



ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของเขม่าป็นบนมือผู้ยิงปืน และระยะเวลาหลังการยิงปืน
ที่วิเคราะห์โดยเทคนิค Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry (ICP - MS)

โดย

พันตำรวจโทเชิดพงศ์ ชุกกลิ่น

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2554

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของเขม่าป็นบนมือผู้ยิงปืน และระยะเวลาหลังการยิงปืน
ที่วิเคราะห์โดยเทคนิค Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry (ICP - MS)

โดย

พันตำรวจโทเชิดพงศ์ ชุกกลิ่น

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2554

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

**THE RELATIONSHIP BETWEEN THE AMOUNTS OF GUNSHOT RESIDUES ON
THE HAND OF THE SHOOTER AND THE TIME PERIODS AFTER SHOOTINGS
BY INDUCTIVELY COUPLED PLASMA - MASS SPECTROMETRY (ICP - MS)
TECHNIQUES**

By

Police Lieutenant Colonel Choedpong Chukling

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 “ ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของเขม่าป็นบนมือผู้ยิงปืนและระยะเวลาภายหลังการยิงปืน ที่วิเคราะห์โดยเทคนิค Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry (ICP-MS) ” เสนอโดย พันตำรวจโทเชิดพงศ์ ชุกกลิน เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิตสาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปานใจ ชารัตน์วงศ์)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
วันที่.....เดือน..... พ.ศ.

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

1. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นรงค์ นิมพาลี
2. พันตำรวจโท ดร. สถิตย์ สืบพงษ์ศิริ

คณะกรรมการตรวจสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ พันตำรวจเอก สันต์ สุขวัจน์)
...../...../.....

..... กรรมการ
(พลตำรวจโท อมรรักษ์ หุวะนันทน์)
...../...../.....

..... กรรมการ	 กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นรงค์ นิมพาลี)	(พันตำรวจโท ดร. สถิตย์ สืบพงษ์ศิริ)
...../...../.....	/...../.....

50312307 : สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์

คำสำคัญ : เหม่าปืน/ เทคนิค ICP-MS

เชิดพงศ์ ชุกกลิ่น: ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของเหม่าปืนบนมือผู้ยิงปืนและระยะเวลาภายหลังการยิงปืนที่วิเคราะห์โดยเทคนิค Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry (ICP - MS). อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์: ผศ. ดร. นรงค์ จิมพาลี และ พ.ต.ท. ดร. สฤณี สืบพงษ์ศิริ. 107 หน้า.

วัตถุพยานทางนิติวิทยาศาสตร์สามารถใช้ในการตรวจพิสูจน์การกระทำความผิด และเป็นที่ยอมรับของศาล ปืนเป็นอาวุธที่มักพบบ่อยในคดีอาชญากรรม ในปัจจุบันการตรวจพิสูจน์ เหม่าปืนที่มือของผู้ต้องสงสัยเพื่อพิสูจน์ว่าเกี่ยวข้องกับปืนหรือไม่ สามารถทำได้หลายวิธี

ในงานวิจัยนี้ เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของเหม่าปืนบนมือผู้ยิงปืน และระยะเวลาภายหลังการยิงปืนในช่วงเวลา 0-8 ชั่วโมง ในการทดลองใช้อาวุธปืนพกกึ่งอัตโนมัติ ขนาด 9 มม. ยิงครั้งละ 3 นัด และ 9 นัด โดยแต่ละการทดลองจะทำซ้ำ 5 ครั้ง จากนั้นนำตัวอย่างที่ เก็บจากหลังมือขวาของผู้ยิงปืนไปตรวจหาปริมาณของธาตุทั้ง 3 ธาตุ คือ แอนติโมนี(Sb), แบเรียม (Ba) และ ตะกั่ว(Pb) ซึ่งเป็นธาตุสำคัญที่พบในเหม่าปืน(Gunshot Residues , GSR) ด้วยเทคนิค Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry (ICP - MS)

ผลการวิจัยพบว่า ปริมาณของธาตุทั้ง 3 ธาตุ จะลดลงอย่างรวดเร็วหลังจากยิงปืนผ่านไป 1 ชั่วโมง จากนั้นจะลดลงตามระยะเวลา โดยหลังจากเวลาผ่านไปตั้งแต่ 5-8 ชั่วโมง พบว่าการ ลดลงของปริมาณธาตุทั้งสามเกือบจะคงที่ และการยิงปืนครั้งละ 9 นัด ปริมาณของธาตุทั้งสามมี ปริมาณมากกว่าการยิงปืนครั้งละ 3 นัด

สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2554

ลายมือชื่อนักศึกษา.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ 1. 2.

50312307 : MAJOR : FORENSIC SCIENCE

KEY WORDS : GUNSHOT RESIDUES/ ICP-MS TECHNIQUES

CHOEDPONG CHUKLING : THE RELATIONSHIP BETWEEN THE AMOUNTS OF GUNSHOT RESIDUES ON THE HAND OF THE SHOOTER AND THE TIME PERIODS AFTER SHOOTINGS BY INDUCTIVELY COUPLED PLASMA - MASS SPECTROMETRY (ICP - MS) TECHNIQUES. THESIS ADVISORS : ASST. PROF. NARONG CHIMPALEE, Ph.D. AND POL.LT.COL. SARIT SUEBPONGSIRI, Ph.D. 107 pp.

Forensic evidences can be used to determine the act of a perpetrator and are accepted by the court. The gun is a weapon that always found in the criminal cases. In recent day the analysis of gunshot residue (GSR) can prove that the suspect shot or not. This can be determined by several techniques.

In this study the 9 mm. Semi Automatic pistol was used to determine the relation between the amount of GSR on the right hand of the shooter and the time period between 1 to 8 hours after shot. The test was done by three rounds and nine rounds shooting then each test was repeated 5 times. The amount of three elements, Antimony(Sb), Barium(Ba), and Lead(Pb), that are always found in the GSR were determined by Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry (ICP - MS) technique.

The result shows that the amount of the three elements would decrease rapidly clammng the first hour then decreasing more slow related time, after the time period 5 to 8 hours the amount of three ones were almost stable. The amount of the three elements of nine shots was higher than the three shots.

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

Student's signature

Thesis Advisors' signature 1. 2.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ได้ด้วยความรู้และความช่วยเหลืออย่างดีจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นรงค์ จิมพาลี และ พันตำรวจโท ดร. สฤกษ์ สืบพงษ์ศิริ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำและคำปรึกษาในทุกขั้นตอนของการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ อีกทั้งให้ความช่วยเหลือแก้ไขปรับปรุงวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์และสำเร็จลุล่วงลงได้ด้วยดี ผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณ สำนักงานพิสูจน์หลักฐานตำรวจ ที่ให้ความอนุเคราะห์มอบเงินทุนการศึกษา ในระดับปริญญาโท

ขอขอบพระคุณ กลุ่มงานตรวจอาวุธปืนและเครื่องกระสุน กองพิสูจน์หลักฐานกลาง สำนักงานพิสูจน์หลักฐานตำรวจ สำนักงานตำรวจแห่งชาติ ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ทำการทดลอง, เครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

ขอขอบคุณ พันตำรวจโท ธนศักดิ์ บุญมาก, พันตำรวจโท ปิยะ ตันติสิระ, พันตำรวจตรีหญิง สรัลนุช ชุกกลิ่น, ร้อยตำรวจเอกหญิง อัจฉราภรณ์ ประสงค์ และ ร้อยตำรวจเอกหญิง สุวรรณ บุญส่งไพโรจน์ ที่คอยให้ความช่วยเหลือและความอนุเคราะห์อาวุธปืนที่ใช้ในการทดลอง ที่ให้ความช่วยเหลือในขั้นตอนของการเก็บตัวอย่าง รวมทั้งผู้ที่ไม่ได้กล่าวนามทุกท่าน ซึ่งมีส่วนช่วยเหลือจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ประสบผลสำเร็จได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ คุณค่าและประโยชน์จากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบเป็นเครื่องบูชาพระคุณแด่บิดา มารดา ครูอาจารย์ ของผู้วิจัยที่ อบรมสั่งสอน แนะนำ ให้การสนับสนุน และให้กำลังใจจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลงได้ด้วยดี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ฎ
บทที่	
1 บทนำ	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
สมมติฐานของการวิจัย	2
ขอบเขตของการวิจัย	2
ตัวแปรที่ศึกษา	3
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการวิจัย	3
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
เอกสารที่เกี่ยวข้อง	4
อาวุธปืนและเครื่องกระสุนปืน	9
หลักการพื้นฐานของเครื่อง Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry (ICP - MS)	28
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	42
3 วิธีดำเนินการวิจัย	46
เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย	46
สารเคมีที่ใช้ในการวิจัย	47
การเตรียมสารละลายมาตรฐาน	47
วิธีการวิเคราะห์หาเขม่าปืน (GSR) บนมือผู้ยิงปืนด้วยเทคนิค ICP - MS	48
แผนผังแสดงการวิเคราะห์	57
4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล	58
ผลการวิเคราะห์ปริมาณ แอนติโมนี แบบรีม และตะกั่ว ของกระสุนปืนที่ใช้ในการทดลอง	58

บทที่	หน้า
ผลการวิเคราะห์หาจำนวนนัดของการยิง	59
ผลการวิเคราะห์หาผลของการล้างทำความสะอาดอาวุธปืนก่อนนำมาใช้ ใช้ยิงทดสอบ	60
ผลการวิเคราะห์หาบริเวณที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างบนมือของผู้ยิงปืน	60
ผลการวิเคราะห์ปริมาณเขม่าปืนบนมือผู้ยิงปืนและระยะเวลาภายหลัง การยิงปืน	62
ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของเขม่าปืนบนมือผู้ยิงปืน และระยะเวลา	70
ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบปริมาณเขม่าปืนระหว่างการยิงปืนครั้งละ 3 นัด กับ 9 นัด	71
5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	73
สรุปผลการวิจัย	73
ข้อเสนอแนะ	73
บรรณานุกรม	75
ภาคผนวก	77
ภาคผนวก ก กราฟมาตรฐานของการวิเคราะห์ปริมาณของธาตุแอนติโมนี แบเรียม และตะกั่ว บนมือผู้ยิงปืน โดยเทคนิค ICP - MS	78
ภาคผนวก ข ตัวอย่างผลการวิเคราะห์ปริมาณของธาตุแอนติโมนี แบเรียม และตะกั่ว บนมือผู้ยิงปืน	84
ภาคผนวก ค การหาประสิทธิภาพของการวิเคราะห์	86
ภาคผนวก ง ผลการวิเคราะห์หาปริมาณของธาตุแอนติโมนี แบเรียม และตะกั่ว บนมือผู้ยิงปืน โดยเทคนิค ICP - MS	88
ประวัติผู้วิจัย	107

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ธาตุโลหะสำคัญที่มีใน Primer Cap	8
2	เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย	46
3	สารเคมีที่ใช้ในการวิจัย	47
4	การเตรียมสารละลายมาตรฐาน แอนติโมนี แบเรียม ตะกั่ว	48
5	สถานะของเครื่อง Inductively Couple Plasma - Mass Spectrometer	56
6	ผลวิเคราะห์ปริมาณแอนติโมนี แบเรียม และตะกั่ว ในแก้วของกระสุนปืน ออโตเมติก ขนาด 9 มม. ที่ใช้ในการวิจัย โดยการสุ่ม 1 : 200 นัด	59
7	ผลการวิเคราะห์ปริมาณแอนติโมนี แบเรียม และตะกั่ว ในการเก็บตัวอย่าง บนมือผู้ยิงปืน จำนวน 8 บริเวณ ที่ใช้ในการวิจัย	61
8	ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานแอนติโมนี แบเรียม และตะกั่ว ความเข้มข้นที่ 1	79
9	ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานแอนติโมนี แบเรียม และตะกั่ว ความเข้มข้นที่ 2	80
10	ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานแอนติโมนี แบเรียม และตะกั่ว ความเข้มข้นที่ 3	81
11	ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานแอนติโมนี แบเรียม และตะกั่ว ความเข้มข้นที่ 4	82
12	ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานแอนติโมนี แบเรียม และตะกั่ว ความเข้มข้นที่ 5	81
13	ผลการวิเคราะห์ปริมาณ แอนติโมนี แบเรียม และตะกั่ว ของการยิงปืนด้วย กระสุนปืนออโตเมติก ขนาด 9 มม. ครั้งละ 1 นัด (ล้างปืนทุกครั้ง)	89
14	ผลการวิเคราะห์ปริมาณ แอนติโมนี แบเรียม และตะกั่ว ของการยิงปืนด้วย กระสุนปืนออโตเมติก ขนาด 9 มม. ครั้งละ 1 นัด (ไม่ล้างปืน)	90
15	ผลการวิเคราะห์ปริมาณ แอนติโมนี แบเรียม และตะกั่ว ของการยิงปืนด้วย กระสุนปืนออโตเมติก ขนาด 9 มม. ครั้งละ 2 นัด (ล้างปืนทุกครั้ง)	91
16	ผลการวิเคราะห์ปริมาณ แอนติโมนี แบเรียม และตะกั่ว ของการยิงปืนด้วย กระสุนปืนออโตเมติก ขนาด 9 มม. ครั้งละ 2 นัด (ไม่ล้างปืน)	92

ตารางที่		หน้า
17	ผลการวิเคราะห์ปริมาณ แอนติโมนี แบเรียม และตะกั่ว ของการยิงปืนด้วย กระสุนปืนออตโตเมติก ขนาด 9 มม. ครั้ง 3 นัด (ล้างปืนทุกครั้ง)	93
18	ผลการวิเคราะห์ปริมาณ แอนติโมนี แบเรียม และตะกั่ว ของการยิงปืนด้วย กระสุนปืนออตโตเมติก ขนาด 9 มม. ครั้งละ 3 นัด (ไม่ล้างปืน)	94
19	ผลการวิเคราะห์ปริมาณ แอนติโมนี(Sb) บนมือผู้ยิงปืน กับ ระยะเวลาภายหลัง การยิงปืนในช่วงเวลา 0-8 ชั่วโมง : ยิงปืนครั้งละ 3 นัด	95
20	ผลการวิเคราะห์ปริมาณ แบเรียม(Ba) บนมือผู้ยิงปืน กับ ระยะเวลาภายหลัง การยิงปืนในช่วงเวลา 0-8 ชั่วโมง : ยิงปืนครั้งละ 3 นัด	97
21	ผลการวิเคราะห์ปริมาณ ตะกั่ว(Pb) บนมือผู้ยิงปืน กับ ระยะเวลาภายหลัง การยิงปืนในช่วงเวลา 0-8 ชั่วโมง : ยิงปืนครั้งละ 3 นัด	99
22	ผลการวิเคราะห์ปริมาณ แอนติโมนี(Sb) บนมือผู้ยิงปืน กับ ระยะเวลาภายหลัง การยิงปืนในช่วงเวลา 0-8 ชั่วโมง : ยิงปืนครั้งละ 9 นัด	101
23	ผลการวิเคราะห์ปริมาณ แบเรียม(Ba) บนมือผู้ยิงปืน กับ ระยะเวลาภายหลัง การยิงปืนในช่วงเวลา 0-8 ชั่วโมง : ยิงปืนครั้งละ 9 นัด	103
24	ผลการวิเคราะห์ปริมาณ ตะกั่ว(Pb) บนมือผู้ยิงปืน กับ ระยะเวลาภายหลัง การยิงปืน ในช่วงเวลา 0-8 ชั่วโมง : ยิงปืนครั้งละ 9 นัด	105

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	การเกิดเขม่าปืน หรือ Gunshot Residues ; GSR ในอาวุธปืนกึ่งอัตโนมัติ	4
2	ส่วนประกอบของกระสุนปืน และแก๊ปปืน	5
3	โครงสร้างทางเคมีของ Lead styphnate [$\text{PbC}_6\text{H}(\text{NO}_2)_3\text{O}_2$]	6
4	กราฟ แสดงความดัน และ อุณหภูมิ ณ ช่วงเวลาต่างๆที่เกิดจากการเผาไหม้ ของ Primer Cap และ ดินสักระสุนปืน	7
5	บริเวณที่เขม่าปืนสามารถออกมาได้ ในปืนพกหรือลเวอรี่	8
6	บริเวณที่เขม่าปืนสามารถออกมาได้ ในปืนพกอัตโนมัติ	9
7	ส่วนของอาวุธปืนที่มีความสำคัญให้ถือเป็นอาวุธปืน ตามความ ในมาตรา ๔(๑)	10
8	ปืนสั้นที่ทำจากต่างประเทศ	12
9	ปืนสั้นที่ทำเองภายในประเทศ	13
10	ปืนยาวที่ทำจากต่างประเทศ	14
11	ปืนยาวที่ทำขึ้นเองภายในประเทศ	15
12	ปืนที่มีเกลียวภายในลำกล้อง	16
13	ปืนที่ไม่มีเกลียวภายในลำกล้อง	17
14	ส่วนประกอบกระสุนปืนลูกโดด	19
15	ลูกกระสุนปืนแบบต่างๆ	19
16	ปลอกกระสุนปืนแบบต่างๆ	23
17	ดินดำ (Black Powder)	24
18	ดินดำแบบใหม่ (Pyrodex)	24
19	ดินคัวน้อยรูปร่างต่างๆ	25
20	ชนวนจันท้ายกระสุนปืน หรือ แก๊ปปืน	25
21	ส่วนประกอบของกระสุนปืนลูกซอง	26
22	กระสุนปืนลูกซองขนาดต่างๆ	27
23	ปากปลอกกระสุนปืนแบบต่างๆ	27
24	องค์ประกอบที่สำคัญของเครื่อง ICP - MS	29
25	กระบวนการเกิดปฏิกิริยาของเครื่อง ICP - MS	30

ภาพที่		หน้า
26	กระบวนการต่างๆ ที่เกิดในพลาสมา	34
27	การทำงานของ quadrupole mass analyzer	36
28	อาวุธปืนพกกึ่งออโตแมติก ยี่ห้อ GLOCK MODEL 19 ขนาด 9 มิลลิเมตร	49
29	กล่องบรรจุภัณฑ์ของกระสุนปืนที่ผลิตในครั้งเดียวกัน ซึ่งใช้ในการ ทำการวิจัยครั้งนี้	49
30	กล่องบรรจุกระสุนปืน กล่องละ 50 นัด	49
31	ห้องทดสอบยิงปืน และห้องเก็บตัวอย่าง(เฉพาะกรณีเก็บเขม่าหลังยิงทันที) ...	50
32	สภาพผู้ทดลองยิงปืนภายในห้องยิงปืนที่ปิดมิดชิด และการเกิดเขม่า ในขณะยิงปืน	50
33	สภาพการเกิดเขม่าปืน (Gunshot Residues, GSR) ในขณะยิงปืน	50
34	ลักษณะท่าทางที่ผู้ยิงปืนทำการยิงด้วยอาวุธปืนพกกึ่งออโตแมติก ขนาด 9 มิลลิเมตร ยี่ห้อ GLOCK MODEL 19	52
35	อุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บเขม่าปืน	53
36	วิธีการเก็บเขม่าปืนในแต่ละบริเวณ	54
37	เครื่อง Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometer (ICP - MS) ของ กลุ่มงานตรวจอาวุธปืนและเครื่องกระสุน กองพิสูจน์หลักฐานกลาง	55
38	แสดงแผนผังขั้นตอนการวิเคราะห์	57
39	แผนภูมิแสดงปริมาณแอนติโมนี(Sb) แบเรียม(Ba) และตะกั่ว(Pb) ในแก๊ปกระสุนปืน	58
40	แสดงปริมาณธาตุทั้ง 3 ธาตุ จากการยิงปืนครั้งละ 1 นัด, 2 นัด และ 3 นัด	59
41	แสดงปริมาณธาตุทั้ง 3 ธาตุ ระหว่าง การล้าง กับ ไม่ล้าง ทำความสะอาด อาวุธปืน	60
42	ปริมาณของธาตุ แอนติโมนี(Sb) ที่บริเวณ ง่ามนิ้วจากนิ้วหัวแม่มือถึงนิ้วชี้ ของหลังมือขวา และ หลังมือขวา ในการยิงปืนครั้งละ 3 นัด	62
43	ปริมาณของธาตุ แบเรียม(Ba) ที่บริเวณ ง่ามนิ้วจากนิ้วหัวแม่มือถึงนิ้วชี้ ของหลังมือขวา และ หลังมือขวา ในการยิงปืนครั้งละ 3 นัด	63
44	ปริมาณของธาตุ ตะกั่ว(Pb) ที่บริเวณ ง่ามนิ้วจากนิ้วหัวแม่มือถึงนิ้วชี้ ของหลังมือขวา และ หลังมือขวา ในการยิงปืนครั้งละ 3 นัด	64

ภาพที่		หน้า
45	ปริมาณผลรวมของธาตุ แอนติโมนี(Sb) แบเรียม(Ba) และตะกั่ว(Pb) บริเวณ หลังมือขวาของผู้ยิงปืน ในการยิงปืนครั้งละ 3 นัด	65
46	ปริมาณของธาตุ แอนติโมนี(Sb) ที่บริเวณ ง่ามนิ้วจากนิ้วหัวแม่มือถึงนิ้วชี้ ของหลังมือขวา และ หลังมือขวา ในการยิงปืนครั้งละ 9 นัด	66
47	ปริมาณของธาตุ แบเรียม(Ba) ที่บริเวณ ง่ามนิ้วจากนิ้วหัวแม่มือถึงนิ้วชี้ ของหลังมือขวา และ หลังมือขวา ในการยิงปืนครั้งละ 9 นัด	67
48	ปริมาณของธาตุ ตะกั่ว(Pb) ที่บริเวณ ง่ามนิ้วจากนิ้วหัวแม่มือถึงนิ้วชี้ ของหลังมือขวา และ หลังมือขวา ในการยิงปืนครั้งละ 9 นัด	68
49	ปริมาณผลรวมของธาตุ แอนติโมนี(Sb) แบเรียม(Ba) และตะกั่ว(Pb) บริเวณ หลังมือขวาของผู้ยิงปืน ในการยิงปืนครั้งละ 9 นัด	69
50	แสดงเปอร์เซ็นต์การลดลงของปริมาณธาตุทั้ง 3 ธาตุ ในการยิงปืนครั้งละ 3 นัด (เมื่อ 100 เปอร์เซ็นต์ คือการเก็บเขม่าหลังยิงปืนทันที)	70
51	แสดงเปอร์เซ็นต์การลดลงของปริมาณธาตุทั้ง 3 ธาตุ ในการยิงปืนครั้งละ 9 นัด (เมื่อ 100 เปอร์เซ็นต์ คือการเก็บเขม่าหลังยิงปืนทันที)	71
52	เปรียบเทียบปริมาณของธาตุแอนติโมนี(Sb) ในการยิงปืนครั้งละ 9 นัด และ 3 นัด	71
53	เปรียบเทียบปริมาณของธาตุแบเรียม(Ba) ในการยิงปืนครั้งละ 9 นัด และ 3 นัด	72
54	เปรียบเทียบปริมาณของธาตุตะกั่ว(Pb) ในการยิงปืนครั้งละ 9 นัด และ 3 นัด	72
55	กราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานแอนติโมนี แบเรียม และตะกั่ว ความเข้มข้น 10 - 20 - 40 ppb	79
56	กราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานแอนติโมนี แบเรียม และตะกั่ว ความเข้มข้น 20 - 40 - 80 ppb	80
57	กราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานแอนติโมนี แบเรียม และตะกั่ว ความเข้มข้น 40 - 80 - 160 ppb	81
58	กราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานแอนติโมนี แบเรียม และตะกั่ว ความเข้มข้น 80 - 160 - 320 ppb	82

ภาพที่		หน้า
59	กราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานแอนติโมนี แบบเรียบ และตะกั่ว ความเข้มข้น 160 - 320 - 640 ppb	83

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันพยานหลักฐานทางวิทยาศาสตร์เป็นที่ยอมรับอย่างมากในกระบวนการยุติธรรม ซึ่งถือเป็นสิ่งที่สามารถพิสูจน์ได้ว่า บุคคลผู้นั้นได้กระทำความผิดในคดีหรือไม่ อย่างไร หรือมีส่วนเกี่ยวข้องกับการกระทำความผิดหรือไม่ โดยจะเห็นได้ว่าปัญหาอาชญากรรมในปัจจุบันมีจำนวน ความรุนแรง และความสลับซับซ้อนเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ สิ่งที่ถูกนำมาใช้เป็นเครื่องมือในการกระทำความผิดที่พบได้บ่อย คือ อาวุธปืน เนื่องจากระบบของการอนุญาตให้มีอาวุธปืนในครอบครองและให้ใช้อาวุธปืนของประเทศไทยนั้นสามารถที่จะกระทำได้ง่าย อีกทั้งช่องทางในการหาอาวุธปืนไม่มีทะเบียนมาใช้ก่ออาชญากรรมก็สามารถหาได้ง่ายเช่นเดียวกัน เป็นผลให้เกิดปัญหาการก่ออาชญากรรมที่รุนแรงตามมา ปัญหาเหล่านี้ล้วนแต่ส่งผลกระทบต่อสังคมเป็นอย่างมาก ส่วนในงานด้านการตรวจพิสูจน์ทางนิติวิทยาศาสตร์ในแง่ที่ว่า บุคคลนั้นได้ผ่านการยิงปืนหรือเกี่ยวข้องกับการใช้อาวุธปืนหรือไม่ นานเท่าใดนั้น วิธีที่ถูกนำมาใช้ในการตรวจพิสูจน์ประเด็นปัญหาดังกล่าวในปัจจุบันนั้นประกอบไปด้วย วิธีการหาเขม่าปืนที่เกิดจากการยิงปืน ที่มีมือของผู้ยิงปืน ซึ่งมีอยู่ด้วยกันหลายวิธี ได้แก่ เทคนิค Scanning Electron Microscope and Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (SEM/EDX), เทคนิค Neutron Activation Analysis (NAA), เทคนิค Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS) และ เทคนิค Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry (ICP - MS)

ปัจจุบัน กองพิสูจน์หลักฐานกลาง สำนักงานพิสูจน์หลักฐานตำรวจ สำนักงานตำรวจแห่งชาติ ได้ใช้เทคนิค AAS และ เทคนิค ICP - MS ในการตรวจพิสูจน์เขม่าปืนที่มีมือของผู้ต้องสงสัย เพราะสามารถเตรียมตัวอย่างและการหาปริมาณเขม่าปืนได้ง่าย โดยมีคำแนะนำและหลักปฏิบัติในการเก็บเขม่าปืนที่มีมือของผู้ยิงปืนสำหรับพนักงานสอบสวนหรือเจ้าหน้าที่เป็นผู้เก็บเขม่าปืนที่มีมือของผู้ต้องสงสัย, ผู้ต้องหา หรือ ส่งตัวบุคคลดังกล่าวไปยัง กองพิสูจน์หลักฐานกลาง, ศูนย์พิสูจน์หลักฐานต่างๆ แล้วแต่กรณี เป็นผู้ทำการเก็บเขม่าปืนโดยเร็วที่สุดภายในเวลา 6 ชั่วโมง นับแต่มีการยิงปืน

ในงานวิจัยนี้ ได้ศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของเขม่าปืนบนมือผู้ยิงปืนและระยะเวลาภายหลังจากการยิงปืน โดยใช้เทคนิค ICP - MS ซึ่งเป็นเทคนิคที่สามารถวิเคราะห์

ธาตุในระดับต่ำมาก (Ultra trace Analysis) ได้อย่างรวดเร็ว และสามารถวิเคราะห์ธาตุในตัวอย่างได้มากกว่า 1 ธาตุ ในการวิเคราะห์แต่ละครั้ง (Multi-Element Analysis) สามารถควบคุมสิ่งรบกวนที่เกิดขึ้นได้ โดยทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณของเขม่าป็น ซึ่งเป็นตัวชี้วัดตัวหนึ่งที่บ่งบอกให้ทราบว่าบุคคลผู้นั้นเกี่ยวข้องกับการยิงปืนหรือไม่

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของเขม่าป็นบนมือผู้ยิงปืนและระยะเวลาภายหลังการยิงปืน โดยศึกษาในรูปแบบของการเปลี่ยนแปลงปริมาณของธาตุ แอนติโมนี(Sb), แบเรียม(Ba) และตะกั่ว(Pb)
2. เพื่อศึกษาเปรียบเทียบปริมาณเขม่าป็นบนมือผู้ยิงปืนระหว่างการยิงปืนครั้งละ 3 นัด และ 9 นัด ว่ามีความแตกต่างกันหรือไม่อย่างไร โดยศึกษาในรูปแบบของการเปลี่ยนแปลงปริมาณของธาตุ แอนติโมนี(Sb), แบเรียม(Ba) และตะกั่ว(Pb)

1.3 สมมติฐานของการวิจัย

1. ปริมาณของเขม่าป็นบนมือผู้ยิงปืน มีความสัมพันธ์กับระยะเวลาภายหลังการยิงปืน
2. ปริมาณของเขม่าป็นบนมือผู้ยิงปืนครั้งละ 3 นัด น้อยกว่าบนมือผู้ยิงปืนครั้งละ 9 นัด แต่มีรูปแบบของการเปลี่ยนแปลงปริมาณของธาตุ แอนติโมนี(Sb), แบเรียม(Ba) และตะกั่ว(Pb) เหมือนกัน

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้จะทำการศึกษามือของมือผู้ยิงปืนและอาวุธปืนที่พบได้บ่อยในคดีต่างๆ

1. มือของผู้ยิงปืนที่ใช้ในการทดลอง คือ มือของผู้วิจัย
2. อาวุธปืนและเครื่องกระสุนปืนที่ใช้ในการทดลอง คือ อาวุธปืนพกกึ่งอัตโนมัติและเครื่องกระสุนปืนอโตเมติก ขนาด 9 มิลลิเมตร
3. ระยะเวลาที่ใช้ในการทดลอง ทำการเก็บเขม่าป็นที่มือผู้ยิงปืน โดยแบ่งออกเป็น
 - 3.1 เก็บทันที ภายหลังจากการยิงปืน
 - 3.2 เก็บภายหลังการยิงปืนไปแล้ว 1 ชั่วโมง
 - 3.3 เก็บภายหลังการยิงปืนไปแล้ว 2 ชั่วโมง
 - 3.4 เก็บภายหลังการยิงปืนไปแล้ว 3 ชั่วโมง
 - 3.5 เก็บภายหลังการยิงปืนไปแล้ว 4 ชั่วโมง

- 3.6 เก็บภายหลังจากยิงปืนไปแล้ว 5 ชั่วโมง
- 3.7 เก็บภายหลังจากยิงปืนไปแล้ว 6 ชั่วโมง
- 3.8 เก็บภายหลังจากยิงปืนไปแล้ว 7 ชั่วโมง
- 3.9 เก็บภายหลังจากยิงปืนไปแล้ว 8 ชั่วโมง
- 4. บริเวณต่างๆ ที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง
 - 4.1 บริเวณง่ามนิ้วระหว่างนิ้วหัวแม่มือถึงนิ้วชี้ของมือขวา
 - 4.2 บริเวณหลังมือขวา

1.5 ตัวแปรที่ศึกษา

ตัวแปรต้น คือ ปริมาณเขม่าปืนบนมือผู้ยิงปืน

ตัวแปรตาม คือ ระยะเวลาการคงอยู่ของเขม่าปืนบนมือผู้ยิงปืน

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

- 1. เพื่อทราบถึงระยะเวลาการคงอยู่ของเขม่าปืนบนมือผู้ยิงปืน ภายหลังจากการยิงปืน
- 2. เพื่อทราบถึงจำนวนกระสุนปืนในการยิงปืนในแต่ละครั้ง มีผลกับการคงอยู่ของเขม่าปืนบนมือผู้ยิงปืนหรือไม่
- 3. เพื่อเริ่มต้นทำให้เป็นมาตรฐานในการตรวจพิสูจน์สำหรับสถานการณ์ทดลองในประเทศไทย
- 4. เพื่อนำไปใช้เป็นข้อมูลประกอบการสืบสวนสอบสวนคดีของเจ้าหน้าที่ตำรวจ
- 5. เพื่อใช้เป็นแนวทางให้บุคคลอื่นทำงานวิจัยต่อไป

บทที่ 2

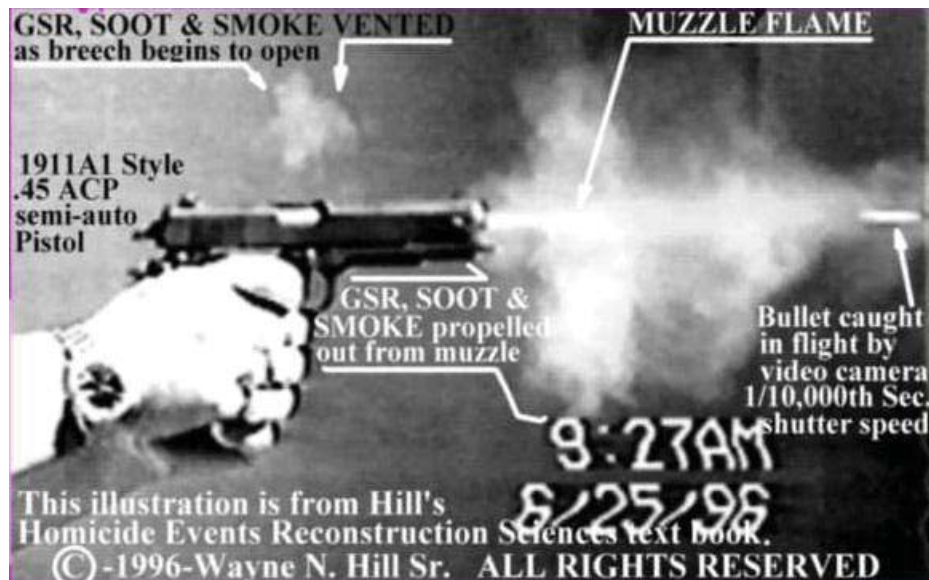
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เอกสารที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 ความหมายของเขม่าปืน (Gunshot Residue ; GSR) (อัมพร จารุจินดา 2542)

Gunshot Residue (GSR) คือ เขม่าปืน หรือ สิ่งที่หลงเหลือจากการยิงปืน ซึ่งก็หมายถึง สิ่งใดๆ รูปแบบหรือส่วนประกอบทั้งหมด ที่พุ่ง กระจาย ระเหยออกมาจากการยิงของอาวุธปืนซึ่ง เมื่อเกิดการยิงปืน GSR จะอยู่ในรูปต่างๆ ดังนี้

1. อนุภาคของดินปืนที่ถูกเผาไหม้
2. อนุภาคของดินปืนที่ถูกเผาไหม้บางส่วน
3. อนุภาคของดินปืนที่ไม่ถูกเผาไหม้
4. ไอของตะกั่ว
5. ส่วนประกอบต่างๆ ของโลหะ
6. รูปแบบของร่องรอยที่ถูกลูกกระสุนปืนยิง



ภาพที่ 1 การเกิดเขม่าปืน หรือ Gunshot Residue ; GSR ในอาวุธปืนกึ่งอัตโนมัติ

ที่มา : Gun Shot Residues [ออนไลน์], เข้าถึงเมื่อ 24 มีนาคม 2555. เข้าถึงได้จาก

<http://gunshotdynamics.com/>

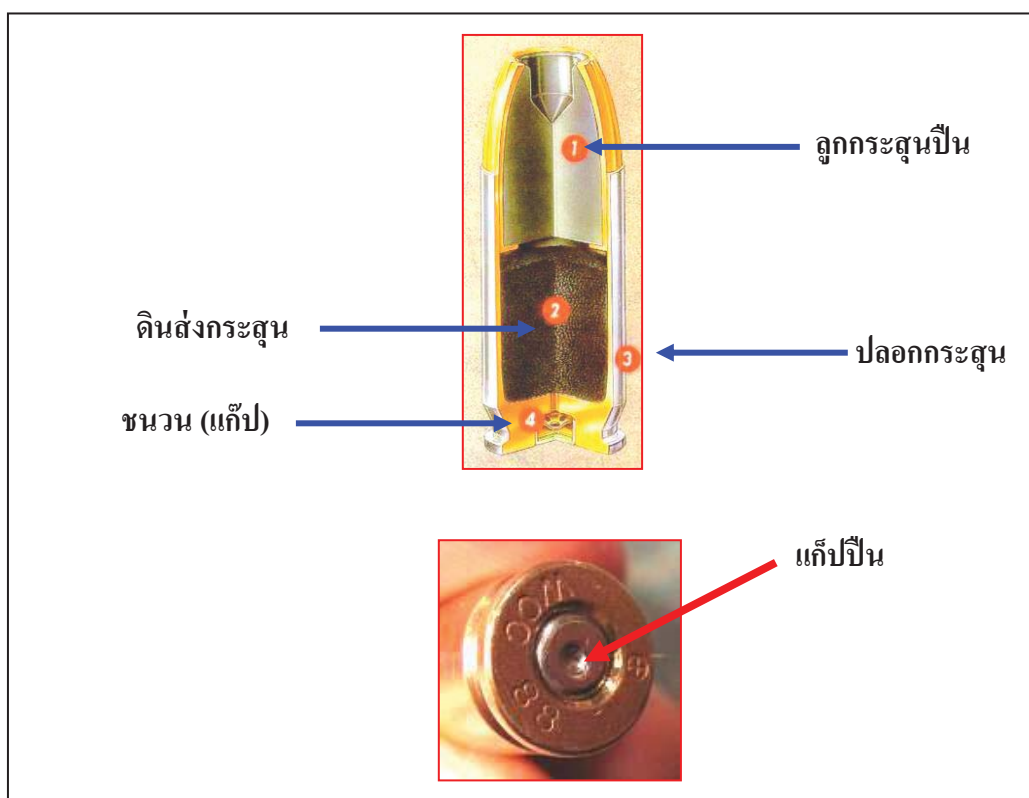
2.1.2 ประเภทของเขม่าปืน

อนุภาคที่เกิดจากการยิงปืน สามารถจำแนกได้ 3 ประเภท คือ

1. ประเภทที่แน่นอน(Exclusive / Unique GSR) : ถ้าตรวจพบธาตุเหล่านี้พร้อมกัน บอกได้แน่นอนว่ามีเขม่าปืน ได้แก่ Sb - Ba - Pb
2. ประเภทบ่งชี้ (Characteristic / Indicative GSR) : ถ้าตรวจพบธาตุเหล่านี้ น่าเชื่อได้ว่ามีเขม่าปืน ได้แก่ Si - Ba - Ca , Pb - Sb , Pb - Ba , Sb - S , Sb , Pb
3. ประเภทอื่นๆ (Other GSR) : ถ้าหากตรวจพบธาตุเหล่านี้ไม่อาจยืนยันได้ว่ามีเขม่าปืน ได้แก่ Ca , Cu , Fe , Ni , P , Si , S , Zn

2.1.3 ที่มาของเขม่าปืน

GSR Particles มาจากสารประกอบ (Priming Mixture) ในชนวนท้ายกระสุนปืน(Primer cap) หรือแก๊ปปืน (Primer) และดินปืน

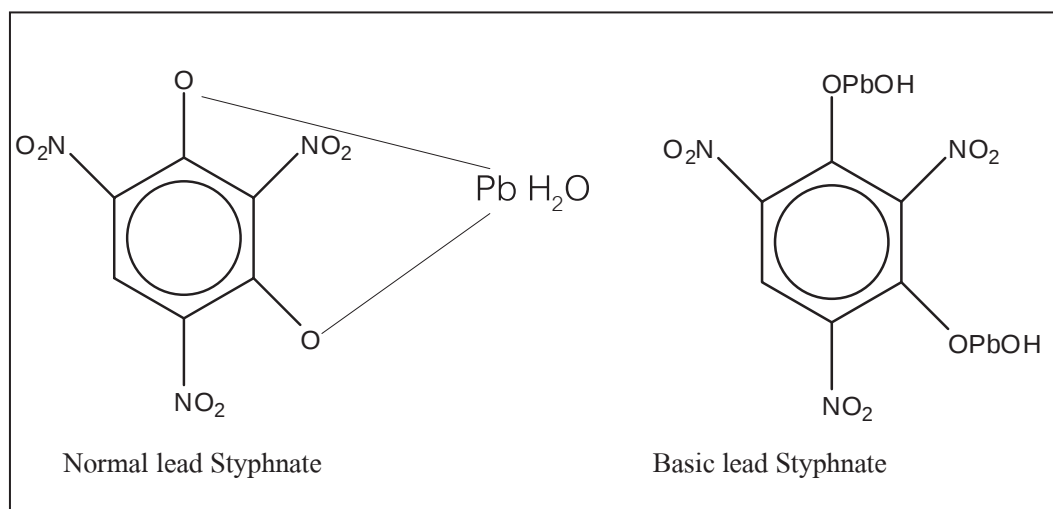


ภาพที่ 2 ส่วนประกอบของกระสุนปืน และแก๊ปปืน

ที่มา : อัมพร จารุจินดา, “การตรวจพิสูจน์อาวุธปืน เครื่องกระสุนปืน และเขม่าดินปืน,” เอกสารเผยแพร่ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับอาวุธปืนและกระสุนปืนสำหรับผู้เข้าอบรม กองพิสูจน์หลักฐาน สำนักงานวิทยาการตำรวจ, 2542. (อัดสำเนา)

Priming Mixture เป็นวัตถุระเบิดประเภทกระแทก ทำหน้าที่ให้ประกายไฟไปจุดกับดินส่กระสุนปืน โดยมีองค์ประกอบดังนี้ คือ

1. Initiator : ทำหน้าที่เป็นตัวเริ่มขบวนการของการจุดตัวเองจากการกระแทกของเข็มแทงชนวน ซึ่งสารเคมีที่นิยมใช้ในปัจจุบัน คือ Lead styphnate [$\text{PbC}_6\text{H}(\text{NO}_2)_3\text{O}_2$] ที่นิยมนำมาใช้เป็น Primary explosive มีอยู่ 2 ชนิดคือ Normal lead Styphnate และ Basic lead Styphnate ทั้ง Normal lead Styphnate และ Basic lead Styphnate ใช้เป็นส่วนประกอบสำคัญใน primary composition เพื่อทำหน้าที่เริ่มต้นขบวนการจุดระเบิดเป็นตัวประทุ โดย Normal lead Styphnate จะมีคุณสมบัติการเป็นดินเริ่มที่ดีกว่า Basic lead Styphnate เนื่องจาก Basic lead Styphnate เกิดพันธะแบบ Intermolecular Hydrogen Bonding ในการเป็น Initiator ของ Lead Styphnate นั้น เมื่อถูกกระตุ้นจนกระทั่งพลังงานขึ้นไปอยู่ในสภาวะ Transition State แล้วจะมีอีกตัวหนึ่งที่มาช่วยในการจุดระเบิด คือ Sensitizer ทำให้พลังงานสูงขึ้นจนเกิดการจุดระเบิดเกิดขึ้น คือ Ground Glass เนื่องจาก เมื่อเข็มแทงชนวนกระทบกับแก้วปืนแล้วบริเวณขอบแหลมของแก้วจะทำให้เกิดการเสียดสี เกิดปฏิกิริยาต่อไป



ภาพที่ 3 โครงสร้างทางเคมีของ Lead styphnate [$\text{PbC}_6\text{H}(\text{NO}_2)_3\text{O}_2$]

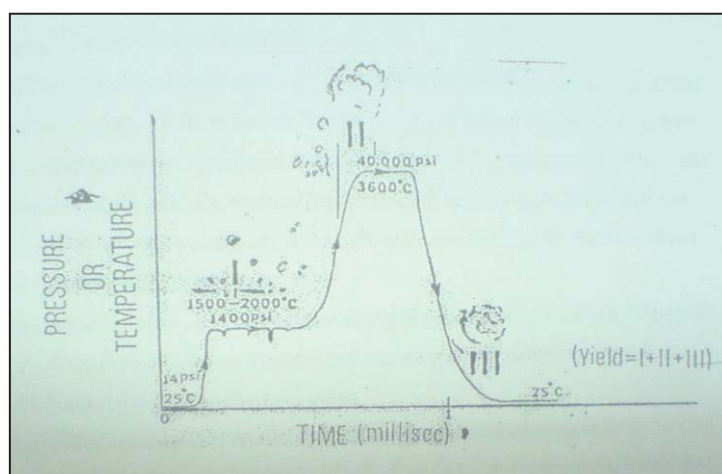
ที่มา : จิรวรร ฐนรัตน์, “คู่มือการตรวจหาดินปืน เขม่าดินปืน ตะกั่ว และทองแดง ของลูกกระสุนปืน,” เอกสารเผยแพร่กองพิสูจน์หลักฐาน สำนักงานนิติวิทยาศาสตร์ตำรวจ, 2551.

