



การประเมินประสิทธิภาพของก้านล้าที่ใช้เก็บตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์เขม่าป็น สำหรับเทคนิค
ICP-MS (Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometer)

โดย

พันตำรวจตรีหญิงสร้อย นุช ชุกกลิน

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2554

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

การประเมินประสิทธิภาพของก้านล้าที่ใช้เก็บตัวอย่างสำหรับวิเคราะห์เมป็น สำหรับเทคนิค
ICP-MS (Inductively Coupled plasma mass spectrometry)

โดย
พันตำรวจตรีหญิง สรัลนุช ชุกกลิ่น

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร
ปีการศึกษา 2554
ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

**EVALUATION OF COTTON BUD AS A TOOL IN SAMPLE A COLLECTION FOR GSR
ANALYSIS BY ICP-MS (INDUCTIVELY COUPLED PLASMA - MASS SPECTROMET)**

By

Police Major Sarannuch Chuklin

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 “ การประเมินประสิทธิภาพของก้านสำลีที่ใช้เก็บตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์เขม่าป็น สำหรับเทคนิค ICP-MS (Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometer)” เสนอโดย พันตำรวจตรีหญิงสร้อย นุชกลิน เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์

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

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

1. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นรงค์ นิมพลี
2. พันตำรวจโท ดร.สฤณี สืบพงษ์ศิริ

คณะกรรมการตรวจสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ พันตำรวจเอกสันต์ สุขวังนั)
...../...../.....

..... กรรมการ
(พลตำรวจโท อมรรักษ์ ทุะนันทนั)
...../...../.....

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นรงค์ นิมพลี)
...../...../.....

..... กรรมการ
(พันตำรวจโท ดร.สฤณี สืบพงษ์ศิริ)
...../...../.....

50312332 : สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์

คำสำคัญ : เหม่าปิ่น / เทคนิค ICP-MS

สรุกลักษณะ : การประเมินประสิทธิภาพของก้านสำลีที่ใช้เป็นตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์เหม่าปิ่น สำหรับเทคนิค ICP-MS (Inductively Coupled plasma mass spectrometry). อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ : ผศ. ดร. นรงค์ ฉิมพาลี และ พ.ต.ท. ดร. สฤษดิ์ สืบพงษ์ศิริ. 97 หน้า.

แท่งพลาสติกปลายพันสำลี (cotton bud) ที่จำหน่ายในท้องตลาดมีมากมายหลายยี่ห้อในแต่ละปี กองพิสูจน์หลักฐานกลาง ได้ใช้ แท่งพลาสติกปลายพันสำลี เป็นจำนวนมาก ในการเก็บเหม่าปิ่น ซึ่งมีขายอยู่ทั่วไปตามท้องตลาด และยังไม่มีการวิจัย ที่แนะนำว่า แท่งพลาสติกปลายพันสำลี ยี่ห้อใดดีที่สุดในการเก็บเหม่าปิ่น ในงานวิจัยนี้ ได้ศึกษาเปรียบเทียบปริมาณของ แอนติโมนี (Sb), แบเรียม(Ba) และ ตะกั่ว(Pb) ที่เก็บจากแท่งพลาสติกปลายพันสำลี จำนวน 4 ยี่ห้อ ได้แก่ เอเวอร์กรีน, ดีนี, โฮมเฟรชมาร์ท, รถพยาบาล และศึกษาเปรียบเทียบปริมาณของ แอนติโมนี แบเรียม และตะกั่ว ที่เก็บจากแท่งพลาสติกปลายพันสำลี ที่ชุบสารละลาย 5% Nitric กับแท่งพลาสติกปลายพันสำลี ที่ชุบสารละลายผสมระหว่าง 5%Nitric + 2%Tartalic acid + 2% Citric acid โดยใช้อาวุธปืนกึ่งอัตโนมัติ ขนาด 9 มิลลิเมตร ยี่ห้อ GLOCK ในการวิเคราะห์หาปริมาณของ แอนติโมนี(Sb), แบเรียม(Ba) และตะกั่ว(Pb) โดยใช้เทคนิค Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry (ICP-MS) และใช้ปริมาณของธาตุทั้ง 3 ธาตุ เป็นการวัดปริมาณของเหม่าปิ่น เก็บตัวอย่างโดยใช้แท่งพลาสติกปลายพันสำลี จำนวน 4 ยี่ห้อ เก็บตัวอย่างภายหลังจากการยิงปืน

จากผลการทดลองพบว่า แท่งพลาสติกปลายพันสำลี (cotton bud) ทั้ง 4 ยี่ห้อ มีความสามารถในการดูดซับเหม่าปิ่นได้ไม่แตกต่างกัน สำหรับการศึกษาค่าเปรียบเทียบสารละลาย 5% Nitric กับสารละลายผสมระหว่าง 5%Nitric + 2%Tartalic acid + 2% Citric acid พบว่า เมื่อใช้แท่งพลาสติกปลายพันสำลีชุบสารละลายกรดไนตริก 5% เก็บตัวอย่างเหม่าปิ่น แล้วนำไปแช่ในสารละลายผสมระหว่าง 5%Nitric + 2%Tartalic acid + 2% Citric acid สามารถตรวจพบปริมาณของ แอนติโมนี(Sb), แบเรียม(Ba) และ ตะกั่ว(Pb) ได้มากกว่าการใช้สารละลายผสมระหว่าง 5%Nitric + 2%Tartalic acid + 2% Citric acid หรือ สารละลายกรดไนตริก 5% เพียงอย่างเดียว ในการเก็บตัวอย่างเหม่าปิ่น และสารละลายผสมฯ ดังกล่าว ยังช่วยให้ปริมาณ ของ แอนติโมนี(Sb), แบเรียม(Ba) และ ตะกั่ว(Pb) ได้ค่าความเที่ยงตรงมากกว่าการใช้ สารละลายกรดไนตริก 5%

สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2554

ลายมือชื่อนักศึกษา.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ 1. 2.

50312332 : MAJOR : FORENSIC SCIENCE

KEY WORDS : GUNSHOT RESIDUES / ICP - MS TECHNIQUES

SARANUT CHUKLING : EVALUATION OF COTTON BUD AS A TOOL IN SAMPLE COLLECTION FOR GSR ANALYSIS BY ICP-MS (INDUCTIVELY COUPLED PLASMA - MASS SPECTROMETRY). THESIS ADVISORS: ASST. PROF. NARONG CHIMPALEE, Ph.D. AND POL.LT.COL. SARIT SUEBPONGSIRI, Ph.D. 97 pp.

There are many cotton bud brands in the market that are provided to customers. Central Scientific Crime Detection Division is the one of the main customer who orders many cotton buds per year to use them for collecting gunshot residues. Until now there is no research or any paper that can suggest which brand is the best to use for this propose. This research compares the amount of Antimony(Sb), Barium(Ba), and Lead (Pb) that was collected from the volunteer's hand after shooting the GLOCK 9 mm LUGER semi-automatic pistol. The gunshot residues were collected by 4 different cotton bud brands (EVERGREEN, DEENEE, HOME FRESH MART and AMBULANCE) that were dipped in 5% Nitric acid + 2% Tartaric acid + 2% Citric acid solution before use. The amount of these 3 elements was measured by ICP-MS Technique. This research even tries to figure out the chemical solution that is most compatible for collecting gunshot residues. The 5% Nitric acid + 2% Tartaric acid + 2% Citric acid solution was compared to the 5% Nitric acid solution.

The summary were all 4 cotton bud brands could collect amount of 3 elements from gunshot residue by 5% Nitric acid not so big different. From this result show the amount of gunshot residue is not related to cotton bud brands.

The comparesion between amount of 3 elements that collected by different way of mixing extract solution. Extract chemical solution 5% Nitric acid use for collecting gunshot residue then leave in 5% Nitric acid + 2Taralic acid + 2%Citric acid can extra the amount of 3 elements from cotton bud more than using pure 5% Nitric acid.

The precision of gunshot residues amount that extract by 5% Nitric acid + 2%Taralic acid + 2%Citric acid better than extract by pure 5% Nitric acid .

Program of Forensic Science Graduate School, Silpakorn University Academic Year 2011
Student's signature
Thesis Advisors' signature 1. 2.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ได้ด้วยความกรุณาและความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นรงค์ นิมพาลี และ พันตำรวจโท ดร. สฤษดิ์ สืบพงษ์ศิริ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำและคำปรึกษาในทุกขั้นตอนของการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ อีกทั้งให้ความช่วยเหลือแก้ไขปรับปรุงวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์และสำเร็จลุล่วงลงได้ด้วยดี ผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณ กลุ่มงานตรวจอาวุธปืนและเครื่องกระสุน กองพิสูจน์หลักฐานกลาง สำนักงานพิสูจน์หลักฐานตำรวจ สำนักงานตำรวจแห่งชาติ ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ทำการทดลอง, เครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

ขอขอบคุณ พันตำรวจโท เชิดพงศ์ ชุกกลิ่น, พันตำรวจโท ธนศักดิ์ บุญมาก, ร้อยตำรวจเอกหญิง อัจฉราภรณ์ ประสงค์ และ ร้อยตำรวจเอกหญิง สุวรรณิ บุญส่งไพโรจน์ ที่คอยให้ความช่วยเหลือและความอนุเคราะห์อาวุธปืนที่ใช้ในการทดลอง ที่ให้ความช่วยเหลือในขั้นตอนของการเก็บตัวอย่าง รวมทั้งผู้ที่ไม่ได้กล่าวนามทุกท่าน ซึ่งมีส่วนช่วยเหลือจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ประสบผลสำเร็จได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ คุณค่าและประโยชน์จากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบเป็นเครื่องบูชาพระคุณแต่บิดา มารดา ครูอาจารย์ ของผู้วิจัยที่ อบรมสั่งสอน แนะนำ ให้การสนับสนุน และให้กำลังใจจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลงได้ด้วยดี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญตาราง	ซ
สารบัญภาพ	ฌ
บทที่	
1 บทนำ	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
สมมติฐานของการวิจัย	2
ขอบเขตของการวิจัย	2
ตัวแปรที่ศึกษา	3
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการวิจัย	3
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
เอกสารที่เกี่ยวข้อง	4
อาวุธปืนและเครื่องกระสุนปืน	9
ลำลีพั่นก้าน(cotton bud).....	28
หลักการพื้นฐานของเครื่อง Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry (ICP-MS)	30
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	41
3 วิธีดำเนินการวิจัย	43
เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย	43
สารเคมีที่ใช้ในการวิจัย	43
การเตรียมสารละลายมาตรฐาน	44
วิธีการวิเคราะห์หาเขม่าปืน (GSR) บนมือผู้ยิงปืนด้วยเทคนิค ICP-MS	48
แผนผังแสดงการวิเคราะห์	57

บทที่	หน้า
4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล	
ผลการวิเคราะห์ปริมาณ แอนติโมนี แบเรียม และตะกั่ว ของกระสุนปืน	
ที่ใช้ในการทดลอง	58
ผลการวิเคราะห์หาจำนวนนัดของการยิง	60
ผลการวิเคราะห์หาผลของการล้างทำความสะอาดอาวุธปืนก่อนนำมาใช้	
ใช้ยิงทดสอบ	60
ผลการวิเคราะห์หาบริเวณที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างบนมือของผู้ยิงปืน	60
ผลการวิเคราะห์ปริมาณเขม่าปืนที่เก็บด้วยสำลีพันปลายแท่งพลาสติก	62
ผลการวิเคราะห์เขม่าปืน เมื่อชุบสำลีพันปลายแท่งพลาสติกด้วยสารละลาย	
ต่างชนิดกัน	65
5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	71
สรุปผลการวิจัย	71
ข้อเสนอแนะ	72
บรรณานุกรม	73
ภาคผนวก	75
ภาคผนวก ก กราฟมาตรฐานของการวิเคราะห์ปริมาณของธาตุแอนติโมนี	
แบเรียม และตะกั่ว บนมือผู้ยิงปืน โดยเทคนิค ICP-MS	76
ภาคผนวก ข ตัวอย่างผลการวิเคราะห์ปริมาณของธาตุแอนติโมนี แบเรียม	
และตะกั่ว บนมือผู้ยิงปืน	81
ภาคผนวก ค การหาประสิทธิภาพของการวิเคราะห์	83
ภาคผนวก ง ผลการวิเคราะห์หาปริมาณของธาตุแอนติโมนี แบเรียม	
และตะกั่ว บนมือผู้ยิงปืน โดยเทคนิค ICP-MS	85
ประวัติผู้วิจัย	96

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ธาตุโลหะสำคัญที่มีใน Primer Cap	8
2	ขนาดของลำลีพนัก้าน(cotton bud) ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม.....	29
3	เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย	43
4	สารเคมีที่ใช้ในการวิจัย	44
5	การเตรียมสารละลายมาตรฐาน แอนติโมนี แบเรียม ตะกั่ว	45
6	สถานะของเครื่อง Inductively Couple Plasma - Mass Spectrometer	56
7	แสดงค่าปริมาณแอนติโมนี(Sb) แบเรียม(Ba) และตะกั่ว(Pb) ในแก้วของ กระสุนปืนออตโตเมติก ขนาด 9 มม. ที่ใช้ในการทำงานวิจัย โดยการ	58
8	แสดงค่าปริมาณแอนติโมนี(Sb) แบเรียม(Ba) และตะกั่ว(Pb) ในแก้วของ กระสุนปืนออตโตเมติก ขนาด 9 มม. ที่ใช้ในการทำงานวิจัย โดยการ	61
9	ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานแอนติโมนี แบเรียม และตะกั่ว ความเข้มข้นที่ 1	76
10	ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานแอนติโมนี แบเรียม และตะกั่ว ความเข้มข้นที่ 2	77
11	ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานแอนติโมนี แบเรียม และตะกั่ว ความเข้มข้นที่ 3	78
12	ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานแอนติโมนี แบเรียม และตะกั่ว ความเข้มข้นที่ 4	79
13	ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานแอนติโมนี แบเรียม และตะกั่ว ความเข้มข้นที่ 5	80
14	ผลการวิเคราะห์ปริมาณ แอนติโมนี แบเรียม ตะกั่ว ที่ตรวจพบในส่วนต่างๆ ของมือทั้งสองข้างของผู้ยิงปืน.....	86
15	ผลการวิเคราะห์ปริมาณ แอนติโมนี แบเรียม ตะกั่ว ในสถานะล้างปืน เปรียบเทียบกับไม่ล้างปืน	87
16	ผลการวิเคราะห์ปริมาณ แอนติโมนี แบเรียม ตะกั่ว ที่มือทั้งสองข้างของผู้ยิงปืน ภายหลังจากการยิงปืนทันที	88

