



การศึกษาปริมาณธาตุจากเขม่าป็นที่ติดอยู่บนถุงมือ ภายหลังจากการยิงปืนที่ระยะเวลาต่างกันด้วย  
เครื่อง SEM

โดย

นายกำชัย ศรีธรรม

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2554

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

การศึกษาปริมาณธาตุจากเขม่าป็นที่ติดอยู่บนถุงมือ ภายหลังจากการยิงปืนที่ระยะเวลาต่างกันด้วย  
เครื่อง SEM

โดย

นายกำชัย ศรีธรรม

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2554

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

**A STUDY OF SB, BA, PB IN GUN SHORT RESIDUE (GSR) ON GLOVES AFTER DIFFERENT  
TIME SHOOTING BY SCANNING ELECTRON MICROSCOPE (SEM)**

**By**

**Kamchai Sritham**

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

**MASTER OF SCIENCE**

**Program of Forensic Science**

**Graduate School**

**SILPAKORN UNIVERSITY**

**2011**

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร อนุมัติให้วิทยานิพนธ์เรื่อง “การศึกษาปริมาณธาตุจากเขม่า  
ป็นที่ติดอยู่บนถืองมือ ภายหลังจากการยิงปืนที่ระยะเวลาต่างกันด้วยเครื่อง SEM ” เสนอโดย นายกำชัย ศรีธรรม  
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิตสาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปานใจ ธารทัศน์วงศ์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่.....เดือน..... พ.ศ.....

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

รองศาสตราจารย์ พันตำรวจเอกสันต์ สุขวัจน์

คณะกรรมการตรวจสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(พันตำรวจโท ดร. สฤษดิ์ สืบพงษ์ศิริ)

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

..... กรรมการ

(ศาสตราจารย์ พันตำรวจเอก นายแพทย์ อุทัย ตีระวนินทร)

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

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ พันตำรวจเอกสันต์ สุขวัจน์)

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

52312302 : สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์

คำสำคัญ : คราบเขม่าปืน, STUB, SEM, Primer

คำชี้แจง ศิริธรรม : การศึกษาปริมาณธาตุจากเขม่าปืนที่ติดอยู่บนถุงมือ ภายหลังจากการยิงปืนที่ระยะเวลาต่างกันด้วยเครื่อง SEM . อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ : รศ.พ.ต.อ.สันต์ สุขวัจน์ 80 หน้า.

ภายหลังจากการยิงปืนจะเกิดคราบเขม่าปืน อันเกิดจากการรวมตัวกันของธาตุ Pb , Sb, Ba ซึ่งใช้เป็นหลักฐานในการตามหาผู้กระทำความผิด เนื่องจากธาตุทั้ง 3 ชนิด จะอยู่ในแก๊สปืน (Primer) อันเป็นส่วนประกอบของกระสุนปืน เมื่อเกิดการยิงปืนในส่วนนี้จะเกิดลูกใหม่ไปยังดินปืน ทำให้เกิดการระเบิด ที่อุณหภูมิสูงแตกต่างกัน เกิดการรวมตัวของธาตุ และใช้กล้องจุลทรรศน์ SEM ในการตรวจสอบ จะปรากฏให้เห็นเป็นเม็ดอนุภาค

การจัดเก็บคราบเขม่าปืน เพื่อทำการตรวจพิสูจน์ ด้วยชุด Stub ซึ่งเป็นแผ่นคาร์บอนกาวเหนียว ให้สัมผัสในตำแหน่งที่คราบเขม่าปืนจะปลิวไปติดภายหลังจากการยิงปืน เช่นหลังมือ แขน ใบบน หรือ เสื้อผ้าโดยปกติจะทำการจัดเก็บผู้ต้องสงสัย สำหรับคนเป็นไม่เกิน 12 ชั่วโมง และคนตายไม่เกิน 24 ชั่วโมง ทำให้หลายคดีที่ผ่านการยิงปืนมานาน ไม่ได้จัดเก็บวัตถุพยานมาเพื่อทำการตรวจพิสูจน์ ด้วยเข้าใจว่า อนุภาคของธาตุที่เกิดภายหลังจากการยิงปืน จะถูกทำลายไป

การศึกษานี้ ใช้กระสุน 3 ขนาด คือ 9 มม. , .45 และ กระสุนปืนลูกซอง ขนาด เกจ 12 และใช้ช่วงเวลาในการศึกษา คือ 1 เดือน , 6 เดือน และ 1 ปี เพื่อต้องการทราบว่า เวลาที่แตกต่างกันและขนาดของกระสุนปืน จะมีผลต่อการตรวจพบอนุภาคของธาตุโลหะภายหลังจากการยิงปืน โดยการใช้อุปกรณ์ SEM ในการตรวจพิสูจน์

---

สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์      บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร      ปีการศึกษา 2554

ลายมือชื่อนักศึกษา.....

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

52312302 : MAJOR : FORENSIC SCIENCE

KEY WORDS :GUNSHOT RESIDUES, STUB, SEM, PRIMER

KAMCHAI SRITHAM : A STUDY OF SB, BA, PB IN GUN SHORT RESIDUE (GSR) ON GLOVES AFTER DIFFERENT TIME SHOOTING BY SCANNING ELECTRON MICROSCOPE (SEM).THESIS ADVISORS: ASSOC. PROF. POL. COL. SANT SUKHAWAT. 80 pp.

Gun Shot Residues (GSR) particularly results from the discharging cartridge primer compound of firearm, composed of soot and major elements of Lead (Pb), Barium (Ba) and Antimony (Sb). Those three elements are significantly used as a forensic evidence in connecting the firearm to the culprits, establishing the identity of the shooter and in some cases may help in eliminating an innocent people from the scenes. The commonly method used for the detection of the GSR particles is the Scanning Electron Microscope (SEM) with the advantage in able to reveal the actual morphology of the particles examined.

Since the Gunshot residue may be found on the skin or clothing of the person who fired the gun, from the entrance wound of a victim, or on other target materials at the scenes, the best and easiest method used to collect the GSR particles is an adhesive carbon lifter called STUB. The criteria necessary for reporting a positive GSR result recommended collecting within 12 hours for alive and within 24 hours for deceases.

This study determined whether the different of time duration and sizes of bullet effected to the analysis of GSR particle using SEM. In this study 3 sizes of bullets; 9 mm., .45 and shotgun bullet 12 gauge and 3 duration of the time; 1 year , 6 month and 1 month were used for the analysis.

---

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

Student's signature.....

Thesis Advisors' signature 1. .... 2. ....

## กิตติกรรมประกาศ

การทำวิจัยในครั้งนี้ ขอขอบพระคุณท่านอาจารย์ พ.ต.ท.ศุภฤกษ์ อมรัตน์ กลุ่มงานตรวจสอบเขม่าป็น สถาบันนิติวิทยาศาสตร์ ที่กรุณาสอนสั่ง ให้ความรู้ เกี่ยวกับเรื่องอาวุธปืน และเครื่องกระสุน อีกทั้งยังอำนวยความสะดวกในการใช้งานเครื่อง SEM ทำให้งานวิจัย สำเร็จ ลุล่วงไปได้ด้วยดี และท่าน ร.ต.อ.จุฑาพิตร พวงครามพันธุ์ นักนิติวิทยาศาสตร์ชำนาญการพิเศษ ที่กรุณาเป็นที่ปรึกษาเกี่ยวกับองค์ความรู้ ด้านอาวุธปืน ขอขอบคุณ คุณธงชัย ทองทวี ผู้รู้ ด้านการตรวจสอบอาวุธปืน ที่ช่วยเหลือในด้านการจัดหาอุปกรณ์ และ สถานที่ในการยิงปืน เก็บตัวอย่างในการทำวิจัย และคุณธรมชัย อิทธิวรรณพงศ์ นักนิติวิทยาศาสตร์ชำนาญการ ผู้เชี่ยวชาญด้านมาตรฐานการตรวจพิสูจน์ ในการแนะนำเอกสารที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

การทำวิจัยจะประสบความสำเร็จไปด้วยความอนุเคราะห์ จากท่าน รศ.พ.ต.อ.สันดี สุขวณิช ที่กรุณาส่งเสริมให้แนวทางในการทำวิจัยในครั้งนี้ อีกทั้งยังให้คำปรึกษา หาแนวทางแก้ไข ปรับปรุง และผลักดันให้การทำวิจัยในครั้งนี้ สำเร็จ ผ่านพ้นไปได้ด้วยดี ขอขอบคุณท่านพันตำรวจโท ดร. สฤณี สืบพงษ์ศิริ ประธานกรรมการ และท่านศาสตราจารย์ พันตำรวจเอก นายแพทย์ อุทัย ตีระวินนทร ผู้ทรงคุณวุฒิ ที่กรุณาให้คำแนะนำ ปรึกษา ในการทำวิจัยในครั้งนี้ จนสำเร็จ ลุล่วง

กราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ตลอดจน ครูบา อาจารย์ ที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาให้แก่ข้าพเจ้า ตลอดจน เพื่อนๆ นิติวิทยาศาสตร์ รุ่น5 มหาวิทยาลัยศิลปากร ทุกๆท่าน โดยเฉพาะคุณน้องหญิง คุณน้องสุ คุณน้องตึก ที่ช่วยเหลือให้ข้าพเจ้าสำเร็จการศึกษา และที่ขาดเสียมิได้ ขอขอบคุณพี่จุ่ม ที่เป็นกำลังใจให้น้องๆเรื่อยๆ หากมีข้อผิดพลาดประการใด ข้าพเจ้าขอรับไว้แต่เพียงผู้เดียว และหากพอจะมีประโยชน์ หรือความดีอยู่บ้าง ขอยกให้แก่ มหาวิทยาลัยศิลปากร อันเป็นแหล่งให้ความรู้ อันทรงคุณค่า และอุทิศให้กับงานด้านนิติวิทยาศาสตร์ อันเป็นที่พึงของสังคมไทย สืบไป

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	จ
กิตติกรรมประกาศ .....	ฉ
บทที่	
1 บทนำ .....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา .....	1
วัตถุประสงค์ในการทำวิจัย .....	2
สมมติฐานงานวิจัย .....	2
ตัวแปรที่ใช้ในงานวิจัย .....	2
กรอบแนวคิด .....	2
ขอบเขตของการวิจัย .....	3
นิยามศัพท์ที่ใช้ในการวิจัย .....	3
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ .....	3
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
คราบเขม่าปืน (Gunshot Residues) .....	4
อาวุธปืน .....	4
กลไกการทำงาน .....	5
ประเภทของอาวุธปืน .....	7
การแบ่งประเภทตามเกลียวภายในร่องเกลียว .....	10
ลำกล้องของปืนลูกซอง .....	11
ส่วนประกอบที่สำคัญของอาวุธปืน .....	12
ความหมายของเครื่องกระสุนปืน .....	15
ส่วนประกอบของกระสุนปืน .....	16
ประเภทของลูกกระสุนปืน .....	16
ประเภทของขอบจานท้ายปลอกกระสุนปืน .....	17
การแบ่งประเภทของกระสุนปืน .....	18
ชนิดของดินส่งกระสุนปืน .....	20

	หน้า
การวัดขนาดของอาวุธปืน .....	22
การตรวจหาคราบเขม่าปืน .....	25
แก๊ปปืน (Primer) .....	25
การรวมตัวกันของอนุภาค Gunshot Residues (GSR) .....	26
วิธีที่ใช้ในการตรวจหาคราบเขม่าปืน (GSR) .....	28
กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน (SEM) .....	29
ส่วนประกอบพื้นฐานของ SEM .....	32
แหล่งกำเนิดอิเล็กตรอน (Electron Gun) .....	34
เลนส์ควบคุมลำแสงอิเล็กตรอนพร้อมขดลวดขับเคลื่อนลำแสงอิเล็กตร .....	35
ช่องใส่ตัวอย่าง ( Specimen chamber ) .....	35
อุปกรณ์รวบรวมสัญญาณ (Collector & Scintillator) .....	35
อุปกรณ์สร้างภาพและถ่ายภาพ (Imaging & Photographic devices).....	36
การกำเนิดภาพ .....	36
เส้นใยและองค์ประกอบของเส้นใย .....	37
ประเภทของเส้นใย .....	37
เส้นใยธรรมชาติ .....	37
เส้นใยประดิษฐ์ .....	38
ด้าย .....	39
ด้ายทอผ้า .....	39
ด้ายเย็บผ้า .....	41
ขนาดของด้าย .....	42
การผลิตด้ายจากเส้นใยสั้น .....	43
ผ้า .....	44
การทอผ้าพื้นฐาน .....	44
ผ้าทัก .....	46
ผ้าอัด .....	46
คุณสมบัติของเส้นใยผ้า .....	47
ความเหนียว (Tenacity) .....	47

	หน้า
อัตราส่วนความยาวต่อความกว้าง .....	47
การปรับสภาพโค้งงอได้ .....	47
แรงดึงจุดหรือแรงเกาะกัน .....	48
ความเป็นอันหนึ่งอันเดียวกัน .....	48
ความหนาแน่นและความถ่วงจำเพาะ.....	48
การดูดซึมน้ำและความชื้น .....	49
ความยืดได้ .....	49
ความยืดหยุ่น .....	50
ความคืนตัว .....	50
การทนทานต่อแรงเสียดสี .....	50
การทนต่อความร้อน .....	50
การนำไฟฟ้า .....	51
การนำความร้อนและการเก็บความร้อน .....	51
การทนไฟ .....	51
ความมัน .....	51
ความโปร่งแสง .....	52
ความทนต่อแสงแดด .....	52
3 วิธีดำเนินการวิจัย .....	53
เครื่องมือและอุปกรณ์ .....	53
เครื่อง Scanning Electron Microscope .....	53
ปืนพกกึ่งอัตโนมัติ ขนาด 9 มม. ....	53
ปืนพกกึ่งอัตโนมัติ ขนาด .45 .....	54
ปืนลูกซองขนาด เกจ12 .....	54
กระสุนปืน ขนาด 9 มม. ....	55
กระสุนปืน ขนาด .45 .....	55
กระสุนปืนลูกซองขนาด เกจ 12 ยี่ห้อ Winchester .....	56
ชุดเก็บคราบเขม่าปืน (GSR), STUB KIT .....	56
ถุงมือผ้าขาว เนื้อผ้า Cotton .....	57

	ถังยิงเก็บปลอก, หัวกระสุน ชนิดบรรจุ Kevlar fibers .....	57
	วิธีการทดลอง .....	58
4	ผลการวิเคราะห์ข้อมูล .....	62
	จำนวนเม็ดอนุภาคเฉลี่ยที่พบอนุภาคจำนวน3ธาตุจำแนกตามขนาดของกระสุน..	68
	จำนวนเม็ดอนุภาคเฉลี่ยที่พบอนุภาคจำนวน2ธาตุจำแนกตามขนาดของกระสุน..	69
	จำนวนเม็ดอนุภาคเฉลี่ยที่พบอนุภาคจำนวน3ธาตุจำแนกตามระยะเวลา.....	69
	จำนวนเม็ดอนุภาคเฉลี่ยที่พบอนุภาคจำนวน2ธาตุจำแนกตามระยะเวลา.....	70
	การทดสอบสมมติฐานตามจำนวนอนุภาคที่พบจำนวน3ธาตุจำแนกตามขนาดของ กระสุนและระยะเวลา .....	70
	การทดสอบสมมติฐานตามจำนวนอนุภาคที่พบจำนวน2ธาตุจำแนกตามขนาดของ กระสุนและระยะเวลา .....	72
	เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของจำนวนเม็ดอนุภาค จำแนกตามขนาดของกระสุน.....	73
5	สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ .....	74
	สรุปผลการวิจัย .....	74
	อภิปรายผล .....	75
	ข้อเสนอแนะ .....	76
	ข้อเสนอแนะจากการวิจัย .....	76
	ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป .....	77
	บรรณานุกรม .....	78
	ประวัติผู้วิจัย .....	80

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1	แสดงจำนวนอนุภาคที่พบภายหลังจากการยิงปืนด้วยกระสุนปืนขนาด 9 มม. ที่ระยะเวลา 1 ปี ..... 63
2	แสดงจำนวนอนุภาคที่พบภายหลังจากการยิงปืนด้วยกระสุนปืนขนาด .45 ที่ระยะเวลา 1 ปี ..... 63
3	แสดงจำนวนอนุภาคที่พบภายหลังจากการยิงปืนด้วยกระสุนปืนลูกซองขนาด เกจ 12 ที่ระยะเวลา 1 ปี ..... 64
4	แสดงจำนวนอนุภาคที่พบภายหลังจากการยิงปืนด้วยกระสุนปืนขนาด 9 มม. ที่ระยะเวลา 6 เดือน ..... 64
5	แสดงจำนวนอนุภาคที่พบภายหลังจากการยิงปืนด้วยกระสุนปืนขนาด .45 ที่ระยะเวลา 6 เดือน ..... 65
6	แสดงจำนวนอนุภาคที่พบภายหลังจากการยิงปืนด้วยกระสุนปืนลูกซองขนาด เกจ 12 ที่ระยะเวลา 6 เดือน ..... 65
7	แสดงจำนวนอนุภาคที่พบภายหลังจากการยิงปืนด้วยกระสุนปืนขนาด 9 มม. ที่ระยะเวลา 1 เดือน ..... 66
8	แสดงจำนวนอนุภาคที่พบภายหลังจากการยิงปืนด้วยกระสุนปืนขนาด .45 ที่ระยะเวลา 1 เดือน ..... 66
9	แสดงจำนวนอนุภาคที่พบภายหลังจากการยิงปืนด้วยกระสุนปืนลูกซองขนาด เกจ 12 ที่ระยะเวลา 1 เดือน ..... 67
10	จำนวนเม็ดอนุภาคเฉลี่ยที่พบอนุภาคจำนวน 3 อนุภาค จำแนกตามขนาดกระสุน ..... 68
11	จำนวนเม็ดอนุภาคเฉลี่ยที่พบอนุภาคจำนวน 2 อนุภาค จำแนกตามขนาดกระสุน ..... 69
12	จำนวนเม็ดอนุภาคเฉลี่ยที่พบอนุภาคจำนวน 3 อนุภาค จำแนกตามระยะเวลา ..... 69
13	จำนวนเม็ดอนุภาคเฉลี่ยที่พบอนุภาคจำนวน 2 อนุภาค จำแนกตามระยะเวลา..... 70
14	การทดสอบสมมติฐานตามจำนวนเม็ดอนุภาคเฉลี่ยที่พบอนุภาคจำนวน 3 อนุภาค จำแนกตามขนาดกระสุนและระยะเวลา ..... 70
15	เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของจำนวนเม็ดอนุภาค จำแนกตามขนาดกระสุน ..... 71

ตารางที่	หน้า
16	การทดสอบสมมติฐานตามจำนวนเมื่คอนุภาคเฉลี่ยที่พบอนุภาคจำนวน 2 อนุภาค จำแนกตามขนาดกระสุนและระยะเวลา ..... 72
17	เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของจำนวนเมื่คอนุภาค จำแนกตามขนาดกระสุน ..... 73

## สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	แสดงอาวุธปืนพก ( Pistol) .....	7
2	แสดงอาวุธปืนยาวสำหรับล่าสัตว์ .....	8
3	แสดงอาวุธปืนยาว ( ปืนแก๊ป ) .....	8
4	แสดงอาวุธปืนยาวที่ใช้ในการทหาร .....	9
5	แสดงลำกล้องแบบ ไม่มีเกลียว .....	10
6	แสดงปืนที่มีลำกล้องแบบ ไม่มีเกลียว ( ปืนลูกซอง ) .....	11
7	แสดงประเภทของ CHOKE ที่มีผลต่อการกระจายของกระสุนปืนลูกซอง .....	11
8	แสดงการเปรียบเทียบลำกล้องแบบเวียนซ้าย กับ ลำกล้องแบบเวียนขวา .....	12
9	แสดงชิ้นส่วนลำกล้องปืน .....	12
10	แสดงชิ้นส่วนเครื่องลูกเลื่อน .....	13
11	แสดงชิ้นส่วน โครงปืน .....	13
12	แสดงชิ้นส่วนเครื่องลั่นไก .....	14
13	แสดงชิ้นส่วนซองกระสุนปืน .....	14
14	แสดงส่วนประกอบกระสุนปืน.....	15
15	แสดงประเภทของลูก (หัว) กระสุนปืน.....	16
16	แสดงประเภทของขอบงานท้ายปลอกกระสุนปืน .....	18
17	แสดงกระสุนปืนชนิด Pin fire Cartridge .....	18
18	แสดงกระสุนปืนชนิด Rim fire Cartridge .....	19
19	แสดงกระสุนปืนชนิด Rim fire Cartridge .....	20
20	แสดง Black Powder .....	20
21	แสดง Smokeless Powder .....	21
22	แสดงรูปร่างต่างๆของ Smokeless Powder .....	21
23	แสดงการเปรียบเทียบขนาดกระสุนปืน หน่วย มม. กับ หน่วย นิ้ว .....	22
24	แสดงการแบ่งขนาดของกระสุนปืนลูกซอง .....	23
25	แสดงการขนาดของปืนลูกซอง .....	24
26	แสดง Primer (ซ้าย) แบบ Berdan และ Boxer (ขวา) .....	25
27	แสดงการเกิด GSR ภายหลังจากการลั่นไก (ยิงปืน) .....	26

ภาพที่	หน้า
28	แสดงอนุภาคแบบ Regular Spheroids ..... 27
29	แสดงอนุภาคแบบ Irregular Particles ..... 27
30	แสดงอนุภาคแบบ Peeled Orange Particles ..... 28
31	แสดงการเปรียบเทียบส่วนประกอบต่างๆ ของ SEM ..... 29
32	แสดงการเปรียบเทียบส่วนประกอบต่างๆ ของ SEM และ TEM ..... 31
33	แสดงส่วนประกอบต่างๆ ของ SEM ..... 33
34	แสดงโครงสร้างของพื้นผ้าจากด้ายเส้นเดี่ยว ..... 40
35	แสดง โครงสร้างของพื้นผ้าจากเส้นด้ายรวม ..... 40
36	แสดง โครงสร้างของเส้นด้ายเชือก ..... 40
37	แสดง โครงสร้างของเส้นด้ายพิเศษ ..... 41
38	แสดงการถักนิตธรรมดา (ซ้าย) และการถักนิตเพิร์ล (ขวา) ..... 46
39	แสดงภาพเครื่อง SEM รุ่น EVO50 ..... 53
40	แสดงภาพกระสุนปืน ขนาด 9 มม. .... 54
41	แสดงภาพปืนพกกึ่งอัตโนมัติ ขนาด .45 ยี่ห้อ Colt รุ่น 1911 A1 ..... 54
42	แสดงภาพปืนลูกซอง ขนาด เกจ 12 ..... 55
43	แสดงภาพกระสุนปืน ขนาด 9 มม. .... 55
44	แสดงกระสุนปืนขนาด .45 ยี่ห้อ Automatic Colt Pistol ( ACP) ..... 55
45	แสดงกระสุนปืนลูกซองขนาด เกจ 12 ยี่ห้อ Winchester ..... 56
46	แสดงภาพส่วนประกอบของชุดเก็บคราบเขม่าปืนชนิดแผ่นกาวเหนียว (STUB) .. 56
47	แสดงภาพถุงมือผ้าขาว เนื้อผ้า Cotton ..... 57
48	แสดงถังยิงเก็บปลอก, หัวกระสุน ชนิดบรรจุ Kevlar fibers ..... 57
49	แสดงตัวอย่างการยิงปืนเข้าหาถังชนิดบรรจุ Kevlar fibers ..... 58
50	แสดงตัวอย่างถุงมือผ้าขาวที่จัดเก็บในถุงกระดาษ ..... 59
51	แสดงการจัดเก็บคราบเขม่าปืน ด้วยชุด STUB ..... 59
52	แสดงตัวอย่างชุด STUB ..... 60
53	แสดงตัวอย่างผลตรวจพิสูจน์ด้วยเครื่อง SEM ..... 67

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1. ความเป็นมาและที่มาของปัญหา

เมื่อเกิดการยิงปืน จะเกิดคราบเขม่าปืนขึ้น ซึ่งเกิดจากการการระเบิดในส่วนของแก๊ปปืน (Primer) อันเป็นส่วนประกอบของกระสุนปืน โดยในส่วนของคราบเขม่าปืนนี้ จะใช้เป็นหลักฐานเพื่อยืนยันผู้ต้องสงสัยว่า เป็นผู้กระทำความผิดหรือไม่ เนื่องจากในคราบเขม่าปืน จะประกอบไปด้วยธาตุจำพวก แอนติโมนี(Sb), แบเรียม(Ba) และตะกั่ว(Pb) ซึ่งเป็นธาตุโลหะสำคัญที่เกิดภายหลังจากการยิงปืน โดยจะรวมตัวกันเกิดเป็นเม็ดอนุภาค ปล่อยให้ติดตามส่วนต่างๆของร่างกาย เช่น หลังมือ แขน ใบหน้า หรือเสื้อผ้า ซึ่งต้องใช้ชุดจัดเก็บแบบสำเร็จรูป คือ ชุด Stub ซึ่งมีลักษณะเป็นแผ่นกาวเหนียวนำไปแตะสัมผัสในส่วนสำคัญที่คาดว่าคราบเขม่าปืนจะปลิวไปติด และต้องใช้กล้องจุลทรรศน์ที่ให้กำลังขยายสูงในการตรวจพิสูจน์ คือ Scanning Electron Microscope (SEM) ในการตรวจพิสูจน์ แต่เดิมนั้นใช้ก้านพันสำลิจบกรดไนตริกเข้มข้น5% (HNO<sub>3</sub>) เช็ดที่มือผู้ต้องสงสัย และ ใช้เครื่อง Inductively Coupled Plasma – Mass Spectrometry (ICP-MS) ในการตรวจพิสูจน์ ซึ่งวิธีการตรวจพิสูจน์โดยใช้เครื่อง SEM เป็นวิธีที่ได้รับการยอมรับและเป็นมาตรฐานสากล อีกทั้งชุดเก็บ Stub ก็สะดวกต่อการใช้งาน และง่ายต่อการจัดเก็บตัวอย่าง

