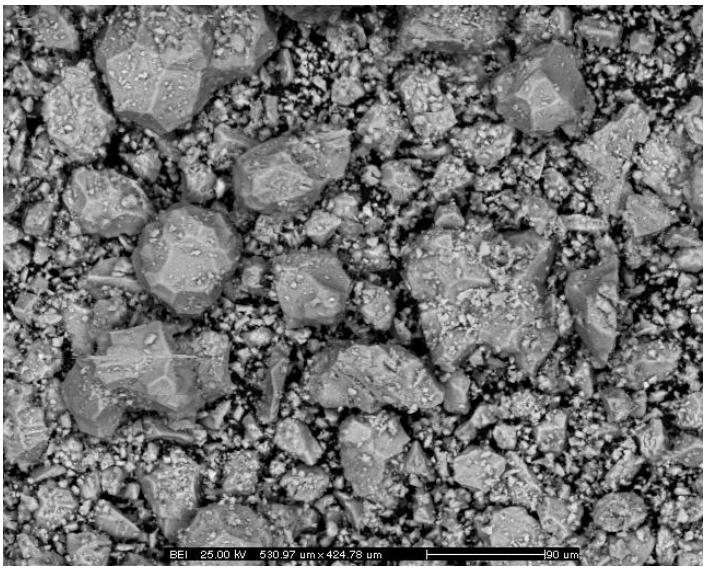


Fig. 1.2d. *Raster scan*



แสดงการกวาดของลำอิเล็กตรอนใน 1 เฟรม

SEM ใช้หลอดรังสีแคโทด (Cathode Ray Tube, CRT) เพื่อแสดงภาพ ในหลอดรังสีแคโทดจะมีการสร้างลำอิเล็กตรอนและถูกบีบให้เป็นลำเล็กๆ แต่มีเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่าในกล้อง SEM มาก กล่าวคือใน SEM ลำอิเล็กตรอนมีขนาดศูนย์กลางในระดับนาโนเมตร คืออาจต่ำได้ถึง 5 นาโนเมตรหรือต่ำกว่า แต่ในจอ CRT มีขนาดศูนย์กลางประมาณ 0.1 เซนติเมตร เมื่อพิจารณาอัตราส่วนของลำอิเล็กตรอนของ SEM ต่อ CRT จะพบว่าห่างกันถึง 20,000 เท่า ทำให้เกิดเป็นอัตราส่วนของกำลังขยายที่จะให้ภาพที่มีรายละเอียดได้ดี ซึ่งจะได้กล่าวต่อไป

การสแกนใน CRT จะถูกควบคุมให้มีการสแกนแบบ Raster Scan พร้อมๆกับการสแกน ของลำอิเล็กตรอนในกล้อง 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 อัตราส่วนการขยาย

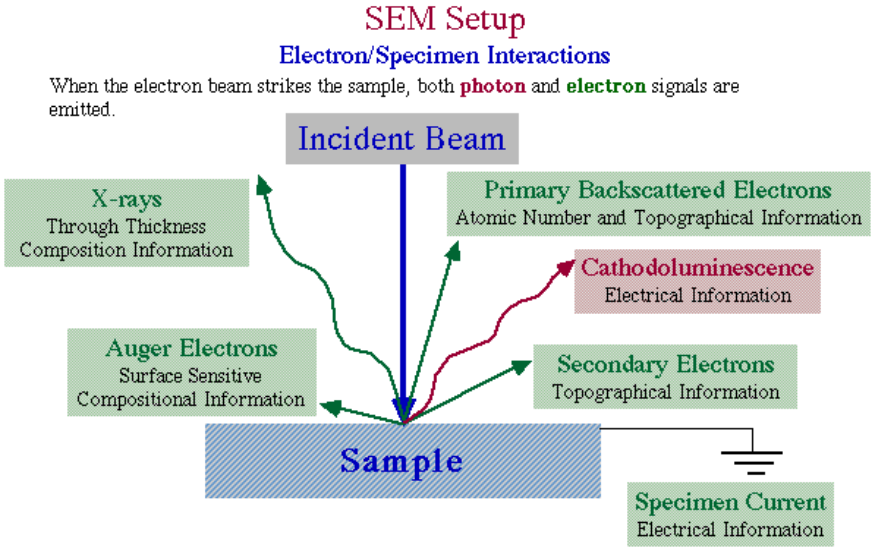
ของภาพก็จะเป็น 1 เท่า แต่ถ้าเราให้การกวาดลำอิเล็กตรอนในกล้องเป็นพื้นที่ 1 x 1 เซนติเมตร ก็จะขยายภาพเป็น 20 เท่า แต่ในความเป็นจริงขนาดของการสแกน 1 เฟรมในกล้องอาจควบคุมให้เล็กมากถึงระดับไมโครเมตรโดยที่การสแกนบนหน้าจอยังเท่าเดิม ดังนั้นการขยายจึงได้ถึงระดับหมื่นเท่า

<u>สัญญาณที่เกิดขึ้นเมื่ออิเล็กตรอนกระทบผิวตัวอย่าง</u>

อิเล็กตรอนจาก Column ของ SEM เราเรียกว่า Primary Electron เมื่อตกกระทบผิวตัวอย่างจะมีสัญญาณหลาย อย่างเกิดขึ้น แต่พอจะแบ่งเป็นกลุ่มได้สองกลุ่มคือ

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

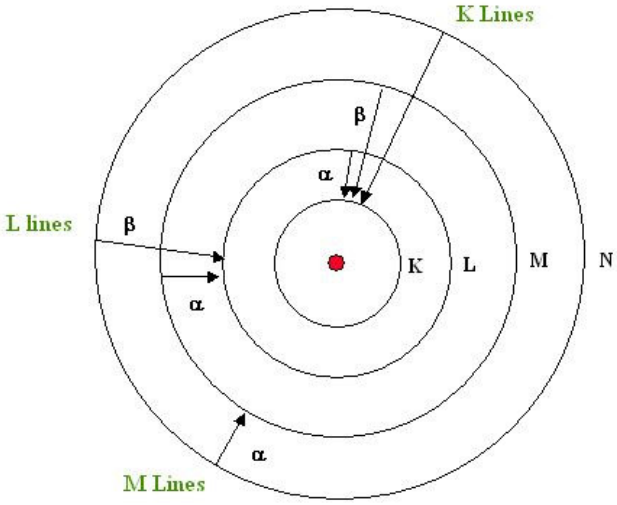
สัญญาณที่นำมาใช้ประโยชน์ใน SEM มี 4 ชนิดได้แก่



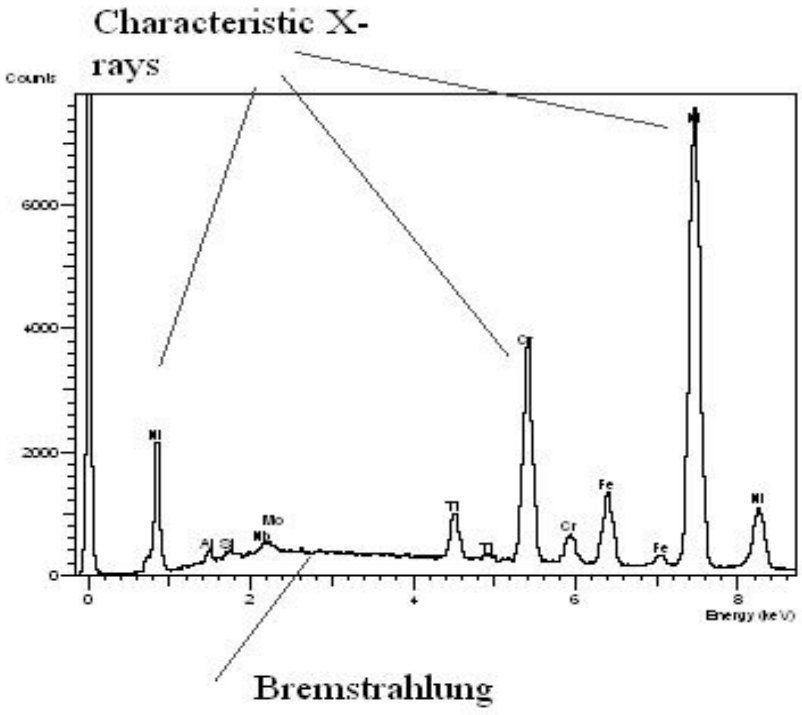
a. **Secondary Electrons** (SE) เป็นอิเล็กตรอนพลังงานต่ำที่เกิดจาก Primary Electrons ไปชนเอาอิเล็กตรอนที่ผิวตัวอย่างหลุดออกมา โดยจะหลุดออกจากผิวตัวอย่างที่ความลึกจากพื้นผิวไม่เกิน 10 นาโนเมตร ให้ภาพที่มีรายละเอียดสูง ความเข้มของ SE จะขึ้นกับมุมที่ Primary Electrons ตกใส่ และสภาพพื้นผิวตัวอย่าง ให้ภาพที่มีรายละเอียดสูง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

b. **Back Scattered Electrons** (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. **Characteristic X-rays** เกิดจากการที่เมื่ออิเล็กตรอนวงในของธาตุตัวอย่างถูกชนโดย Primary Electrons จนหลุดออกไป ก็จะเกิดเป็นระดับชั้นพลังงานที่ว่าง ทำให้อิเล็กตรอนที่ระดับพลังงานสูงกว่าลดระดับพลังงานลง พร้อมกันนี้ก็จะปล่อยพลังงานในรูป X-Rays ออกมา พลังงานของ X-Rays ที่ได้จะมีรูปแบบของระดับพลังงานเฉพาะตัวแตกต่างกันไปในแต่ละธาตุเรียกว่า Characteristic X-Rays ดังนั้นจึงสามารถทำให้วิเคราะห์หาธาตุองค์ประกอบที่ผิวตัวอย่างโดยอาศัยประโยชน์จากการวิเคราะห์พลังงานหรือความยาวคลื่นของ X-rays ที่เกิดขึ้นนี้



โครงสร้างอะตอม และการเกิดX-rays



X-Rays Spectrum ที่ได้จากSEM-EDS

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

ซึ่งในงานวิจัยชิ้นนี้จะใช้การดูภาพประเภท BEI และวิเคราะห์ธาตุด้วยการดู Characteristic X-Rays ของธาตุ Pb, Sb และ Ba เท่านั้น

7. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในปี 1998 J. Flynn และคณะ ได้ทดลองนำเอาเทคนิคด้าน XRF (X-ray Fluorescence) มาประยุกต์ใช้ในการหา GSR เทียบกับ SEM/EDS ซึ่ง XRF มีความไวต่อการตรวจธาตุมากกว่า SEM/EDS ประมาณ 100-1,000 เท่า พบว่า XRF สามารถตรวจพบเขม่าปืนที่มีขนาดตั้งแต่ 10 μm ขึ้นไปได้ดี ซึ่งหากเขม่าปืนมีขนาดเล็กยังจำเป็นต้องใช้ SEM/EDS ในการตรวจพิสูจน์เช่นเดิม และเขม่าปืนที่มีขนาดใหญ่กว่า 10 μm นั้นมักจะพบจากระยะจากกระบอกปืนไม่เกิน 30 cm

ปี 1999 L. Garofano และคณะ ได้ทำการทดลองศึกษาถึงโอกาสที่แต่ละอาชีพจะมีธาตุที่มีองค์ประกอบเหมือนกับเขม่าปืน ไม่ว่าจะเป็นช่างเชื่อม ช่างซ่อมรถ คนทำพลุ และอื่นๆ พบว่าแม้บางอาชีพจะตรวจพบว่ามีธาตุที่มีส่วนประกอบเหมือนกับเขม่าปืน แต่ลักษณะของอนุภาคจะไม่กลมเหมือนกับเขม่าปืน

ปี 2001 J. Coumbaros และคณะ ได้ทำการทดลองประยุกต์ใช้ Time Of Flight Secondary Ion Mass Spectrometry (TOF-SIMS) หาลักษณะเฉพาะของเขม่าปืนจากปืนขนาด .22 ผลจาก TOF-SIMS เทียบกับ SEM/EDS พบว่า TOF-SIMS ให้ sensitivity ดีกว่า SEM/EDS และสามารถเห็นการแตกตัวเฉพาะของสารประกอบอนินทรีย์ จึงสามารถนำ TOF-SIMS มาใช้ในการวิเคราะห์เขม่าปืนได้เช่นกัน

ปี 2003 Z. Brozek-Mucha และ G. Zadora ได้พยายามที่จะจำแนกเขม่าปืนที่ตรวจพบว่าจะสามารถแยกชนิดของปืน 4 ชนิดออกจากกันได้หรือไม่ โดยตรวจด้วยเทคนิค SEM/EDS โดยใช้ cluster analysis ทำให้สามารถจัดกลุ่มของเขม่าปืนที่สามารถจำแนกขนาดปืนได้ 2 ชนิด คือ Browning 7.65 มม. และ Luger 9 มม. ได้ และในปี 2009 ผู้วิจัยทำการยิงปืนขนาด 9 มม. และได้ทำการเก็บตัวอย่างเขม่าปืนจากมือ ท่อนแขน ด้านหน้าและด้านหลังของเสื้อด้านบนของผู้ยิง แล้วนำมาวิเคราะห์โดย SEM/EDS ผลการทดลองบอกว่า จำนวนของเขม่าปืน ชนิดของธาตุ ขนาดของอนุภาคของเขม่าปืน จะแปรผันตามทิศทางที่ยิง ซึ่งจะสามารถทำให้เราสามารถจำลองเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นได้

ปี 2003 L. Fojtasek และคณะ ได้ทำการยิงปืนยี่ห้อ Luger ขนาด 9 มม. และทำการเก็บเขม่าปืนในทิศทางและระยะต่างๆกัน พบว่าตำแหน่งที่พบปริมาณเขม่าปืนมากที่สุดอยู่ที่ด้านขวาประมาณ 45° จากทิศที่ยิง ประมาณ 2-4 เมตรและสามารถตรวจพบเขม่าปืนไปไกลที่สุด 10 เมตร และในปี 2004 ผู้วิจัยยังได้ทำการทดลองหาเวลาที่เขม่าปืนจะตกลงมามากที่สุดโดยทำการทดลองยิงทั้งปืน Semi-automatic และปืน Revolver พบว่าในปืน Semi-automatic นั้น เขม่าปืนจะตกลงมามากที่สุดในเวลา 8 นาที ส่วนปืน Revolver นั้น เขม่าปืนจะตกลงมามากที่สุดในเวลา 15 นาที

ปี 2007 S. Steffena และคณะ ได้ทำการยิงปืนด้วยกระสุนที่มีตะกั่ว 8 ยี่ห้อ และไม่มีตะกั่ว 7 ยี่ห้อ แล้วใช้ SEM/EDS และ ICP-MS ในการตรวจหาเขม่าปืนซึ่งเมื่อนำผลการทดลองมาเปรียบเทียบกันแล้ว พบว่า ICP-MS สามารถตรวจพบเขม่าปืนได้ดีกว่า SEM/EDS

และในปี 2007 J. Sarkis และคณะ ได้ทำการทดลองหาเขม่าปืนโดยใช้ Sector Field-High Resolution-Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry (SF-HR-ICP-MS) พบว่าสามารถตรวจพบเขม่าปืนได้ที่ความเข้มข้นที่ต่ำมาก (น้อยกว่า 1 μg/mL)

ดังนั้น เมื่อพิจารณาจากงานวิจัยต่างๆ ทำให้ผู้วิจัยมีความสนใจที่จะทำการศึกษาหาการกระจายตัวของเขม่าปืนที่มีการยิงในห้องปิด และทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค SEM/EDS ถึงแม้ว่าประสิทธิภาพจะด้อยกว่าเทคนิคอื่นๆบ้าง แต่ก็เป็นเทคนิคที่ได้รับการยอมรับกันทั่วโลกว่าสามารถนำมาใช้ตรวจพิสูจน์เขม่าปืนได้มีประสิทธิภาพมากเช่นกัน

บทที่ 2

การทดลอง

1. เครื่องมือ อุปกรณ์ และสถานที่ทำการทดลอง

1.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

เครื่องมือและอุปกรณ์	แหล่งที่มา
เครื่อง Scanning Electron Microscope and Energy Dispersive X-ray Spectrometry (SEM/EDS)	Cam Scan Analytical
ปืนพกกึ่งอัตโนมัติ ขนาด 9 มม. ยี่ห้อ Glock model 19	GLOCK, Inc.
ปืนพกรีวอลเวอร์ ขนาด .38 ยี่ห้อ Smith & Wesson model M 60	Smith & Wesson Co.Ltd.
กระสุนปืนออโตเมติก ขนาด 9 มม. ยี่ห้อ Winchester	วิทยาการเขต 15 (นครปฐม)
กระสุนปืนรีวอลเวอร์ ขนาด .38 ยี่ห้อ S&B	วิทยาการเขต 15 (นครปฐม)
เทปกาวคาร์บอน 2 หน้าเส้นผ่าศูนย์กลาง 12 มม. (Carbon Adhesive Discs)	บริษัท พรพลอินสตรูเม้นท์ จำกัด
Stub	Cam Scan Analytical
กระเบื้องผิวเรียบขนาด 30 X 30 cm	บริษัท เมืองทอง เซรามิค จำกัด
เครื่องวัดความชื้นสัมพัทธ์ เทอร์โมมิเตอร์และเครื่องวัดความเร็วลม	ภาควิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยศิลปากร
ห้องที่ใช้ในการทดลอง	ศูนย์ฝึกอบรมตำรวจภูธรภาค 7

1.2 สถานที่ทำการทดลอง

การทำการทดลองในครั้งนี้ จำเป็นต้องใช้ห้องปิด จึงได้ทำการขอใช้ห้องทำการทดลองจากศูนย์ฝึกอบรมภาค 7 ซึ่งห้องมีลักษณะดังภาพที่ 13

ภาพที่ 13 สถานที่และห้องที่ใช้ในการทำการทดลอง ศูนย์ฝึกอบรมตำรวจภูธรภาค 7

2. วิธีการทดลองวิเคราะห์เขม่าปืน (GSR) ด้วยเทคนิค SEM/EDS

การทดลองนี้จะทำการยิงปืนเพื่อดูปริมาณอนุภาคของเขม่าปืนที่กระจายไปในทิศทางต่างๆกันโดยจะทำการยิงปืนในระบบปิด คือทำการยิงปืนในห้องรูปแปดเหลี่ยมมีพื้นที่ประมาณ 254 ตารางเมตร และสูง 3.5 เมตร ปืนที่ใช้ในการทดลองนี้มี 2 ชนิดคือ ปืนพกกึ่งอัตโนมัติ ขนาด 9 มม. ยี่ห้อ Glock model 19 และปืนพกรีวอลเวอร์ ขนาด .38 ยี่ห้อ Smith & Wesson model M 60 โดยกระสุนปืนที่ใช้เป็นยี่ห้อ Winchester (9 มม.) และ ยี่ห้อ S&B (.38)

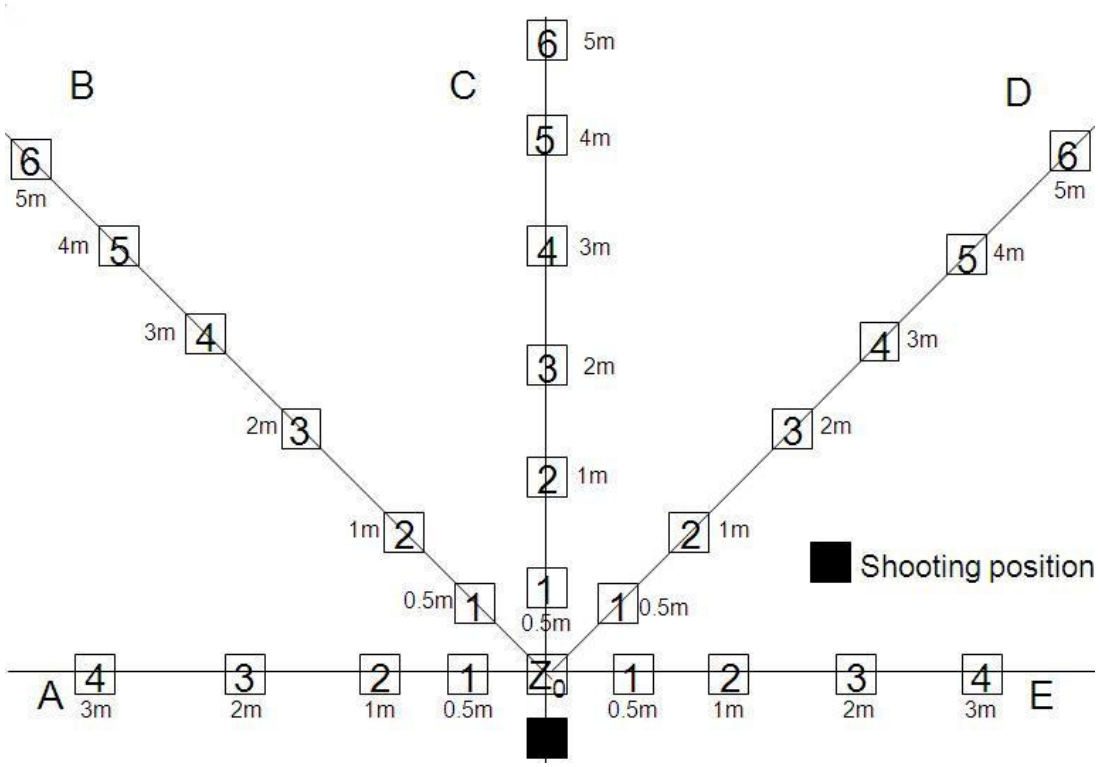
ภาพที่ 14 ปืนพกกึ่งอัตโนมัติ ขนาด 9 มม.ยี่ห้อ Glock model 19

ภาพที่ 15 กระสุนปืนยี่ห้อ Winchester ขนาด 9 มม.