ตารางที่		หน้า
17	ผลการวิเคราะห์ปริมาณ แอนติโมนี แบเรียม ตะกั่ว เมื่อหุบและแช่ก้านสำลี พ่นปลายแท่งพลาสติกในสารละลายผสมระหว่าง 5% Nitric acid + 2% Tartalic acid + 2% Citric acid	89
18	ผลการวิเคราะห์ปริมาณ แอนติโมนี แบเรียม ตะกั่ว บนแผ่นกระเบื้องด้วย สำลีพ่นปลายแท่งพลาสติกยี่ห้อเอเวอร์กรีน	90
19	ผลการวิเคราะห์ปริมาณ แอนติโมนี แบเรียม ตะกั่ว บนแผ่นกระเบื้องด้วย สำลีพ่นปลายแท่งพลาสติกยี่ห้อคีนี.....	91
20	ผลการวิเคราะห์ปริมาณ แอนติโมนี แบเรียม ตะกั่ว บนแผ่นกระเบื้องด้วย สำลีพ่นปลายแท่งพลาสติกยี่ห้อโฮมเฟรชมาร์ท	92
21	ผลการวิเคราะห์ปริมาณ แอนติโมนี แบเรียม ตะกั่ว บนแผ่นกระเบื้องด้วย สำลีพ่นปลายแท่งพลาสติกยี่ห้อรพยาบาล	93
22	ผลการเปรียบเทียบปริมาณ แอนติโมนี แบเรียม ตะกั่ว บนแผ่นกระเบื้อง เมื่อเช็ดด้วยสำลีพ่นปลายแท่งพลาสติกต่างยี่ห้อ.....	94
23	ผลการเปรียบเทียบปริมาณ แอนติโมนี แบเรียม ตะกั่ว บนแผ่นกระเบื้อง เมื่อเช็ดด้วยสำลีพ่นปลายแท่งพลาสติกต่างยี่ห้อ.....	95

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	เขม่าปืน หรือ Gunshot Residues ; GSR	4
2	ส่วนประกอบของกระสุนปืนและแก๊ปปืน	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 ตามความในมาตรา 4(1) .	10
8	ปืนสั้นที่ทำจากต่างประเทศ	12
9	ปืนสั้นที่ทำเองภายในประเทศ	13
10	ปืนยาวที่ทำจากต่างประเทศ	14
11	ปืนยาวที่ทำขึ้นเองภายในประเทศ	15
12	ปืนที่มีเกลียวภายในลำกล้อง	16
13	ปืนที่ไม่มีเกลียวภายในลำกล้อง	17
14	กระสุนปืนขนาดต่างๆ	19
15	ส่วนประกอบของกระสุนปืนลูกโดด.....	19
16	ลูกกระสุนปืนแบบต่างๆ	19
17	ลูกกระสุนปืนแบบต่างๆ	23
18	ปลอกกระสุนปืนแบบต่างๆ	24
19	ดินดำ (Black Powder)	24
20	ดินดำแบบใหม่ (Pyrodex)	25
21	ดินควันน้อยรูปร่างต่างๆ	25
22	ชนวนจันท้ายกระสุนปืน หรือ แก๊ปปืน	26
23	ส่วนประกอบของกระสุนปืนลูกซอง	26
24	กระสุนปืนลูกซองขนาดต่างๆ	27
25	ปากปลอกกระสุนปืนแบบต่างๆ	28
26	ขนาดของลำสีพันก้าน.....	28
27	กระบวนการต่างๆ ที่เกิดในพลาสมา	33

ภาพที่		หน้า
28	การทำงานของ quadrupole mass analyzer	35
29	อาวุธปืนพกกึ่งอัตโนมัติ ขนาด 9 มม. LUGER	46
30	กระสุนปืนอโตเมติก ขนาด 9 มม. LUGER	46
31	สำลีพันปลายแท่งพลาสติก (cotton bud) ที่ใช้ในการทดลอง.....	47
32	ห้องทดสอบยิงปืน กลุ่มงานตรวจอาวุธปืนและเครื่องกระสุน.....	47
33	บริเวณที่ใช้เก็บตัวอย่างในการทดลอง.....	48
34	ตำแหน่งที่วางอาวุธปืนและแผ่นกระเบื้อง.....	49
35	แสดงการจับปืนและการวางตำแหน่งปืน	50
36	วิธีการการเก็บเขม่าปืนบนแผ่นกระเบื้อง	51
37	ซองเก็บตัวอย่าง	52
38	ซองเก็บตัวอย่าง	54
39	ซองเก็บตัวอย่างบนมือ.....	55
40	ขั้นตอนการวิเคราะห์	57
41	ปริมาณของธาตุแอนติโมนี (Sb) , แบเรียม (Ba) และตะกั่ว (Pb) ใน แก๊ปกระสุนปืนที่ใช้ในการทดลอง.....	58
42	ปริมาณของธาตุแอนติโมนี (Sb) , แบเรียม (Ba) และตะกั่ว (Pb) จากการยิงปืน 1 นัด, 2 นัด และ 3 นัด.....	59
43	ปริมาณธาตุทั้ง 3 ระหว่างล้างกับไม่ล้างทำความสะอาดปืน.....	60
44	เปรียบเทียบปริมาณของธาตุแอนติโมนี (Sb) , แบเรียม (Ba) และตะกั่ว (Pb) ที่เก็บจากสำลีพันปลายแท่งพลาสติกยี่ห้อเอเวอร์กรีนกับรดยาบาล.....	62
45	เปรียบเทียบปริมาณของธาตุแอนติโมนี (Sb) , แบเรียม (Ba) และตะกั่ว (Pb) ที่เก็บจากสำลีพันปลายแท่งพลาสติกยี่ห้อคีนีกับโซมเฟรชมาร์ท	62
46	เปรียบเทียบปริมาณของธาตุแอนติโมนี (Sb) , แบเรียม (Ba) และตะกั่ว (Pb) ที่เก็บจากสำลีพันปลายแท่งพลาสติกยี่ห้อเอเวอร์กรีนกับคีนี	63
47	เปรียบเทียบปริมาณของธาตุแอนติโมนี (Sb) , แบเรียม (Ba) และตะกั่ว (Pb) ที่เก็บจากสำลีพันปลายแท่งพลาสติกยี่ห้อรดยาบาลกับโซมเฟรชมาร์ท ...	63
48	เปรียบเทียบปริมาณของธาตุแอนติโมนี (Sb) , แบเรียม (Ba) และตะกั่ว (Pb) ที่เก็บจากสำลีพันปลายแท่งพลาสติกยี่ห้อเอเวอร์กรีนกับโซมเฟรชมาร์ท ...	64

ภาพที่	หน้า
49	เปรียบเทียบปริมาณของธาตุแอนติโมนี (Sb) , แบเรียม (Ba) และตะกั่ว (Pb) ที่เก็บจากสำลีพันปลายแท่งพลาสติกหือรดยาบาลกับโซมเฟรชมาร์ท ...64
50	เปรียบเทียบปริมาณของธาตุแอนติโมนี (Sb) , แบเรียม (Ba) และตะกั่ว (Pb) ที่ชุบด้วยสารละลายกรดต่างชนิดกัน แล้วนำไปแช่ในสารละลาย ผสมระหว่าง5%Nitric acid+ 2%Tartalic acid + 2% Citric acid 65
51	เปรียบเทียบปริมาณของธาตุแอนติโมนี (Sb) , แบเรียม (Ba) และตะกั่ว (Pb) ที่ชุบด้วยสารละลายกรดต่างชนิดกัน แล้วนำไปแช่ในสารละลาย ผสมระหว่าง5%Nitric acid+ 2%Tartalic acid + 2% Citric acid 66
52	เปรียบเทียบปริมาณของธาตุแอนติโมนี (Sb) , แบเรียม (Ba) และตะกั่ว (Pb) ที่ใช้สำลีพันปลายแท่งพลาสติกหือเอเวอร์กรีนชุบและแช่ด้วย สารละลายกรดต่างชนิดกัน 67
53	เปรียบเทียบปริมาณของธาตุแอนติโมนี (Sb) , แบเรียม (Ba) และตะกั่ว (Pb) ที่ใช้สำลีพันปลายแท่งพลาสติกหือดีนชุบและแช่ด้วย สารละลายกรดต่างชนิดกัน 68
54	เปรียบเทียบปริมาณของธาตุแอนติโมนี (Sb) , แบเรียม (Ba) และตะกั่ว (Pb) ที่ใช้สำลีพันปลายแท่งพลาสติกหือโซมเฟรชมาร์ทชุบและแช่ด้วย สารละลายกรดต่างชนิดกัน 68
55	เปรียบเทียบปริมาณของธาตุแอนติโมนี (Sb) , แบเรียม (Ba) และตะกั่ว (Pb) ที่ใช้สำลีพันปลายแท่งพลาสติกหือรดยาบาลชุบและแช่ด้วย สารละลายกรดต่างชนิดกัน 69
56	เปรียบเทียบปริมาณของธาตุแอนติโมนี (Sb) , แบเรียม (Ba) และตะกั่ว (Pb) ที่ใช้สำลีพันปลายแท่งพลาสติกชุบและแช่ด้วยสารละลายกรดต่างชนิดกัน .70
57	กราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานแอนติโมนี แบเรียม และตะกั่ว ความเข้มข้น 10 – 20 – 40 ppb 76
58	กราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานแอนติโมนี แบเรียม และตะกั่ว ความเข้มข้น 20 – 40 – 80 ppb 77
59	กราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานแอนติโมนี แบเรียม และตะกั่ว ความเข้มข้น 40 – 80 – 160 ppb 78

ภาพที่		หน้า
60	กราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานแอนติโมนี แบบเรียบ และตะกั่ว ความเข้มข้น 80 – 160 – 320 ppb	79
61	กราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานแอนติโมนี แบบเรียบ และตะกั่ว ความเข้มข้น 160 – 320 – 640 ppb	80

บทที่ 1

บทนำ

1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

จากสภาพสังคมในปัจจุบัน คดีอาชญากรรมเกิดขึ้นมากมาย การนำตัวผู้กระทำความผิดที่แท้จริงมาลงโทษ ตามกระบวนการยุติธรรมนั้น เป็นสิ่งสำคัญ ในการดำเนินคดีอาญา พนักงานสอบสวน เป็นผู้มีอำนาจหน้าที่ในการรวบรวมพยานหลักฐานต่างๆเกี่ยวกับความผิดที่มีการกล่าวหา เพื่อพิสูจน์ให้เห็นข้อเท็จจริงว่าใครเป็นผู้กระทำความผิด หรือพิสูจน์ความผิด และเพื่อที่จะเอาตัวผู้กระทำความผิดมาลงโทษ ดังนั้น สิ่งต่างๆที่ปรากฏในสถานที่เกิดเหตุ จึงมีความสำคัญ เพราะอาจเป็นหลักฐานในการสืบสวนสอบสวนไปสู่ตัวผู้กระทำความผิดต่อไป พนักงานสอบสวนจึงให้ความสำคัญกับพยานหลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์มากขึ้น เพราะเป็นพยานหลักฐานที่เกิดขึ้นจากการวิเคราะห์ ซึ่งในทางกฎหมาย ถือว่า พยานหลักฐานเหล่านี้ สามารถนำเข้าสู่กระบวนการพิจารณาในชั้นศาล เพื่อให้ศาลวินิจฉัยว่า จำเลยมีความผิดหรือไม่

ปัจจุบันได้มีการนำความรู้ทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีต่างๆ มาพัฒนาและประยุกต์ใช้ในการพิสูจน์ข้อเท็จจริงในกระบวนการยุติธรรมมากขึ้น ดังเช่น การนำเทคนิค Scanning Electron Microscopy and Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (SEM/EDX), เทคนิค Neutron Activation Analysis (NAA), เทคนิค Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS) และเทคนิค Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry (ICP-MS) มาใช้ในการตรวจหาปริมาณเขม่าปิ่น (A.J. Schwoeble, David L. Exline, 2000)

การตรวจพิสูจน์ว่าบุคคลผู้นั้นได้ผ่านการยิงปืนมาแล้วหรือไม่ จึงเป็นการตรวจวิเคราะห์ธาตุโลหะที่เป็นส่วนผสมของแก๊สปืน ซึ่งเกาะติดอยู่ที่มือของของผู้ที่ได้ทำการยิงปืนมาแล้วโดยจะใช้สำลีพันปลายแท่งพลาสติก (cotton bud) ชุบกรดเจือจางแล้วเช็ดที่บริเวณมือ ธาตุโลหะเหล่านี้จะเกาะติดมากำสำลี หลังจากนั้นก็จะเป็นขั้นตอนของการเตรียมตัวอย่างและวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Inductively Coupled plasma mass spectrometer, ICP-MS เพื่อตัดสินว่าบุคคลผู้นั้นได้ยิงปืนมาแล้วหรือไม่

ดังนั้น ในงานวิจัยครั้งนี้ จึงสนใจที่จะทำการศึกษาถึงประสิทธิภาพของลำลีพันปลายแท่งพลาสติก (cotton bud) ว่าแต่ละยี่ห้อที่มีขายทั่วไปตามท้องตลาดนั้น มีความสามารถในการเกาะติดธาตุโลหะที่เป็นส่วนประกอบของแก๊สปืนแตกต่างกันหรือไม่ และศึกษาสารละลายกรดที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างแก๊สปืน ว่าสามารถละลายโลหะที่ติดอยู่กับลำลีพันปลายแท่งพลาสติก (cotton bud)

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อเปรียบเทียบปริมาณ ของแอนติโมนี(Sb), แบเรียม(Ba) และ ตะกั่ว(Pb) ที่เก็บจากลำลีพันปลายแท่งพลาสติก (cotton bud) ยี่ห้อต่างๆ
2. เพื่อเปรียบเทียบปริมาณของ แอนติโมนี(Sb), แบเรียม(Ba) และ ตะกั่ว(Pb) ที่เก็บจากลำลีพันปลายแท่งพลาสติก(cotton bud) ที่ชุบและแช่ด้วย สารละลาย 5% Nitric acid กับ ลำลีพันปลายแท่งพลาสติก (cotton bud) ที่ชุบและแช่ด้วยสารละลายผสมระหว่าง 5%Nitric acid+ 2%Tartalic acid + 2% Citric acid

3. สมมติฐานของการวิจัย

ยี่ห้อของลำลีพันปลายแท่งพลาสติก (cotton bud) ไม่มีผลต่อปริมาณของแอนติโมนีแบเรียม และ ตะกั่ว ในแก๊สปืน ที่เก็บภายหลังจากการยิงปืน

การเติมสารละลายกรดทาร์ทาริก และสารละลายกรดซิตริก ลงไปในสารละลายกรดไนตริก 5% จะช่วยให้สามารถวัดปริมาณของธาตุที่พบในแก๊สปืนได้เพิ่มมากขึ้น

4. ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้จะทำการศึกษา ในลำลีพันปลายแท่งพลาสติก(cotton bud) ยี่ห้อต่างๆ ที่มีขายในท้องตลาด

1. ยี่ห้อของลำลีพันปลายแท่งพลาสติก(cotton bud)
 - 1.1 ลำลีพันปลายแท่งพลาสติก(cotton bud) ยี่ห้อเอเวอร์กรีน
 - 1.2 ลำลีพันปลายแท่งพลาสติก(cotton bud) ยี่ห้อคีนี่
 - 1.3 ลำลีพันปลายแท่งพลาสติก(cotton bud) ยี่ห้อรพยาบาล
 - 1.4 ลำลีพันปลายแท่งพลาสติก(cotton bud) ยี่ห้อโฮมเฟรชมาร์ท
2. อาวุธปืนและเครื่องกระสุนปืนที่ใช้ในการทดลอง

อาวุธปืนกึ่งอัตโนมัติขนาด 9 มม. LUGER และกระสุนปืนอโตะเมติก ขนาด 9 มม. LUGER ยี่ห้อ BULLET MASTER