ตามหลักการจัดเก็บคราบเขม่าปืน จะกระทำการจัดเก็บคราบเขม่าปืนที่บริเวณมือ ภายหลังจากการยิงปืน สำหรับคนเป็นไม่เกิน 12 ชั่วโมง และในคนตาย ไม่เกิน 24 ชั่วโมง ทำให้มีอยู่หลายคดีที่ผู้ต้องสงสัยก่อเหตุมาแล้วเป็นเวลานานนับปี โดยพบเสื้อผ้า สิ่งของ ที่ใช้ในวันก่อเหตุ หรือแม้แต่ภายในบริเวณรถยนต์ ที่ผู้ต้องสงสัยนำไปใช้ในการก่อเหตุ ก็ไม่ได้นำวัตถุพยานเหล่านั้นจัดเก็บด้วยชุด Stub แล้วไปตรวจพิสูจน์ด้วย SEM แต่อย่างใด ด้วยคาดว่า คราบเขม่าปืนอันมีธาตุโลหะสำคัญภายหลังจากการยิงปืนผสมรวมอยู่ สูญสลายไป

การวิจัยในครั้งนี้ ใช้กระสุน 3 ขนาด คือ 9 มม., .45 และกระสุนปืนลูกซอง ขนาดเกจ12 เนื่องจากในปัจจุบัน กระสุนปืนที่ใช้ในการก่อเหตุ มีมากมาย หลายชนิด หลายยี่ห้อ และหลายขนาด การศึกษาในกระสุนปืนหลายขนาด ก็เพื่อต้องการทราบว่าด้วยขนาดกระสุนปืนที่แตกต่างกัน จะพบอนุภาคภายหลังจากการยิงปืนแตกต่างกันหรือไม่ และขอบเขตเวลาที่ทำการวิจัย นานสูงสุด 1 ปี เพื่อต้องการสร้างความเชื่อมั่นในการจัดเก็บวัตถุพยานคราบเขม่าปืนด้วยชุด Stub ส่งตรวจว่า ยังพบอนุภาคของธาตุที่เกิดภายหลังจากการยิงปืน

## 2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาว่าปริมาณธาตุแอนติโมนี (Sb),แบเรียม (Ba) และตะกั่ว(Pb) ซึ่งเป็นธาตุสำคัญที่เกิดจากการยิงปืน จะคงอยู่หรือไม่ และมีปริมาณเท่าใด เมื่อเวลาผ่านไป ด้วยเครื่อง SEM

2. เพื่อศึกษาว่าปริมาณธาตุแอนติโมนี (Sb),แบเรียม (Ba) และตะกั่ว(Pb) ซึ่งเป็นธาตุสำคัญที่เกิดจากการยิงปืน จะคงอยู่หรือไม่ และมีปริมาณเท่าใด เมื่อใช้กระสุนมีขนาดแตกต่างกัน ด้วยเครื่อง SEM

3. เพื่อนำผลการศึกษาที่ได้ไปใช้เป็นแนวทางในการสร้างเกณฑ์มาตรฐานการตรวจวิเคราะห์เวลาภายหลังจากการยิงปืน

## 3. สมมติฐานของการวิจัย

1. การจัดเก็บคราบเขม่าปืนภายหลังจากการยิงปืนในช่วงเวลาที่ต่างกันด้วย ชุด STUB แล้ว วิเคราะห์ด้วยเครื่อง SEM คราบเขม่าปืนจะคงอยู่

2. การจัดเก็บคราบเขม่าปืนภายหลังจากการยิงปืนด้วยกระสุนที่มีขนาดต่างกันด้วยชุด STUB แล้ววิเคราะห์ด้วย เครื่อง SEM น่าจะให้ผลที่แตกต่างกัน

## 4. ตัวแปรที่ใช้ในการวิจัย

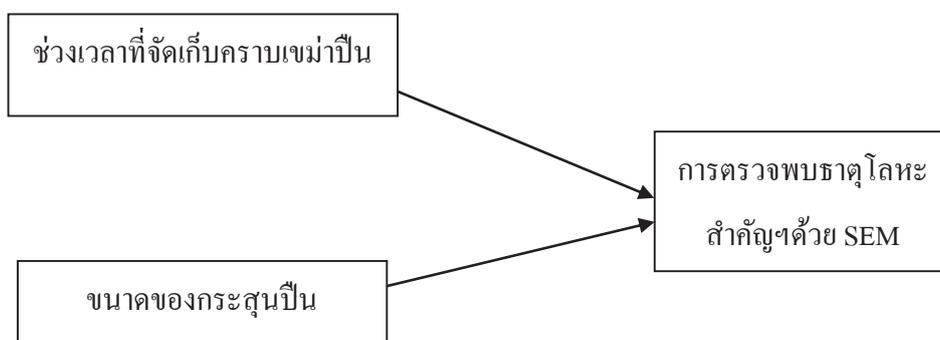
ตัวแปรต้น คือ ช่วงเวลาที่จัดเก็บ STUB ภายหลังจากการยิงปืน

ขนาดของกระสุนปืนที่ใช้ยิงแล้วจัดเก็บด้วย STUB ภายหลังจากการยิงปืน

ตัวแปรตาม คือ จำนวนอนุภาคของธาตุโลหะสำคัญที่พบ

## 5. กรอบแนวคิด

ช่วงเวลาที่จัดเก็บคราบเขม่าปืน และชนิดของกระสุนปืน เป็นปัจจัยที่มีผลต่อการตรวจพบธาตุโลหะสำคัญที่เกิดภายหลังจากการยิงปืนด้วยเครื่อง SEM



## 6. ขอบเขตของการวิจัย

1. ทำการทดลองหาคราบเขม่าปืนด้วยเครื่อง SEM
2. กระสุนปืนที่ใช้ คือ Winchester ขนาด 9 มม. , Colt Automatic Pistol ( ACP ) ขนาด .45 และกระสุนปืนลูกซอง ขนาด เกจ 12
3. ปืนที่ใช้ในการทดลองคือ Beretta รุ่น PX4 ขนาด 9 มม. , Colt รุ่น 1911A1 , ปืนลูกซอง ขนาด 12 Winchester
4. ช่วงเวลาที่ใช้ในการจัดเก็บคราบเขม่าปืน คือ 1 เดือน, 6 เดือน และ 1 ปี

## 7. นิยามศัพท์ที่ใช้ในการวิจัย

**คราบเขม่าปืน** หมายถึง คราบที่เกิดหลังจากการยิงปืน จะปลิวติดตามส่วนต่างๆที่ใกล้กับการยิงปืน เช่น มือ แขน ใบหน้า หรือเสื้อผ้า เป็นต้น โดยปกติจะไม่มีสี

**STUB** หมายถึง ชุดเก็บคราบเขม่าปืนแบบสำเร็จ มีส่วนที่สำคัญ คือ แผ่นกาวเหนียวชนิดคาร์บอน ที่ใช้จัดเก็บ คราบเขม่าปืนให้ติด เพื่อนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง SEM

**SEM** หมายถึง เครื่อง Scanning Electron Microscope เป็นกล้องขยายแบบส่องกราดกำลังขยายสูง ใช้ศึกษา รูปพรรณ สัณฐาน อนุภาค ในสิ่งที่ต้องการศึกษา

**Primer** หมายถึง แก๊บบิน อยู่ที่บริเวณจันท้ายกระสุนปืนเป็นส่วนที่ใช้เป็นชนวนจุดติดำในกระสุนปืนหลังจากการลั่นไกปืน แล้วเข็มแทงชนวนมากระแทกทำให้เกิดจุดระเบิดมีธาตุโลหะสำคัญคือ ธาตุแอนติโมนี (Sb), แบเรียม (Ba) และตะกั่ว (Pb)

## 8. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถตรวจพบคราบเขม่าปืนด้วยเครื่อง SEM ภายหลังจากการยิง 1 ปี
2. สามารถตรวจพบคราบเขม่าปืนด้วยเครื่อง SEM ภายหลังจากการยิงปืน ด้วยกระสุนขนาด 9 มม., .45 และ กระสุนปืนลูกซองขนาด เกจ12
3. เป็นการยืนยันว่า วิธีการจัดเก็บคราบเขม่าปืนด้วย ชุด STUB ภายหลังจากการยิงปืน เพื่อหาธาตุโลหะสำคัญๆแล้ววิเคราะห์ด้วย เครื่อง SEM เหมาะสม และสะดวก ในการจัดเก็บมากกว่า วิธีการจัดเก็บด้วย กรดไนตริก (HNO<sub>3</sub>)

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

คราบเขม่าปืน **Gunshot Residues (GSR)** เป็นอนุภาคที่เกิดจากการรวมตัวกันธาตุโลหะ สำคัญอันเกิดภายหลังจากการยิงปืน ประกอบไปด้วย ตะกั่ว (Pb) แบเรียม (Ba) และ แอนติโมนี (Sb) การรวมตัวของธาตุทั้ง 3 ชนิด เนื่องจากอนุภาค GSR ที่เกิดจากการควบแน่นและรวมตัวของไอธาตุ Pb, Ba, และ Sb นั้นมาจากการที่ไอธาตุได้เย็นลงตัวอย่างรวดเร็วภายหลังจากเผาไหม้ของชนวนท้ายกระสุนปืน จึงทำให้รูปแบบ หรือ ลักษณะของอนุภาค GSR [1] ซึ่งจะเป็นลักษณะเฉพาะ หรือ เป็นเอกลักษณ์ จะพบเฉพาะผู้ที่ทำการยิงปืน โดยอนุภาคที่เกิดขึ้น จะปลิวไปติดตามส่วนสำคัญของผู้ที่ทำการยิงปืน เช่น ที่มือ ที่แขน ตามใบหน้า หรือ แม้แต่ ตามเสื้อผ้า

จากการวิจัยที่ได้ในครั้งนี เป็นการวิเคราะห์กระสุนปืนที่เป็นที่นิยม และมีจำหน่ายในกลุ่มที่นิยมยิงปืน ผลที่ได้สอดคล้องกับการทดลองของ Hsien- Hui Meng และคณะ(2007). ที่ทำการทดลอง หาธาตุโลหะสำคัญที่เกิดภายหลังจากการยิงปืนในกระสุนที่หาซื้อได้ง่าย หรือ พบบ่อยในประเทศไต้หวัน โดยพบองค์ประกอบของธาตุ ทั้ง 3 ธาตุ คือ Pb , Sb และ Ba อีกทั้ง ยังมี รูปพรรณ ลักษณะ (Morphology) เป็นเอกลักษณ์ แบบทรงกลม [7]

**อาวุธปืน** หมายรวมตลอดถึงอาวุธทุกชนิด ซึ่งใช้ส่งเครื่องกระสุนปืนโดยวิธีระเบิด หรือ กำลัดันของแก๊สหรืออัดลม หรือเครื่องกลไกอย่างใดอย่างหนึ่ง ซึ่งต้องอาศัยอำนาจของพลังงานและส่วนหนึ่งส่วนใดของอาวุธนั้นๆ ซึ่งรัฐมนตรีเห็นว่าสำคัญ และได้ระบุไว้ในกฎกระทรวงตามกฎกระทรวงฉบับที่ 3 (พ.ศ.2490) ออกตามความในพระราชบัญญัติอาวุธปืน เครื่องกระสุน วัตถุระเบิด ดอกไม้เพลิง และสิ่งเทียมอาวุธปืน พ.ศ.2490 ได้กำหนดในกฎหมายข้อ 1 ไว้ว่า ส่วนของอาวุธปืนซึ่งจะกล่าวต่อไปนี้ให้ถือว่าเป็น อาวุธปืน ตามความหมายในมาตรา 4 คือ

1. ลำกล้อง
2. เครื่องลูกเลื่อน หรือส่วนประกอบสำคัญของเครื่องลูกเลื่อน
3. เครื่องลั่นไก หรือ ส่วนประกอบสำคัญของเครื่องลั่นไก
4. เครื่องส่งกระสุนปืน ของกระสุนปืน หรือ ส่วนประกอบสำคัญของสิ่งเหล่านี้

ดังนั้น คำว่า อาวุธปืน ตามกฎหมายจึงหมายถึง อาวุธทุกชนิด เช่น ปืนพก ปืนยาว ปืนลูกซอง ฯลฯ และ ส่วนประกอบของอาวุธปืน เช่น ลำกล้อง เครื่องลูกเลื่อน เครื่องลั่นไก เครื่องส่งกระสุน ของกระสุนปืน หรือส่วนประกอบของสิ่งเหล่านี้ ในการซื้อ มี และใช้อาวุธปืนนั้น ต้องได้รับอนุญาตจากนายทะเบียน ซึ่งจะเป็นผู้ออกใบอนุญาตให้ แต่สำหรับเครื่องกระสุนปืน ให้ถือว่าได้รับอนุญาตให้มีและใช้อาวุธนั้น เป็นการอนุญาตให้มีและใช้กระสุนปืนสำหรับอาวุธนั้น ไม่ต้องมีใบอนุญาตพิเศษ แต่การซื้อเครื่องกระสุนปืนแต่ละครั้ง ต้องขออนุญาตต่อนายทะเบียนและจำกัดจำนวนกระสุนปืนที่ต้องซื้อในแต่ละครั้ง แต่ไม่ได้จำกัดจำนวนเครื่องกระสุนปืนทั้งหมดที่จะมีไว้ในครอบครอง [2]

การออกใบอนุญาตดังกล่าวนี้ มีข้อกำหนดอยู่ในกระทรวง ฉบับที่ 1 ( พ.ศ.2522 ) ออกตาม พ.ร.บ. อาวุธปืน ฯลฯ พ.ศ. 2490

อาวุธปืนที่นายทะเบียนจะออกใบอนุญาตให้ได้ ต้องเป็นอาวุธปืน ชนิด และขนาดดังต่อไปนี้

1. ชนิดลำกล้องมีเกลียว ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางปากลำกล้องไม่เกิน 11.45 มม.
2. อาวุธปืนชนิดลำกล้องไม่มีเกลียว ดังต่อไปนี้

ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางปากลำกล้องไม่ถึง 20 มม.

ปืนบรรจุปาก ปืนลูกซอง และปืนพลูสัญญาณ

3. อาวุธปืนชนิดที่มีเครื่องกลไกสำหรับบรรจุกระสุนเองให้สามารถยิงซ้ำได้ ดังต่อไปนี้

3.1 ขนาดความยาวของลำกล้องต้องไม่เกิน 160 ซม.

3.2 ปืนลูกซอง

3.3 ปืนลูกกระดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางปากลำกล้องไม่เกิน 5.6 มม.

4. อาวุธปืนชนิดไม่มีเครื่องบังคับเสียงให้เบาผิดปกติ

5. อาวุธปืนชนิดที่ไม่ใช้เครื่องกระสุนปืนเป็นที่บรรจุวัตถุเคมีที่ทำให้เกิดอันตราย หรือ เป็นพิษ หรือไม่ใช้เครื่องกระสุนปืนเป็นที่บรรจุเชื้อโรค เชื้อเพลิง หรือ วัตถุ กัมมันตภาพรังสี

เครื่องกระสุนปืนชนิดที่นายทะเบียนจะออกใบอนุญาตให้ได้ ต้องเป็นเครื่อง กระสุนที่ใช้กับอาวุธปืนที่ได้รับอนุญาต แต่ต้องไม่เป็นเครื่องกระสุนปืนชนิดเจาะเกราะ หรือชนิดกระสุนเพลิง [2]

**กลไกการทำงานของอาวุธปืน โดยทั่วไป ในปัจจุบัน สามารถแบ่งได้ดังนี้ คือ**

1. ปืนบรรจุปาก หรือ ปืนแก๊ป

2. ปืนบรรจุทางท้าย

ปืนยิงทีละนัด เช่น ปืนพกลูกซองชนิดประกอบขึ้นเอง ปืนยาวลูกซองเดี่ยว เป็นต้น

ปืนแบบ Bolt Action เป็นปืนที่ต้องใช้มือในการเคลื่อนไหวกกลไกเครื่องลูกเลื่อน เพื่อค้ำปลดกลไกกระสุนปืนและบรรจุกระสุนปืนเข้าในรังเพลิง เช่น ปืนเล็กยาวแบบ 88

ปืนแบบ Pump Action หรือ Slide Action เช่น ปืนยาวลูกซองเดี่ยวแบบ Pump Action หรือที่เรียกโดยทั่วไปว่า ปืนลูกซอง 5 นัด

ปืนรีวอลเวอร์ (Revolver) หรือปืนลูกโม้ เป็นปืนที่มีช่องรังเพลิงสำหรับบรรจุ กระสุนปืนเรียงติดกันเป็นวงกลมรอบแกนลำกล้องปืน และมีกลไกสำหรับหมุนเอาช่องรังเพลิง ถัดไปมาจ่ออยู่กับงานท้าย ลำกล้องปืน เมื่อมีการเหนี่ยวไกปืนหรือจังกปืน เช่น ปืนพกรีวอลเวอร์ ขนาดต่างๆที่ใช้ในปัจจุบัน

ปืนกึ่งอัตโนมัติเป็นปืนที่ต้องอาศัยพลังงานจากการระเบิดของกระสุนปืน มาเคลื่อนไหวกว้างเครื่องลูกเลื่อน เพื่อคายปลอกกระสุนปืน และบรรจุกระสุนปืนนัดใหม่ เข้าในรังเพลิง แต่ต้องมีการปล่อยและเหนี่ยวไกใหม่ เพื่อทำการยิงกระสุนปืนนัดต่อไป เช่น ปืนพก ออโตเมติก ที่เรียกกันทั่วไปว่า ( Automatic Pistol แต่มีการทำงานแบบ Semi – automatic )

ปืนกลและปืนกลแบบต่างๆ มีการทำงานแบบต่างๆ มีการทำงานแบบกึ่งอัตโนมัติ แต่จะมีกลไกที่ทำให้ยิงกระสุนปืนได้ติดต่อกันเป็นชุด โดยเหนี่ยวไกค้างเอาไว้ เช่น ปืนกลมือ UZI ปืนกลหนัก M60 ปืนกลเล็ก M16 เป็นต้น

### ประเภทของอาวุธปืน

ในคดีที่ใช้อาวุธปืนเป็นเครื่องมือในการกระทำ ความผิดซึ่งส่วนใหญ่เป็นอาวุธปืนขนาดเล็ก (Small Arms) ในการแบ่งประเภทของอาวุธปืนจะแยกออกเป็น 2 แบบ คือ

#### 1. แบ่งประเภทตามความยาวลำกล้องปืนจะแยกประเภทอาวุธปืนออกเป็น 3 ประเภท

1.1 ปืนสั้น หรือ ปืนพก ( Pistol ) คือปืนที่มีลำกล้องสั้น มีด้ามซึ่งใช้จับถือ และยิงได้ด้วยมือเพียงข้างเดียวอย่างสบาย มีความยาวลำกล้องตั้งแต่ 2 นิ้ว 3 นิ้ว 4 นิ้ว ฯลฯ สามารถพกพาไปไหนก็ได้ อย่างง่ายดาย และมิดชิด มีทั้งทำจากต่างประเทศ และทำในประเทศ



ภาพที่ 1 แสดงอาวุธปืนพก ( Pistol)

1.2 ปืนยาว (Rifle) คือปืนที่ลำกล้องยาว มีพานท้าย (ด้าม) ปืนยาวเวลายิงต้องยิงต้องจับ 2 มือ มีทั้งปืนยาวที่ทำจากต่างประเทศ และ ทำในประเทศ

1.2.1 ปืนยาวที่ทำจากต่างประเทศ ปืนยาวลูกกรด , ปืนยางไรเฟิล ใช้ในการกีฬาและล่า สัตว์ , ปืนยาวอัดลม



ภาพที่ 2 แสดงอาวุธปืนยาวสำหรับล่าสัตว์ [35]

1.2.2 ปืนยาวที่ทำในประเทศ ปืนยาวลูกซอง , ปืนยาวบรรจุปาก (ปืนแก๊ป) ปืนยาวอัด ลม



ภาพที่ 3 แสดงอาวุธปืนยาว (ปืนแก๊ป) [37]

1.3 ปืนที่ใช้ในการทหารหรือในการสงคราม คือปืนที่นายทะเบียนจะออกให้ประชาชนมีไว้ครอบครองไม่ได้ โดยกฎกระทรวงฉบับที่ 11 (พ.ศ 2522) ออกตามพระราชบัญญัติอาวุธปืนฯ พ.ศ.2490 ได้ยกเลิกกฎกระทรวงฉบับที่ 7 (พ.ศ.2501) ที่ได้กำหนดอาวุธปืน เครื่องกระสุนและวัตถุระเบิด ที่นายทะเบียนจะออกใบอนุญาตให้ได้อาไว้แทน



ภาพที่4 แสดงอาวุธปืนยาวที่ใช้ในการทหาร

ดังนั้น อาวุธปืนที่นายทะเบียนจะออกใบอนุญาตให้ไม่ได้ จึงเป็นอาวุธปืนชนิดที่นอกเหนือจากที่ระบุไว้ในกฎกระทรวง ฉบับที่ 11 (พ.ศ.2522) ดังกล่าว เช่น

อาวุธปืนที่มีเกลียวภายในลำกล้องที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางปากลำกล้องตั้งแต่ 11 มม.

อาวุธปืนชนิดลำกล้องไม่มีเกลียว ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางลำกล้องตั้งแต่ 20 มม. ยกเว้นปืนบรรจุปาก ปืนลูกซอง และปืนพลุสัญญาณ

อาวุธที่มีเครื่องกลไกสำหรับบรรจุกระสุนปืนเองให้สามารถยิงซ้ำได้ ที่มีขนาดความยาวลำกล้องตั้งแต่ 160 มม. ยกเว้นปืนลูกซอง และปืนลูกกรด

อาวุธปืนที่มีเครื่องบังคับเสียงให้เบาผิดปกติ

อาวุธปืนที่ใช้กระสุนปืนบรรจุวัตถุเคมีที่ทำให้เกิดอันตราย หรือเป็นพิษ หรือใช้เครื่องกระสุนปืนที่บรรจุเชื้อโรค เชื้อเพลิง หรือ วัตถุกำมันตภาพรังสี

อาวุธปืนสงคราม เป็นอาวุธปืนที่ประชาชนจะมีไว้ครอบครองไม่ได้ เพราะทางกฎหมายถือว่าเป็นความผิด ฐานมีอาวุธปืนที่ไม่สามารถออกใบอนุญาต ให้มีไว้ครอบครอง ซึ่งเป็นความผิดที่มีโทษหนักกว่าการมีอาวุธปืนที่สามารถออกใบอนุญาตให้ได้ไว้ในครอบครอง ทั้งนี้ ขึ้นกับสภาพของอาวุธปืน และอาวุธปืนสงครามที่มีความรุนแรง ผู้กระทำความผิด จะต้องได้รับโทษสูงขึ้น

อาวุธปืนสงครามที่กฎหมายบัญญัติไม่ให้ขายทะเบียนต้องที่ออกใบอนุญาตนั้น เป็นอาวุธปืนสงครามทุกชนิด และ ทุกขนาด ไม่ว่าจะป็นอาวุธปืนกลชนิดใดก็ตาม แม้ว่าอาวุธปืนนั้น จะมีสภาพใช้ขังไม่ได้แล้ว หรือ เป็นส่วนของอาวุธปืนที่สำคัญ ซึ่งกฎหมายถือว่าเป็นอาวุธปืน เช่น เพียงแต่มีลำกล้อง หรือ เครื่อง ลูกเลื่อนหรือเครื่องลั่นไก หรือ เครื่องส่งกระสุน อย่งใดอย่างหนึ่งของอาวุธปืนสงคราม ไว้ในครอบครอง ก็ถือว่า มีอาวุธปืนสงครามไว้ในครอบครองแล้ว[2]

### การแบ่งประเภทตามเกลียวภายในลำกล้องปืน

**ประเภทที่มีเกลียวภายในลำกล้อง** ประเภทที่ใช้กับกระสุนปืนลูกโคค เมื่อยิงปืนแรงอัดของแก๊ส จะจับดันให้ลูกกระสุนปืนครูดไปกับเกลียว ภายในลำกล้องปืน แล้วหมุนตัวออกไปจากปากลำกล้องปืน ทำให้สามารถวิ่งผ่านอากาศออกไปตรงตามทิศทางที่เล็ง เช่น ปืนพก รีโวลเวอร์ ปืนพกออโตแมติก ปืนยาวไรเฟิล ปืนกลต่างๆ

**ประเภทที่ไม่มีเกลียวภายในลำกล้อง** ประเภทนี้ใช้กับกระสุนปืนลูกปราย ได้แก่ ปืนลูกซอง ซึ่งมีลำกล้องภายในเรียบ ไม่มีร่องเกลียวภายในลำกล้อง ขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางลำกล้องมีหลายขนาด ที่นิยมโดยทั่วไปจะเป็นขนาด 12 ซึ่งมีเส้นผ่าศูนย์กลาง ประมาณ 18 มิลลิเมตร และขนาดของลำกล้องนี้ ก็ต้องเป็นขนาดเดียวกับขนาดกระสุนปืนด้วยจึงจะใช้ขังได้

Smooth-bore  
Shotgun Barrel



ภาพที่ 5 แสดงลำกล้องแบบไม่มีเกลียว

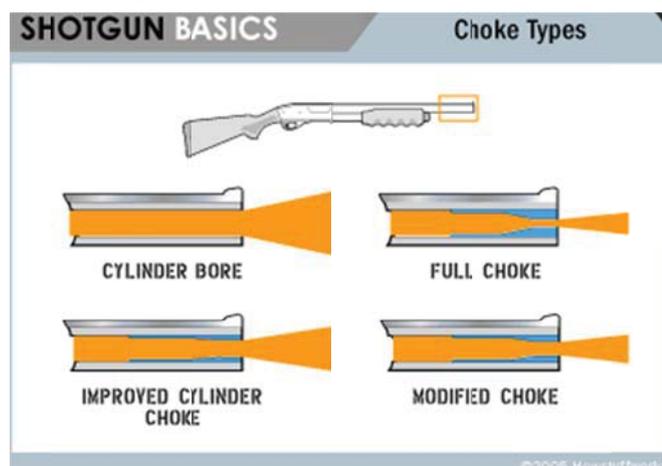


ภาพที่ 6 แสดงปืนที่มีลำกล้องแบบไม่มีกลีข ( ปืนลูกซอง )