2. Fuel : เป็นเชื้อเพลิงที่ทำให้การเผาไหม้ดำเนินต่อไปที่น่าสนใจมากที่สุด คือ Antimony Sulfide (Sb_2S_3)

3. Oxidizing Agent : เป็นแหล่งให้ออกซิเจน เพื่อใช้สำหรับการสันดาปของ Fuel และ Initiator โดย Oxidizing Agent ที่นิยมคือ Barium nitrate ($\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$)

2.1.4 การเกิดเขม่าปืน

หลักการ ดินสักระสุนปืนถ้าถูกเผาไหม้ในพื้นที่จำกัดจะทำให้เกิดแรงดันมหาศาลโดยเมื่อเกิดการยิงปืน เข้มแท่งชนวนจะดีไปยังชนวนท้ายกระสุนปืน(Primer cap) ทำให้ชนวนท้ายกระสุนปืนเกิดการระเบิด เป็นผลให้อุณหภูมิจากสิ่งแวดลอมกลายเป็น 1,500 - 2,000 °C และความดันจะเปลี่ยนจาก 14 psi เป็น 1,400 psi จากนั้นเกิดประกายไฟผ่านช่อง Flash-hole ไปจุดติดกับดินสักระสุนปืนทำให้เกิดการเผาไหม้อย่างรวดเร็วในปลอกกระสุนปืนทำให้เกิดแรงดันมหาศาล ผลักส่งให้ลูกกระสุนปืนหลุดออกไปจากปลอกกระสุนปืน โดยในการระเบิดของแก๊สปืนนี้จะทำให้อุณหภูมิจากสิ่งแวดลอมเพิ่มสูงขึ้นเป็น 3,600 °C และความดันสูงถึง 40,000 psi จากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมินี้เองเป็นผลให้โลหะที่เป็นส่วนประกอบของแก๊สปืนหลอมละลายกลายเป็นไอ และเมื่ออุณหภูมิลดลง ไอของแต่ละธาตุจะแข็งตัวเป็นอนุภาค



ภาพที่ 4 กราฟแสดงความดัน และ อุณหภูมิ ณ ช่วงเวลาต่างๆที่เกิดจากการเผาไหม้ของ

Primer Cap และ ดินสักระสุนปืน

ที่มา : จิรวรรณ ฐนรัตน์, “คู่มือการตรวจหาดินปืน เขม่าดินปืน ตะกั่ว และทองแดง ของลูกกระสุนปืน,” เอกสารเผยแพร่กองพิสูจน์หลักฐาน สำนักงานนิติวิทยาศาสตร์ตำรวจ, 2551.

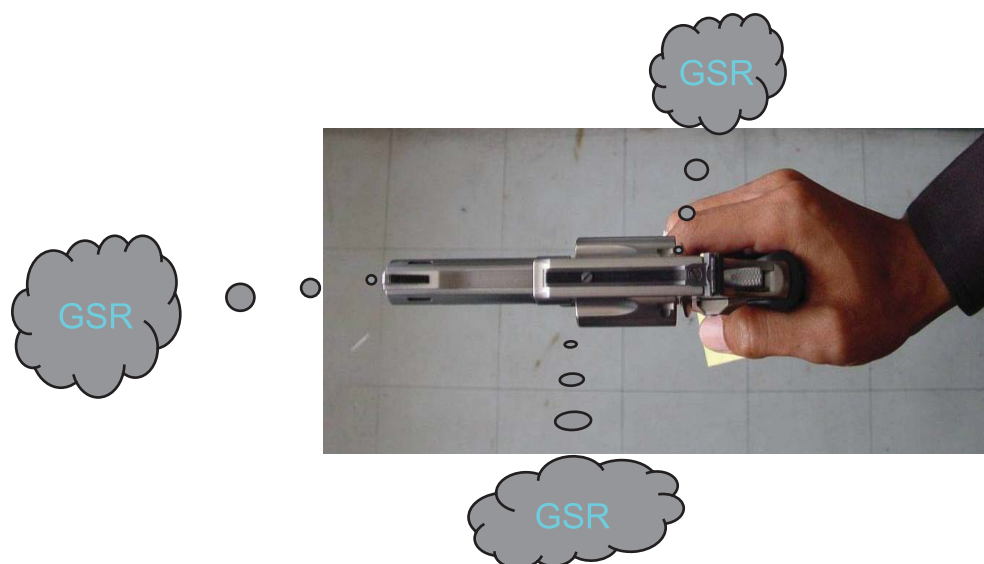
ตารางที่ 1 ธาตุโลหะสำคัญที่มีใน Primer Cap

ธาตุโลหะ	จุดหลอมเหลว (Mp) , °C	จุดเดือด (Bp) , °C
ตะกั่ว (Pb)	327	1620
แบเรียม (Ba)	725	1130
แอนติโมนี (Sb)	630	1380

ที่มา : จิรวรร ฐนุรัตน์, “คู่มือการตรวจหาดินปืน เขม่าดินปืน ตะกั่ว และทองแดงของลูกกระสุนปืน,” กองพิสูจน์หลักฐาน สำนักงานนิติวิทยาศาสตร์ตำรวจ, 2551.

ซึ่งเมื่อเกิดการยิงปืน GSR ส่วนใหญ่จะออกมาจากปากลำกล้องปืน แต่มีส่วนอื่นที่ GSR จะออกมาได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของปืนนั้นๆ

ในกรณีของปืนรีวอลเวอร์ GSR จะออกมาได้จากบริเวณช่องว่างระหว่างผิวหน้าของรังเพลิงกับส่วนท้ายของลำกล้อง



ภาพที่ 5 บริเวณที่เขม่าปืนสามารถออกมาได้ ในปืนพกรีวอลเวอร์

ที่มา : นพสิทธิ์ อัครนพหงส์, “หลักการตรวจพิสูจน์เขม่าที่เกิดจากการยิงปืน,” กองพิสูจน์หลักฐาน สำนักงานนิติวิทยาศาสตร์ตำรวจ, 2550. (อัดสำเนา)

ในกรณีของปืนออโตเมติก GSR จะออกมาจากบริเวณช่องคัดปลอก ปืนประเภทอื่นๆ ขึ้นอยู่กับการออกแบบว่ามีส่วนของก๊าซที่เกิดจากการเผาไหม้จากการยิงปืนสามารถรั่วไหลออกมาได้ที่บริเวณใดและจากการที่เกิดความดันสูงขึ้นนี้เอง



ภาพที่ 6 บริเวณที่เขม่าปืนสามารถออกมาได้ในปืนพกออโตเมติก

ที่มา : นพสิทธิ์ อัครนพหงส์, “ หลักการตรวจพิสูจน์เขม่าที่เกิดจากการยิงปืน,” กองพิสูจน์หลักฐาน สำนักงานนิติวิทยาศาสตร์ตำรวจ, 2550. (อัครสำเนา)

2.1.5 การคงอยู่ของเขม่าปืน

เขม่าปืนจะยังคงอยู่บนมือเพียงระยะสั้นๆ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับการประกอบกิจในชีวิตประจำวัน และไม่สามารถระบุระยะเวลาเวลาที่สุดท้ายที่เขม่าติดที่มือได้ ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณของเขม่าปืนที่ติดที่มือ คือ ชนิดของอาวุธปืน , การจับปืน , จำนวนนัดที่ยิง , สภาพแวดล้อม

2.2 อาวุธปืนและเครื่องกระสุนปืน (Firearms and Their Projectiles) (อัมพร จารุจินดา 2542)

2.2.1 ความหมายของอาวุธปืนและเครื่องกระสุนปืน

ตามความในมาตรา 4 (1),(2) แห่งพระราชบัญญัติอาวุธปืน เครื่องกระสุนปืน วัตถุระเบิด ดอกไม้เพลิง และสิ่งเทียมอาวุธปืน พ.ศ. 2490 แก้ไขเพิ่มเติมโดยมาตรา 3 แห่งพระราชบัญญัติอาวุธปืนฯ (ฉบับที่ 3) พ.ศ. 2501 ได้บัญญัติอาวุธปืนไว้ดังนี้

“อาวุธปืน” หมายความว่า รวมตลอดถึงอาวุธทุกชนิดซึ่งใช้เครื่องส่งกระสุนโดยวิธีระเบิดหรือกำลังแรงดันของแก๊สหรืออัดลม หรือเครื่องกลไกอย่างใดซึ่งต้องอาศัยอำนาจของพลังงานและส่วนหนึ่งส่วนใดของอาวุธนั้นๆ ซึ่งรัฐมนตรีเห็นว่าสำคัญและได้ระบุไว้ในกฎกระทรวง

“เครื่องกระสุนปืน” หมายความว่ารวมตลอดถึงกระสุนโคด กระสุนปราย กระสุนแตก ลูกกระเบิด ตอร์ปิโด ทู่นระเบิด และจรวด ทั้งชนิดที่มีและไม่มีกรดแก๊ส เชื้อเพลิง เชื้อโรค ไอพิช หมอกหรือควัน หรือกระสุน ลูกกระเบิด ตอร์ปิโด ทู่นระเบิด และจรวด ที่มีคุณสมบัติคล้ายคลึงกัน หรือเครื่อง หรือสิ่งสำหรับอัดหรือทำ หรือใช้ประกอบเครื่องกระสุนปืน

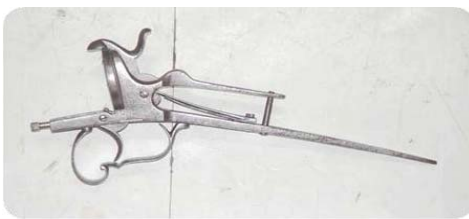
ตามกฎหมายกระทรวงฉบับที่ 3 (พ.ศ.2491) ออกตามความในพระราชบัญญัติอาวุธปืนฯ พ.ศ. 2490 ได้กำหนดในกฎข้อ 1 ไว้ว่า ส่วนของอาวุธปืนที่มีความสำคัญให้ถือเป็นอาวุธปืน ตามความใน มาตรา 4 (1) คือ



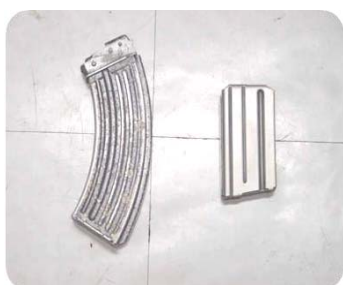
(1) ลำกล้อง



(2) เครื่องลูกเลื่อน หรือส่วนประกอบสำคัญของเครื่องลูกเลื่อน



(3) เครื่องลั่นไก หรือส่วนประกอบสำคัญของเครื่องลั่นไก



(4) เครื่องส่งกระสุนปืน ซองกระสุนปืน หรือส่วนประกอบสำคัญของสิ่งเหล่านี้

ภาพที่ 7 ส่วนของอาวุธปืนที่มีความสำคัญให้ถือเป็นอาวุธปืน ตามความในมาตรา 4 (1)

ตามกฎหมายฉบับที่ 11 (พ.ศ.2522) ออกตามความในพระราชบัญญัติอาวุธปืนฯ พ.ศ. 2490 ได้กำหนดไว้ในข้อ 2 ไว้ว่า อาวุธปืนที่นายทะเบียนจะออกใบอนุญาตให้ได้ ต้องเป็นอาวุธปืน ชนิด และขนาด ดังต่อไปนี้

1. อาวุธปืนชนิดลำกล้องมีเกลียวที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางปากลำกล้องไม่เกิน 11.44 มม.
2. อาวุธปืนชนิดลำกล้องไม่มีเกลียว ดังต่อไปนี้
 - 2.1 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางปากลำกล้องไม่ถึง 20 มม.
 - 2.2 ปืนประจูปาก ปืนลูกซอง และปืนพลูสัญญาณ
3. อาวุธปืนที่เครื่องกลไกสำหรับบรรจุกระสุนเองให้สามารถยิงซ้ำได้ ดังต่อไปนี้
 - 3.1 ขนาดความยาวลำกล้องไม่ถึง 160 มม.
 - 3.2 ปืนลูกซอง
 - 3.3 ปืนลูกกระดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางปากลำกล้องไม่เกิน 5.6 มม.
4. อาวุธปืนชนิดไม่มีเครื่องบังคับเสียงให้เบาผิดปกติ
5. อาวุธปืนชนิดที่ไม่ใช้กระสุนปืนที่บรรจุวัตถุเคมีที่ทำให้เกิดอันตรายหรือเป็นพิษ หรือไม่ใช่เครื่องกระสุนปืนที่บรรจุเชื้อโรค เชื้อเพลิง หรือวัตถุกัมมันตภาพรังสี

2.2.2 ประเภทของอาวุธปืน เมื่อแบ่งตามความยาวลำกล้องปืน แบ่งได้ 3 ประเภท

1. ปืนสั้น หรือ ปืนพก (Pistol)

คือปืนที่มีลำกล้องสั้น มีด้ามซึ่งสามารถใช้จับถือ และยิงได้ด้วยมือเพียงข้างเดียว อย่างสบาย มีความยาวลำกล้องตั้งแต่ 2 นิ้ว 3 นิ้ว 4 นิ้ว 5 นิ้ว 6 นิ้ว ฯลฯ ตามความต้องการ สามารถพกพาได้ ไม่กะกะ และเป็นอาวุธปืนที่ใช้ประกอบอาชญากรรมมากที่สุดในเวลานี้

ปืนสั้นที่ทำจากต่างประเทศ ได้แก่ ปืนพกรีโวลเวอร์ (แบบลูกไม้), ปืนพกอัตโนมัติ, ปืนพกแบบเดอริงเกอร์ ลำกล้องมีมากกว่า 1 ลำกล้อง, ปืนพกประจูปาก และปืนพกอัดลม



ปืนพกรีวอลเวอร์ (แบบลูกโม้)



ปืนพกอัตโนมัติ



ปืนพกแบบเครื่องเขียร์ ลำกล้องมีมากกว่า 1 ลำกล้อง



ปืนพกประจูปาก



ปืนพกอัดลม

ภาพที่ 8 ปืนสั้นที่ทำจากต่างประเทศ

ปืนสั้นที่ทำเองภายในประเทศ ได้แก่ ปืนพกรูปร่างคล้ายไฟแช็ค ชนิด 2 หรือ 3 ลำกล้อง, ปืนพกรีวอลเวอร์, ปืนพกอัตโนมัติ และปืนพกลูกซอง

	ปืนพรูปร่างคล้ายไฟแช็ค ชนิด 2 หรือ 3 ลำกล้อง
	ปืนพรูวอลเวอร์
	ปืนพกอัตโนมัติ
  ปืนพกลูกซอง	

ภาพที่ 9 ปืนสั้นที่ทำเองภายในประเทศ

2. ปืนยาว (Rifle)

คือ ปืนที่มีลำกล้องยาว มีพานท้าย (ด้าม) เวลายิงต้องจับ 2 มือ มีทั้งที่ผลิตในประเทศและต่างประเทศ

ปืนยาวที่ทำจากต่างประเทศ ได้แก่ ปืนยาวลูกซอง, ปืนยาวลูกกรด และปืนยาวไรเฟิลใช้ในการกีฬาและล่าสัตว์



ปืนยาวลูกซอง



ปืนยาวลูกกรด



ปืนยาวไรเฟิลใช้ในการกีฬาและล่าสัตว์

ภาพที่ 10 ปืนยาวที่ทำจากต่างประเทศ

ปืนยาวที่ทำขึ้นเองภายในประเทศ ได้แก่ ปืนยาวลูกซอง, ปืนยาวประจูปาก และปืนยาวอัลคม



ปืนยาวประจูปาก



ปืนยาวอัดลม

ภาพที่ 11 ปืนยาวที่ทำขึ้นเองภายในประเทศ

3. ปืนที่ใช้ในกิจการทหารหรือสงคราม

คือ ปืนที่นายทะเบียนออกใบอนุญาตให้ประชาชนมีไว้ในครอบครองไม่ได้ โดย
กฎกระทรวงฉบับที่ 11 (พ.ศ. 2522) ออกตามความในพระราชบัญญัติอาวุธปืนฯ พ.ศ. ๒๔๕๐

ดังนั้น อาวุธปืนที่นายทะเบียนออกใบอนุญาตให้ไม่ได้

3.1 มีเกลียวในลำกล้องขนาดเกินกว่า 11.44 มม.

3.2 ไม่มีเกลียวในลำกล้อง มีขนาดเกินกว่า 20 มม. (ยกเว้นปืนแก๊ป ปืนลูกซองและ
ปืนยิงพลูสัญญาณ)

3.3 ปืนที่ยิงซ้ำได้และความยาวลำกล้องเกิน 160 มม.

3.4 ปืนที่มีเครื่องบังคับเสียงให้เบาผิดปกติ

3.5 ปืนที่ใช้กระสุนบรรจุวัตถุเคมี เชื้อโรค เชื้อเพลิง หรือวัตถุกำมันตภาพรังสีทำให้เกิดอันตราย หรือเป็นพิษ

2.2.3 ประเภทของอาวุธปืน เมื่อแบ่งตามเกลียวภายในลำกล้อง สามารถแบ่งได้ 2 ประเภท ดังนี้

1. ประเภทมีเกลียวภายในลำกล้อง ใช้กับกระสุนปืนลูกโคด เมื่อยิงปืนแรงอัดของแก๊สจะขับเคลื่อนให้ลูกกระสุนปืนครูดไปกับเกลียวภายในลำกล้องแล้วหมุนตัวออกไปจากปากลำกล้องทำให้สามารถวิ่งผ่านอากาศออกไปตรงตามทิศทางที่ตั้ง เช่น ปืนพกรีวอลเวอร์ ปืนพกอัตโนมัติ ปืนยาวไรเฟิล และปืนกลต่างๆ

	ปืนพกรีวอลเวอร์
	ปืนพกอัตโนมัติ
	ปืนยาวไรเฟิล
	ปืนกล

ภาพที่ 12 ปืนที่มีเกลียวภายในลำกล้อง

2. ประเภทไม่มีเกลียวภายในลำกล้อง ประเภทนี้ใช้กับกระสุนปืนลูกปราย ได้แก่ ปืนลูกซองซึ่งลำกล้องภายในเรียบ ไม่มีร่องเกลียวภายในลำกล้อง โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหลายขนาด นอกจากปืนลูกซองแล้ว กระสุนปืนลูกซองยังถูกนำมาใช้ยิงในปืนไทยประดิษฐ์ ซึ่งปืนเหล่านี้ไม่ได้ขึ้นทะเบียนตามกฎหมายและไม่มีมาตรฐานเกี่ยวกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในลำกล้องและความยาวลำกล้องแต่อย่างใด

	ปืนลูกซองผลิตจากต่างประเทศ
	ปืนลูกซองไทยประดิษฐ์ (ประกอบขึ้นเอง)
	ปืนปากกาไทยประดิษฐ์ (ประกอบขึ้นเอง)
	ปืนพกรูปร่างคล้ายไฟแช็ก
	ปืนยาวประจูปาก (ปืนแก๊ป)

ภาพที่ 13 ปืนที่ไม่มีเกลียวภายในลำกล้อง

2.2.4 กระสุนปืน (Cartridge)

ตามที่กล่าวมาแล้วข้างต้นว่าตามความในมาตรา 4 (2) แห่งพระราชบัญญัติอาวุธปืน เครื่องกระสุนปืน วัตถุระเบิด ดอกไม้เพลิง และสิ่งเทียมอาวุธปืน พ.ศ. 2490 แก้ไขเพิ่มเติมโดย มาตรา 3 แห่งพระราชบัญญัติอาวุธปืนฯ (ฉบับที่ 3) พ.ศ. 2501 ได้บัญญัติเครื่องกระสุนปืนไว้ดังนี้

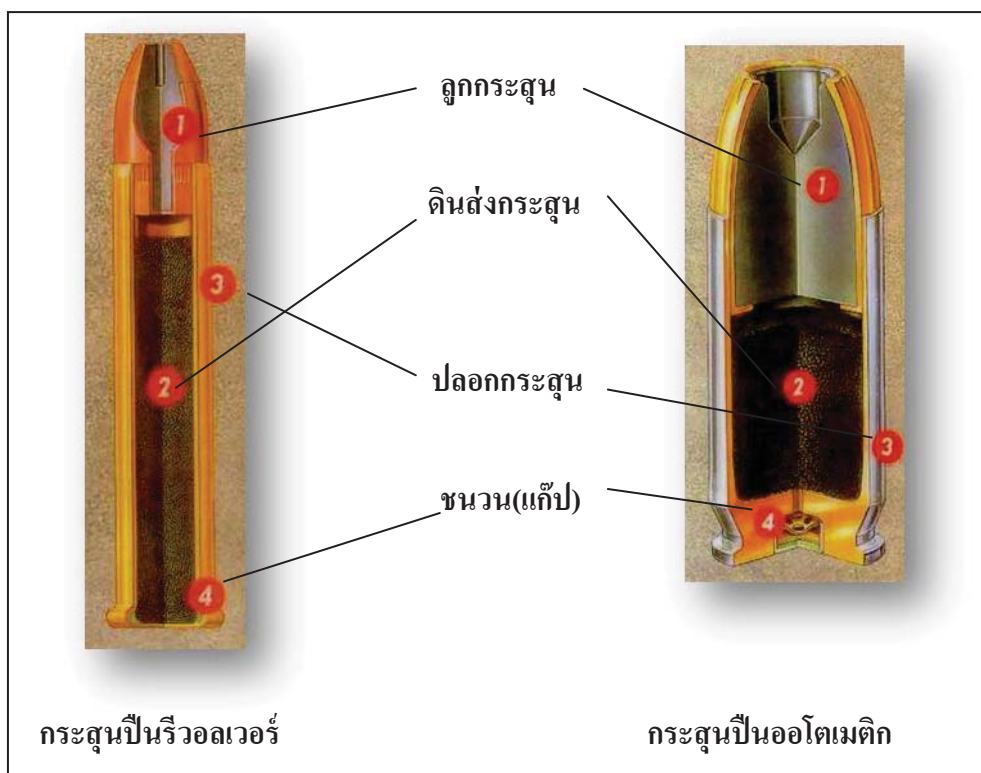
“เครื่องกระสุนปืน” หมายความว่ารวมตลอดถึงกระสุนโคด กระสุนปราย กระสุนแตก ลูกกระเบิด ตอร์ปิโด พ่นระเบิด และจรวด ทั้งชนิดที่มีและไม่มีกรดแก๊ส เชื้อเพลิง เชื้อโรค ไอพิษ หมอกหรือควัน หรือกระสุน ลูกกระเบิด ตอร์ปิโด พ่นระเบิด และจรวด ที่มีคุณสมบัติคล้ายคลึงกัน หรือเครื่อง หรือสิ่งสำหรับอัดหรือทำ หรือใช้ประกอบเครื่องกระสุนปืน

1. กระสุนปืนลูกโคด

กระสุนโคด หรือที่เรียกกันทั่วไปว่ากระสุนลูกโคดนั้น มีลักษณะที่ประกอบด้วย ส่วนสำคัญ 4 ส่วนคือ

1.1 ลูกกระสุนปืน (Bullet)

คือส่วนโลหะรูปทรงกระบอกที่อยู่ปลายสุดของกระสุนปืนซึ่งเมื่อเวลายิงแล้วเป็นส่วนที่วิ่งไปปะทะกับเป้าหมาย ส่วนใหญ่ของปลายหัวกระสุนจะมีลักษณะกลม (Ball) แต่ถ้าเป็นกระสุนที่ใช้ในราชการทหารปลายลูกกระสุนจะมีลักษณะปลายแหลม ซึ่งเป็นไปตาม ข้อตกลงระหว่างประเทศ สำหรับกระสุนปืนที่ใช้ยิงแข่งขันในการกีฬา จะนิยมใช้ลูกกระสุนปลาย ตัด (Clean cutting) เพื่อเวลากระสุนทะลุเป้าจะเกิดรูชัดเจน เป็นการสะดวกในการนับรูกระสุนที่ถูก เป้าเวลาให้คะแนน



ภาพที่ 14 ส่วนประกอบของกระสุนปืนลูกโคด

ที่มา : อัมพร จารุจินดา, “การตรวจพิสูจน์อาวุธปืนและเครื่องกระสุนปืน,” เอกสารเผยแพร่ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับอาวุธปืนและกระสุนปืนสำหรับผู้เข้าอบรม กองพิสูจน์หลักฐาน สำนักงานวิทยาการตำรวจ, 2542. (อัดสำเนา)



ภาพที่ 15 ลูกกระสุนปืนแบบต่างๆ

ที่มา : จัตรชัย วิเศษสุวรรณภูมิ, “ผ่าปืน,” เคลวินิวส์, 16 มิถุนายน 2544 – 14 กันยายน 2545.

โลหะที่ใช้ทำหัวกระสุนนี้ อาจเป็นตะกั่วล้วนหรือตะกั่วฉาบโลหะอื่นเคลือบบางๆ หรืออาจเป็นตะกั่วอยู่ภายในเป็นแกน แล้วมีเปลือกทำด้วยโลหะผสม เช่น ทองแดง หรือ นิกเกิลหุ้มไว้อีกชั้นหนึ่งก็ได้ ลูกกระสุนที่มีเปลือกหุ้มนี้ (Jacket bullets) เรียกว่า ลูกกระสุนเปลือกแข็งและถ้าเปลือกที่หุ้ม หุ้มมิดถึงปลายลูกกระสุนเรียกว่ากระสุนหัวแข็ง (Metal cased bullets) ถ้าหุ้มไม่มิด ส่วนปลายลูกกระสุนเป็นแกนตะกั่วโผล่ออกมา เรียกว่ากระสุนหัวอ่อน (Soft point bullets) ลูกกระสุนประเภทนี้ เมื่อไปกระทบกับเป้าแล้ว ตะกั่วที่อ่อนจะเ็นตัว แล้วยื่นทำให้ปลายหัวกระสุนบานออก เกิดบาดแผลขนาดใหญ่ได้

1.2 ชนิดหัวกระสุน

1.2.1 Lead Bullet ลูกกระสุนปืนในปัจจุบันที่มีความเร็วต้นต่ำกว่า 2,000 ฟุตต่อวินาที มักจะทำด้วยตะกั่วเพราะราคาถูก และความร้อนเนื่องจากแรงระเบิดของดินปืนไม่ทำให้ตะกั่วละลาย แต่ลูกกระสุนปืนนั้นไม่ได้ทำด้วยตะกั่วล้วนๆ เพราะจะอ่อนเกินไป เขาต้องใช้โลหะอื่นผสมด้วยเพื่อให้แข็งขึ้น ซึ่งส่วนใหญ่ตัวที่ใช้ผสมจะเป็นโลหะพลวง (Antimony) หรือ ดีบุก (Tin)

ลูกกระสุนปืนขนาดเล็ก เช่น ปืนพกทั่วไป ที่โรงงานผลิตออกขาย ใช้ตะกั่วผสมกับพลวง

ลูกกระสุนปืนที่อัดใช้เอง จะใช้ตะกั่วผสมกับดีบุก เพราะง่ายในการหลอม และหล่อลูกกระสุน

สำหรับลูกกระสุนปืนที่อัดใช้เอง โดยใช้ดินปืนแบบ Black Powder เป็นตัวขับเคลื่อน ใช้อัตราส่วนของดีบุก : ตะกั่ว = 1 : 15 ก็ได้ใช้ได้แล้ว แต่มาตรฐานใช้ดีบุก : ตะกั่ว = 1 : 20

ถ้าใช้ดินปืนแบบ Smokeless Powder เป็นตัวขับเคลื่อน สำหรับกระสุนปืนเล็กทั่วไป ก็คงใช้อัตราส่วนมาตรฐานเช่นเดียวกับ Black Powder คือ 1 : 20 แต่ถ้าเป็นกระสุนความเร็วสูง (High Velocity) ใช้อัตราส่วนของ ดีบุก : ตะกั่ว = 1 : 10 สำหรับลูกกระสุนปืนไรเฟิลที่ใช้ Smokeless Powder เป็นตัวขับเคลื่อนในกระสุนปืนธรรมดา ใช้อัตราส่วนของ ดีบุก : ตะกั่ว = 1 : 10 หรือ 1 : 12 แต่ถ้าเป็นกระสุนปืนแบบ Top velocity Load ใช้อัตราส่วนของ ดีบุก : พลวง : ตะกั่ว = 5 : 5 : 90 ลูกกระสุนปืนที่มีส่วนผสมดังกล่าวนี้มีชื่อเฉพาะเรียกว่า “Type Metal Bullet”

ในปัจจุบันนี้ ลูกกระสุนปืนที่ทำด้วยตะกั่วมีลักษณะตอนท้ายลูกกระสุนปืนอยู่ 5 แบบ คือ

1. Plain Base แบบนี้กันลูกกระสุนปืนจะเรียบเสมอกัน
2. Hollow Base แบบนี้กันกระสุนปืนจะเว้าเข้าหรือกลวงลึก

3. Gas Check Base แบบนี้จะมีด้วยทองแดงหรือทองเหลืองบางๆหุ้มกันลูกกระสุนปืนไว้ เพื่อป้องกันตะกั่วส่วนกันละลายเนื่องจากความร้อน ในกระสุนปืนแบบ High Temperature and Pressure

4. Zinc Washer Base แบบนี้ส่วนกันลูกกระสุนปืนจะชุบด้วยสังกะสี (Zinc) เพื่อเป็นตัวป้องกันไม่ให้ตะกั่วบริเวณกันและข้างลูกกระสุนปืนละลายเนื่องจากความร้อนและยังทำหน้าที่เป็นตัวล้างเอาเศษตะกั่วที่ติดอยู่ภายในลำกล้องปืนเดิมออกไปอีกด้วย

5. Short or Half Jacketed แบบนี้มี jacket หุ้มกันลูกกระสุนปืนสูงขึ้นมาประมาณ 1/4 หรือ 3/4 ของความสูงของลูกกระสุนปืน ทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้ตะกั่วที่กันและข้างลูกกระสุนปืนละลายติดลำกล้องปืนเช่นเดียวกัน

ลูกกระสุนปืนในแบบที่ 4 และ 5 ส่วนที่เป็นตะกั่วจะเป็นตะกั่วล้วน ไม่มีพลวงหรือดีบุกผสมเลยและทั้ง 2 แบบไม่ต้องมีตัวหล่อลื่น แต่ 3 แบบแรกต้องมีตัวหล่อลื่น

มีลูกกระสุนปืนที่ทำด้วยตะกั่วแบบหนึ่ง ซึ่งถ้าดูเพียงผิวเผินแล้วดูเหมือนว่าเป็นลูกกระสุนปืนแบบที่มี Jacket ทองแดงหุ้ม แต่แท้ที่จริงแล้วไม่ใช่ Jacket เป็นเพียงตะกั่วชุบด้วยโลหะทองแดงเพียงบางๆ เท่านั้น สามารถใช้เล็บหรือของแข็งขูดเอาออกได้ ในปัจจุบันจะพบได้ในกระสุนปืนบางยี่ห้อบางขนาด เช่น ขนาด .22 Short, .22 Long Rifle, .38 Special, .357 Magnum และ .44 Magnum เป็นต้น วัตถุประสงค์เพื่อป้องกันไม่ให้ตะกั่วละลายติดลำกล้องปืน และยังทำให้แลดูสวยงามน่าใช้ว่าลูกกระสุนปืนที่ทำด้วยตะกั่วธรรมดาอีกด้วย เรียก Lubaloid

1.2.2 Jacketed Bullet เป็นลูกกระสุนปืนที่มีโลหะหุ้มแกนตะกั่วหรือแกนเหล็กไว้อีกชั้นหนึ่ง ทำให้ดูเหมือนว่าลูกกระสุนปืนนั้นทำด้วยโลหะที่เห็นล้วนๆ โลหะที่หุ้มอยู่ภายนอกเรียกว่า Jacket ส่วนแกนตะกั่วหรือแกนเหล็กภายในเรียกว่า Core ในสมัยเริ่มแรกที่มี Jacket Bullet นั้นตัว Jacket ทำด้วยทองแดงผสมนิกเกิลในอัตราส่วนต่างๆ กัน แต่ในปัจจุบัน Jacket ส่วนใหญ่ทำด้วย ทองแดง 90% , ดีบุก 5% , และสังกะสี 5% บางชนิดทำด้วยเหล็กชุบนิกเกิล หรือชุบทองแดง, แบบใหม่ล่าสุดทำด้วยอลูมิเนียม สำหรับ Core นั้นทำด้วยตะกั่วล้วน หรือบางทีอาจทำด้วยเหล็กก็ได้

ลูกกระสุนปืนมีชื่อเรียกแตกต่างกันมากมาย ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับรูปร่างลักษณะของลูกกระสุนปืนนั้นๆ ตัวอย่างเช่น

Lead Bullet ลูกกระสุนปืนแบบนี้มีเพียงไม่กี่แบบเช่น

1. Round Nose (RN) เป็นลูกกระสุนธรรมดาทั่วไปปลายมน

2. Semi-Wad Cutter (SWC) เป็นลูกกระสุนปืนที่มีส่วนปลายที่พื้นปลอกกระสุนออกมา มีขนาดเล็กกว่าส่วนใหญ่ที่อยู่ในปลอกกระสุน และส่วนปลายตัดตรงไม่มน

3. Wad Cutter (WC) เป็นลูกกระสุนปืนที่ส่วนปลายสั้นเสมอปากปลอกกระสุนปืนและปลายตัดตรง

4. Hollow Point (HP) เป็นลูกกระสุนปืนมีลักษณะคล้ายกับแบบ Round Nose แต่ที่ส่วนปลายสุดจะมีรูเจาะลึกลงไป พบได้ง่ายในกระสุนปืนลูกกรด ขนาด .22 Short, .22 Long Rifle

Jacketed Bullet ลูกกระสุนปืนแบบนี้มีลักษณะการหุ้มของ Jacket บน Core หลายแบบแต่ละแบบถูกผลิตขึ้นเพื่อความมุ่งหมายในการทำลายเป้าหมายให้ได้ผลดีที่สุด ในที่นี้จะขอยกตัวอย่างเป็นบางแบบ

1. Full Metal Jacket (FMJ) เป็นลูกกระสุนปืนที่มี Jacket หุ้มทั้งหมดปลายมนบางที่เรียกว่า Metal Case Bullet

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

3. Jacketed Soft Point (JSP) เป็นลูกกระสุนปืนที่มี Jacket หุ้มเกือบหมดทั้งลูกเว้นตอนปลายสุดเป็นตะกั่วไม่มีรู

4. Pointed เป็นลูกกระสุนปืนที่มี Jacket หุ้มหมด และปลายแหลม

5. Metal Piercing (MP) หรือ Armour Piercing (AP) เป็นลูกกระสุนปืนที่ใช้ยิงเจาะเกราะ แบบ MP เป็นกระสุนปืนเล็กเช่นปืนพกทั่วไป ส่วนปลายของลูกกระสุนปืนจะแหลม Jacket ที่หุ้มส่วนปลายนี้มีความหนากว่าส่วนอื่นๆประโยชน์ใช้ยิงทะลุเกราะอ่อนหรือที่เรียกว่าเสื้อเกราะและแผ่นวัตถุหรือโลหะที่มีความหนาไม่มากนัก