3. บริเวณที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง

- 3.1 บริเวณมือขวา (ง่ามนิ้วหลังมือขวาและหลังมือขวา)
- 3.2 บนแผ่นกระเบื้อง

5. ตัวแปรที่ศึกษา

ตัวแปรต้น คือ ปริมาณเขม่าป็นบนแผ่นกระเบื้อง และบนมือของผู้ยิงปืน

ตัวแปรตาม คือ ปริมาณเขม่าป็น เมื่อเช็ดด้วยสำลีพันปลายแท่งพลาสติก(cotton bud)

6. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการวิจัย

1. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของสำลีพันปลายแท่งพลาสติก (cotton bud) ที่มีขายในท้องตลาด ว่ามีผลต่อการใช้เก็บตัวอย่างเขม่าป็นหรือไม่
2. เพื่อศึกษาความสามารถในการละลายธาตุโลหะ ที่พบในเขม่าป็นของสารละลายกรด ภายหลังจากการยิงปืน
3. เพื่อศึกษาวิธีการเก็บตัวอย่าง และตรวจวิเคราะห์ปริมาณเขม่าป็นให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น
4. เพื่อเริ่มต้นทำให้เป็นมาตรฐานในการตรวจพิสูจน์ต่อไปในอนาคต
5. เพื่อวิเคราะห์ผลออกมาเป็นค่าความเข้มข้นได้

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. เอกสารที่เกี่ยวข้อง

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

- 1.1.1 อนุภาคของดินปืนที่ถูกเผาไหม้
- 1.1.2 อนุภาคของดินปืนที่ถูกเผาไหม้บางส่วน
- 1.1.3 อนุภาคของดินปืนที่ไม่ถูกเผาไหม้
- 1.1.4 ไอของตะกั่ว
- 1.1.5 ส่วนประกอบต่างๆ ของโลหะ
- 1.1.6 รูปแบบของร่องรอยที่ถูกลูกกระสุนปืนยิง



ภาพที่ 1 เขม่าปืน หรือ Gunshot Residue ; GSR

ที่มา : เขม่าปืน [ออนไลน์], เข้าถึงเมื่อ 17 พฤษภาคม 2555. เข้าถึงได้จาก http://projects.nfstc.org/firearms/module12/images/fir_m12_t06_06.jpg

1.2 ประเภทของเขม่าปืน

อนุภาคที่เกิดจากการยิงปืน สามารถจำแนกได้ 3 ประเภท คือ

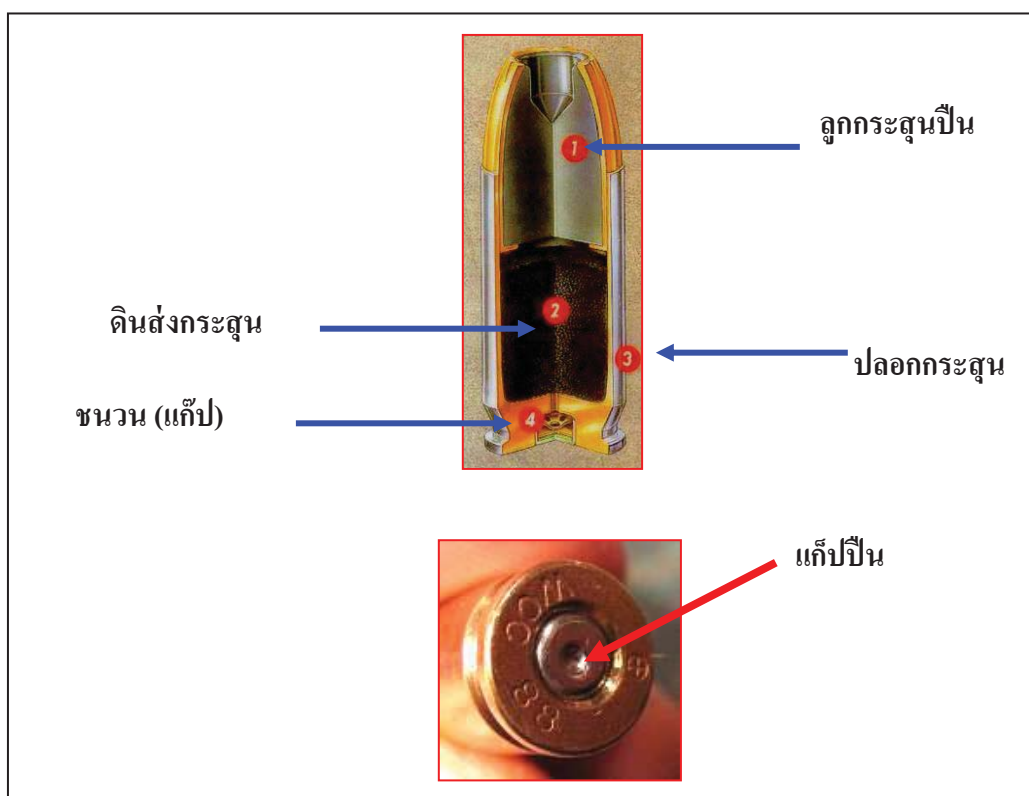
1.2.1 ประเภทที่แน่นอน (Exclusive / Unique GSR) : ถ้าตรวจพบธาตุเหล่านี้พร้อมกัน บอกได้แน่นอนว่ามีเขม่าปืน ได้แก่ Sb – Ba – Pb

1.2.2 ประเภทบ่งชี้ (Characteristic / Indicative GSR) : ถ้าตรวจพบธาตุเหล่านี้ เชื่อได้ว่ามีเขม่าปืน ได้แก่ Si – Ba – Ca , Pb – Sb , Pb – Ba , Sb – S , Sb , Pb

1.2.3 ประเภทอื่นๆ (Other GSR) : ถ้าหากตรวจพบธาตุเหล่านี้ไม่อาจยืนยันได้ว่ามีเขม่าปืน ได้แก่ Ca , Cu , Fe , Ni , P , Si , S , Zn

1.3 ที่มาของเขม่าปืน

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

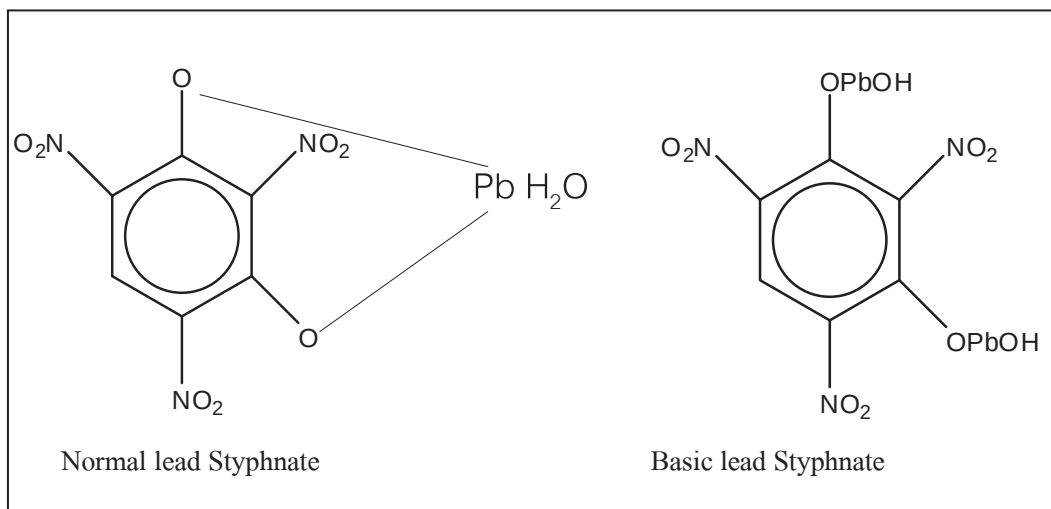


ภาพที่ 2 ส่วนประกอบของกระสุนปืน และแก๊ปปืน

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

1.3.1 Priming Mixture เป็นวัตถุระเบิดประเภทกระแทกแตก ทำหน้าที่ให้ประกายไฟไปจุดกับดินส่กระสุนปืน โดยมีองค์ประกอบดังนี้ คือ

1.3.1.1 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 [$\text{PbC}_6\text{H}(\text{NO}_2)_3\text{O}_2$]

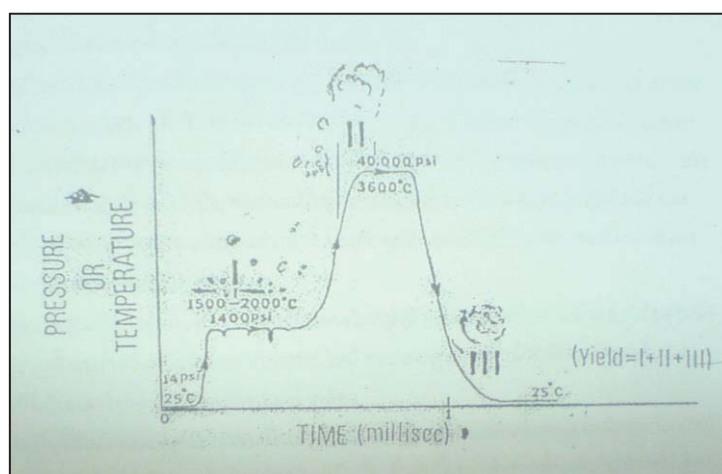
ที่มา : จิรวรร ฐนรัตน์, “คู่มือการตรวจหาดินปืน เขม่าดินปืน ตะกั่ว และทองแดง ของลูกกระสุนปืน,” เอกสารเผยแพร่กองพิสูจน์หลักฐาน สำนักงานนิติวิทยาศาสตร์ตำรวจ, 2551.

1.3.1.2 Fuel : เป็นเชื้อเพลิงที่ทำให้การเผาไหม้ดำเนินต่อไปที่นำสนใจมากที่สุด คือ Antimony Sulfide (Sb_2S_3)

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

1.4 การเกิดเขม่าป็น

หลักการ ดินสักระสุนปืนถ้าถูกเผาไหม้ในพื้นที่จำกัดจะทำให้เกิดแรงดันมหาศาลโดยเมื่อเกิดการยิงปืน เข้มแท่งชนวนจะดีไปยังชนวนท้ายกระสุนปืน (Primer cap) ทำให้ชนวนท้ายกระสุนปืนเกิดการระเบิด เป็นผลให้อุณหภูมิจากสิ่งแวดลอมกลายเป็น $1,500 - 2,000^\circ\text{C}$ และความดันจะเปลี่ยนจาก 14 psi เป็น 1,400 psi จากนั้นเกิดประกายไฟผ่านช่อง Flash-hole ไปจุดติดกับดินสักระสุนปืนทำให้เกิดการเผาไหม้อย่างรวดเร็วในปลอกกระสุนปืนทำให้เกิดแรงดันมหาศาล ผลักส่งให้ลูกกระสุนปืนหลุดออกไปจากปลอกกระสุนปืน โดยในการระเบิดของแก๊ปปืนนี้จะทำให้อุณหภูมิจากสิ่งแวดลอมเพิ่มสูงขึ้นเป็น $3,600^\circ\text{C}$ และความดันสูงถึง 40,000 psi จากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมินี้เองเป็นผลให้โลหะที่เป็นส่วนประกอบของแก๊ปปืนหลอมละลายกลายเป็นไอ และเมื่ออุณหภูมิลดลง ไอของแต่ละธาตุจะแข็งตัวเป็นอนุภาค



ภาพที่ 4 กราฟแสดงความดัน และ อุณหภูมิ ณ ช่วงเวลาต่างๆที่เกิดจากการเผาไหม้ของ Primer Cap และ ดินสักระสุนปืน

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

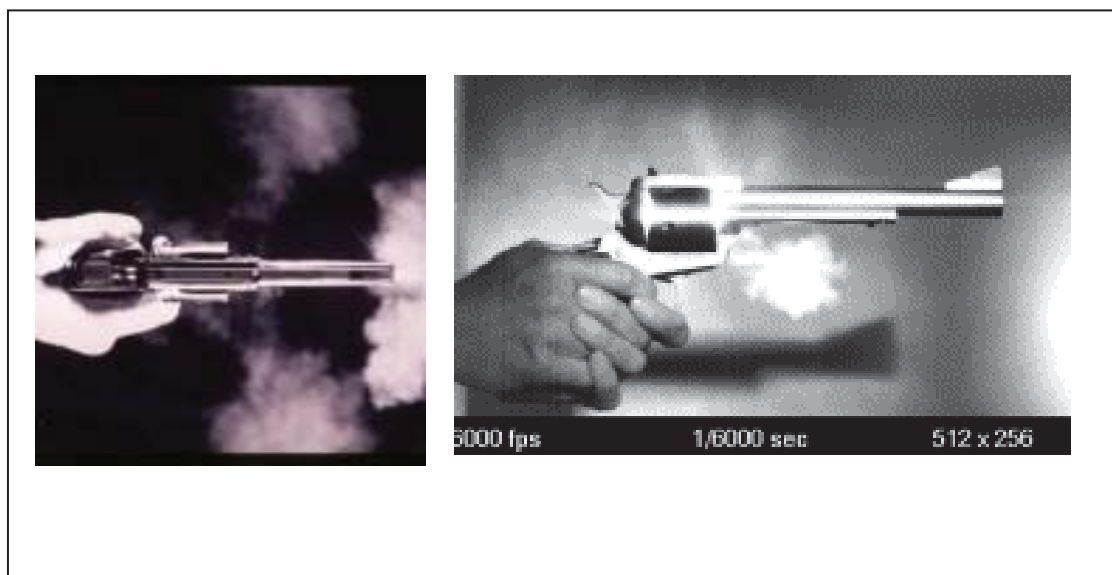
ตารางที่ 1 ธาตุโลหะสำคัญที่มีใน Primer Cap

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

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

ซึ่งเมื่อเกิดการยิงปืน GSR ส่วนใหญ่จะออกมาจากปากลำกล้องปืน แต่มีส่วนอื่นที่ GSR จะออกมาได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของปืนนั้นๆ

ในกรณีของปืนรีโวลเวอร์ GSR จะออกมาได้จากบริเวณช่องว่างระหว่างผิวหน้าของรังเพลิงกับส่วนท้ายของลำกล้อง



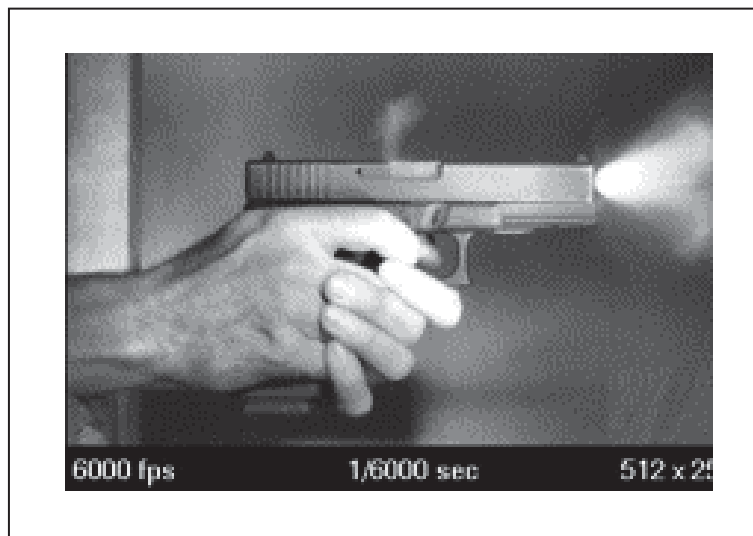
ภาพที่ 5 บริเวณที่เหม่ปืนสามารถออกมาได้ ในอาวุธปืนพกรีโวลเวอร์