ลำกล้องของปืนลูกซองนี้ จะแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

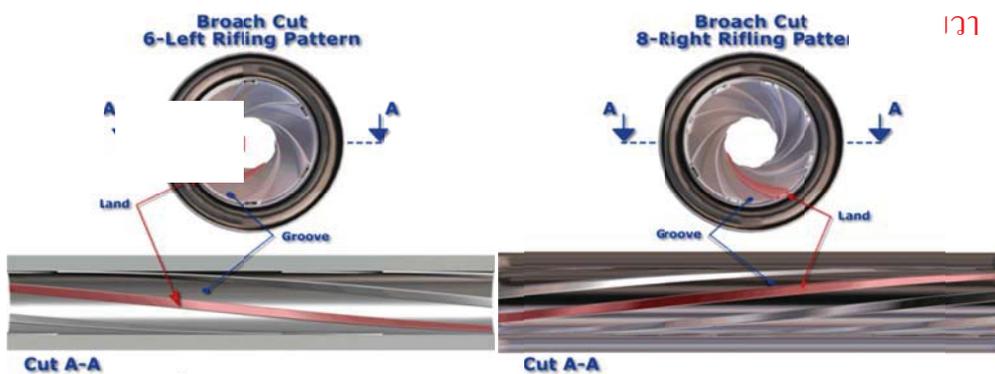
1. ประเภทที่เส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากันตลอด ตั้งแต่โคนถึงปลายลำกล้อง

2. ประเภทที่เส้นผ่าศูนย์กลางภายในลำกล้องตรงส่วนปลายเข้ามา 4 นิ้ว แคบกว่าตรงส่วนโคน ซึ่งใช้กับกระสุนปืนลูกปราย เมื่อวิ่งออกจากปากลำกล้องไปแล้วกระจายเป็นวงแคบกว่า และการทำให้ปลายลำกล้องตีบ หรือ แคบลงนี้ เรียกลำกล้องนั้นว่า CHOKE ซึ่งมีสัดส่วนตีบไม่เท่ากัน โดยเรียกชื่อเรียกชื่อที่ทำให้ตีบน้อยไปจนถึงตีบมาก ดังต่อไปนี้ Improved Cylinder ,  $\frac{1}{4}$  Choke,  $\frac{1}{2}$  Choke,  $\frac{3}{4}$  Choke, Full Choke, Super Choke



ภาพที่ 7 แสดงประเภทของ CHOKE ที่มีผลต่อการกระจายของกระสุนปืนลูกซอง[32]

การวัดขนาดลำกล้องปืนมีวิธีวัดได้ 2 แบบ คือ แบบแรกวัดจากสันเกลียวลำกล้อง (Land) ไปยังสันเกลียวลำกล้อง (Land) ที่อยู่ตรงกันข้าม หรือแบบที่สองคือวัดจากร่องเกลียว (Groove) ถึงร่องเกลียว (Groove) การวัดขนาดจากสันเกลียว (Land) ถึงสันเกลียว (Land) เรียกว่า ขนาดลำกล้องปืน (Caliber) หรือ Bore Diameter ลำกล้องปืนแบบที่มีเกลียวในลำกล้อง จะมีทิศทางการหมุนอยู่สองแบบ คือ เวียนซ้าย กับ เวียนขวา



ภาพที่ 8 แสดงการเปรียบเทียบลำกล้องแบบเวียนซ้าย กับ ลำกล้องแบบเวียนขวา

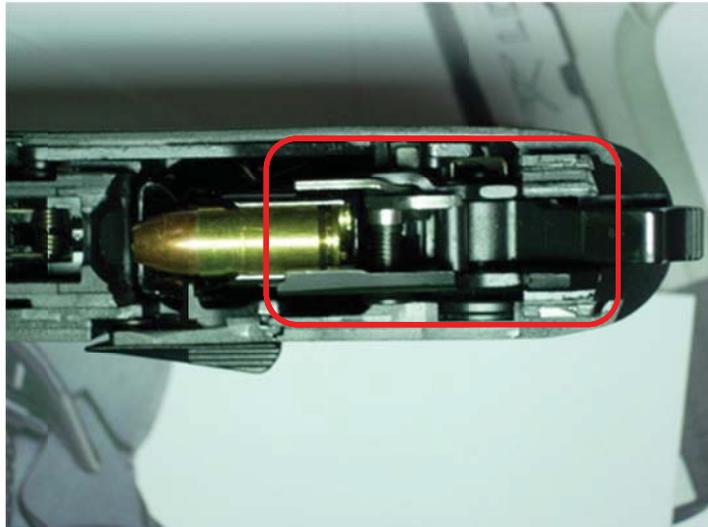
ส่วนประกอบที่สำคัญของอาวุธปืน มี 5 ส่วนด้วยกัน

1. ลำกล้อง ( Barrel ) เป็นส่วนที่ลูกกระสุนปืนวิ่งผ่านและกำหนดทิศทางของลูกกระสุนปืน



ภาพที่ 9 แสดงชิ้นส่วนลำกล้องปืน

2. เครื่องลูกเลื่อน ( Bolt ) เป็นส่วนที่มีหน้าที่นำกระสุนปืนเข้าสู่ห้องเพลิง Chamber



ภาพที่10 แสดงชิ้นส่วนเครื่องลูกเลื่อน

3. โครงปืน ( Frame ) หรือ Receiver เป็นที่อยู่ของกลไกเครื่องต้นไก



ภาพที่11 แสดงชิ้นส่วนโครงปืน

4. กลไกเครื่องลั่นไก ( Firing Mechanism ) ทำหน้าที่ยิงปืน โดยทำให้เข็มแทงชนวนไปกระทบชนวนท้ายกระสุนปืน (แก๊ป)



ภาพที่ 12 แสดงชิ้นส่วนเครื่องลั่นไก

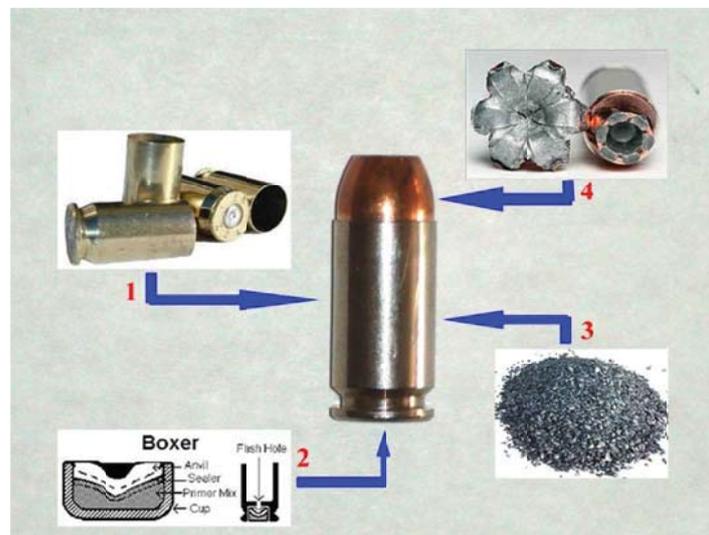
5. ขงกระสุนปืน ( Magazine ) หรือสายกระสุนปืน Belt ทำหน้าที่ลำเลียง กระสุนปืนมาสู่เครื่องลูกเลื่อน



ภาพที่ 13 แสดงชิ้นส่วนขงกระสุนปืน

ส่วนประกอบของกระสุนปืน มี 4 ส่วนด้วยกันคือ

1. ปลอกกระสุนปืน ( Cartridge Case )
2. ชนวนกระสุนปืน หรือ แก๊ป ( Primer )
3. ดินปืนหรือดินส่งกระสุนปืน ( Powder, Propellant )
4. ลูกกระสุนปืนหรือหัวกระสุนปืน ( Bullet )



ภาพที่ 14 แสดงส่วนประกอบกระสุนปืน [9]

### ความหมายของเครื่องกระสุนปืน

เครื่องกระสุนปืน หมายความว่ารวมตลอดถึง กระสุน โดด กระสุนปราช กระสุนแตก ลูกกระเบิด ตอร์ปิโด ทุ่นระเบิด และจรวด ทั้งชนิดที่มีหรือไม่มีกรด แก๊ส เชื้อเพลิง เชื้อ โรค ไอพิช หมอก หรือ ควัน หรือกระสุนลูกระเบิด ตอร์ปิโด และจรวดที่มีคุณสมบัติคล้ายคลึงกัน จึงหมายรวมถึงกระสุนโดด กระสุนปราช กระสุนแตก ลูกกระเบิด ตอร์ปิโด ทุ่นระเบิด และจรวดทั้งชนิดที่มีหรือ ไม่มีกรด แก๊ส เชื้อเพลิง เชื้อ โรค ไอพิช หมอกหรือควัน กระสุน ลูกกระเบิด ตอร์ปิโด

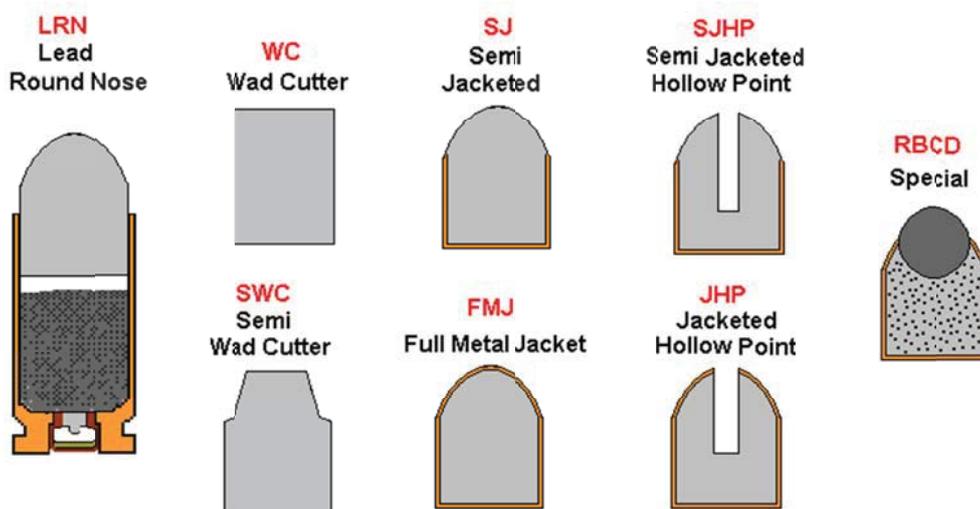
ท่อนระเบิด และจรวด ที่มีคุณสมบัติคล้ายคลึงกันเครื่องหรือสิ่งสำหรับอัดหรือทำ หรือใช้ประกอบเครื่องกระสุนปืน [2]

ส่วนประกอบของกระสุนปืน โดยทั่วไป ประกอบด้วย

1. ลูก (หัว) กระสุนปืน
2. ปดอกกระสุนปืน
3. ดินส่งกระสุนปืน หรือ ดินปืน
4. ขนวนท้ายกระสุนปืน หรือ แก๊ปปืน

ประเภทของลูกกระสุนปืน

กระสุนปืนมีความแตกต่างกันในส่วนของหัวกระสุนปืน โดยแบ่งชนิดได้ดังนี้



ภาพที่ 15 แสดงประเภทของลูก(หัว) กระสุนปืน

1. **Lead Round Nose (LRN)** เป็นลูก (หัว) กระสุนปืนชนิดหัวตะกั่วล้วน

2. **Wad Cutter (WC)** เป็นลูก (หัว) กระสุนปืนชนิด หัวตัดเสมอกับขอบของปลอก นิยมใช้ในการยิงเป้า เนื่องจากเมื่อโดนเป้ากระดาษ จะทำให้ง่ายต่อนับแต้ม

3. **Semi - Wad Cutter (SWC)** เป็นลูก (หัว) กระสุนปืน ที่คล้ายกับ WC แต่ที่บริเวณหัวกระสุนไม่ได้เสมอกับขอบของปลอก และถูกตัดเรียบ ไม่ โกงัมน

4. **Full Metal Jacket (FMJ)** เป็นลูก (หัว) กระสุนปืนชนิด โลหะแข็งเคลือบตะกั่ว เช่น ทองเหลือง หรือ ทองแดง ส่วนใหญ่เป็นทองแดง เนื่องจากมีราคาถูกกว่าทองเหลือง

5. **Semi - Jacketed (SJ)** เป็นลูก (หัว) กระสุนปืนที่คล้ายกับ FMJ แต่ไม่มีโลหะแข็งเคลือบหรือหุ้มที่หัว(ลูก) กระสุนปืน

6. **Jacketed Hollow Point (JHP)** เป็นลูก (หัว) กระสุนปืนชนิด โลหะเคลือบแข็ง หุ้ม แต่มีรูตรงกลาง

7. **Semi - Jacketed Hollow Point (SJHP)** เป็นลูก (หัว) กระสุนปืนชนิด มีรูตรงกลางคล้าย JHP ไม่มีแต่โลหะแข็งหุ้มที่หัวกระสุน

8. **RBCD** เป็นลูก (หัว) กระสุนปืนชนิดพิเศษ

**ประเภทของขอบงานท้ายปลอกกระสุนปืน**

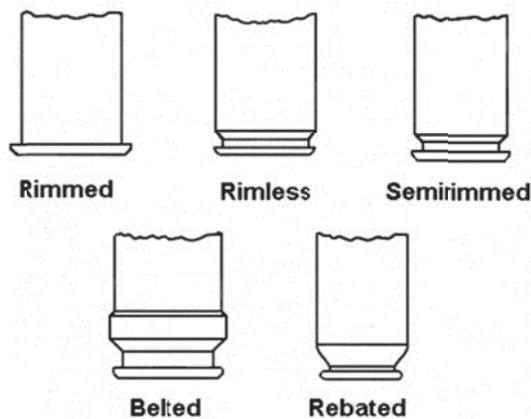
1. **Rimmed Cartridge Case** เป็นปลอกกระสุนปืนที่มีขอบงานท้ายยื่นออกมาเพื่อให้ปลอกกระสุนปืนใช้เกาะกับรังเพลิง เช่น กระสุนที่ใช้กับปืนลูกโม้ (Revolver) และ ปืนที่ใช้ระบบหักลำกล้อง

2. **Semi - Rimmed Cartridge Case** เป็นปลอกกระสุนปืนที่มีขอบงานท้ายยื่นออกเพียงเล็กน้อย ใช้เป็นที่เกาะระหว่างปลอกกระสุนกับรังเพลิง ปืนที่ใช้กระสุนแบบนี้ คือ ปืนกึ่งอัตโนมัติ

3. **Rimless Cartridge Case** เป็นปลอกกระสุนที่มีขอบของงานท้ายกระสุนปืน เสมอกับโคนของกระสุนปืน ปืนที่ใช้กระสุนแบบนี้ คือ ปืนกึ่งอัตโนมัติ และปืนกลเล็ก เป็นต้น

4. **Belt Cartridge Case** เป็นปลอกกระสุนที่มีโคนปลอกหนา หนุน ขึ้นมาเพื่อเพิ่มความแข็งแรง ให้กับกระสุนปืน ปืนที่ใช้กระสุนแบบนี้ คือ ปืนยาว (Rifle) ที่ใช้ในการล่าสัตว์ขนาดใหญ่

5. **Rebated Cartridge Case** เป็นปลอกกระสุนที่มีโคน เล็กกว่าปลอกกระสุนปืน ใช้กับปืน กึ่งอัตโนมัติ



ภาพที่16 แสดงประเภทของขอบงานท้ายปลอกกระสุนปืน [17]

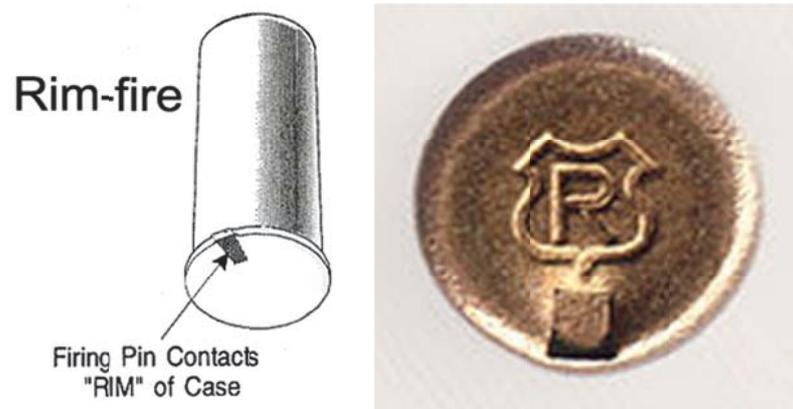
การแบ่งประเภทกระสุนปืน แบ่งออกเป็น 3 ประเภท

1. **Pin fire Cartridge** มีปลอกกระสุนปืน ทำด้วยกระดาษ และทำเป็นทองเหลือง มีเข็มโลหะโผล่ออกมาที่ด้านข้างปลอกกระสุนปืน โดยมีปลายอีกข้างหนึ่งจ่ออยู่กับ Caps ที่บรรจุอยู่ในถ้วยโลหะภายในตัวกระสุนปืน เวลาบรรจุกระสุนปืนนี้ ต้องหันด้านที่มีเข็มเข้ามาจับกับนกปืน เมื่อเหนี่ยวไกปืนนกปืนจะตีลงที่เข็ม โลหะนี้และจะไปกระทบกับ Caps เกิดประกายไฟจุดระเบิดดินปืน



ภาพที่17 แสดงกระสุนปืนชนิด Pin fire Cartridge [17]

2. **Rim fire Cartridge** พัฒนาขึ้นโดยใช้ สารวัตถุระเบิดแรงสูง (Fluminate of Mercury ) แบบผงใส่ไว้ที่ขอบของงานท้ายกระสุนปืนโดยรอบ เมื่อทำการยิงต้องให้ชนกับดินที่บริเวณขอบของงานท้ายกระสุนปืนเป็นแบบเดียวกับกระสุนปืนลูกกรดในปัจจุบัน



ภาพที่18 แสดงกระสุนปืนชนิด Rim fire Cartridge [23]

3. **Centre fire Cartridge** เป็นกระสุนปืนที่ใช้กันแพร่หลายในปัจจุบัน ประกอบไปด้วยส่วนต่างๆคือ หัวกระสุนปืน (ลูกกระสุนปืน) ปลอกกระสุนปืน ดินปืน (ดินส่งกระสุนปืน) และแก๊ป(ชนวนท้ายปืน) อยู่ที่กึ่งกลางงานท้ายปลอกกระสุนปืน โดยแก๊ปมีลักษณะเป็นถ้วยโลหะอ่อน ขนาดเล็กบรรจุส่วนผสมที่ไวต่อแรงกระแทก แบบเดียวกับ Fluminate of Mercury มี Anvil รับแรงกระแทก และรูเล็กๆเพื่อให้เกิดประกายไฟ แลบออกไปจุดระเบิดดินส่งกระสุนปืนได้ เมื่อนกปืนสับลงไปแก๊ปนี้ จะทำให้เปลือกที่เป็นโลหะอ่อน (ทองแดงหรือทองเหลือง ) ยุบลงไปกระแทกกับสารที่บรรจุอยู่ภายใน โดยมี Anvil เป็นตัวรองรับ ทำให้เกิดประกายไฟออกไปจุดดินส่งกระสุนปืน



ภาพที่ 19 แสดงกระสุนปืนชนิด Rim fire Cartridge [15]

### ชนิดของดินสั้งกระสุนปืน

ดินปืนเป็นของแข็งที่บรรจุอยู่ภายในกระสุนปืน สามารถลุกไหม้ได้เมื่อถูกประกายไฟหรือความร้อน เมื่อลุกไหม้จะให้แก๊สปริมาณมากในช่วงเวลาอันสั้น ซึ่งแก๊สที่เกิดขึ้นนี้ถูกนำไปใช้ปืนตัวขับเคลื่อนกระสุนปืน ออกจากลำกล้องปืน ดินปืนปัจจุบันมีอยู่ 2 ชนิด

1. ดินดำ ( Black Powder ) ประกอบไปด้วย ดินประสิ่ว 75% ถ่านไม้ 15% และกำมะถัน 10% เป็นตัวขับเคลื่อนลูกกระสุนปืนชนิดแรกที่ยังคงกัน จากหลักฐานที่ปรากฏ ทราบแต่เพียงว่า จีน เป็นชาติแรกที่ผลิตดินดำขึ้นใช้มีข้อเสียคือ เมื่อใช้แล้วเกิดเขม่าดำมาก ทำให้มีการพัฒนาใช้ดินควันน้อยแทน

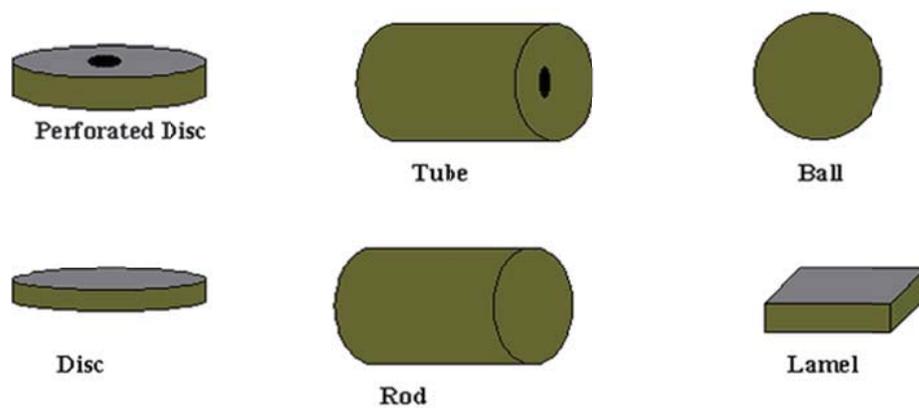


ภาพที่ 20 แสดง Black Powder [33]

2. ดินควันน้อย ( Smokeless Powder ) มีสารประกอบหลักคือ ไนโตรเซลลูโลส หรือเซลลูโลสไนเตรท ( Nitrocellulose or Cellulose nitrate ) ซึ่งให้แรงระเบิดสูงกว่าดินดำใน ปริมาณที่เท่ากันแต่เกิดเขม่าน้อยกว่ามาก



ภาพที่ 21 แสดง Smokeless Powder [36]



ภาพที่ 22 แสดงรูปร่างต่างๆของ Smokeless Powder [36]

## การวัดขนาดของอาวุธปืน

ขนาดของอาวุธปืน โดยทั่วไป หมายถึง ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของลำกล้อง ซึ่งจำแนกออกเป็น

1.อาวุธปืนที่มีเกลียวภายในลำกล้อง ขนาดของอาวุธปืนชนิดนี้เรียกว่า Caliber ดังนั้น Caliber จึงหมายถึง เส้นผ่าศูนย์กลางของลำกล้องปืน ในอังกฤษใช้หน่วยเป็นนิ้ว ส่วนในอเมริกาใช้หน่วยเป็นมิลลิเมตรในปัจจุบันขนาดของอาวุธปืนที่มีเกลียวภายในลำกล้องมีหน่วยที่ใช้กันอยู่ 2 หน่วย คือ

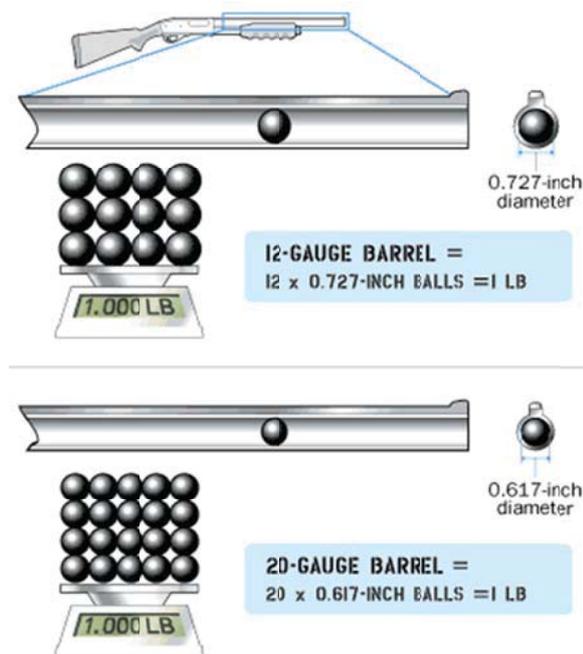
1.1 หน่วยเป็นนิ้ว มีจุดนำหน้า ตามหลังด้วยขนาดตัวเลขขนาด แต่เวลาเขียนหรือเรียกไม่ต้องมีคำว่านิ้ว กำกับ และต้องเข้าใจด้วยว่า ขนาดเป็นนิ้ว เช่น .45 , .44 , .38 , .32 , .25 , .223 , .22 เป็นต้น

1.2 หน่วยเป็นมิลลิเมตร หรือ มม. ไม่ต้องมีจุดนำหน้าใดๆ แต่ต้องมีคำว่า มม. กำกับ หลังของขนาดเสมอไป เช่น 11 มม. , 9 มม. , 5.56 มม. เป็นต้น และโดยที่ปืนมีเกลียวในลำกล้องนี้ ใช้กับกระสุนปืนลูกโคดเส้นผ่าศูนย์กลางของลำกล้องปืนจึงเท่ากับ หรือ ใกล้เคียงกับ เส้นผ่าศูนย์กลางของลูก ( หัว ) กระสุนปืน จึงมีผู้ใช้คำว่า Caliber ในความหมายที่เป็นขนาดของกระสุนปืนด้วย



ภาพที่23 แสดงการเปรียบเทียบขนาดกระสุนปืน หน่วย มม. กับ หน่วย นิ้ว [9]

2.อาวุธปืนที่ไม่มีเกลียวภายในลำกล้อง (ปืนลูกซอง) ขนาดของอาวุธปืนชนิดนี้ เรียกว่า เกจ (Gauge) หมายถึง จำนวนลูกตะกั่วทรงกลมขนาดเท่ากันที่ทำจากตะกั่วหนัก 1 ปอนด์ เช่น ขนาด 12 หมายถึง จำนวนลูกตะกั่วมา 1 ก้อน หนัก 1 ปอนด์ แบ่งเป็น 12 ส่วนเท่าๆกัน ส่วนที่แบ่งได้อามาทำเป็นก้อนกลมๆนั้น มีเส้นผ่าศูนย์กลางเท่าใดก็จะเป็นขนาด 12 ตัวอย่างเช่น ปืนพกลูกซอง ขนาด 12 หมายถึง ปืนที่มีขนาดลำกล้องปืนโตพอที่ลูกกระสุนปืนตะกั่วหนัก 1/12 ปอนด์ผ่านได้พอดี ตะกั่วทรงกลมหนัก 1/12 ปอนด์ มีเส้นผ่าศูนย์กลาง .729 นิ้ว นั่นคือ ปืนพกลูกซองขนาด 12 จะมีเส้นผ่าศูนย์กลางของลำกล้อง .729 นิ้ว เป็นต้น ขนาดที่ใช้กันอยู่ปัจจุบัน มีขนาด 12 , 16 , 20 ,24 , 28 , 32 และ ขนาด .410



ภาพที่ 24 แสดงการแบ่งขนาดของกระสุนปืนลูกซอง [22]

นอกจากคำว่า เกจ ( Gauge) หรือขนาดของอาวุธปืนและกระสุนปืนลูกซองแล้ว ยังมีหน่วยของกระสุนปืนลูกซอง คือ นัมเบอร์ หรือ เบอร์ ( Number ) คือ ขนาดของลูก

กระสุนปรายที่บรรจุอยู่ในกระสุนปืนลูกซอง ส่วนใหญ่จะมีเบอร์เป็นตัวเลขหรือตัวอักษรบอกไว้ที่กระดวยปิดปากปลอกกระสุนปืนทั้งด้านบนและด้านล่าง



ภาพที่25 แสดงการขนาดของปืนลูกซอง [22]

#### การเปรียบเทียบขนาดของกระสุนปืนลูกโคด

ระบบอังกฤษ (นิ้ว)	ระบบยุโรป (มม.)
.22	5.5
.223	5.56
.243 ,.244	6
.25	6.35
.285	6.35
.30 ,.308	7.62
.32	7.65
.323	8
.357 (.38)	9
.45	11
.50	12.7

แสดงการเปรียบเทียบขนาดอาวุธปืนชนิดมีเกลียวภายในลำกล้อง

### กระสุนปืนในปัจจุบันจะมีขนาดต่างๆดังต่อไปนี้

กระสุนปืนลูกกรวด ขนาด .22 Short , .22 Long Rifle , .22 Magnum

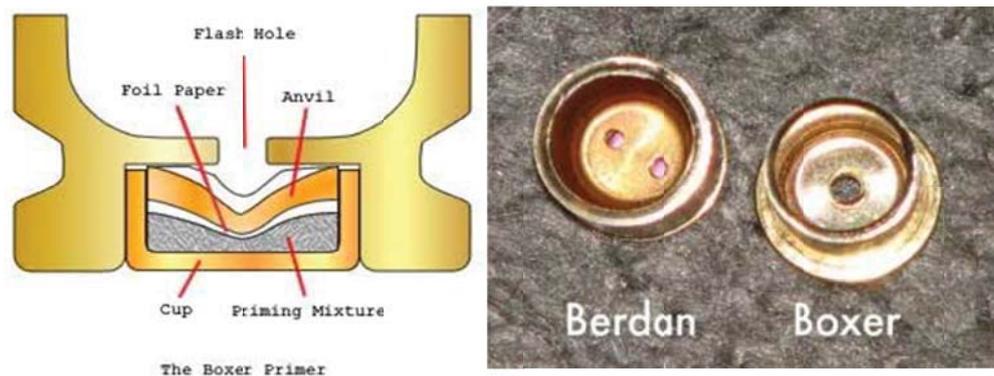
กระสุนปืนกลเล็ก( M16, HK ) ขนาด .223 (5.56 มม.) กระสุนปืนขนาด 7.65 มม. NATO

กระสุนปืนรีวอลเวอร์ ขนาด .32 (7.65 มม.) , .38 Special , 7.60 มม.TOKAREV , .32 (7.65 มม.) , .38 Super (9 มม.) , .45 (11 มม.)