สำหรับแบบ AP เป็นกระสุนปืนที่ใช้กับปืนทางการทหาร ส่วนปลายของลูกกระสุนปืนจะแหลม Jacket เป็นทองแดงหรือเหล็กชุบทองแดง ส่วน Core จะทำด้วย Tungsten Carbide ซึ่งมีความแข็งแรงมากสามารถเจาะทะลุเกราะเหล็กได้วัตถุประสงค์เพื่อใช้ยิงทะลุยานยนต์หุ้มเกราะของทหาร หรือยิงทะลุแผ่นวัตถุหรือโลหะที่มีความหนามากๆได้

ส่วนก้นของลูกกระสุนปืนแบบ Jacketed Bullet มี 2 แบบ คือ

1. Flat Base แบบนี้ก้นกระสุนปืนจะเรียบเสมอกัน และด้านข้างลูกกระสุนปืนก็ตรงตลอดเสมอกัน

2. Boat Tail แบบนี้ก้นลูกกระสุนปืนจะเรียบเสมอกันเช่นกัน แต่ด้านข้างลูกกระสุนปืนตอนใกล้ก้นจะสอบเข้าหากันเล็กน้อย คือส่วนก้นลูกกระสุนปืนจะเล็กกว่าตอนกลางของลูกกระสุนปืน

ส่วนกันที่เล็กลงของลูกกระสุนปืนแบบ Boat Tail มีประโยชน์ในการลด Air drag คือลดการเสียดสีของอากาศกับลูกกระสุนปืนเมื่อใช้ยิงออกไป ทำให้ลูกกระสุนปืนแบบ Boat tail สามารถยิงไปได้ไกลกว่า และมีวิถีกระสุนแบนราบดีกว่าลูกกระสุนปืนแบบ Flat Base ในเมื่อมีความเร็วต้นเท่ากัน

ลูกกระสุนปืนที่มีความเร็วต้นตั้งแต่ 2,000 ฟุตต่อวินาที ขึ้นไป จะต้องเป็นแบบ Jacketed Bullet เพราะถ้าเป็นแบบ Lead Bullet จะทำให้ส่วนกัน และผิวด้านข้างของลูกกระสุนปืนละลายได้ทำให้มีตะกั่วติดค้างอยู่ภายในลำกล้องปืน อันทำให้เกิดผลเสียต่อความแม่นยำของปืนนั้น

ที่ลูกกระสุนปืนด้านข้างส่วนใหญ่จะมีร่องอยู่โดยรอบ ในลูกกระสุนปืนแบบ Lead Bullet บางแบบอาจมีหลายร่องในลูกเดียว แต่ใน Jacketed Bullet แล้วถ้ามีก็มีเพียงร่องเดียวเท่านั้น ร่องดังกล่าวนี้ใน Lead Bullet ใช้สำหรับใส่สารหล่อลื่นลูกกระสุนปืน ซึ่งเป็นพวกขี้ผึ้งหรือไขมัน ทำหน้าที่หล่อลื่นลูกกระสุนปืนให้วิ่งผ่านลำกล้องปืนไปได้สะดวกขึ้น แต่สำหรับ Jacketed Bullet แล้วร่องดังกล่าวทำหน้าที่สำหรับยึดปากปลอกกระสุนปืนให้ติดกับลูกกระสุนปืน โดยการบีบปากปลอกกระสุนปืนเข้าไปในร่องโดยรอบ ร่องดังกล่าวมีชื่อเรียกว่า Cannalure นอกจากนี้ยังทำหน้าที่ป้องกันความชื้นไม่ให้เข้าไปในกระสุนปืนอีกด้วย

1.3 ปลอกกระสุนปืน (Cartridge Case)

เป็นส่วนที่หุ้มหัวกระสุน ภายในบรรจุดินปืนและแก๊ปกักขนวนไว้ ปลอกกระสุนโคด โลหะที่ใช้ทำปลอกกระสุนมีหลายชนิด คือ ทองเหลือง อลูมิเนียม เหล็ก ทองแดง แต่ที่นิยมมากที่สุดคือทองเหลือง กล่าวกันว่า ปลอกกระสุนปืนที่ทำด้วยทองเหลืองคุณภาพดี สามารถนำกลับไปอัดกระสุนปืนยิงใหม่ได้อีกประมาณ 3-4 ครั้ง



ภาพที่ 16 ปลอกกระสุนปืนแบบต่างๆ

1.4 ดินส่่งกระสุนปืน (Gun Powders)

เป็นของแข็งซึ่งเมื่อเกิดการลุกไหม้จะให้แก๊สปริมาณมากในเวลาอันสั้น
ความเร็วในการเผาไหม้ของดินปืนเป็นสิ่งสำคัญ ดินปืนในปัจจุบันมี 3 แบบ คือ

ดินดำ (Black Powder) เป็นตัวขับเคลื่อนกระสุนปืนชนิดแรกประกอบด้วย
ดินประสิว 75% ถ่านไม้ 15% กำมะถัน 10%



ภาพที่ 17 ดินดำ (Black Powder)

ดินดำแบบใหม่ (Pyrodex) มีส่วนผสมอื่นเพิ่มเติมเข้ามาอีกคือ
Potassium Perchlorate, Sodium Benzoate, Dicyandiamide (1-Cyanoguanidine) และยังมี Dextrine,
Wax และ Graphine จำนวนเล็กน้อยผสมอยู่ด้วย



ภาพที่ 18 ดินดำแบบใหม่ (Pyrodex)

ดินควันน้อย (Smokeless Powder) เป็นตัวที่มีคุณภาพสูงกว่าดินดำมาก ที่ทำจากสารประกอบ Nitrocellulose เพียงอย่างเดียว เรียกว่า แบบ Single Base แต่ถ้าต้องการแบบที่มีแรงระเบิดสูงขึ้นก็ใช้ Nitroglycerine ผสมเข้ากับ Nitrocellulose ในอัตราส่วนต่างๆ กัน แล้วแต่ความต้องการความเร็วในการเผาไหม้เล็กน้อยเพียงใด แบบนี้เรียกว่า Double Base

ดินควันน้อยมีรูปร่างต่างๆ ดังนี้

1. Flake
2. Disc
3. Tabular
4. Ball



ภาพที่ 19 ดินควันน้อยรูปร่างต่างๆ

1.5 แก๊ปปิ่น (Primers)

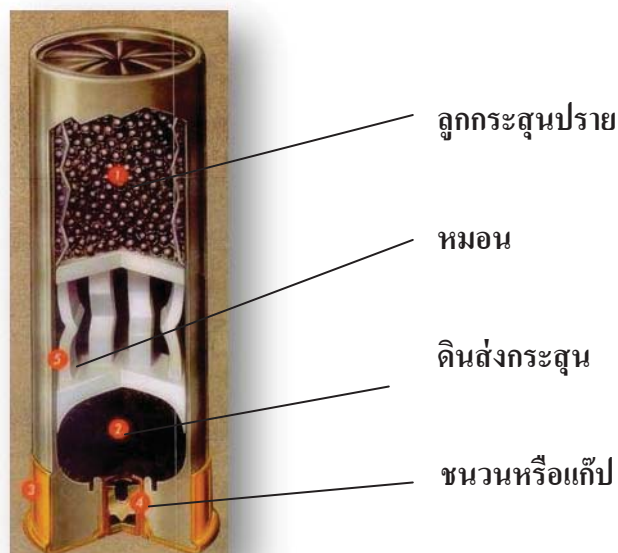
อยู่ตรงงานท้ายของปลอกกระสุน เมื่อเวลายิงปืนหรือลั่นไกปืน เข้มแทงชนวนจะกระแทกตรงงานท้ายของปลอกกระสุน ทำให้แก๊ปเกิดระเบิด และจุดระเบิดไปยังดินปืนที่อยู่ภายในปลอกกระสุน เมื่อดินปืนระเบิด ก็จะขับเคลื่อนหัวกระสุนให้วิ่งออกจากลำกล้อง



ภาพที่ 20 ชนวนงานท้ายกระสุนปืน หรือ แก๊ปปิ่น

2. กระสุนปืนลูกซอง (Shot shell)

กระสุนปืนลูกซองหรือเรียกว่ากระสุนปราย จะมีส่วนสำคัญดังต่อไปนี้



ภาพที่ 21 ส่วนประกอบของกระสุนปืนลูกซอง

ที่มา : จัตรชัย วิเศษสุวรรณภูมิ, “ผ่าปืน,” เคลิวิสต์, 16 มิถุนายน 2544 – 14 กันยายน 2545.

กระสุนปืนลูกซองมีส่วนประกอบภายในฝังไปจากกระสุนปืนทั่วไป ตรงที่ปลอกกระสุนปืนมีขนาดใหญ่ แต่ลูกกระสุนปืนที่บรรจุมีขนาดเล็กและมีจำนวนมาก จึงจำเป็นต้องมีส่วนที่มากขึ้นมิให้ดินปืนกับลูกกระสุนปืนที่บรรจุปนกัน และต้องมีตัวปิดปากปลอกกระสุน จึงจะทำให้เกิดแรงอัดของแก๊สเพื่อขับเคลื่อนลูกกระสุนไปสู่เป้าหมายได้

ในสมัยเริ่มแรกปลอกกระสุนปืนลูกซองทำด้วยโลหะทองเหลือง แต่เนื่องจากปลอกกระสุนปืนขนาดใหญ่ และทองเหลืองราคาแพง ต่อมาจึงได้นำกระดาษมาใช้แทน โดยการนำแผ่นกระดาษหลายๆ แผ่นทากาวติดกัน อัดให้แน่น นำไปอบด้วยไซหรือพาราฟินป้องกันความชื้น และนำไปตัดตามความยาวที่ต้องการ ปลอกกระสุนปืนลูกซองมีด้วยกัน 2 แบบ คือ Low-Base ใช้กับดินปืนที่มีความแรงต่ำ ทำให้ต้องการมีที่ว่างสำหรับใส่ดินปืนมาก, High-Base ใช้กับดินปืนที่มีความแรงสูงกว่า ทำให้ต้องการที่ใส่ดินปืนน้อยลง



ภาพที่ 22 กระสุนปืนลูกซองขนาดต่างๆ

ที่มา : จัตรชัย วิเศษสุวรรณภูมิ, “ผ่าปืน,” เดลินิวส์, 16 มิถุนายน 2544 – 14 กันยายน 2545.

ปากปลอกกระสุนปืนทำอยู่ด้วยกัน 2 แบบคือ Rolled Crimp จะมีแผ่นกระดาษหรือแผ่นพลาสติกปิดปากปลอกกระสุนไว้, Folded crimp or Star crimp ไม่ต้องมีอะไรมาปิดปากปลอกกระสุนอีก เพราะตัวปลอกกระสุนเองถูกม้วนพับลงมายาวพอที่จะปิดปากปลอกกระสุนทั้งหมด



ภาพที่ 23 ปากปลอกกระสุนปืนแบบต่างๆ

ที่มา : จัตรชัย วิเศษสุวรรณภูมิ, “ผ่าปืน,” เดลินิวส์, 16 มิถุนายน 2544 – 14 กันยายน 2545.

จากบริเวณลูกปรายเข้ามา ภายในกระสุนปืนจะมีแผ่นสักหลาด หรือกระดาษแข็งเป็นแผ่นกลมเรียงซ้อนกันเป็นตัวกั้นระหว่างลูกปรายกับดินปืน เรียกว่า หมอนส่งกระสุน (Wad) หมอนส่งกระสุนนี้จะทำหน้าที่เมื่อดินปืนระเบิด เพื่อขับเคลื่อนลูกปรายทั้งหมดให้วิ่งออกไปสู่อากาศ

ถัดจากหมอนส่งกระสุนเข้ามาก็เป็นดินปืน ระหว่างดินปืนกับฝาทองเหลืองมีแผ่นสั๊กหลาดหรือกระดากันอีกชั้นหนึ่งเรียกว่า หมอนรองดิน ตรงฝาทองเหลืองท้ายกระสุนมีแก๊ปและฝาคอบแก๊ปติดอยู่โดยต่อชนวนไปถึงดินปืน เพื่อจุดระเบิด เวลาเข็มแทงชนวนกระแทกที่แก๊ป

2.3 หลักการพื้นฐานของเครื่อง Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry (ICP-MS)

(แม้น อมรสิทธิ์และคณะ 2552 : 468-481)

ICP-MS เป็นเทคนิคการวิเคราะห์ปริมาณธาตุที่ได้รับความนิยมมาก สามารถวิเคราะห์ได้เกือบทุกธาตุในตารางธาตุ ให้ความไวในการตรวจวัดสูงทำให้วิเคราะห์ธาตุในระดับต่ำๆ ได้หลังจากมีเครื่อง ICP-MS ออกวางจำหน่ายในปี ค.ศ. 1983 โดยบริษัท VG ของสหราชอาณาจักร และ Sciex ของประเทศแคนาดา เครื่อง ICP-MS ถูกพัฒนาอย่างต่อเนื่องจนมีประสิทธิภาพที่สูงขึ้น มีการประยุกต์ใช้กับตัวอย่างที่หลากหลาย อาจเรียกได้ว่า ICP-MS เป็นทางเลือกใหม่ของการวิเคราะห์ปริมาณธาตุ

2.3.1 องค์ประกอบที่สำคัญของเครื่อง ICP – MS

หลังจากงานวิจัยของ Houk ในปี ค.ศ. 1980 ได้ชี้ให้เห็นถึงศักยภาพของการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีที่มีอยู่เดิม 2 ชนิด คือ argon ICP ใน ICP-OES เพื่อใช้เป็นแหล่งกำเนิดไอออน และ quadrupole mass spectrometer ในการตรวจวัดมวลไอออน ทำให้ได้เทคนิคการวิเคราะห์ปริมาณธาตุที่มีประสิทธิภาพสูง จนกระทั่งได้มีเครื่องมือ ICP – MS ถูกวางจำหน่ายในปี ค.ศ. 1983 ต่อมาได้มีการพัฒนาเครื่อง ICP – MS อย่างต่อเนื่อง อย่างไรก็ดีเครื่องมือ ICP – MS ในปัจจุบัน มีองค์ประกอบหลักๆ ของเครื่องมือ ICP – MS คล้ายกับเครื่องมือในยุคแรกๆ ซึ่งองค์ประกอบที่สำคัญของเครื่อง ICP – MS มีดังแสดงในภาพที่ 26 และแต่ละส่วนทำหน้าที่ ดังนี้

1. Nebulizers ทำหน้าที่ดูดตัวอย่างและทำให้ตัวอย่างเป็นละอองเล็กๆ เพื่อจะเข้าสู่ส่วนของ spray chamber ต่อไป

2. Spray chamber ทำหน้าที่คัดเลือกละอองขนาดเล็กๆ ของตัวอย่าง และ drain ละอองที่มีขนาดใหญ่ทิ้งไป

3. Plasma torch ทำหน้าที่เปลี่ยนอะตอมของธาตุให้กลายเป็นไอออนอิสระ ซึ่งใช้อุณหภูมิประมาณ 6,000 – 10,000 K เมื่ออะตอมของธาตุกลายเป็นไอออนอิสระจะผ่าน interface เข้าสู่ส่วนของ detector และจะถูก control ด้วยส่วนต่างๆ ของเครื่อง ดังนี้

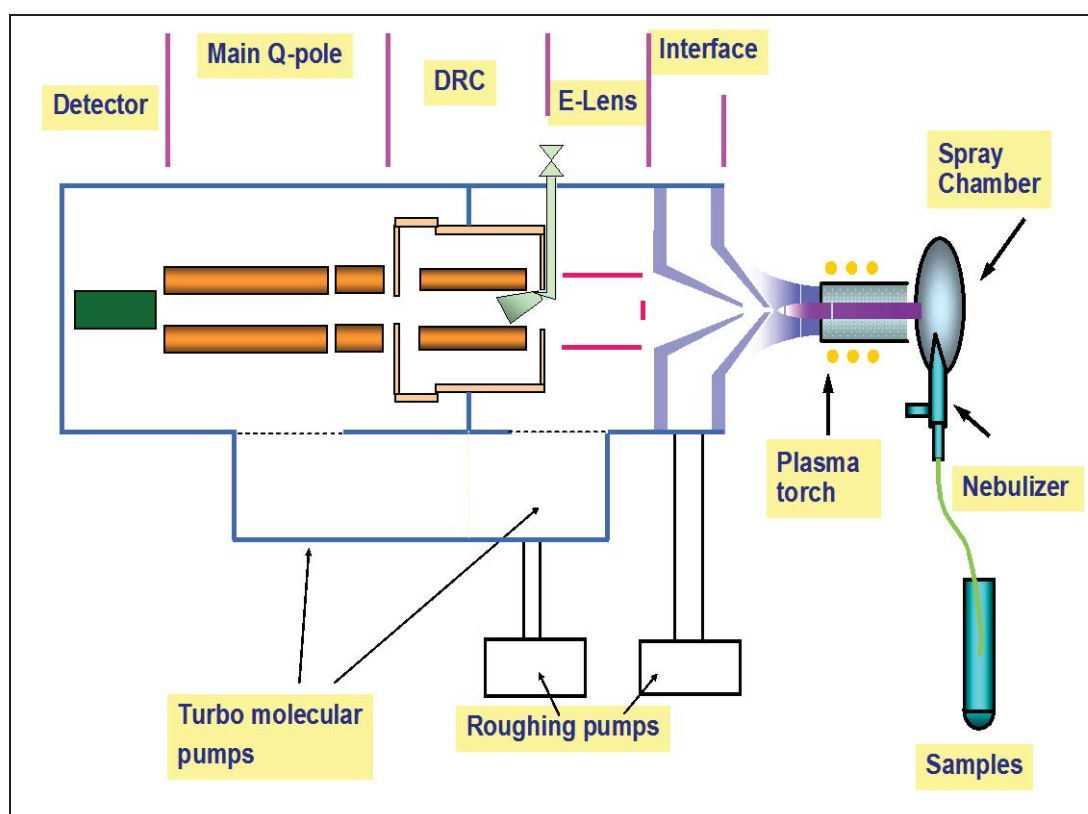
3.1 E – Lens ทำหน้าที่คัดไอออนที่มีคุณสมบัติที่เราต้องการและมวลของสารตัวอย่างที่เรากำหนดโดยใช้กระแสไฟฟ้า

3.2 DRC ทำหน้าที่กำจัด interference

3.3 Main Q – pole ทำหน้าที่คัดกรองไอออนตัวที่เราต้องการให้ละเอียดขึ้น

3.4 Quandapole ทำหน้าที่ปรับไอออนตัวที่เราต้องการเพื่อผ่านเข้าสู่ส่วนของ detector ต่อไป

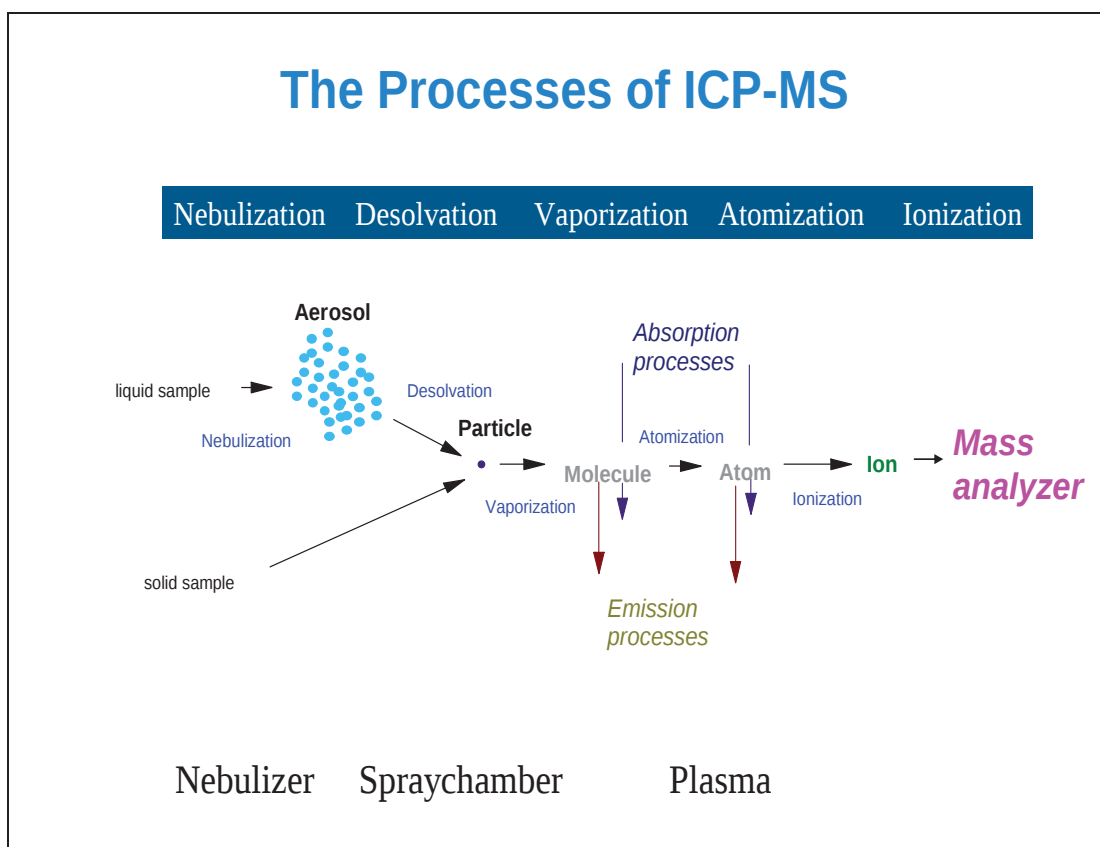
4. Detector ทำหน้าที่ตรวจวัดสัญญาณ



ภาพที่ 24 องค์ประกอบที่สำคัญของเครื่อง ICP – MS

ที่มา: แม้น อมรสิทธิ์ และคณะ, หลักการและเทคนิควิเคราะห์เชิงเครื่องมือ
(กรุงเทพฯ : บริษัท ชวนการพิมพ์ 50 จำกัด, 2552) , 469.

2.3.2 กระบวนการเกิดปฏิกิริยาของเครื่อง ICP-MS



ภาพที่ 25 กระบวนการเกิดปฏิกิริยาของเครื่อง ICP-MS

ที่มา : แม้น อมรสิทธิ์ และคณะ , หลักการและเทคนิควิเคราะห์เชิงเครื่องมือ

(กรุงเทพฯ : บริษัท ชวนการพิมพ์ 50 จำกัด, 2552) , 470.

การวิเคราะห์โดย ICP - MS อาศัยการใช้พลาสมาที่มีอุณหภูมิสูงในการทำให้สารตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์ ซึ่งโดยทั่วไปอยู่ในสภาพสารละลายเปลี่ยนเป็นไอออน โดยสารละลายตัวอย่างจะถูกฉีดด้วยอุปกรณ์ nebulizer เพื่อให้สารละลายกลายเป็นละอองฝอย และละอองฝอยจะเข้าไปใน spray chamber เพื่อให้ละอองที่เล็กผ่านไปยัง ICP torch ได้ เมื่อละอองฝอยเล็กๆ เข้าไปสู่พลาสมาที่มีพลังงานสูงอุณหภูมิประมาณ 8000 องศาเซลเซียส ทำให้ละอองฝอยเล็กๆ นี้ เกิดการเปลี่ยนสภาพเป็นไอออนที่เกิดขึ้นจะถูกสกัดผ่าน interface เข้าไปยังระบบสุญญากาศผ่านไปยัง

ส่วนของหน่วยวิเคราะห์มวลไอออน (mass analyzer) และหน่วยตรวจวัดไอออน (ion detector) โดยสัญญาณที่ตรวจวัดได้จะถูกแปลงเป็นค่าความเข้มข้นหรืออัตราส่วนไอโซโทปของธาตุ

2.3.3 การทำงานขององค์ประกอบต่างๆ ของเครื่อง ICP - MS

1. ระบบการนำสารตัวอย่างส่งเข้าสู่พลาสมา (sample introduction system)

ระบบการนำสารตัวอย่างส่งเข้าสู่พลาสมา ประกอบด้วย nebulizer และ spray chamber โดยอาจมี peristaltic pump ในการพาสารละลายตัวอย่างเข้าสู่ nebulizer หรือ ไม่มีก็ได้ กระบวนการสำคัญที่เกิดในระบบการนำสารตัวอย่างส่งเข้าสู่พลาสมา ได้แก่ การทำให้สารละลายเป็นละอองฝอย และการคัดเลือกละอองเพื่อให้ผ่านไปยังพลาสมา

1.1 การทำให้สารละลายเป็นละอองฝอย สารตัวอย่างที่ถูกนำเข้าไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือ ICP - MS เป็นได้ทั้ง ของเหลว ของแข็ง และแก๊ส แต่ที่เป็นที่นิยมใช้คือในรูปของของเหลวและสารละลาย หากตัวอย่างเป็นของแข็งโดยทั่วไปต้องทำให้อยู่ในสภาพสารละลายก่อน และอาศัย peristaltic pump ในการขับเคลื่อนสารละลายโดยใช้อัตราเร็วประมาณ 1 มิลลิลิตร ต่อ นาที หลังจากสารละลายตัวอย่างถูกพาไปยังอุปกรณ์ที่เรียกว่า nebulizer สารละลายจะแตกออกเป็นละอองฝอยเนื่องจากเกิดการปะทะกับแก๊สอาร์กอนที่ถูกพาเข้ามายัง nebulizer ด้วยอัตราการไหลสูงประมาณ 1 ลิตรต่อนาที

1.2 การคัดเลือกละอองเพื่อให้ผ่านไปยังพลาสมา เนื่องจากพลาสมาไม่มีประสิทธิภาพมากพอในการทำให้ละอองหยดใดๆ เกิดกระบวนการ desolvation vaporization atomization ionization ได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงจำเป็นต้องมีการคัดแยกขนาดละอองของตัวอย่างให้ผ่านเข้าไปยังพลาสมา โดยใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า spray chamber ซึ่งมีหน้าที่คัดให้ละอองฝอยขนาดเล็กผ่านเข้าไปยังพลาสมา ส่วนละอองขนาดใหญ่ และหยดของสารละลายจะถูกพาไปยังท่อที่ spray chamber ยังช่วยทำให้การส่งผ่านละอองสารตัวอย่างไปยังพลาสมามีความต่อเนื่องมากขึ้นทั้งๆ ที่การนำเข้าของสารละลายตัวอย่างจาก peristaltic pump เป็นแบบห้วงๆ

2. ระบบการนำสารตัวอย่างส่งเข้าสู่พลาสมาถือว่าเป็นจุดด้อยที่สุดของเครื่องมือ ICP - MS เนื่องจากมีสารตัวอย่างเพียง 1-2% เท่านั้น ที่สามารถผ่านไปยังพลาสมาได้ ถึงแม้จะมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ระบบนำส่งสารตัวอย่างที่ใช้ในปัจจุบันก็ไม่ได้แตกต่างจากที่ใช้ในปี ค.ศ. 1983 มากนัก รายละเอียดของ nebulizer และ spray chamber ประเภทต่างๆ มีดังนี้

2.1 nebulizer ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายคือประเภท pneumatic ซึ่งอาศัยการไหลของแก๊ส ความเร็วสูงที่ความดันประมาณ 20-30 psi ในการทำให้สารละลายกลายเป็นละอองฝอย หากพิจารณา nebulizer ที่ใช้ใน ICP - MS คล้ายกับ nebulizer ของ ICP - OES แต่ในทางปฏิบัติไม่ควรนำ nebulizer ที่ทำไว้สำหรับ ICP - OES มาใช้กับเครื่องมือ ICP - MS เนื่องจาก ICP - MS มี

ข้อจำกัดในด้านของความทนทานต่อปริมาณเกลือและของแข็งที่ละลายอยู่ (dissolved solids) ได้น้อยกว่า ICP - OES โดยทั่วไปการวิเคราะห์โดย ICP - MS ควรมีความเข้มข้นของ dissolved solids ในสารตัวอย่างไม่เกิน 0.2% ในขณะที่ nebulizer สำหรับ ICP - OES ถูกสร้างเพื่อให้ทนต่อ dissolved solids ได้ถึง 1-2 %

nebulizer สำหรับ ICP - MS มีหลายแบบ เช่น crossflow concentric microconcentric และ microflow ซึ่งโดยทั่วไปทำจากแก้ว แต่สำหรับการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ผ่านการย่อยสลายด้วยกรดกัดแก้ว อาจใช้ nebulizer ที่ทำจากวัสดุพอลิเมอร์ nebulizer

crossflow nebulizer แก๊สอาร์กอนวิ่งเข้าสู่ท่ออะปิลลารีในทิศทางตั้งฉากกับท่อของสารละลาย

crossflow nebulizer แก๊สอาร์กอนวิ่งเข้าสู่ท่อด้านนอกในขณะที่สารละลายตัวอย่างถูกพาผ่านเข้าท่ออะปิลลารีด้านในปลายเปิดของท่อ สารละลายที่ออกมาจะปะทะกับแก๊สอาร์กอนความเร็วสูง ทำให้สารละลายแตกเป็นละอองฝอยเล็กๆ โดยที่ท่ออะปิลลารีของ concentric nebulizer มีขนาดเล็กกว่ากรณีของ crossflow nebulizer ทำให้สามารถรองรับ dissolved solids ได้น้อยกว่า แต่ประสิทธิภาพในการทำให้สารละลายเกิดเป็นละอองฝอยเล็กๆ จะดีกว่า

microflow nebulizer ในกรณีที่มีสารตัวอย่างในปริมาณที่จำกัด หรือในกรณีที่ต้องการหลีกเลี่ยงปัญหาจาก memory effects ควรจำกัดปริมาณสารละลายตัวอย่างที่นำเข้าสู่พลาสมา ซึ่งทำได้โดยการใช้ microflow nebulizer เพื่อให้สามารถผ่านสารละลายตัวอย่างในอัตราเร็วที่ต่ำกว่า 0.1 มิลลิลิตร ต่อนาที การทำงานของ microflow nebulizer อาศัยหลักการเดียวกับของ concentric nebulizer แต่โดยทั่วไปต้องใช้แก๊สที่มีแรงดันสูงกว่า โดยทั่วไป nebulizer ประเภทนี้ ทำจากวัสดุพอลิเมอร์ เช่น polytetrafluoroethylene (PTFE) perfluoroalkoxy (PFA) หรือ polyvinylidene fluoride (PVDF)

2.2 spray chamber มีหลายแบบ เช่น ชนิด double pass และชนิด cyclonic ทำงานโดยอาศัยหลักการที่แตกต่างกัน

double pass spray chamber ทำจากแก้วหรือวัสดุพอลิเมอร์โดยสร้างเป็นท่อสองชั้นโดยที่ละอองที่ออกมาจาก nebulizer จะถูกพาเข้ายังท่อตรงกลาง ซึ่งละอองนี้จะเดินทางตลอดแนวท่อเพื่อผ่านไปยังท่อชั้นนอก ที่เชื่อมกับทางออกที่จะไปยังพลาสมา ในระหว่างการเดินทาง ละอองขนาดใหญ่ (ใหญ่กว่า 10 ไมโครเมตร) ตกลงจากแนวทางการเดินด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก และหลุดออกไปยังท่อทิ้ง ส่วนละอองฝอยขนาดเล็ก (เล็กกว่า 5-10 ไมโครเมตร) สามารถผ่านไปยังท่อชั้นนอกที่เชื่อมกับทางออกที่จะไปยังพลาสมาโดยผ่าน injector ด้านในของ ICP torch โดยทั่วไป spray chamber ประเภทนี้จะใช้ร่วมกับ crossflow nebulizer

cyclonic spray chamber แยกละอองฝอยโดยอาศัยหลักการของแรงหนีศูนย์กลาง ซึ่งละอองที่มีขนาดแตกต่างกันถูกแยกออกจากกันด้วยลักษณะการปั่นเป็นวง (vortex) ที่เกิดจากการไหลของสารละลายและแก๊สอาร์กอนในแนวเส้นสัมผัส (tangential flow) ละอองฝอยขนาดเล็กถูกพาผ่านขึ้นไปยังพลาสมาโดยผ่าน injector ด้านในของ ICP torch ในขณะที่ละอองขนาดใหญ่ถูกเหวี่ยงไปโดนผนังของ chamber และ หล่นลงสู่ท่อทิ้ง โดยทั่วไป spray chamber ประเภทนี้จะใช้ร่วมกับ concentric nebulizer และให้ประสิทธิภาพในการพาสารไปยังพลาสมาสู่กรณีของ double pass spray chamber

3. ระบบการทำให้เกิดพลาสมา (plasma generation system)

พลาสมาคือแก๊สที่เกิดการเปลี่ยนสภาพเป็นไอออนและมีอุณหภูมิสูง ในเทคนิค ICP - MS พลาสมาที่ใช้เป็นแก๊สอาร์กอนที่ถูกสร้างขึ้นในคบบพลาสมา (ICP torch) ภายใต้อุณหภูมิ 1 บรรยากาศ

ICP torch ที่ใช้ทั่วไปเป็นคบบชนิด Fassel เช่นเดียวกับในกรณีของ ICP - OES ประกอบด้วยท่อ 3 ชั้น โดยทั่วไปทำจากควอตซ์ ซึ่ง ICP torch อาจเป็นแบบคบบชั้นเดียว หรือเป็นชนิดที่ถอดแยกท่อข้างในสุดออกได้ โดยท่อข้างในสุด เรียกว่า injector อาจทำจากควอตซ์หรืออะลูมินา ส่วนท่อชั้นอื่นๆ ล้วนทำจากควอตซ์ การที่ ICP torch มีท่อถึง 3 ชั้น เพื่อให้สามารถผ่านแก๊สอาร์กอนในอัตราไหลในระดับที่ต่างกันได้ และมีการผ่านแก๊สอาร์กอนถึง 3 บริเวณด้วยกัน ดังนี้

บริเวณแรก ไหลผ่านระหว่างท่อด้านนอกสุดและท่อตรงกลางด้วยอัตราการไหลสูงถึง 12-17 ลิตรต่อนาที เรียกแก๊สอาร์กอนในบริเวณนี้ว่า plasma gas หรือ cooling gas

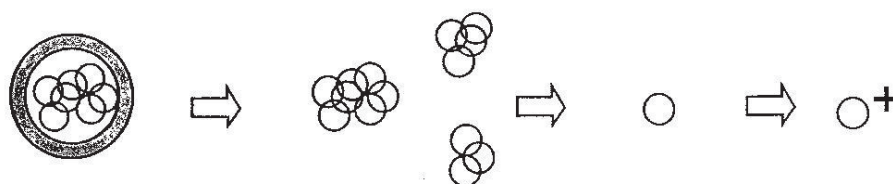
บริเวณที่สอง ไหลผ่านระหว่างท่อตรงกลางกับรอบนอกของท่อ injector อัตราการไหล 1 ลิตรต่อนาที ซึ่งอัตราการไหลนี้มีผลต่อตำแหน่งของฐานของพลาสมา หากใช้อัตราการไหลสูงขึ้นฐานของพลาสมาจะห่างจากบริเวณ injector มากขึ้น เรียกแก๊สอาร์กอนในบริเวณนี้ว่า auxiliary gas

บริเวณที่สาม ไหลผ่านด้านในของท่อ injector ด้วยอัตราการไหล 1 ลิตรต่อนาที เพื่อพาละอองฝอยเล็กของสารละลายตัวอย่างผ่านจากระบบการนำสารละลายตัวอย่างเข้าสู่พลาสมา เรียกแก๊สอาร์กอนในบริเวณนี้ว่า nebulizer gas หรือ carrier gas หรือ injector gas

ICP torch จะสอดอยู่ตรงกลางของวงขดลวด (load coil หรือ induction coil) ที่ต่อกับเครื่องกำเนิดคลื่นความถี่วิทยุ และปลายของ ICP torch อยู่ห่างจาก interface ประมาณ 10-20 มิลลิเมตร เช่นเดียวกับกรณีของ ICP - OES การทำให้เกิดพลาสมาอาศัยการส่งผ่านพลังงานจากเครื่องกำเนิดคลื่นความถี่วิทยุ กำลัง 750-1500 วัตต์ เข้ามายัง induction coil ทำให้เกิดกระแสสลับ

สั้นไปมาในอัตราเร็วที่ขึ้นกับความถี่ของเครื่องกำเนิดคลื่นความถี่วิทยุ คือ 27.12 หรือ 40.68 เมกะเฮิร์ตซ์ และเกิดสนามแม่เหล็กที่มีพลังงานสูงใน ICP torch เมื่อมีการปล่อยประจุไฟฟ้าพลังงานสูงจากเตสลาผ่านมายังแก๊สอาร์กอนที่ไหลผ่านบริเวณระหว่างท่อด้านนอกสุด และท่อตรงกลางทำให้อิเล็กตรอนที่มีพลังงานสูงที่จะวิ่งชนกับอะตอมของอาร์กอนทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกมาจากอะตอมของแก๊สอาร์กอนมากขึ้น โดยกระบวนการนี้เกิดขึ้นอย่างเป็นลูกโซ่ ทำให้ได้เป็นพลาสมาของอาร์กอนที่มีอุณหภูมิสูง (หมายเหตุ ที่ความถี่ 27.12 หรือ 40.68 เมกะเฮิร์ตซ์ เป็นความถี่ที่ไม่รบกวนการกับความถี่ที่ใช้ในการสื่อสารโดยทั่วไป และการเลือกใช้เครื่องกำเนิดคลื่นความถี่วิทยุที่ความถี่ 40.68 เมกะเฮิร์ตซ์ เป็นที่นิยมมากกว่าเพราะสามารถทำงานโดยใช้กำลังต่ำ ๆ ได้ ทำให้มี background ต่ำ และพลาสมามีความเสถียรดีขึ้น)

ในบริเวณพลาสมา มีกระบวนการต่างๆ ที่เกิดกับละอองฝอยของสารละลาย ตัวอย่างที่ถูกพาผ่านเข้าไปยัง injector ดังภาพที่ 26



ภาพที่ 26 กระบวนการต่างๆ ที่เกิดในพลาสมา

ที่มา: แม้น อมรสิทธิ์ และคณะ, หลักการและเทคนิควิเคราะห์เชิงเครื่องมือ

(กรุงเทพฯ : บริษัท ชวนการพิมพ์ 50 จำกัด, 2552) , 474.