ที่มา : [Gunshot residue+revolver](#) [ออนไลน์], เข้าถึงเมื่อ 17 พฤษภาคม 2555. เข้าถึงได้จาก

<http://www.theforensicminds.com/gsr-analysis/> และ

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0379073812000540>

ในกรณีของปืนอโตเมติก GSR จะออกมาจากบริเวณช่องคัตปลอก ปืนประเภทอื่นๆ ขึ้นอยู่กับการออกแบบว่ามีส่วนของก๊าซที่เกิดจากการเผาไหม้จากการยิงปืนสามารถรั่วไหลออกมาได้ที่บริเวณใดและจากการที่เกิดความดันสูงขึ้นนี้เอง



ภาพที่ 6 บริเวณที่เขม่าปืนสามารถออกมาได้ ในอาวุธปืนพกกึ่งอโตเมติก

ที่มา : Gunshot residue+revolver [ออนไลน์], เข้าถึงเมื่อ 17 พฤษภาคม 2555. เข้าถึงได้จาก <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0379073812000540>

1.5 การคงอยู่ของเขม่าปืน

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

2. อาวุธปืนและเครื่องกระสุนปืน (Firearms and Their Projectiles) (อัมพร จารุจินดา 2542)

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 ไอพิษ หมอกหรือควัน หรือกระสุน ลูกกระเบิด ตอร์ปิโด ทู่นระเบิด และจรวด ที่มีคุณสมบัติคล้ายคลึงกัน หรือเครื่อง หรือสิ่งสำหรับอัดหรือทำ หรือใช้ประกอบเครื่องกระสุนปืน

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



(1) ลำกล้อง



(2) เครื่องลูกเลื่อน หรือส่วนประกอบสำคัญของเครื่องลูกเลื่อน



(3) เครื่องลั่นไก หรือส่วนประกอบสำคัญของเครื่องลั่นไก



(4) เครื่องส่งกระสุนปืน ของกระสุนปืน หรือส่วนประกอบสำคัญของสิ่งเหล่านี้

ภาพที่ 7 ส่วนของอาวุธปืนที่มีความสำคัญให้ถือเป็นอาวุธปืน ตามความในมาตรา 4 (1)

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

- 1 อาวุธปืนชนิดลากล้อต้องมีเกลียวที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางปากลากล้อไม่เกิน 11.44 มม.
- 2 อาวุธปืนชนิดลากล้อไม่มีเกลียว ดังต่อไปนี้
 - 2.1 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางปากลากล้อไม่ถึง ๒๐ มม.
 - 2.2 ปืนประจูปาก ปืนลูกซอง และปืนพลูสัญญาณ
- 3 อาวุธปืนที่เครื่องกลไกสำหรับบรรจุกระสุนเองให้สามารถยิงซ้ำได้ ดังต่อไปนี้
 - 3.1 ขนาดความยาวลากล้อไม่ถึง 160 มม.
 - 3.2 ปืนลูกซอง
 - 3.3 ปืนลูกกระดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางปากลากล้อไม่เกิน 5.6 มม.
- 4 อาวุธปืนชนิดไม่มีเครื่องบังคับเสียงให้เบาผิดปกติ
- 5 อาวุธปืนชนิดที่ไม่ใช้กระสุนเป็นที่บรรจุวัตถุเคมีที่ทำให้เกิดอันตรายหรือเป็นพิษ หรือไม่ใช่เครื่องกระสุนปืนที่บรรจุเชื้อโรค เชื้อเพลิง หรือวัตถุกำมันตภาพรังสี

2.2 ประเภทของอาวุธปืน เมื่อแบ่งตามความยาวลากล้อปืน แบ่งได้ 3 ประเภท

2.2.1 ปืนสั้น หรือ ปืนพก (Pistol)

คือปืนที่มีลากล้อสั้น มีด้ามซึ่งสามารถใช้จับถือ และยิงได้ด้วยมือเพียงข้างเดียว อย่างสบาย มีความยาวลากล้อตั้งแต่ 2 นิ้ว 3 นิ้ว 4 นิ้ว 5 นิ้ว 6 นิ้ว ฯลฯ ตามความต้องการ สามารถพกพาได้ ไม่เกะกะ และเป็นอาวุธปืนที่ใช้ประกอบอาชญากรรมมากที่สุดในเวลานี้

ปืนสั้นที่ทำจากต่างประเทศ ได้แก่ ปืนอาวุธพรูวอลเวอร์ (แบบลูกโม), อาวุธปืนพก ออโตแมติก, อาวุธปืนพกแบบเคอริงเกอร์ ลากล้อมีมากกว่า 1 ลากล้อ, อาวุธปืนพกประจูปาก และ อาวุธปืนพกอัดลม



อาวุธปืนพกรีวอลเวอร์ (แบบลูกโม)



อาวุธปืนพกอัตโนมัติ



อาวุธปืนพกแบบเคอริงเจอร์ ลำกล้องมีมากกว่า 1 ลำกล้อง



อาวุธปืนพกประจูปาก



อาวุธปืนพกอัดลม

ภาพที่ 8 อาวุธปืนสั้นที่ทำจากต่างประเทศ

อาวุธปืนสั้นที่ทำเองภายในประเทศ ได้แก่ ปืนพกรูปร่างคล้ายไฟแช็ค ชนิด 2 หรือ 3 ลำกล้อง, อาวุธปืนพกรีวอลเวอร์, อาวุธปืนพกอัตโนมัติ และอาวุธปืนพกลูกซอง

	ปืนพกปรังค้ายไฟแช็ค ชนิด 2 หรือ 3 ลำกล้อง
	อาวุธปืนพกรีวอลเวอร์
	อาวุธปืนพกอัตโนมัติ
  อาวุธปืนพกลูกซอง	

ภาพที่ 9 อาวุธปืนสั้นที่ทำเองภายในประเทศ

2.2.2 ปืนยาว (Rifle)

คือ ปืนที่มีลำกล้องยาว มีพานท้าย (ด้าม) เวลายิงต้องจับ 2 มือ มีทั้งที่ผลิตในประเทศและต่างประเทศ

อาวุธปืนยาวที่ทำจากต่างประเทศ ได้แก่ ปืนยาวลูกซอง, ปืนยาวลูกกระด และปืนยาวไรเฟิลใช้ในการกีฬาและล่าสัตว์



อาวุธปืนยาวลูกซอง



อาวุธปืนยาวลูกกระด



อาวุธปืนยาวไรเฟิลใช้ในการกีฬาและล่าสัตว์

ภาพที่ 10 อาวุธปืนยาวที่ทำจากต่างประเทศ

ปืนยาวที่ทำขึ้นเองภายในประเทศ ได้แก่ ปืนยาวลูกซอง, ปืนยาวประจูปาก และปืนยาวอัดลม



ปืนยาวประจูปาก



ปืนยาวอัดลม

ภาพที่ 11 อาวุธปืนยาวที่ทำขึ้นเองภายในประเทศ

2.2.3 ปืนที่ใช้ในกิจการทหารหรือสงคราม

คือ ปืนที่นายทะเบียนออกใบอนุญาตให้ประชาชนมีไว้ในครอบครองไม่ได้ โดย
กฎกระทรวงฉบับที่ 11 (พ.ศ. 2522) ออกตามความในพระราชบัญญัติอาวุธปืนฯ พ.ศ.2490

ดังนั้น อาวุธปืนที่นายทะเบียนออกใบอนุญาตให้ไม่ได้

1. มีเกลียวในลำกล้องขนาดเกินกว่า 11.44 มม.
2. ไม่มีเกลียวในลำกล้อง มีขนาดเกินกว่า 20 มม. (ยกเว้นปืนแก๊ป ปืนลูกซองและ
ปืนยิงพลุสัญญาณ)
3. ปืนที่ยิงซ้ำได้และความยาวลำกล้องเกิน 160 มม.

4. ปืนที่มีเครื่องบังคับเสียงให้เบาผิดปกติ

5. ปืนที่ใช้กระสุนบรรจุวัตถุเคมี เชื้อโรค เชื้อเพลิง หรือวัตถุกำมันตภาพรังสีทำให้เกิดอันตราย หรือเป็นพิษ

2.3 ประเภทของอาวุธปืน เมื่อแบ่งตามเกลียวภายในลำกล้อง สามารถแบ่งได้ 2 ประเภท ดังนี้

2.3.1 ประเภทมีเกลียวภายในลำกล้อง ใช้กับกระสุนปืนลูกโคด เมื่อยิงปืนแรงอัดของแก๊สจะขับเคลื่อนให้ลูกกระสุนปืนเคลื่อนไปกับเกลียวภายในลำกล้องแล้วหมุนตัวออกไปจากปากลำกล้องทำให้สามารถวิ่งผ่านอากาศออกไปตรงตามทิศทางที่ตั้ง เช่น ปืนพกรีวอลเวอร์ ปืนพกออโตเมติก ปืนยาวไรเฟิล และปืนกลต่างๆ

	อาวุธปืนพกรีวอลเวอร์
	อาวุธปืนพกออโตเมติก
	อาวุธปืนยาวไรเฟิล
	อาวุธปืนกล

ภาพที่ 12 อาวุธปืนที่มีเกลียวภายในลำกล้อง

2.3.2 ประเภทไม่มีเกลียวภายในลำกล้อง ประเภทนี้ใช้กับกระสุนปืนลูกปราย ได้แก่ ปืนลูกซองซึ่งลำกล้องภายในเรียบ ไม่มีร่องเกลียวภายในลำกล้อง โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหลายขนาด นอกจากปืนลูกซองแล้ว กระสุนปืนลูกซองยังถูกนำมาใช้ยิงในปืนไทยประดิษฐ์ ซึ่งปืนเหล่านี้ไม่ได้ขึ้นทะเบียนตามกฎหมายและไม่มีมาตรฐานเกี่ยวกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในลำกล้องและความยาวลำกล้องแต่อย่างใด

	ปืนลูกซองผลิตจากต่างประเทศ
 	ปืนลูกซองไทยประดิษฐ์ (ประกอบขึ้นเอง)
	ปืนปากกาไทยประดิษฐ์ (ประกอบขึ้นเอง)
	ปืนพกรูปร่างคล้ายไฟแช็ค

ภาพที่ 13 ปืนที่ไม่มีเกลียวภายในลำกล้อง

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” หมายความว่ารวมตลอดถึงกระสุน โดด กระสุนปราย กระสุนแตก ลูกกระเบิด ตอร์ปิโด พ่นระเบิด และจรวด ทั้งชนิดที่มีและไม่มีกรดแก๊ส เชื้อเพลิง เชื้อโรด ไอพิช หมอกหรือควัน หรือกระสุน ลูกกระเบิด ตอร์ปิโด พ่นระเบิด และจรวด ที่มีคุณสมบัติคล้ายคลึงกัน หรือเครื่อง หรือสิ่งสำหรับอัดหรือทำ หรือใช้ประกอบเครื่องกระสุนปืน

2.4.1 กระสุนปืนลูกโดด

กระสุนโดด หรือที่เรียกกันทั่วไปว่ากระสุนลูกโดดนั้น มีลักษณะที่ประกอบด้วย ส่วนสำคัญ 4 ส่วนคือ

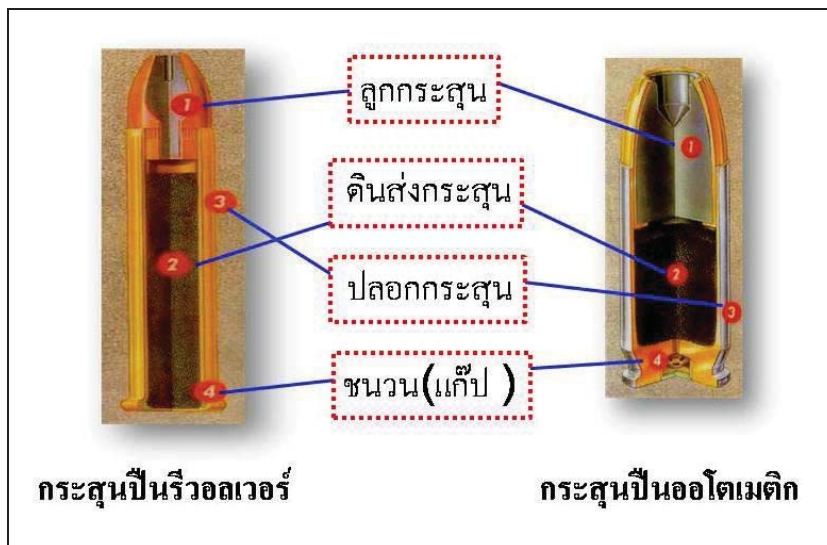
2.4.1.1 ลูกกระสุนปืน (Bullet)

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



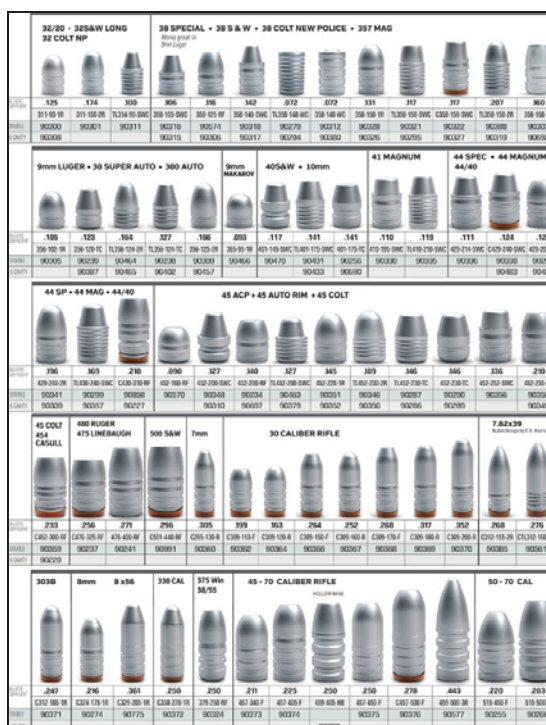
ภาพที่ 14 กระสุนปืนขนาดต่างๆ

ที่มา : ammunition [ออนไลน์], เข้าถึงเมื่อ 17 พฤษภาคม 2555. เข้าถึงได้จาก <http://world.guns.ru/ammunition/gallery-patrons-e.html>