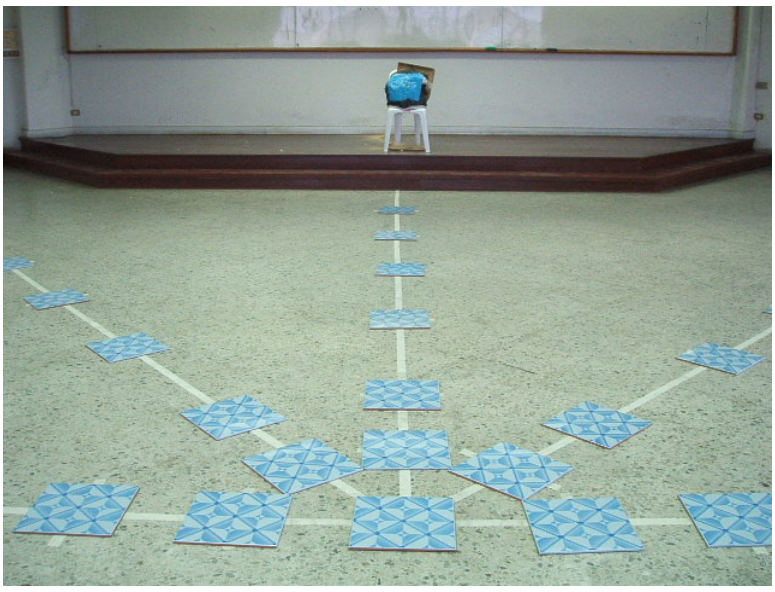
ภาพที่ 16 ปืนพกรีวอลเวอร์ ขนาด .38 ยี่ห้อ Smith & Wesson model M 60

ภาพที่ 17 กระสุนปืนยี่ห้อ S&B ขนาด .38

ในการศึกษาการกระจายตัวของเขม่าปืนครั้งนี้ จะทำการศึกษาการกระจายตัวของเขม่าปืนในลักษณะแบบรัศมีออก 5 ทิศทางจากจุดศูนย์กลางโดยที่แต่ละระยะจะถูกวางด้วยกระเบื้องที่มีพื้นผิวเรียบขนาด 30 cm X 30 cm บนพื้นห้องดังรูป



ภาพที่ 18 แผนภาพการทดลอง



ภาพที่ 19 ลักษณะการวางกระเบื้อง ณ สถานที่จริง

2.1 การเตรียมตัวอย่าง

1) ก่อนที่จะทำการทดลอง ได้มีการทำการทดสอบถึงความเป็นไปได้ที่จะมีการปนเปื้อนจากสิ่งแวดล้อมด้วย ซึ่งก็ตรวจไม่พบเขม่าปืนปนเปื้อนอยู่ภายในห้องที่ทำการทดสอบ

2) ผู้ยิงปืนซึ่งสูงประมาณ 175 cm ทำการยิงปืนโดยถือปืนด้วยมือทั้ง 2 ข้างในห้องที่ทำการทดลองที่ปิดมิดชิดและไม่มีแหล่งลมพัด โดยใช้ปืนพกกึ่งอัตโนมัติ ขนาด 9 มม.ยี่ห้อ Glock model 19 โดยกระสุนปืนที่ใช้เป็นยี่ห้อ Winchester (9 มม.) ยิงจำนวน 5 นัด ในระหว่างนั้นทำการวัดอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วลมประกอบกันไปด้วย

3) เมื่อยิงครบ 5 นัดทิ้งระยะเวลาให้เขม่าปืนตกลงมา สำหรับปืนพกกึ่งอัตโนมัติจะทิ้งระยะเวลา 8 นาที ส่วนปืนพกรีวอลเวอร์ทิ้งระยะเวลาไว้ 15 นาที (Fojtasek, et al., 2005)โดยที่ถือว่าระยะเวลาดังกล่าวเขม่าปืนตกลงมาหมดแล้ว

4) หลังจากนั้น เก็บตัวอย่างจะทำโดยการนำคาร์บอนเทปมาติดลงบน stub ทำการลอกเทปกาวออก นำไป stub ลงบนพื้นผิวของกระเบื้องทั่วทั้งแผ่น จนคาร์บอนเทปหายเหนียว เสร็จแล้วจึงนำไปใส่กล่องและทำการติดหมายเลข

5) นำ stub ที่เก็บตัวอย่างในข้อ 4) มาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง SEM/EDS โดยไม่ต้องทำการเคลือบตัวอย่างด้วยคาร์บอนหรือทองคำก่อนนำไปวิเคราะห์

6) บันทึกผลการทดลอง

7) ทำซ้ำตั้งแต่ข้อ 2-6 อีก 2 ครั้ง

8) ทำซ้ำตั้งแต่ข้อ 2-7 แต่เปลี่ยนปืนจากปืนพกกึ่งอัตโนมัติเป็นปืนพกรีวอลเวอร์ขนาด .38 ยี่ห้อ Smith & Wesson model M 60 ใช้กระสุนยี่ห้อ S&B

ในการทดลองครั้งนี้ อุณหภูมิเฉลี่ยในขณะทดลองอยู่ที่ 32.1°C ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยอยู่ที่ 43.7% และความเร็วลมอยู่ที่ 0.06 m/s

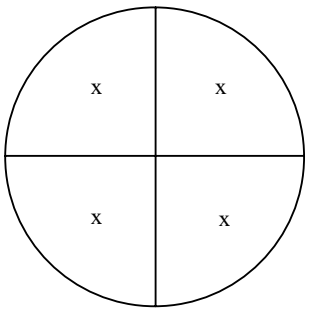
2.2 สภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์ของเครื่อง SEM/EDS

ในการวิเคราะห์เขม่าปืนของงานวิจัยชิ้นนี้ จะดูภาพของเขม่าปืนในโหมด Back Scattered Electron Image (BEI) และตั้งค่าเครื่อง SEM/EDS ดังนี้

Gun voltage	: 20 kV
Spot size	: 5
Magnification	: 180X
Working distance	: 30 mm
Scan speed	: S6

2.3 การวิเคราะห์ตัวอย่าง

ในการวิเคราะห์ตัวอย่าง ผู้วิจัยจะถือว่าการกระจายตัวของเขม่าปืนบน stub นั้น กระจายเท่าๆกันทั้ง stub ดังนั้น การวิเคราะห์ตัวอย่างจึงทำการสุ่มบริเวณทั้งหมด 4 บริเวณเพื่อนำมาวิเคราะห์ โดยจะทำการแบ่งพื้นที่บนเทปคาร์บอนออกเป็น 4 ส่วน และเลือกบริเวณที่อยู่ตรงกลางของทั้ง 4 พื้นที่มาวิเคราะห์ โดยจะมีตำแหน่งดังนี้ (968, 014), (972, 980), (023, 975), (994, 029) ที่กำลังขยาย 180 เท่าและทำการนับจำนวนเขม่าปืนทั้งหมดในบริเวณนั้นๆ เป็นตัวแทนของเขม่าปืนทั้งหมดบน stub จากนั้นทำการจำแนกขนาดและชนิดของธาตุที่พบ บันทึกผลการทดลอง



ภาพที่ 20 แสดงตำแหน่งที่ทำการวิเคราะห์บน stub

และมีขนาดของพื้นที่ที่ทำการวิเคราะห์คือ

กว้าง	: 666.67 um
ยาว	: 533.33 um
พื้นที่	: 0.355 mm^2

บทที่ 3

ผลการทดลอง

ในการศึกษาหาการกระจายตัวของเขม่าปืนที่ยิงในห้องปิดด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscope Energy Dispersive X-Ray Spectrometry (SEM/EDS) ทางผู้วิจัยใช้ปืนและกระสุนปืน 2 ขนาดคือ ขนาด 9 มม. ใช้กระสุนยี่ห้อ Winchester และขนาด .38 ใช้กระสุนยี่ห้อ S&B ในการทดลอง ซึ่งพบในการเกิดคดีอาชญากรรมมากที่สุด (สถิติการจับกุมของวิทยาการเขต 15 (นครปฐม)) สามารถหาได้ง่ายตามท้องตลาดและเป็นที่นิยมโดยทั่วไปสำหรับผู้ที่มีอาวุธปืนอยู่ในครอบครอง

ในงานวิจัยชิ้นนี้ ผู้วิจัยจะพิจารณาเขม่าปืนที่ประกอบด้วยธาตุดังนี้ Pb (ตะกั่ว) Sb (แอนติโมนี) Ba (แบเรียม) ธาตุผสมของ Pb-Sb และ Pb-Sb-Ba

1. การศึกษาชนิดของปืนกับจำนวนอนุภาคของเขม่าปืนที่ตรวจพบ ณ ตำแหน่งต่างๆ

1.1 ปืน Semi-automatic ขนาด 9 มม.