4. interface และระบบสุญญากาศ

ระบบ interface ระหว่าง plasma และช่องสุญญากาศ ประกอบด้วยช่องลดความดันแบบ step-down vacuum stage และ โคนโลหะหล่อเย็น 2 ชั้น คือ sampler cone (มีขนาดรู 1.0-1.1 มิลลิเมตร) และ skimmer cone (มีขนาดรู 0.4-0.9 มิลลิเมตร) ซึ่งทำจากนิกเกิลหรือแพลทินัม

interface ทำหน้าที่ในการสกัดไอออนจากพลาสมา เพื่อให้ผ่านเข้าไปยังช่องสุญญากาศอย่างมีประสิทธิภาพ โดยทั่วไปมีการใช้ปั๊มถึง 3 ตัว โดยในขั้นแรกทำหน้าที่ลดความดันจากความดันบรรยากาศเป็นความดันประมาณ 1 บาร์ และ 2 มิลลิบาร์ตามลำดับ ซึ่งการลดความดันในลักษณะนี้ทำให้เกิด supersonic expansion ของลำไอออน ทำให้ลำไอออนกางออกและ

ไอออนส่วนหนึ่งเท่านั้นที่ยังคงอยู่บริเวณเนวกลางของลำไอออนเดินทางผ่าน skimmer cone เข้าช่องสุญญากาศได้ ถ้า skimmer cone มีขนาดรูใหญ่ขึ้นจะทำให้ไอออนเคลื่อนผ่านไปได้มากขึ้นและเป็นการเพิ่มความไวในการตรวจวัดให้มากขึ้น แต่ในทางปฏิบัติจะจำกัดรูของ skimmer cone ไว้เพื่อลดการผ่านไปได้ของ matrix

5. ชุด ion optics

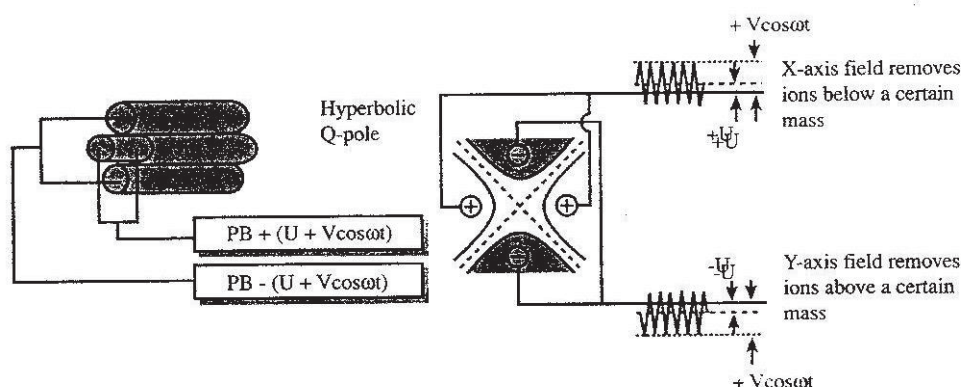
หลังจากไอออนเดินทางจากพลาสมาผ่านระบบ interface แล้ว จะเดินทางต่อไปยังส่วนของ ion optics เพื่อถูกบังคับกำหนดทิศทางเดินทางไปยังหน่วยวิเคราะห์มวลไอออน โดยทั่วไปไอออนที่มีมวลมากกว่าจะสามารถเคลื่อนผ่าน ion focusing system ได้ดีกว่าทำให้มีความไวในการวิเคราะห์มากกว่า ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อไอออนเดินทางจากพลาสมาผ่านเข้าไปในระบบสุญญากาศ จะเกิดปรากฏการณ์ charge separation หมายถึงการที่ไอออนบวกแยกออกจากไอออนลบ เนื่องจากไอออนบวกมีมวลและพลังงานจลน์มากกว่าอิเล็กตรอนทำให้อิเล็กตรอนแพร่ออกไปในบริเวณเนวกลางของลำไอออนจึงมีแต่ไอออนบวก ทำให้เกิดการผลักกันเอง ซึ่งไอออนมวลสูงจะผลักไอออนมวลต่ำออกจากเนวกลางของลำไอออน (defocusing) เพื่อป้องกันไม่ให้ไอออนหลุดออกจากเนวกลางลำ ต้องให้ศักย์ไฟฟ้าที่เหมาะสมกับ ion lens เพื่อบังคับการเคลื่อนที่ของไอออน โดยระบบ ion optics ประกอบด้วย ชุดของ ion lens ที่ทำหน้าที่ในการบังคับการเคลื่อนที่ของไอออน รวมถึง lens ที่เป็น photon stop หรือ shadow stop ที่ใช้ป้องกันไม่ให้ photon และ neutral species จากพลาสมาเคลื่อนผ่านไปยังหน่วยวิเคราะห์มวลไอออนด้วย

6. หน่วยวิเคราะห์มวลไอออน (mass analyzer)

โดยทั่วไป mass analyzer ที่ใช้ในเครื่องมือ ICP - MS เป็นแบบ quadrupole วางอยู่ระหว่างชุด ion lens กับหน่วยตรวจวัดไอออนภายในช่องสุญญากาศ โดยที่ quadrupole mass analyzer ประกอบด้วยแท่งโลหะที่เป็นเหล็กกล้าหรือโมลิบดีนัมจำนวน 4 แท่ง ยาวประมาณ 15-20 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1 เซนติเมตร ปกติทำการแยกไอออนตามอัตราส่วนมวลต่อประจุทำงานโดยให้ไฟฟ้ากระแสตรงกับแท่งโลหะเหล่านี้ โดยคู่ของแท่งโลหะที่อยู่ตรงข้ามกันจะได้รับศักย์ไฟฟ้าบวกหรือลบเหมือนกัน และจะถูกสลับขั้วโดยการควบคุมของสนามในย่านวิทยุความถี่ 2-3 เมกะเฮิร์ตซ์ ที่ค่าศักย์ไฟฟ้าค่าหนึ่ง ไอออนที่มีมวลค่าหนึ่งสามารถเคลื่อนผ่านออกไปได้เพื่อไปยังหน่วยตรวจวัดไอออนในขณะที่ไอออนอื่นๆ วิ่งชนกับแท่งโลหะและไม่สามารถเคลื่อนผ่านออกไปได้ นอกเหนือจากการใช้ quadrupole mass analyzer ก็มีการใช้ double focusing magnetic sector ซึ่งมีประสิทธิภาพในการแยกมวลที่ต่างกันเพียงเล็กน้อยได้ หรือเป็นหน่วยแยกมวลแบบ time of flight ซึ่งสามารถวิเคราะห์แยกมวลไอออนได้อย่างรวดเร็ว

7. หน่วยตรวจวัดไอออน (ion detector)

หน่วยตรวจวัดไอออนต้องมีความไวในการตรวจวัดสูงและสามารถตรวจวัดปริมาณไอออนได้ในช่วงกว้าง (wide dynamic range) โดยทั่วไปใช้เป็น electron multiplier detector ซึ่งอาจเป็นประเภท channel electron multiplier หรือ discrete dynode electron multiplier



ภาพที่ 27 การทำงานของ quadrupole mass analyzer

ที่มา : แม้น อมรสิทธิ์ และคณะ, หลักการและเทคนิควิเคราะห์เชิงเครื่องมือ
(กรุงเทพฯ : บริษัท ชวนการพิมพ์ 50 จำกัด, 2552) , 475.

Channel electron multiplier มีลักษณะเป็นท่อกรวยที่ฉาบด้วยวัสดุกึ่งตัวนำ ทำงานโดยการให้ศักย์ไฟฟ้าลบที่บริเวณทางเข้าของกรวยเพื่อดึงให้ไอออนบวกวิ่งเข้ามาได้และให้ศักย์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ (เป็นลบน้อยลง) จนกระทั่งศักย์ไฟฟ้ามีค่าเป็นศูนย์ที่ปลายสุดของกรวย เมื่อไอออนบวกวิ่งมาชนพื้นผิวที่เป็นวัสดุกึ่งตัวนำทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกมา ซึ่งอิเล็กตรอนนี้จะวิ่งไปชนพื้นผิวกึ่งตัวนำบริเวณใหม่ทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกมาเพิ่ม เป็นเช่นนี้ไปเรื่อยๆ ทำให้เกิดการขยายของจำนวนอิเล็กตรอน

Discrete dynode electron multiplier ประกอบจาก dynode หลายๆ ตัว มีลักษณะการทำงานคล้ายกับ channel multiplier โดยเมื่อไอออนวิ่งไปชน dynode ตัวแรกทำให้เกิดการปลดปล่อยอิเล็กตรอนออกจาก dynode ซึ่งอิเล็กตรอนนี้ไปชน dynode ตัวถัดมา แล้วเกิดการปล่อยอิเล็กตรอนออกมาอีก เป็นเช่นนี้ไปเรื่อยๆ ทำให้เกิดการขยายของจำนวนอิเล็กตรอน

2.3.4 ปัญหาการรบกวนการวิเคราะห์ (interferences) ในการวิเคราะห์ด้วย ICP - MS

ในการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค ICP - MS มีปัญหาการรบกวนการวิเคราะห์โดยสามารถจำแนก interferences เป็นประเภทต่างๆ คือ การรบกวนทางสเปกตรัม (spectral interferences) การรบกวนจากสารอื่นในตัวอย่าง (matrix interferences) ที่ทำให้เกิดการรบกวนจากปัจจัยทางกายภาพ (physical interferences) การเกิดการรบกวนประเภท space-charge interference และการเกิดการสะสมของเกลือ (salt build-up)

2.3.5 การรบกวนของสเปกตรัม (spectral interferences)

การซ้อนทับกันของสเปกตรัม อาจเกิดจากหลายสาเหตุ เช่น การเกิด polyatomic interference โดยการรวมตัวเป็นโมเลกุลในสถานะแก๊สเป็นกลุ่มของ argides oxides hydroxides hydrides และ การเกิดเป็น doubly charged species รวมถึงการซ้อนทับกันของสเปกตรัมจาก isobaric interference

polyatomic หรือ molecular spectral interference เกิดจากการรวมตัวกันของไอออน 2 ตัวขึ้นไป ซึ่งอาจเป็นการรวมตัวของไอออนที่มีมากในพลาสมา เช่น อาร์กอน หรือ ไอออนที่มาจากธาตุในอากาศ ตัวทำละลาย หรือจากสารตัวอย่าง ตัวอย่างของการซ้อนทับกันของสเปกตรัมที่มากจากการรบกวนของอาร์กอน เช่น การเกิดการรวมตัวกันระหว่างอาร์กอนกับออกซิเจน ^{40}Ar ^{16}O จะรบกวนการวิเคราะห์ธาตุเหล็ก ^{56}Fe นอกเหนือจากนั้น อาร์กอนยังสามารถจับรวมตัวกับธาตุต่างๆ ในกรดที่ใช้เป็นตัวย่อยสลายสารตัวอย่าง เช่น ^{40}Ar ^{35}Cl ซึ่งรบกวนการวิเคราะห์ปริมาณสารหนู ^{75}As การเกิดการรวมตัวระหว่างอาร์กอนกับธาตุคาร์บอนจากตัวทำละลายอินทรีย์ต่างๆ ^{40}Ar ^{12}C ก่อให้เกิดปัญหาการรบกวนการวิเคราะห์ปริมาณธาตุโครเมียม ^{52}Cr และในตัวอย่างที่มีธาตุโซเดียมสูง เช่น น้ำทะเล ก็อาจเกิดปัญหาต่อการวิเคราะห์ ^{63}Cu จากการรบกวนของ ^{40}Ar ^{23}Na เป็นต้น นอกเหนือจากนั้นธาตุต่างๆ เช่น ไฮโดรเจน ออกซิเจน จากน้ำหรืออากาศ ก่อให้เกิดการรบกวนจากการรวมตัวของ ^1H ^{16}O ^{16}O ^1H กับธาตุอื่นๆ เช่น กับธาตุในกลุ่ม rare earth หรือ refractor-type elements เนื่องจากธาตุกลุ่มนี้นิยมจับตัวในรูปออกไซด์ทำให้สร้างปัญหาเป็นตัวรบกวนสำหรับธาตุอื่นๆ ซึ่งเกิดมากในบริเวณปลายพลาสมาที่มีอุณหภูมิต่ำก่อนถึง interface

doubly charged interference เกิดจากธาตุที่เกิดการไอออไนเซชันในลำดับที่สูงขึ้นทำให้ได้อัตราส่วนมวลต่อประจุที่ครึ่งหนึ่งของมวลอะตอม ซึ่งการรบกวนจาก polyatomic interference และ doubly charged interference แปรเปลี่ยนตามสถานะของพลาสมาที่ใช้ในการทดลอง สามารถปรับและควบคุมได้

isobaric interference เกิดจากอะตอมของธาตุต่างชนิดกันที่มีเลขมวลเท่ากัน ในบางกรณี พบว่า ธาตุต่างชนิดกันที่มีเลขมวลเท่ากันเกิดการซ้อนทับกันของสเปกตรัมได้ เช่น ^{40}Ar ก่อให้เกิดปัญหาในการวิเคราะห์ธาตุแคลเซียม ^{40}Ca

2.3.6 การรบกวนจากสารอื่นในตัวอย่าง (matrix interferences)

สารอื่นในตัวอย่าง (matrix) อาจทำให้สัญญาณการวิเคราะห์ลดลงหรือเพิ่มขึ้น ซึ่งโดยมากจะเป็นการลดลงของสัญญาณ โดยที่ matrix อาจมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการส่งผ่านของสารตัวอย่างเข้าสู่พลาสมา โดยเกิดจากการที่ matrix มีคุณสมบัติทางกายภาพที่ส่งผลให้ลักษณะการเกิดเป็นละอองฝอยของสารตัวอย่างผิดไปจากสารละลายมาตรฐาน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในกรณีของสารตัวอย่างที่มีองค์ประกอบของสารอินทรีย์ซึ่งมีความหนืดที่แตกต่างจากน้ำ ปัญหาการรบกวนนี้ อาจเรียกว่าเป็นการรบกวนจากปัจจัยทางกายภาพ (physical interferences) การรบกวนจาก matrix ในอีกลักษณะหนึ่ง คือ การส่งผลให้มีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของพลาสมา เช่น การใช้กรดที่มีความเข้มข้นแตกต่างกันสัญญาณการวิเคราะห์ที่ได้จะแตกต่างกัน และอาจมีการรบกวนประเภทอื่นๆ เช่น การเกิดการรบกวนประเภท space - charge interference และการเกิดการสะสมของเกลือ (salt build - up)

การเกิดการรบกวนประเภท space - charge interference ปกติแล้วไอออนที่มีมวลต่ำจะมีประสิทธิภาพในการผ่านในระบบ ion optics ได้ไม่ดี เนื่องจาก matrix - induced space charge effects ซึ่งทำให้เกิดการเบี่ยงของไอออนของธาตุที่กำลังวิเคราะห์ออกจากแนวกลางของลำไอออน ในกรณีการวิเคราะห์ธาตุที่มีมวลน้อยๆ ในตัวอย่างที่มีธาตุที่มีมวลสูงปนอยู่ในปริมาณมาก ไอออนของธาตุที่มีมวลสูงนี้มีพลังงานจลน์มากกว่า และจะแย่งจองที่บริเวณแนวกลางของลำไอออนและผลักไอออนของธาตุที่กำลังวิเคราะห์ออกจากแนวกลางของลำไอออน ซึ่งถ้าไอออนที่วิเคราะห์มีมวลยิ่งต่ำก็จะโดนผลักออกจากแนวกลางของลำไอออนมากกว่าไอออนที่มีมวลสูงขึ้น ตัวอย่างเช่น ในการวิเคราะห์ ^7Li ^9Be ^{205}Tl และ ^{208}Pb ในตัวอย่างที่มีธาตุยูเรเนียมปนอยู่ 1000 ส่วนในล้านส่วน จะเห็นได้ถึงการลดลงของสัญญาณของ ^7Li ^9Be อย่างชัดเจนเมื่อเทียบกับการลดลงของสัญญาณของ ^{205}Tl และ ^{208}Pb ซึ่งสามารถแก้ไขปัญหานี้จาก space charge matrix suppression ได้ โดยการใช้วิธีการเติมสารมาตรฐานภายใน (internal standardization) อย่างไรก็ดีวิธีการนี้ช่วยทำให้ปัญหาบางอย่างแต่ไม่ได้เป็นการแก้ไขปัญหาด้านเหตุ อีกวิธีหนึ่ง คือ การปรับให้ศักย์ไฟฟ้าที่เลนส์ของระบบ ion optics มีค่าเหมาะสม เพื่อบังคับการเคลื่อนที่ของไอออนของธาตุที่กำลังวิเคราะห์ให้สามารถเดินทางผ่านไปยังหน่วยตรวจวัดมวลได้ และเลือกที่ไม่ให้ไอออนของธาตुरบกวนผ่านไป ได้ โดยทั่วไปในการวิเคราะห์ควรจะรักษาระดับของธาตुरบกวนให้มีปริมาณต่ำกว่า 100-200 ส่วนในล้านส่วน

การเกิดการสะสมของเกลือ (salt build-up) การเกิดการสะสมของเกลือและออกไซด์จากสารตัวอย่าง เช่น จากน้ำทะเล ทำให้เกิดการกีดขวางบริเวณ sampler cone สามารถแก้ไขโดยการเจือจางสารตัวอย่างให้มีปริมาณ total dissolved solid น้อยกว่า 0.1% หรืออาจใช้เทคนิค flow injection ในการนำสารละลายตัวอย่างเข้าสู่ระบบการวิเคราะห์เพื่อลดปริมาณการนำเข้าของสารตัวอย่าง หรือการเตรียมตัวอย่างโดยวิธีต่างๆ เพื่อกำจัด matrix ออกไปก่อนการวิเคราะห์

2.3.7 การแก้ไขปัญหาการรบกวนจากการซ้อนทับกันของสเปกตรัม

วิธีแก้ไขปัญหาการรบกวนจากการซ้อนทับกันของสเปกตรัม อาจทำได้โดยการกำจัดสารที่ก่อการรบกวนการวิเคราะห์ออกไป เช่น การตกตะกอน การแยกสาร โดยวิธีการนี้มักใช้กับตัวอย่างน้ำทะเล ซึ่งต้องการกำจัดปัญหาจากเกลือโซเดียมคลอไรด์และแมกนีเซียมคลอไรด์ หรืออาจใช้สมการทางคณิตศาสตร์เพื่อหักล้างการรบกวน รวมถึงการใช้เทคโนโลยีสมัยใหม่ เช่น การใช้เทคโนโลยีพลาสมาเย็น (cool/cold plasma) การใช้เทคโนโลยี collision/reaction cells และการเลือกใช้หน่วยวิเคราะห์มวลไอออนที่มีประสิทธิภาพสูง (high resolution mass analyzer)

1. การใช้สมการทางคณิตศาสตร์

สามารถใช้ได้กับการแก้ไขปัญหาการรบกวนจาก isobaric interferences และ polyatomic interferences บางกรณี โดยทำการวัดสัญญาณของไอออนของสารรบกวนที่มีมวลอื่นที่ไม่ตรงกับมวลของไอออนของธาตุที่ต้องการวิเคราะห์ ภายใต้เงื่อนไขที่ปลอดจากการรบกวนใดๆ ต่อการวัดสัญญาณที่มีมวลนั้นๆ หรือไอโซโทปนั้นๆ และใช้การเทียบบรรทัดใดตรงกลับไปยังประเมนที่มีมวลหรือไอโซโทปที่เราสนใจนั้นว่า สัญญาณที่วัดได้น่าจะมาจากธาตุหรือสารที่ก่อการรบกวนอยู่เป็นสัดส่วนเท่าไร เพื่อทำการหักลบออกจากสัญญาณที่วัดได้ ส่วนต่างนี้เองคือสัญญาณของไอออนของธาตุที่กำลังวิเคราะห์ ตัวอย่างเช่น การวิเคราะห์ธาตุแคดเมียมที่มีมวล 114 (^{114}Cd) ซึ่งมีดีบุก (^{114}Sn) เป็นธาตุรบกวน ในการวิเคราะห์ปริมาณแคดเมียมในตัวอย่างที่อาจมีดีบุกเจือปนอยู่ด้วยนั้น ต้องทำการวัดสัญญาณของดีบุกที่มีมวลอื่น เช่น ที่ ^{118}Sn การแก้ไขปัญหาการรบกวนจาก polyatomic interference โดยใช้สมการคณิตศาสตร์ อีกตัวอย่างคือ สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณวาเนเดียมในตัวอย่างน้ำเกลือที่มีโซเดียมคลอไรด์อยู่ 1000 ส่วนในล้านส่วน จะมีปัญหาการรบกวนจาก ^{35}Cl ^{16}O ที่มีมวล 51 ดังนั้นจึงต้องวัดสัญญาณที่ ^{37}Cl ^{16}O ที่มีมวล 53 ด้วย เพื่อใช้ในการเทียบกลับว่าสัญญาณที่วัดได้ที่มวล 51 นั้น มาจาก ^{35}Cl ^{16}O เท่าไร และส่วนต่างคือสัญญาณของ ^{51}V

2. การใช้เทคโนโลยีพลาสมาเย็น (cool/cold plasma)

ในกรณีที่ปัญหาสารรบกวนมีมาก และธาตุที่ต้องการวิเคราะห์ให้สัญญาณน้อยมาก การใช้สมการในการแก้ไขปัญหาอาจไม่ถูกต้อง ดังนั้นจึงมีการพัฒนาวิธีการที่เป็นทางเลือกในการแก้ไขปัญหาคือการที่ใช้เทคโนโลยีพลาสมาเย็น ซึ่งหมายถึงพลาสมาที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าปกติ

ในการลดปัญหาจากการเกิดตัวรบกวนที่เกิดจากการรวมตัวกับอาร์กอน ที่สภาวะปกติของพลาสมา (เครื่องกำเนิดคลื่นความถี่วิทยุกำลัง 1000-1400 วัตต์ และอัตราการไหลของ nebulizer gas เป็น 0.8-1.0 ลิตรต่อนาที) อาร์กอนสามารถเกิดการเปลี่ยนสภาพเป็นไอออนซึ่ง ^{40}Ar รบกวนการวิเคราะห์ ^{40}Ca หรืออาจเกิดการรบกวนโดยรวมตัวกับธาตุอื่นๆ ที่มีในตัวทำละลาย เป็น ^{38}Ar ^1H และ ^{40}Ar ^{16}O ซึ่งรบกวนการวิเคราะห์ ^{39}K และ ^{56}Fe การใช้พลาสมาเย็นที่ กำลัง 500-800 วัตต์ และใช้อัตราการไหลของ nebulizer gas เป็น 1.5-1.8 ลิตรต่อนาที) ทำให้การเกิดสภาพไอออนในเซชันเปลี่ยนไปและการรบกวนดังกล่าวลดลงอย่างมาก ส่งผลต่อการลดลงของ detection limits อย่างไรก็ดี เทคโนโลยีนี้ใช้ได้กับธาตุเพียงบางกลุ่มเท่านั้น และมีข้อจำกัดจากการที่เกิดไอออนในเซชันของธาตุก็มีประสิทธิภาพลดลง การวิเคราะห์สารตัวอย่างที่ซับซ้อนจะเป็นไปโดยยาก เนื่องจากจะเกิดการรบกวนจาก matrix อย่างมาก

3. การใช้เทคโนโลยี collision / reaction cells

เนื่องจากข้อจำกัดของการใช้เทคโนโลยีพลาสมาเย็นทำให้มีการพัฒนาเทคโนโลยี collision/reaction cells โดยการกำจัด polyatomic interferences ออกจากลำของไอออนก่อนที่จะเดินทางผ่านไปยังหน่วยวิเคราะห์มวล

4. การใช้หน่วยวิเคราะห์มวลไอออนที่มีประสิทธิภาพสูง (high resolution mass analyzer)

การเพิ่มประสิทธิภาพในการแยกมวลไอออนโดยการใช้ high resolution mass spectrometer ซึ่งมีกำลังการแยกสูง สามารถจัดปัญหาจากการซ้อนทับกันของสเปกตรัมได้แต่มีข้อเสียตามมาคือ ความไวในการวิเคราะห์จะลดลงด้วย

2.3.8 การแก้ไขปัญหาการรบกวนจาก matrix interferences อื่นๆ โดยวิธีการเติมสารมาตรฐานภายใน (internal standardization)

วิธีการดั้งเดิมที่ใช้แก้ไขปัญหามาจากการที่สารตัวอย่างมีคุณสมบัติทางกายภาพที่แตกต่างจากสารมาตรฐาน คือ การใช้วิธีการเติมสารมาตรฐานภายใน (internal standardization) ทำได้โดยเติมสารมาตรฐาน ซึ่งเป็นธาตุคนละตัวกับธาตุที่กำลังจะวิเคราะห์ในระดับความเข้มข้น ส่วนในพันล้านส่วน (parts-per-billion) ลงไปในปริมาณที่เท่าๆ กันทั้งในสารละลายตัวอย่างและสารละลายมาตรฐานรวมถึงใน reagent blanks ด้วย เพื่อวัดค่าอัตราส่วนของสัญญาณที่ได้เทียบกับสาร internal standard วิธีการนี้ใช้แก้ไขปัญหามาจากการที่สารตัวอย่างมีคุณสมบัติทางกายภาพที่แตกต่างจากสารมาตรฐาน และช่วยลดปัญหาจากการที่เครื่องมือเกิด long-term signal drift ที่สารอื่นๆ (matrix) ไปขวางทางเดินของไอออนในบริเวณรูเปิดของ sampler cone และ skimmer cone โดยมีข้อแนะนำในการเลือกสารมาตรฐานภายใน (internal standard) ดังนี้

1. เป็นธาตุที่ไม่มีอยู่ในสารตัวอย่าง
2. เป็นธาตุที่ไม่ก่อให้เกิดปัญหาการรบกวนทับกันของสเปกตรัมและปลอดจากการรบกวนจากการรบกวนทับกันของสเปกตรัม
3. เป็นธาตุที่ไม่เกิดการเจือปนจากสิ่งแวดล้อมได้ง่าย
4. เป็นธาตุที่มีมวลใกล้เคียงกับธาตุที่กำลังวิเคราะห์
5. เป็นธาตุที่มีค่าพลังงานไอออไนเซชันใกล้เคียงกับธาตุที่กำลังวิเคราะห์ และมีพฤติกรรมในพลาสมาคล้ายกัน

จากข้อแนะนำดังกล่าว ธาตุที่นิยมเลือกใช้เป็นสารมาตรฐานภายในมีดังนี้ ^{9}Be
 ^{45}Sc ^{59}Co ^{74}Ge ^{89}Y ^{103}Rh ^{115}In ^{169}Tm ^{175}Lu ^{187}Re และ ^{232}Th

2.3.9 การวิเคราะห์เชิงปริมาณด้วยเทคนิค ICP-MS

วิธีวิเคราะห์ปริมาณธาตุโดยเทคนิค ICP - MS อาศัยความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณของไอออนที่ตรวจวัดได้กับความเข้มข้น โดยวิธีสอบเทียบกับสารละลายมาตรฐาน ทั้งนี้ทำได้หลายวิธี ดังนี้

วิธีสอบเทียบมาตรฐานแบบภายนอก (external calibration method) ทำโดยสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณที่ตรวจวัดได้กับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานของธาตุที่ต้องการวิเคราะห์ ทั้งนี้จะต้องหักลบค่าสัญญาณที่ตรวจวัดได้จาก reagent blank ออกและอาจมีการทำ drift correction โดยการใช้สารมาตรฐานภายในเข้าร่วมด้วย วิธีการนี้จะใช้ได้เฉพาะเมื่อแน่ใจว่าสารละลายตัวอย่างนั้นไม่มีสิ่งที่จะรบกวนการวัด มักใช้กับกรณีที่สารละลายตัวอย่างไม่มีสารอื่นเจือปนอยู่มาก เช่น น้ำบริสุทธิ์ น้ำคั้น น้ำฝน เพื่อให้แน่ใจว่าสามารถใช้วิธีสอบเทียบมาตรฐานแบบภายนอกในการวิเคราะห์ได้ ผู้วิเคราะห์ควรมีข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับสารที่กำลังจะทำการวิเคราะห์ เช่น อาจทำ semi-quantitative analysis โดยใช้การตรวจสอบอย่างคร่าวๆ เพื่อสำรวจว่ามีธาตุใดที่อาจเป็นสารรบกวนการวิเคราะห์หรือไม่ และเพื่อใช้ในการเลือกสารมาตรฐานภายใน หรือเลือกมวลหรือไอโซโทป ที่ควรใช้ในการตรวจวัด

วิธีเติมสารมาตรฐานในตัวอย่าง (standard addition method) วิธีการนี้เป็นที่รู้จักและใช้กันทั่วไปในการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ทางเชิงแสงของอะตอม ซึ่งทำโดยการเติมสารละลายมาตรฐานของธาตุที่ต้องการวิเคราะห์ลงในสารละลายตัวอย่าง ทั้งนี้ต้องนำสารตัวอย่าง ทั้งนี้ต้องนำสารตัวอย่างมาเท่าๆ กัน เติมน้ำลงในขวดปริมาตรทุกขวด แล้วเติมสารละลายมาตรฐานในปริมาณเท่าที่ทราบ คำนวณหาค่าตามลำดับ แล้วเติมน้ำบริสุทธิ์ให้ได้ปริมาตรเท่ากันทั้งหมดเพื่อนำไปตรวจวัดสัญญาณ

วิธีการเจือจางด้วยสารไอโซโทป (isotope dilution) การวิเคราะห์โดยการเจือจางด้วยไอโซโทปจัดเป็นวิธีการวิเคราะห์แบบปฐมภูมิ ทำได้โดยเติม enriched isotope ของธาตุที่ต้องการวิเคราะห์ลงในสารตัวอย่าง แต่มีข้อจำกัดจากการที่ธาตุบางตัวเป็นธาตุที่มีเพียงไอโซโทปเดียว (monoisotopic element) เช่น ^9Be ^{23}Na ^{27}Al ^{45}Sc ^{55}Mn ^{75}As ^{189}Y ^{103}Rh ^{127}I ^{133}Cs ^{141}Pr ^{159}Tb และ ^{165}Ho ^{169}Tm ^{197}Au และ ^{232}Th ทำให้ไม่สามารถวิเคราะห์โดยใช้วิธีการนี้ได้ อีกทั้งสาร enriched isotope เป็นสารที่มีราคาแพง

2.3.10 ข้อแนะนำเพื่อให้ได้ผลการวิเคราะห์ที่ถูกต้อง

1. ควรตรวจสอบว่าระบบการนำสารตัวอย่างเข้าสู่พลาสมาและอุปกรณ์ sampler cone และ skimmer cone สะอาด ทำความสะอาดโดยใช้กรดในتركความเข้มข้น 1% และทำให้แห้งก่อนการนำไปใช้

2. ควรปรับเครื่อง ICP - MS ให้อยู่ในสภาพที่เหมาะสมแก่การใช้งาน โดยทำตามวิธีการที่แนะนำอยู่ในคู่มือการใช้งานของเครื่อง ICP - MS สามารถอธิบายโดยสังเขปได้ คือการใช้สารละลายมาตรฐานที่ประกอบด้วยธาตุต่างๆ เช่น Mg Rh Ce และ U 10 ส่วนในพันล้านส่วน เพื่อปรับความไวในการตรวจวัดของเครื่องมือ ICP - MS โดยจะปรับเพื่อให้ได้สัญญาณที่สูงสุด โดยคำนึงว่าอัตราส่วนระหว่าง ^{140}Ce $^{16}\text{O}/^{140}\text{Ce}$ และ $^{140}\text{Ce}^{2+}/^{140}\text{Ce}^{+}$ มีค่าน้อยกว่า 0.5% ทั้งนี้เพื่อลดปัญหาจาก polyatomic interference จากการเกิดการรวมตัวกับออกไซด์ และการเกิด doubly charged interference ในขณะเดียวกัน ควรวัดสัญญาณที่มวล 230 เพื่อตรวจสอบระดับของ background ด้วย ซึ่งควรมีสัญญาณต่ำ โดยการปรับค่า ควรเริ่มจากการปรับตำแหน่งของคอปลาสมา (ICP torch) ตามด้วยการปรับค่าอัตราการไหลของ nebulizer gas ตามด้วยการปรับค่าศักย์ไฟฟ้าของชุด ion optics

3. ในการวิเคราะห์เชิงปริมาณ ต้องมั่นใจว่าสารมาตรฐานยังมีคุณภาพดี ควรเตรียมสารละลายมาตรฐานและสารละลายตัวอย่างที่จะวิเคราะห์ในน้ำบริสุทธิ์ ปราศจากไอออน และควรรักษาเสถียรภาพของสารละลายที่เตรียมขึ้นโดยเติมกรดในتركเล็กน้อย

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ศิริลักษณ์ ชไมบุปผา (2551) ได้ทำการศึกษาการกระจายตัวของอนุภาคเขม่าป็นจากป็นที่ยิงในห้องปิดด้วยเทคนิค Inductively Coupled Plasma - Optical Emission Spectrometer (ICP - OES) โดยศึกษาในอาวุธปืนพกสั้นกึ่งอัตโนมัติ (Glock model 19 ขนาด 9 มิลลิเมตร) และอาวุธปืนพกยาว (Smith & Wesson model M60 ขนาด .38) ตัวอย่างที่เก็บได้นำมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Inductively Coupled Plasma - Optical Emission Spectrometer (ICP - OES) เพื่อหาปริมาณธาตุ Sb,

Ba และ Pb ใช้เป็นค่าการวัดปริมาณอนุภาคเขม่าปืน ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ในระยะ 1-2 เมตร จากด้านหน้าของผู้ยิงปืน และด้านขวาของผู้ยิงปืนเป็นมุม 45 องศา จะพบปริมาณของอนุภาคเขม่าปืนมากที่สุด และพบมากที่สุดในช่วง 1-3 นาที หลังจากที่ยิงปืน ซึ่งอนุภาคเขม่าปืนทั้ง 2 ชนิด มีปริมาณและการกระจายตัวแตกต่างกัน และจะตรวจพบอนุภาคเขม่าปืนในปริมาณมากจากฝ่ามือ และจากนิ้วหัวแม่มือกับนิ้วชี้ด้านฝ่ามือของผู้ยิง

อัจฉราภรณ์ ประสงค์ (2552) ได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของเขม่าปืนบนเสื้อผ้าของผู้ยิงปืนและระยะเวลาภายหลังการยิงปืนที่วิเคราะห์โดยเทคนิค Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry (ICP - MS) โดยศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเขม่าปืน (Gunshot Residues, GSR) บนเสื้อผ้าของผู้ยิงปืน อาวุธปืนที่ใช้ ได้แก่ ปืนพกอัตโนมัติ ขนาด 9 มม. LUGER และปืนพกไรลเวนด์ ขนาด .38 พิเศษ โดยวิเคราะห์หาปริมาณธาตุ แอนติโมนี (Sb), แบเรียม (Ba) และตะกั่ว (Pb) ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญในเขม่าปืน (Gunshot Residues, GSR) และใช้ปริมาณของธาตุทั้งสามธาตุเป็นหน่วยวัดปริมาณเขม่าปืน ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่าง ได้แก่ เก็บทันทีภายหลังการยิง, เก็บตัวอย่าง 1 วัน, 7 วัน และ 30 วัน ภายหลังการยิงปืน จากผลการทดลองพบว่า เมื่อใช้ปืนอัตโนมัติ ปริมาณธาตุทั้งสามธาตุที่วัดได้มีมากที่สุดในตัวอย่างไม่จากแขนเสื้อด้านขวาของผ้าเชาติน ตั้งแต่บริเวณข้อมือถึงข้อศอกของแขนเสื้อ และพบว่าปริมาณเขม่าจะลดลงตามการเพิ่มขึ้นของระยะเวลาก่อนเก็บตัวอย่าง

Zeichner and Levin (1995) จากประสบการณ์ในการทำงานเกี่ยวกับการวิเคราะห์อนุภาค GSR จากตัวอย่างที่เป็นมือ, หมวก และเสื้อผ้า ได้นำมารายงานในช่วงเวลา 6 ปี (1989 - 1994) โดยการประเมินพบผลสำเร็จในการวิเคราะห์ตัวอย่างประมาณ 10 % หลักเกณฑ์วิธีการเก็บตัวอย่าง คือ จำนวนอนุภาคที่ตรวจพบต่อตัวอย่าง และได้อภิปรายปัญหาที่เป็นไปได้ของการปนเปื้อนในตัวอย่าง

Garofano and others (1999) ทำการศึกษานอนุภาคเขม่าปืนในสิ่งแวดล้อมและกลุ่มอาชีพอื่นๆ ได้ดำเนินการทดสอบใน Reparto Carabinieri Investigation Scientifiche, Parma, Italy ข้อมูลที่ได้ 175 ตัวอย่าง จากมือของผู้ที่อยู่ในอาชีพที่มีความสัมพันธ์กันซึ่งได้มาจากรถยนต์, จากมือขวาของผู้ขับขีรถยนต์ภายหลังการขับขีรถยนต์, แบตเตอรี่และยางล้อรถ และจากมือของแต่ละคน ภายหลังการทำการผลิตปลอกกระสุนปืนในอุตสาหกรรมปืนแก่ปเด็กเล่นและดอกไม้ไฟ แม้ว่าการศึกษาได้ยืนยันว่าเป็นส่วนประกอบหลักของปลอกกระสุนปืน ตัวอย่างของกลุ่มอาชีพไม่สามารถยืนยันอนุภาคที่มาจากเขม่าปืน แม้ว่าจะพิสูจน์ได้ว่าประชาชนที่มีความเกี่ยวข้องกับอาชีพ ขุดขานพาหนะ (เช่น เครื่องยนต์, ช่างไฟฟ้า, ช่างซ่อมยาง) ก็สามารถปรากฏอนุภาคที่ประกอบด้วยธาตุโลหะ Ba และ Sb โดยอาจยากที่จะจำแนกอนุภาคเขม่าปืนจากรูปร่างที่ไม่

สว่าน , แบนและเป็นแผ่น ซึ่งเสี่ยงต่อผลบวกเทียม เมื่อค้นลักษณะเฉพาะในระบบ Automatic และใช้ Tape Lift ในการเก็บโดยปราศจากการตรวจสอบรูปสัณฐานของอนุภาค ซึ่งเชื่อว่าการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยก็มีความจำเป็นในการจำแนก จึงได้มีความพยายามที่จะพิสูจน์ในงานปัจจุบันนี้ การค้นคว้าจึงได้ยืนยันการศึกษาก่อนหน้านี้ว่าผู้ทำอุตสาหกรรมปลดกระสุนปืนในอิตาลี พบธาตุโลหะ Ba , Pb และ Sb ปรากฏในอนุภาคเขม่าปืน

Koons (1998) ทำการศึกษาปริมาณของธาตุ Sb , Ba และ Pb ที่เป็นองค์ประกอบในอนุภาคเขม่าปืนโดยวิธี Collection Swab วิเคราะห์ด้วยเครื่อง Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry (ICP - MS) โดยทำการเก็บตัวอย่างจากมือทั้งสองข้างของผู้ยิงปืน งานวิจัยนี้ได้อธิบายถึงข้อดีของเทคนิค ICP - MS คือ สามารถควบคุมสิ่งรบกวนที่เกิดขึ้นจากวิธีการสกัดได้ , มีสภาพไวสูง , ช่วงความเข้มข้นของการสร้าง Calibration Curve กว้าง , ใช้เวลาในการวิเคราะห์สั้น และมีความเที่ยงและความแม่นยำสูง ทำให้ถูกนำมาใช้ในงานวิจัยนี้

Kage and others (2001) ได้ศึกษาวิธีการวิเคราะห์อนุภาคเขม่าปืนจาก มือ , ผม , ใบหน้า และเสื้อผ้า โดยใช้เครื่อง Scanning Electron Microscope / Wavelength Dispersive X - Ray (SEM / WDX) ซึ่งได้ทำการเก็บตัวอย่างอนุภาค GSR บนมือ , ผม , ใบหน้า และเสื้อผ้า โดยใช้ Double - Sided Adhesive ติดลงบน Aluminum Stub (Tape - Lift Method) ในงานวิจัยนี้มีการดำเนินการ 3 ขั้นตอน ขั้นตอนแรก ทำการสำรวจวิเคราะห์ธาตุ Ba เพื่อที่จะค้นหาอนุภาค GSR ที่มาจาก Lead Styphnate ซึ่งเป็นส่วนประกอบในชนวนท้ายกระสุนปืน หรือธาตุ Sn เพื่อที่จะค้นหาอนุภาคเขม่าปืนที่มาจาก Mercury Fulminate ซึ่งเป็นส่วนประกอบในชนวนท้ายกระสุนปืน ขั้นตอนที่สอง วิเคราะห์ตำแหน่งของอนุภาค GSR โดย X - Ray Imaging ของธาตุ Ba หรือ Sn ที่กำลังขยาย 1000 - 2000 เท่า ของ SEM โดยใช้ข้อมูลของการสำรวจวิเคราะห์ในตอนแรก และขั้นตอนที่สาม เป็นการตรวจพิสูจน์ยืนยันอนุภาค GSR โดยใช้ WDX Spectrometers การวิเคราะห์ตัวอย่างของแต่ละ Primer ใน Stub 1 อัน ใช้เวลาประมาณ 3 ชั่วโมง