ภาพที่ 15 ส่วนประกอบของกระสุนปืนลูกโคด

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



ภาพที่ 16 ลูกกระสุนปืนแบบต่างๆ

ที่มา : [bullet \[ออนไลน์\]](http://bullet[ออนไลน์]), เข้าถึงเมื่อ 17 พฤษภาคม 2555. เข้าถึงได้จาก

eeprecision.com/files/products/BulletMolds.jpg

โลหะที่ใช้ทำหัวกระสุนนี้ อาจเป็นตะกั่วล้วนหรือตะกั่วฉาบโลหะอื่นเคลือบบางๆ หรืออาจเป็นตะกั่วอยู่ภายในเป็นแกน แล้วมีเปลือกทำด้วยโลหะผสม เช่น ทองแดง หรือ นิกเกิลหุ้มไว้ อีกชั้นหนึ่งก็ได้ ลูกกระสุนที่มีเปลือกหุ้มนี้ (Jacket bullets) เรียกว่า ลูกกระสุนเปลือกแข็งและถ้าเปลือกที่หุ้ม หุ้มมิดถึงปลายลูกกระสุนเรียกว่ากระสุนหัวแข็ง (Metal cased bullets) ถ้าหุ้มไม่มิดส่วนปลายลูกกระสุนเป็นแกนตะกั่วโผล่ออกมา เรียกว่ากระสุนหัวอ่อน (Soft point bullets) ลูกกระสุนประเภทนี้ เมื่อไปกระทบกับเป้าแล้ว ตะกั่วที่อ่อนจะยื่นตัว แล้วยื่นทำให้ปลายหัวกระสุนบานออก เกิดบาดแผลขนาดใหญ่ได้

2.4.1.2 ชนิดหัวกระสุน

Lead Bullet ลูกกระสุนปืนในปัจจุบันที่มีความเร็วต้นต่ำกว่า 2,000 ฟุตต่อวินาที มักจะทำด้วยตะกั่วเพราะราคาถูก และความร้อนเนื่องจากแรงระเบิดของดินปืนไม่ทำให้ตะกั่วละลาย แต่ลูกกระสุนปืนนั้นไม่ได้ทำด้วยตะกั่วล้วนๆ เพราะจะอ่อนเกินไป เขาต้องใช้โลหะอื่นผสมด้วยเพื่อให้แข็งขึ้น ซึ่งส่วนใหญ่ตัวที่ใช้ผสมจะเป็น โลหะพลวง (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 แบบนี้จะมีถ้วยทองแดงหรือทองเหลืองบางๆหุ้มกันลูกกระสุนปืนไว้ เพื่อป้องกันตะกั่วส่วนกันละลายเนื่องจากความร้อน ในกระสุนปืนแบบ High Temperature and Pressure

4. Zinc Washer Base แบบนี้ส่วนกันลูกกระสุนปืนจะหุบด้วยสังกะสี (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 เป็นเพียงตะกั่วหุบด้วยโลหะทองแดงเพียงบางๆ เท่านั้น สามารถใช้เล็บหรือของแข็งขูดเอาออกได้ ในปัจจุบันจะพบได้ในกระสุนปืนบางยี่ห้อบางขนาด เช่น ขนาด .22 Short, .22 Long Rifle, .38 Special, .357 Magnum และ .44 Magnum เป็นต้น วัตถุประสงค์เพื่อป้องกันไม่ให้ตะกั่วละลายติดลำกล้องปืน และยังทำให้แลดูสวยงามน่าใช้กว่าลูกกระสุนปืนที่ทำด้วยตะกั่วธรรมดาอีกด้วย เรียก Lubaloid

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) เป็นลูกกระสุนปืนที่มีส่วนปลายที่ฟันปลอกกระสุนออกมามีขนาดเล็กกว่าส่วนใหญ่ที่อยู่ในปลอกกระสุน 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

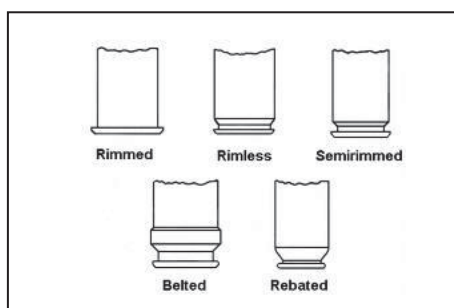
ส่วนก้นที่เล็กลงของลูกกระสุนปืนแบบ Boat Tail มีประโยชน์ในการลด Air drag คือลดการเสียดสีของอากาศกับลูกกระสุนปืนเมื่อใช้ยิงออกไป ทำให้ลูกกระสุนปืนแบบ Boat tail สามารถยิงไปได้ไกลกว่า และมีวิถีกระสุนแบนราบดีกว่าลูกกระสุนปืนแบบ Flat Base ในเมื่อมีความเร็วต้นเท่ากัน

ลูกกระสุนปืนที่มีความเร็วต้นตั้งแต่ 2,000 ฟุตต่อวินาที ขึ้นไป จะต้องเป็นแบบ Jacketed Bullet เพราะถ้าเป็นแบบ Lead Bullet จะทำให้ส่วนก้น 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

2.4.1.3 ปลอกกระสุนปืน (Cartridge Case)

เป็นส่วนที่หุ้มหัวกระสุน ภายในบรรจุดินปืนและแก๊ปก๊าซชนวนไว้ ปลอกกระสุนโคด โลหะที่ใช้ทำปลอกกระสุนมีหลายชนิด คือ ทองเหลือง อลูมิเนียม เหล็ก ทองแดง แต่ที่นิยมมากที่สุดคือทองเหลือง กล่าวกันว่า ปลอกกระสุนปืนที่ทำด้วยทองเหลืองคุณภาพดี สามารถนำกลับไปอัดกระสุนปืนใหม่ได้อีกประมาณ 3-4 ครั้ง



ภาพที่ 17 ปลอกกระสุนปืนแบบต่างๆ

ที่มา : [cartridge case](http://www.atgreloading.com/t400-parts-of-the-cartridge-case) [ออนไลน์], เข้าถึงเมื่อ 17 พฤษภาคม 2555. เข้าถึงได้จาก

<http://www.atgreloading.com/t400-parts-of-the-cartridge-case>



ภาพที่ 18 ปลอกกระสุนปืนแบบต่างๆ

ที่มา : cartridge case [ออนไลน์], เข้าถึงเมื่อ 17 พฤษภาคม 2555. เข้าถึงได้จาก

<http://startreloading.com/Reloading%20A%20Definition/Reloading%20A%20Definition.html>

2.4.1.4 ดินสั่งกระสุนปืน (Gun Powders)

เป็นของแข็งซึ่งเมื่อเกิดการลุกไหม้จะให้แก๊สปริมาณมากในเวลาอันสั้น ความเร็วในการเผาไหม้ของดินปืนเป็นสิ่งสำคัญ ดินปืนในปัจจุบันมี 3 แบบคือ

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



ภาพที่ 19 ดินดำ (Black Powder)

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



ภาพที่ 20 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 21 ดินควันน้อยรูปร่างต่างๆ

2.4.1.5 แก๊ปปิ่น (Primers)

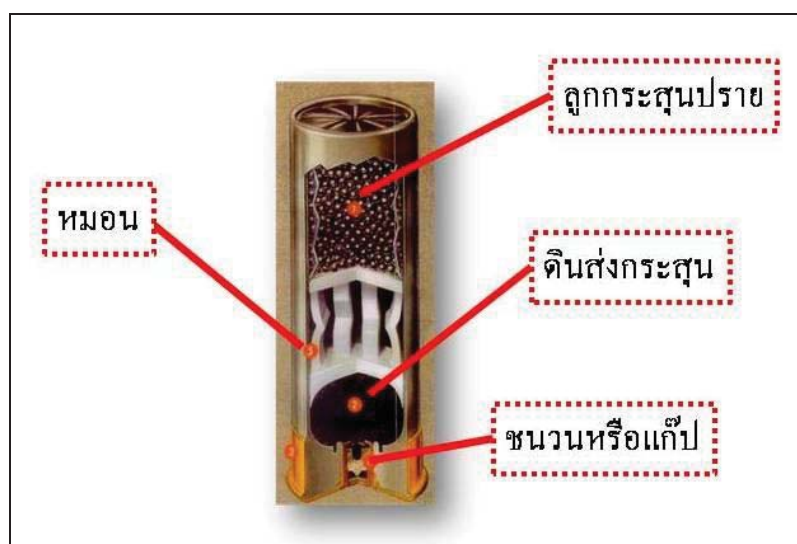
อยู่ตรงงานท้ายของปลอกกระสุน เมื่อเวลายิงปืนหรือลั่นไกปืน เข้มแท่งชนวนจะกระแทกตรงงานท้ายของปลอกกระสุน ทำให้แก๊ปเกิดระเบิด และจุดระเบิดไปยังดินปืนที่อยู่ภายในปลอกกระสุน เมื่อดินปืนระเบิด ก็จะขับเคลื่อนหัวกระสุนให้วิ่งออกจากลำกล้อง



ภาพที่ 22 ชนวนงานท้ายกระสุนปืน หรือ แก๊ปปิ่น

2.4.2 กระสุนปืนลูกซอง (Shotshell)

กระสุนปืนลูกซองหรือเรียกว่ากระสุนปราย จะมีส่วนสำคัญดังต่อไปนี้



ภาพที่ 23 ส่วนประกอบของกระสุนปืนลูกซอง

ที่มา : ฉัตรชัย วิเศษสุวรรณภูมิ, “ผ่าปืน,” เคลวินวิสต์, 16 มิถุนายน 2544 – 14 กันยายน 2545.

กระสุนปืนลูกซองมีส่วนประกอบภายในฝังไปจากกระสุนปืนทั่วไป ตรงที่ปลอกกระสุนปืนมีขนาดใหญ่ แต่ลูกกระสุนปืนที่บรรจุมีขนาดเล็กและมีจำนวนมาก จึงจำเป็นต้องมีส่วนที่มากขึ้นให้ดินปืนกับลูกกระสุนปืนที่บรรจุปนกัน และต้องมีตัวปิดปากปลอกกระสุน จึงจะทำให้เกิดแรงอัดของแก๊สเพื่อขับเคลื่อนลูกกระสุนไปสู่เป้าหมายได้

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



ภาพที่ 24 กระสุนปืนลูกซองขนาดต่างๆ

ที่มา : กระสุนปืนลูกซอง [ออนไลน์], เข้าถึงเมื่อ 18 พฤษภาคม 2555. เข้าถึงได้จาก

<http://www.gun.in.th/2010/index.php?> และ

<http://www.gunsandgames.com/smf/index.php?topic=34.0>

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



ภาพที่ 25 ปากปลอกกระสุนปืนแบบต่างๆ

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

จากบริเวณลูกปรายเข้ามา ภายในกระสุนปืนจะมีแผ่นสั๊กหลอด หรือกระดากแข็ง เป็นแผ่นกลมเรียงซ้อนกันเป็นตัวกั้นระหว่างลูกปรายกับดินปืน เรียกว่า หมอนส่งกระสุน (Wad) หมอนส่งกระสุนนี้จะทำหน้าที่เมื่อดินปืนระเบิด เพื่อขับเคลื่อนลูกปรายทั้งหมดให้วิ่งออกไปสู่อากาศ ถัดจากหมอนส่งกระสุนเข้ามาก็เป็นดินปืน ระหว่างดินปืนกับฝาทองเหลืองมีแผ่นสั๊กหลอดหรือกระดากชั้นอีกชั้นหนึ่งเรียกว่า หมอนรองดิน ตรงฝาทองเหลืองท้ายกระสุนมีแก๊ปและฝารอบแก๊ป ติดอยู่โดยต่อชนวนไปถึงดินปืน เพื่อจุดระเบิด เวลาเข็มแทงชนวนกระแทกที่แก๊ป

3. ลำลีพันก้าน (กระทรวงอุตสาหกรรม 2551)

ลำลีพันก้าน (cotton bud) หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากลำลีตาม มอก.182 พันด้าน ปลายด้านเดียวหรือสองด้านของก้านพลาสติก ก้านกระดาก หรือก้านไม้ ให้มีลักษณะหัวทรงรี

3.1 ลำลีพันก้านแบ่งเป็น ๒ ประเภท คือ

3.1.1 ประเภทไม้ปราศจากเชื้อ

3.1.2 ประเภทปราศจากเชื้อ

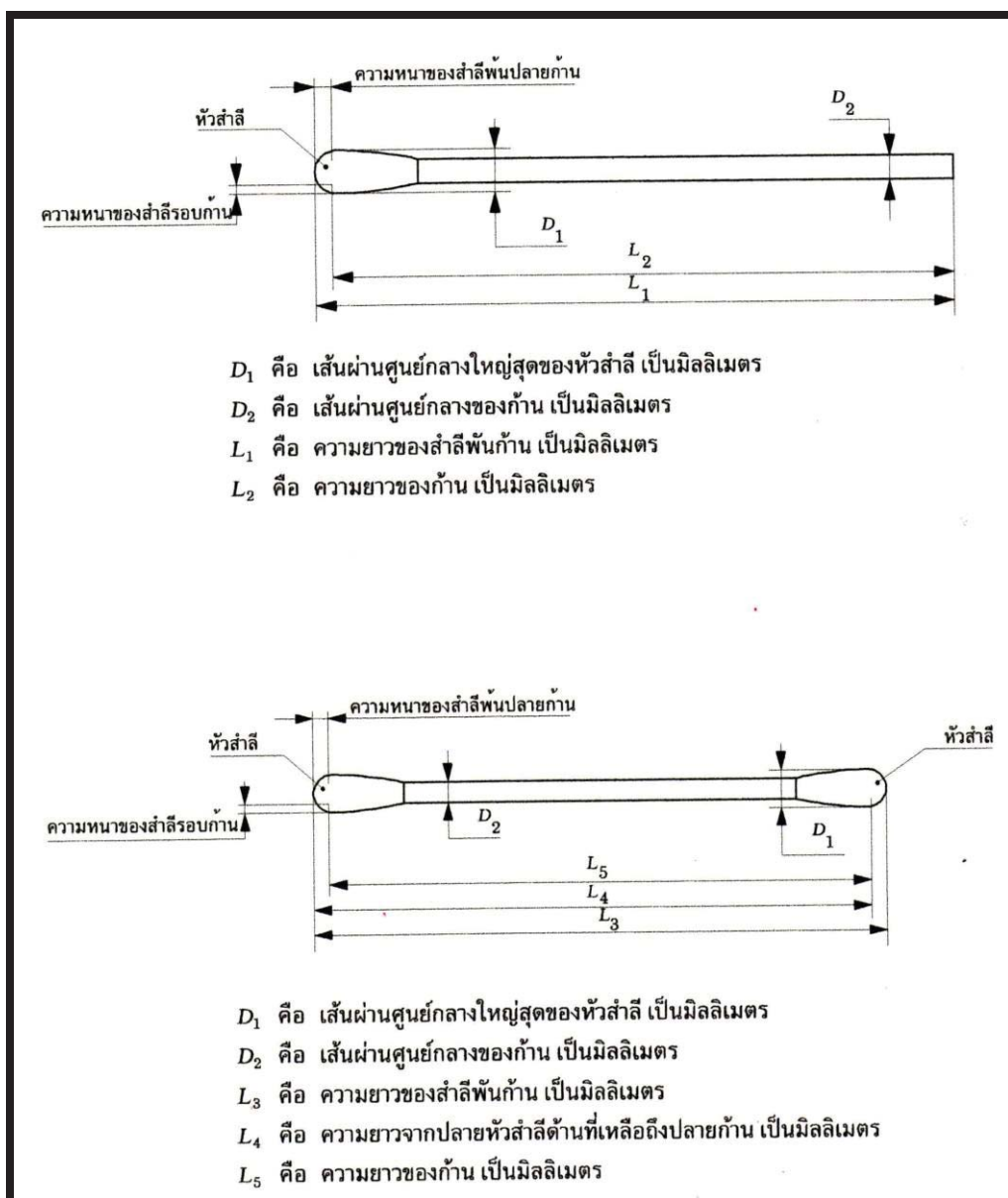
3.2 ลำลีพันก้านแต่ละประเภทแบ่งเป็น 2 แบบ คือ