ผลการศึกษาหาจำนวนอนุภาคของเขม่าปืนของปืน Semi-automatic ขนาด 9 มม. จากการยิงทั้ง 3 ครั้งนั้นแสดงอยู่ในตารางที่ 3, 4 และ 5 ตามลำดับ และจำนวนอนุภาคของเขม่าปืนเฉลี่ยแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 3 จำนวนอนุภาคของเขม่าปืน ณ ตำแหน่งต่างๆรอบจุดยิงในการยิงปืน Semi-automatic ขนาด 9 มม.ครั้งที่ 1

ระยะจากจุดยิง (ม.) จากปลายกระบอกปืน	จำนวนอนุภาคของเขม่าปืน ณ ตำแหน่งต่างๆรอบจุดยิง				
	ด้านหน้า	ด้านขวา	ด้านซ้าย	45° ทางขวา	45° ทางซ้าย
0	1	-	-	-	-
0.5	1	8	4	20	40
1	248	2	-	202	-
2	3	-	1	7	1
3	-	1	-	-	-
4	-	-	-	1	-
5	4	-	-	7	-

ตารางที่ 4 จำนวนอนุภาคของเขม่าปืน ณ ตำแหน่งต่างๆรอบจุดยิงในการยิงปืน Semi-automatic ขนาด 9 มม.ครั้งที่ 2

ระยะจากจุดยิง (ม.) จากปลายกระบอกปืน	จำนวนอนุภาคของเขม่าปืน ณ ตำแหน่งต่างๆรอบจุดยิง				
	ด้านหน้า	ด้านขวา	ด้านซ้าย	45° ทางขวา	45° ทางซ้าย
0	2	-	-	-	-
0.5	10	1	-	351	-
1	473	2	-	3	2
2	2	1	3	1	1
3	-	-	1	1	7
4	1	-	-	1	-
5	1	-	-	1	1

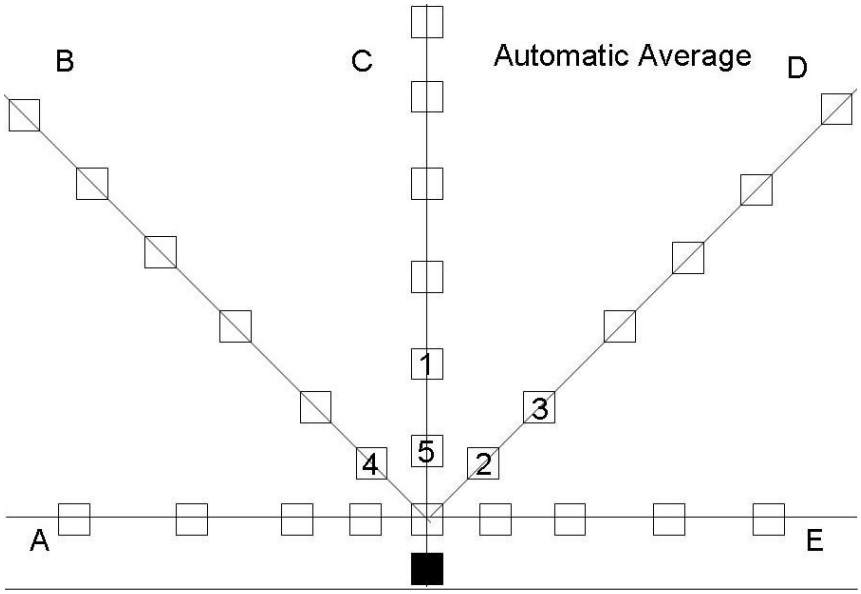
ตารางที่ 5 จำนวนอนุภาคของเขม่าปืน ณ ตำแหน่งต่างๆรอบจุดยิงในการยิงปืน Semi-automatic ขนาด 9 มม.ครั้งที่ 3

ระยะจากจุดยิง (ม.) จากปลายกระบอกปืน	จำนวนอนุภาคของเขม่าปืน ณ ตำแหน่งต่างๆรอบจุดยิง				
	ด้านหน้า	ด้านขวา	ด้านซ้าย	45° ทางขวา	45° ทางซ้าย
0	3	-	-	-	-
0.5	3	2	-	311	-
1	413	2	1	3	-
2	-	3	2	2	2
3	-	1	1	-	1
4	-	-	-	1	2
5	-	-	-	-	-

ตารางที่ 6 จำนวนอนุภาคของเขม่าปืน ณ ตำแหน่งต่างๆรอบจุดยิงในการยิงปืน Semi-automatic ขนาด 9 มม. เฉลี่ย

ระยะจากจุดยิง (ม.) จากปลายกระบอกปืน	จำนวนอนุภาคของเขม่าปืน ณ ตำแหน่งต่างๆรอบจุดยิง				
	ด้านหน้า	ด้านขวา	ด้านซ้าย	45° ทางขวา	45° ทางซ้าย
0	2	-	-	-	-
0.5	5	4	1	**227**	13
1	**378**	2	-	**69**	1
2	2	1	2	3	1
3	-	1	1	-	3
4	-	-	-	1	1
5	2	-	-	3	-

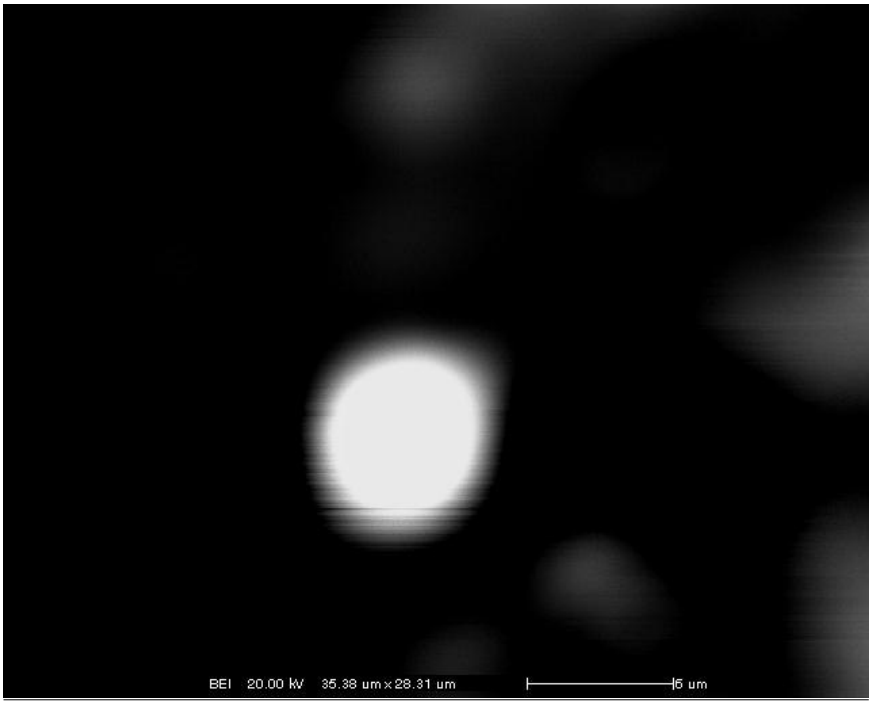
เพื่อที่จะทำให้เห็นภาพของการกระจายตัวของเขม่าปืน ณ ตำแหน่งต่างๆได้ง่ายขึ้น ผู้วิจัยได้แสดงให้เห็นตามภาพที่ 21 โดยแสดงให้เห็นจำนวนอนุภาคของเขม่าปืนเฉลี่ยมากที่สุด 5 ลำดับแรก ของปืน Semi-automatic ขนาด 9 มม. พร้อมทั้งภาพการกระจายตัวของเขม่าปืนที่กำลังขยาย 180X ในทิศของการยิง ห่างจากจุดยิง 1 เมตร ซึ่งมีจำนวนอนุภาคของเขม่าปืนมากที่สุด (ภาพที่ 22) ซึ่งเมื่อดูที่กำลังขยายสูงกว่านี้จะเห็นบริเวณที่เรืองแสง เป็นเขม่าปืนเล็กๆ อยู่ติดๆกัน



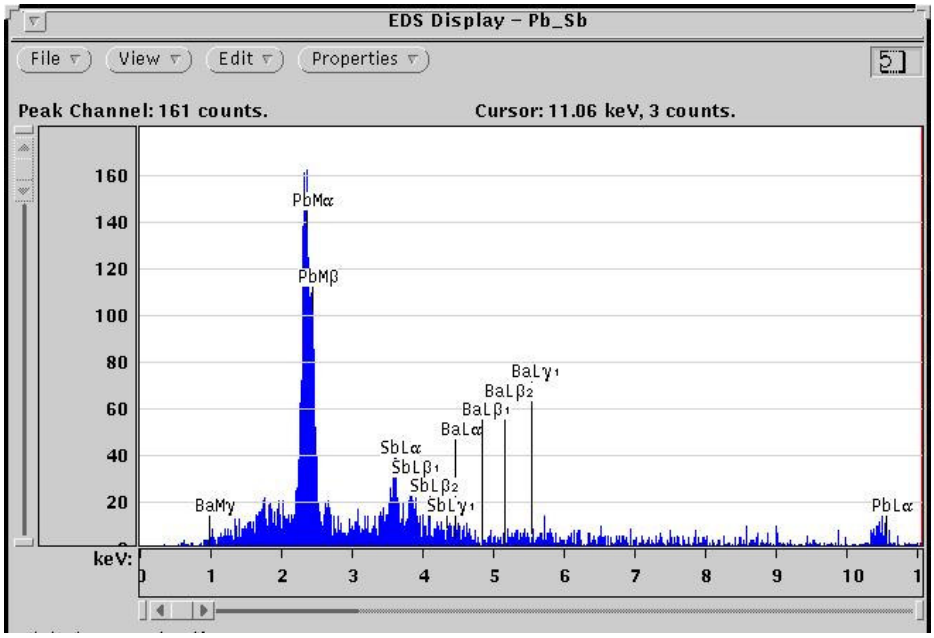
ภาพที่ 21 ตำแหน่งที่มีจำนวนอนุภาคของเขม่าปืนเฉลี่ยมากที่สุด 5 อันดับแรก ของปืน Semi-automatic ขนาด 9 มม.