Sarkis and others (2004) ได้ทำการศึกษาการตรวจพิสูจน์ธาตุโลหะ Sb , Ba และ Pb ด้วยเทคนิค SF - ICP - MS ในปืนพกสั้น ซึ่งเป็นที่นิยมใช้กันมากในประเทศบราซิล โดยในงานวิจัยก่อนหน้านี้ได้กล่าวถึงการเก็บตัวอย่างเขม่าปืน โดยใช้สารละลาย EDTA ซึ่งเป็น Complexing Agent และในการศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยได้กล่าวถึงความสามารถของวิธีการที่จะตรวจพิสูจน์ธาตุโลหะ Sb , Ba และ Pb บนมือของอาสารักษารายหลังการยิงปืน โดยใช้ปืนพกสั้น ขนาด 9 มม. และขนาด .40 นิ้ว ใช้กระสุนปืน 2 ชนิดในการทดสอบ คือ 9 mm. Taurus และ Clean Range และใช้เทคนิคที่มีสภาพไวสูง คือ เทคนิค SF - ICP - MS ที่สามารถตรวจพิสูจน์ธาตุโลหะที่มาจากการยิง

ป็นที่มีความเข้มข้นต่ำ (น้อยกว่า 1 ug / L) ซึ่งนับเป็นอีกวิธีหนึ่งที่มีประสิทธิภาพสูงในงานด้านนิติวิทยาศาสตร์

Bakowska and others (2006) ได้ทำการศึกษาการวิเคราะห์อนุภาคเขม่าป็นโดยใช้เทคนิค ICP - MS ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้กล่าวถึงความสำเร็จของเทคนิคนี้ในการวิเคราะห์ธาตุที่เป็นองค์ประกอบของอนุภาคเขม่าป็น (GSR) โดยปริมาณของ Sb , Ba และ Pb สามารถวิเคราะห์ได้จากสารละลายสกัดของ GSR ที่เก็บโดยวิธี Collection Swab ซึ่งประสิทธิภาพของเทคนิคนี้สามารถดูได้จากการทดลอง

งานวิจัยดังกล่าวที่ผู้วิจัยได้ศึกษานั้นเพื่อนำมาใช้เป็นแนวทางประกอบการอภิปรายผลการทดลองในส่วนของวิธีการเก็บตัวอย่างรวมถึงการเก็บตัวอย่างจากบริเวณต่างๆ ของมือผู้ยิงป็น

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

ตารางที่ 2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้	แหล่งที่มา
1. เครื่อง Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometer (ICP - MS)	PerkinElmer
2. สำลีก้าน (Cotton Bud) ยี่ห้อ เอเวอร์กรีน(Evergreen)	ห้างสรรพสินค้า
3. ซองพลาสติกใสมีซิปล ขนาด 9 x 14 นิ้ว และ ขนาด 9 x 13 ซม.	ห้างสรรพสินค้า
4. หลอดทดลอง ขนาด 16 x 150 mm.	บริษัท อาศรม จำกัด
5. อาวุธปืนพกกึ่งอัตโนมัติ ขนาด 9 มิลลิเมตร ยี่ห้อ GLOCK MODEL 19 ความยาวลำกล้อง 3.75 นิ้ว	พ.ต.ท.ปิยะ ตันตติระ
6. กระสุนปืนอโตเมติก ขนาด 9 มม. Para Cartridges ชนิด Full Metal Jacket 124 gr. ยี่ห้อ Bullet Master	สนามยิงปืน
7. ห้องยิงปืนปิดมิดชิด ขนาด 5.75 x 20.40 เมตร	กรมรักษาดินแดน
8. ที่ครอบหู (Earmuff) ยี่ห้อ PELTOR รุ่น H9A	กลุ่มงานตรวจอาวุธปืนฯ
9. แว่นตา ยี่ห้อ KING'S	ห้างสรรพสินค้า
10. ถุงมือยาง ยี่ห้อ เซมเพอร์การ์ด ชนิด ไม่ปราศจากเชื้อ	ห้างสรรพสินค้า
11. ซองกระดาสีขาว เบอร์ 9/125 AA	ร้านขายยาทั่วไป
12. ขวดแก้วสีชาพร้อมหลอดหยด สำหรับใส่สารเคมี	ห้างสรรพสินค้า
13. กล้องถ่ายภาพดิจิทัล ยี่ห้อ Nikon Model D90	บริษัท ศึกษากันท์ จำกัด
14. ขาตั้งกล้อง (Camera Tripods)	กลุ่มงานตรวจสถานที่เกิดเหตุ พฐก.
15. กล้องจุลทรรศน์กำลังขยายสูง ยี่ห้อ Leiga	กลุ่มงานตรวจอาวุธปืนฯ

3.2 สารเคมีที่ใช้ในการวิจัย

ตารางที่ 3 สารเคมีที่ใช้ในการวิจัย

สารเคมี	แหล่งที่มา
1. Nitric Acid 70% (HNO_3) ; AR Grade	Ajax Finechem
2. Smart Tune Solution (1% HNO_3)	PerkinElmer Life and Analytical
3. Standard Antimony, Barium, Lead (2% HNO_3)	Sciences

3.3 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน

3.3.1 การเตรียมสารละลาย แอนติโมนี แบเรียม ตะกั่ว

1. การเตรียมสารละลายมาตรฐาน แอนติโมนี แบเรียม ตะกั่ว เข้มข้น 10, 20, 40 mg/L

ปิเปตสารละลายมาตรฐานความเข้มข้น 1000 mg/L มา 1, 2, 4 mL ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 mL แล้วปรับปริมาตรด้วย 5 % HNO_3 จนมีปริมาตรครบ 100 mL

2. การเตรียมสารละลายมาตรฐาน แอนติโมนี แบเรียม ตะกั่ว เข้มข้น 1000, 2000, 4000 ug/L

ปิเปตสารละลายมาตรฐาน แอนติโมนี แบเรียม ตะกั่ว เข้มข้น 10, 20, 40 mg/L มา 5 mL ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 50 mL แล้วปรับปริมาตรด้วย 5 % HNO_3 จนมีปริมาตรครบ 50 mL

3. การเตรียมสารละลายมาตรฐาน แอนติโมนี แบเรียม ตะกั่ว ที่ใช้ในการวิจัย แสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน แอนติโมนี แบเรียม ตะกั่ว

ความเข้มข้นของสารละลาย มาตรฐานแอนติโมนี แบเรียม ตะกั่ว ที่ใช้ในการวิจัย	ปริมาณของ สารละลายมาตรฐาน ข้อ 3.1.2 (mL)	
1. สารละลายมาตรฐานแอนติโมนี แบเรียม ตะกั่ว เข้มข้น 10 – 20 – 40 ug/L	1	ใส่ขวดวัดปริมาตร ขนาด 100 mL แล้วปรับปริมาตรด้วย 5% HNO ₃ จนมีปริมาตรครบ 100 mL
2. สารละลายมาตรฐานแอนติโมนี แบเรียม ตะกั่ว เข้มข้น 20 – 40 – 80 ug/L	2	
3. สารละลายมาตรฐานแอนติโมนี แบเรียม ตะกั่ว เข้มข้น 40 – 80 – 160 ug/L	4	
4. สารละลายมาตรฐานแอนติโมนี แบเรียม ตะกั่ว เข้มข้น 80 – 160 – 320 ug/L	8	
5. สารละลายมาตรฐานแอนติโมนี แบเรียม ตะกั่ว เข้มข้น 160 – 320 – 640 ug/L	16	

3.4 วิธีการวิเคราะห์หาเขม่าปืน (GSR) บนมือผู้ยิงปืนด้วยเทคนิค ICP - MS

ให้ผู้ทำการทดลองยิงอาวุธปืนพกกึ่งอัตโนมัติ ขนาด 9 มิลลิเมตร ยี่ห้อ GLOCK MODEL 19 ความยาวลำกล้อง 3.75 นิ้ว (ดังภาพที่ 28) ยิงปืนครั้งละ จำนวน 3 นัด และจำนวน 9 นัด โดยใช้กระสุนปืนออตโตเมติก ขนาด 9 มิลลิเมตร Para Cartridges ชนิด Full Metal Jacket ยี่ห้อ Bullet Master (ดังภาพที่ 29 และ 30) ผู้ยิงปืนยืนอยู่ห่างจากเป้าหมายประมาณ 11 เมตร ลักษณะท่าทางการจับอาวุธปืนด้วยมือทั้งสองข้าง (ดังภาพที่ 34) ยิงปืนครั้งละ 3 นัด และ 9 นัด ในแต่ละครั้งจะทำซ้ำ จำนวน 5 ครั้ง โดยในขั้นตอนการยิงปืนทุกครั้งจะต้องทำภายในห้องยิงปืนที่ปิดมิดชิด และไม่มีลมพัดผ่านของ กลุ่มงานตรวจอาวุธปืนและเครื่องกระสุน กองพิสูจน์หลักฐานกลาง (ดังภาพที่ 31)



ภาพที่ 28 อาวุธปืนพกกึ่งอัตโนมัติ ยี่ห้อ GLOCK MODEL 19 ขนาด 9 มิลลิเมตร



ภาพที่ 29 กล่องบรรจุภัณฑ์ของกระสุนปืนที่ผลิตในครั้งเดียวกัน ซึ่งใช้ในการทำการวิจัยครั้งนี้



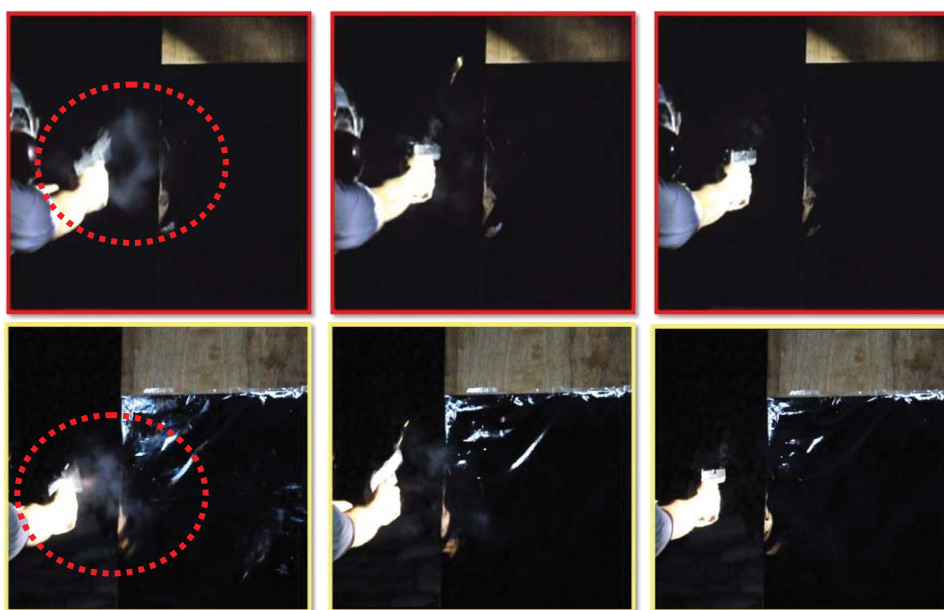
ภาพที่ 30 กล่องบรรจุกระสุนปืน กล่องละ 50 นัด



ภาพที่ 31 ห้องทดสอบยิงปืน และห้องเก็บตัวอย่าง (เฉพาะกรณีเก็บเข้ามาหลังยิงทันที)



ภาพที่ 32 สภาพผู้ทดลองยิงปืนภายในห้องยิงปืนที่ปิดมิดชิด และการเกิดเขม่าในขณะยิงปืน



ภาพที่ 33 สภาพการเกิดเขม่าปืน (Gunshot Residues, GSR) ในขณะยิงปืน

3.4.1 การทดลองหาปริมาณ แอนติโมนี แบเรียม และตะกั่ว ของกระสุนปืนที่ใช้ทดลอง

ทำการสุ่มกระสุนปืน 1 นัด จาก 200 นัด ซึ่งในการทำวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้สุ่มเลือกกระสุนปืน จำนวน 9 นัด จากทั้งหมด 1,800 นัด แล้วแยกส่วน ลูกกระสุนปืน, ดินปืน และปลอกกระสุนปืน ออกจากกัน ใช้เลื่อยตัดส่วนท้ายของปลอกกระสุนปืนให้มีแก๊ปติดอยู่ ใช้กรดเข้มข้นละลายปลอกกระสุนปืนที่มีแก๊ปติดอยู่ นำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค ICP เพื่อหาปริมาณกับอัตราส่วนผสมของ แอนติโมนี แบเรียม และตะกั่ว ในแก๊ปของกระสุนปืนแต่ละนัด

3.4.2 การทดลองหาจำนวนนัดของการยิงปืนที่ใช้ทดลอง

ทำการยิงปืนพกกึ่งอัตโนมัติ ยี่ห้อ GLOCK MODEL 19 ขนาด 9 มิลลิเมตร ครั้งละ 1 นัด, 2 นัด และ 3 นัด แล้วเก็บเขม่าหลังยิงปืนทันที โดยทำซ้ำ จำนวน 5 ครั้ง หาค่าเฉลี่ยของปริมาณแอนติโมนี แบเรียม และตะกั่ว นำไปเปรียบเทียบกับระหว่างจำนวนกระสุนปืนที่ใช้ในการยิงปืน เพื่อหาจำนวนนัดของกระสุนปืนที่เหมาะสมที่จะใช้ในงานวิจัยนี้ต่อไป

3.4.3 การทดลองหาผลของการล้างทำความสะอาดอาวุธปืนก่อนนำมาใช้ยิงทดสอบ

จากการทดลองในข้อ 3.4.2 แบ่งการเตรียมอาวุธปืนออกเป็น 2 กลุ่ม โดยกลุ่มที่ 1 ต้องล้างทำความสะอาดอาวุธปืนทุกครั้งก่อนการยิงทดสอบ และกลุ่มที่ 2 ไม่ต้องล้างทำความสะอาดอาวุธปืนก่อนการยิงทดสอบ เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมที่จะใช้ในงานวิจัยนี้ต่อไป

3.4.4 การทดลองหาบริเวณที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง

ทำการเก็บตัวอย่างภายหลังการยิงปืนแล้วทันที จำนวน 8 บริเวณ บนมือทั้งสองข้างของผู้ยิงปืน ได้แก่ ง่ามนิ้วจากนิ้วหัวแม่มือถึงนิ้วชี้ของมือขวา, ง่ามนิ้วจากนิ้วหัวแม่มือถึงนิ้วชี้ฝ่ามือขวา, ง่ามนิ้วจากนิ้วหัวแม่มือถึงนิ้วชี้ของมือซ้าย, ง่ามนิ้วจากนิ้วหัวแม่มือถึงนิ้วชี้ฝ่ามือซ้าย, หลังมือขวา, ฝ่ามือขวา, หลังมือซ้าย และ ฝ่ามือซ้าย เพื่อหาบริเวณที่เหมาะสมในการเก็บตัวอย่างในงานวิจัยนี้

3.4.5 ขั้นตอนการเก็บตัวอย่าง

1. ผู้ยิงปืนสวมอุปกรณ์ป้องกันตาและหู ทำการยิงปืนในลักษณะท่าทางการจับอาวุธปืนด้วยมือทั้งสองข้าง ใช้มือขวากำอาวุธปืนก่อนแล้วใช้มือซ้ายกำทับมือขวาเพื่อรองรับอาวุธปืนอยู่ด้านล่างมือขวา ยิงปืนภายในห้องทดลองที่ปิดมิดชิดและไม่มีลมพัดผ่านโดยใช้อาวุธปืนพกกึ่งอัตโนมัติ ขนาด 9 มิลลิเมตร ยี่ห้อ GLOCK MODEL 19 ความยาวลำกล้อง 3.75 นิ้ว ใช้กระสุนปืนออตโตเมติก ขนาด 9 มิลลิเมตร ยี่ห้อ Bullet Master (ดังภาพที่ 30) ยิงปืนครั้งละ 3 นัด และ 9 นัด ในแต่ละครั้งจะมีการทำซ้ำ จำนวน 5 ครั้ง ที่ระยะห่างจากเป้าหมายประมาณ 11 เมตร



ภาพที่ 34 ลักษณะท่าทางที่ผู้ยิงปืนทำการยิงด้วยอาวุธปืนพกกึ่งอัตโนมัติ ขนาด 9 มิลลิเมตร ยี่ห้อ GLOCK MODEL 19

2. หลังจากการยิงปืนแล้ว จึงทำการเก็บเขม่าปืนบนมือของผู้ยิงปืน ที่บริเวณ ง่ามนิ้ว จากนิ้วหัวแม่มือถึงนิ้วชี้ของหลังมือขวา และ หลังมือขวา โดยระยะเวลาในการเก็บตัวอย่าง มีดังนี้

- 2.1 เก็บทันที ภายหลังจากการยิงปืน
- 2.2 เก็บภายหลังจากยิงปืนไปแล้ว 1 ชั่วโมง
- 2.3 เก็บภายหลังจากยิงปืนไปแล้ว 2 ชั่วโมง
- 2.4 เก็บภายหลังจากยิงปืนไปแล้ว 3 ชั่วโมง
- 2.5 เก็บภายหลังจากยิงปืนไปแล้ว 4 ชั่วโมง
- 2.6 เก็บภายหลังจากยิงปืนไปแล้ว 5 ชั่วโมง
- 2.7 เก็บภายหลังจากยิงปืนไปแล้ว 6 ชั่วโมง
- 2.8 เก็บภายหลังจากยิงปืนไปแล้ว 7 ชั่วโมง
- 2.9 เก็บภายหลังจากยิงปืนไปแล้ว 8 ชั่วโมง

3. ทำการเก็บตัวอย่างโดยหยดกรดไนตริก 5% ลงบนสำลีพันปลายแท่งพลาสติก (Cotton Bud) ที่ตัดปลายข้างหนึ่งทิ้ง ประมาณ 2-3 หยด ที่ละก้านซึ่งบรรจุในซองพลาสติกใสมีซิปล และระบุหน้าซองว่าเป็น กรดตัวอย่าง, เก็บก่อนยิง, ง่ามนิ้วของหลังมือขวา ซึ่งใช้แทนข้อความ ง่าม นิ้วจากนิ้วหัวแม่มือถึงนิ้วชี้ของหลังมือขวา และ หลังมือขวา (ดังภาพที่ 33) แล้วบรรจุใส่ซองโดยการหีบต้องพยายามไม่สัมผัสส่วนที่เป็นสำลี



ภาพที่ 35 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บเขม่าปืน

4. ในการเก็บแต่ละบริเวณ กระทำโดยเช็ดจากด้านบนลงด้านล่าง จากด้านขวาไปด้านซ้าย (ห้ามเช็ดกลับไปมา) พร้อมหมั่นก้านสำลีเพื่อให้เขม่าเป็นติดโดยรอบ ประมาณ 8 ครั้ง สำหรับบริเวณง่ามนิ้วจากนิ้วหัวแม่มือถึงนิ้วชี้ของหลังมือขวา และ ประมาณ 10 ครั้ง สำหรับบริเวณหลังมือขวา แล้วบรรจุลงในถุงพลาสติกใสมีซิปปเพื่อนำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค ICP - MS ต่อไป



ภาพที่ 36 วิธีการเก็บเขม่าป็นในแต่ละบริเวณ

3.4.6 ขั้นตอนการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง ICP - MS

1. การเตรียมตัวอย่าง

นำซองพลาสติกใสมีซิปปที่บรรจุก้านสำลีที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างเขม่าป็น มาทำการตัดเพื่อทำการแช่ก้านสำลีตัวอย่างลงในหลอดทดลอง ขนาด 16 x 150 mm. เติมกรดไนตริก 5% จำนวน 10 ml ลงในหลอดทดลอง ปิดปากหลอดทดลองด้วยแผ่นพาราฟิล์ม แช่ทิ้งไว้นาน 24 ชั่วโมง

2. การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค ICP - MS

นำตัวอย่างที่ผ่านการเตรียมเรียบร้อยแล้วมาวิเคราะห์หา แอนติโมนี แบเรียม และ ตะกั่ว ด้วยเครื่อง ICP - MS โดยใช้สภาวะของเครื่องดังนี้

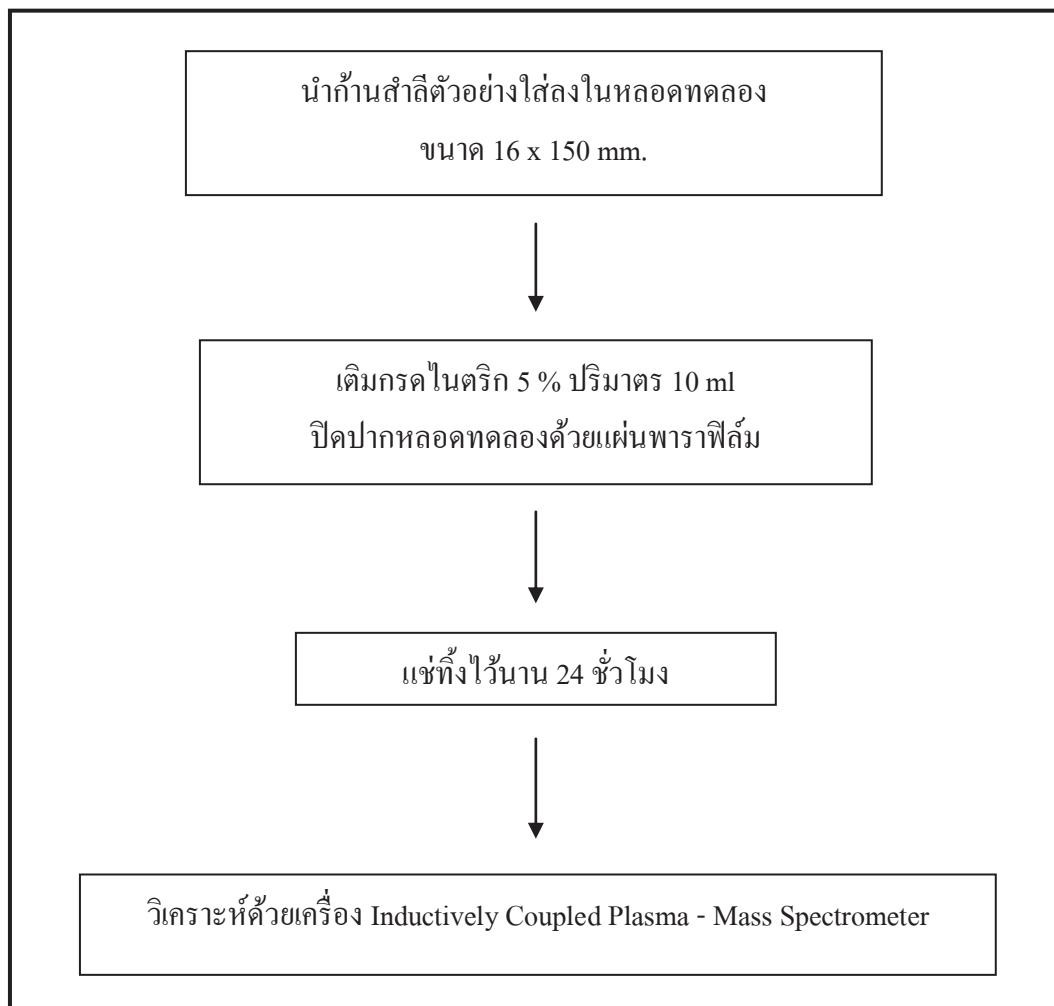


ภาพที่ 37 เครื่อง Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometer (ICP - MS) ของ
กลุ่มงานตรวจอาวูรปุ่นและเครื่องกระสุน กองพิสูจน์หลักฐานกลาง

ตารางที่ 5 สภาวะของเครื่อง Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometer

PerkinElmer SCIEX - ELAN DRC-e	
Operating Conditions	
RF power	1100 W
Nebulizer	Cross - flow
Sampling depth	11 mm.
Sample Uptake Rate	0.8 mL/min
Plasma Gas Flow	15 L/min
Auxiliary Gas Flow	1.2 L/min
Acquisition Parameters	
Sweeps / Reading	50
Readings / Replicate	1
Number of Replicates	3
Detector mode	Dual
Auto lens	On
Monitored ions	m/z 120 , 137 , 207

3.5 แผนผังแสดงการวิเคราะห์



ภาพที่ 38 แสดงแผนผังขั้นตอนการวิเคราะห์

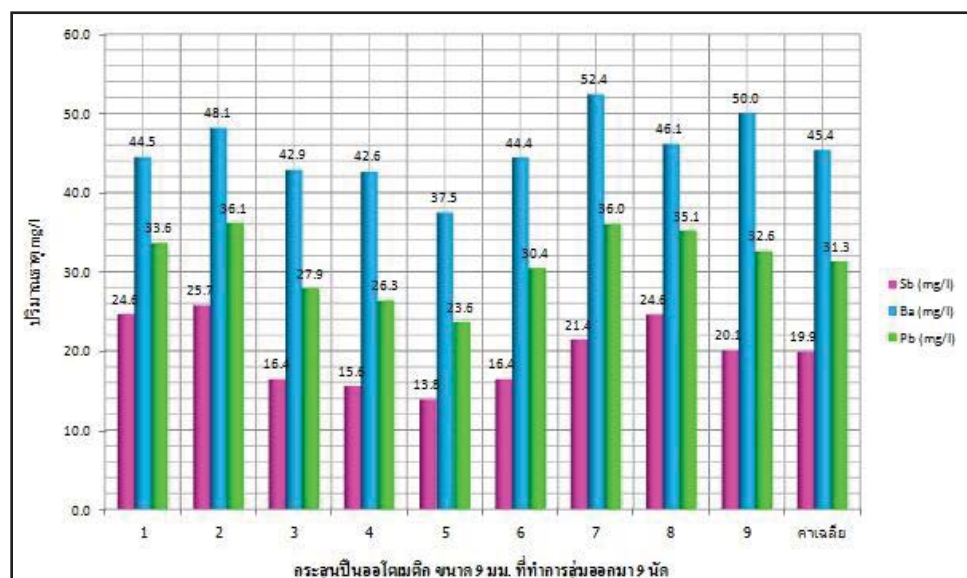
บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของเขม่าป็นบนมือผู้ยิงปืนและระยะเวลาภายหลังการยิงปืน โดยใช้อาวุธปืนพกกึ่งอัตโนมัติ ขนาด 9 มิลลิเมตร โดยได้ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณของธาตุ แอนติโมนี(Sb), แบเรียม(Ba) และ ตะกั่ว(Pb) ที่เป็นองค์ประกอบในเขม่าป็นบนมือผู้ยิงปืนในระยะเวลาต่างๆ กัน คือ เก็บพื้นที่ภายหลังจากการยิงปืน, เก็บภายหลังการยิงปืนไปแล้ว 1 ชั่วโมง, 2 ชั่วโมง, 3 ชั่วโมง, 4 ชั่วโมง, 5 ชั่วโมง, 6 ชั่วโมง, 7 ชั่วโมง และ 8 ชั่วโมง ทำการเก็บตัวอย่างเขม่าป็นจากบริเวณ ง่ามนิ้วระหว่างนิ้วหัวแม่มือกับนิ้วชี้หลังมือขวา และ หลังมือขวา และเปรียบเทียบระหว่างการยิงปืนครั้งละ 3 นัด กับครั้งละ 9 นัด โดยเทคนิค ICP - MS ได้ผลการวิเคราะห์ ดังนี้

4.1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณ แอนติโมนี แบเรียม และตะกั่ว ของกระสุนปืนที่ใช้ในการทดลอง

จากผลการทดลอง พบ ปริมาณของธาตุ แอนติโมนี(Sb) แบเรียม(Ba)และตะกั่ว(Pb) ในกระสุนปืนแต่ละนัด จากกระสุนปืนที่ทำการสุ่มมาจำนวน 9 นัด เรียงลำดับจากปริมาณธาตุจากน้อยไปมาก คือ แอนติโมนี(Sb) > ตะกั่ว(Pb) > แบเรียม(Ba) โดยมีอัตราส่วนของปริมาณของธาตุแต่ละธาตุ โดยคำนวณจากค่าเฉลี่ยได้ แอนติโมนี(Sb) : แบเรียม(Ba) : ตะกั่ว(Pb) ดังนี้ 1 : 2.3 : 1.6



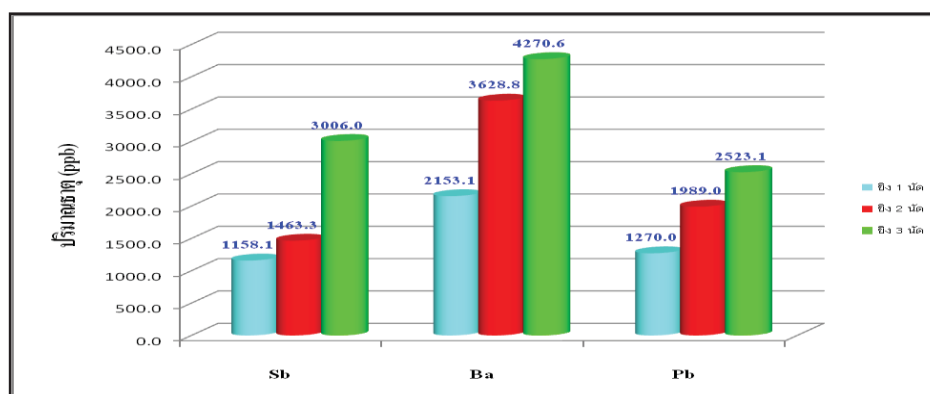
ภาพที่ 39 แผนภูมิแสดงปริมาณแอนติโมนี(Sb) แบเรียม(Ba) และตะกั่ว(Pb) ในเก็บกระสุนปืน

ตารางที่ 6 ผลวิเคราะห์ปริมาณแอนติโมนี แบเรียม และตะกั่ว ในแก้วของกระสุนปืนอโตเมติก ขนาด 9 มม. ที่ใช้ในการวิจัย โดยการสุ่ม 1 : 200 นัด

กระสุนปืนอโตเมติก ขนาด 9 มม.	แอนติโมนี(Sb) (mg/l)	แบเรียม(Ba) (mg/l)	ตะกั่ว(Pb) (mg/l)
1	24.6	44.5	33.6
2	25.7	48.1	36.1
3	16.4	42.9	27.9
4	15.6	42.6	26.3
5	13.8	37.5	23.6
6	16.4	44.4	30.4
7	21.4	52.4	36.0
8	24.6	46.1	35.1
9	20.1	50.0	32.6
ค่าเฉลี่ย	19.9	45.4	31.3

4.2 ผลการวิเคราะห์หาจำนวนนัดของการยิง

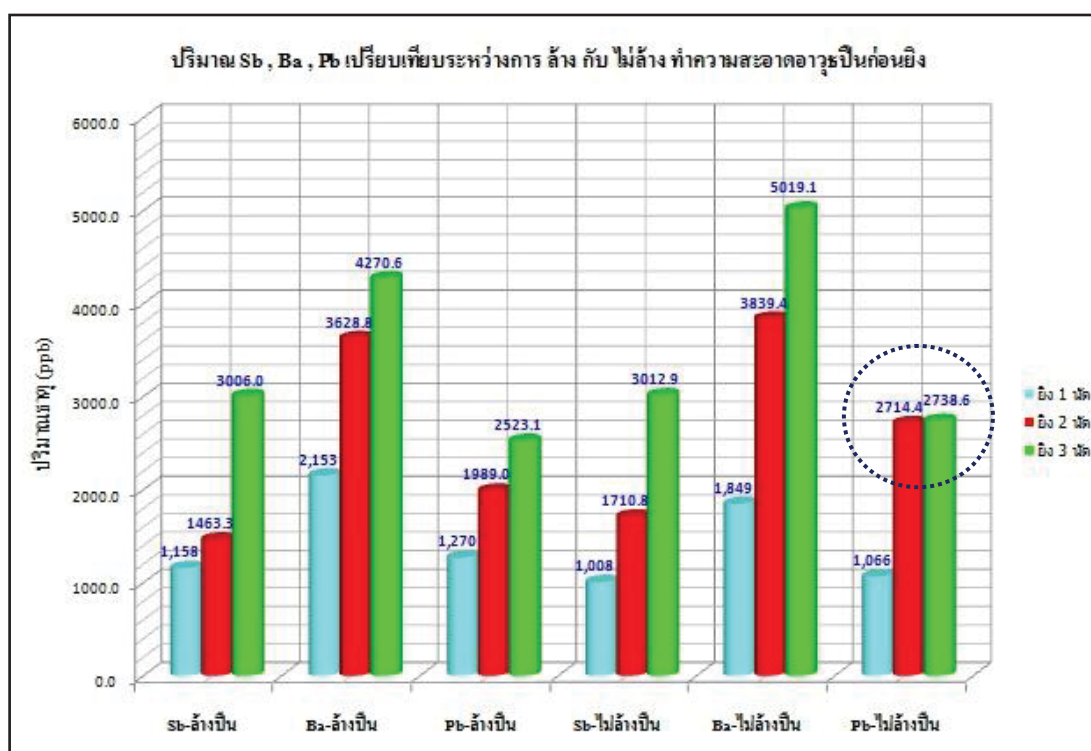
จากผลการทดลอง พบ ปริมาณของธาตุ แอนติโมนี(Sb), แบเรียม(Ba) และตะกั่ว(Pb) ในการยิงปืน 1 นัด มีค่าน้อย ทำให้เห็นการเปลี่ยนแปลงได้ไม่ชัดเจนเมื่อระยะเวลาผ่านไป ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงเลือกที่จะทำการทดลองยิงปืนเก็บเขม่าปืน อย่างน้อยตัวอย่างละ 3 นัด เพื่อให้เห็นการเปลี่ยนแปลงของเขม่าปืนบนมือผู้ยิงปืน กับระยะเวลา อย่างชัดเจน แสดงดังภาพที่ 40



ภาพที่ 40 แสดงปริมาณธาตุทั้ง 3 ธาตุ จากการยิงปืนครั้ง 1 นัด, 2 นัด และ 3 นัด

4.3 ผลการวิเคราะห์หาผลของการล้างทำความสะอาดอาวุธปืนก่อนนำมาใช้ยิงทดสอบ

จากผลการทดลอง พบ ปริมาณของธาตุ แอนติโมนี(Sb), แบเรียม(Ba) และตะกั่ว(Pb) ในการยิงปืนโดยไม่ล้างทำความสะอาดอาวุธปืนก่อน มีปริมาณตะกั่ว(Pb) ในการยิงปืนตัวอย่างละ 2 นัด กับ 3 นัด ไม่มีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้เลือกวิธีการล้างทำความสะอาดอาวุธปืนทุกครั้งก่อนจะนำมาทำการยิงทดสอบในแต่ละครั้ง แสดงดังภาพที่ 41



ภาพที่ 41 แสดงปริมาณธาตุทั้ง 3 ธาตุ ระหว่าง การล้าง กับ ไม่ล้าง ทำความสะอาดอาวุธปืน

4.4 ผลการวิเคราะห์หาบริเวณที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างบนมือผู้ยิงปืน

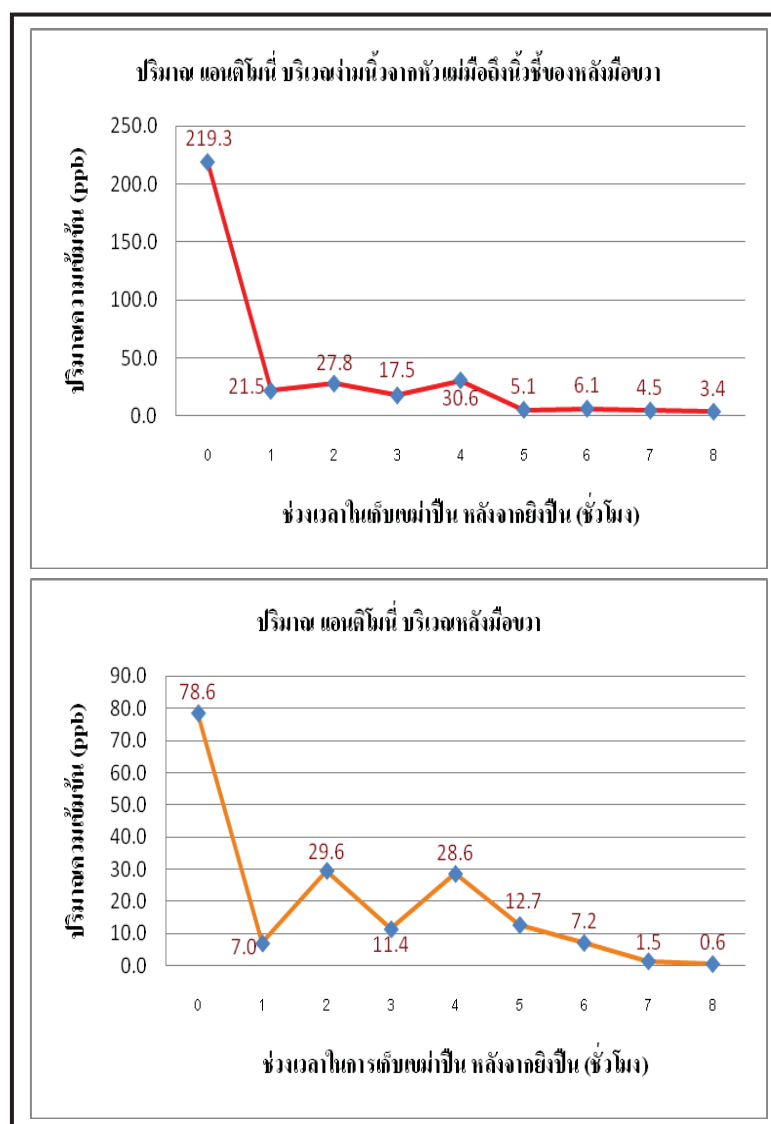
จากผลการทดลอง พบ ปริมาณของธาตุ แอนติโมนี(Sb), แบเรียม(Ba) และ ตะกั่ว(Pb) ในแต่ละบริเวณที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง จำนวน 8 บริเวณ มีปริมาณแตกต่างกัน ซึ่งพบว่าบริเวณที่พบปริมาณของธาตุ แอนติโมนี(Sb), แบเรียม(Ba) และ ตะกั่ว(Pb) มากที่สุดคือ บริเวณง่ามนิ้วจากนิ้วหัวแม่มือถึงนิ้วชี้ของหลังมือขวา รองลงมาคือ บริเวณหลังมือขวา ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงเลือกที่จะทำการเก็บตัวอย่างเขม่าปืนบนมือผู้ยิงปืน จำนวน 2 บริเวณ ได้แก่ บริเวณง่ามนิ้วจากนิ้วหัวแม่มือถึงนิ้วชี้ของหลังมือขวา และ บริเวณหลังมือขวา แสดงดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ผลการวิเคราะห์ปริมาณแอนติโมนี แบริยม และตะกั่ว ในการเก็บตัวอย่าง บนมือ
ผู้ยิงปืน จำนวน 8 บริเวณ ที่ใช้ในการวิจัย