3.2.1 แบบหัวเดียว

3.2.2 แบบสองหัว

3.3 ขนาด

3.3.1 ขนาดของลำลีพั่นก้าน (cotton bud) ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม
ต้องมีลักษณะตามตารางที่ 2 ดังนี้



ภาพที่ 26 แสดงขนาดของลำลีพั่นก้าน

เส้นผ่านศูนย์กลางของก้าน	ความหนาของลำลีพั่นก้าน	ความหนาของลำลียอบก้าน
1.8 ถึง 2.2	ไม่น้อยกว่า 1.2	ไม่น้อยกว่า 0.7
2.3 ถึง 2.7	ไม่น้อยกว่า 1.5	ไม่น้อยกว่า 0.9

ตารางที่ 2 แสดงขนาดของลำลีพั่นก้าน(cotton bud) ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

3.4 คุณลักษณะทั่วไปของ ลำลีพั่นก้าน (cotton bud) ตามมาตรฐาน
ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

3.4.1 หัวลำลีต้องขาว พั่นเรียบมิดปิดปลายก้านโดยไม่มีสิ่งแปลกปลอมปะปน
ถ้าเป็นลำลีพั่นก้านประเภทปราศจากเชื้อ ยอมให้สีของลำลีเปลี่ยนแปลงได้เล็กน้อย

3.4.2 ก้านต้องตรง แข็งแรง ไม่หักง่าย ปลายทู่ ผิวของวัสดุไม่เป็นอันตรายต่อ
ผู้ใช้ หากใช้สี ผู้ทำต้องมีใบรับรองคุณภาพแสดงว่า สีที่ใช้เป็นสีแสดงคุณภาพอาหาร

3.5 การตรวจสอบลำลีพั่นก้าน (cotton bud) ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

3.5.1 ความสม่ำเสมอความหนาของลำลีที่พั่นปลายก้าน

3.5.2 ความสม่ำเสมอความหนาของลำลีสอบก้าน

3.5.3 การติดแน่นของหัวลำลี

3.5.4 ความแข็งแรงของก้าน

3.5.5 การอุ้มน้ำ

4. การทำงานขององค์ประกอบต่างๆ ของเครื่อง ICP-MS

4.1 ระบบการนำสารตัวอย่างส่งเข้าสู่พลาสมา (sample introduction system)

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

4.2 การทำให้สารละลายเป็นละอองฝอย สารตัวอย่างที่ถูกนำเข้าเพื่อวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือ ICP-MS เป็นได้ทั้ง ของเหลว ของแข็ง และแก๊ส แต่ที่เป็นที่นิยมใช้คือในรูปของของเหลว และสารละลาย หากตัวอย่างเป็นของแข็งโดยทั่วไปต้องทำให้อยู่ในสภาพสารละลายก่อน และอาศัย peristaltic pump ในการขับเคลื่อนสารละลายโดยใช้อัตราเร็วประมาณ 1 มิลลิลิตร ต่อนาที หลังจาก ที่สารละลายตัวอย่างถูกพาไปยังอุปกรณ์ที่เรียกว่า nebulizer สารละลายจะแตกออกเป็นละอองฝอย เนื่องจากเกิดการปะทะกับแก๊สอาร์กอนที่ถูกพาเข้ามายัง nebulizer ด้วยอัตราการไหลสูงประมาณ 1 ลิตรต่อนาที

4.3 การคัดเลือกละอองเพื่อให้ผ่านไปยังพลาสมา เนื่องจากพลาสมาไม่มี ประสิทธิภาพมากพอในการทำให้ละอองหยดใดๆ เกิดกระบวนการ desolvation vaporization atomization ionization ได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงจำเป็นต้องมีการคัดแยกขนาดละอองของตัวอย่าง

ให้ผ่านเข้าไปยังพลาสมา โดยใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า spray chamber ซึ่งมีหน้าที่คั่นให้ละอองฝอยขนาดเล็กผ่านเข้าไปยังพลาสมา ส่วนละอองขนาดใหญ่ และหยดของสารละลายจะถูกพาไปยังท่อที่ spray chamber ยังช่วยทำให้การส่งผ่านละอองสารตัวอย่างไปยังพลาสมามีความต่อเนื่องมากขึ้นทั้งๆ ที่การนำเข้าของสารละลายตัวอย่างจาก peristaltic pump เป็นแบบห้วงๆ

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

4.4.1 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 มีข้อจำกัดในด้านของความทนทานต่อปริมาณเกลือและของแข็งที่ละลายอยู่ (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 ในกรณีที่มิมีสารตัวอย่างในปริมาณที่จำกัด หรือในกรณีที่ต้องการหลีกเลี่ยงปัญหาจาก memory effects ควรจำกัดปริมาณสารละลายตัวอย่างที่นำเข้าสู่พลาสมา ซึ่งทำได้โดยการใช้ microflow nebulizer เพื่อให้สามารถผ่านสารละลายตัวอย่างในอัตราเร็วที่ต่ำกว่า 0.1 มิลลิลิตร ต่อนาที การทำงานของ microflow nebulizer อาศัยหลักการ

เดียวกับของ concentric nebulizer แต่โดยทั่วไปต้องใช้แก๊สที่มีแรงดันสูงกว่า โดยทั่วไป nebulizer ประเภทนี้ ทำจากวัสดุพอลิเมอร์ เช่น polytetrafluoroethylene (PTFE) perfluoroalkoxy (PFA) หรือ polyvinylidene fluoride (PVDF)

4.4.2 spray chamber มีหลายแบบ เช่น ชนิด double pass และชนิด cyclonic ทำงานโดยอาศัยหลักการที่แตกต่างกัน

double pass spray chamber ทำจากแก้วหรือวัสดุพอลิเมอร์โดยสร้างเป็นท่อสองชั้น โดยที่ละอองที่ออกมาจาก nebulizer จะถูกพาเข้ายังท่อตรงกลาง ซึ่งละอองนี้จะเดินทางตลอดแนวท่อเพื่อผ่านไปยังท่อชั้นนอก ที่เชื่อมกับทางออกที่จะไปยังพลาสมา ในระหว่างการเดินทาง ละอองขนาดใหญ่ (ใหญ่กว่า 10 ไมโครเมตร) ตกลงจากแนวทางเดินด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก 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

4.4.2. ระบบการทำให้เกิดพลาสมา (plasma generation system)

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

ICP torch ที่ใช้ทั่วไปเป็นคัปชนิด Fassel เช่นเดียวกับในกรณีของ ICP-OES ประกอบด้วยท่อ 3 ชั้น โดยทั่วไปทำจากควอทซ์ ซึ่ง ICP torch อาจเป็นแบบคัปชั้นเดียว หรือเป็นชนิดที่ถอดแยกท่อข้างในสุดออกได้ โดยท่อข้างในสุด เรียกว่า injector อาจทำจากควอทซ์หรืออะลูมินา ส่วนท่อชั้นอื่นๆ ล้วนทำจากควอทซ์ การที่ ICP torch มีท่อถึง 3 ชั้น เพื่อให้สามารถผ่านแก๊สอาร์กอนในอัตราไหลในระดับที่ต่างกันได้ และมีการผ่านแก๊สอาร์กอนถึง 3 บริเวณด้วยกัน ดังนี้

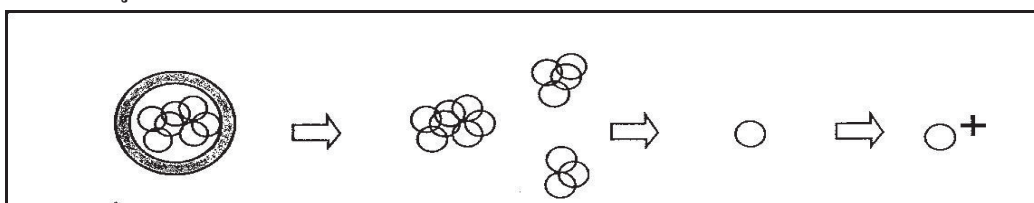
บริเวณแรก ไหลผ่านระหว่างท่อด้านนอกสุดและท่อตรงกลางด้วยอัตราการไหลสูงถึง 12-17 ลิตรต่อนาที เรียกแก๊สอาร์กอนในบริเวณนี้ว่า plasma gas หรือ cooling gas

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

ในบริเวณพลาสมา มีกระบวนการต่างๆ ที่เกิดกับละอองฝอยของสารละลายตัวอย่างที่ถูกพาผ่านเข้าไปยัง injector ดังภาพที่ 28



ภาพที่ 27 กระบวนการต่างๆ ที่เกิดในพลาสมา

ที่มา : แม้น อมรสิทธิ์ และคณะ, หลักการและเทคนิควิเคราะห์เชิงเครื่องมือ (กรุงเทพฯ : บริษัท ชวนการพิมพ์ 50 จำกัด, 2552) , 474.

4.4.3. 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) ซึ่งทำจากนิกเกิล หรือ แพลทินัม

interface ทำหน้าที่ในการสกัดไอออนจากพลาสมา เพื่อให้ผ่านเข้าไปยังช่องสุญญากาศอย่างมีประสิทธิภาพ โดยทั่วไปมีการใช้ปั๊มถึง 3 ตัว โดยในขั้นแรกทำหน้าที่ลดความดันจากความดันบรรยากาศเป็นความดันประมาณ 1 บาร์ และ 2 มิลลิบาร์ตามลำดับ ซึ่งการลดความดันในลักษณะนี้ทำให้เกิด supersonic expansion ของลำไอออน ทำให้ลำไอออนกางออกและไอออนส่วนหนึ่งเท่านั้นที่ยังคงอยู่บริเวณแนวกลางของลำไอออนเดินทางผ่าน skimmer cone เข้าช่องสุญญากาศได้ ถ้า skimmer cone มีขนาดรูใหญ่ขึ้นจะทำให้ไอออนเคลื่อนผ่านไปได้มากขึ้นและเป็นการเพิ่มความไวในการตรวจวัดให้มากขึ้น แต่ในทางปฏิบัติจะจำกัดรูของ skimmer cone ไว้ เพื่อลดการผ่านไปได้ของ matrix

4.4.4 ชุด ion optics

หลังจากไอออนเดินทางจากพลาสมาผ่านระบบ interface แล้ว จะเดินทางต่อไปยังส่วนของ ion optics เพื่อถูกบังคับกำหนดทิศทางการเดินทางไปยังหน่วยวิเคราะห์มวลไอออน โดยทั่วไปไอออนที่มีมวลมากกว่าจะสามารถเคลื่อนผ่าน ion focusing system ได้ดีกว่าทำให้มีความไวในการวิเคราะห์มากกว่า ทั้งนี้ เนื่องจากเมื่อไอออนเดินทางจากพลาสมาผ่านเข้าไปในระบบสุญญากาศ จะเกิดปรากฏการณ์ charge separation หมายถึงการที่ไอออนบวกแยกออกจากไอออนลบ เนื่องจากไอออนบวกมีมวลและพลังงานจลน์มากกว่าอิเล็กตรอนทำให้อิเล็กตรอนแพร่ออกไป ในบริเวณแนวกลางของลำไอออนจึงมีแต่ไอออนบวก ทำให้เกิดการผลักกันเอง ซึ่งไอออนมวลสูงจะผลักไอออนมวลต่ำออกจากแนวกลางของลำไอออน (defocusing) เพื่อป้องกันไม่ให้ไอออนหลุดออกจากแนวกลางลำ 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

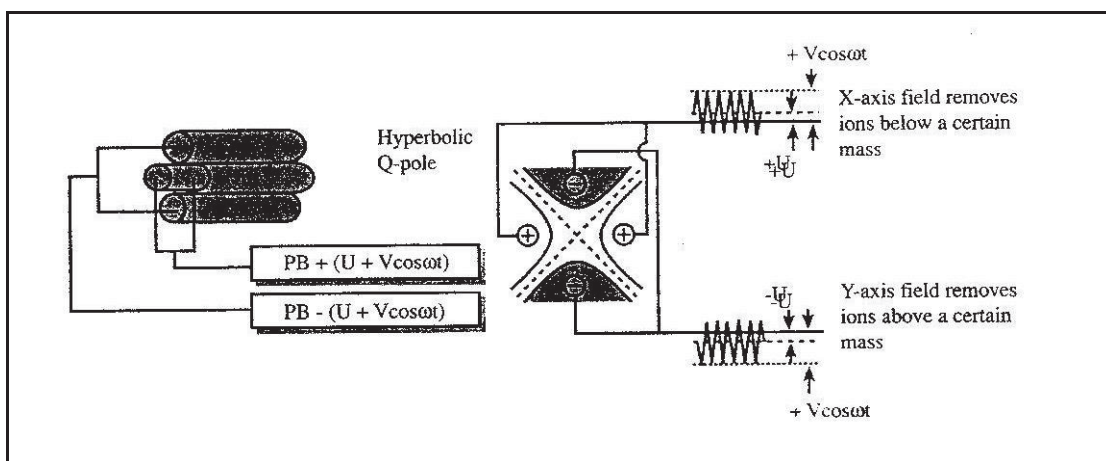
4.4.5 หน่วยวิเคราะห์มวลไอออน (mass analyzer)

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

4.4.6 หน่วยตรวจวัดไอออน (ion detector)

หน่วยตรวจวัดไอออนต้องมีความไวในการตรวจวัดสูงและสามารถตรวจวัดปริมาณไอออนได้ในช่วงกว้าง (wide dynamic range) โดยทั่วไปใช้เป็น electron multiplier detector ซึ่งอาจเป็นประเภท channel electron multiplier หรือ discrete dynode electron multiplier ดังภาพที่ 28



ภาพที่ 28 การทำงานของ quadrupole mass analyzer

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

Channel electron multiplier มีลักษณะเป็นท่อกรวยที่ฉาบด้วยวัสดุกึ่งตัวนำ ทำงานโดยการให้ศักย์ไฟฟ้าลบที่บริเวณทางเข้าของกรวยเพื่อดึงให้ไอออนบวกวิ่งเข้ามาได้และให้ศักย์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ (เป็นลบบ่อยลง) จนกระทั่งศักย์ไฟฟ้ามีค่าเป็นศูนย์ที่ปลายสุดของกรวย เมื่อไอออนบวกวิ่งมาชนพื้นผิวที่เป็นวัสดุกึ่งตัวนำทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกมา ซึ่งอิเล็กตรอนนี้ จะวิ่งไปชนพื้นผิวกึ่งตัวนำบริเวณใหม่ ทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกมาเพิ่ม เป็นเช่นนี้ไปเรื่อยๆ ทำให้เกิดการขยายของจำนวนอิเล็กตรอน

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

4.5 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)