ภาพที่ 22 การกระจายตัวของเขม่าปืน (บริเวณที่เรืองแสง) ของปืน Semi-automatic ขนาด 9 มม. ที่กำลังขยาย 180X ตำแหน่งหมายเลข 1 ในทิศของการยิง ห่างจากจุดยิง 1 เมตร ซึ่งมีจำนวนอนุภาคของเขม่าปืนมากที่สุด

ลักษณะเขม่าปืนที่ตรวจพบส่วนใหญ่ในปืน Semi-automatic ขนาด 9 มม. จะมีลักษณะกลมและเรืองแสงดังแสดงในภาพที่ 23 และธาตุที่ตรวจพบในเขม่าปืนส่วนใหญ่จะเป็นธาตุประกอบของ Pb-Sb ตาม spectrum ที่แสดงในภาพที่ 24



ภาพที่ 23 ลักษณะของเขม่าปืนที่ตรวจพบซึ่งมีลักษณะกลมและเรืองแสง



ภาพที่ 24 Spectrum ของเขม่าปืนที่พบส่วนใหญ่มักจะเป็นสารประกอบของ Pb-Sb

1.2 ปืน Revolver ขนาด .38

ผลการศึกษาหาจำนวนอนุภาคของเขม่าปืนของปืน Revolver ขนาด .38 จากการยิงทั้ง 3 ครั้งนั้นแสดงในตารางที่ 7, 8 และ 9 ตามลำดับ และจำนวนอนุภาคของเขม่าปืนเฉลี่ยแสดงในตารางที่ 10

ตารางที่ 7 จำนวนอนุภาคของเขม่าปืน ณ ตำแหน่งต่างๆรอบจุดยิงในการยิงปืน Revolver ขนาด .38 ครั้งที่ 1

ระยะจากจุดยิง (ม.) จากปลายกระบอกปืน	จำนวนอนุภาคของเขม่าปืน ณ ตำแหน่งต่างๆรอบจุดยิง				
	ด้านหน้า	ด้านขวา	ด้านซ้าย	45° ทางขวา	45° ทางซ้าย
0	84	-	-	-	-
0.5	18	14	20	12	10
1	15	35	20	24	7
2	7	23	9	11	1
3	8	9	4	11	6
4	7	-	-	13	3
5	4	-	-	34	10

ตารางที่ 8 จำนวนอนุภาคของเขม่าปืน ณ ตำแหน่งต่างๆรอบจุดยิงในการยิงปืน Revolver ขนาด .38 ครั้งที่ 2

ระยะจากจุดยิง (ม.) จากปลายกระบอกปืน	จำนวนอนุภาคของเขม่าปืน ณ ตำแหน่งต่างๆรอบจุดยิง				
	ด้านหน้า	ด้านขวา	ด้านซ้าย	45° ทางขวา	45° ทางซ้าย
0	48	-	-	-	-
0.5	34	18	11	20	4
1	11	35	15	14	10
2	23	24	10	12	8
3	7	3	7	4	7
4	20	-	-	9	1
5	13	-	-	9	6

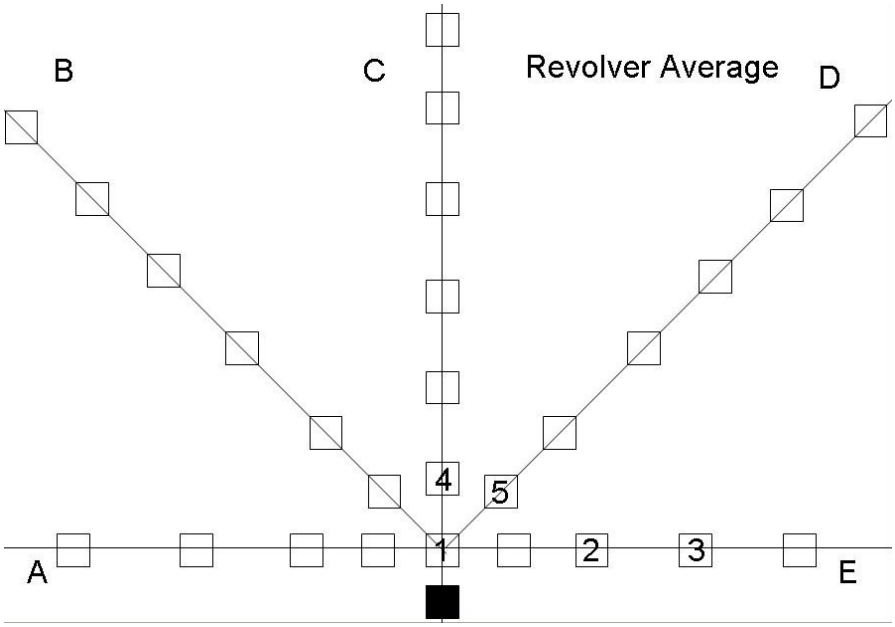
ตารางที่ 9 จำนวนอนุภาคของเขม่าปืน ณ ตำแหน่งต่างๆรอบจุดยิงในการยิงปืน Revolver ขนาด .38 ครั้งที่ 3

ระยะจากจุดยิง (ม.) จากปลายกระบอกปืน	จำนวนอนุภาคของเขม่าปืน ณ ตำแหน่งต่างๆรอบจุดยิง				
	ด้านหน้า	ด้านขวา	ด้านซ้าย	45° ทางขวา	45° ทางซ้าย
0	39	-	-	-	-
0.5	23	7	13	26	8
1	6	17	4	12	4
2	8	32	2	8	9
3	9	2	9	11	2
4	11	-	-	14	1
5	2	-	-	8	2

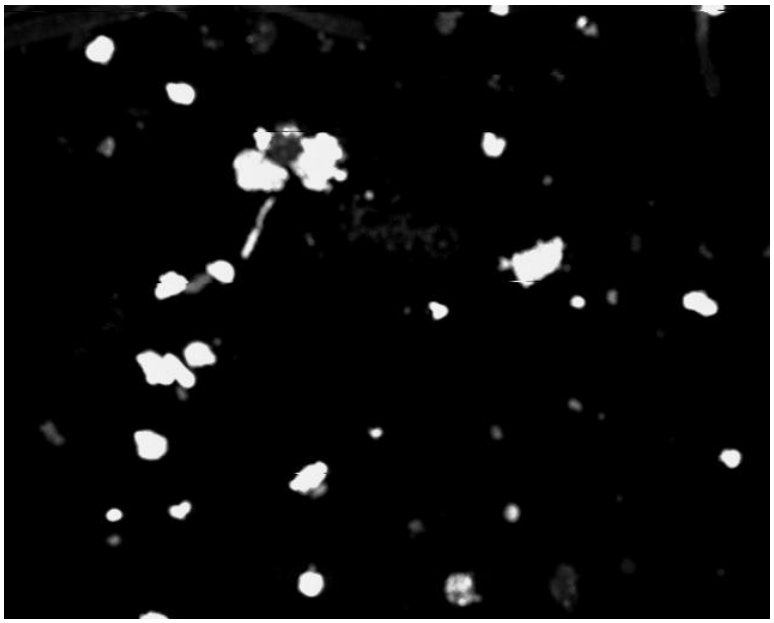
ตารางที่ 10 จำนวนอนุภาคของเขม่าปืน ณ ตำแหน่งต่างๆรอบจุดยิงในการยิงปืน Revolver ขนาด .38 เฉลี่ย

ระยะจากจุดยิง (ม.) จากปลายกระบอกปืน	จำนวนอนุภาคของเขม่าปืน ณ ตำแหน่งต่างๆรอบจุดยิง				
	ด้านหน้า	ด้านขวา	ด้านซ้าย	45° ทางขวา	45° ทางซ้าย
0	**57**	-	-	-	-
0.5	25	13	15	19	7
1	11	**29**	13	17	7
2	13	**26**	7	10	6
3	8	5	7	9	5
4	13	-	-	12	2
5	6	-	-	17	6

ในทำนองเดียวกัน เพื่อที่จะทำให้เห็นภาพของการกระจายตัวของเขม่าปืน ณ ตำแหน่งต่างๆได้ง่ายขึ้น ผู้วิจัยได้แสดงให้เห็นตามภาพที่ 25 โดยแสดงให้เห็นจำนวนอนุภาคของเขม่าปืนเฉลี่ยมากที่สุด 5 ลำดับแรก ของปืน Revolver ขนาด .38 พร้อมทั้งภาพการกระจายตัวของเขม่าปืนที่กำลังขยาย 180X ตำแหน่งปลายกระบอกปืน ซึ่งมีจำนวนอนุภาคของเขม่าปืนมากที่สุด (ภาพที่ 26) จะเห็นเขม่าปืนที่มีลักษณะไม่กลมเหมือนกับเขม่าปืนที่ตรวจพบในปืน Semi-automatic ขนาด 9 มม.

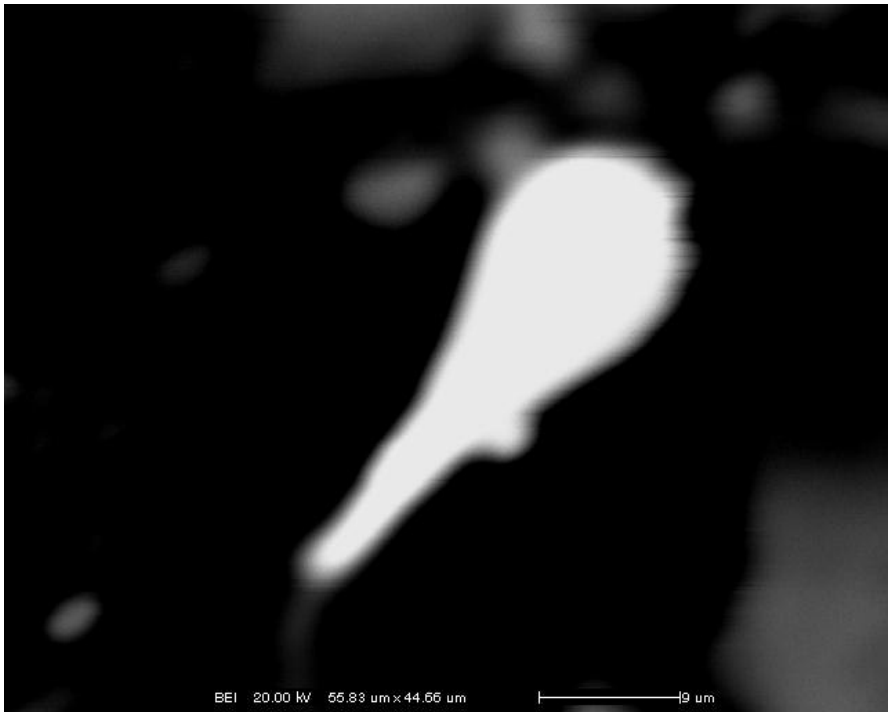


ภาพที่ 25 ตำแหน่งที่มีจำนวนอนุภาคของเขม่าปืนเฉลี่ยมากที่สุด 5 อันดับแรก ของปืน Revolver ขนาด .38