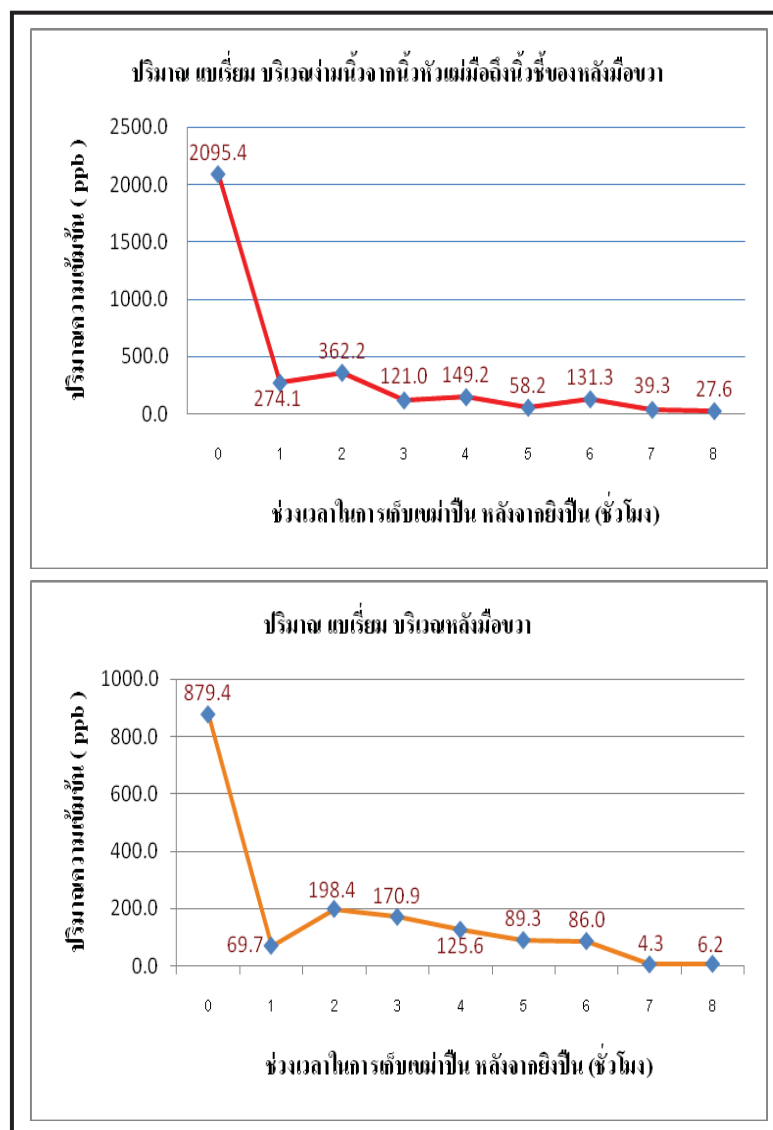
ธาตุ	บริเวณที่เก็บตัวอย่าง		ตัวอย่าง 1	ตัวอย่าง 2	ตัวอย่าง 3	ตัวอย่าง 4	ตัวอย่าง 5	ตัวอย่าง 6
แอนติโมนี (Sb) (ppb)	Blank		-0.76	-0.69	2.93	0.46	0.79	0.55
	FRB	ง่ามนิ้วหลังมือขวา	overd	overd	136.97	overd	overd	overd
	FRP	ง่ามนิ้วฝ่ามือขวา	655.78	573.98	55.22	495.6	700.24	284.82
	FLB	ง่ามนิ้วหลังมือซ้าย	10.49	18.5	19.47	590.49	593.67	515.9
	FLP	ง่ามนิ้วฝ่ามือซ้าย	29.26	299.41	16.03	205.33	375.76	187.04
	RB	หลังมือขวา	153.82	424.32	42.83	543.82	554.82	overd
	RP	ฝ่ามือขวา	82.61	282.59	38.7	27.97	169.94	12.83
	LB	หลังมือซ้าย	1.66	5.21	13.47	4.22	12.63	18.06
	LP	ฝ่ามือซ้าย	68	270.52	45.03	28.82	31.91	12.31
แบริยม (Ba) (ppb)	Blank		70.7	246.8	159.2	7	7	5.1
	FRB	ง่ามนิ้วหลังมือขวา	overd	overd	overd	overd	overd	176.7
	FRP	ง่ามนิ้วฝ่ามือขวา	overd	overd	overd	48.1	83.8	24.4
	FLB	ง่ามนิ้วหลังมือซ้าย	106.6	249	overd	46.6	98	40.2
	FLP	ง่ามนิ้วฝ่ามือซ้าย	35.9	overd	259.6	18.9	41.4	15.9
	RB	หลังมือขวา	138.7	overd	overd	69.7	78.4	overd
	RP	ฝ่ามือขวา	13.6	overd	overd	8.6	40.3	219.3
	LB	หลังมือซ้าย	8.3	194.9	overd	5.5	5.8	216.1
	LP	ฝ่ามือซ้าย	overd	overd	overd	10.2	8.1	136.9
ตะกั่ว (Pb) (ppb)	Blank		1.6	0.9	0	4.4	1.4	10.8
	FRB	ง่ามนิ้วหลังมือขวา	164.8	1372.3	2171.5	464.5	437.8	142.8
	FRP	ง่ามนิ้วฝ่ามือขวา	189.6	614.6	441.2	505.8	68	31.1
	FLB	ง่ามนิ้วหลังมือซ้าย	71.7	60.7	103.9	591.9	63.4	43.4
	FLP	ง่ามนิ้วฝ่ามือซ้าย	74.3	509.6	1432.3	95.3	39.3	25.4
	RB	หลังมือขวา	109.7	187.5	756.9	598.1	54.2	108.8
	RP	ฝ่ามือขวา	57.7	123.8	over	10.6	77.1	20.3
	LB	หลังมือซ้าย	28.8	2.8	90.9	1.7	4.4	4.6
	LP	ฝ่ามือซ้าย	965	78.3	864.1	19.4	26.6	10.5

4.5 ผลการวิเคราะห์ปริมาณเขม่าป็นบนมือผู้ยิงปืนและระยะเวลาภายหลังการยิงปืน

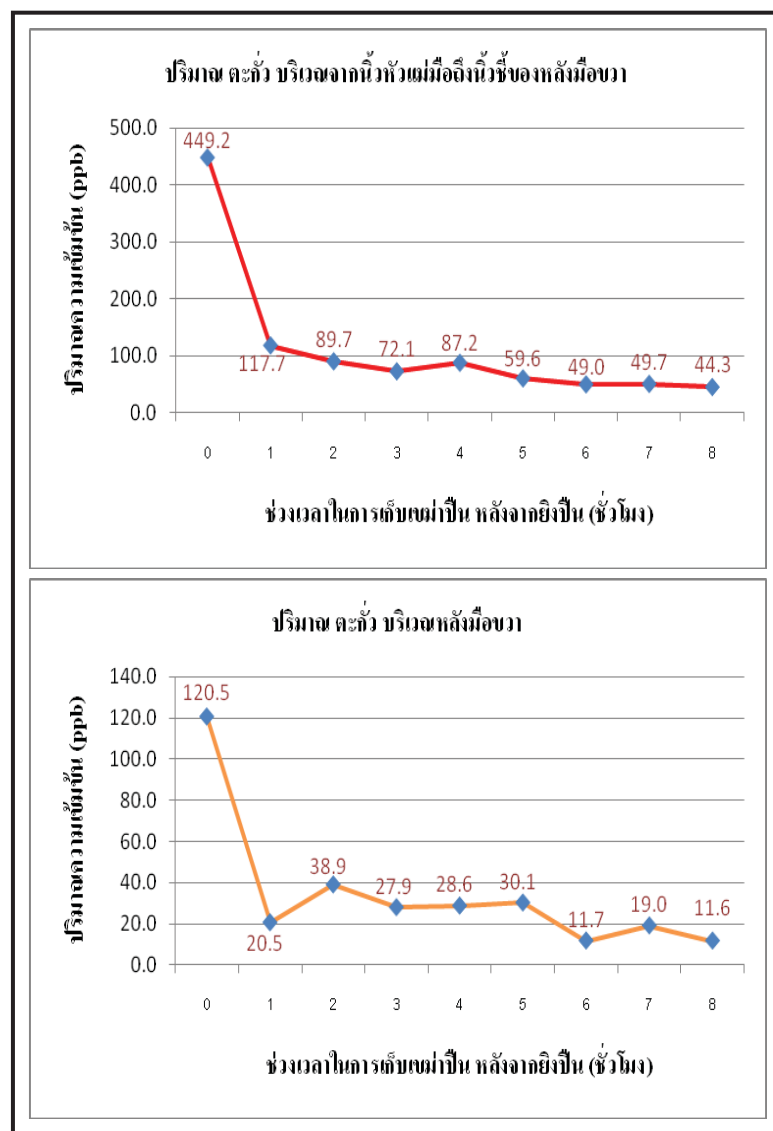
1. จากผลการทดลอง พบปริมาณของธาตุ แอนติโมนี(Sb), แบเรียม(Ba) และตะกั่ว (Pb) จากการเก็บตัวอย่างที่บริเวณ งามน้ำจากน้ำหัวแม่มือถึงนิ้วชี้ของหลังมือขวา และ หลังมือขวา ของผู้ทดลองยิงปืนในการยิงปืนครั้งละ 3 นัด แล้วทำการเก็บเขม่าป็นบนมือผู้ยิงปืน โดยระยะเวลา ในเก็บตัวอย่าง มีดังนี้ เก็บทันทีภายหลังจากการยิงปืน, เก็บภายหลังจากการยิงปืนไปแล้ว 1 ชั่วโมง, 2 ชั่วโมง, 3 ชั่วโมง, 4 ชั่วโมง, 5 ชั่วโมง, 6 ชั่วโมง, 7 ชั่วโมง และ 8 ชั่วโมง แสดงดังภาพที่ 42 - 44



ภาพที่ 42 ปริมาณของธาตุ แอนติโมนี(Sb) ที่บริเวณ งามน้ำจากน้ำหัวแม่มือถึงนิ้วชี้ของหลังมือขวา และ หลังมือขวา ในการยิงปืนครั้งละ 3 นัด

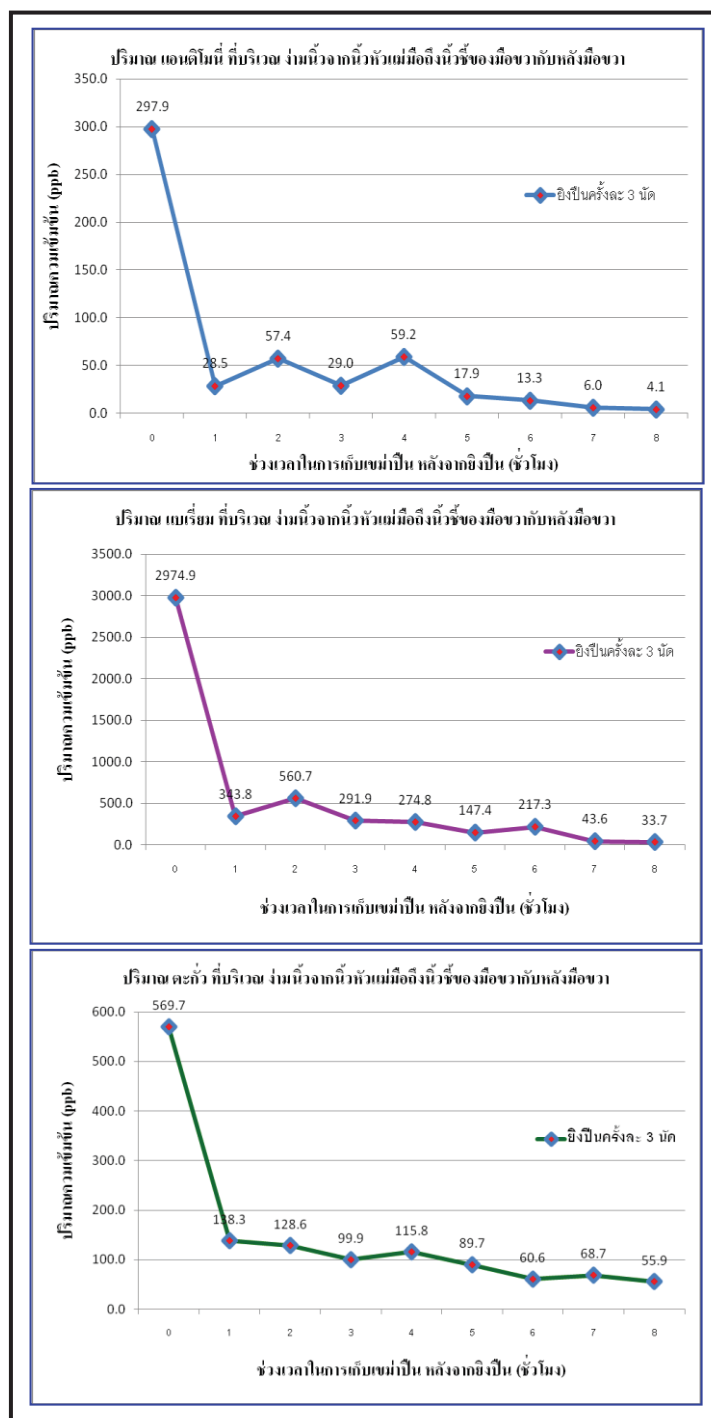


ภาพที่ 43 ปริมาณของธาตุ แบริยม(Ba) ที่บริเวณ ง่ามนิ้วจากนิ้วหัวแม่มือถึงนิ้วชี้ของหลังมือขวา และ หลังมือขวา ในการยิงปืนครั้งละ 3 นัด



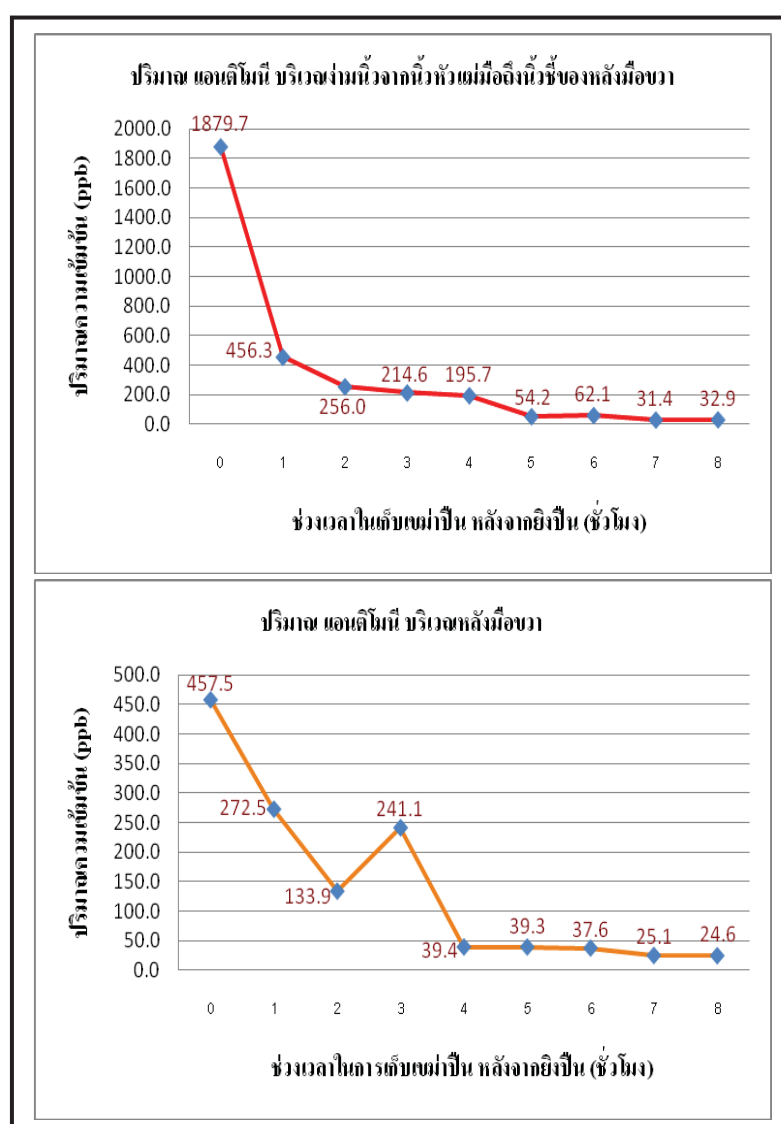
ภาพที่ 44 ปริมาณของธาตุ ตะกั่ว(Pb) ที่บริเวณ ง่ามนิ้วจากนิ้วหัวแม่มือถึงนิ้วชี้ของหลังมือขวา และ หลังมือขวา ในการยังป้อนครั้งละ 3 น้ด

และจากผลการทดลอง ในภาพที่ 42 - 44 พบผลรวมของปริมาณของธาตุ แอนติโมนี (Sb), แบเรียม(Ba) และตะกั่ว(Pb) จากการเก็บตัวอย่างที่บริเวณ ย่านนี้จากนิ้วหัวแม่มือถึงนิ้วชี้ของ หลังมือขวา กับ หลังมือขวา ของผู้ทดลองยังป็นในการยิงปืนครั้งละ 3 นัด แสดงดังภาพที่ 45

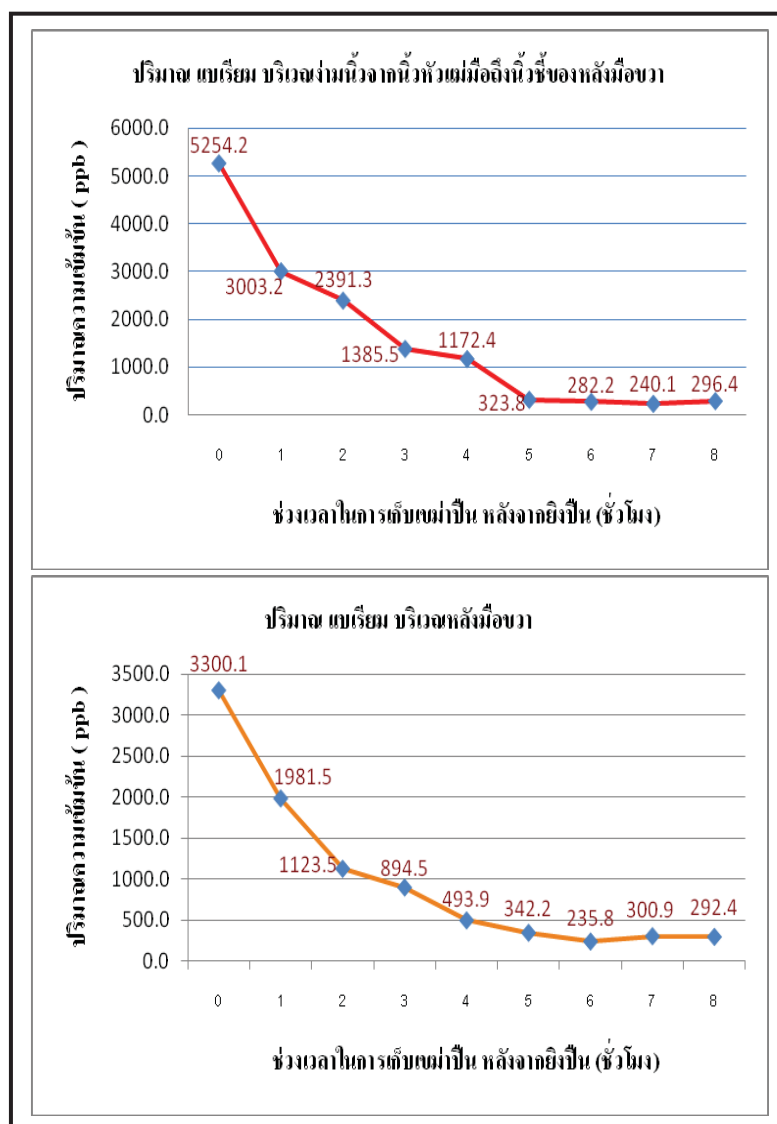


ภาพที่ 45 ปริมาณผลรวมของธาตุ แอนติโมนี(Sb), แบเรียม(Ba) และ ตะกั่ว(Pb) บริเวณหลังมือขวา ของผู้ยิงปืน ในการยิงปืนครั้งละ 3 นัด

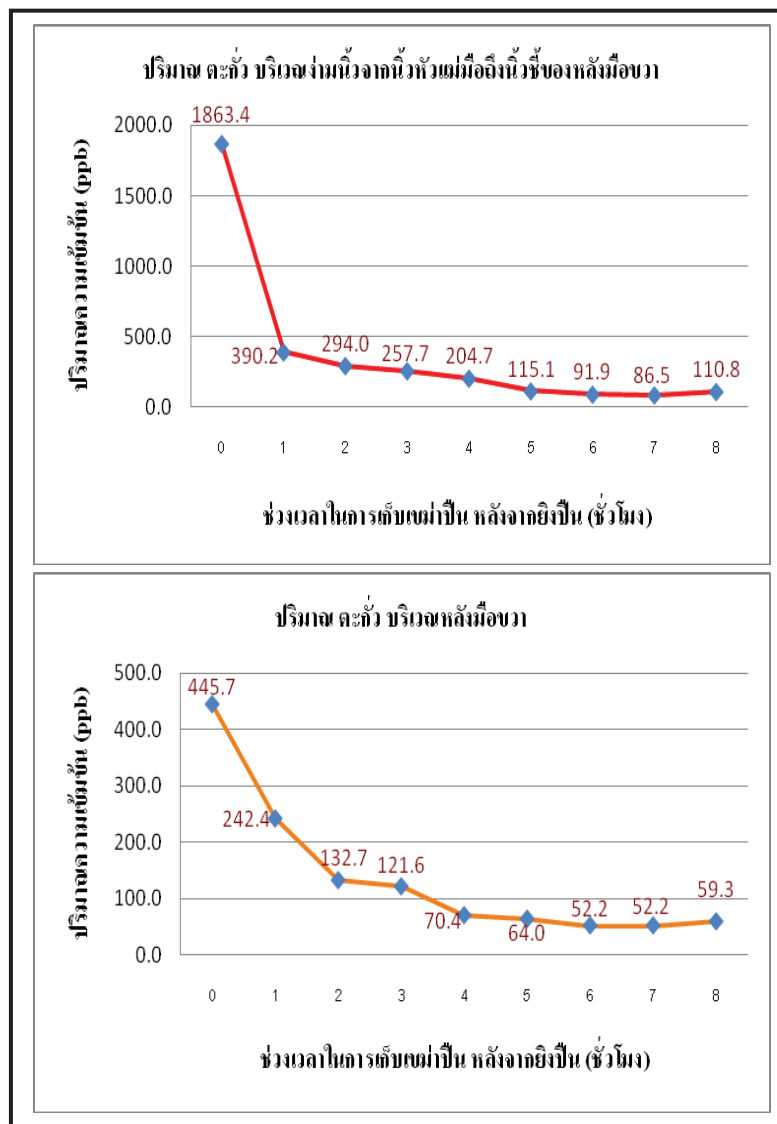
2. จากผลการทดลอง พบ ปริมาณของธาตุแอนติโมนี(Sb), แบเรียม(Ba) และตะกั่ว(Pb) จากการเก็บตัวอย่างที่บริเวณ กำแพงน้ำจากน้ำหัวแม่มือถึงน้ำชี้ของหลังมือขวา และ หลังมือขวา ของ ผู้ทดลองยิงปืนในการยิงปืนครั้งละ 9 นัด แล้วทำการเก็บเขม่าปืนบนมือผู้ยิงปืน โดยระยะเวลาในการเก็บตัวอย่าง มีดังนี้ เก็บทันทีภายหลังจากการยิงปืน, เก็บภายหลังจากยิงปืนไปแล้ว 1 ชั่วโมง, 2 ชั่วโมง, 3 ชั่วโมง, 4 ชั่วโมง, 5 ชั่วโมง, 6 ชั่วโมง, 7 ชั่วโมง และ 8 ชั่วโมง แสดงผลการทดลอง ดัง ภาพที่ 46 - 48



ภาพที่ 46 ปริมาณของธาตุ แอนติโมนี(Sb) ที่บริเวณ กำแพงน้ำจากน้ำหัวแม่มือถึงน้ำชี้ของหลังมือขวา และ หลังมือขวา ในการยิงปืนครั้งละ 9 นัด

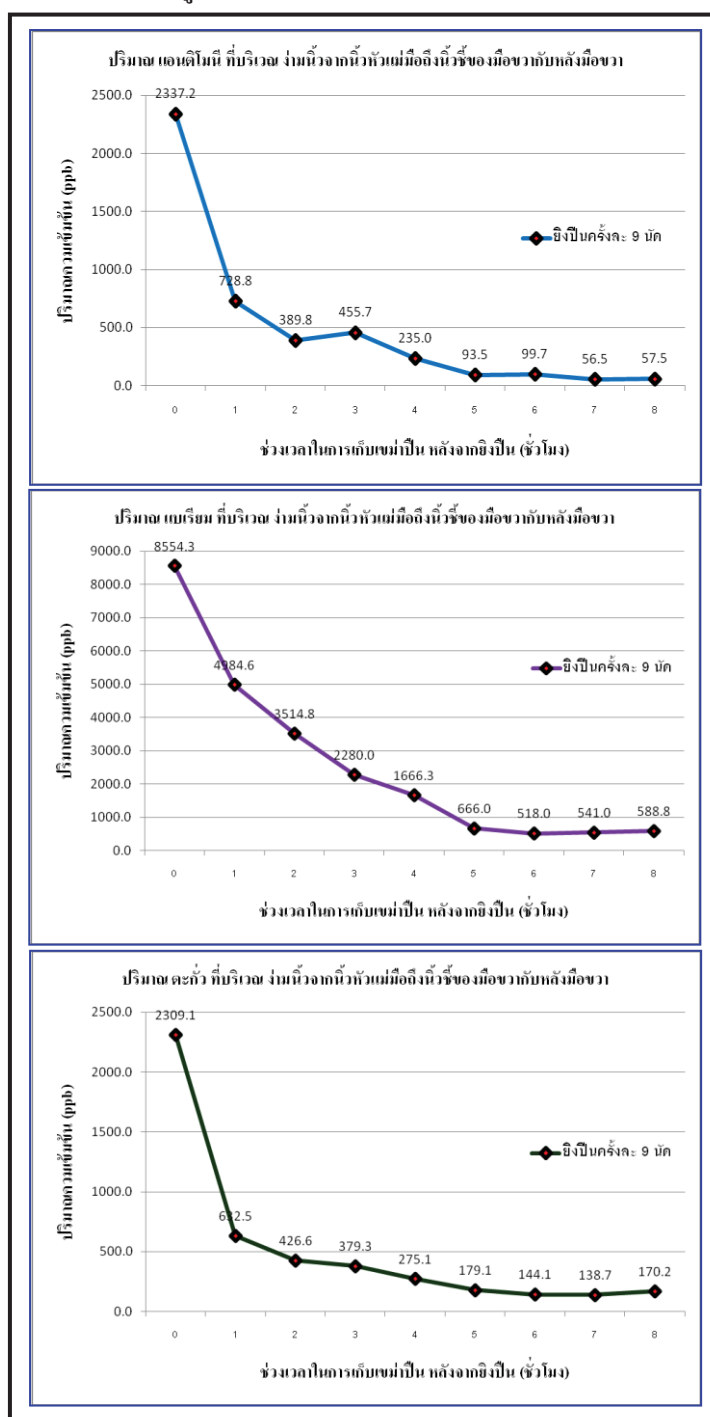


ภาพที่ 47 ปริมาณของธาตุ แบริยม(Ba) ที่บริเวณ ท่าเรือจากน้ำหัวแม่มือถึงน้ำชีของหลังมือขวา และ หลังมือขวา ในการยิงปืนครั้งละ 9 นัด



ภาพที่ 48 ปริมาณของธาตุ ตะกั่ว(Pb) ที่บริเวณ ท่าเรือจากหัวหัวแม่มือถึงหัวซ้งของหลังมือขวา และ หลังมือขวา ในการยิงปืนครั้งละ 9 นัด

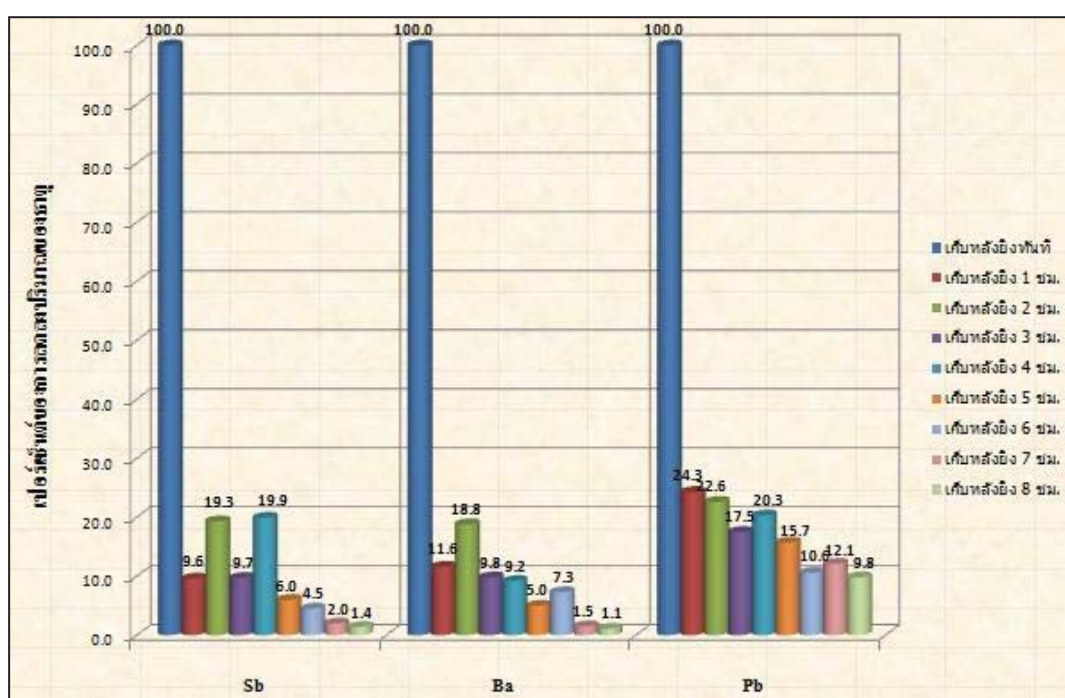
และจากผลการทดลอง ในภาพที่ 46 - 48 พบผลรวมของปริมาณของธาตุ แอนติโมนี (Sb), แบเรียม(Ba) และตะกั่ว(Pb) จากการเก็บตัวอย่างที่บริเวณ ย่านนี้จากนิ้วหัวแม่มือถึงนิ้วชี้ของ หลังมือขวา กับ หลังมือขวา ของผู้ทดลองยังป็นในการยิงปืนครั้งละ 9 นัด แสดงดังภาพที่ 49



ภาพที่ 49 ปริมาณผลรวมของธาตุ แอนติโมนี(Sb), แบเรียม(Ba) และ ตะกั่ว(Pb) บริเวณหลังมือขวา ของผู้ยิงปืน ในการยิงปืนครั้งละ 9 นัด

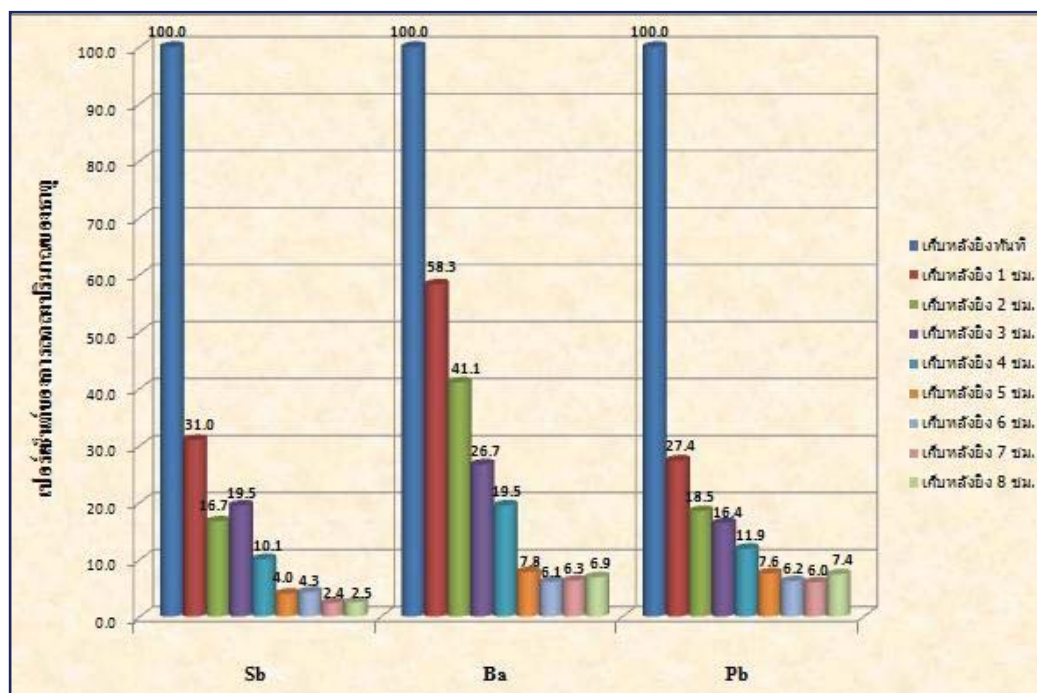
4.6 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของเขม่าป็นบนมือผู้ยิงปืนและระยะเวลา

1. จากผลการทดลอง พบปริมาณของธาตุ แอนติโมนี(Sb), แบเรียม(Ba) และตะกั่ว(Pb) ในการยิงปืนครั้งละ 3 นัด จะมีปริมาณลดลงเมื่อเวลาผ่านไปโดยเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณของธาตุทั้ง 3 ธาตุ ในตัวอย่างที่เก็บทันทีภายหลังการยิงปืน พบว่ามีปริมาณของธาตุลดลงอย่างรวดเร็วหลังจากยิงปืนผ่านไป 1 ชั่วโมง จากนั้นจะลดลงตามระยะเวลา พบว่าการลดลงของปริมาณธาตุทั้ง 3 ธาตุ เกือบจะไม่เปลี่ยนแปลงหลังจากยิงปืนผ่านไปตั้งแต่ 5 - 8 ชั่วโมง แสดงดังภาพที่ 50



ภาพที่ 50 แสดงเปอร์เซ็นต์ของการลดลงของปริมาณธาตุทั้ง 3 ธาตุ ในการยิงปืนครั้งละ 3 นัด (เมื่อ 100 เปอร์เซ็นต์ คือการเก็บเขม่าหลังยิงปืนทันที)

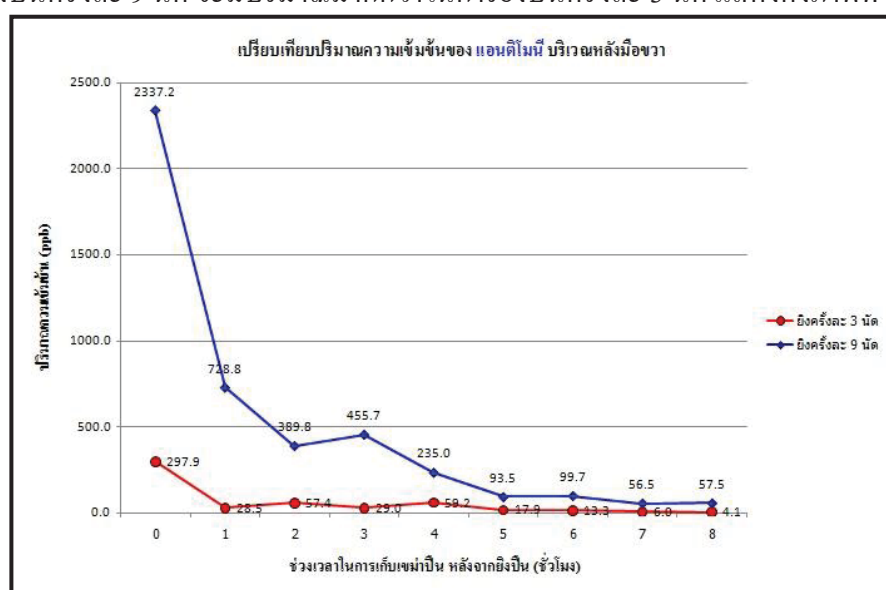
2. จากผลการทดลอง พบปริมาณของธาตุ แอนติโมนี(Sb), แบเรียม(Ba) และตะกั่ว(Pb) ในการยิงปืนครั้งละ 9 นัด จะมีปริมาณลดลงเมื่อเวลาผ่านไปโดยเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณของธาตุทั้ง 3 ธาตุ ในตัวอย่างที่เก็บทันทีภายหลังการยิงปืน พบว่ามีปริมาณของธาตุลดลงอย่างรวดเร็วหลังจากยิงปืนผ่านไป 1 ชั่วโมง จากนั้นจะลดลงตามระยะเวลา พบว่าการลดลงของปริมาณธาตุทั้ง 3 ธาตุ เกือบจะไม่เปลี่ยนแปลงหลังจากยิงปืนผ่านไปตั้งแต่ 5 - 8 ชั่วโมง แสดงดังภาพที่ 51



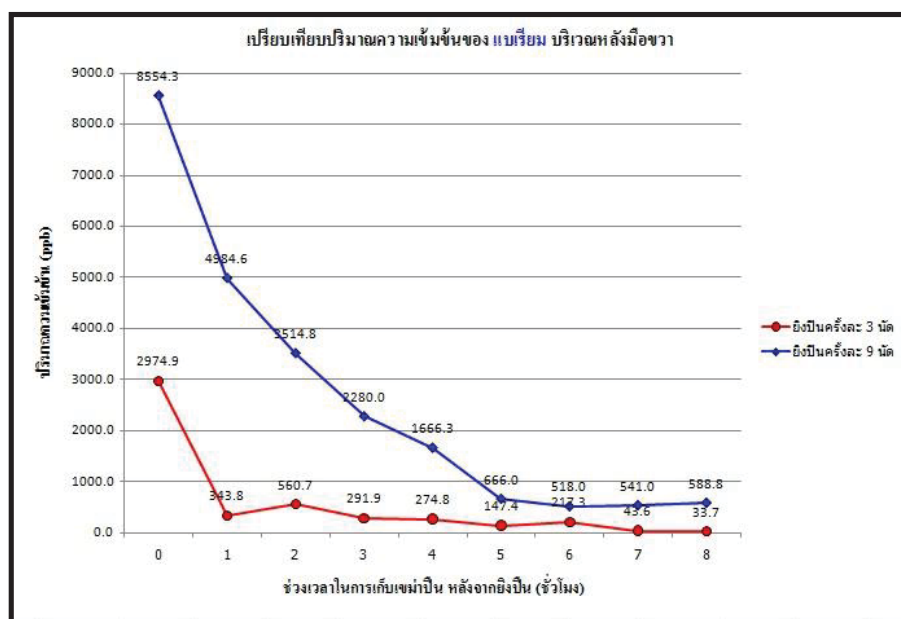
ภาพที่ 51 แสดงเปอร์เซ็นต์ของการลดลงของปริมาณธาตุทั้ง 3 ธาตุ ในการยิงปืนครั้งละ 9 นัด (เมื่อ 100 เปอร์เซ็นต์ คือการเก็บเขม่าหลังยิงปืนทันที)

4.7 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบปริมาณเขม่าปืนระหว่างการยิงปืนครั้งละ 3 นัดกับ 9 นัด

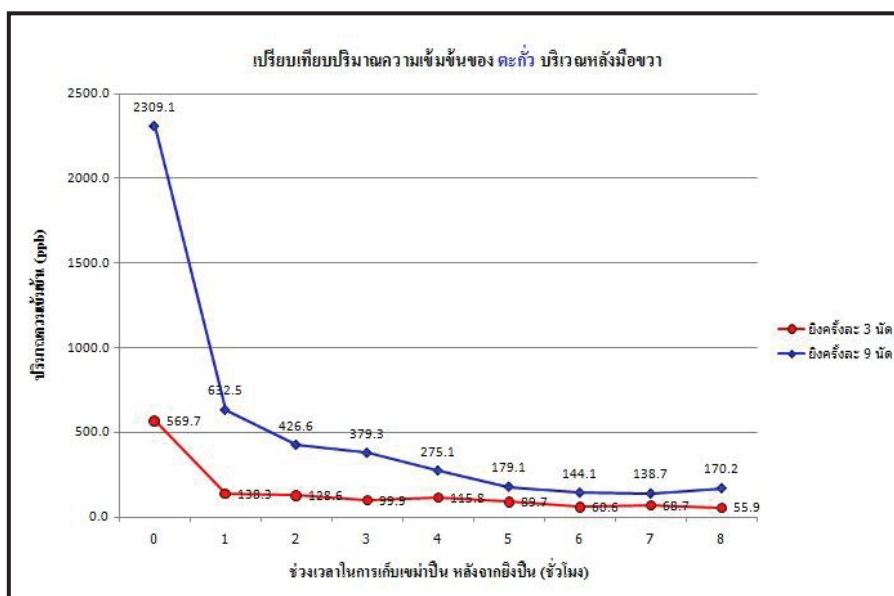
จากผลการทดลอง พบปริมาณของธาตุ แอนติโมนี(Sb), แบเรียม(Ba) และ ตะกั่ว(Pb) ในการยิงปืนครั้งละ 9 นัด จะมีปริมาณมากกว่าในการยิงปืนครั้งละ 3 นัด แสดงดังภาพที่ 52 - 54