ทั้งนี้ กระสุนปืนขนาด .38 Special , .357 Magnum , .380 , 9 มม. เท่ากันหมดแต่มีความยาวของปลอกกระสุนปืนต่างกัน เช่น อาวุธปืน .38 Special ใช้กระสุนปืน ขนาด .357 Magnum ไม่ได้ เนื่องจากกระสุนมีความยาวกว่า แต่ อาวุธปืนขนาด .357 Magnum ใช้กระสุนปืนขนาด .38 Special ได้ ( กระสุนปืนขนาด .38 Special จะมีขนาดของหัวกระสุนปืนที่แท้จริงคือ .358 นิ้ว ) [2]

### การตรวจหาคราบเขม่าปืนที่มือของผู้ยิงปืน

เขม่าปืนหรือเขม่าจากการยิงปืน ( Gunshot Residue) หมายถึงเขม่าที่เกิดจากการเผาไหม้ของชนวนท้ายกระสุนปืน หรือ แก๊ปปืน (Primer Residue)



ภาพที่ 26 แสดง Primer (ซ้าย) แบบ Berdan และ Boxer (ขวา) [35]

แก๊ปปืน (Primer) มีอยู่ 2 ชนิด คือ

1. **Boxer** เป็นชนิดที่มี Flash Hole จำนวน 1 ช่อง
2. **Berdan** เป็นชนิดที่มี Flash Hole จำนวน 2 ช่อง

### การรวมตัวของอนุภาค Gunshot Residues (GSR)

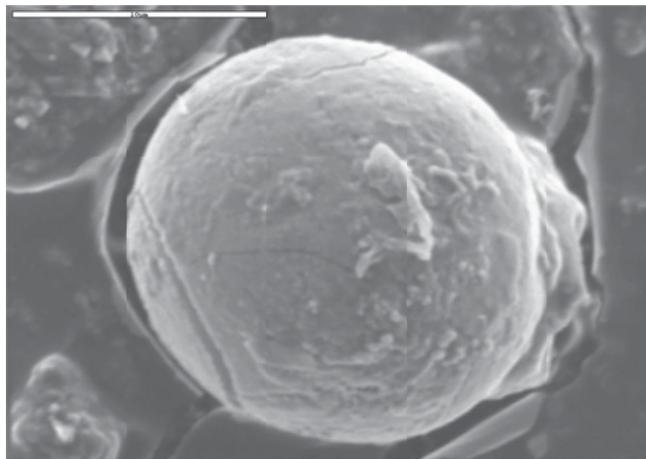
เมื่อเข็มแทงชนวนกระทบที่ชนวนท้ายกระสุนปืน (Primer Cap) จะทำให้เกิดการระเบิดและเผาไหม้ขึ้นอย่างรวดเร็ว เกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งอุณหภูมิและความดันสูงชันเป็นอย่างมาก โดยภายในเวลา 1 millisecond อุณหภูมิจะสูงขึ้นเป็น 3,600 องศาเซลเซียส และความดันเปลี่ยนเป็น 40,000 psi ซึ่งสภาวะนี้ จะมีอุณหภูมิที่สูงกว่าจุดเดือดของตะกั่ว แบเรียม และแอนติโมนี เนื่องจาก ตะกั่ว แบเรียม และแอนติโมนี มีจุดเดือด เพียง 1,620 องศาเซลเซียส, 1,140 องศาเซลเซียส, 1,380 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ดังนั้น ธาตุโลหะทั้งสาม จึงเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอ แต่เนื่องจาก มีการอิมตัวของธาตุเหล่านี้มากเกินไป จึงเกิดการควบแน่น กลับคืนมาเป็นหยดเล็กๆ โดยที่ผิวของมันยังมีลักษณะเป็นของเหลวอยู่ โดยเหตุการณ์นี้จะเกิดในสภาวะสมมูลไดนามิกที่ อุณหภูมิ 1,500-2,000 องศาเซลเซียส ความดัน 9,653 kPa (1,400 psi) และเมื่ออุณหภูมิลดลง หยดเล็กๆเหล่านี้จะแข็งตัวกลายเป็นคราบเขม่า ที่มาจากการยิงปืน นั่นเอง [1]



ภาพที่ 27 แสดงการเกิด GSR ภายหลังจากการลั่นไก (ยิงปืน)

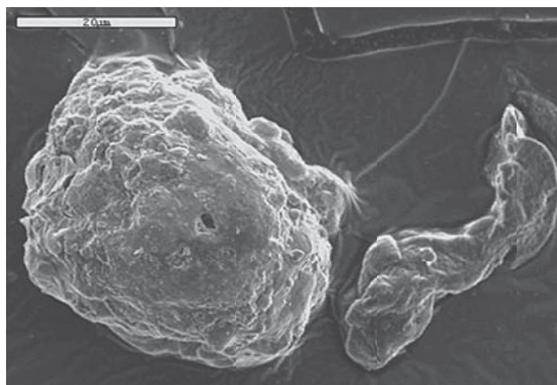
เนื่องจากอนุภาค GSR ที่เกิดจากการควมแน่นและรวมตัวของไอธาตุ Pb, Ba, และ Sb นั้นมาจากการที่ไอธาตุได้เย็นลงตัวอย่างรวดเร็วภายหลังจากเผาไหม้ของชนวนท้ายกระสุนปืน จึงทำให้รูปแบบ หรือ สัณฐานของอนุภาค GSR ที่เกิดขึ้นนี้ มีได้หลายแบบ ได้ทำการศึกษาสัณฐานของอนุภาค GSR แบ่งออกได้ 3 แบบ คือ

**1. Regular Spheroids** เป็นอนุภาคที่มีลักษณะทรงกลม มีขนาดตั้งแต่ 1-10 microns



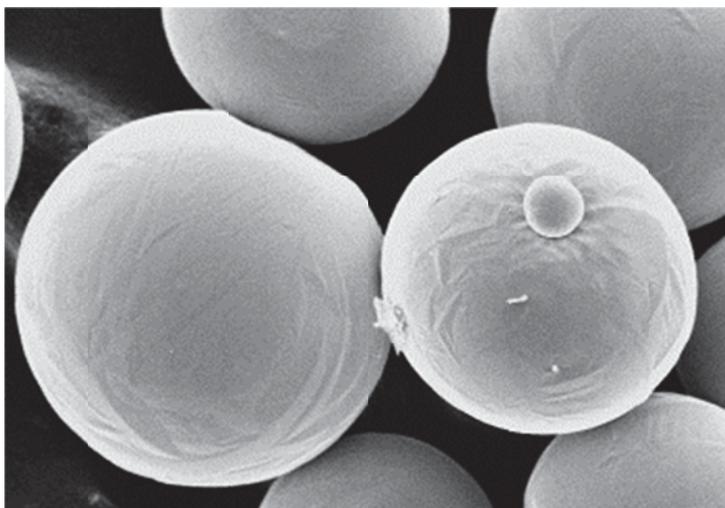
ภาพที่ 28 แสดงอนุภาคแบบ Regular Spheroids [13]

**2. Irregular Particles หรือ Nodular Spheroids** เป็นอนุภาคที่เกิดจากการรวมตัวของอนุภาคขนาดเล็กมาเกาะติดแน่นอยู่บนอนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่า ทำให้มีรูปลักษณ์เป็นทรงกลม โดยที่บริเวณผิวทรงกลมมีปุ่มงอกออกขึ้นมาอย่างเห็นได้ชัด



ภาพที่ 29 แสดงอนุภาคแบบ Irregular Particles [20]

3. อนุภาคที่มีแบเรียมและแอนติโมนีก่อตัวเป็นแกนกลาง โดยมีตะกั่วหุ้มล้อมรอบ อยู่ภายนอกอนุภาค ซึ่งเรียกว่า “ Peeled Orange ” เป็นผลเนื่องมาจากการเย็นตัวอย่างรวดเร็ว ทำให้แบเรียม และแอนติโมนี แข็งตัวในเวลาใกล้เคียงกัน เพราะต่างมีจุดเยือกแข็งที่ใกล้เคียงกัน คือ 725 และ 630.5 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ส่วนจุดเยือกแข็งของตะกั่วเพียง 327 องศาเซลเซียส จึงเกิดการแข็งตัวที่ช้าที่สุด เป็นเหตุให้อยู่ล้อมรอบสองธาตุดังกล่าว



ภาพที่ 30 แสดงอนุภาคแบบ Peeled Orange Particles [21]

### วิธีที่ใช้ตรวจหาคราบเขม่าปืน (GSR)

1.พาราฟินเทสต์ ( Paraffin Test ) เป็นวิธีการตรวจหาอนุมูล ไนไตรท์ หรืออนุมูลไนเตรท ซึ่งเป็นส่วนประกอบในดินปืน

2.อะตอมมิกแอบซอร์ปชัน สเปคโตรเมตรี ( Atomic Absorption Spectrophotometry ) เป็นวิธีตรวจหาธาตุแอนติโมนี (Sb) , ธาตุแบเรียม (Ba) และธาตุตะกั่ว (Pb) ซึ่งเป็นธาตุที่ผสมอยู่ในชนวนท้ายกระสุนปืน หรือ แก๊ปปืน โดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่า Atomic Absorption Spectrophotometry ( AAS ) วิธีนี้เริ่มใช้เมื่อ พ.ศ.2519 จนถึงปัจจุบันหลักการของ Absorption Spectrophotometry ( AAS ) ก็อาศัยหลักการที่ว่าอะตอมแต่ละชนิดจะสามารถดูดกลืนแสงที่มี

ความยาวคลื่นเฉพาะไม่เท่ากัน ดังนั้นเมื่อสารละลายตัวอย่างซึ่งมีธาตุที่ต้องการวิเคราะห์หา ถูกพ่นผ่านเข้าไปในเปลวไฟ ที่มีความร้อน เพียงพอ ธาตุที่ต้องการวิเคราะห์จะกลายเป็นไอของอะตอมอิสระถูกพ่นเข้าไปในเปลวไฟ ส่วนหนึ่งของแสงจะถูกดูดกลืนโดยอะตอมอิสระนั้น โดย ขนาดความยาวคลื่นแสงจะเป็นตัวบ่งบอก ให้ทราบถึงชนิดของอะตอม และ ปริมาณแสงที่ถูกอะตอมอิสระดูดกลืนเข้าไป จะเป็นตัวบ่งชี้ ให้ทราบถึง ปริมาณของธาตุที่วิเคราะห์ ซึ่งมีอยู่ในสารละลายตัวอย่างนั่นเอง แม้ว่าจะเป็นวิธีการหนึ่ง ที่สามารถใช้วิเคราะห์หาธาตุที่มีปริมาณน้อยๆได้ ในระดับไมโครกรัม หรืออาจถึงระดับ นาโนกรัม อีกทั้งยังมีความไวในการวิเคราะห์สูงด้วยก็ตาม แต่ก็ยังมีขีดจำกัดไม่สามารถวิเคราะห์ธาตุที่เกิดจากการยิงปืนได้ทั้งหมดในเวลาเดียวกัน ต้องทำการวิเคราะห์ทีละธาตุ และยังไม่สามารถแยกแยะแหล่งที่มาของธาตุต่างๆได้ จึงได้มีการพัฒนาการตรวจพิสูจน์เพื่อตรวจหาธาตุแอนติโมนี (Sb) , ธาตุ แบเรียม (Ba) และธาตุตะกั่ว (Pb) จากเขม่าปืน อันเกิดภายหลังจากการยิงปืน โดยการใช้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยายสูง ที่เรียกว่า เครื่อง Scanning Electron Microscopy, Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (SEM/EDS) ซึ่งได้รับการยอมรับ และเป็นมาตรฐานสากล [1]

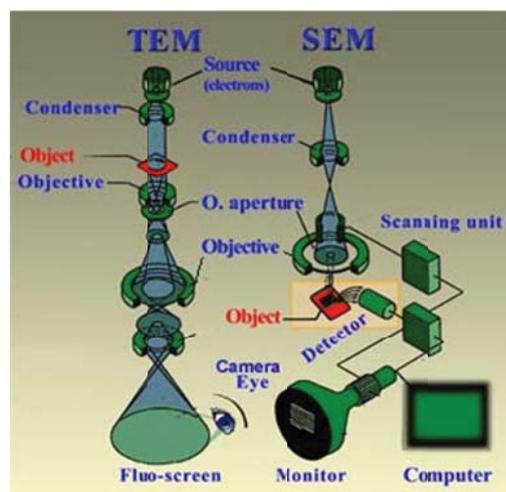
#### กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน Scanning Electron Microscope



ภาพที่ 31 แสดงส่วนประกอบต่างๆ ของกล้อง SEM [29]

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน เป็นเครื่องมือวิทยาศาสตร์ช่วยสายตาประเภท กล้องจุลทรรศน์ที่ใช้ลำแสงอิเล็กตรอน ฉายหรือส่องกราดไปบนผิวของตัวอย่างที่ต้องการ ตรวจสอบให้ได้ข้อมูลของลักษณะพื้นผิวปรากฏเป็นภาพขยายที่สามารถมองเห็น ได้ด้วยตาเปล่า หรืออาจบันทึกภาพที่บนแผ่นฟิล์มได้ กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน มีชื่อ คำเต็มว่า Scanning Electron Microscope และโดยทั่วไปแล้วผู้ที่คุ้นเคยกับอุปกรณ์ชนิดนี้มักจะเรียกชื่อย่อ “SEM” (ออกเสียงว่าเอสอีเอ็ม) ส่วนกล้องจุลทรรศน์ อีกชนิดหนึ่งซึ่งเป็นต้นกำเนิดของ SEM นั้น เป็น กล้องจุลทรรศน์ชนิดที่เรียกว่า Transmission Electron Microscope “TEM” (อ่านว่าทีอีเอ็ม) ซึ่งหมายถึงกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่ใช้ลำแสงอิเล็กตรอนส่องผ่านตัวอย่างที่บางมากและภาพที่เกิดขึ้นก็คือเงาที่ปรากฏบนแผ่นรับภาพ ซึ่งสามารถบันทึกบนแผ่นฟิล์มเช่นกัน ทั้ง SEM และ TEM มีลักษณะ โครงสร้างพื้นฐานคล้ายคลึงกันในระบบ โดยเฉพาะที่เกี่ยวข้องกับระบบสุญญากาศ การทำให้มีลำแสงอิเล็กตรอนและระบบเลนส์สนามแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งมีบทบาทในการรวมหรือกระจายลำแสงอิเล็กตรอนตัวอย่างที่ต้องการศึกษา หรือ ตรวจสอบระบบอื่นๆของกล้องทั้งสองประเภทมีความแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัดคือ ระบบของการสร้างภาพ และ ลักษณะของภาพ ที่ปรากฏนั้นคือ TEM มีระบบของการเกิดภาพได้ง่ายๆ ภาพที่เกิดขึ้นจะปรากฏให้ผู้ใช้เห็นได้ โดยตรงบนแผ่นรับภาพ และ ภาพนั้นเกิดความแตกต่างระหว่างความโปร่งใส และ ความทึบแสงที่ ลำแสงอิเล็กตรอนผ่านหรือไม่สามารถจะผ่านได้ ภาพที่ปรากฏก็คือเงาของตัวอย่าง ส่วนระบบการเกิดภาพใน SEM เป็นระบบที่ค่อนข้างจะยุ่งยาก ไม่ใช่เป็นเงาที่ภาพที่เกิดขึ้นโดยตรงอันเกิดจาก ลำแสงอิเล็กตรอน ผ่านหรือไม่สามารถจะผ่านตัวอย่างภาพใน SEM จึงเป็นภาพที่เกิดโดยทางอ้อม ซึ่งเป็นการรวบรวมสัญญาณที่เกิดภายหลังการกระทบลำแสงอิเล็กตรอนแล้วเปลี่ยนไปเป็นภาพให้ ปรากฏบนจอภาพ ที่มีลักษณะคล้ายจอโทรทัศน์ หรืออีกนัยหนึ่ง ภาพที่เกิดขึ้นใน SEM ก็คือผล จากการเปลี่ยนแปลง ของสัญญาณไฟฟ้าให้เป็นภาพถึงแม้ว่าภาพซึ่งเป็นผลหรือ ข้อมูลที่ได้รับมา โดยการใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนทั้ง 2 ประเภท ดังกล่าวคือ ทั้ง TEM และ SEM จะเป็นภาพ ของตัวอย่างที่เป็นภาพขยาย และมีรายละเอียดสูงก็ตาม ภาพที่เกิดจากการใช้อุปกรณ์ทั้ง 2 ประเภท มีลักษณะที่แตกต่างกันมาก ภาพที่ได้รับจากการใช้ TEM เป็นภาพขยายที่มีการแจ่มแจ้ง

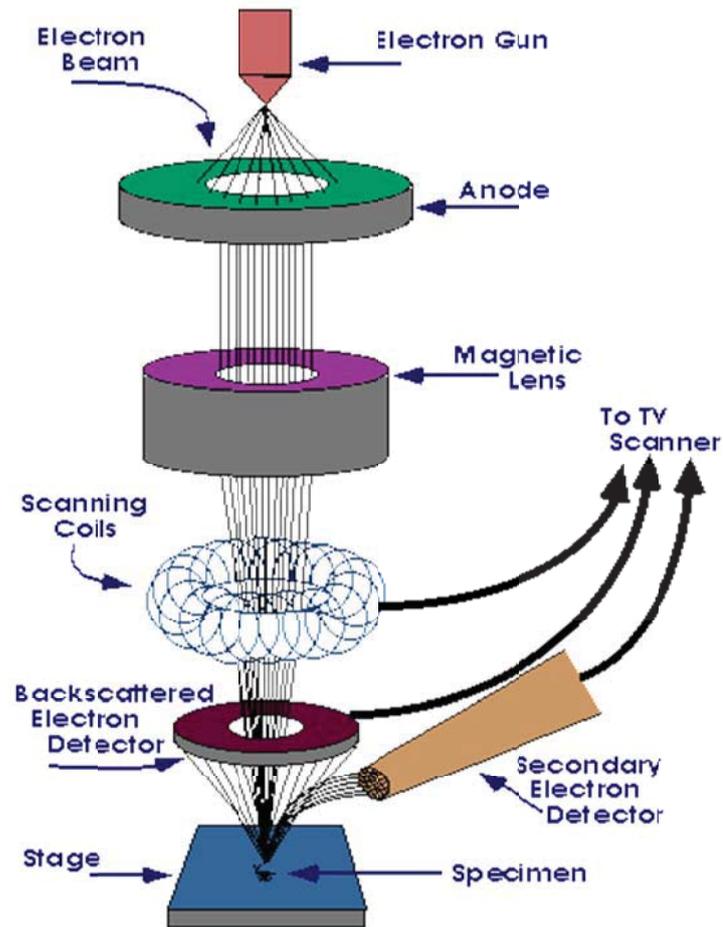
รายละเอียดสูง และมีลักษณะ 2 มิติ ส่วนภาพที่ได้รับจาก SEM นั้น นอกเหนือจากเป็นภาพที่มีคุณสมบัติในด้านกำลังขยายและรายละเอียดแล้วภาพที่ปรากฏจากการใช้ SEM ยังมีลักษณะพิเศษอีกหนึ่งคือ เป็นภาพที่มีความลึก หรือ เป็นภาพประเภท 3 มิติซึ่งทำความประทับใจแก่ผู้ใช้ SEM เป็นอย่างมาก ภาพที่ 3 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติและลักษณะของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบธรรมดา หรือ TEM กับกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน หรือ SEM ซึ่งเป็นที่นิยมกันในปัจจุบันเพื่อการประยุกต์ใช้สำหรับการเรียน การสอน และการวิจัยทางวิทยาศาสตร์แทบทุกแขนง หรือ สาขากล้องจุลทรรศน์ อิเล็กตรอนแบบสแกน SEM เป็นอุปกรณ์ที่ได้รับความนิยมมาตั้งแต่ปี ค.ศ. 1965 การประดิษฐ์อุปกรณ์ ชนิดนี้ได้มีมาในระยะเวลาใกล้เคียงกันกับประดิษฐ์ TEM คือ ในระหว่างปี ค.ศ. 1929-1931 ทั้งนี้เพราะการดัดแปลงอุปกรณ์ ที่รวบรวมสัญญาณอันเกิดจากลำแสงอิเล็กตรอนกระทบผิวของตัวอย่างยังไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอภาพที่ปรากฏที่ออกมาในจอภาพจึงพร่ามัวขาดรายละเอียดหรืออีกนัยหนึ่ง คือ มีการแจกแจงรายละเอียดต่ำ (lower resolution) ฉะนั้นความสนใจด้าน SEM จึงหยุดชะงักไประยะหนึ่งจนถึง ปี ค.ศ. 1965 เมื่อ SEM เครื่องแรกปรากฏออกสู่วงการวิทยาศาสตร์อีกครั้งอันเป็นผลจากการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงทั้งระบบเลนส์สนามแม่เหล็ก และ ระบบภาพให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น ทำให้บรรดานักวิทยาศาสตร์ ด้านวิทยาศาสตร์กายภาพ สนใจอุปกรณ์ชนิดนี้เป็นอย่างมากนับตั้งแต่นั้นเป็นต้นมา [9]



ภาพที่ 32 แสดงการเปรียบเทียบส่วนประกอบต่างๆ ของ SEM และ TEM [28]

### ส่วนประกอบพื้นฐานของ SEM

SEM ทั่วไปประกอบด้วยโครงสร้างที่คล้ายคลึงกัน โครงสร้างง่าย ๆ ที่เห็นได้ชัดแบ่งได้เป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ คือส่วนที่มีลักษณะคล้ายปล่องภายในกลวงเรียกว่า Column และส่วนที่เป็นตู้ควบคุมระบบไฟฟ้าทั้งหมดเรียกว่า Console Unit ทั้ง 2 ส่วนนี้ สามารถเห็นได้ชัด เพราะเป็นลักษณะภายนอกทั่วไปของ SEM จะขาดอย่างใดอย่างหนึ่งเสียมิได้ เพราะ Column ยังประกอบด้วยส่วนประกอบพื้นฐานที่ให้กำเนิดอิเล็กตรอนแล้วรวบรวมให้ส่องไปยังผิวของตัวอย่างที่วางอยู่ภายในช่องตัวอย่าง ซึ่งอยู่บริเวณฐานของ Column อุปกรณ์ซึ่งรับสัญญาณ ที่เกิดขึ้นภายหลังอิเล็กตรอนกระทบตัวอย่าง ถูกจัดวางไว้อย่างเหมาะสม ในบริเวณนี้เช่นกัน ส่วนภายใน Console Unit ซึ่งแผงควบคุมระบบควบคุมไฟฟ้าระบบสุญญากาศ และ ระบบถ่ายภาพนั้นประกอบด้วยชิ้นส่วนของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่จัดไว้ เป็นระบบ เช่น การควบคุมลำแสงอิเล็กตรอนภายใน Column จำเป็นต้องใช้ปุ่มบังคับที่อยู่บนแผงควบคุมของ Console Unit นอกเหนือจาก Column และ Console Unit ซึ่งเป็นส่วนที่จำเป็นอย่างยิ่งสำหรับ SEM แล้ว SEM ยังมีส่วนประกอบที่จำเป็น เช่นเดียวกับกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบ TEM คือ ระบบทำสุญญากาศ (Vacuum system) ระบบทำไฟฟ้าแรงสูง (High voltage generator) และระบบทำความเย็นโดยการหมุนเวียนน้ำเย็น (Water cooling system) ซึ่งระบบต่างๆ เหล่านี้สามารถหารายละเอียดได้จากตำราหรือหนังสือที่เกี่ยวกับกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนทั่วไป เพื่อให้เข้าใจ ถึงระบบการทำงาน SEM รวมทั้งการใช้และการบำรุง SEM ได้อย่างถูกต้องผู้ใช้หรือผู้ที่สนใจ SEM จำต้องศึกษาส่วนประกอบพื้นฐานต่างๆ ของ SEM ในรายละเอียดเพื่อให้ได้ทราบถึงทฤษฎี หลักการและเหตุผลของแต่ละส่วน ที่จำเป็นสำหรับการใช้ SEM ให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น [9]