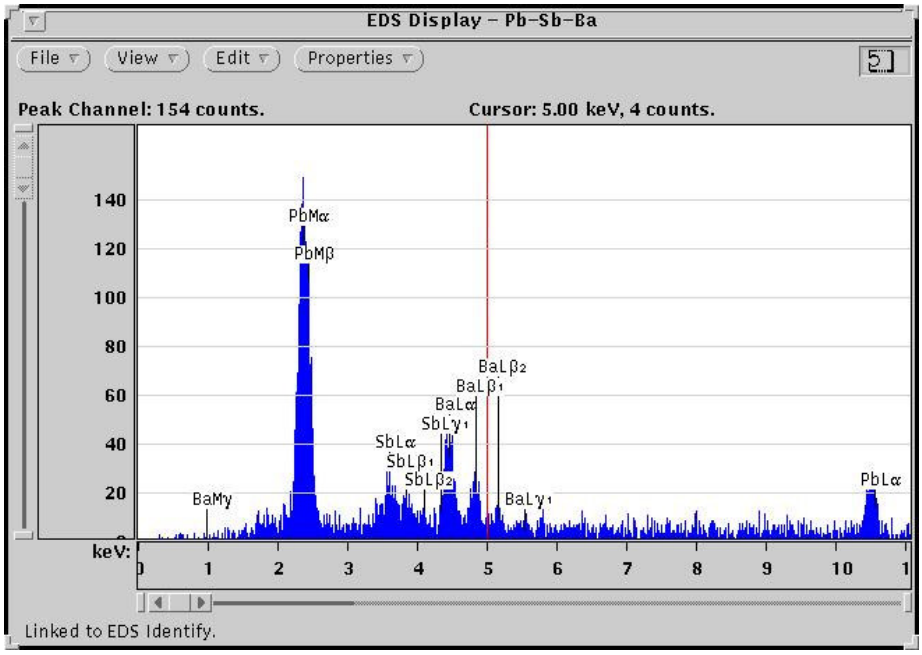


ภาพที่ 26 ภาพการกระจายตัวของเขม่าปืน (บริเวณที่เรืองแสง) ของปืน Revolver ขนาด .38 ที่กำลังขยาย 180X ตำแหน่งหมายเลข 1 ณ ปลายกระบอกปืน ซึ่งมีจำนวนอนุภาคของเขม่าปืนมากที่สุด

ลักษณะเขม่าปืนที่ตรวจพบส่วนใหญ่ในปืน Revolver ขนาด .38 จะมีลักษณะต่างๆกัน มีทั้งรูปร่างกลมและไม่กลม แต่ยังคงเรืองแสงเช่นเดิมดังแสดงในภาพที่ 27 และธาตุที่ตรวจพบในเขม่าปืนส่วนใหญ่จะเป็นธาตุประกอบของ Pb-Sb-Ba ตาม spectrum ที่แสดงในภาพที่ 28



ภาพที่ 27 ลักษณะของเขม่าปืนที่ตรวจพบ ซึ่งไม่กลม แต่ยังเรืองแสง



ภาพที่ 28 Spectrum ของเขม่าปืนที่พบเป็นสารประกอบของ Pb-Sb-Ba

จากผลการทดลองข้างต้น พบว่าในปืน Semi-automatic ขนาด 9 มม.นั้นจะพบเขม่าปืนในระยะห่างจากกระบอกปืน 1 เมตร ในทิศของการยิงมากที่สุด และในทิศทางทางขวามือมุม 45° ระยะ 0.5 และ 1 เมตรรองลงมาตามลำดับ จะเห็นได้ว่า เขม่าปืนส่วนใหญ่ไม่สามารถกระจายออกไปได้ไกลเลย แต่ก็มีเขม่าปืนบางส่วนที่สามารถไปไกลที่สุดได้ถึง 5 เมตรจากจุดยิง

ปืน Revolver ขนาด .38 นั้นพบเขม่าปืน ณ จุดตรงปลายกระบอกปืนมากที่สุด และทิศทางขวามือระยะ 1 และ 2 เมตรรองลงมาตามลำดับ เห็นได้ว่า เขม่าปืนส่วนใหญ่ของปืน Revolver นั้นมีระยะตกที่ใกล้กว่าเขม่าปืนของปืน Semi-automatic แต่ก็มีเขม่าปืนบางส่วนที่สามารถไปไกลที่สุดได้ถึง 5 เมตรจากจุดยิงเช่นเดียวกับปืน Semi-automatic ขนาด 9 มม.

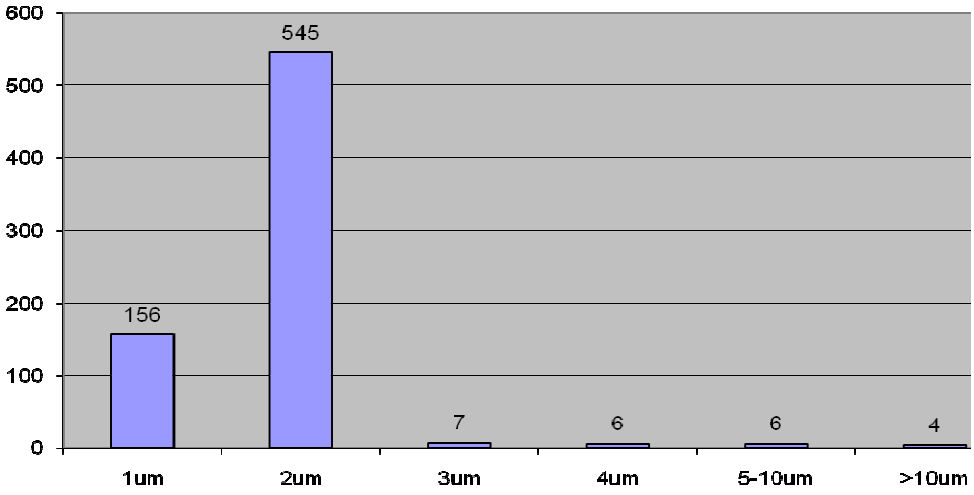
2. การศึกษาชนิดของปืนกับขนาดของเขม่าปืนที่ตรวจพบ

2.1 ปืน Semi-automatic ขนาด 9 มม.

ผลการศึกษาจำนวนอนุภาคและขนาดของเขม่าปืนสำหรับปืน Semi-automatic ขนาด 9 มม. ทั้ง 3 ครั้งรวมทั้งขนาดของเขม่าปืนเฉลี่ยแสดงในตารางที่ 11 รวมทั้งแสดงเป็นแผนภูมิแท่งตาม ภาพที่ 29

ตารางที่ 11 จำนวนอนุภาคของเขม่าปืนที่ตรวจพบจากการยิงปืน Semi-automatic ขนาด 9 มม. โดยจำแนกตามขนาดต่างๆ

ขนาดของเขม่าปืน	จำนวนอนุภาคของเขม่าปืนที่ตรวจพบจากการยิงปืนขนาด 9 มม.				
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	เฉลี่ย	SD
1 μm	3	463	2	**156**	265.87
2 μm	512	390	734	**545**	174.41
3 μm	12	3	6	**7**	4.58
4 μm	10	3	4	**6**	3.79
5-10 μm	10	2	5	**6**	4.04
> 10 μm	4	5	3	**4**	1.00



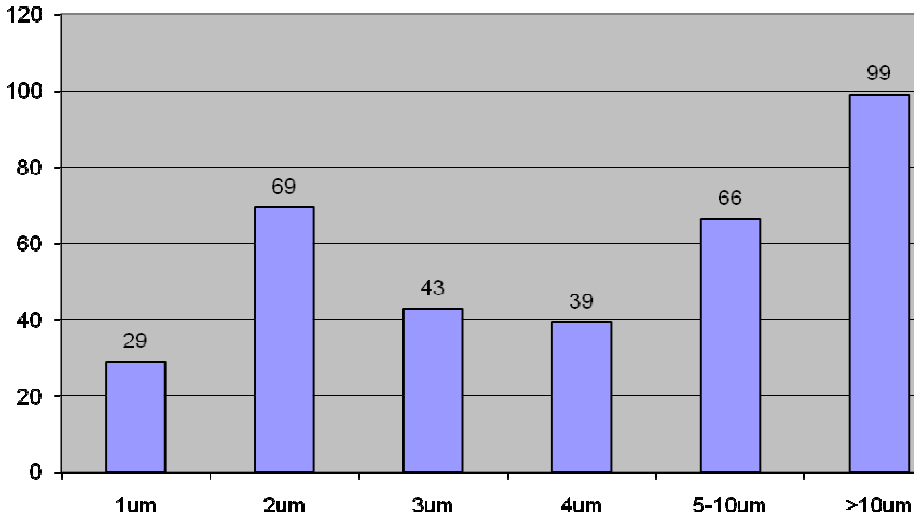
ภาพที่ 29 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดและจำนวนอนุภาคของเขม่าปืนที่ตรวจพบของปืน Semi-automatic ขนาด 9 มม.