4.6 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 ตัวอย่างของการซ้อนทับกันของสเปกตรัมที่มาจาก การรบกวนของอาร์กอน เช่น การเกิดการรวมตัวกันระหว่างอาร์กอนกับออกซิเจน $^{40}\text{Ar}^{16}\text{O}$ จะรบกวนการวิเคราะห์ธาตุเหล็ก ^{56}Fe นอกเหนือจากนั้น อาร์กอนยังสามารถจับรวมตัวกับธาตุต่างๆ ในกรดที่ใช้เป็นตัวย่อยสลายสารตัวอย่าง เช่น $^{40}\text{Ar}^{35}\text{Cl}$ ซึ่งรบกวนการวิเคราะห์ปริมาณสารหนู ^{75}As การเกิดการรวมตัวระหว่างอาร์กอนกับธาตุคาร์บอนจากตัวทำละลายอินทรีย์ต่างๆ $^{40}\text{Ar}^{12}\text{C}$ ก่อให้เกิดปัญหาการรบกวนการวิเคราะห์ปริมาณธาตุโครเมียม ^{52}Cr และในตัวอย่างที่มีธาตุโซเดียมสูง เช่น น้ำทะเล ก็อาจเกิดปัญหาต่อการวิเคราะห์ ^{63}Cu จากการรบกวนของ $^{40}\text{Ar}^{23}\text{Na}$ เป็นต้น นอกเหนือจากนั้นธาตุต่างๆ เช่น ไฮโดรเจน ออกซิเจน จากน้ำหรืออากาศ ก่อให้เกิดการรบกวนจากการรวมตัวของ $^1\text{H}^{16}\text{O}^{16}\text{O}^1\text{H}$ 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

4.7 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 ซึ่งทำให้เกิดการเหวี่ยงไอออนของธาตุที่กำลังวิเคราะห์ออกจากแนวกลางของลำไอออน ในกรณีการวิเคราะห์ธาตุที่มีมวลน้อยๆ ในตัวอย่างที่มีธาตุที่มีมวลสูงปนอยู่ในปริมาณมาก ไอออนของธาตุที่มีมวลสูงนี้มีพลังงานจลน์มากกว่า และจะแย่งจางที่บริเวณแนวกลางของลำไอออนและผลักไอออนของธาตุที่กำลังวิเคราะห์ออกจากแนวกลางของลำไอออน ซึ่งถ้าไอออนที่วิเคราะห์มีมวลยิ่งต่ำก็จะโดนผลักออกจากแนวกลางของลำไอออนมากกว่าไอออนที่มีมวลสูงขึ้น ตัวอย่างเช่น ในการวิเคราะห์ ^7Li ^9Be ^{205}Tl และ ^{208}Pb ในตัวอย่างที่มีธาตุยูเรเนียมปนอยู่ 1000 ส่วนในล้านส่วน จะเห็นได้ถึงการลดลงของสัญญาณของ ^7Li ^9Be อย่างชัดเจนเมื่อเทียบกับการลดลงของสัญญาณของ ^{205}Tl และ ^{208}Pb ซึ่งสามารถแก้ไขปัญหามาจาก space charge matrix suppression ได้ โดยการใช้วิธีการเติมสารมาตรฐานภายใน (internal standardization) อย่างไรก็ดีวิธีการนี้ช่วยทำให้ปัญหาเบาบางแต่ไม่ได้เป็นการแก้ไขปัญหาคาที่ต้นเหตุ อีกวิธีหนึ่ง คือ การปรับให้ศักย์ไฟฟ้าที่เลนส์ของระบบ ion optics มีค่าเหมาะสม เพื่อบังคับการเคลื่อนที่ของไอออนของธาตุที่กำลังวิเคราะห์ให้

สามารถเดินทางผ่านไปยังหน่วยตรวจวัดมวลได้ และเลือกที่ไม่ให้อิออนของธาตุรบกวนผ่านไป ได้ โดยทั่วไปในการวิเคราะห์ควรจากรักษาระดับของธาตุรบกวนให้มีปริมาณต่ำกว่า 100-200 ส่วนในล้านส่วน

การเกิดการสะสมของเกลือ (salt build-up) การเกิดการสะสมของเกลือและออกไซด์จาก สารตัวอย่าง เช่น จากน้ำทะเล ทำให้เกิดการกีดขวางบริเวณ sampler cone สามารถแก้ไขโดยการ เจือจางสารตัวอย่างให้มีปริมาณ total dissolved solid น้อยกว่า 0.1% หรืออาจใช้เทคนิค flow injection ในการนำสารละลายตัวอย่างเข้าสู่ระบบการวิเคราะห์เพื่อลดปริมาณการนำเข้าสู่ของสาร ตัวอย่าง หรือการเตรียมตัวอย่างโดยวิธีต่างๆ เพื่อกำจัด matrix ออกไปก่อนการวิเคราะห์

4.8 การแก้ไขปัญหาการรบกวนจากการซ้อนทับกันของสเปกตรัม

วิธีแก้ไขปัญหาการรบกวนจากการซ้อนทับกันของสเปกตรัม อาจทำได้โดยการกำจัด สารที่ก่อการรบกวนการวิเคราะห์ออกไป เช่น การตกตะกอน การแยกสาร โดยวิธีการนี้มักใช้กับ ตัวอย่างน้ำทะเล ซึ่งต้องการกำจัดปัญหาจากเกลือโซเดียมคลอไรด์และแมกนีเซียมคลอไรด์ หรือ อาจใช้สมการทางคณิตศาสตร์เพื่อหักล้างการรบกวน รวมถึงการใช้เทคโนโลยีสมัยใหม่ เช่น การใช้เทคโนโลยีพลาสมาเย็น (cool/cold plasma) การใช้เทคโนโลยี collision/reaction cells และการเลือกใช้หน่วยวิเคราะห์มวลไอออนที่มีประสิทธิภาพสูง (high resolution mass analyzer)

4.8.1 การใช้สมการทางคณิตศาสตร์

สามารถใช้ได้กับการแก้ไขปัญหาการรบกวนจาก isobaric interferences และ polyatomic interferences บางกรณี โดยทำการวัดสัญญาณของไอออนของสารรบกวนที่มีมวลอื่นที่ไม่ตรงกับมวลของไอออนของธาตุที่ต้องการวิเคราะห์ ภายใต้อิออนที่ปลดจากการรบกวนใดๆ ต่อการวัดสัญญาณที่มีมวลนั้นๆ หรือไอโซโทปนั้นๆ และใช้การเทียบบรรทัดใดอย่างคล้อยไป ประเมินที่มีมวลหรือไอโซโทปที่เราสนใจนั้นว่า สัญญาณที่วัดได้นั้นจะมาจากธาตุหรือสารที่ก่อการรบกวนอยู่เป็นสัดส่วนเท่าไร เพื่อทำการหักลบออกจากสัญญาณที่วัดได้ ส่วนต่างนี้เองคือสัญญาณของไอออนของธาตุที่กำลังวิเคราะห์ ตัวอย่างเช่น การวิเคราะห์ธาตุแคดเมียมที่มีมวล 114 (^{114}Cd) ซึ่งมีดีบุก (^{114}Sn) เป็นธาตุรบกวน ในการวิเคราะห์ปริมาณแคดเมียมในตัวอย่างที่อาจมีดีบุกเจือปนอยู่ ด้วยนั้น 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 เพื่อใช้ในการเทียบ กลับว่าสัญญาณที่วัดได้ที่มีมวล 51 นั้น มาจาก ^{35}Cl ^{16}O เท่าไร และส่วนต่างคือสัญญาณของ ^{51}V

4.8.2 การใช้เทคโนโลยีพลาสมาเย็น (cool/cold plasma)

ในกรณีที่ปัญหาสารรบกวนมีมาก และธาตุที่ต้องการวิเคราะห์ให้สัญญาณน้อยมาก การใช้สมการในการแก้ไขปัญหามักไม่ถูกต้อง ดังนั้นจึงมีการพัฒนาวิธีการที่เป็นทางเลือกในการแก้ไขปัญหากล่าวคือการใช้อุณหภูมิพลาสมาเย็น ซึ่งหมายถึงพลาสมาที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าปกติในการลดปัญหาจากการเกิดตัวรบกวนที่เกิดจากการรวมตัวกับอาร์กอน ที่สภาวะปกติของพลาสมา (เครื่องกำเนิดคลื่นความถี่วิทยุกำลัง 1000-1400 วัตต์ และอัตราการไหลของ nebulizer gas เป็น 0.8-1.0 ลิตรต่อนาที) อาร์กอนสามารถเกิดการเปลี่ยนสภาพเป็นไอออนซึ่ง ^{40}Ar รบกวนการวิเคราะห์ ^{40}Ca หรืออาจเกิดการรบกวนโดยรวมตัวกับธาตุอื่นๆ ที่มีในตัวทำละลายกลายเป็น $^{38}\text{Ar}^+\text{H}$ และ $^{40}\text{Ar}^{16}\text{O}$ ซึ่งรบกวนการวิเคราะห์ ^{39}K และ ^{56}Fe การใช้พลาสมาเย็นที่กำลัง 500-800 วัตต์ และใช้อัตราการไหลของ nebulizer gas เป็น 1.5-1.8 ลิตรต่อนาที) ทำให้การเกิดสภาพไอออนในเซชันเปลี่ยนไปและการรบกวนดังกล่าวลดลงอย่างมาก ส่งผลต่อการลดลงของ detection limits อย่างไรก็ดี เทคโนโลยีนี้ใช้ได้กับธาตุเพียงบางกลุ่มเท่านั้น และมีข้อจำกัดจากการที่เกิดไอออนในเซชันของธาตุก็มีประสิทธิภาพลดลง การวิเคราะห์สารตัวอย่างที่ซับซ้อนจะเป็นไปโดยยาก เนื่องจากจะเกิดการรบกวนจาก matrix อย่างมาก

4.8.3 การใช้เทคโนโลยี collision / reaction cells

เนื่องจากข้อจำกัดของการใช้อุณหภูมิพลาสมาเย็นทำให้มีการพัฒนาเทคโนโลยี collision/reaction cells โดยการกำจัด polyatomic interferences ออกจากลำของไอออนก่อนที่จะเดินทางผ่านไปยังหน่วยวิเคราะห์มวล

4.8.4 การใช้หน่วยวิเคราะห์มวลไอออนที่มีประสิทธิภาพสูง (high resolution mass analyzer)

การเพิ่มประสิทธิภาพในการแยกมวลไอออนโดยการใช้ high resolution mass spectrometer ซึ่งมีกำลังการแยกสูง สามารถจัดปัญหาจากการซ้อนทับกันของสเปกตรัมได้แต่มีข้อเสียตามมาก็คือ ความไวในการวิเคราะห์จะลดลงด้วย

4.9 การแก้ไขปัญหารบกวนจาก matrix interferences อื่นๆ โดยวิธีการเติมสารมาตรฐานภายใน (internal standardization)

วิธีการดั้งเดิมที่ใช้แก้ไขปัญหามาจากการที่สารตัวอย่างมีคุณสมบัติทางกายภาพที่แตกต่างจากสารมาตรฐาน คือ การใช้วิธีการเติมสารมาตรฐานภายใน (internal standardization) ทำได้โดยเติมสารมาตรฐาน ซึ่งเป็นธาตุคนละตัวกับธาตุที่กำลังจะวิเคราะห์ในระดับความเข้มข้น ส่วนในพันล้านส่วน (parts-per-billion) ลงไปในปริมาณที่เท่าๆ กันทั้งในสารละลายตัวอย่างและสารละลายมาตรฐานรวมถึงใน reagent blanks ด้วย เพื่อวัดค่าอัตราส่วนของสัญญาณที่ได้เทียบกับ

สาร internal standard วิธีการนี้ใช้แก้ไขปัญหาคross physical interferences จากการที่สารตัวอย่างมีคุณสมบัติทางกายภาพที่แตกต่างจากสารมาตรฐาน และช่วยลดปัญหาจากการที่เครื่องมือเกิด long-term signal drift ที่สารอื่นๆ (matrix) ไปขวางทางเดินของไอออนในบริเวณรูเปิดของ sampler cone และ skimmer cone โดยมีข้อแนะนำในการเลือกสารมาตรฐานภายใน (internal standard) ดังนี้

1. เป็นธาตุที่ไม่มีอยู่ในสารตัวอย่าง
2. เป็นธาตุที่ไม่ก่อให้เกิดปัญหาการรบกวนของสเปกตรัมและปลอดจากการรบกวนจากการรบกวนของสเปกตรัม
3. เป็นธาตุที่ไม่เกิดการเจือปนจากสิ่งแวดล้อมได้ง่าย
4. เป็นธาตุที่มีมวลใกล้เคียงกับธาตุที่กำลังวิเคราะห์
5. เป็นธาตุที่มีค่าพลังงานไอออนในเซชันใกล้เคียงกับธาตุที่กำลังวิเคราะห์ และมีพฤติกรรมในพลาสมาคล้ายกัน

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

4.10 การวิเคราะห์เชิงปริมาณด้วยเทคนิค ICP-MS

วิธีวิเคราะห์ปริมาณธาตุโดยเทคนิค ICP-MS อาศัยความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณของไอออนที่ตรวจวัดได้กับความเข้มข้น โดยวิธีสอบเทียบกับสารละลายมาตรฐาน ทั้งนี้ทำได้หลายวิธี ดังนี้

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

วิธีเติมสารมาตรฐานในตัวอย่าง (standard addition method) วิธีการนี้เป็นที่รู้จักและใช้กันทั่วไปในการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ทางเชิงแสงของอะตอม ซึ่งทำโดยการเติมสารละลายมาตรฐานของธาตุที่ต้องการวิเคราะห์ลงในสารละลายตัวอย่าง ทั้งนี้จะต้องนำสาร

ตัวอย่าง ทั้งนี้จะต้องนำสารตัวอย่างมาเท่าๆ กัน เติมลงไปในขวดปริมาตรทุกขวด แล้วเติมสารละลายมาตรฐานในปริมาณเท่าที่ทราบ คาลดหลั่นไปตามลำดับ แล้วเติมน้ำบริสุทธิ์ให้ได้ปริมาตรเท่ากันทั้งหมดเพื่อนำไปตรวจวัดสัญญาณ

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

4.11 ข้อเสนอแนะเพื่อให้ได้ผลการวิเคราะห์ที่ถูกต้อง

4.11.1 ควรตรวจสอบว่าระบบการนำสารตัวอย่างเข้าสู่พลาสมาและอุปกรณ์ sampler cone และ skimmer cone สะอาด ทำความสะอาดโดยใช้กรดไนตริกความเข้มข้น 1% และทำให้แห้งก่อนการนำไปใช้

4.11.2 ควรปรับเครื่อง ICP-MS ให้อยู่ในสภาพที่เหมาะสมแก่การใช้งาน โดยทำตามวิธีการที่แนะนำอยู่ในคู่มือการใช้งานของเครื่อง ICP-MS สามารถอธิบายโดยสังเขปได้ คือการใช้สารละลายมาตรฐานที่ประกอบด้วยธาตุต่างๆ เช่น Mg Rh Ce และ U 10 ส่วนในพันล้านส่วน เพื่อปรับความไวในการตรวจวัดของเครื่องมือ ICP-MS โดยจะปรับเพื่อให้ได้สัญญาณที่สูงสุด โดยคำนึงว่าอัตราส่วนระหว่าง ${}^{140}\text{Ce}$ ${}^{16}\text{O}/{}^{140}\text{Ce}$ 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

4.11.3 ในการวิเคราะห์เชิงปริมาณ ต้องมั่นใจว่าสารมาตรฐานยังมีคุณภาพดี ควรเตรียมสารละลายมาตรฐาน และสารละลายตัวอย่างที่จะวิเคราะห์ในน้ำบริสุทธิ์ ปราศจากไอออน และควรรักษาเสถียรภาพของสารละลายที่เตรียมขึ้นโดยเติมกรดไนตริกเล็กน้อย