ภาพที่ 52 เปรียบเทียบปริมาณของธาตุแอนติโมนี(Sb) ในการยิงปืนครั้งละ 9 นัด และ 3 นัด



ภาพที่ 53 เปรียบเทียบปริมาณของธาตุแบเรียม(Ba) ในการยิงปืนครั้งละ 9 นัด และ 3 นัด



ภาพที่ 54 เปรียบเทียบปริมาณของธาตุตะกั่ว(Pb) ในการยิงปืนครั้งละ 9 นัด และ 3 นัด

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของเขม่าป็นบนมือผู้ยิงปืนและระยะเวลาภายหลังการยิงปืน โดยใช้อาวุธปืนพกกึ่งอัตโนมัติ ขนาด 9 มิลลิเมตร ซึ่งทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณของธาตุ แอนติโมนี(Sb), แบเรียม(Ba) และตะกั่ว(Pb) ที่เป็นองค์ประกอบในเขม่าป็น บนมือผู้ยิงปืนในระยะเวลาต่างๆ กัน คือ ภายหลังจากการยิงปืนไปแล้วทันที, ภายหลังจากการยิงปืนไปแล้ว 1 ชั่วโมง, 2 ชั่วโมง, 3 ชั่วโมง, 4 ชั่วโมง, 5 ชั่วโมง, 6 ชั่วโมง, 7 ชั่วโมง และ 8 ชั่วโมง และทำการเก็บตัวอย่างเขม่าป็นจากบริเวณ ง่ามนิ้วจากนิ้วหัวแม่มือถึงนิ้วชี้ของหลังมือขวา และ หลังมือขวา โดยเทคนิค ICP - MS สามารถสรุปผลได้ดังนี้ คือ

5.1.1 ปริมาณเขม่าป็นบนมือของผู้ยิงปืน จะลดลงอย่างรวดเร็วหลังจากยิงปืนผ่านไป 1 ชั่วโมง จากนั้นจะลดลงตามระยะเวลา

5.1.2 ปริมาณเขม่าป็นบนมือของผู้ยิงปืน เกือบจะไม่เปลี่ยนแปลงหลังจากยิงปืนผ่านไปตั้งแต่ 5 - 8 ชั่วโมง

5.1.3 ปริมาณเขม่าป็นบนมือของผู้ยิงปืน จะมีโอกาสพบได้มากขึ้นเมื่อจำนวนนัดในการยิงปืนแต่ละครั้งเพิ่มมากขึ้น

5.1.4 ปริมาณเขม่าป็นบนมือของผู้ยิงปืน ด้วยลักษณะท่าทางการจับอาวุธปืน กึ่งอัตโนมัติ ขนาด 9 มิลลิเมตร ด้วยมือทั้งสองข้าง ใช้มือขวากำอาวุธปืนก่อนแล้วใช้มือซ้ายกำทับมือขวาเพื่อรองรับอาวุธปืนอยู่ด้านล่างมือขวา พบว่าบริเวณที่พบเขม่าป็นมากที่สุดคือ บริเวณง่ามนิ้วจากนิ้วหัวแม่มือถึงนิ้วชี้ของหลังมือขวา

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ในการศึกษาเรื่องวิเคราะห์หาปริมาณเขม่าป็นควรทำซ้ำมากกว่า 5 ครั้ง ในแต่ละตัวอย่าง เนื่องจากในการทดลองไม่สามารถควบคุม การตกของเขม่าป็นบนมือผู้ยิงปืนให้มีปริมาณใกล้เคียงกันได้

5.2.2 ควรทำการศึกษาเพิ่มในส่วนของจำนวนนัดในการยิงปืนแต่ละครั้ง เพื่อหาวิธีการคำนวณย้อนกลับไปหาปริมาณเริ่มต้นของเขม่าป็นหลังจากการยิงปืนทันที

5.2.3 ควรทำการศึกษาเพิ่มเติมในอาวุธปืนพกมือสั้น เนื่องจากรูปแบบของการฟุ้งกระจายของเขม่าปืนที่ออกจากตัวปืน มีรูปแบบที่แตกต่างกับในอาวุธปืนพกมือสั้นอัตโนมัติ

5.2.4 ควรทำการศึกษาในสภาพแวดล้อมอื่นๆ เช่น ในระบบเปิด เนื่องจากในความเป็นจริงแล้วการก่อเหตุเกี่ยวกับอาวุธปืนเกิดขึ้นได้ทั้งในระบบเปิด และระบบปิด

5.2.5 ควรทำการศึกษาในสภาวะผิวหนังของมือผู้ยิงปืนที่แตกต่างกันออกไป เช่น เพศ อายุ อาชีพ เป็นต้น

5.2.6 ไม่ควรจำกัดระยะเวลาในการเก็บเขม่าปืน เนื่องจากในงานวิจัยฉบับนี้ได้พิสูจน์แล้วว่าหลังจากยิงปืนไปแล้ว 8 ชั่วโมง ในการยิงปืน 9 นัด ยังคงพบปริมาณเขม่าปืนที่มีปริมาณมาก

5.2.7 ควรทำการศึกษาหาวิธีการเก็บเขม่าปืนบนมือผู้ยิงปืนให้มีประสิทธิภาพและได้ปริมาณมากที่สุด

5.2.8 ควรทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเขม่าปืนกับระยะหรือตำแหน่งการยืนของบุคคลอื่น ที่อยู่ใกล้กับผู้ยิงปืน

บรรณานุกรม

ภาษาไทย

- จิรวัชร ธนรัตน์. “คู่มือการตรวจหาดินปืน เขม่าดินปืน ตะกั่ว และทองแดง ของลูกกระสุนปืน.” เอกสารเผยแพร่กองพิสูจน์หลักฐาน สำนักงานนิติวิทยาศาสตร์ตำรวจ, 2551. (อัดสำเนา)
- เจริญ ปานคล้าย. “การตรวจเขม่าดินปืนบนเสื้อผ้าที่ระยะยิงต่างๆ ด้วยเทคนิค ICP - MS.” เอกสารเผยแพร่งานคุณภาพเพื่อใช้ประกอบการเลื่อนตำแหน่ง กลุ่มงานตรวจอาวุธและเครื่องกระสุนปืน กองพิสูจน์หลักฐาน สำนักงานนิติวิทยาศาสตร์ตำรวจ, 2552. (อัดสำเนา)
- นัทรชัย วิเศษสุวรรณภูมิ. “ผ่าปืน.” เคลวินวลส์, 16 มิถุนายน 2544 - 14 กันยายน 2545.
- ณัฐนันท์ ชาตริภักดิ์. “การตรวจเขม่าปืนบนเสื้อผ้าด้วยเทคนิค SEM / EDS.” วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2551.
- นพสิทธิ์ อัครนพหงส์. “หลักการตรวจพิสูจน์เขม่าที่เกิดจากการยิงปืน.” เอกสารอัดสำเนา กองพิสูจน์หลักฐาน สำนักงานนิติวิทยาศาสตร์ตำรวจ, 2550. (อัดสำเนา)
- แม่น อมรสิทธิ์ และคณะ. “หลักการและเทคนิควิเคราะห์เชิงเครื่องมือ.” กรุงเทพฯ : บริษัท ชวนการพิมพ์ 50 จำกัด, 2552.
- วิวัฒน์ ชินวร. “การวิเคราะห์เขม่าปืนด้วยเทคนิค SEM / EDX.” วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาเคมี บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2547.
- ศิริลักษณ์ ชไมบุญปลา. “การศึกษาการกระจายของอนุภาคเขม่าปืนจากปืนที่ยิงในห้องปิด ด้วยเทคนิค ICP - OES.” วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2551.
- อัจฉราภรณ์ ประสงค์. “ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของเขม่าปืนบนเสื้อผ้าของผู้ยิงปืนและระยะเวลาภายหลังการยิงปืนที่วิเคราะห์โดยเทคนิค Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry (ICP - MS).” วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2552.
- อัมพร จารุจินดา. “การตรวจพิสูจน์อาวุธปืนและเครื่องกระสุนปืน.” เอกสารความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับอาวุธปืนและกระสุนปืนสำหรับผู้เข้าอบรม กองพิสูจน์หลักฐาน สำนักงานวิทยาการตำรวจ, 2542. (อัดสำเนา)

ภาษาต่างประเทศ

- Bakowska, Elzbieta (Ela), Peter B. Harrsch, and Thomas J. Gluodenis. “Analysis of gunshot residue by ICP - MS.” Agilent Technologies, no.3 (2006) : 1 - 4.
- Brozek – Mucha, Z. “ Distribution and properties of gunshot residue originating from a Luger 9 mm. ammunition in the vicinity of the shooting gun.” Journal of Forensic Science International, no. 183 (2009) : 33 - 44.
- Kage, S. and others. “A simple method for detection of gunshot residue particles from hands, hair, face, and clothing using scanning electron microscopy/wavelength dispersive X-ray (SEM/WDX).” Journal of Forensic Science 46, 4 (2001) : 830 - 4.
- Koons, Robert D. “Analysis of gunshot primer residue collection swabs by Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry.” Journal of Forensic Science 43, (1998) : 748 - 754.
- Sarkis, J., O. Neto, S. Viebig, and S. Durrant. “Measurements of gunshot residues by sector field inductively coupled plasma mass spectrometry - Further studies with pistols.” Journal of Forensic Science International, no. 172 (1991) : 63 - 66.
- Schwoeble A. J., and David L. Exline. Current methods in forensic gunshot residue analysis. Florida : CRC Press LLC, 2000.
- Zeichner, Arie, and Nadav Levin. “ Casework Experience of GSR Detection in Israel, on Samples from Hands, Hair, and Clothing Using an Autosearch SEM/EDX System.” Journal of Forensic Science, no. 40 (1995) : 1082 - 1085.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

กราฟมาตรฐานของการวิเคราะห์หาปริมาณของธาตุแอนติโมนี แบริยม และตะกั่ว
บนมือผู้ยิงปืน โดยเทคนิค ICP - MS

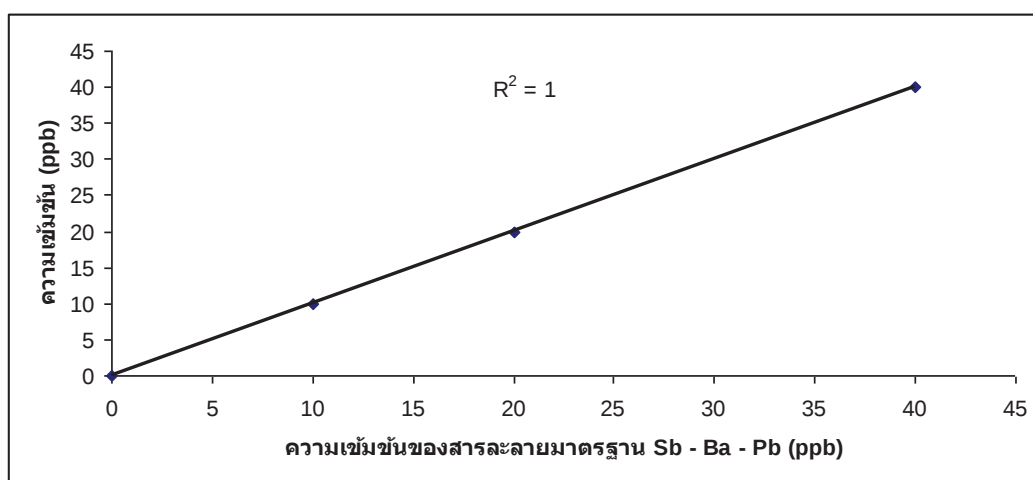
กราฟมาตรฐานของการวิเคราะห์หาปริมาณของธาตุแอนติโมนี แบเรียม และตะกั่ว บนมือของผู้ยิงปืน ที่วิเคราะห์โดยเทคนิค ICP - MS

1. กราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานแอนติโมนี แบเรียม และตะกั่ว

ความเข้มข้น 10 - 20 - 40 ppb

ตารางที่ 8 ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานแอนติโมนี แบเรียม และตะกั่ว ความเข้มข้นที่ 1

สารละลายมาตรฐานแอนติโมนี แบเรียม ตะกั่ว ความเข้มข้น 10 - 20 - 40 ppb	ค่าความเข้มข้น (ppb)
0	0
10	10.000
20	20.000
40	40.000

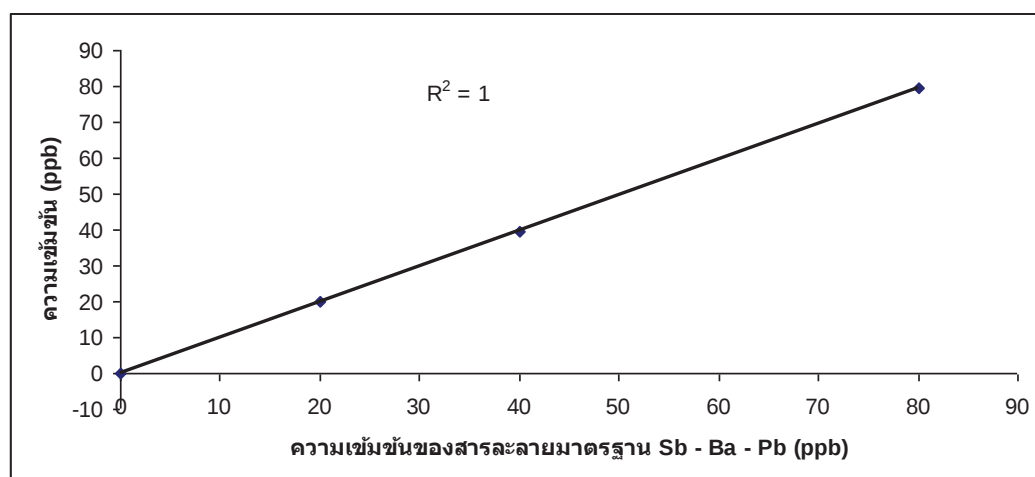


ภาพที่ 55 กราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานแอนติโมนี แบเรียม และตะกั่ว ความเข้มข้น 10 - 20 - 40 ppb

2. กราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานแอนติโมนี แบเรียม และตะกั่ว
ความเข้มข้น 20 - 40 - 80 ppb

ตารางที่ 9 ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานแอนติโมนี แบเรียม และตะกั่ว ความเข้มข้นที่ 2

สารละลายมาตรฐานแอนติโมนี แบเรียม ตะกั่ว ความเข้มข้น 20 - 40 - 80 ppb	ค่าความเข้มข้น (ppb)
0	0
20	19.834
40	39.413
80	79.505

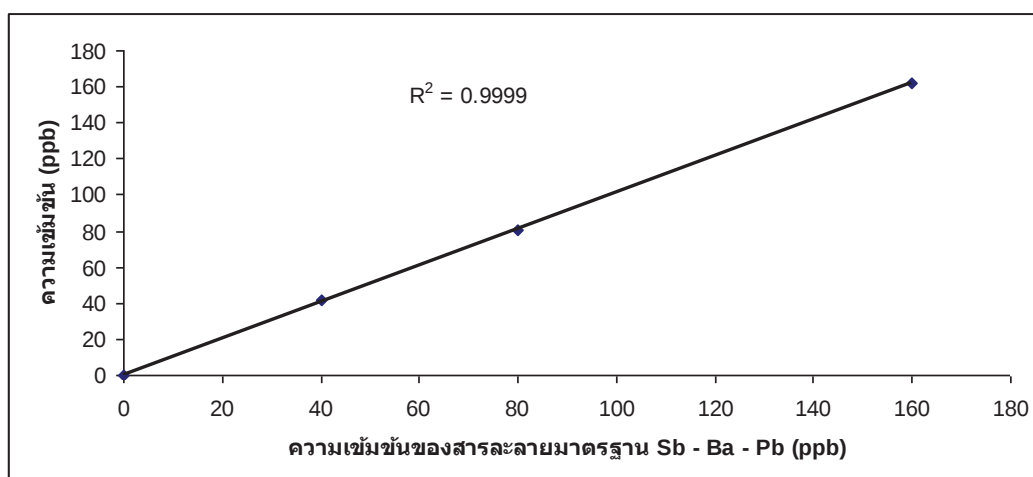


ภาพที่ 56 กราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานแอนติโมนี แบเรียม และตะกั่ว ความเข้มข้น
20 - 40 - 80 ppb

3. กราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานแอนติโมนี แบเรียม และตะกั่ว
ความเข้มข้น 40 - 80 - 160 ppb

ตารางที่ 10 ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานแอนติโมนี แบเรียม และตะกั่ว ความเข้มข้นที่ 3

สารละลายมาตรฐานแอนติโมนี แบเรียม ตะกั่ว ความเข้มข้น 40 - 80 - 160 ppb	ค่าความเข้มข้น (ppb)
0	0
40	41.514
80	80.864
160	161.688

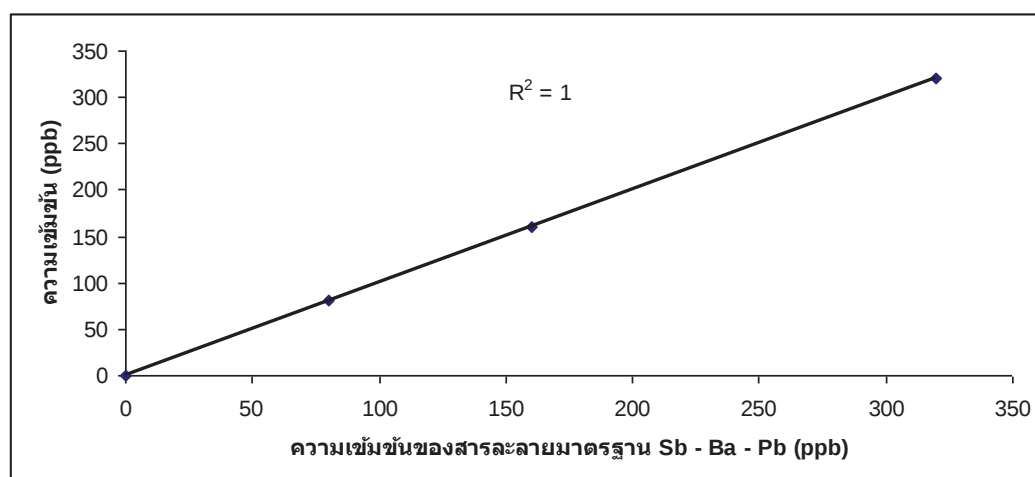


ภาพที่ 57 กราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานแอนติโมนี แบเรียม และตะกั่ว ความเข้มข้น
40 - 80 - 160 ppb

4. กราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานแอนติโมนี แบเรียม และตะกั่ว
ความเข้มข้น 80 - 160 - 320 ppb

ตารางที่ 11 ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานแอนติโมนี แบเรียม และตะกั่ว ความเข้มข้นที่ 4

สารละลายมาตรฐานแอนติโมนี แบเรียม ตะกั่ว ความเข้มข้น 80 - 160 - 320 ppb	ค่าความเข้มข้น (ppb)
0	0
80	80.151
160	159.256
320	321.308

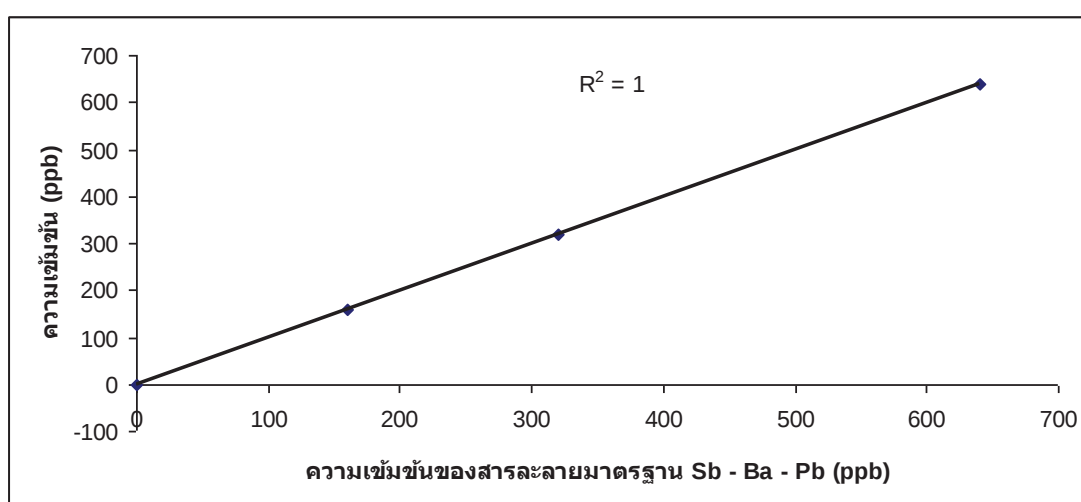


ภาพที่ 58 กราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานแอนติโมนี แบเรียม และตะกั่ว ความเข้มข้น
80 - 160 - 320 ppb

5. กราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานแอนติโมนี แบเรียม และตะกั่ว
ความเข้มข้น 160 - 320 - 640 ppb

ตารางที่ 12 ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานแอนติโมนี แบเรียม และตะกั่ว ความเข้มข้นที่ 5

สารละลายมาตรฐานแอนติโมนี แบเรียม ตะกั่ว ความเข้มข้น 160 - 320 - 640 ppb	ค่าความเข้มข้น (ppb)
0	0
160	160.226
320	318.340
640	640.143



ภาพที่ 59 กราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานแอนติโมนี แบเรียม และตะกั่ว ความเข้มข้น
160 - 320 - 640 ppb

ภาคผนวก ข

ตัวอย่างผลการวิเคราะห์หาปริมาณของธาตุแอนติโมนี แบบรียม และตะกั่ว
บนมือผู้ยิงปืน

ตัวอย่างผลการวิเคราะห์หาปริมาณของธาตุแอนติโมนี แบเรียม และตะกั่ว
บนมือผู้ยิงปืน ที่วิเคราะห์โดยเทคนิค ICP - MS

Quantitative Analysis

Sample ID: 36- RB

Sample Date/Time: Thursday, March 08, 2012 16:04:51

Solution Type: Sample

Number of Replicates: 3

Method File: C:\Elandata\Method\thesis gun shot residue 1.mth

Dataset File: C:\Elandata\DataSet\PTOI 8-03-12\36- RB.149

Replicates

Repeat 1

Analyte	Meas. Intensity	Net Intensity	Concentration	Sample Unit
Sb	1140.87	1140.872	2.969375	ug/L
Ba	27450.83	27450.835	172.120804	ug/L
Pb	14466.30	14466.301	107.363875	ug/L

Repeat 2

Analyte	Meas. Intensity	Net Intensity	Concentration	Sample Unit
Sb	1119.67	1119.669	2.914190	ug/L
Ba	27349.64	27349.640	171.486297	ug/L
Pb	14363.34	14363.338	106.599719	ug/L

Repeat 3

Analyte	Meas. Intensity	Net Intensity	Concentration	Sample Unit
Sb	1094.07	1094.066	2.847552	ug/L
Ba	27652.26	27652.259	173.383766	ug/L
Pb	14340.50	14340.502	106.430238	ug/L

Mean Values

Analyte	Meas. Intens. Mean	Net Intens. Mean	Conc. Mean	Sample Unit
Sb	1118.20	1118.202	2.910372	ug/L
Ba	27484.24	27484.245	172.330289	ug/L
Pb	14390.05	14390.047	106.797944	ug/L

Summary

Analyte	Conc. Mean	Conc. SD	Conc. RSD	Report Unit
Sb	2.910372	0.061	2.096	ug/L
Ba	172.330289	0.966	0.561	ug/L
Pb	106.797944	0.497	0.466	ug/L

Calibration

Analyte	Correlation Coefficient
Sb	0.999972
Ba	0.999984
Pb	0.999941

ภาคผนวก ค
การหาประสิทธิภาพของการวิเคราะห์

การหาประสิทธิภาพของการวิเคราะห์

การวิเคราะห์หาค่าความเที่ยง (Precision)

1. นำผลที่ได้จากการทดลองมาหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation, S.D.) โดยหาได้จาก

$$S.D. = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n - 1}}$$

เมื่อ $\bar{X}$ = ค่าเฉลี่ย
 X_i = ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง
 n = จำนวนครั้งที่วัด

2. นำผลที่ได้จากการทดลองมาหาค่า % RSD : Relative Standard Diviation ซึ่งเป็นค่าที่นำมาวัดความสามารถในการทำซ้ำ (Repeatability)

$$\% R.S.D = \frac{S.D. \times 100}{\bar{X}}$$

เมื่อ $S.D.$ = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
 $\bar{X}$ = ค่าเฉลี่ย

ภาคผนวก È

BeÄöæîÇæóóîîPaßÖÄêÜöÖüÖüäYæöä
ÄéóóÄÖYüäöäPüä×äüÇüÇ ICP - MS

ตารางที่ 13 ผลการวิเคราะห์ปริมาณ แอนติโมนี แบเรียม และตะกั่ว ของการยิงปืนด้วยกระสุนปืนอโตะเมติก ขนาด 9 มม. ครั้งละ 1 นัด (ล้างปืนทุกครั้ง)

ระยะเวลา	ธาตุ	บริเวณที่เก็บตัวอย่าง	ตัวอย่าง							
			1	2	3	4	5	ผลรวม	ค่าเฉลี่ย	รวมทั้งหลังมือขวา
เก็บทันที	แอนติโมนี (Sb) (ug/l) (ppb)	กรดตัวอย่าง	0.8	3.6	1.3	1.9	2.5	10.0		
		เก็บก่อนยิง	1.0	1.7	2.9	1.7	2.6	9.9		
		ง่ามนิ้วของหลังมือขวา	1207.0	613.6	986.0	1156.0	412.4	4375.0		
		ง่ามนิ้ว - กรด	1206.2	610.0	984.8	1154.1	410.0	4365.0	873.0	
		หลังมือขวา	623.0	71.8	173.5	224.0	343.1	1435.4		1158.1
		หลังมือขวา - กรด	622.2	68.2	172.3	222.1	340.7	1425.5	285.1	
	แบเรียม (Ba) (ug/l) (ppb)	กรดตัวอย่าง	128.2	104.4	120.6	106.2	114.2	573.6		
		เก็บก่อนยิง	154.5	138.6	115.4	90.3	121.5	620.3		
		ง่ามนิ้วของหลังมือขวา	2137.0	1253.0	1700.0	2326.0	1119.0	8535.0		
		ง่ามนิ้ว - กรด	2008.8	1148.6	1579.4	2219.8	1004.8	7961.4	1592.3	
		หลังมือขวา	1119.0	268.6	493.7	598.8	897.6	3377.7		2153.1
		หลังมือขวา - กรด	990.8	164.2	373.1	492.6	783.4	2804.1	560.8	
	ตะกั่ว (Pb) (ug/l) (ppb)	กรดตัวอย่าง	20.7	28.8	23.8	20.3	19.9	113.5		
		เก็บก่อนยิง	38.5	37.8	36.1	31.9	44.6	188.8		
		ง่ามนิ้วของหลังมือขวา	1280.0	693.1	918.8	1297.0	598.8	4787.7		
		ง่ามนิ้ว - กรด	1259.3	664.3	895.0	1276.7	578.9	4674.2	934.8	
		หลังมือขวา	778.0	122.1	221.7	256.4	411.1	1789.3		1270.0
		หลังมือขวา - กรด	757.3	93.3	197.9	236.1	391.2	1675.8	335.2	

ตารางที่ 14 ผลการวิเคราะห์ปริมาณ แอนติโมนี แบเรียม และตะกั่ว ของการยิงปืนด้วยกระสุนปืนอโตะเมติก ขนาด 9 มม. ครั้งละ 1 นัด (ไม่ล้างปืน)

ระยะเวลา	ธาตุ	บริเวณที่เก็บตัวอย่าง	ตัวอย่าง							
			1	2	3	4	5	ผลรวม	ค่าเฉลี่ย	รวมทั้งหลังมือขวา
เก็บทันที	แอนติโมนี (Sb) (ug/l) (ppb)	กรดตัวอย่าง	1.9	1.1	1.6	1.6	2.5	8.7		
		เก็บก่อนยิง	1.2	2.0	1.4	1.3	1.5	7.4		
		ง่ามนิ้วของหลังมือขวา	□ 10.6	951.5	417.6	709.0	600.2	3488.9		
		ง่ามนิ้ว - กรด	808.7	950.4	416.0	707.4	597.7	3480.2	696.0	
		หลังมือขวา	28.3	342.5	465.5	665.5	66.4	1568.2		1007.9
		หลังมือขวา - กรด	26.3	341.4	463.9	663.9	63.9	1559.5	311.9	
	แบเรียม (Ba) (ug/l) (ppb)	กรดตัวอย่าง	118.9	112.6	68.2	156.2	123.2	579.1		
		เก็บก่อนยิง	130.8	131.4	83.9	132.1	113.4	591.6		
		ง่ามนิ้วของหลังมือขวา	1518.0	1520.0	689.1	1503.0	1627.0	6857.1		
		ง่ามนิ้ว - กรด	1399.1	1407.4	620.9	1346.8	1503.8	6278.0	1255.6	
		หลังมือขวา	245.4	611.0	790.3	1567.0	330.9	3544.6		1848.7
		หลังมือขวา - กรด	126.5	498.4	722.1	1410.8	207.7	2965.5	593.1	
	ตะกั่ว (Pb) (ug/l) (ppb)	กรดตัวอย่าง	21.1	21.7	14.6	22.0	17.4	96.7		
		เก็บก่อนยิง	31.2	61.3	25.4	36.8	38.4	193.1		
		ง่ามนิ้วของหลังมือขวา	775.9	801.5	479.7	905.6	824.6	3787.3		
		ง่ามนิ้ว - กรด	754.9	779.8	465.1	883.6	807.2	3690.6	738.1	
		หลังมือขวา	76.9	303.2	499.3	733.1	122.7	1735.2		1065.8
		หลังมือขวา - กรด	55.9	281.5	484.7	711.1	105.3	1638.5	327.7	

ตารางที่ 15 ผลการวิเคราะห์ปริมาณ แอนติโมนี แบเรียม และตะกั่ว ของการยิงปืนด้วยกระสุนปืนอโตะเมติก ขนาด 9 มม. ครั้งละ 2 นัด (ล้างปืนทุกครั้ง)

ระยะเวลา	ธาตุ	บริเวณที่เก็บตัวอย่าง	ตัวอย่าง							
			1	2	3	4	5	ผลรวม	ค่าเฉลี่ย	รวมทั้งหลังมือขวา
เก็บทันที	แอนติโมนี (Sb) (ug/l) (ppb)	กรดตัวอย่าง	0.0	1.4	0.2	0.1	1.7	3.4		
		เก็บก่อนยิง	2.9	6.3	1.9	10.6	0.2	21.8		
		ง่ามนิ้วของหลังมือขวา	1002.1	632.1	714.5	1300.8	1591.2	5240.7		
		ง่ามนิ้ว - กรด	1002.1	630.7	714.3	1300.7	1589.5	5237.3	1047.5	
		หลังมือขวา	262.5	2□4.6	□5.6	325.3	1154.5	2082.5		1463.3
		หลังมือขวา - กรด	262.5	253.2	85.3	325.2	1152.9	2079.1	415.8	
	แบเรียม (Ba) (ug/l) (ppb)	กรดตัวอย่าง	108.7	99.1	131.3	135.4	127.6	602.1		
		เก็บก่อนยิง	157.2	85.6	117.6	161.6	71.4	593.4		
		ง่ามนิ้วของหลังมือขวา	2492.2	1634.1	2231.6	3267.8	3974.8	13600.4		
		ง่ามนิ้ว - กรด	2383.5	1535.1	2100.3	3132.4	3847.1	12998.3	2599.7	
		หลังมือขวา	655.7	723.1	467.9	932.6	2968.4	5747.7		3628.8
		หลังมือขวา - กรด	547.0	624.0	336.6	797.2	2840.8	5145.6	1029.1	
	ตะกั่ว (Pb) (ug/l) (ppb)	กรดตัวอย่าง	6.6	15.4	5.7	6.0	12.0	45.7		
		เก็บก่อนยิง	58.4	141.7	45.9	188.5	21.8	456.2		
		ง่ามนิ้วของหลังมือขวา	1106.2	1472.9	1313.2	1521.6	1804.7	7218.5		
		ง่ามนิ้ว - กรด	1099.5	1457.6	1307.5	1515.6	1792.7	7172.9	□434.6	
		หลังมือขวา	314.4	603.3	198.9	375.3	1326.0	2817.9		1989.0
		หลังมือขวา - กรด	307.8	588.0	193.2	369.4	1314.0	2772.3	554.5	

ตารางที่ 16 ผลการวิเคราะห์ปริมาณ แอนติโมนี แบเรียม และตะกั่ว ของการยิงปืนด้วยกระสุนปืนอโตะเมติก ขนาด 9 มม. ครั้งละ 2 นัด (ไม่ล้างปืน)

ระยะเวลา	ธาตุ	บริเวณที่เก็บตัวอย่าง	ตัวอย่าง							
			1	2	3	4	5	ผลรวม	ค่าเฉลี่ย	รวมทั้งหลังมือขวา
เก็บทันที	แอนติโมนี (Sb) (ug/l) (ppb)	กรดตัวอย่าง	3.5	4.6	2.5	2.4	2.3	15.3		
		เก็บก่อนยิง	5.4	14.5	4.3	2.4	1.3	27.7		
		ง่ามนิ้วของหลังมือขวา	342.0	1363.8	1522.9	931.9	1296.0	5456.5		
		ง่ามนิ้ว - กรด	338.4	1359.2	1520.4	929.4	1293.7	5441.2	1088.2	
		หลังมือขวา	1089.0	551.1	515.1	402.0	570.8	3128.0		1710.8
		หลังมือขวา - กรด	1085.5	546.6	512.6	399.6	568.4	3112.7	622.5	
	แบเรียม (Ba) (ug/l) (ppb)	กรดตัวอย่าง	76.1	107.1	150.8	120.5	146.0	600.5		
		เก็บก่อนยิง	127.7	99.7	132.3	147.6	112.7	620.0		
		ง่ามนิ้วของหลังมือขวา	1787.8	3033.4	3463.8	604.2	2815.2	11704.5		
		ง่ามนิ้ว - กรด	1711.7	2926.3	3313.0	483.7	2669.2	11104.0	2220.8	
		หลังมือขวา	3225.7	1278.7	1220.9	1051.8	1916.4	8693.4		3839.4
		หลังมือขวา - กรด	3149.6	1171.6	1070.1	931.3	1770.4	8092.9	1618.6	
	ตะกั่ว (Pb) (ug/l) (ppb)	กรดตัวอย่าง	22.8	4.4	4.3	13.7	5.9	51.0		
		เก็บก่อนยิง	129.9	279.5	48.6	67.7	21.7	547.3		
		ง่ามนิ้วของหลังมือขวา	2310.5	1885.0	1649.9	2124.4	1685.9	9655.8		
		ง่ามนิ้ว - กรด	2287.7	1880.7	1645.6	2110.7	1680.1	9604.8	1921.0	
		หลังมือขวา	1460.8	643.5	603.3	455.7	855.0	4018.2		2714.4
		หลังมือขวา - กรด	1438.0	639.1	599.0	442.0	849.1	3967.2	793.4	

ตารางที่ 17 ผลการวิเคราะห์ปริมาณ แอนติโมนี แบเรียม และตะกั่ว ของการยิงปืนด้วยกระสุนปืนอโตะเมติก ขนาด 9 มม. ครั้งละ 3 นัด (ล้างปืนทุกครั้ง)

ระยะเวลา	ธาตุ	บริเวณที่เก็บตัวอย่าง	ตัวอย่าง							
			1	2	3	4	5	ผลรวม	ค่าเฉลี่ย	รวมทั้งหลังมือขวา
เก็บทันที	แอนติโมนี (Sb) (ug/l) (ppb)	กรดตัวอย่าง	4.5	7.3	9.0	2.9	1.1	24.8		
		เก็บก่อนยิง	4.4	85.5	6.3	2.1	5.6	103.8		
		ง่ามนิ้วของหลังมือขวา	3686.2	2959.1	897.3	878.1	526.5	8947.2		
		ง่ามนิ้ว - กรด	3681.8	2951.8	888.3	875.2	525.4	8922.4	1784.5	
		หลังมือขวา	3224.1	1486.4	708.2	159.1	554.4	6132.2		3006.0
		หลังมือขวา - กรด	3219.6	1479.1	699.3	156.2	553.3	6107.4	1221.5	
	แบเรียม (Ba) (ug/l) (ppb)	กรดตัวอย่าง	104.7	119.5	72.4	105.9	92.4	494.8		
		เก็บก่อนยิง	120.0	81.7	121.7	81.1	134.2	538.7		
		ง่ามนิ้วของหลังมือขวา	2471.3	4202.3	2133.7	1567.7	1277.9	11652.9		
		ง่ามนิ้ว - กรด	2366.6	4082.8	2061.4	1461.8	1185.6	11158.1	2231.6	
		หลังมือขวา	4735.8	2716.2	1402.9	484.2	1350.4	10689.5		4270.6
		หลังมือขวา - กรด	4631.1	2596.7	1330.6	378.3	1258.1	10194.7	2038.9	
	ตะกั่ว (Pb) (ug/l) (ppb)	กรดตัวอย่าง	4.3	43.5	13.0	7.5	5.7	73.9		
		เก็บก่อนยิง	141.7	3.8	66.2	37.6	69.0	318.2		
		ง่ามนิ้วของหลังมือขวา	2350.1	1928.7	891.3	986.4	616.2	6772.6		
		ง่ามนิ้ว - กรด	2345.8	1885.1	878.3	978.9	610.6	6698.7	1339.7	
		หลังมือขวา	3225.0	1213.2	473.7	205.7	872.9	5990.6		2523.1
		หลังมือขวา - กรด	3220.7	1169.7	460.8	198.2	867.3	5916.7	1183.3	

ตารางที่ 18 ผลการวิเคราะห์ปริมาณ แอนติโมนี แบเรียม และตะกั่ว ของการยิงปืนด้วยกระสุนปืนอโตะเมติก ขนาด 9 มม. ครั้งละ 3 นัด (ไม่ล้างปืน)

ระยะเวลา	ธาตุ	บริเวณที่เก็บตัวอย่าง	ตัวอย่าง							
			1	2	3	4	5	ผลรวม	ค่าเฉลี่ย	รวมทั้งหลังมือขวา
เก็บทันที	แอนติโมนี (Sb) (ug/l) (ppb)	กรดตัวอย่าง	0.0	2.9	1.2	7.5	1.6	13.2		
		เก็บก่อนยิง	2.4	6.2	5.3	9.8	0.7	24.4		
		ง่ามนิ้วของหลังมือขวา	2924.0	1674.2	2283.2	707.0	2311.4	9899.7		
		ง่ามนิ้ว - กรด	2924.0	1671.3	2282.0	699.5	2309.8	9886.5	1977.3	
		หลังมือขวา	1166.8	1599.4	1036.4	255.7	1132.7	5191.1		3012.9
		หลังมือขวา - กรด	1166.8	1596.5	1035.3	248.2	1131.1	5177.9	1035.6	
	แบเรียม (Ba) (ug/l) (ppb)	กรดตัวอย่าง	79.6	88.2	98.5	167.3	100.7	534.3		
		เก็บก่อนยิง	92.2	81.5	87.5	110.3	64.4	435.8		
		ง่ามนิ้วของหลังมือขวา	4147.1	3980.8	3657.7	1710.1	2319.4	15815.1		
		ง่ามนิ้ว - กรด	4067.5	3892.6	3559.2	1542.7	2218.7	15280.7	3056.1	
		หลังมือขวา	1937.9	3079.8	1961.3	579.9	2790.4	10349.3		5019.1
		หลังมือขวา - กรด	1858.3	2991.6	1862.8	412.5	2689.7	9815.0	1963.0	
	ตะกั่ว (Pb) (ug/l) (ppb)	กรดตัวอย่าง	2.3	27.1	14.1	43.1	15.7	102.3		
		เก็บก่อนยิง	91.2	61.3	103.9	127.3	25.6	409.3		
		ง่ามนิ้วของหลังมือขวา	2142.4	1638.7	2051.4	744.3	2404.5	8981.2		
		ง่ามนิ้ว - กรด	2140.1	1611.5	2037.3	701.2	2388.8	8878.9	1775.8	
		หลังมือขวา	949.4	1533.7	1104.9	247.7	1080.7	4916.3		2738.6
		หลังมือขวา - กรด	947.1	1506.5	1090.8	204.6	1065.0	4814.0	962.8	