3.2.2 ปืน Revolver ขนาด .38

ผลการศึกษาจำนวนอนุภาคและขนาดของเขม่าปืนสำหรับปืน Revolver ขนาด .38 ทั้ง 3 ครั้งรวมทั้งขนาดของเขม่าปืนเฉลี่ยแสดงในตารางที่ 12 รวมทั้งแสดงเป็นแผนภูมิแท่งตามภาพที่ 30

ตารางที่ 12 จำนวนอนุภาคของเขม่าปืนที่ตรวจพบจากการยิงปืน Revolver ขนาด .38 โดยจำแนกตามขนาดต่างๆ

ขนาดของเขม่าปืน	จำนวนอนุภาคของเขม่าปืนที่ตรวจพบจากการยิงปืนขนาด .38				
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	เฉลี่ย	SD
1 μm	44	27	16	**29**	14.11
2 μm	77	93	38	**69**	28.29
3 μm	57	43	28	**43**	14.50
4 μm	51	43	24	**39**	13.87
5-10 μm	68	56	75	**66**	9.61
> 10 μm	122	67	108	**99**	28.58



ภาพที่ 30 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดและจำนวนอนุภาคของเขม่าปืนที่ตรวจพบของปืน Revolver ขนาด .38

ข้อมูลจากตารางที่ 11-12 รวมทั้งภาพที่ 29-30 ทำให้ผู้วิจัยมองความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของเขม่าปืน จำนวนอนุภาคของเขม่าปืนที่ตรวจพบจากปืนทั้ง 2 ชนิดได้ว่า ปืน Semi-automatic ขนาด 9 มม. นั้น เขม่าปืนส่วนใหญ่พบว่ามีขนาดประมาณ 2 μm ในขณะที่ปืน Revolver ขนาด .38 นั้นกลับพบว่าเขม่าปืนส่วนใหญ่มีขนาดใหญ่กว่า 10 μm ซึ่งก็สอดคล้องกับจำนวนอนุภาคของเขม่าปืนที่ตรวจพบของปืน Revolver ที่พบบริเวณปลายกระบอกปืนเยอะที่สุด เพราะว่าเขม่าปืนที่มีขนาดใหญ่ก็มีความสามารถในการลอยในอากาศได้น้อยจึงทำให้ตกเร็ว ต่างจากเขม่าปืนของปืน Semi-automatic ที่มีขนาดเล็ก ทำให้เขม่าปืนลอยไปได้ไกลกว่า

บทที่ 4

อภิปรายผลการทดลอง

เขม่าปืนหรือ Gunshot Residue เป็นหลักฐานที่มักถูกพูดถึงบ่อยๆ ในเหตุการณ์ที่มีการยิงปืนขึ้นมา แต่หากมีน้อยคนนักที่จะเคยเห็นว่าจริงๆแล้วเขม่าปืนมีลักษณะเป็นเช่นไร เพราะว่าเขม่าปืนไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า จำเป็นต้องมีเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการตรวจวิเคราะห์ ซึ่งในปัจจุบัน SEM/EDS เป็นเทคนิคที่ได้รับการยอมรับโดยทั่วไปว่าเป็นเทคนิคที่สามารถที่จะทำให้เห็นถึงเขม่าปืน และสามารถตรวจสอบได้ว่าสิ่งที่เห็นนั้นเป็นเขม่าปืนจริงหรือไม่ ด้วยการวิเคราะห์ธาตุของอนุภาคนั้นๆ ยืนยันว่าประกอบไปด้วยธาตุตะกั่ว(Pb) แอนติโมนี(Sb) และแบเรียม(Ba) หรือไม่

โดยปกติแล้ว การตรวจพิสูจน์หาเขม่าปืนนั้น ส่วนมากจะให้ความสำคัญกับการตรวจบริเวณที่มือของผู้ต้องสงสัยเท่านั้น แต่ทว่ามีข้อจำกัดที่ต้องทำการตรวจสอบภายใน 6 ชั่วโมงหลังจากผู้ต้องสงสัยทำการยิงปืน และส่วนใหญ่โอกาสที่จะสามารถตรวจเขม่าปืนจากผู้ต้องสงสัยได้นั้นน้อยมาก เนื่องจากส่วนใหญ่ผู้ต้องสงสัยจะทำการหลบหนี และกว่าจะติดตามจับกุมผู้ยิงมาตรวจเวลาก็ล่วงเลยผ่านไป ดังนั้นผู้วิจัยจึงคิดว่าถ้าเราให้ความสำคัญกับการหาเขม่าปืนในที่อื่นๆ ไม่ว่าจะเป็น ที่เส้นผม เสื้อผ้า หรือในสิ่งแวดล้อมที่มีการยิงปืนกันเกิดขึ้น ซึ่งเขม่าปืนน่าจะคงตัวอยู่ได้นานกว่าบนมือ ก็จะสามารถทำให้ยืนยันเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นได้ดีขึ้น

สำหรับผลการทดลองโดยใช้เครื่อง SEM/EDS ตรวจดูลักษณะอนุภาค GSR ที่พบในตำแหน่งต่างๆนั้น โดยใช้อาวุธปืน 2 ชนิด ขนาด คือ ปืนพกกึ่งอัตโนมัติ ขนาด 9 มม. ยี่ห้อ Glock model 19 ยิงด้วยกระสุนยี่ห้อ Winchester และปืนพกรีวอลเวอร์ ขนาด .38 ยี่ห้อ Smith & Wesson model M 60 ยิงด้วยกระสุนปืนยี่ห้อ S&B จำนวน 5 นัด พบว่า สามารถตรวจพบอนุภาคเขม่าปืนได้ ซึ่งอนุภาคที่ตรวจพบนั้น ส่วนใหญ่มีลักษณะกลม เรืองแสง แต่จะมีองค์ประกอบของธาตุแตกต่างกัน สามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มหลักๆคือ กลุ่มของเขม่าปืนที่เป็นอนุภาคที่แน่นอน (Unique Categories) ซึ่งเป็นอนุภาคที่มีธาตุ Pb, Sb และ Ba เป็นองค์ประกอบ และอนุภาคประเภทบ่งชี้

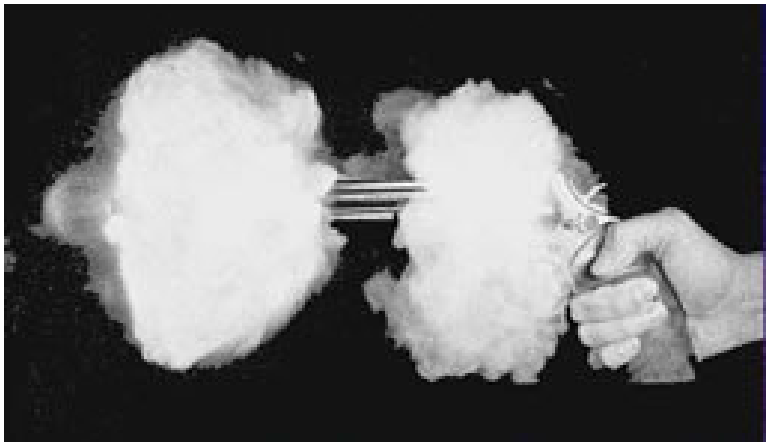
(Indicative Categories) ซึ่งมักจะพบ อนุภาคที่มีธาตุ Pb และ Sb เป็นองค์ประกอบ ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า

1. ไม่ว่าจะเป็นปืนชนิดใด ต่างก็สามารถตรวจพบเขม่าปืน ณ บริเวณโดยรอบจุดที่ยิงปืน ทำให้สามารถนำเขม่าปืนที่พบเหล่านั้นมาทำการยืนยันว่า บริเวณนั้นได้เกิดการยิงปืนขึ้นจริง ซึ่งในปี 2003 Fojtasek และคณะ ได้ทำการยิงปืนยี่ห้อ Luger ขนาด 9 มม. และทำการเก็บเขม่าปืนในทิศทางและระยะต่างๆกัน พบว่าตำแหน่งที่พบจำนวนอนุภาคของเขม่าปืนมากที่สุดอยู่ที่ด้านขวาประมาณ 45° จากทิศที่ยิง ประมาณ 2-4 เมตรและสามารถตรวจพบเขม่าปืนไปไกลที่สุด 10 เมตร ซึ่งก็สอดคล้องกับงานวิจัยชิ้นนี้ที่สามารถตรวจพบเขม่าปืนได้แทบทุกตำแหน่งรอบๆตัวของผู้ยิง จึงเป็นสิ่งสำคัญมากที่เราจะให้ความสำคัญกับการเก็บเขม่าปืนบริเวณรอบๆตำแหน่งที่คาดว่าน่าจะเกิดการยิงปืนขึ้นจริง เพื่อเป็นการตรวจสอบคำให้การของผู้ต้องหา พยานว่าเป็นจริงตามที่ได้ให้การไว้หรือไม่

และจากผลการทดลองของปืนพกกึ่งอัตโนมัติขนาด 9 มม. ที่พบจำนวนอนุภาคของเขม่าปืนมากที่สุดที่ระยะ 1 เมตร ในทิศทางของการยิงปืนนั้น น่าจะเป็นเพราะลักษณะของเขม่าปืนที่ออกมาจากกระบอกปืน ส่วนใหญ่จะออกมาทางปลายกระบอกดังภาพที่ 31

ภาพที่ 31 ลักษณะของเขม่าปืนที่ออกจากกระบอกปืนพกกึ่งอัตโนมัติ
ที่มา : [Online] Accessed 1 May 2009. Available from http://www.baltimoresun.com

สำหรับปืนพกรีวอลเวอร์ ขนาด .38 ซึ่งพบจำนวนอนุภาคของเขม่าปืนมากที่สุดที่ตำแหน่งตรงปลายกระบอกปืนมากที่สุดนั้นน่าจะเป็นเพราะลักษณะของเขม่าปืนที่ออกมาจากกระบอกปืน ส่วนใหญ่จะออกมาทั้งทางปลายกระบอกปืนและบริเวณช่องว่างของลูกโม่ดังภาพที่ 32



ภาพที่ 32 ลักษณะของเขม่าปืนที่ออกจากกระบอกปืนพกรีวอลเวอร์
ที่มา : [Online] Accessed 1 May 2009. Available from http://www.care2.com

2. เขม่าปืนสามารถลอยตัวอยู่ในอากาศ ณ ช่วงเวลาหนึ่ง ถึงจะตกลงสู่พื้นดิน ดังงานวิจัยในปี 2004 ของ Fojtasek และคณะ ได้ทำการทดลองหาเวลาที่เขม่าปืนจะตกลงมามากที่สุด โดยทำการทดลองยิงทั้งปืน Semi-automatic และปืน Revolver พบว่าในปืน Semi-automatic นั้น เขม่าปืนจะตกลงมามากที่สุดในเวลา 8 นาที ส่วนปืน Revolver นั้น เขม่าปืนจะตกลงมามากที่สุดในเวลา 15 นาที ดังนั้น ทำให้โอกาสที่ผู้ที่เข้ามายังสถานที่นั้นๆ หลังจากที่เกิดเหตุการณ์เรียบร้อยแล้ว อาจจะมีเขม่าปืนติดตามตัวหรือเสื้อผ้าได้ ดังนั้นการตรวจพิสูจน์ในงานวิจัยชิ้นนี้จึงต้องทำการยิงปืนแล้วทิ้งระยะเวลาไว้ระยะหนึ่งก่อนที่จะทำการเก็บตัวอย่าง