ภาพที่ 33 แสดงส่วนประกอบต่างๆ ของ SEM [28]

1. แหล่งกำเนิดอิเล็กตรอน (Electron gun )
2. เลนส์ควบคุมลำแสงอิเล็กตรอน ( Electromagnetic lens) และขดลวดควบคุมการเคลื่อน  
ของ ลำแสงอิเล็กตรอน (Scan coil )
3. ช่องตัวอย่าง (Specimen Chamber)
4. อุปกรณ์รวบรวมสัญญาณ (Collector & scintillator)
5. อุปกรณ์สร้างภาพและถ่ายภาพ (Imaging photographic devices)

## 1. แหล่งกำเนิดอิเล็กตรอน ( Electron gun )

อยู่ด้านปลายบนสุดของ Column ซึ่งต่อกับสายไฟฟ้าแรงสูงที่ต่อจากถังแปลงไฟฟ้าแรงสูง ซึ่งแปลงจาก 110 volts หรือ 220 volts เป็นไฟฟ้าที่มีความดันไฟฟ้าสูงคือระหว่าง 1-30 Kilovolts ซึ่งเพียงพอสำหรับ SEM แหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนประกอบด้วยลวดโลหะ Tungsten ที่บิดเป็นรูปตัววีเรียกว่า filament และ ล้อมด้วยโลหะรูปกรวย (Wehnelt cylinder) มีอยู่ปลายกรวยเมื่อกระแสไฟฟ้าตั้งแต่ 1000 volts จะไปเข้ามาสู่ filament ลวดตัววีดังกล่าวก็จะมีความร้อนสูงประจุอิเล็กตรอน ก็จะกระจายออกมาในสภาวะสุญญากาศภายใน Column ประจุอิเล็กตรอนซึ่งเป็นประจุลบจะถูกดึงดูดด้วยแผ่นขั้วบวก (Anode plate) ที่อยู่ด้านล่างของ Electron gun ประจุอิเล็กตรอนส่วนใหญ่จะถูกดึงผ่านรูของกรวยไปยังทิศทางที่กำหนด คือ ลงสู่สนามแม่เหล็กที่สามารถรวบรวมประจุ อิเล็กตรอนที่มีอยู่ ให้เป็นลำแสงอิเล็กตรอนที่มีความหนาแน่นเพียงพอสำหรับฉายลงบนตัวอย่าง Electron gun ซึ่งมี filament และ Wehnelt cylinder อยู่ภายในสามารถทำให้ขยับเขยื้อนได้ด้วยสกรูที่อยู่รอบๆ ด้านนอก Electron gun ทั้งนี้เพื่อปรับให้ Electron gun อยู่ในแนวตรงได้ ศูนย์กลางหรือตั้งฉาก กับสนามแม่เหล็กของเลนส์ สนามแม่เหล็กภายใน Column ใน SEM สมัยใหม่ นอกจากจะมีปุ่มหรือสกรูที่ช่วยปรับ Electron gun ให้ได้ศูนย์แล้วยังมีขดลวดที่มีสนามแม่เหล็กไฟฟ้า บริเวณแผ่น Anode เพื่อจะช่วยปรับลำแสงอิเล็กตรอนให้อยู่ศูนย์กลางของสนามแม่เหล็กในเลนส์ชุดแรกขดลวดดังกล่าวเรียกว่า Alignment coil ซึ่งสามารถควบคุมและปรับได้ตามต้องการ โดยหมุนและปรับปุ่ม Alignment knobs บนแผงของ Console unit เหตุที่ต้องปรับ Electron gun ก็เพื่อจะให้ลำแสงอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้น มีความสมบูรณ์เป็นรูปทรงกระบอกที่ไม่บิดเบี้ยวหรือเขวออกไปจากศูนย์กลางหากมีการบิดของลำแสงอิเล็กตรอนออกนอกทิศทางอิเล็กตรอนปฐมภูมิ ( Primary electron ) บางส่วนจะถูกกั้นออกไป ซึ่งมีผลกระทบต่อปริมาณของอิเล็กตรอนทุติยภูมิ (Secondary electron ) [25]

## 2. เลนส์ควบคุมลำแสงอิเล็กตรอนพร้อมขดลวดขับเคลื่อนลำแสงอิเล็กตรอน

### ( Electron magnetic lens & Scan coils )

เป็นชุดอุปกรณ์ที่ทำงานร่วมกันทำหน้าที่รวบรวมอิเล็กตรอนปฐมภูมิให้เป็นลำแสงรูปกรวยที่เล็กที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ลำแสงดังกล่าวไปตกกระทบ บนผิวตัวอย่าง และจะใช้สนามแม่เหล็กขับ หรือผลักให้ลำแสงอิเล็กตรอนปฐมภูมิเคลื่อนไปบนผิวตัวอย่างในแนวที่ต้องการเป็นบริเวณรูปสี่เหลี่ยมจตุรัส เลนส์แต่ละชุดมี Aperture ซึ่งเป็นโลหะประเภททองขาวทองเหลืองมีรูปร่างต่าง ๆ กัน (50 um – 400 um) และสามารถ เปลี่ยนได้ตามขนาดที่ต้องการ Aperture ดังกล่าวมักจะจัดไว้ในเส้นสัปดาห์แต่ละชุดภายในบริเวณที่ไร้สนามแม่เหล็กของเลนส์ Aperture เหล่านั้น ทำหน้าที่กำหนดให้ลำแสงอิเล็กตรอนที่ผ่านสนามแม่เหล็กของเส้นสัปดาห์แต่ละชุดให้มีรูปกรวยที่สมมาตร Aperture ของเลนส์ชุดสุดท้ายก่อน ที่ลำแสงอิเล็กตรอนจะมาสัมผัสกับตัวอย่างเป็น Aperture พิเศษเรียกว่า Objective Aperture มีไว้เพื่อถ่วงดุลลำแสงอิเล็กตรอนให้เป็นรูปกรวยขนาดเล็ก ที่มีความสมมาตรที่สุด และ กำหนดขนาดและปริมาณของอิเล็กตรอน ให้กระทบจุดต่าง ๆ บนผิวตัวอย่าง เพื่อให้ภาพที่มีความลึกมากกว่าปกติ ขดลวดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ทำหน้าที่ขับเคลื่อนลำแสงอิเล็กตรอนปฐมภูมิ ให้กวาดไปบนผิวของตัวอย่าง ชิ้นส่วนหรืออุปกรณ์นี้เรียกว่า Scan coils ซึ่งควบคุมโดยระบบไฟฟ้าและ ยังควบคุมการกวาดของลำแสง ที่เป็นเส้นในจอรับภาพ (CRT) ให้เคลื่อนที่ไปในทิศทาง และ เวลาเดียวกันกับลำแสงอิเล็กตรอน [25]

### 3. ช่องใส่ตัวอย่าง ( Specimen chamber )

เป็นช่องว่างใต้เลนส์สุดท้าย ส่วนที่สำคัญของช่องใส่ตัวอย่าง คือ ฐานวางตัวอย่าง และ ปุ่มควบคุม โดยใช้เฟืองขนาดต่างๆ เพื่อเลื่อนฐานนี้ให้เลื่อนไปมา ภายในช่องตัวอย่างได้อย่างน้อย 6 ทิศทาง ฐานวางตัวอย่างที่มีส่วนประกอบ และคุณสมบัติเหล่านี้เรียกว่า Goniometer stage

### 4. อุปกรณ์รวบรวมสัญญาณ ( Collector & Scintillator )

เป็นแท่งแก้วใสมีปลายมล ทำด้วยพลาสติกฉาบผิวด้วยอลูมิเนียม และส่วนปลายของแท่งนี้ ล้อมด้วยตาข่ายโลหะที่ต่อกับวงจรไฟฟ้าประจุขนาด +30 - 250 โวลต์ เพื่อดึงคู่ประจุอิเล็กตรอนทุติยภูมิ อันเกิดจากปฏิกิริยาระหว่าง ประจุอิเล็กตรอนปฐมภูมิ กระแทกกับผิวของตัวอย่าง

## 5. อุปกรณ์สร้างภาพและถ่ายภาพ (Imaging & Photographic devices)

ทำหน้าที่เปลี่ยนแปลงสัญญาณที่ได้รับเป็นภาพ และภาพที่ปรากฏบนจอCRT ก็พร้อมที่จะทำการบันทึก อุปกรณ์สร้างภาพประกอบด้วย ท่อนำแสง และ เครื่องขยายและเปลี่ยนสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์ ให้เป็นแสงไฟฟ้า การสร้างภาพ เริ่มจากประจุอิเล็กตรอนทุติยภูมิ ซึ่งประจุอิเล็กตรอนชุดนี้จะถูกจับ และรวบรวมไว้ แล้วนำสู่แท่งแก้วใสประเภทท่อนำแสงในลักษณะของแสงแสงที่ผ่าน ท่อแท่งแก้วนี้ จะเคลื่อนไปสู่เครื่องขยายแสง (Photo multiplier) ซึ่งจะเปลี่ยนแสงชนิด Photons นี้ ไปอิเล็กตรอนอีกครั้งหนึ่ง อิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นจะผ่านเครื่องขยายให้ป็นสัญญาณไฟฟ้าให้ปรากฏในจอภาพ (CRT) ที่ติดตั้งไว้บน Console Unit [9]

### การกำเนิดภาพ

กลุ่มอิเล็กตรอนปฐมภูมิ (Primary Electron Beam) กระทบกับตัวอย่างจะเกิดปฏิกิริยาระหว่างอิเล็กตรอนกับผิวตัวอย่างทำให้มีอิเล็กตรอนทุติยภูมิ (Secondary Electron) ซึ่งมีพลังงานต่ำหนีออกมาจากชั้นบางของพื้นผิวไม่เกิน 5 nm อิเล็กตรอนประเภทนี้บางประจุ อาจหนีออกมาไม่ได้เพราะ ถูกดูดกลับเข้าชั้นในตัวอย่าง ส่วนที่ลึกลงเกิน 5 nm ก็สูญหายไปในที่สุดประจุอิเล็กตรอนบริเวณ ชั้นบนของผิวดังอย่างที่หลุดออกมา จะถูกจับและรวมเป็นสัญญาณโดย Collector และ Scintillator ซึ่งสัญญาณนี้จะเปลี่ยนไปเป็น Photon ของแสงและจะถูกส่งผ่านท่อ นำแสง (Light pipe) ไปยัง Photo-multiplier ซึ่งจะเปลี่ยน Photon ไปเป็นอิเล็กตรอนชุดหลังจะถูกขยายให้ป็นสัญญาณไฟฟ้า โดย Amplifierให้มีจำนวนเพิ่มขึ้นอย่างมากมายในที่สุดสัญญาณไฟฟ้าเหล่านั้นถูกแปรไปเป็นภาพขาวดำ ที่ปรากฏบนจอโทรทัศน์ หรือ บนจอภาพ CRT และพร้อมที่จะบันทึกภาพซึ่งเกิดจาก ความแตกต่าง (Contrast) ระหว่างความสว่างบนจอภาพ (ดำ) กับความมืด (ขาว) ด้วยกล้องถ่ายภาพที่ปรากฏบนจอภาพ CRT เป็นภาพขยายของบริเวณสี่เหลี่ยมจัตุรัส ของพื้นผิวที่ลำแสงอิเล็กตรอนเคลื่อนผ่านในช่วงเวลานั้น การที่จะเพิ่มหรือลดกำลังขยายของภาพ จำต้องควบคุมเนื้อที่ ที่ลำแสงอิเล็กตรอนครอบคลุม เช่น กำหนดให้ลำแสงอิเล็กตรอนปฐมภูมิ ส่องกราดไปบริเวณจัตุรัสขนาดเล็กภาพที่ปรากฏจะเป็นภาพขยายขนาดใหญ่ หรือในทาง

กลับกัน หากกำหนดให้ลำแสงอิเล็กตรอนเคลื่อนในบริเวณที่กว้างใหญ่ภาพที่ปรากฏบนจอ CRT ก็เป็นภาพที่มีกำลังขยายต่ำ [25]

ในการวิจัยในครั้งนี้ ได้ใช้ถุงมือผ้าขาว เนื้อ Cotton เป็นตัวแทนเสื้อผ้าที่คราบเขม่าป็นจะปลิวไปติด ซึ่งเป็นอีกปัจจัยที่จะส่งผลต่อการตรวจพบคราบเขม่าอนุภาค ภายหลังจากการ ยิงปืน โดยเนื้อผ้านั้น มีความแตกต่างกันทั้งชนิด ประเภท โครงสร้างการเรียงตัว ตลอดจนคุณสมบัติทางกายภาพ หรือทางเคมี ซึ่งล้วนแล้วแต่ส่งผลต่อการติดแน่น หรือ คงอยู่ ของอนุภาคที่เกิดภายหลังจากการยิงปืน จำเป็นต้องทราบถึงคุณสมบัติ และ ความแตกต่างของเนื้อผ้า เพื่อเป็นประโยชน์ต่องานวิจัย และด้านการตรวจพิสูจน์

## **เส้นใยและองค์ประกอบของเส้นใย**

### **เส้นใย (fibers)**

เส้นใยเป็นพอลิเมอร์อีกชนิดหนึ่งที่เรานำมาใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวัน เช่น ใช้ทำเครื่องนุ่งห่ม ใช้ทำเครื่องใช้ต่างๆ เป็นต้น

### **ประเภทของเส้นใย**

สามารถแยกประเภทของเส้นใยได้หลายแบบขึ้นอยู่กับลักษณะการจัดแบ่ง ในที่นี้แบ่งตามแหล่งกำเนิดของเส้นใยซึ่งจะแบ่งได้สองประเภทใหญ่ๆ คือ เส้นใยธรรมชาติและเส้นใยประดิษฐ์ ในกลุ่มของเส้นใยธรรมชาติแบ่งย่อยได้เป็นเส้นใยที่มาจากพืช จากสัตว์ และจากแร่ ส่วนเส้นใยประดิษฐ์สามารถแยกเป็นเส้นใยประดิษฐ์จากธรรมชาติ เส้นใยสังเคราะห์ และเส้นใยประดิษฐ์จากวัสดุอื่น

#### **1.1 เส้นใยจากธรรมชาติ**

ใยประเภทนี้เป็นใยที่มีกำเนิดเป็นเส้นใยอยู่แล้วในธรรมชาติ เพียงแต่นำมาดัดแปลงเพียงเล็กน้อยก็ใช้ประโยชน์ได้ ใยธรรมชาติได้มาจากหลายทางด้วยกัน คือ

##### **1.1.1 เส้นใยจากพืช**

หมายถึง เส้นใยที่มีส่วนประกอบมูลฐานเป็นเซลลูโลส อันเป็นส่วนประกอบที่สำคัญยิ่งที่นำมาให้พืชยืนต้นอยู่ได้ ประกอบด้วยกลุ่มไฮโดรอกซิลโคสจำนวนมาก มาจับกลุ่มต่อกันยาวหรือ

เป็นโมเลกุลใหญ่ กุณโศสแต่ละตัวจะประกอบด้วย คาร์บอน 44% ไฮโดรเจน 1.2 % และ ออกซิเจน 49.4% ไยเซลลูโลสได้จากส่วนต่างๆของพืช เช่นจาก เมล็ด ใบ และลำต้น ได้แก่ ฝ้าย นุ่น ลิ้นจี่ ป่าน ฯลฯ สำหรับเส้นใยธรรมชาติที่ใช้กันมากที่สุด คือ ฝ้าย

### 1.1.2 เส้นใยจากสัตว์

หมายถึง เส้นใยที่มีส่วนประกอบมูลฐานเป็นโปรตีน ประกอบด้วยกรดอะมิโน ซึ่งจับตัวกันเป็นโซ่ในรูปของโพลีเปปไทด์ ซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุลค่อนข้างสูง และยังประกอบด้วยธาตุ คาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน และไนโตรเจน เส้นใยจากสัตว์ส่วนมากได้จากไหม (silk) ขน แกะเมอริโน ขนแกะแองกอร่า (โมแฮร์) ฯลฯ

### 1.1.3 เส้นใยจากหินแร่

ได้แก่ ไยหิน ทนต่อการกัดกร่อนของสารเคมี ทนไฟ ไม่นำไฟฟ้า

## 1.2 เส้นใยประดิษฐ์

เป็นเส้นใยที่มนุษย์ประดิษฐ์ขึ้น เพื่อทดแทนความไม่เพียงพอของผลผลิตเส้นใยธรรมชาติและเพื่อปรับปรุงแก้ไขสมบัติที่บกพร่องของใยธรรมชาติ ไยประดิษฐ์ได้ดัดแปลงขึ้นจาก วัสดุธรรมชาติ หรือสังเคราะห์ขึ้นมาจากสารเคมีโดยตรง เพื่อให้มีเส้นใยเลือกใช้ได้มากมายตาม วัตถุประสงค์ของผู้บริโภค เพราะปัจจุบันนี้เส้นใยประดิษฐ์ถือเป็นปัจจัยสำคัญมาก ไยประดิษฐ์ เป็นเส้นใยที่แปลงรูปให้ได้ตามความต้องการมีทั้งเส้นใยสั้นและใยยาว ให้ประโยชน์หลากหลาย รูปแบบ ซึ่งสามารถจัดจำแนกได้สองประเภทด้วยกันผ้าที่ผลิตจากใยโปรตีนจะมีราคาแพงกว่าใยเซลลูโลสเพราะต้นทุนสูง

### 1.2.1 เส้นใยสังเคราะห์

เป็นเส้นใยที่ผลิตขึ้นโดยการแปลงรูปใยจากพืชและสัตว์ ซึ่งแบ่งได้ดังนี้คือ

**เซลลูโลสสังเคราะห์** เป็นเส้นใยที่ผลิตจากการสังเคราะห์ เซลลูโลสธรรมชาติ เช่น เยื่อไม้ (Wood Cellulose) เศษฝ้าย (Cotton Waste) และเศษฝ้ายติดเมล็ด (Cotton Linter) โดยใช้สารละลาย

เซลดูลอสเหล่านี้ผ่านกระบวนการทางเคมี กัดหรืออัดผ่าน Spinneret ให้เป็นเส้นยาว เส้นใยประเภทนี้ได้แก่ เรยอน อาซิเตท ไตรอาซิเตท เป็นต้น

**โปรตีนสังเคราะห์** คือ ใยที่มนุษย์ประดิษฐ์ขึ้นโดยการแปลงรูปใยที่ได้จากสัตว์และพืชมา รวมกับสารใหม่ขึ้น ใยสังเคราะห์จากสารโปรตีน เรียกว่า แอสลอน

**โปรตีนสังเคราะห์แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ**

1. ใยโปรตีนสังเคราะห์จากสัตว์ เช่น หางนม
2. ใยโปรตีนสังเคราะห์จากพืช เช่น ข้าวโพด ถั่วเหลือง ถั่วลิสง

ใยโปรตีนสังเคราะห์ทั้งสองชนิด คือ ใยโปรตีนสังเคราะห์จากสัตว์และจากพืช จะแตกต่างกันตามที่มาของวัตถุดิบที่ใช้ผลิต เช่น จากสัตว์จะได้สารโปรตีนจากหางนม และจากพืช จะได้สารโปรตีนจากข้าวโพด ถั่วเหลือง และถั่วลิสง นอกจากนั้นแตกต่างกันทางกระบวนการผลิตและคุณสมบัติบางประการ

สมบัติทั่วไปของเส้นใยโปรตีนสังเคราะห์ ซึ่งมีผลต่อการใช้และการดูแลรักษา มีสมบัติ นุ่ม อุ่น ดูดความชื้นได้ดี

### 1.2.2 เส้นใยสังเคราะห์จากสารเคมี

ใยสังเคราะห์จากสารเคมี เป็นเส้นใยที่ผลิตขึ้นโดยใช้สารเคมีอนุเล็กๆ ที่ได้จากผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมมารวมตัวกันเป็นอนุใหม่ ซึ่งเรียกว่า โพลีเมอร์ (polymer) ใยที่ได้ส่วนใหญ่เป็นเส้นใยที่ไม่ทนร้อน มีอยู่หลายชนิดเรียกชื่อตามที่บริษัทผู้ผลิตตั้งขึ้น เช่น เดครอน เทอร์ริลิน ไนลอน อาร์ลอน เป็นต้น

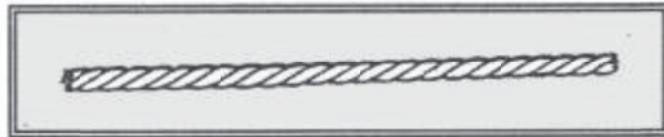
## 2. ด้าย (yarns)

เส้นด้ายมีลักษณะเป็นเส้นยาวที่ประกอบขึ้นจากเส้นใยหลายๆเส้นรวมกัน โดยอาจมีการขึ้นเกลียวหรือไม่ก็ได้ แบ่งออกเป็นสองชนิดแบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ ด้ายทอผ้า (Yarn) และด้ายเย็บผ้า

### 2.1 ด้ายทอผ้า แบ่งออกเป็นชนิดต่าง ๆ ดังนี้

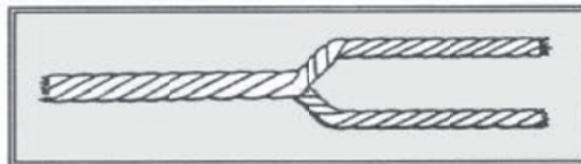
ด้ายธรรมดา (Simple yarn) คือ ด้ายที่มีขนาดเท่ากัน จำนวนเกลียวสม่ำเสมอเหมือนกันตลอดทั้งเส้น จำแนกออกเป็นชนิดต่าง ๆ ได้ ดังนี้

**2.1.1 ด้ายเส้นเดี่ยว (Single yarn)** มีเส้นด้ายเพียงเส้นเดียว เข้าเกลียวแน่นหรือหลวมก็ได้มีหลายขนาด



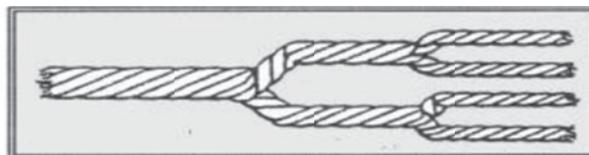
ภาพที่ 34 แสดงโครงสร้างของฝืนผ้าจากด้ายเส้นเดี่ยว

**2.1.2 เส้นด้ายรวม (Ply yarn)** คือ เส้นด้ายเดี่ยวรวมกันตั้งแต่ 2 เส้นขึ้นไป



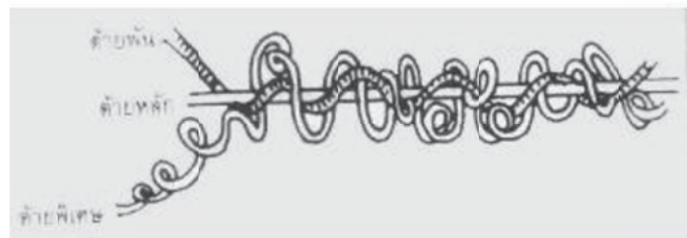
ภาพที่ 35 แสดงโครงสร้างของฝืนผ้าจากเส้นด้ายรวม

**2.1.3 เส้นด้ายเชือก (Cord)** คือ นำเส้นด้ายรวมมาเข้าเกลียวรวมกันทีละคู่ เป็นด้ายเชือกด้ายจะเหนียวมาก



ภาพที่ 36 แสดงโครงสร้างของเส้นด้ายเชือก

**2.1.4 เส้นด้ายพิเศษ (Novelty yarn or Complex yarn)** เป็นเส้นด้ายที่มีลักษณะไม่สม่ำเสมออาจเป็นปม ห่วง ขนฟูหรือเส้นใยต่างสี มีเส้นด้ายเดี่ยวเป็นหลักก่อนหนึ่งเส้น แล้วใช้ด้ายอื่นหรือเส้นใยมาพันทับอีกครั้งหนึ่ง เส้นสุดท้ายเป็นเส้นยึดให้ด้ายเส้นที่ 2 หรือเส้นใยติดแน่นกับด้ายเส้นแรก มีแตกต่างกันหลายชนิด



ภาพที่ 37 แสดงโครงสร้างของเส้นด้ายพิเศษ

**2.2 ด้ายเย็บผ้า (Thread)** ปัจจุบันด้ายเย็บที่นิยมทั่วไป แบ่งได้ตามชนิดของวัตถุดิบที่ใช้ ดังนี้

**2.2.1 ด้ายเย็บจักรฝ้าย (Cotton Thread)** เป็นด้ายเย็บที่ผลิตจากเส้นใยฝ้ายล้วน 100 %

ซึ่งเป็นด้ายที่นิยมใช้กันมานานแล้ว มีคุณสมบัติที่สำคัญ คือ

1. ทนต่อการซักรีด
2. มีอัตราการยืดหดต่ำ
3. ทนต่อความร้อนที่เกิดจากเตารีดหรือความร้อน

จากคุณสมบัติดังกล่าว ทำให้ด้ายฝ้ายเหมาะสำหรับการเย็บเสื้อผ้าที่ทำจากฝ้ายผ้าบางชั้นสูงที่ไม่ต้องการรอยย่นเพราะการยืดหดตัวของเส้นด้าย และเสื้อผ้าที่เย็บด้วยจักรที่มีความเร็วรอบสูง

**2.2.2 ด้ายเย็บจักรใยประดิษฐ์ (Man – made Thread)** เป็นด้ายที่เย็บผลิต

ขึ้นจากเส้นใยสังเคราะห์ที่มนุษย์พัฒนาขึ้นมาแทนด้ายเย็บผ้าฝ้าย มีอยู่หลายชนิด แต่นิยมมากที่สุด  
ในปัจจุบัน คือ Spun Polyester มีคุณสมบัติที่ดีเด่น ดังนี้

1. เส้นด้ายเหนียว
2. สีไม่ตก คงทน
3. อัตราการยืดค่อนข้างสูง

ด้ายเย็บประเภทนี้ใช้สำหรับเย็บผ้าใยประดิษฐ์ทั่วไป มีอัตราการยืดของฝ้ายค่อนข้างสูง  
ขณะสวมใส่

**2.2.3 ด้ายเย็บจักร (Core Thread)** เป็นด้ายที่พัฒนาขึ้นมาใหม่สูง ซึ่งเป็นด้ายที่  
ผลิตโดยมีเส้นใย ใยฝ้ายเคลือบรอบ ๆ (Wrapping) เส้นใยขาว โพลีเอสเตอร์ (Polyester Filament) มี  
ลักษณะพิเศษ คือ