ตารางที่ 19 ผลการวิเคราะห์ปริมาณ แอนติโมนี(Sb) บนมือผู้ยิงปืน กับ ระยะเวลาภายหลังการยิงปืนในช่วงเวลา 0-8 ชั่วโมง : ยิงปืนครั้งละ 3 นัด

ตัวอย่างที่	ธาตุ	บริเวณที่เก็บตัวอย่าง	ระยะเวลา								
			0 ชั่วโมง	1 ชั่วโมง	2 ชั่วโมง	3 ชั่วโมง	4 ชั่วโมง	5 ชั่วโมง	6 ชั่วโมง	7 ชั่วโมง	8 ชั่วโมง
1	แอนติโมนี (Sb) (ug/l) (ppb)	กรดตัวอย่าง	0.4	0.3	0.8	0.6	1.2	0.0	0.1	0.3	0.8
		เก็บก่อนยิง	0.5	0.4	2.7	1.0	0.6	0.0	0.5	0.5	2.7
		ง่ามนิ้วหลังมือขวา	62.4	14.8	7.6	7.2	14.5	3.5	3.9	7.1	7.5
		ง่ามนิ้วหลังมือขวา - กรด	62.0	14.5	6.8	6.6	13.3	3.5	3.8	6.8	6.7
		หลังมือขวา	41.7	1.0	20.4	0.8	1.3	0.0	0.2	2.8	1.1
		หลังมือขวา - กรด	41.3	0.7	19.6	0.2	0.2	0.0	0.2	2.6	0.3
2	แอนติโมนี (Sb) (ug/l) (ppb)	กรดตัวอย่าง	0.3	0.3	2.7	0.5	0.0	0.0	0.3	0.3	0.8
		เก็บก่อนยิง	0.5	1.4	3.5	0.9	0.6	0.8	0.3	0.3	1.6
		ง่ามนิ้วหลังมือขวา	269.6	9.4	70.1	22.8	101.1	4.1	3.8	5.7	2.9
		ง่ามนิ้วหลังมือขวา - กรด	269.3	9.1	67.4	22.3	101.1	4.1	3.6	5.4	2.0
		หลังมือขวา	112.2	0.8	45.0	32.5	82.0	39.9	0.7	0.8	1.1
		หลังมือขวา - กรด	111.9	0.5	42.2	32.1	82.0	39.9	0.4	0.6	0.3
3	แอนติโมนี (Sb) (ug/l) (ppb)	กรดตัวอย่าง	0.6	0.3	0.7	0.6	0.0	0.0	1.2	0.2	0.7
		เก็บก่อนยิง	0.4	0.7	1.6	0.9	0.0	0.0	1.9	2.9	0.8
		ง่ามนิ้วหลังมือขวา	315.3	45.3	35.5	38.2	17.3	6.0	7.4	5.0	5.5
		ง่ามนิ้วหลังมือขวา - กรด	314.7	45.0	34.9	37.6	17.3	6.0	6.3	4.8	4.8
		หลังมือขวา	103.8	4.8	67.2	22.7	26.0	21.9	24.3	3.6	2.3
		หลังมือขวา - กรด	103.2	4.6	66.5	22.1	26.0	21.9	23.1	3.3	1.6

ตารางที่ 19 ผลการวิเคราะห์ปริมาณ แอนติโมนี(Sb) บนมือผู้ยิงปืน กับ ระยะเวลาภายหลังการยิงปืนในช่วงเวลา 0-8 ชั่วโมง : ยิงปืนครั้งละ 3 นัด (ต่อ)

ตัวอย่างที่	ธาตุ	บริเวณที่เก็บตัวอย่าง	ระยะเวลา								
			0 ชั่วโมง	1 ชั่วโมง	2 ชั่วโมง	3 ชั่วโมง	4 ชั่วโมง	5 ชั่วโมง	6 ชั่วโมง	7 ชั่วโมง	8 ชั่วโมง
4	แอนติโมนี (Sb) (ug/l) (ppb)	กรดตัวอย่าง	0.3	0.3	0.7	0.7	0.0	0.0	0.3	0.2	0.8
		เก็บก่อนยิง	0.6	0.8	2.7	3.1	0.0	0.0	0.8	1.2	0.8
		ง่ามนิ้วหลังมือขวา	262.5	9.8	7.6	12.4	11.6	3.9	4.6	3.7	3.0
		ง่ามนิ้วหลังมือขวา - กรด	262.1	9.5	6.9	11.7	11.6	3.9	4.4	3.5	2.2
		หลังมือขวา	76.0	3.9	20.4	0.7	15.6	0.6	3.1	0.9	1.7
		หลังมือขวา - กรด	75.6	3.6	19.7	0.0	15.6	0.6	2.9	0.6	1.0
5	แอนติโมนี (Sb) (ug/l) (ppb)	กรดตัวอย่าง	0.4	0.8	3.9	0.7	0.0	0.0	0.3	0.2	4.3
		เก็บก่อนยิง	1.1	1.2	9.0	1.3	0.2	0.0	0.5	0.9	1.8
		ง่ามนิ้วหลังมือขวา	188.7	30.2	26.8	10.1	9.5	8.1	12.7	2.1	5.7
		ง่ามนิ้วหลังมือขวา - กรด	188.4	29.4	22.9	9.4	9.5	8.1	12.4	1.9	1.5
		หลังมือขวา	61.3	2.7	2.6	3.4	19.4	1.3	9.6	0.7	3.6
		หลังมือขวา - กรด	61.0	25.9	0.0	2.7	19.4	1.3	9.3	0.4	0.0
ผลรวมบริเวณง่ามนิ้วของหลังมือขวา			1096.5	107.5	138.9	87.7	152.8	25.6	30.4	22.4	17.2
ค่าเฉลี่ยบริเวณง่ามนิ้วของหลังมือขวา			219.3	21.5	27.8	17.5	30.6	5.1	6.1	4.5	3.4
ผลรวมบริเวณหลังมือขวา			393.0	35.2	148.0	57.2	143.2	63.7	35.9	7.5	3.1
ค่าเฉลี่ยบริเวณหลังมือขวา			78.6	7.0	29.6	11.4	28.6	12.7	7.2	1.5	0.6
ปริมาณ แอนติโมนี รวมบริเวณหลังมือขวา			297.9	28.5	57.4	29.0	59.2	17.9	13.3	6.0	4.1

ตารางที่ 20 ผลการวิเคราะห์ปริมาณ แบเรียม(Ba) บนมือผู้ยิงปืน กับ ระยะเวลาภายหลังการยิงปืนในช่วงเวลา 0-8 ชั่วโมง : ยิงปืนครั้งละ 3 นัด

ตัวอย่างที่	ธาตุ	บริเวณที่เก็บตัวอย่าง	ระยะเวลา								
			0 ชั่วโมง	1 ชั่วโมง	2 ชั่วโมง	3 ชั่วโมง	4 ชั่วโมง	5 ชั่วโมง	6 ชั่วโมง	7 ชั่วโมง	8 ชั่วโมง
1	แบเรียม (Ba) (ug/l) (ppb)	กรดตัวอย่าง	120.91	91.96	81.35	36.74	56.02	45.7	0.144	52.72	61.03
		เก็บก่อนยิง	111.2	97.04	63.63	59.15	47.31	56.17	70.61	54.29	72.2
		ง่ามนิ้วหลังมือขวา	1418	302.68	886.51	121.33	148.7	78.86	151.08	94.19	92.22
		ง่ามนิ้วหลังมือขวา - กรด	1297.1	210.7	805.2	84.6	92.7	33.2	150.9	41.5	31.2
		หลังมือขวา	1134.9	89.63	484.15	62.67	65.47	60.18	21.38	52.34	64.08
		หลังมือขวา - กรด	1014.0	0.0	402.8	25.9	9.5	14.5	21.2	0.0	3.1
2	แบเรียม (Ba) (ug/l) (ppb)	กรดตัวอย่าง	108.99	94.25	76.53	64.85	41.97	38.86	61.33	58.2	45.4
		เก็บก่อนยิง	118.88	79.16	82.59	72.48	75.46	83.08	84.51	70.34	63.41
		ง่ามนิ้วหลังมือขวา	2900.9	273.89	207.3	236.49	418	83.51	154.7	145.21	90.42
		ง่ามนิ้วหลังมือขวา - กรด	2791.9	179.6	130.8	171.6	376.0	44.7	93.4	87.0	45.0
		หลังมือขวา	1345.1	111.64	66.85	599.8	327.9	277	77.41	52.99	53.45
		หลังมือขวา - กรด	1236.1	17.4	0.0	535.0	285.9	238.1	16.1	0.0	8.1
3	แบเรียม (Ba) (ug/l) (ppb)	กรดตัวอย่าง	151.51	86.04	61.34	105.41	53.31	42.01	50.46	66.61	42.32
		เก็บก่อนยิง	121.41	73.18	66.4	78.16	62.79	47.33	110.08	69.2	74.11
		ง่ามนิ้วหลังมือขวา	2839.1	147.18	518.6	208.04	163.3	101.7	150.61	90.49	83.64
		ง่ามนิ้วหลังมือขวา - กรด	2687.6	61.1	457.3	102.6	110.0	59.7	100.2	23.9	41.3
		หลังมือขวา	1128.7	87.39	519.35	387.89	208.9	189.6	262.63	87.86	62.14
		หลังมือขวา - กรด	977.2	1.3	458.0	282.5	155.6	147.6	212.2	21.3	19.8

ตารางที่ 20 ผลการวิเคราะห์ปริมาณ แบเรียม(Ba) บนมือผู้ยิงปืน กับ ระยะเวลาภายหลังการยิงปืนในช่วงเวลา 0-8 ชั่วโมง : ยิงปืนครั้งละ 3 นัด (ต่อ)

ตัวอย่างที่	ธาตุ	บริเวณที่เก็บตัวอย่าง	ระยะเวลา								
			0 ชั่วโมง	1 ชั่วโมง	2 ชั่วโมง	3 ชั่วโมง	4 ชั่วโมง	5 ชั่วโมง	6 ชั่วโมง	7 ชั่วโมง	8 ชั่วโมง
4	เบเรียม (Ba) (ug/l) (ppb)	กรดตัวอย่าง	94.02	46.54	53.5	95.86	48.78	40.23	52.75	61.56	52.96
		เก็บก่อนยิง	111.85	85.39	48.72	113.95	86.12	75.24	75.74	71.39	60.36
		ง่ามนิ้วหลังมือขวา	2177.3	719.67	428.28	302.59	162.5	116.8	129.86	105.41	67.75
		ง่ามนิ้วหลังมือขวา - กรด	2083.3	673.1	374.8	206.7	113.7	76.6	77.1	43.9	14.8
		หลังมือขวา	972.58	269.82	80.55	64.51	167.5	53.93	117.37	44.85	51.88
		หลังมือขวา - กรด	878.6	223.3	27.1	0.0	118.7	13.7	64.6	0.0	0.0
5	เบเรียม (Ba) (ug/l) (ppb)	กรดตัวอย่าง	110.89	63.6	42.78	58.53	46.12	40.2	70.42	71.96	78.48
		เก็บก่อนยิง	109.62	59.23	83.46	50.9	62.85	54.23	64.03	58.41	91.47
		ง่ามนิ้วหลังมือขวา	1728.1	309.57	85.99	97.79	99.94	116.9	305.4	72.32	83.98
		ง่ามนิ้วหลังมือขวา - กรด	1617.2	246.0	43.2	39.3	53.8	76.7	235.0	0.4	5.5
		หลังมือขวา	402.27	170.17	147.08	69.67	104.2	72.7	186.18	64.12	59.63
		หลังมือขวา - กรด	291.4	106.6	104.3	11.1	58.1	32.5	115.8	0.0	0.0
ผลรวมบริเวณง่ามนิ้วของหลังมือขวา			10477.1	1370.6	1811.2	604.9	746.2	290.8	656.5	196.6	137.8
ค่าเฉลี่ยบริเวณง่ามนิ้วของหลังมือขวา			2095.4	274.1	362.2	121.0	149.2	58.2	131.3	39.3	27.6
ผลรวมบริเวณหลังมือขวา			4397.2	348.6	992.2	854.5	627.8	446.4	429.9	21.3	30.9
ค่าเฉลี่ยบริเวณหลังมือขวา			879.4	69.7	198.4	170.9	125.6	89.3	86.0	4.3	6.2
ปริมาณ เบเรียม รวมบริเวณหลังมือขวา			2974.9	343.8	560.7	291.9	274.8	147.4	217.3	43.6	33.7

ตารางที่ 21 ผลการวิเคราะห์ปริมาณ ตะกั่ว(Pb) บนมือผู้ยิงปืน กับ ระยะเวลาภายหลังการยิงปืนในช่วงเวลา 0-8 ชั่วโมง : ยิงปืนครั้งละ 3 นัด

ตัวอย่างที่	ธาตุ	บริเวณที่เก็บตัวอย่าง	ระยะเวลา								
			0 ชั่วโมง	1 ชั่วโมง	2 ชั่วโมง	3 ชั่วโมง	4 ชั่วโมง	5 ชั่วโมง	6 ชั่วโมง	7 ชั่วโมง	8 ชั่วโมง
1	ตะกั่ว (Pb) (ug/l) (ppb)	กรดตัวอย่าง	12.07	6.34	26.92	16.84	8.95	9.07	1.68	9.32	19.44
		เก็บก่อนยิง	26.98	26.57	80.54	37.83	21.16	11.17	27.8	15.96	59.93
		ง่ามนิ้วหลังมือขวา	276.78	89.71	146.35	88.03	35.61	74.35	37.22	105.56	105.74
		ง่ามนิ้วหลังมือขวา - กรด	264.7	83.4	119.4	71.2	26.7	65.3	35.5	96.2	86.3
		หลังมือขวา	97.42	15.41	122.2	42.51	15.23	9.94	6.59	50.85	29.32
		หลังมือขวา - กรด	85.4	9.1	95.3	25.7	6.3	0.9	4.9	41.5	9.9
2	ตะกั่ว (Pb) (ug/l) (ppb)	กรดตัวอย่าง	7.59	11.11	58.45	19.34	3.29	1.46	9.2	7.97	19.84
		เก็บก่อนยิง	22.32	36.63	97.69	45.25	40.97	32.88	17.81	15.11	66.1
		ง่ามนิ้วหลังมือขวา	669.83	96.03	140.56	124.14	130.7	47.9	59.55	37.03	53.24
		ง่ามนิ้วหลังมือขวา - กรด	662.2	84.9	82.1	104.8	127.4	46.4	50.4	29.1	33.4
		หลังมือขวา	164.86	19.75	38.12	71.94	52.48	42.71	14.04	17.56	28.22
		หลังมือขวา - กรด	157.3	8.6	0.0	52.6	49.2	41.3	4.8	9.6	8.4
3	ตะกั่ว (Pb) (ug/l) (ppb)	กรดตัวอย่าง	19.54	7.79	15.45	16.65	2	2.54	36.74	9.61	17.71
		เก็บก่อนยิง	15.86	37.87	36.98	36.49	17.72	58.69	54.23	87.2	30.93
		ง่ามนิ้วหลังมือขวา	742.17	66.84	109.25	91	89.52	85.06	52.26	52.08	60.69
		ง่ามนิ้วหลังมือขวา - กรด	722.6	59.1	93.8	74.4	87.5	82.5	15.5	42.5	43.0
		หลังมือขวา	208.37	15.41	52.35	69.27	49.88	53.03	41.15	25.96	27.15
		หลังมือขวา - กรด	188.8	7.6	36.9	52.6	47.9	50.5	4.4	16.4	9.4

ตารางที่ 21 ผลการวิเคราะห์ปริมาณ ตะกั่ว(Pb) บนมือผู้ยิงปืน กับ ระยะเวลาภายหลังการยิงปืนในช่วงเวลา 0-8 ชั่วโมง : ยิงปืนครั้งละ 3 นัด (ต่อ)

ตัวอย่างที่	ธาตุ	บริเวณที่เก็บตัวอย่าง	ระยะเวลา								
			0 ชั่วโมง	1 ชั่วโมง	2 ชั่วโมง	3 ชั่วโมง	4 ชั่วโมง	5 ชั่วโมง	6 ชั่วโมง	7 ชั่วโมง	8 ชั่วโมง
4	ตะกั่ว (Pb) (ug/l) (ppb)	กรดตัวอย่าง	10.36	7.24	15.38	23.35	1.57	0	9.8	7.21	19.39
		เก็บก่อนยิง	24.46	145.13	30.32	33.3	25.07	20.9	36.77	96.79	30.48
		ง่ามนิ้วหลังมือขวา	359.84	279.69	103.88	82.98	44.56	50.65	97.5	67.82	34.39
		ง่ามนิ้วหลังมือขวา - กรด	349.5	272.5	88.5	59.6	43.0	50.7	87.7	60.6	15.0
		หลังมือขวา	153.59	81.61	26.17	20.07	32.2	55.01	26.66	29.23	26.99
		หลังมือขวา - กรด	143.2	74.4	10.8	0.0	30.6	55.0	16.9	22.0	7.6
5	ตะกั่ว (Pb) (ug/l) (ppb)	กรดตัวอย่าง	18.73	13.78	22.82	20.23	2.92	9.21	10.59	7.58	21.66
		เก็บก่อนยิง	38.55	32.02	66.19	36.49	30.42	13.33	26.01	33.84	36.34
		ง่ามนิ้วหลังมือขวา	265.46	102.72	87.46	70.54	154.2	62.11	66.47	27.9	65.61
		ง่ามนิ้วหลังมือขวา - กรด	246.7	88.9	64.6	50.3	151.3	52.9	55.9	20.3	44.0
		หลังมือขวา	46.76	16.6	74.27	28.61	11.95	12.15	37.82	12.92	44.27
		หลังมือขวา - กรด	28.0	2.8	51.5	8.4	9.0	2.9	27.2	5.3	22.6
ผลรวมบริเวณง่ามนิ้วของหลังมือขวา			2245.8	588.7	448.5	360.3	435.9	297.8	245.0	248.7	221.6
ค่าเฉลี่ยบริเวณง่ามนิ้วของหลังมือขวา			449.2	117.7	89.7	72.1	87.2	59.6	49.0	49.7	44.3
ผลรวมบริเวณหลังมือขวา			602.7	102.5	194.4	139.3	143.0	150.6	58.3	94.8	57.9
ค่าเฉลี่ยบริเวณหลังมือขวา			120.5	20.5	38.9	27.9	28.6	30.1	11.7	19.0	11.6
ปริมาณ ตะกั่ว รวมบริเวณหลังมือขวา			569.7	138.3	128.6	99.9	115.8	89.7	60.6	68.7	55.9

ตารางที่ 22 ผลการวิเคราะห์ปริมาณ แอนติโมนี(Sb) บนมือผู้ยิงปืน กับ ระยะเวลาภายหลังการยิงปืนในช่วงเวลา 0-8 ชั่วโมง : ยิงปืนครั้งละ 9 นัด

ตัวอย่างที่	ธาตุ	บริเวณที่เก็บตัวอย่าง	ระยะเวลา								
			0 ชั่วโมง	1 ชั่วโมง	2 ชั่วโมง	3 ชั่วโมง	4 ชั่วโมง	5 ชั่วโมง	6 ชั่วโมง	7 ชั่วโมง	8 ชั่วโมง
1	แอนติโมนี (Sb) (ug/l) (ppb)	กรดตัวอย่าง	0.29	2.35	0.36	0.43	0.96	1.33	1.87	0.57	0.59
		เก็บก่อนยิง	1.43	4.82	2.25	1.97	1.62	1.58	1.65	1.03	4.90
		ง่ามนิ้วหลังมือขวา	565.60	350.02	452.29	215.56	316.20	61.85	29.21	19.15	18.86
		ง่ามนิ้วหลังมือขวา - กรด	565.3	347.7	451.9	215.1	315.2	60.5	27.3	18.6	18.3
		หลังมือขวา	81.87	201.19	343.08	79.29	84.98	23.23	23.02	19.15	42.26
		หลังมือขวา - กรด	81.6	198.8	342.7	78.9	84.0	21.9	21.1	7.2	41.7
2	แอนติโมนี (Sb) (ug/l) (ppb)	กรดตัวอย่าง	4.29	1.36	1.75	0.00	0.17	0.48	0.59	0.43	0.41
		เก็บก่อนยิง	2.01	2.03	1.66	6.55	1.04	0.87	1.00	1.27	2.20
		ง่ามนิ้วหลังมือขวา	2541.20	387.30	212.58	156.82	290.35	22.87	28.81	17.07	10.65
		ง่ามนิ้วหลังมือขวา - กรด	2536.9	385.9	210.8	156.8	290.2	22.4	28.2	16.6	10.2
		หลังมือขวา	884.11	248.27	175.42	145.83	50.69	50.43	16.31	11.70	4.11
		หลังมือขวา - กรด	879.8	246.9	173.7	145.8	50.5	50.0	15.7	11.3	3.7
3	แอนติโมนี (Sb) (ug/l) (ppb)	กรดตัวอย่าง	5.53	1.70	1.15	0.00	5.52	0.43	0.44	0.29	0.62
		เก็บก่อนยิง	2.17	2.20	1.72	1.02	1.79	1.69	0.92	0.84	0.64
		ง่ามนิ้วหลังมือขวา	4859.50	994.33	10.76	405.30	21.21	46.79	7.83	68.48	10.26
		ง่ามนิ้วหลังมือขวา - กรด	4854.0	992.6	9.6	405.3	15.7	46.4	7.4	68.2	9.6
		หลังมือขวา	427.17	609.00	9.17	492.30	6.10	22.46	5.40	4.94	12.45
		หลังมือขวา - กรด	421.6	607.3	8.0	492.3	0.6	22.0	5.0	4.7	11.8

ตารางที่ 22 ผลการวิเคราะห์ปริมาณ แอนติโมนี(Sb) บนมือผู้ยิงปืน กับ ระยะเวลาภายหลังการยิงปืนในช่วงเวลา 0-8 ชั่วโมง : ยิงปืนครั้งละ 9 นัด (ต่อ)

ตัวอย่างที่	ธาตุ	บริเวณที่เก็บตัวอย่าง	ระยะเวลา								
			0 ชั่วโมง	1 ชั่วโมง	2 ชั่วโมง	3 ชั่วโมง	4 ชั่วโมง	5 ชั่วโมง	6 ชั่วโมง	7 ชั่วโมง	8 ชั่วโมง
4	แอนติโมนี (Sb) (ug/l) (ppb)	กรดตัวอย่าง	4.67	3.40	0.65	0.00	0.00	0.47	0.40	0.55	0.27
		เก็บก่อนยิง	3.95	2.44	2.01	1.40	0.46	2.33	1.34	0.97	0.46
		ง่ามนิ้วหลังมือขวา	810.80	353.67	420.89	114.52	27.73	120.12	20.57	31.39	30.94
		ง่ามนิ้วหลังมือขวา - กรด	806.1	350.3	420.2	114.5	27.7	119.7	20.2	30.8	30.7
		หลังมือขวา	665.94	225.01	51.60	104.75	31.46	94.74	57.89	72.55	31.76
		หลังมือขวา - กรด	661.3	221.6	51.0	104.8	31.5	94.3	57.5	72.0	31.5
5	แอนติโมนี (Sb) (ug/l) (ppb)	กรดตัวอย่าง	3.77	1.95	1.01	0.00	0.00	0.40	0.39	0.40	0.27
		เก็บก่อนยิง	4.31	2.83	2.34	0.46	1.37	1.75	1.20	0.72	1.14
		ง่ามนิ้วหลังมือขวา	640.01	206.90	188.23	586.40	329.48	22.36	227.82	23.15	96.19
		ง่ามนิ้วหลังมือขวา - กรด	636.2	205.0	187.2	586.4	329.5	22.0	227.4	22.8	95.9
		หลังมือขวา	246.92	89.75	94.96	383.69	30.17	8.97	88.95	30.63	34.60
		หลังมือขวา - กรด	243.1	87.8	93.9	383.7	30.2	8.6	88.6	30.2	34.3
ผลรวมบริเวณง่ามนิ้วของหลังมือขวา			9398.6	2281.5	1279.8	1072.9	978.3	270.9	310.6	157.0	164.7
ค่าเฉลี่ยบริเวณง่ามนิ้วของหลังมือขวา			1879.7	456.3	256.0	214.6	195.7	54.2	62.1	31.4	32.9
ผลรวมบริเวณหลังมือขวา			2287.5	1362.5	669.3	1205.4	196.8	196.7	187.9	125.3	123.0
ค่าเฉลี่ยบริเวณหลังมือขวา			457.5	272.5	133.9	241.1	39.4	39.3	37.6	25.1	24.6
ปริมาณ แอนติโมนี รวมบริเวณหลังมือขวา			2337.2	728.8	389.8	455.7	235.0	93.5	99.7	56.5	57.5

ตารางที่ 23 ผลการวิเคราะห์ปริมาณ แบเรียม(Ba) บนมือผู้ยิงปืน กับ ระยะเวลาภายหลังการยิงปืนในช่วงเวลา 0-8 ชั่วโมง : ยิงปืนครั้งละ 9 นัด

ตัวอย่างที่	ธาตุ	บริเวณที่เก็บตัวอย่าง	ระยะเวลา								
			0 ชั่วโมง	1 ชั่วโมง	2 ชั่วโมง	3 ชั่วโมง	4 ชั่วโมง	5 ชั่วโมง	6 ชั่วโมง	7 ชั่วโมง	8 ชั่วโมง
1	แบเรียม (Ba) (ug/l) (ppb)	กรดตัวอย่าง	61.17	84.50	40.25	98.61	52.52	29.94	42.95	30.64	41.75
		เก็บก่อนยิง	68.72	93.53	55.69	81.36	88.69	47.46	53.13	68.20	79.07
		ง่ามนิ้วหลังมือขวา	6255.00	3827.00	3032.20	2456.90	2294.10	388.16	272.15	134.99	284.73
		ง่ามนิ้วหลังมือขวา - กรด	6193.8	3742.5	2992.0	2358.3	2241.6	358.2	229.2	104.3	243.0
		หลังมือขวา	1092.80	1994.70	2201.40	619.70	1167.70	405.15	265.17	90.98	496.11
		หลังมือขวา - กรด	1031.6	1910.2	2161.2	521.1	1115.2	375.2	222.2	60.3	454.4
2	แบเรียม (Ba) (ug/l) (ppb)	กรดตัวอย่าง	52.85	51.42	67.25	35.33	48.65	30.19	31.75	36.80	38.88
		เก็บก่อนยิง	70.42	51.07	59.67	76.68	50.54	36.59	73.43	52.58	43.32
		ง่ามนิ้วหลังมือขวา	10976.00	2618.80	2168.10	1140.60	1248.60	320.77	141.58	128.43	110.41
		ง่ามนิ้วหลังมือขวา - กรด	10923.2	2567.4	2100.9	1105.3	1199.9	290.6	109.8	91.6	71.5
		หลังมือขวา	4565.20	2510.50	2009.20	880.26	642.44	610.91	130.94	181.30	67.59
		หลังมือขวา - กรด	4512.4	2459.1	1942.0	844.9	593.8	580.7	99.2	144.5	28.7
3	แบเรียม (Ba) (ug/l) (ppb)	กรดตัวอย่าง	48.86	104.20	40.58	50.48	85.83	33.17	32.25	32.44	34.54
		เก็บก่อนยิง	60.37	65.31	91.88	40.52	51.89	44.92	70.51	53.90	54.48
		ง่ามนิ้วหลังมือขวา	1328.70	3931.30	99.36	1372.20	147.60	296.11	90.22	604.90	166.46
		ง่ามนิ้วหลังมือขวา - กรด	1279.8	3827.1	58.8	1321.7	61.8	262.9	58.0	572.5	131.9
		หลังมือขวา	4774.40	3407.40	252.29	1104.40	87.68	182.02	102.88	93.11	144.99
		หลังมือขวา - กรด	4725.5	3303.2	211.7	1053.9	1.8	148.9	70.6	60.7	110.5

ตารางที่ 23 ผลการวิเคราะห์ปริมาณ แบเรียม(Ba) บนมือผู้ยิงปืน กับ ระยะเวลาภายหลังการยิงปืนในช่วงเวลา 0-8 ชั่วโมง : ยิงปืนครั้งละ 9 นัด (ต่อ)

ตัวอย่างที่	ธาตุ	บริเวณที่เก็บตัวอย่าง	ระยะเวลา								
			0 ชั่วโมง	1 ชั่วโมง	2 ชั่วโมง	3 ชั่วโมง	4 ชั่วโมง	5 ชั่วโมง	6 ชั่วโมง	7 ชั่วโมง	8 ชั่วโมง
4	แบเรียม (Ba) (ug/l) (ppb)	กรดตัวอย่าง	54.46	88.10	42.57	50.98	44.35	32.97	40.62	37.77	29.82
		เก็บก่อนยิง	126.06	72.99	50.32	51.04	32.29	100.26	71.71	82.78	71.42
		ง่ามนิ้วหลังมือขวา	5428.50	3838.80	5525.40	652.96	169.45	562.05	211.73	275.03	343.09
		ง่ามนิ้วหลังมือขวา - กรด	5374.0	3750.7	5482.8	602.0	125.1	529.1	171.1	237.3	313.3
		หลังมือขวา	5316.80	1843.30	829.49	559.69	356.74	506.47	440.00	817.76	377.73
		หลังมือขวา - กรด	5262.3	1755.2	786.9	508.7	312.4	473.5	399.4	780.0	347.9
5	แบเรียม (Ba) (ug/l) (ppb)	กรดตัวอย่าง	56.45	56.82	79.29	51.51	33.87	44.99	39.81	34.79	37.00
		เก็บก่อนยิง	86.45	75.44	118.84	65.89	71.21	66.01	52.43	50.73	56.60
		ง่ามนิ้วหลังมือขวา	2556.60	1185.00	1401.40	1591.80	2267.60	223.13	882.64	229.45	759.37
		ง่ามนิ้วหลังมือขวา - กรด	2500.2	1128.2	1322.1	1540.3	2233.7	178.1	842.8	194.7	722.4
		หลังมือขวา	1025.10	536.43	595.08	1595.40	480.00	177.92	427.51	493.90	557.71
		หลังมือขวา - กรด	968.7	479.6	515.8	1543.9	446.1	132.9	387.7	459.1	520.7
ผลรวมบริเวณง่ามนิ้วของหลังมือขวา			26271.0	15015.9	11956.5	6927.5	5862.1	1619.0	1410.9	1200.4	1482.1
ค่าเฉลี่ยบริเวณง่ามนิ้วของหลังมือขวา			5254.2	3003.2	2391.3	1385.5	1172.4	323.8	282.2	240.1	296.4
ผลรวมบริเวณหลังมือขวา			16500.5	9907.3	5617.5	4472.5	2469.3	1711.2	1179.1	1504.6	1462.2
ค่าเฉลี่ยบริเวณหลังมือขวา			3300.1	1981.5	1123.5	894.5	493.9	342.2	235.8	300.9	292.4
ปริมาณ แบเรียม รวมบริเวณหลังมือขวา			8554.3	4984.6	3514.8	2280.0	1666.3	666.0	518.0	541.0	588.8

ตารางที่ 24 ผลการวิเคราะห์ปริมาณ ตะกั่ว(Pb) บนมือผู้ยิงปืน กับ ระยะเวลาภายหลังการยิงปืนในช่วงเวลา 0-8 ชั่วโมง : ยิงปืนครั้งละ 9 นัด

ตัวอย่างที่	ธาตุ	บริเวณที่เก็บตัวอย่าง	ระยะเวลา								
			0 ชั่วโมง	1 ชั่วโมง	2 ชั่วโมง	3 ชั่วโมง	4 ชั่วโมง	5 ชั่วโมง	6 ชั่วโมง	7 ชั่วโมง	8 ชั่วโมง
1	ตะกั่ว (Pb) (ug/l) (ppb)	กรดตัวอย่าง	8.71	7.93	7.80	10.47	8.62	11.15	8.96	10.09	13.78
		เก็บก่อนยิง	24.43	50.38	23.74	31.16	27.72	39.94	17.71	39.94	69.67
		ง่ามนิ้วหลังมือขวา	730.91	434.13	443.09	346.34	273.37	180.95	80.55	66.46	122.46
		ง่ามนิ้วหลังมือขวา - กรด	722.2	426.2	435.3	335.9	264.7	169.8	71.6	56.4	108.7
		หลังมือขวา	111.70	211.43	321.68	90.83	144.85	107.32	48.10	50.84	95.47
		หลังมือขวา - กรด	103.0	203.5	313.9	80.4	136.2	96.2	39.1	40.7	81.7
2	ตะกั่ว (Pb) (ug/l) (ppb)	กรดตัวอย่าง	39.51	8.31	9.07	3.64	7.37	7.00	7.04	9.80	10.53
		เก็บก่อนยิง	48.24	19.31	20.67	13.23	10.70	15.36	11.41	9.69	42.95
		ง่ามนิ้วหลังมือขวา	2076.90	426.87	299.24	209.21	203.26	100.15	76.14	104.97	101.68
		ง่ามนิ้วหลังมือขวา - กรด	2037.4	418.6	290.2	205.6	195.9	93.1	69.1	95.2	91.2
		หลังมือขวา	733.44	300.08	155.39	124.46	80.74	90.41	28.00	44.58	34.19
		หลังมือขวา - กรด	693.9	291.8	146.3	120.8	73.4	83.4	21.0	34.8	23.7
3	ตะกั่ว (Pb) (ug/l) (ppb)	กรดตัวอย่าง	23.99	8.56	7.38	4.90	12.15	5.31	8.34	7.75	16.29
		เก็บก่อนยิง	68.73	20.25	15.90	13.87	13.36	21.10	13.44	12.58	13.02
		ง่ามนิ้วหลังมือขวา	5374.00	532.56	61.48	280.86	97.92	116.52	53.21	78.73	52.21
		ง่ามนิ้วหลังมือขวา - กรด	5350.0	524.0	54.1	276.0	85.8	111.2	44.9	71.0	35.9
		หลังมือขวา	673.56	385.30	40.18	161.29	25.94	40.84	63.41	22.86	81.96
		หลังมือขวา - กรด	649.6	376.7	32.8	156.4	13.8	35.5	55.1	15.1	65.7

ตารางที่ 24 ผลการวิเคราะห์ปริมาณ ตะกั่ว(Pb) บนมือผู้ยิงปืน กับ ระยะเวลาภายหลังการยิงปืนในช่วงเวลา 0-8 ชั่วโมง : ยิงปืนครั้งละ 9 นัด (ต่อ)

ตัวอย่างที่	ธาตุ	บริเวณที่เก็บตัวอย่าง	ระยะเวลา								
			0 ชั่วโมง	1 ชั่วโมง	2 ชั่วโมง	3 ชั่วโมง	4 ชั่วโมง	5 ชั่วโมง	6 ชั่วโมง	7 ชั่วโมง	8 ชั่วโมง
4	ตะกั่ว (Pb) (ug/l) (ppb)	กรดตัวอย่าง	9.43	12.70	11.02	6.28	5.02	6.33	5.87	8.51	6.65
		เก็บก่อนยิง	28.91	19.17	18.29	52.26	8.94	29.87	29.70	13.83	21.33
		ง่ามนิ้วหลังมือขวา	777.21	380.82	553.33	238.78	86.34	133.13	88.84	144.38	160.30
		ง่ามนิ้วหลังมือขวา - กรด	767.8	368.1	542.3	232.5	81.3	126.8	83.0	135.9	153.6
		หลังมือขวา	612.79	275.07	86.02	90.75	44.17	90.66	72.58	136.71	72.23
		หลังมือขวา - กรด	603.4	262.4	75.0	84.5	39.1	84.3	66.7	128.2	65.6
5	ตะกั่ว (Pb) (ug/l) (ppb)	กรดตัวอย่าง	10.75	9.11	9.06	6.81	4.33	8.88	6.17	9.39	8.38
		เก็บก่อนยิง	54.11	40.78	24.28	14.62	71.90	23.25	10.42	13.78	14.35
		ง่ามนิ้วหลังมือขวา	450.18	223.13	156.95	245.20	400.29	83.51	197.37	83.48	173.17
		ง่ามนิ้วหลังมือขวา - กรด	439.4	214.0	147.9	238.4	396.0	74.6	191.2	74.1	164.8
		หลังมือขวา	189.56	86.58	104.44	172.86	93.60	29.25	85.19	51.58	68.53
		หลังมือขวา - กรด	178.8	77.5	95.4	166.1	89.3	20.4	79.0	42.2	60.1
ผลรวมบริเวณง่ามนิ้วของหลังมือขวา			9316.8	1950.9	1469.8	1288.3	1023.7	575.6	459.7	432.5	554.2
ค่าเฉลี่ยบริเวณง่ามนิ้วของหลังมือขวา			1863.4	390.2	294.0	257.7	204.7	115.1	91.9	86.5	110.8
ผลรวมบริเวณหลังมือขวา			2228.7	1211.9	663.4	608.1	351.8	319.8	260.9	261.0	296.7
ค่าเฉลี่ยบริเวณหลังมือขวา			445.7	242.4	132.7	121.6	70.4	64.0	52.2	52.2	59.3
ปริมาณ ตะกั่ว รวมบริเวณหลังมือขวา			2309.1	632.5	426.6	379.3	275.1	179.1	144.1	138.7	170.2

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ - สกุล	พันตำรวจโท เชิดพงศ์ ชุกกลิ่น
ที่อยู่	30/171 หมู่ที่ 4 ถ.พัฒนาการคูขวาง ตำบลปากนคร อำเภอเมือง จังหวัดนครศรีธรรมราช
ที่ทำงาน	กลุ่มงานตรวจสอบสถานที่เกิดเหตุ กองพิสูจน์หลักฐานกลาง สำนักงานพิสูจน์หลักฐานตำรวจ สำนักงานตำรวจแห่งชาติ โทรศัพท์ 0 - 2205 - 1739
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ. 2540	ปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต (สาขาฟิสิกส์) คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
พ.ศ. 2550 - ปัจจุบัน	ศึกษาต่อระดับปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร
ประวัติการทำงาน	
พ.ศ. 2541 - 2543	อาจารย์สอนวิชาวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ โรงเรียนนครราชสีมาศึกษา จังหวัดนครศรีธรรมราช
พ.ศ. 2544 - 2549	รองสารวัตรงาน 3 กองกำกับการ 1 กองพิสูจน์หลักฐาน สำนักงานวิทยาการตำรวจ
พ.ศ. 2549 - 2552	นักวิทยาศาสตร์ (สบ 1) กลุ่มงานตรวจสอบสถานที่เกิดเหตุ กองพิสูจน์หลักฐาน สำนักงานนิติวิทยาศาสตร์ตำรวจ
พ.ศ. 2551 - 2552	นักวิทยาศาสตร์ (สบ 2) กลุ่มงานตรวจสอบสถานที่เกิดเหตุ กองพิสูจน์หลักฐาน สำนักงานนิติวิทยาศาสตร์ตำรวจ
พ.ศ. 2552 - ปัจจุบัน	นักวิทยาศาสตร์ (สบ 2) กลุ่มงานตรวจสอบสถานที่เกิดเหตุ กองพิสูจน์หลักฐานกลาง สำนักงานพิสูจน์หลักฐานตำรวจ