3. ลักษณะของเขม่าปืนจะมีลักษณะพิเศษ กล่าวคือ ในการวิเคราะห์ด้วย SEM/EDS โดยใช้โหมด BEI จะมองเห็นเขม่าปืนเรืองแสง โดยจะมีทั้งที่เป็นรูปทรงกลมและไม่กลม ดังนั้น การดูลักษณะและรูปร่างของเขม่าปืนจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนจึงเป็นเรื่องที่มีความสำคัญมาก เป็นเหมือนการตรวจเบื้องต้น (Screening Test) ก่อนที่จะนำไปสู่การวิเคราะห์ชนิดของธาตุด้วย X-Ray Spectrometer ซึ่งเป็นการพิสูจน์ยืนยันผล หากผู้ตรวจพิสูจน์ไม่มีความชำนาญในการตัดสินใจเลือกให้ถูกว่า อนุภาคที่ปรากฏให้เห็นนั้นเป็นอนุภาคเขม่าปืนที่มาจากการยิงปืนหรือไม่ ก็จะทำให้ต้องวิเคราะห์ธาตุทุกอนุภาคที่ตรวจพบ ซึ่งจะเป็นการเสียเวลาและค่าใช้จ่ายโดยใช่เหตุ หรือหากเห็นอนุภาคเขม่าปืนที่แปลกไปจากที่เคยพบแล้วไม่ได้ทำการวิเคราะห์ อาจทำให้นับปริมาณเขม่าปืนผิดพลาดได้ ด้วยเหตุนี้จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องหมั่นฝึกฝนในการพิจารณาอนุภาคเขม่าปืนให้เกิดความชำนาญและแม่นยำ จนสามารถที่จะตัดสินใจได้ว่า อนุภาคใดมาจากการยิงปืนอนุภาคใดไม่ใช่ เพื่อให้กระบวนการยุติธรรมสามารถนำผู้กระทำผิดมาลงโทษได้อย่างไม่ผิดตัว ซึ่ง

เมื่อทำการวิเคราะห์ไปพอสมควร ผู้วิจัยก็สามารถแยกอนุภาคที่เป็นเขม่าปืนจริงๆออกมาได้เช่นเดียวกัน

4. จากผลการทดลองพบว่า จำนวนอนุภาคของเขม่าปืนของปืนขนาด 9 มม. มีจำนวนโดยรวมมากกว่าอนุภาคของเขม่าปืนของปืนขนาด .38 ค่อนข้างมาก อาจเป็นเพราะกระสุนขนาด .38 เป็นกระสุนแรงดันต่ำ ทำให้อาจจะเกิดการเผาไหม้ไม่หมดของ primer cap เขม่าปืนจึงเกิดไม่สมบูรณ์ทั้งหมด ต่างกับกระสุนปืนขนาด 9 มม. ซึ่งเป็นกระสุนแรงดันสูง จึงเกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์กว่า น่าจะทำให้เกิดจำนวนอนุภาคของเขม่าปืนที่มากกว่า

5. ขนาดของเขม่าปืนของปืนพกกึ่งอัตโนมัติขนาด 9 มม. ส่วนใหญ่ จะมีขนาด 2 μm ขณะที่ขนาดของเขม่าปืนของปืนพกรีวอลเวอร์ขนาด .38 ส่วนใหญ่จะมีขนาดใหญ่กว่า 10 μm แต่ในงานวิจัยในปี 2004 ของ Fojtasek และคณะ รายงานว่าปืนพกรีวอลเวอร์ขนาด .38 special เขม่าปืนส่วนใหญ่มีขนาด 1-5 μm ซึ่งเมื่อพิจารณาปริมาณรวมของเขม่าปืนที่มีขนาดอยู่ในช่วง 1-4 μm ของปืนพกรีวอลเวอร์ขนาด .38 ก็พบว่ามีปริมาณรวมมากกว่าเขม่าปืนขนาดใหญ่กว่า 10 μm เช่นเดียวกัน

และจากผลการทดลองของการศึกษาชนิดของปืนกับขนาดของเขม่าปืนที่ตรวจพบของปืนพกกึ่งอัตโนมัติขนาด 9 มม. ครั้งที่ 2 ที่ตรวจพบปริมาณเขม่าปืนขนาด 1 μm มากแตกต่างจากครั้งที่ 1 และ 3 มาก อาจเป็นเพราะกระสุนปืนที่ใช้ เป็นการผลิตคนละครั้งของบริษัทผู้ผลิต จึงอาจส่งผลต่อจำนวนอนุภาคของเขม่าปืนที่ตรวจพบได้

อย่างไรก็ตาม ในงานวิจัยชิ้นนี้ได้ทำการยิงปืนในระบบปิด ซึ่งคือการยิงในห้องที่ไม่มีลมจากภายนอกเข้ามารบกวนการทดลอง ซึ่งเป็นการยากมากที่จะหาสถานที่ที่เป็นห้องปิดขนาดกว้างและยาวอย่างน้อยด้านละ 8 เมตร และยินยอมให้ทำการยิงปืนภายในห้อง แต่อย่างไรก็แล้วแต่การยิงในห้องปิด เป็นเพียงสถานการณ์จำลองที่สร้างขึ้นเพื่อเลียนแบบกรณีที่มีการยิงกันในห้อง ดังนั้นเพื่อการทดลองที่สมบูรณ์ขึ้นก็ควรจะทำการทดลองในห้องปิดที่มีการเปิดพัดลมเครื่องปรับอากาศ หรือห้องที่เปิดหน้าต่าง และอาจจะลองเก็บเขม่าปืนในเครื่องปรับอากาศดูว่าจะสามารถพบเขม่าปืนได้หรือไม่ เพื่อใช้ในการยืนยันจุดที่เกิดเหตุให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ทั้งยังอาจจะลองทิ้งระยะเวลาให้เขม่าปืนตกลงมานานกว่านี้ เพื่อที่จะได้จำนวนอนุภาคของเขม่าปืนทั้งหมดจริงๆ สิ่งที่กล่าวมานี้จะมีความสำคัญอย่างยิ่งที่จะใช้เชื่อมโยงการกระทำผิดของคนร้าย ถ้ามีการนำงานวิจัยชิ้นนี้ไปต่อยอด ก็จะสามารถพัฒนาองค์ความรู้ในด้านการตรวจพิสูจน์เขม่าปืน ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของงานทางด้านนิติวิทยาศาสตร์ในประเทศไทยให้มีความทันสมัยและเจริญก้าวหน้ายิ่งขึ้นไป

บรรณานุกรม

ภาษาไทย

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

วิวัฒน์ ชินวร, ร้อยตำรวจเอก. “การวิเคราะห์เขม่าปืนด้วยเทคนิค SEM/EDX (Gunshot residue analysis by SEM/EDX)” วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาเคมีศึกษา บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2547.

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

ภาษาอังกฤษ

Andrasko, J. and Machly, Ac. “Detection of Gunshot Residue on Hands by SEM.” Journal of Forensic Science 22 (1977): 279 – 287.

Basu, S. “Formation of Gunshot Residue.” Journal of Forensic Science 27(1982): 72 – 91.

Brozek-Mucha, Z. and Zadora, G. “Grouping of ammunition types by means of frequencies of occurrence of GSR.” Forensic Science International 135 (2003) 97-104.

Brozek-Mucha, Z. “Distribution and properties of gunshot residue originating from a Luger 9 mm ammunition in the vicinity of the shooting gun.” Forensic Science International 183 (2009) 33-44.

Coumbaros, J., Kirkbride, K.P., Klass, G. and Skinner, W. “Characterisation of 0.22 caliber rimfire gunshot residues by time-of-flight secondary ion mass spectrometry (TOF-SIMS): a preliminary study.” Forensic Science International 119 (2001) 72-81.

Flynn, J., Stoilovic, M., Lennard, C., Prior, I. and Kobus, H. “Evaluation of X-ray microfluorescence spectrometry for the elemental analysis of firearm discharge residues.” Forensic Science International 97 (1998) 21–36.

Fojtasek, L., Vacinova, J., Kolar, P. and Kotrly, M. "Distribution of GSR particles in the surroundings of shooting pistol." Forensic Science International 132 (2003) 99–105.

Fojtasek, L. and Kmjec, T. "Time periods of GSR particles deposition after discharge-final results." Forensic Science International 153 (2005) 132–135.

Garofano, L., Capra, M., Ferrari, F., Bizzaro, G.P., Di Tullio, D., Dell'Olio, M. and Ghitti, A. "Gunshot residue Further studies on particles of environmental and occupational origin." Forensic Science International 103 (1999) 1–21.

Sarkis, J.E.S., Neto, O.N., Viebig, S. and Durrant, S.F. **"**Measurements of gunshot residues by sector field inductively coupled plasma mass spectrometry—Further studies with pistols**."** Forensic Science International 172 (2007) 63–66.

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.

Steffen, S., Otto, M., Niewoehner, L., Barth, M., Brojek-Mucha, Z., Biegstraaten, J. and Horvath, R. **"**Chemometric classification of gunshot residues based on energy dispersive X-ray microanalysis and inductively coupled plasma analysis with mass-spectrometric detection**."** Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy.

Stone, I.C. and Fletcher, L. **"**Primer Residues Study**"** AFTE Journal 18 (1986) 49-53.

Tazza, M., Leist, Y., and Steinberg, M. "Characterization of Gunshot Residue by X-ray Diffraction." Journal of Forensic Science 27 (1982) 677-682.

Wolten, G.M. and Nesbitt, R.S. "On the Mechanism of Gunshot Residue Particle Formation." Journal of Forensic Science 25 (1980) 533-545.

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ	นายศรุต ดิสราธิคม
วัน เดือน ปีเกิด	21 เมษายน 2527
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
ประวัติการศึกษา	
2549	ปริญญาตรีวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมี) คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร
2549-ปัจจุบัน	ศึกษาต่อระดับปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขานิติวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร
ประวัติการทำงาน	
มิ.ย. 2551	รับราชการเป็นนักวิทยาศาสตร์การแพทย์ 3 กลุ่มงานพิษวิทยา ศูนย์วิทยาศาสตร์การแพทย์ชลบุรี กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข จังหวัดชลบุรี
ธ.ค. 2551 – ปัจจุบัน	รับราชการเป็นนักวิชาการศุลกากร ปฏิบัติการ สังกัดด่านศุลกากรสุไหงโก-ลก ปฏิบัติราชการ ส่วนอุทธรณ์พิกัดอัตราศุลกากรและถิ่นกำเนิดสินค้า สำนักพิกัดอัตราศุลกากร กรมศุลกากร กระทรวงการคลัง กรุงเทพมหานคร
การนำเสนอผลงาน	เข้าร่วมแสดงผลงานในรูปแบบโปสเตอร์ในการประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 34 ในวันที่ 31 ต.ค. - 2 พ.ย. 2551