1. ทนความร้อนทั้งการรีดและการเสียดสีสูง
2. มีความเหนียวสูง
3. การยืด - หด ต่ำ
4. ทนต่อการซัก - รีด

ด้ายชนิดนี้ เหมาะสำหรับการเย็บผ้าทุกชนิด ที่ไม่ต้องการผลผลิตต่อระยะเวลาสูงความ  
คงทน แข็งแรง ทนต่อการเสียดสีและทนต่อแรงดึงที่มีความแรงของจักร 6,000 รอบต่อนาทีได้

**2.3 ขนาดของด้าย (Yarn size)** ขนาดของด้ายสามารถวัดได้ด้วยวิธีการระบบวัด  
หลายแบบ คือเลขด้าย (yarn number) ดีเนียร์ (denier) และ เท็กซ์ (tex)

**2.3.1 ระบบการวัดแบบเลขด้าย (yarn number)** มักใช้กับด้ายที่ทำด้วยเส้น  
ใยสั้น (spun yarn) โดยเป็นค่าความยาว (หลาย) ต่อหน้าหนัก 1 ปอนด์ของด้าย หน่วยวัดความยาวหนึ่ง

ที่ใช้ในระบบนี้คือ แสงค์ (hank) โดย 1 แสงค์ยาว 840 หลา ด้ายที่มีขนาดเล็กก็จะมีค่าเลขด้ายสูงกว่า ด้ายที่มีขนาดใหญ่กว่า

**2.3.2 ดีเนียร์และเท็กซ์ (denier and tex)** ใช้กับด้ายที่ทำด้วยเส้นใยยาว เป็นการวัดค่าน้ำหนัก (กรัม) ต่อความยาว 9000 เมตร เช่นเดียวกับที่ใช้กับเส้นใย

**2.3.3 กระบวนการผลิตด้าย (yarn manufacturing)** กระบวนการผลิตด้าย จากเส้นใยสั้น จะมีกระบวนการหลายขั้นตอน กว่าการผลิตด้ายจากเส้นใยยาว ซึ่งมีเพียงการนำเอา เส้นใยมารวมกัน แล้วขึ้นเกลียว ดังนั้นในที่นี้จะกล่าวถึงกระบวนการผลิต เส้นด้ายจากเส้นใยสั้น โดยจะยกตัวอย่างกระบวนการผลิตของเส้นใยฝ้าย

การผลิตด้ายจากเส้นใยสั้น (spun yarn) มีขั้นตอนกระบวนการผลิตดังนี้

1. การเปิด (opening) เป็นการทำให้เส้นใยที่อัดอยู่ในกอง (bale) มีการเปิดและกระจายตัว รวมทั้งทำการผสมเส้นใยให้ทั่วถึง (uniform) มากขึ้น

2. การสาวใย (carding) เป็นการทำให้เส้นใยเรียงตัวไปในทิศทางเดียวกัน เส้นใยมีการสาน กันไปมาเป็นใย (web) บาง

3. การดึง (drawing) เป็นการเพิ่มการจัดทิศทางของเส้นใยให้ขนานกันมากขึ้น โดยใย (web) ที่ได้จะถูก ดึงผ่านลูกกลิ้งที่มีความเร็วต่างกัน ทำให้เกิดเป็นเส้นด้ายที่มีการรวมตัวของเส้นใย อย่างหลวมๆ

4. การขึ้นเกลียว (roving) เป็นการดึงเพิ่มเติมเพื่อจัดเส้นใยให้มีการเรียงตัวไปในทิศทาง เดียวกันมากขึ้น มีการขึ้นเกลียวนิคหน้อยเพื่อเพิ่มแรงยึดระหว่างเส้นใย

5. การปั่นเส้นด้าย (spinning) เป็นการนำเอาด้ายที่มีการขึ้นเกลียวเล็กน้อย มาขึ้นเกลียว เพิ่ม เพื่อให้ได้ เส้นด้ายที่มีความแข็งแรง

### 3. ผ้า (Fabric)

ผ้าหมายถึง วัสดุที่เป็นเส้นมีความกว้างและความยาวผลิตมาจากเส้นใย จะทำเป็นเส้นด้ายก่อนหรือไม่ก็ได้ และจำทำเป็นผ้าด้วยวิธีใดก็ได้ เมื่อแบ่งแยกตามลักษณะการผลิตสามารถแบ่งประเภทผ้าออกเป็น 3 แบบคือ ผ้าทอ (woven fabrics) ผ้าถัก (knitted fabrics) และผ้าอัด (nonwoven)

#### 3.1 ผ้าทอ (woven fabrics)

เป็นการผลิตจากการใช้เส้นด้ายสองกลุ่มหรือมากกว่า มาสอดขัดกันเป็นมุมฉากซึ่งกันและกัน เรียกว่าเส้นด้ายยืนและเส้นด้ายพุ่ง ผ้าทอจะสามารถเลาะเส้นด้ายออกจากผืนผ้าได้ทีละเส้น มีแนวของเส้นด้าย (grain) ที่บอกตำแหน่งเส้นด้ายยืนและเส้นด้ายพุ่ง ส่วนแนวเฉียงที่แท้จริง (truebias) คือเส้นทแยงมุม ในผืนผ้าสี่เหลี่ยม

การทอพื้นฐาน จะแบ่งเป็น 3 แบบได้แก่

**3.1.1 การทอลายขัด** เป็นการทอเส้นด้ายยืนสอดขัดสลับกับเส้นด้ายพุ่งเป็นมุมฉาก เส้นด้ายยืนทุกเส้นจะสอดกับเส้นด้ายพุ่งทุกเส้นทำให้เกิดการสอดขัดสลับกันตลอดความยาวของผืนผ้า ลักษณะเฉพาะของการทอแบบนี้ก็คือผ้าที่ได้จะไม่มีด้านถูกและด้านผิด จึงสามารถใช้งานได้ทั้ง 2 ด้าน ยกเว้นจะมีการตกแต่งบนผิวผ้าด้านใดด้านหนึ่ง การสอดขัดของเส้นด้าย 2 หมู่เช่นนี้ทำให้ได้ผ้าค่อนข้างแน่น ทนทาน ไม่ลู่ง่าย ผิวผ้าเรียบ เหมาะสำหรับใช้เป็นผ้าสำหรับพิมพ์ลายหรือขัดลายนูนเป็นลวดลายต่างๆ ซึ่งทำให้เกิดเป็นเนื้อผ้าชนิดต่างๆ ดังนี้ ผ้าทอลายขัดเนื้อบาง ผ้าทอลายขัดเนื้อปานกลาง ผ้าทอลายขัดเนื้อหนา และผ้าทอลายขัดคัดแปลง

**3.1.2 การทอลายสอง** เป็นการทอชนิดหนึ่งที่เส้นด้ายยืนหรือเส้นด้ายพุ่งแต่ละเส้นจะสอดข้ามอีกเส้นหนึ่ง ไปสองเส้นหรือมากกว่า แล้วอาจสอดข้ามไปทางด้านหน้าหรือหลังครั้งละ 1 เส้น การทอเช่นนี้ทำให้เกิดลายผ้าเป็นแนวเส้นทแยงที่เห็นชัดเจนไปทางด้านซ้ายหรือขวา การทอลายสองมักระบุเป็นตัวเลข เช่น 2/1 อ่านว่า “ขึ้นสอง ลงหนึ่ง” ลักษณะเฉพาะของการทอแบบนี้

ก็คือ มีด้านถูกและด้านผิด แต่ไม่มีด้านขึ้นและด้านลง เนื่องจากการสอดขัดกันน้อยครั้งทำให้เส้นด้ายสามารถเคลื่อนไหวอิสระมากขึ้นจึงทำให้ผ้ามีความอ่อนนุ่มขึ้น สามารถโค้งงอ (ทิ้งตัว) ได้ง่ายเมื่อเปรียบเทียบกับผ้าทอลายขัด อีกทั้งยังกินรอยยับได้ดีกว่า นอกจากนี้ผ้าลายสองยังสามารถแบ่งเป็นชนิดต่างๆตามลักษณะของเนื้อผ้าได้ดังนี้ผ้าทอลายสองธรรมดา และผ้าทอลายสองสมดุล

**3.1.3 การทอตัวน** เป็นการทอที่เส้นด้ายยืนแต่ละเส้นสอดข้ามเส้นพุ่ง 4 เส้น (4/1) และไปขัดกับด้ายเส้นที่ 5 สอดข้ามไปด้านขวาหรือด้านซ้าย ทำให้เห็นเส้นยืนลอยอยู่บนหน้าผ้าเป็นส่วนใหญ่ เรียกว่าตัวนด้ายยืน ถ้าหากใช้ด้ายพุ่งข้ามเส้นด้ายยืน 4 เส้น แล้วสอดขัดกับด้ายยืนเส้นที่ 5 (1/4) ตามลำดับไปทางด้านขวาหรือซ้าย เรียกว่าตัวนด้ายพุ่ง มีลักษณะเฉพาะของการทอแบบนี้คือ จะมีด้านถูกและด้านผิด ด้านถูกจะมีความมันเงา ส่วนด้านผิดจะไม่เงาหรือมีความขรุขระ ถ้าเส้นด้ายลอยข้ามยาวไม่มากจะทำให้ผ้าจะมีความแข็งแรง เนื้อแน่น แต่ถ้าด้ายข้ามยาวก็ทำให้เนื้อผ้า มีความเงามันมาก ทิ้งตัวดี ลมผ่านยาก ทำให้ผ้าแนบเนื้อเวลาเดินด้านลม แต่เส้นด้ายที่ยาวข้ามจะทำให้ถูกเกี่ยวขาดได้ง่าย ไม่ทนต่อการขัดถู จึงไม่ค่อยทนทาน ผ้าตัวนยังแบ่งได้เป็นหลายชนิดดังนี้ ผ้าซาติน (satin) ผ้าซาทีน (sateen) ผ้าครีปตัวน (crepe back satin)

นอกจากนี้ยังมีเทคนิคการทอแบบอื่นๆ ได้แก่

**การทอขน (pile weave)** เช่น การทอขนด้วยเส้นลวด การทอผ้าขนหนู การทอขนแบบผ้าสองผืน แบ่งเป็นการทอขนด้ายยืน และการทอขนด้ายพุ่ง

**การทอยกดอก (figure weave)** เช่น การทอยกดอกแบบแจ็กการ์ด การทอแบบtapestry การทอยกดอกขนาดเล็ก การทอเลโน หรือการทอกอซ การทอลายจุด การทอดอกแบบซิกแซก การทอปักดอก

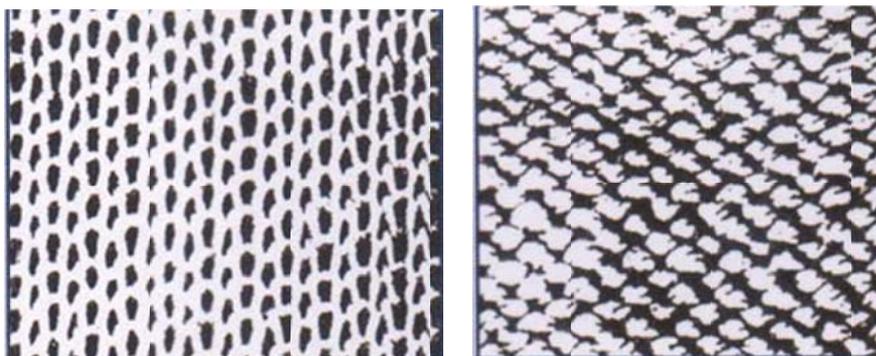
### 3.2 ผ้าถัก (knitted fabrics)

ผลิตจากการใช้ด้ายเส้นเดียวหรือมากกว่า มาทำให้เกิดเป็นห่วงสอดคล้องกันต่อเนื่อง ผ้าถักจึงสามารถเลาะออกได้เฉพาะตรงปลายสุดเท่านั้น ห่วงที่เรียงไปตามแนวนอนเรียกว่า คอรัส

(course) เปรียบได้กับแนวเส้นด้ายพุ่งของผ้าทอ ส่วนห้วงที่เรียงขึ้นไปตามแนวตั้งเรียกว่า เวล (wale) เปรียบได้กับแนวเส้นด้ายยืนของผ้าทอ เข็มเป็นอุปกรณ์หลักที่ทำให้เกิดห้วงและการคล้องเกี่ยวอย่างต่อเนื่อง ผ้าถักนี้มีคุณสมบัติที่สำคัญคือความยืดหยุ่น สามารถยืดขยายไปตามสรีระและการเคลื่อนไหวของร่างกาย

**ผ้าถัก** แบ่งออกเป็น 2 ชนิด ได้แก่

**3.2.1 ผ้าถักด้ายพุ่ง (weft knit)** เกิดจากห้วงคล้องกันต่อเนื่องตามแนวนอน ทุกๆ ห้วงเกิดจากเส้นด้ายเส้นเดียวกันลักษณะของห้วงมีความแตกต่างกันคือ ห้วงถักที่ให้ห้วงใหม่สอดขึ้นจากด้านหลังห้วงเดิม (plain knit) มองเห็นลูกโซ่ตามแนวตั้ง ด้านหลังเห็นลูกคลื่นตามขวาง การถักลักษณะนี้ได้แก่ ผ้าเจอร์ซี่ (single jersey) ผ้าถักเฟิล ผ้าถักริบ ถักนิตธรรมดา



ภาพที่ 38 แสดงการถักนิตธรรมดา (ซ้าย) และการถักนิตเฟิร์ล (ขวา)

**3.2.2 ผ้าถักด้ายยืน (warp knit)** ผ้าเกิดจากห้วงคล้องต่อเนื่องกันตามแนวตั้ง แต่ละแถวของห้วงถักตามแนวตั้ง เกิดจากการใช้เส้นด้ายแต่ละเส้นคล้องคล้องกันกับห้วงถักในแนวแถวต่อไป ได้แก่ ฟ้านิตตริโก (Tricot) ฟ้านิตมิลานีส (Milanese) และฟ้านิตราเชล (Raschel)

**3.3 ผ้าอัด (nonwoven)** ผลิตจากการใช้เส้นด้ายใยสั้นหรือใยยาว นำมาโรยให้เป็นแผ่นแล้วใช้ความร้อน สารเคมี และแรงอัด ช่วยให้เส้นด้ายเกาะเกี่ยวติดกันเป็นแผ่นได้ สามารถกำหนดความหนาของผ้าและความหนาแน่นของผ้าได้ตามต้องการ [5]

## คุณสมบัติของเส้นใยผ้า (Fiber Properties)

ผ้าแต่ละชนิดมีคุณสมบัติ แตกต่างกันตามชนิดและที่มาของเส้นใย ถ้าเป็นผ้าที่ได้จากเส้นใยธรรมชาติการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทำได้ยากกว่าผ้าที่ได้จากเส้นใยสังเคราะห์ซึ่งสามารถผลิตและเพิ่มเติมปรับปรุงคุณสมบัติได้ตามที่ผู้เชี่ยวชาญค้นคว้าโดยคำนึงถึงประโยชน์ใช้สอย การดูแลรักษาความสวยงามและความเหมาะสมในเรื่องราคาในคุณสมบัติที่สำคัญของเส้นใยเหล่านี้ ก็จะมีคุณสมบัติที่ช่วยเสริมให้ผ้าน่าใช้ยิ่งขึ้น เช่น ความมัน การดูดซึมความชื้น การยืดหด และการคืนตัว [ 4 ]

**1. ความเหนียว (Tenacity)** ความสามารถในการทนแรงดึงหรือฉีกขาด เส้นใยบางชนิดจะเพิ่มความเหนียวขึ้นและบางชนิดจะลดความเหนียวลงเมื่อเปียก บางชนิดไม่เปลี่ยนแปลงเลย เส้นใยธรรมชาติจากพืชเช่น ฝ้าย ลินิน ป่าน ปอ รามี จะเพิ่มความเหนียวขึ้นเมื่อเปียก ซึ่งมีประโยชน์ต่อการซักกรีด ส่วนไหมและขนสัตว์จะลดความเหนียวลงเมื่อเปียก

**2. อัตราส่วนความยาวต่อความกว้าง (High Length to width Ratio)** หมายถึงการเปรียบเทียบเทียบส่วนระหว่างความยาวของเส้นใยกับเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใยนั่นๆ ในการนำเส้นใยมาผลิตเป็นผ้า ความยาวของเส้นใยจะต้องไม่ต่ำกว่า 100 ส่วน ต่อความกว้าง 1 ส่วน โดยให้เส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใยเทียบเป็น 1 ส่วน เส้นใยที่มีความยาว  $\frac{1}{2}$  นิ้ว มีใช้น้อย หรือแทบจะไม่ได้นำมาใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอเลย เส้นใยยาวเมื่อปั่นเป็นเส้นด้ายจะเหนียว ผ้าจะทนทานและมีเนื้อเรียบ แสดงให้เห็นว่าความยาวของเส้นใยมีความสัมพันธ์กับความเหนียวของเส้นด้าย เส้นใยสั้นเมื่อนำมาปั่นเป็นเส้นด้ายจะไม่เหนียวแต่ได้ผิวสัมผัสอ่อนนุ่ม เพราะมีปลายของเส้นใยลอยอยู่บริเวณผิวผ้า

**3. การปรับสภาพโค้งงอได้ (Flexibility or Pliability)** หรือความอ่อนตัวของเส้นใย คือความสามารถจัดผ้าให้เป็นรูปแบบใดก็ได้ เส้นใยที่สามารถปรับโค้งงอได้ดีจะช่วยให้เข้าเกลียวเป็นเส้นด้ายได้ดีและง่ายกว่าเส้นใยที่แข็งปรับสภาพโค้งงอยาก เมื่อนำมาตัดเย็บก็ไม่สามารถปรับ

ตามรูปร่างได้ดี ฉะนั้นเส้นใยที่นำมาทอผ้าจึงต้องมีความอ่อนตัวและโค้งงอได้ดียิ่งดีมาก การเข้าเกลียวจะทำได้ดี จัดเข้ารูปง่าย ให้ความนุ่มนวล จับจีบได้ดี

4. **แรงดึงคู่หรือแรงเกาะกัน (Cohesiveness)** หรือ คุณภาพในการนำมาปั่น (Spinning quality) คุณสมบัตินี้จำเป็นสำหรับเส้นใยที่ต้องนำมาปั่นเป็นเส้นด้าย และทอเป็นผ้าคือเส้นใยจะต้องมีคุณสมบัติเกาะกลุ่มกันได้ดี เพราะการนำเส้นใยมาเข้าเกลียวเป็นเส้นด้าย เส้นใยต้องมีแรงดึงคู่ระหว่างกัน เกาะติดกันได้ดี เส้นใยจำเป็นต้องมีคุณสมบัติข้อนี้มากกว่าเส้นใยยาว และถ้าเป็นเส้นใยที่มีผิวโครงสร้างภายนอกขรุขระ มีความหึ่งงอจะช่วยให้เส้นใยมีการเกาะกันได้ดีด้วย ส่วนเส้นใยยาวมีความยาวที่เป็นคุณสมบัติที่ดีเพียงพอที่จะเข้าเกลียวอยู่แล้ว ไม่จำเป็นต้องมีคุณสมบัติข้อนี้มากนักก็ได้

5. **ความเป็นอันหนึ่งอันเดียวกัน (Uniformity)** ในการปั่นเส้นด้าย ถ้าเป็นเส้นใยที่มีขนาดใกล้เคียงกัน มีลักษณะคล้ายคลึงกัน มีแรงเกาะกัน คล้อยตามกันและปรับสภาพความโค้งงอได้ดีก็จะเข้าเกลียวได้ดี จะได้เส้นด้ายที่มีขนาดสม่ำเสมอ ซึ่งมีผลมาจากเส้นใยชนิดเดียวกัน มีลักษณะความเป็นหน่วยเดียวกันสูง แต่ถ้านำเส้นใยผสมมาปั่นเป็นเส้นด้าย จำเป็นต้องคำนึงถึงความ เป็นหน่วยเดียวกันด้วย

6. **ความหนาแน่นและความถ่วงจำเพาะ (Density and Specific Gravity)** ความหนาแน่นของสารใดๆ หมายถึง มวลของสารนั้นต่อหนึ่งหน่วย ปริมาตรหน่วยที่ใช้วัดความหนาแน่น วัดเป็นกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ส่วนความถ่วงจำเพาะของสารใดๆ หมายถึง อัตราส่วนเปรียบเทียบระหว่างมวลสารหรือน้ำหนักของสารกับมวลสาร หรือน้ำหนักของน้ำที่มีปริมาตรเท่ากันหรือเป็นตัวเลขซึ่งไม่มีหน่วยที่แสดงให้ทราบว่าสารหนักเป็นกี่เท่าของน้ำเมื่อมีปริมาตรเท่ากัน

ฉะนั้นผ้าที่มีความหนาแน่นมากหรือมีความถ่วงจำเพาะสูง ก็คือผ้าที่มีน้ำหนักมาก ส่วนผ้าที่มีความหนาแน่นน้อย ความถ่วงจำเพาะต่ำ ก็คือผ้าที่มีน้ำหนักเบา ไม่ได้หมายถึงความหนาบางของผ้าเป็นเกณฑ์ผ้าบางชนิดหนามากแต่น้ำหนักเบา และผ้าบางชนิดบางแต่น้ำหนัก

**7. การดูดซึมน้ำและความชื้น (Absorbency and Moisture regain)** หมายถึง ความสามารถของเส้นใยที่จะดูดความชื้นจากอากาศเข้าไปในเส้นใยภายใต้บรรยากาศปกติที่ใช้ในการทดสอบเส้นใยคือ มีความชื้นสัมพัทธ์ 65 % ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส จำนวนความชื้นที่เพิ่มขึ้นจะคิดเป็นอัตราส่วนร้อยละของน้ำหนักเส้นใย เส้นใยที่สามารถดูดความชื้นและระเหยออกอย่างรวดเร็วจะเกิดผลดีต่อผู้ใช้ สวมใส่แล้วจะรู้สึกสบายตัวไม่ร้อน มีผลดีต่อสุขภาพ ไม่ทำให้เกิดไฟฟ้าสถิตย์ง่าย เมื่อข้อมสีกจะทำให้สีติดง่าย สีติดได้ดี และเป็นผ้าที่ทำความสะอาดง่ายด้วย

คุณสมบัติการดูดซึมน้ำและความชื้นได้ดีของเส้นใยขึ้นอยู่กับโครงสร้างโมเลกุล เส้นใยเซลลูโลสประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิลมาก มีการเรียงตัวของโมเลกุลไม่เป็นระเบียบ จึงสามารถดูดความชื้นได้ดี ส่วนเส้นใยโปรตีนประกอบด้วยกรดอะมิโนทำปฏิกิริยากับกลุ่มคาร์บอกซิลจำนวนมาก กล่าวคือโครงสร้างภายนอกของเส้นใยขนสัตว์เรียงซ้อนกันเป็นเกล็ด จึงทำให้เส้นใยขนสัตว์มีช่องว่างดูดและอมความชื้นได้มาก แต่กลุ่มของเส้นใยสังเคราะห์มีโครงสร้างโมเลกุลที่เรียงตัวกันเป็นระเบียบแน่นและขนานกันตลอด น้ำและความชื้นซึมผ่านได้ยาก ผ้าที่ผลิตจากเส้นใยสังเคราะห์จึงดูดน้ำและความชื้นได้น้อย

ฉะนั้นเส้นใยแต่ละชนิดจึงดูดความชื้นได้ไม่เท่ากัน การผลิตผ้าและการตกแต่งผ้าในขั้นสุดท้าย สามารถเพิ่มคุณสมบัติในการดูดความชื้นได้ เช่น การทอผ้าเนื้อหลวมหรือการตกแต่งให้ผ้ามีขนฟูสามารถดูดความชื้นได้มากกว่าผ้าที่ทอเนื้อเรียบ และการชุบมันหรือขัดมันทำให้เส้นใยดูดความชื้นได้มากขึ้น แต่การเพิ่มหมู่ อะเซทิล (Acetylation) ทำให้เส้นใยดูดความชื้นน้อยลง

**8. ความยืดได้ (Elongation)** เส้นใยที่สามารถดึงยืดได้ถึงจุด ๆ หนึ่งจึงขาดความมัน (Luster) ความมันของผ้าเป็นสมบัติที่ทำให้เกิดความงามสามารถมองเห็นได้ ขึ้นอยู่กับปริมาณแสงสะท้อนจากเส้นใย แสงสะท้อนมากก็มันมาก พื้นผิวผ้ายิ่งเรียบก็จะสะท้อนแสงได้มาก ใยธรรมชาติที่มีเนื้อมัน ได้แก่ไหม สำหรับใยสังเคราะห์จะมีความมันในโครงสร้างของเส้นใยอยู่แล้ว

**9. ความยืดหยุ่น (Elastic Recovery)** สมบัติของเส้นใยเมื่อยืดออกมาแล้ว หดกลับเท่าเดิมได้มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับแรงที่ใช้ดึง ถ้าใช้แรงน้อยยืดได้มาก เป็นผลให้ผ้ามีความคืนตัวทนยับได้ ความยืดหยุ่นของเส้นใยทำให้ด้ายไม่ก่อขยาด ด้ายและผ้าเหนียวขึ้น ความยืดหยุ่นนี้จะมีความสัมพันธ์กับความคืนตัว

**10. ความคืนตัว (Resiliency)** หมายถึง การที่เส้นใยสามารถกลับคืนสภาพได้ดังเดิมอย่างรวดเร็ว เช่น เสื้อผ้าที่ใส่แล้วยับ เมื่อแขวนทิ้งไว้สักพักหนึ่งรอยยับก็หายไปโดยไม่ต้องรีด ลักษณะเหล่านี้มักจะพบในเสื้อผ้าที่ทำจากเส้นใยขนสัตว์ ซึ่งเป็นผ้าที่มีคุณสมบัติข้อนี้ดี มักจะมีการยืดหยุ่นดีด้วย ใช้งาน สบายงาม ทนทาน ทำความสะอาดและดูแลรักษาง่าย

**11. การทนทานต่อแรงเสียดสี (Abrasion Resistance)** หมายถึง การที่เส้นใยหรือผ้าที่ยังคงสภาพเดิมอยู่ได้นานถึงแม้จะได้รับการเสียดสีมากจากการใช้ประจำวัน เช่น ผ้าที่ใช้ทำสายพานเครื่องยนต์ หรือผ้าที่ใช้บุเก้าอี้เครื่องเรือน จำเป็นต้องมีคุณสมบัติข้อนี้ดี

**12. การทนต่อความร้อน (Heat Tolerance)** หมายถึง ความสามารถของเส้นใยในการทนต่ออุณหภูมิก่อนการเปลี่ยนแปลงสภาพ เส้นใยแต่ละชนิดทนความร้อนต่างกันขึ้นอยู่กับส่วนประกอบของโมเลกุล เส้นใยเซลลูโลสทนความร้อนได้ดีกว่าเส้นใยโปรตีน เส้นใยธรรมชาติทนความร้อนได้ดีกว่าเส้นใยสังเคราะห์ คุณสมบัติของการทนความร้อนนี้จะมีประโยชน์ต่อผู้ใช้ในขั้นตอนการทำความสะอาดและการดูแลรักษา เช่น อุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในการซัก อุณหภูมิของความร้อนที่ใช้ในการรีด การจับจีบ ผู้ใช้ควรทราบที่เส้นใยชนิดใดสามารถทนความร้อนได้มากน้อยเพียงใด เพื่อเป็นประโยชน์ในการปรับอุณหภูมิให้เหมาะสมกับน้ำที่ใช้ซัก และความร้อนที่ใช้ในการรีดผ้าแต่ละชนิด เช่น ผ้าใยสังเคราะห์บางชนิดเมื่อถูกความร้อนมากจะยับเสียรูปทรงหรืออาจหลอมละลายได้ แต่ผ้าบางชนิด เช่น ใยเซลลูโลส สามารถทนความร้อนได้สูง นอกจากนี้อุณหภูมิของความร้อนที่เหมาะสมสำหรับผ้าใยสังเคราะห์ยังมีประโยชน์ช่วยในการจับจีบหรืออัดก๊อปปี้ได้ด้วย (Heat set)

**13. การนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity)** หมายถึงปฏิกิริยาของเส้นใยที่เกิดขึ้นต่อการเหนี่ยวนำกระแสไฟฟ้าให้ผ่านออกจากเนื้อผ้ากับร่างกายผู้สวมใส่ ผ้าที่มีคุณสมบัติในการดูดซึมน้ำและความชื้นได้ดี จะเป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดีด้วย คือทำให้ประจุไฟฟ้าไหลเวียนเข้าออกได้ ไม่เกิดไฟฟ้าสถิตในการสวมใส่ ทำให้สบายตัว เสื้อผ้าไม่แนบตัว ไม่เกิดความรำคาญ ผ้าที่ดูดน้ำและความชื้นได้ดี จะมีคุณสมบัตินำไฟฟ้าได้ดีด้วย เช่น ผ้าที่ได้จากเส้นใยเซลลูโลส ฝ้าย และลินิน ส่วนผ้าจากใยสังเคราะห์ เป็นผ้าที่มีการนำไฟฟ้าได้ไม่ดี สวมใส่แล้วแนบตัวทำให้เกิดความรำคาญ เช่นผ้าไนลอน โพลีเอสเตอร์ เป็นต้น

**14. การนำความร้อนและการเก็บความร้อน (Thermal conductivity and Retention)** หมายถึง ความสามารถในการถ่ายเทออกจากผ้าและร่างกายเมื่อสวมใส่แล้วไม่ร้อน รู้สึกสบาย เช่น ผ้าที่ได้จากใยเซลลูโลส ส่วนการเก็บความร้อน หมายถึงคุณสมบัติของผ้าที่ถ่ายเทความร้อนได้ไม่ดี ความร้อนไม่สามารถระบายออกได้ เช่น ใยสังเคราะห์ นอกจากคุณสมบัติพื้นฐานของเส้นใยแล้ว ลักษณะการผลิตผ้ายังมีผลทำให้เกิดคุณสมบัติข้อดีด้วย เช่น ผ้าเนื้อหนา ทอขนด้วยเส้นด้ายฟู จะเก็บความร้อนได้ดี ทำให้เกิดความอบอุ่น ส่วนผ้าที่ทอเนื้อบางโปร่ง เช่น ผ้าป่าน ฝ้ายลินิน จะนำและระบายความร้อนได้ดี เป็นต้น

**15. การทนไฟ (Flame Resistant)** หมายถึง ผ้าที่ไม่ติดไฟง่าย ถึงแม้จะโดนเปลวไฟ เช่น ใยแก้วสามารถทนไฟและไม่ติดไฟ (Flameproof) ด้วยอุณหภูมิสูงถึง 1400°F -3033°F การทนไฟสามารถตกแต่งด้วยกระบวนการทางเคมีได้ จะทราบว่าผ้าชิ้นใดตกแต่งให้ทนไฟดูจากป้ายรายละเอียดที่ติดมากับผ้าและเสื้อสำเร็จรูป

**16. ความมัน (Luster)** หมายถึงคุณสมบัติของผ้าหรือเส้นใย ที่สามารถสะท้อนแสงได้ตามพื้นผิวเรียบ เกิดจากความลื่นและเป็นเงาสดใส ผ้าที่มีสะท้อนแสงมากจะมีความมันมาก ผ้าที่ความสะท้อนแสงน้อยจะมีความมันน้อย และผ้าผิวสัมผัสเรียบจะเป็นมันมากกว่าผ้าที่มีผิวสัมผัสขรุขระ ผ้าสีอ่อนจะสะท้อนแสงได้ดีกว่าสีเข้ม ผ้าที่ได้จากเส้นใยธรรมชาติที่มีความมันมากคือ ฝ้ายไหม ส่วนผ้าที่ผลิตจากใยสังเคราะห์เกือบทุกชนิดจะมีความมันมาก ถ้าต้องการลดความ

มันของผ้าใยสังเคราะห์จะต้องเติมสารบางอย่างลงไปในช่วงขั้นตอนการผลิตเป็นของเหลวก่อนที่จะผลิตออกมาเป็นเส้นใย

**17. ความโปร่งแสง (Translucence)** หมายถึง คุณสมบัติของผ้าที่แสงสามารถผ่านได้มาก ผ้าสีอ่อนจะโปร่งแสงมากกว่าสีเข้ม เส้นด้ายขนาดเล็กทอผ้าหลวม หรือการถักห่างหลวมๆ ด้วยเส้นด้ายขนาดเล็ก จะช่วยให้ได้ผ้าที่มีคุณสมบัติโปร่งแสงด้วย ซึ่งมักจะผลิตขึ้นตามจุดประสงค์และประโยชน์ของการใช้สอยผ้านั้นๆ

**18. ความทนต่อแสงแดด (Sunlight Resistance )** หมายถึง ความสามารถในการทนต่อแสงแดดได้ในระยะเวลานาน โดยไม่เสื่อมคุณภาพ ผ้าที่จำเป็นต้องเลือกเพื่อให้มีคุณสมบัติทนต่อแสงแดดได้ดี เช่น ผ้าม่าน ผ้าคลุมรถ ฯลฯ ผ้าที่ทนต่อแสงแดดได้ดีเยี่ยม ได้แก่ ใยแก้ว อะคริลิก โมดาคริลิก ทนได้ดี ได้แก่ ซาแรน โพลีเอสเตอร์ ลินิน เรยอน ฝ้าย อาซิเตด ทนได้ดี ได้แก่ ไนลอน ขนสัตว์ ไหม [4]

ซึ่งจากคุณสมบัติของเนื้อผ้าที่ได้กล่าวมาแล้วในช่วงต้น ล้วนแล้วแต่ส่งผลกระทบต่อ การตรวจเก็บคราบเขม่าป็น ด้วยชุดเก็บ STUB เนื่องด้วยอนุภาคของคราบเขม่าป็น มีขนาดเล็กมาก ถึงระดับ หน่วยนาโนเมตร โดยที่การเรียงตัวหรือ การขึ้นรูปของเส้นใย ที่มีขนาดห่าง หรือหลวม มากๆ จะทำให้ เม็ดอนุภาคของคราบเขม่าป็น หลุดหาย ร่วงหล่นไปได้ ส่งผลให้แผ่นกวาเหนียวคาร์บอนจากชุดเก็บ STUB สัมผัส หรือแปะติด อนุภาคได้ไม่เท่ากัน จึงจำเป็นต้องทราบถึงสภาพของเนื้อเส้นใย การเรียงตัว ของสิ่งที่จะทำการวิจัย หรือ จัดเก็บ เพื่อทำการตรวจพิสูจน์

## บทที่ 3

### วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้ เพื่อต้องการศึกษาว่า ที่ระยะเวลาสูงสุด 1 ปี , 6 เดือน และ 1 เดือน จะตรวจพบอนุภาคของคราบเขม่าปืน หรือมา มากน้อยเพียงใด จากการยิงปืนด้วย กระสุนขนาด 9 มม. , . 45 และ กระสุนปืนลูกซองขนาดเกจ12 จากการยิงปืน ซ้ำ จำนวน ขนาดละ 3 นัด

#### 3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

3.1.1 เครื่อง Scanning Electron Microscope Dispersive X-ray Spectroscop ( SEM/EDX )



ภาพที่ 39 แสดงภาพเครื่อง SEM รุ่น EVO50

3.1.2 ปืนพกกึ่งอัตโนมัติ ขนาด 9 มม. ยี่ห้อ Beretta รุ่น PX4 ขนาดลำกล้อง 4 นิ้ว



ภาพที่ 40 แสดงภาพปืนพกกึ่งอัตโนมัติ ขนาด 9 มม.ยี่ห้อ Beretta รุ่น PX4

### 3.1.3 ปืนพกกึ่งอัตโนมัติ ขนาด .45 ยี่ห้อ Colt รุ่น 1911 A1 ขนาดลำกล้อง 5 นิ้ว



ภาพที่ 41 แสดงภาพปืนพกกึ่งอัตโนมัติ ขนาด .45 ยี่ห้อ Colt รุ่น 1911 A1

### 3.1.4 ปืนลูกซองขนาด เกจ12



ภาพที่ 42 แสดงภาพปืนลูกซอง ขนาด เกจ 12

### 3.1.5 กระสุนปืน ขนาด 9 มม. ยี่ห้อ Winchester



ภาพที่ 43 แสดงภาพกระสุนปืน ขนาด 9 มม.

### 3.1.6 กระสุนปืน ขนาด .45 มม ยี่ห้อ Automatic Colt Pistol (ACP)



ภาพที่ 44 แสดงกระสุนปืนขนาด .45 ยี่ห้อ Automatic Colt Pistol ( ACP)

### 3.1.7 กระสุนปืนลูกซองขนาด เกจ 12 ยี่ห้อ Winchester



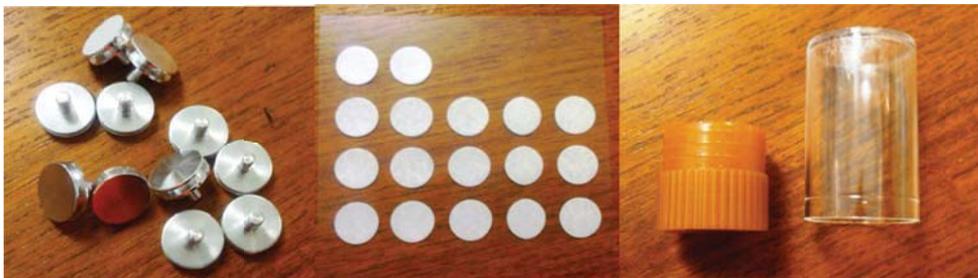
ภาพที่ 45 แสดงกระสุนปืนลูกซองขนาด เกจ 12 ยี่ห้อ Winchester

### 3.1.8 ชุดเก็บคราบเขม่าปืน (GSR), STUB KIT

#### 3.1.8.1. แท่นโลหะ

#### 3.1.8.2. แผ่นสติ๊กเกอร์ Carbon

#### 3.1.8.3. ตลับจัดเก็บพลาสติก



รูปที่ 46 แสดงภาพส่วนประกอบของชุดเก็บคราบเขม่าปืนชนิดแผ่นกาวเหนียว (STUB)

### 3.1.9 ถุงมือผ้าขาว เนื้อผ้า Cotton



ภาพที่ 47 แสดงภาพถุงมือผ้าขาว เนื้อผ้า Cotton

### 3.1.10 ถังยิงเก็บปลอก, หัวกระสุน ชนิดบรรจุ Kevlar fibers



ภาพที่ 48 แสดงถังยิงเก็บปลอก, หัวกระสุน ชนิดบรรจุ Kevlar fibers

### 3.2 วิธีการทดลอง

3.2.1 จัดเตรียมอุปกรณ์ สถานที่ รวมทั้งกระสุนปืน 3 ขนาด คือ 9 มม., .45 และ กระสุนปืนลูกซองขนาด เกจ 12 จำนวนขนาดละ 3 นัด และอาวุธปืน ทั้ง 3 ขนาด ตาม กระสุนปืนที่ใช้

3.2.2 สวมถุงมือผ้าขาว ชนิด Cotton ก่อนการยิงปืน

3.2.3 ทำการยิงปืนเข้าถังยิงเก็บปลอก, หัวกระสุน ชนิดบรรจุ Kevlar fibers ( ใน ส่วนของอาวุธปืนลูกซอง ทำการยิงเข้าหาเป้าหมาย ในห้องยิงปืน ) ทำการยิงซ้ำ 3 นัด ใน ปืนแต่ละขนาด, ในแต่ละช่วงเวลา (ในแต่ละนัด ให้เปลี่ยนถุงมือผ้า ทุกครั้ง )

3.2.4 จัดเก็บถุงมือผ้าขาวไว้ในถุงกระดาษสำหรับจัดเก็บวัตถุพยาน

3.2.5 เมื่อครบกำหนดเวลาภายหลังการยิงปืน คือ 1 ปี , 6 เดือน และ 1 เดือน ให้ นำ ถุงมือผ้าขาว มาจัดเก็บ คราบเขม่าปืน ด้วยชุด STUB

3.2.6 นำชุด STUB ที่จัดเก็บ เข้าตรวจด้วยเครื่อง SEM



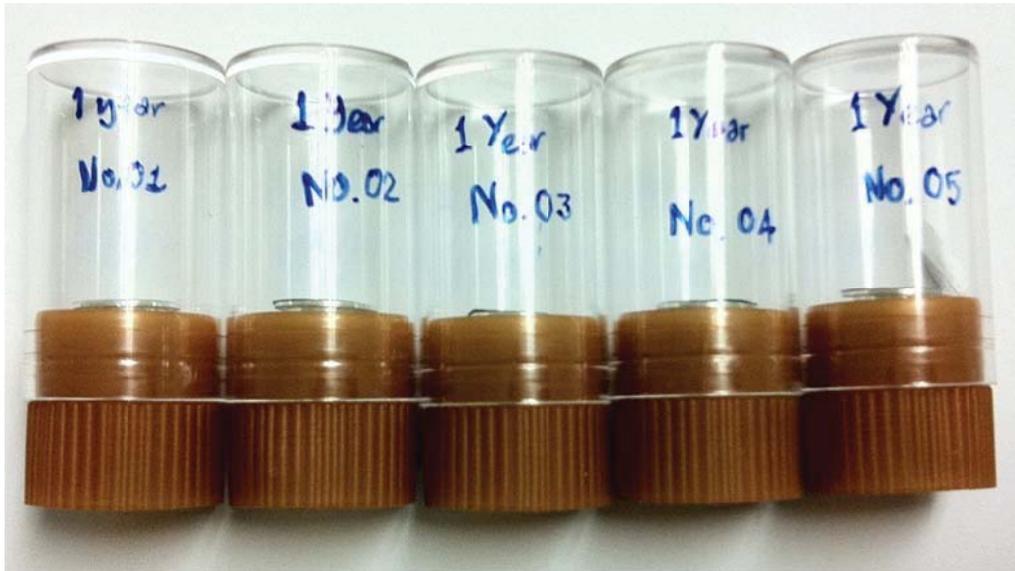
ภาพที่ 49 แสดงตัวอย่างการยิงปืนเข้าหาถังชนิดบรรจุ Kevlar fibers



ภาพที่ 50 แสดงตัวอย่างถุงมือผ้าขาวที่จัดเก็บในถุงกระดาษ



ภาพที่ 51 แสดงการจัดเก็บคราบเขม่าปืน ด้วยชุด STUB



ภาพที่ 52 แสดงตัวอย่างชุด STUB

ในการวิจัยครั้งนี้ ได้ทำการสวมถุงมือผ้าขาวชนิด เนื้อผ้า Cotton เพื่อทดแทนการสวมเสื้อผ้า หรือแขนเสื้อ ซึ่งคราบเขม่าป็นที่เกิดภายหลังจากการยิงปืน จะปลิวไปติดตามบริเวณหลังมือ แขนเสื้อใบหน้า หรือ เสื้อผ้า ของผู้ยิง

และในปัจจุบัน การจัดเก็บคราบเขม่าป็นในผู้ต้องสงสัย นิยมใช้ชุด STUB ในการจัดเก็บตัวอย่าง เนื่องจากชุดจัดเก็บดังกล่าว สะดวกในการพกพา ใช้งาน มีความปลอดภัยต่อการปนเปื้อนในการจัดเก็บเพื่อตรวจพิสูจน์สูง เนื่องจากมีฝาพลาสติกครอบปิด แผ่นกาวคาร์บอน

ภายหลังจากนำชุด STUB เข้าวิเคราะห์ด้วย เครื่อง SEM/EDX รุ่น EVO50 โดยใช้ โปรแกรม GENESIS 2 ในการวิเคราะห์ข้อมูล และใช้หลักการการวิเคราะห์ อ้างอิงตาม ASTM International (American Society for Testing and Materials) ซึ่งเป็นองค์กรสมาคมวิชาชีพ ทางด้านวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี ที่กำหนด และจัดทำมาตรฐานที่

เกี่ยวข้องกับ ลักษณะและการทำงาน ของวัสดุ ผลิตภัณฑ์ การบริการ และ ระบบการ  
ใช้งาน ซึ่งได้รับการยอมรับทั่วโลก

การวิจัยครั้งนี้ทำการวิเคราะห์ผลด้วยโปรแกรม SPSS (Statistical Package for  
Social Science) โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทาง (Two-Way  
ANOVA) และทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเชิงพหุ ด้วยวิธี Duncan Multiple Range Test  
(DMRT)

ในมาตรฐานการตรวจพิสูจน์ว่าเป็นอนุภาคที่เกิดภายหลังจากการยิงปืนหรือไม่  
นั้น เครื่อง SEM จะทำการวิเคราะห์ แบบ Auto - Run ในขั้นตอนแรก โดยจะทำการ  
วิเคราะห์ รูปพรรณ สัณฐาน (Morphology) พร้อมทั้งองค์ประกอบของธาตุ ไปในเวลา  
เดียวกัน แต่ในขั้นตอนสุดท้าย ผู้เชี่ยวชาญต้องทำการตรวจสอบรูปพรรณ สัณฐาน  
(Morphology) พร้อมทั้งองค์ประกอบของธาตุ ด้วยตัวของผู้เชี่ยวชาญเอง โดยจะต้อง  
พบเม็ดอนุภาค 3 อนุภาค ( เม็ด) ขึ้นไป ถึงจะยอมรับได้ว่า เป็นตัวอย่างของ STUB ที่  
จัดเก็บมาจากสิ่งส่งตรวจ ที่ผ่าน หรือ เกี่ยวข้องกับการยิงปืน

## บทที่ 4

### ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ภายหลังจากนำชุด STUB เข้าวิเคราะห์ด้วย เครื่อง SEM/EDX รุ่น EVO50 โดยใช้ โปรแกรม GENESIS 2 ในการวิเคราะห์ข้อมูล และใช้หลักการการวิเคราะห์ อ้างอิงตาม ASTM International (American Society for Testing and Materials) ซึ่งเป็นองค์กรสมาคมวิชาชีพ ทางด้านวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี ที่กำหนด และจัดทำมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับ ลักษณะและการทำงาน ของวัสดุ ผลิตภัณฑ์ การบริการ และระบบการใช้งาน ซึ่งได้รับการยอมรับทั่วโลก

การวิจัยครั้งนี้ทำการวิเคราะห์ผลด้วยโปรแกรม SPSS (Statistical Package for Social Science) โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทาง (Two-Way ANOVA) และทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเชิงพหุ ด้วยวิธี Duncan Multiple Range Test (DMRT)

ในมาตรฐานการตรวจพิสูจน์ว่าเป็นอนุภาคที่เกิดภายหลังจากการยิงปืนหรือไม่นั้น เครื่อง SEM จะทำการวิเคราะห์ แบบ Auto – Run ในขั้นตอนแรก โดยจะทำการวิเคราะห์ รูปพรรณ สันฐาน ( Morphology ) พร้อมทั้งองค์ประกอบของธาตุ ไปในเวลาเดียวกัน แต่ในขั้นตอนสุดท้าย ผู้เชี่ยวชาญต้องทำการตรวจสอบรูปพรรณ สันฐาน ( Morphology ) พร้อมทั้งองค์ประกอบของธาตุ ด้วยตัวของผู้เชี่ยวชาญเอง โดยจะต้องพบเม็ดอนุภาค 3 อนุภาค ( เม็ด ) ขึ้นไป ถึงจะยอมรับได้ว่า เป็นตัวอย่างของ STUB ที่จัดเก็บมาจากสิ่งส่งตรวจ ที่ผ่าน หรือ เกี่ยวข้องกับการยิงปืน

## ผลการวิจัย

ตารางแสดงจำนวนอนุภาคที่พบภายหลังจากการวิเคราะห์ด้วย SEM ภายหลังจากการยิงปืน 1 ปี

ตารางที่ 1 แสดงจำนวนอนุภาคที่พบภายหลังจากการยิงปืน ด้วยกระสุนขนาด 9 มม. ที่ระยะเวลา 1 ปี

จำนวน Sample	Pb,Sb,Ba	Pb,Sb	Pb,Ba	Sb,Ba
Sample1	5	-	-	12
Sample2	4	2	3	1
Sample3	11	3	3	4

ตารางที่ 2 แสดงจำนวนอนุภาคที่พบ ภายหลังจากการยิงปืน ด้วยกระสุนขนาด . 45 ที่ระยะเวลา 1 ปี

จำนวน Sample	Pb,Sb,Ba	Pb,Sb	Pb,Ba	Sb,Ba
Sample1	11	3	3	4
Sample2	9	2	2	3
Sample3	7	3	3	2

ตารางที่ 3 แสดงจำนวนอนุภาคที่พบภายหลังจากการยิงปืนด้วยกระสุนปืนลูก  
ซองขนาด เกจ12 ที่ระยะเวลา 1 ปี

จำนวน Sample	Pb,Sb,Ba	Pb,Sb	Pb,Ba	Sb,Ba
Sample1	2	6	-	1
Sample2	3	2	1	-
Sample3	2	3	-	1

ตารางแสดงจำนวนอนุภาคที่พบภายหลังจากการวิเคราะห์ด้วย SEM ภายหลังจากการ  
ยิงปืน 6 เดือน

ตารางที่ 4 แสดงจำนวนอนุภาคที่พบภายหลังจากการยิงปืน ด้วยกระสุนขนาด  
9 มม. ที่ระยะเวลา 6 เดือน

จำนวน Sample	Pb,Sb,Ba	Pb,Sb	Pb,Ba	Sb,Ba
Sample1	1	-	-	1
Sample2	7	4	-	3
Sample3	5	1	2	1

ตารางที่ 5 แสดงจำนวนอนุภาคที่พบ ภายหลังจากการยิงปืน ด้วยกระสุนขนาด .45 ที่ระยะเวลา 6 เดือน

จำนวน Sample	Pb,Sb,Ba	Pb,Sb	Pb,Ba	Sb,Ba
Sample1	9	4	3	2
Sample2	7	2	2	2
Sample3	11	2	3	1

ตารางที่ 6 แสดงจำนวนอนุภาคที่พบภายหลังจากการยิงปืนด้วยกระสุนปืนลูกซองขนาด เกจ12 ที่ระยะเวลา6 เดือน

จำนวน Sample	Pb,Sb,Ba	Pb,Sb	Pb,Ba	Sb,Ba
Sample1	-	-	-	-
Sample2	3	2	2	2
Sample3	-	4	-	2

ตารางจำนวนอนุภาคที่พบภายหลังจากการวิเคราะห์ด้วย SEM ภายหลังจากการยิงปืน  
1 เดือน

ตารางที่ 7 แสดงจำนวนอนุภาคที่พบภายหลังจากการยิงปืนด้วยกระสุนขนาด  
9 มม. ที่ระยะเวลา 1 เดือน

จำนวน Sample	Pb,Sb,Ba	Pb,Sb	Pb,Ba	Sb,Ba
Sample1	4	2	3	1
Sample2	3	2	2	2
Sample3	3	1	3	1

ตารางที่ 8 แสดงจำนวนอนุภาคที่พบภายหลังจากการยิงปืนด้วยกระสุนขนาด  
.45 ที่ระยะเวลา 1 เดือน

จำนวน Sample	Pb,Sb,Ba	Pb,Sb	Pb,Ba	Sb,Ba
Sample1	11	2	2	4
Sample2	8	3	2	3
Sample3	9	2	3	3

ตารางที่ 9 แสดงจำนวนอนุภาคที่พบภายหลังจากการยิงปืนด้วยกระสุนปืน  
ลูกซอง ขนาด เกจ12 ที่ระยะเวลา 1 เดือน

จำนวน Sample	Pb,Sb,Ba	Pb,Sb	Pb,Ba	Sb,Ba
Sample1	2	6	-	-
Sample2	-	-	-	-
Sample3	2	4	-	2

Stub Stub01 No01

Starting Time: 09:06 08-23-2011  
Ending Time: 09:45 08-23-2011  
Video thresholds: 130-255  
Particle Analyzed: 90  
Area covered (sq.mm): 31.33  
Stub % covered: 27.71

Class	ClassName	Analyzed	Avg.Diam(um)	Part/sq.mm
1	3 Comp	4	1.38	0.1
2	2 Comp Sb Ba	1	2.22	0.0
3	2 Comp Sb Pb	2	1.40	0.1
4	2 Comp Ba Pb	3	1.80	0.1
	Unclassified	80	2.79	2.55

ภาพที่ 53 แสดงตัวอย่างผลการตรวจพิสูจน์ด้วยเครื่อง SEM

นำผลที่ได้จากตารางไปทำการวิเคราะห์ผลด้วยโปรแกรม SPSS (Statistical Package for Social Science) โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทาง (Two-Way ANOVA) และทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเชิงพหุ ด้วยวิธี Duncan Multiple Range Test (DMRT)

ตารางที่ 10 จำนวนเม็ดอนุภาคเฉลี่ยที่พบอนุภาคจำนวน 3 ชาติ จำแนกตามขนาดของ  
กระสุน

ขนาดของกระสุน	จำนวนเม็ดอนุภาค		ลำดับที่
	$\bar{x}$	S.D.	
กระสุนขนาด 9 มม.	9.11	1.616	1
กระสุนขนาด .45	4.78	2.863	2
กระสุนปืนลูกซอง เกจ 12	1.56	1.236	3
ค่าเฉลี่ยรวม	5.15	3.708	

หมายเหตุ อนุภาคจำนวน 3 ชาติ คือ Pb, Sb และ Ba

จากตารางที่ 10 เมื่อทดสอบหาจำนวนอนุภาคเฉลี่ยที่พบอนุภาคจำนวน 3 ชาติ จำแนกตามขนาดของกระสุน พบว่า กระสุนขนาด 9 มม. พบจำนวนอนุภาคเฉลี่ยมากที่สุด ( $\bar{x} = 9.11$ ) รองลงมาคือ กระสุนขนาด .45 ( $\bar{x} = 4.78$ ) และ กระสุนปืนลูกซอง เกจ 12 ( $\bar{x} = 1.56$ ) ตามลำดับ

ตารางที่ 11 จำนวนเม็ดอนุภาคเฉลี่ยที่พบอนุภาคจำนวน 2 ชาติ จำแนกตามขนาดของ  
กระสุน

ขนาดของกระสุน	จำนวนเม็ดอนุภาค		ลำดับที่
	$\bar{x}$	S.D.	
กระสุนขนาด 9 มม.	7.89	1.364	1
กระสุนขนาด .45	6.33	3.202	2
กระสุนปืนลูกซอง เกจ 12	4.22	2.682	3
ค่าเฉลี่ยรวม	6.15	2.878	

หมายเหตุ อนุภาคจำนวน 2 ชาติ คือ Pb และ Sb, Pb และ Ba, Sb และ Ba

จากตารางที่ 11 เมื่อทดสอบหาจำนวนอนุภาคเฉลี่ยที่พบอนุภาคจำนวน 2 ชาติ  
จำแนกตามขนาดของกระสุน พบว่า กระสุนขนาด 9 มม. พบจำนวนอนุภาคเฉลี่ยมาก  
ที่สุด ( $\bar{x} = 7.89$ ) รองลงมาคือ กระสุนขนาด .45 ( $\bar{x} = 6.33$ ) และ กระสุนปืนลูกซอง เกจ 12  
( $\bar{x} = 4.22$ ) ตามลำดับ

ตารางที่ 12 จำนวนเม็ดอนุภาคเฉลี่ยที่พบอนุภาคจำนวน 3 ชาติ จำแนกตามระยะเวลา

ระยะเวลา	จำนวนเม็ดอนุภาค		ลำดับที่
	$\bar{x}$	S.D.	
1 เดือน	4.67	3.742	3
6 เดือน	4.78	4.024	2
12 เดือน	6.00	3.640	1
ค่าเฉลี่ยรวม	5.15	3.708	

หมายเหตุ อนุภาคจำนวน 3 ชาติ คือ Pb, Sb และ Ba

จากตารางที่ 12 เมื่อทดสอบหาจำนวนอนุภาคเฉลี่ยที่พบอนุภาคจำนวน 3 ชาติ จำแนกตามระยะเวลาพบว่า ระยะเวลา 12 เดือน พบจำนวนอนุภาคเฉลี่ยมากที่สุด ( $\bar{x} = 6.00$ ) รองลงมาคือ ระยะเวลา 6 เดือน ( $\bar{x} = 4.78$ ) และ ระยะเวลา 1 เดือน ( $\bar{x} = 4.67$ ) ตามลำดับ

ตารางที่ 13 จำนวนเม็ดอนุภาคเฉลี่ยที่พบอนุภาคจำนวน 2 ชาติ จำแนกตามระยะเวลา

ระยะเวลา	จำนวนเม็ดอนุภาค		ลำดับที่
	$\bar{x}$	S.D.	
1 เดือน	5.89	2.472	2
6 เดือน	5.00	2.872	3
12 เดือน	7.56	2.963	1
ค่าเฉลี่ยรวม	6.15	2.878	

หมายเหตุ อนุภาคจำนวน 2 ชาติ คือ Pb และ Sb, Pb และ Ba, Sb และ Ba

จากตารางที่ 13 เมื่อทดสอบหาจำนวนอนุภาคเฉลี่ยที่พบอนุภาคจำนวน 2 ชาติ จำแนกตามระยะเวลาพบว่า ระยะเวลา 12 เดือน พบจำนวนอนุภาคเฉลี่ยมากที่สุด ( $\bar{x} = 7.56$ ) รองลงมาคือ ระยะเวลา 1 เดือน ( $\bar{x} = 5.89$ ) และ ระยะเวลา 6 เดือน ( $\bar{x} = 5.00$ ) ตามลำดับ

ตารางที่ 14 การทดสอบสมมติฐานตามจำนวนอนุภาคที่พบจำนวน 3 ชาติ จำแนกตามขนาดของกระสุนและระยะเวลา

Source	d.f.	SS	MS	F	Sig.
ขนาดของกระสุน	2	258.741	129.370	29.855	.000*
ระยะเวลา	2	9.852	4.926	1.137	.343
ขนาดของกระสุน* ระยะเวลา	4	10.815	2.704	.624	.651
Error	18	78.000	4.333		
Total	26	357.407			

\* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05

จากตารางที่ 14 การทดสอบสมมติฐานของจำนวนอนุภาคที่พบจำนวน 3 ชาติตามตัวแปรต้น ทั้ง 2 ปัจจัย ได้แก่ ขนาดของกระสุน และระยะเวลาที่ใช้ในการทดลอง พบว่า เมื่อทดสอบอิทธิพลร่วมกันของปัจจัยทั้ง 2 ตัว พบว่า ไม่มีอิทธิพลร่วมกันระหว่างปัจจัยทั้ง 2 ตัวแปรที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 (sig. = .651) เมื่อทดสอบอิทธิพลของปัจจัยหลักได้แก่

1. ขนาดของกระสุน พบว่าขนาดของกระสุนที่แตกต่างกันมีผลต่อจำนวนอนุภาคโดยเฉลี่ยที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 (sig. = .000)
2. ระยะเวลาที่ใช้ในการทดลอง พบว่าไม่มีความแตกต่างของระยะเวลาที่ใช้ในการทดลองที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 (sig. = .343)

สำหรับการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยจำแนกตามขนาดของกระสุนจะแสดงในตารางที่ 15

ตารางที่ 15 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของจำนวนเม็ดอนุภาค จำแนกตามขนาดของกระสุน

ขนาดของกระสุน	จำนวนเม็ดอนุภาค	
	$\bar{x}$	S.D.
กระสุนขนาด 9 มม.	9.11 <sup>a</sup>	1.616
กระสุนขนาด .45	4.78 <sup>b</sup>	2.863
กระสุนปืนลูกซอง เกจ 12	1.56 <sup>c</sup>	1.236

จากตารางที่ 15 พบว่า เมื่อทดสอบเปรียบเทียบจำนวนอนุภาคเฉลี่ย จำแนกตามขนาดของกระสุน พบว่า กระสุนขนาด 9 มม. พบจำนวนอนุภาคเฉลี่ยมากที่สุดและให้ผลแตกต่างกับ กระสุนขนาด .45 และ กระสุนปืนลูกซอง เกจ 12 ส่วนกระสุนขนาด .45 ก็ให้ผลแตกต่างกับ กระสุนปืนลูกซอง เกจ 12 เช่นกัน

ตารางที่ 16 การทดสอบสมมติฐานตามจำนวนอนุภาคที่พบจำนวน 2 ชาติ จำแนกตามขนาดของกระสุนและระยะเวลา

Source	d.f.	SS	MS	F	Sig.
ขนาดของกระสุน	2	60.963	30.481	5.242	.016*
ระยะเวลา	2	30.296	15.148	2.605	.101
ขนาดของกระสุน* ระยะเวลา	4	19.481	4.870	.838	.519
Error	18	104.667	5.815		
Total	26	215.407			

\* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05

จากตารางที่ 16 การทดสอบสมมติฐานของจำนวนอนุภาคที่พบจำนวน 2 ชาติ ตามตัวแปรต้น ทั้ง 2 ปัจจัย ได้แก่ ขนาดของกระสุน และระยะเวลาที่ใช้ในการทดลอง พบว่า เมื่อทดสอบอิทธิพลร่วมกันของปัจจัยทั้ง 2 ตัว พบว่า ไม่มีอิทธิพลร่วมกันระหว่างปัจจัยทั้ง 2 ตัวแปรที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ( sig. = .519)

เมื่อทดสอบอิทธิพลของปัจจัยหลักได้แก่

1. ขนาดของกระสุน พบว่าขนาดของกระสุนที่แตกต่างกันมีผลต่อจำนวนอนุภาค โดยเฉลี่ยที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 (sig. = .016)

2. ระยะเวลาที่ใช้ในการทดลอง พบว่าไม่มีความแตกต่างของระยะเวลาที่ใช้ในการทดลองที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 (sig. = .101)

สำหรับการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยจำแนกตามขนาดของกระสุนจะแสดงในตารางที่ 17

ตารางที่ 17 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของจำนวนเม็ดอนุภาค จำแนกตามขนาดของกระสุน

ขนาดของกระสุน	จำนวนเม็ดอนุภาค	
	$\bar{x}$	S.D.
กระสุนขนาด 9 มม.	7.89 <sup>a</sup>	1.364
กระสุนขนาด .45	6.33 <sup>ab</sup>	3.202
กระสุนปืนลูกซอง เกจ 12	4.22 <sup>b</sup>	2.682

จากตารางที่ 17 พบว่า เมื่อทดสอบเปรียบเทียบจำนวนอนุภาคเฉลี่ย จำแนกตามขนาดของกระสุน พบว่า กระสุนขนาด 9 มม. พบจำนวนอนุภาคเฉลี่ยมากที่สุดและไม่แตกต่างกับ กระสุนขนาด .45 แต่ให้ผลแตกต่างกระสุนปืนลูกซอง เกจ 12 ส่วนกระสุนขนาด .45 ให้ผลไม่แตกต่างกับ กระสุนปืนลูกซอง เกจ 12

## บทที่ 5

### สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาทราบเขม่าป็นภายหลังจากการยิงปืนในช่วงเวลาที่แตกต่างกัน ช่วงเวลาที่ใช้ในการทดลอง คือ 1 ปี , 6 เดือน และ 1 เดือน เพื่อต้องการที่จะทราบว่า ในช่วงเวลาที่นานที่สุด จะยังพบอนุภาคของธาตุโลหะสำคัญที่เกิดขึ้นภายหลังจากการยิงปืน หรือไม่ เพื่อใช้เป็นข้อมูลให้เกิดความเชื่อมั่นว่า เมื่อมีการก่ออาชญากรรมโดยการยิงปืน แม้เวลาจะผ่านไป เป็น เวลานาน 1 ปี ก็ยังสามารถที่จะตรวจพบอนุภาคของธาตุโลหะสำคัญภายหลังจากการยิงปืน

โดยมีช่วงเวลา ขนาดของกระสุนปืน และ การนำเม็ดอนุภาคของธาตุโลหะสำคัญ ภายหลังจากการยิงปืนที่ได้ มาแปรผลทางสถิติ โดยใช้สถิติการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทาง (Two-Way ANOVA) กำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 และทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย เชิงพหุ ด้วยวิธี Duncan Multiple Range Test (DMRT )

#### สรุปผลการวิจัย

1. จำนวนอนุภาคเฉลี่ย ที่พบอนุภาคจำนวน 3 ธาตุ จำแนกตามขนาดของกระสุน พบว่า กระสุนขนาด 9 มม. พบจำนวนอนุภาคเฉลี่ยมากที่สุด ( $\bar{X}$  = 9.11) รองลงมาคือ กระสุนขนาด .45 ( $\bar{X}$  = 4.78) และ กระสุนปืนลูกซอง เกจ 12 ( $\bar{X}$  = 1.56) ตามลำดับ

2. จำนวนอนุภาคเฉลี่ย ที่พบอนุภาคจำนวน 2 ธาตุ จำแนกตามขนาดของกระสุน พบว่า กระสุนขนาด 9 มม. พบจำนวนอนุภาคเฉลี่ยมากที่สุด ( $\bar{X}$  = 7.89) รองลงมาคือ กระสุนขนาด .45 ( $\bar{X}$  = 6.33) และ กระสุนปืนลูกซอง เกจ 12 ( $\bar{X}$  = 4.22) ตามลำดับ

3. จำนวนอนุภาคเฉลี่ย ที่พบอนุภาคจำนวน 3 ชาติ จำแนกตามระยะเวลา พบว่า ระยะเวลา 12 เดือน พบจำนวนอนุภาคเฉลี่ยมากที่สุด ( $\bar{X}$  = 6.00) รองลงมาคือ ระยะเวลา 6 เดือน ( $\bar{X}$  = 4.78) และระยะเวลา 1 เดือน ( $\bar{X}$  = 4.67) ตามลำดับ

4. จำนวนอนุภาคเฉลี่ย ที่พบอนุภาคจำนวน 2 ชาติ จำแนกตามระยะเวลา พบว่า ระยะเวลา 12 เดือน พบจำนวนอนุภาคเฉลี่ยมากที่สุด ( $\bar{X}$  = 7.56) รองลงมาคือ ระยะเวลา 1 เดือน ( $\bar{X}$  = 5.89) และ ระยะเวลา 6 เดือน ( $\bar{X}$  = 5.00) ตามลำดับ

เมื่อทดสอบอิทธิพลร่วมกันระหว่างปัจจัย 2 ตัว การทดสอบสมมติฐานของ จำนวนอนุภาค ที่พบจำนวน 3 ชาติตามตัวแปรต้น ทั้ง 2 ปัจจัย ได้แก่ ขนาดของกระสุน และระยะเวลาที่ใช้ในการทดลอง พบว่า เมื่อทดสอบอิทธิพลร่วมกันของปัจจัยทั้ง 2 ตัว พบว่า ไม่มีอิทธิพลร่วมกันระหว่างปัจจัยทั้ง 2 ตัวแปรที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 (sig. = .651) เมื่อทดสอบอิทธิพลของปัจจัยหลักได้แก่

1. ขนาดของกระสุน พบว่าขนาดของกระสุนที่แตกต่างกันมีผลต่อจำนวนอนุภาคโดยเฉลี่ย ที่ ระดับนัยสำคัญ 0.05 (sig. = .000)

2. ระยะเวลาที่ใช้ในการทดลอง พบว่าไม่มีความแตกต่างของระยะเวลาที่ใช้ในการทดลอง ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 (sig. = .343)

### อภิปรายผล

1. การตรวจพบอนุภาคที่เกิดจากการรวมตัวของธาตุโลหะสำคัญ ที่เกิดจากการยิงปืน ทั้ง 3 อนุภาค และ 2 อนุภาค นั้น ให้ผลคล้ายกัน คือ พบในกระสุนขนาด 9 มม. มากที่สุด รองลงมา คือ กระสุนปืน ขนาด .45 และกระสุนปืนลูกซอง ขนาด เกจ 12 ตามลำดับ เชื่อได้ว่าเป็นผลมาจาก ชนิดของแก๊ปปืน ( Primer ) ที่แตกต่างกัน

2. การตรวจพบอนุภาคที่เกิดจากการรวมตัวของธาตุโลหะสำคัญที่เกิดจากการยิงปืน ทั้ง 3 อนุภาค และ 2 อนุภาค ให้ผลคล้ายกันคือ พบในช่วงเวลาหลังจากการยิงปืน 12 เดือน , 6 เดือน และ 1 เดือน ตามลำดับ ที่ได้ผลลักษณะนี้ เชื่อได้ว่าเป็นผลมาจาก

การจัดเก็บด้วยชุด Stub ในตำแหน่งที่มี คราบเขม่าป็นติดอยู่ มาก น้อย แตกต่างกัน และ จำนวน ชั่วโมงที่ใช้ในการศึกษา ใช้เพียง ขนาด และ 3 ชั่วโมง ประการสำคัญ ชนิดของเนื้อผ้าถุงมือ ที่ใช้สวมในการยิงทดสอบ ก็มีผลต่อการ จม หรือ ติดอยู่ ของคราบเขม่าป็น

และผลจากการวิจัยที่ได้ในครั้งนี้ เป็นการใช้กระสุนปืนที่เป็นที่นิยม และมี จำหน่ายในกลุ่มที่นิยมยิงปืน ผลที่ได้สอดคล้องกับการทดลองของ Hsien- Hui Meng และคณะ(2007). ที่ทำการทดลอง หารธาตุโลหะสำคัญที่เกิดภายหลังจากการยิงปืนใน กระสุนที่หาซื้อได้ง่าย หรือ พบบ่อยในประเทศไต้หวัน โดยพบองค์ประกอบของธาตุ ทั้ง 3 ธาตุ คือ Pb , Sb และ Ba อีกทั้ง ยังมี รูปพรรณ สัณฐาน (Morphology ) แบบทรงกลม

## ข้อเสนอแนะ

### 1. ข้อเสนอแนะจากการวิจัย

การวิจัยเป็นการศึกษาวิธีการตรวจหาคราบเขม่าป็นภายหลังจากการยิงปืน ด้วยชุด STUB ในช่วงเวลาที่ต่างกัน โดยการวิจัยครั้งนี้ มีการกำหนดช่วงเวลาในการ จัดเก็บ คราบเขม่าป็น สูงสุด ที่ระยะเวลา 1 ปี เพื่อให้เกิดความเชื่อมั่นว่า แม้เวลาจะผ่าน การยิงปืนไปถึง 1 ปี ก็ยังสามารถที่จะตรวจหาธาตุโลหะสำคัญอันเกิดภายหลังจากการยิง ปืนได้ และประการสำคัญการใช้ชุดเก็บคราบเขม่าแบบ STUB แทนที่การจัดเก็บคราบ เขม่าป็นแบบเดิม คือ การใช้ กรดไนตริก 5 % ( HNO<sub>3</sub>) ซึ่งยุ่งยากในการจัดเตรียม ชุดเก็บ ไม่สะดวกเหมือนชุดเก็บคราบเขม่าป็นแบบ STUB ที่ง่ายต่อการพกพา แก่การนำไปใช้ และการจัดเก็บ แต่อย่างไรก็ตาม การวิจัยในครั้งนี้ มีข้อเสนอแนะดังต่อไปนี้

1.1 วิธีการเก็บคราบเขม่าป็น ด้วยชุดจัดเก็บ STUB จำเป็นต้องจัดเก็บให้ถูก จุด เพื่อให้แผ่นกาวคาร์บอน ติดธาตุโลหะสำคัญ หากจัดเก็บไม่ถูกจุด ก็อาจจะไม่พบ ธาตุโลหะสำคัญก็เป็นได้ จึงควรทราบข้อมูลเบื้องต้นว่า ผู้ต้องสงสัยนั้น ถนัดมือข้างใด

1.2 ปริมาณของอนุภาคธาตุโลหะสำคัญ ที่พบในแต่ละชุด STUB ที่จัดเก็บ ภายหลังจากการ ยิงปืนในครั้งเดียวกัน จะมีปริมาณไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับว่าในชั้นการ จัดเก็บ แผ่นกาวคาร์บอนนั้นไปติด ธาตุโลหะสำคัญมามากน้อยขึ้นกับจุดที่จัดเก็บ

1.3 การปรากฏของธาตุโลหะสำคัญ เพื่อยืนยันว่าเป็นผู้ยิงปืน หรือมีความ เกี่ยวข้องกับการ ยิงปืน จะต้องเกิดจากการรวมตัวกันของธาตุๆ อย่างน้อย 2 ธาตุ เช่น Sb กับ Pb , Ba กับ Sb , Ba กับ Pb หรือพบทั้ง 3 ธาตุ คือ Pb , Ba และ Sb

1.4 การวิจัยนี้ เป็นเพียงการใช้ถุงมือผ้าขาว ชนิด Cotton แทนเสื้อผ้า ที่เชื่อว่า คราบเขม่าปืน จะปลิวไปติด หากเป็นผ้าเนื้ออื่น หรือวัสดุที่แตกต่างออกไป ผลการวิจัยที่ ได้ เชื่อว่า อาจมีความแตกต่าง

## 2. ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

- 2.1 ควรเพิ่มขนาดของกระสุนปืนที่ทำการวิจัยให้มากขึ้น
- 2.2 ควรเพิ่มชนิด (ยี่ห้อ) ของกระสุนปืนที่ใช้ทำการวิจัยให้มากขึ้น
- 2.3 ควรหาระยะเวลาที่นานที่สุด ที่คราบเขม่าปืนจะคงอยู่
- 2.4 ควรเพิ่มชนิดของเนื้อผ้า

### บรรณานุกรม (Bibliography)

- [1] ร้อยตำรวจเอก วิวัฒน์ ชินวร.(2547) . การวิเคราะห์เขม่าปืนด้วยเทคนิค SEM/EDX.  
วิทยานิพนธ์ สาขานิติวิทยาศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- [2] พล.ต.ท.อรรถพล เข้มสุวรรณวงศ์ และ คณะ. (2544). นิติวิทยาศาสตร์ 2 เพื่อการสืบสวน  
สอบสวน ( Forensic Science 2 for Crime Investigation). พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ.
- [3] อรรฉิศา สัสซันอาลี และเกศทิพย์ กริ่งเงิน. “ ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับสิ่งทอเบื้องต้น ” ในเอกสาร  
การสอนวิชาความรู้เรื่องผ้าและเส้นใยเบื้องต้น สาขาวิชาผ้าและเครื่องแต่งกาย  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตโชติเวช, หน้า12 .
- [4] ศรีนวล แก้วแพรง.(2550) . ความรู้เรื่องผ้าและเส้นใย. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์  
มหาวิทยาลัยรามคำแหง, หน้า 4-16.
- [5] อัจฉราพร ไสละสูต.(2529) . ความรู้เรื่องผ้า. กรุงเทพฯ ฯ : ศูนย์หนังสือกรุงเทพ ฯ , หน้า239.
- [6] ASTM International.(2007). **Standard Guild for Gunshot Residue Analysis by Scanning  
Electron Microscope / Energy Dispersive X-ray Spectrometry.** United State .
- [7] Hsien-Hui Meng, Ph.D.;Hsei-Chang Lee, M. sc., (2007). **Elemental analysis of primer  
mixtures and gunshot residues from handgun cartridges commonly encountered in  
Taiwan,** Forensic Science Journal.
- [8] <http://www.iamaweb.com/gunshotresidue/pgsr>
- [9] <http://www.jerzeeddevil.com/gallery/files>
- [10] <http://www.gunaction.com>
- [11] <http://www.centerfiregun.com>
- [12] <http://www.sciencedirect.com>
- [13] <http://www.gunauction.com/search/displayitem.cfm>.
- [14] <http://www.image.ohozaa.com/i/23c/copyofrimscase.jpg>
- [15] <http://www.gun.in.th>
- [16] <http://www.weekendhobby.com/gun/webboard/picture>.
- [17] <http://www.gunsandgames.com>
- [18] <http://www.forensicevidence.net/Images/SbBa6.jpg>

- [19] <http://www.iamaweb.com/gunshotresidue/pbbasb141new.html>
- [20] <http://www.authorjenniferchase.files.wordpress.com/2012/02/bullet.jpg>
- [21] <http://www.tritechforensics.com/store/product/gsr-sem-collection-devices>
- [22] <http://www.nanopedia.case.edu/image/SEM2.jpg>
- [23] <http://www.srinathenterprises.com/black-carbon-powder.htm>
- [24] [http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/df/Pyrodex\\_powder\\_ffg.jpg](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/df/Pyrodex_powder_ffg.jpg)
- [25] [http://www.firearmsid.com/Feature%20Articles/McCord\\_gunpowder/index.htm](http://www.firearmsid.com/Feature%20Articles/McCord_gunpowder/index.htm)
- [26] <http://www.info4guns.com/graphics/shotgun-gauge.gif>
- [27] <http://www.rconradbane.blogspot.com/2011/11/3-firearms>
- [28] [http://www.hunter-ed.com/images/graphics/ammo\\_pattern\\_spread.gif](http://www.hunter-ed.com/images/graphics/ammo_pattern_spread.gif)
- [29] <http://www.static.ddmcdn.com/gif/shotgun-chokes.gif>
- [30] <http://www.elecnnet.chandra.ac.th/learn/courses/sem/pong/1.html>
- [31] <http://www.thaibiohazard.com>
- [32] <http://gungallery.in.th/index.php?topic=349.200>
- [33] <http://www.matichon.co.th/online/2009/03/123805951912380598651.jpg>
- [34] <http://www.gunclassics.com/images/rim-center.jpg>
- [35] <http://www.aspexcorp.com/Industries/HealthSciences/ReportedInformation.aspx>
- [36] <http://www.aspexcorp.com/Portals>

### ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล นายกำชัย ศรีธรรม  
 ที่อยู่ 26/791 อาคารป๊อปปูล่าคอนโดมิเนียมT12 ต.บ้านใหม่ อ.ปากเกร็ด จ.นนทบุรี 11120  
 ที่ทำงาน สถาบันนิติวิทยาศาสตร์ กระทรวงยุติธรรม ศูนย์ราชการเฉลิมพระเกียรติฯ อาคารบี  
 ชั้น8 แขวงทุ่งสองห้อง เขตหลักสี่ กรุงเทพฯ 10210

### ประวัติการศึกษา

- พ.ศ.2536 สำเร็จการศึกษาชั้นประถมศึกษาจากโรงเรียนเมืองร้อยเอ็ด
- พ.ศ.2542 สำเร็จการศึกษาชั้นมัธยมศึกษาจากโรงเรียนร้อยเอ็ดวิทยาลัย
- พ.ศ.2546 สำเร็จการศึกษาวิทยาศาสตร์บัณฑิต(พันธุศาสตร์)จากมหาวิทยาลัยมหาสารคาม
- พ.ศ.2552 ศึกษาต่อระดับปริญญาโทบัณฑิต สาขานิติวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร

### ประวัติการทำงาน

- พ.ศ.2547 รับราชการในตำแหน่งนักนิติวิทยาศาสตร์ ระดับ3
- พ.ศ.2549 รับราชการในตำแหน่งนักนิติวิทยาศาสตร์ ระดับ4
- พ.ศ.2551 รับราชการในตำแหน่งนักนิติวิทยาศาสตร์ ระดับ5
- พ.ศ.2554 รับราชการในตำแหน่งนักนิติวิทยาศาสตร์ชำนาญการ