5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ศิริลักษณ์ ชไมบุปผา (2551) ศึกษาการกระจายตัวของอนุภาคเขม่าป็นจากปิ่นที่ยิงในห้องปิดด้วยเทคนิค ICP-OES โดยสามารถแสดงให้เห็นว่า ในระยะ 1-2 เมตร จากด้านหน้า และด้านขวา

ของผู้ยิงเป็นมุม 45 องศา จะพบปริมาณอนุภาคเขม่าป็นมากที่สุด และพบมากที่สุด ในช่วง 1-3 นาที ภายหลังจากการยิงปืน ซึ่งอนุภาคเขม่าป็น จากปืนทั้ง 2 ชนิด มีปริมาณการกระจายตัวแตกต่างกัน

Koon (1998) ทำการศึกษาปริมาณของธาตุ Sb , Ba และ Pb ที่เป็นองค์ประกอบใน อนุภาคเขม่าป็น โดยวิธี Collection Swab วิเคราะห์ด้วยเครื่อง Inductively Coupled Plasma – Mass Spectrometry (ICP - MS) โดยทำการเก็บตัวอย่างจากมือทั้งสองข้างของผู้ยิงปืน งานวิจัยนี้ได้ อธิบายถึงข้อดีของเทคนิค ICP – MS คือ สามารถควบคุมสิ่งรบกวนที่เกิดขึ้นจากวิธีการสกัดได้ , มี สภาพไวสูง , ช่วงความเข้มข้นของการสร้าง Calibration Curve กว้าง , ใช้เวลาในการวิเคราะห์สั้น และมีความเที่ยงและความแม่นยำสูง ทำให้ถูกนำมาใช้ในงานวิจัยนี้

Fojtasek and others (2003) ทำการศึกษาการกระจายของอนุภาค GSR 7 ทิศทาง ใน สิ่งแวดล้อมของการยิงปืน (ปืนพกสั้น ยี่ห้อ CZ ขนาด 9 มม.LUGER) ทั้งปัจจัยภายในและภายนอก และชนิดของกระสุนปืนที่แตกต่างกัน 2 ชนิด ที่จะนำมาใช้ในการทดลองยิง ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่า จำนวนอนุภาค GSR ที่มากที่สุดอยู่ทางด้านขวาห่างจากตำแหน่งที่ยิง 2 – 4 เมตร และอนุภาค GSR ยังคงพบอีกที่ระยะ 10 เมตร

Sarkis and others (2004) ได้ทำการศึกษาการตรวจพิสูจน์ธาตุโลหะ Sb , Ba และ Pb ด้วยเทคนิค SF – ICP – MS ในปืนพกสั้น ซึ่งเป็นที่นิยมใช้กันมากในประเทศบราซิล โดยใน งานวิจัยก่อนหน้านี้ได้กล่าวถึงการเก็บตัวอย่างเขม่าป็น โดยใช้สารละลาย EDTA ซึ่งเป็น Complexing Agent และในการศึกษารั้งนี้ผู้วิจัยได้กล่าวถึงความสามารถของวิธีการที่จะตรวจ พิสูจน์ธาตุโลหะ Sb , Ba และ Pb บนมือของอาสารมัครภายหลังการยิงปืน โดยใช้ปืนพกสั้น ขนาด 9 มม. และ ขนาด .40 นิ้ว ใช้กระสุนปืน 2 ชนิดในการทดสอบ คือ 9 mm. Taurus และ Clean Range และใช้เทคนิคที่มีสภาพไวสูง คือ เทคนิค SF – ICP – MS ที่สามารถตรวจพิสูจน์ธาตุโลหะที่มาจาก การยิงปืนที่มีความเข้มข้นต่ำ (น้อยกว่า 1 ug / L) ซึ่งนับเป็นอีกวิธีหนึ่งที่มีประสิทธิภาพสูงในงาน ด้านนิติวิทยาศาสตร์

Bakowska and others (2006) ได้ทำการศึกษาการวิเคราะห์อนุภาคเขม่าป็นโดยใช้ เทคนิค ICP – MS ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้กล่าวถึงความสำเร็จของเทคนิคนี้ในการวิเคราะห์ธาตุที่เป็น องค์ประกอบของอนุภาคเขม่าป็น (GSR) โดยปริมาณของ Sb , Ba และ Pb สามารถวิเคราะห์ได้จาก สารละลายสกัดของ GSR ที่เก็บโดยวิธี Collection Swabซึ่งประสิทธิภาพของเทคนิคนี้สามารถดูได้ จากการทดลอง

งานวิจัยดังกล่าวที่ผู้วิจัยได้ศึกษานั้นเพื่อนำมาใช้เป็นแนวทางประกอบการอภิปรายผล การทดลองในส่วนของการเก็บตัวอย่างรวมถึงการเก็บตัวอย่างจากบริเวณต่างๆ

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

1. เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

ตารางที่ 3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้	แหล่งที่มา
1. เครื่อง Inductively Coupled Plasma – Mass Spectrometer, ICP – MS	PerkinElmer
2. สำลีก้าน (Cotton Bud) จำนวน 4 ยี่ห้อ คือ เอเวอร์กรีน, ดีนี, รอยาบาล และโฮมเฟรชมาร์ท	ห้างสรรพสินค้า
3. ซองพลาสติกใสมิซีป ขนาด 9 x 14 นิ้ว และ ขนาด 9 x 13 ซม	ห้างสรรพสินค้า
4. แผ่นกระเบื้องขนาด 2 x 2 นิ้ว	ห้างสรรพสินค้า
5. หลอดทดลอง ขนาด 16 x 150 mm.	บริษัท อาศรม
6. อาวุธปืนพกกึ่งออโตเมติก ขนาด 9 มม. LUGER ยี่ห้อ GLOCK MODEL 19 ความยาวลำกล้อง 3.75 นิ้ว	พ.ต.ท.เชิดพงศ์ ชุกกลิ่น
7. กระสุนปืนออโตเมติก ขนาด 9 มม. LUGER ยี่ห้อ Bullet Master	สนามยิงปืน กรมการ รักษาดินแดง
8. ห้องยิงปืน ขนาด 5.75 x 20.40 เมตร	กลุ่มงานตรวจอาวุธปืน และเครื่องกระสุน กอง พิสูจน์หลักฐานกลาง

2. สารเคมีที่ใช้ในการวิจัย

ตารางที่ 4 สารเคมีที่ใช้ในการวิจัย

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

3. การเตรียมสารละลายมาตรฐาน

3.1 การเตรียมสารละลายกรดไนตริก 5% (5% HNO_3)

ดวงกรดไนตริกเข้มข้น (conc. HNO_3) for analysis 50 ml เทลงใน deionize water แล้วปรับปริมาตรเป็น 1000 ml

3.2 การเตรียมสารละลายผสมระหว่าง กรดไนตริก 5% (5% HNO_3), กรดซिटริก 2% (2% $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$) และ กรดทาร์ทาริก 2% (2% $\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_6$)

ชั่งกรดซिटริก ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$) 2 กรัม และกรดทาร์ทาริก ($\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_6$) 2 กรัม ละลายด้วย 5 % HNO_3 ปรับปริมาตรด้วย 5 % HNO_3 จนมีปริมาตรครบ 100 mL

3.3 การเตรียมสารละลายแอนติโมนี แบเรียม ตะกั่ว

3.3.1 การเตรียมสารละลายมาตรฐานแอนติโมนี 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

3.3.2 การเตรียมสารละลายมาตรฐานแอนติโมนี แบเรียม ตะกั่ว เข้มข้น 1000, 2000, 4000 ug / L

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

3.3.3 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน แอนติโมนี แบเรียม ตะกั่ว ที่ใช้ในการวิจัย แสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 การเตรียมสารละลายมาตรฐานแอนติโมนี 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	

4. วิธีการวิเคราะห์หาปริมาณเขม่าปืน (GSR) ที่เช็ดด้วยสำลีพันปลายแท่งพลาสติก(cotton bud) ด้วยเทคนิค ICP-MS

ยิงปืนด้วยอาวุธปืนพกกึ่งอัตโนมัติ ขนาด 9 มม. LUGER ยี่ห้อ GLOCK MODEL 19 ความยาวลำกล้อง 3.75 นิ้ว (ดังภาพที่ 29) โดยใช้กระสุนปืนอัตโนมัติ ขนาด 9 มม. LUGER ยี่ห้อ Bullet Master (ดังภาพที่ 30) เช็ดด้วยสำลีพันปลายแท่งพลาสติก(cotton bud) จำนวน 4 ยี่ห้อ คือ เอเวอร์กรีน, ดีนี, รถพยาบาล และโฮมเฟรชมาร์ท ตามลำดับ(ดังภาพที่ 31) โดยนำสำลีพันปลายแท่งพลาสติก (cotton bud) แต่ละยี่ห้อมาตัดปลายสำลีข้างหนึ่งออก แล้วใส่ถุงพลาสติกใสมี

ชิป (ถุงละ 1 ก้าน) โดยทุกขั้นตอนของการทดลองจะทำภายในห้องยิงปืนที่ปิดมิดชิด และไม่มีลมพัดผ่านของกลุ่มงานตรวจอาวุธปืนและเครื่องกระสุน กองพิสูจน์หลักฐานกลาง (ดังภาพที่ 32)



ภาพที่ 29 อาวุธปืนพกกึ่งออโตเมติก ขนาด 9 มม. LUGER ยี่ห้อ GLOCK MODEL 19

4.1 ทำการสุ่มตัวอย่างกระสุนปืนออโตเมติก ขนาด 9 มม.

ทำการสุ่มตัวอย่างกระสุนปืนที่ใช้ในการทดลอง โดยทำการสุ่ม 1 : 200 นัด เพื่อหาปริมาณ แอนติโมนี แบเรียม และตะกั่ว ในแก๊ปของกระสุนปืน ที่ใช้ในการทำการทดลอง



ภาพที่ 30 กระสุนปืนออโตเมติก ขนาด 9 มม. LUGER ยี่ห้อ Bullet Master ที่ใช้ในการทดลอง



ภาพที่ 31 ลำลีพันปลายแท่งพลาสติก (cotton bud) ที่ใช้ในการทดลอง



ภาพที่ 32 ห้องทดสอบยิงปืน กลุ่มงานตรวจอาวุธปืนและเครื่องกระสุน กองพิสูจน์หลักฐานกลาง

4.2 การทดลองจำนวนนัดของการยิง

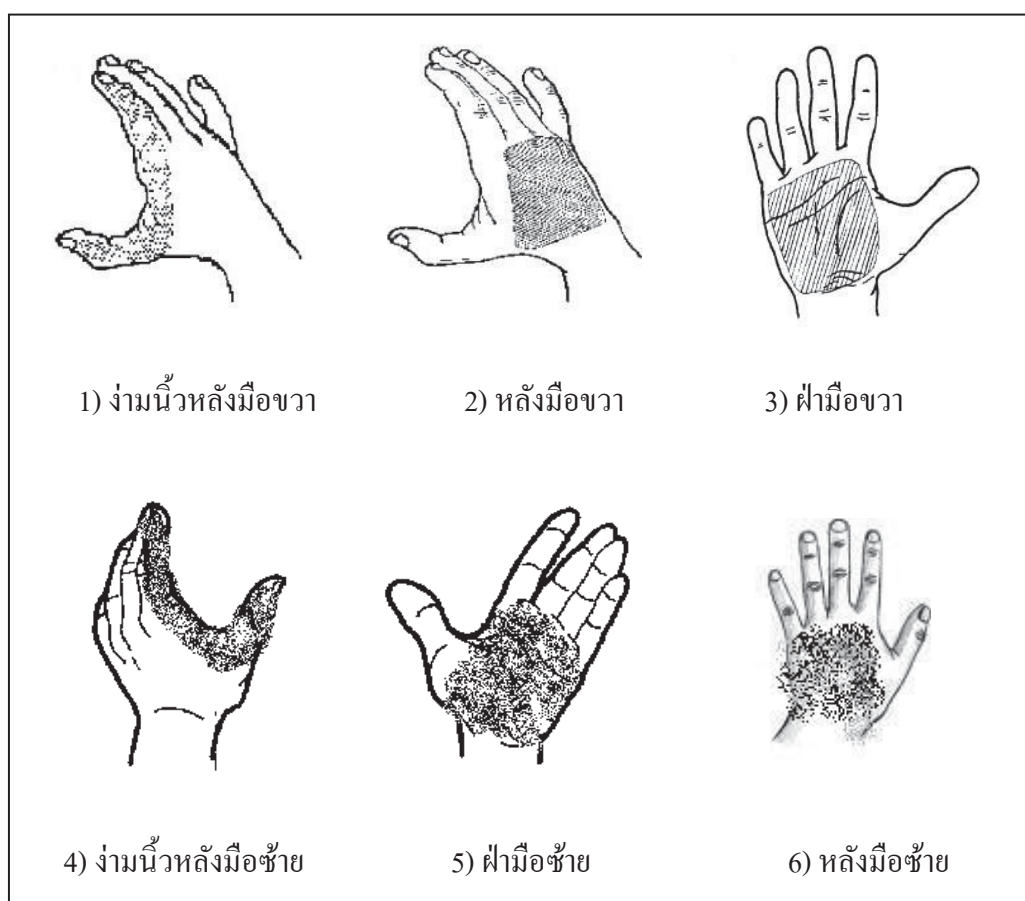
ทำการยิงปืนพกอัตโนมัติ ขนาด 9 มม. LUGER ครั้งละ 1 นัด, 2 นัด และ 3 นัด เพื่อหาจำนวนนัดที่เหมาะสมที่จะใช้ในงานวิจัยนี้ต่อไป

4.3 การทดสอบหาความสามารถในการทำซ้ำ (Repeatability)

ทำการยิงปืนพกอัตโนมัติ ขนาด 9 มม. LUGER ครั้งละ 3 นัด จำนวน 10 ครั้ง เก็บตัวอย่าง ภายหลังการยิงปืนที่มือทั้งสองข้างทันที เพื่อหาค่าความแม่นยำในการวิเคราะห์ของงานวิจัยนี้

4.4 การทดสอบบริเวณที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง

ทำการเก็บตัวอย่างภายหลังการยิงปืนแล้วทันที จำนวน 6 บริเวณ ได้แก่ ง่ามนิ้วหลังมือขวา, หลังมือขวา, ฝ่ามือขวา, ง่ามนิ้วหลังมือซ้าย, หลังมือซ้าย, ฝ่ามือซ้าย เพื่อหาบริเวณที่เหมาะสมในการเก็บตัวอย่างต่อไปในงานวิจัยนี้ ดังภาพที่ 33



ภาพที่ 33 แสดงบริเวณที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างทดลอง

4.5 ขั้นตอนการเก็บตัวอย่าง

4.5.1 ศึกษาปริมาณธาตุที่พบในเขม่าปืน โดยใช้สำลีพันปลายแท่งพลาสติก (cotton bud) เก็บตัวอย่าง

4.5.1.1 เก็บตัวอย่างบนแผ่นกระเบื้อง

4.5.1.1.1 จับคู่สำลีพันปลายแท่งพลาสติก (cotton bud) ทั้ง 4 ยี่ห้อมาเพื่อเปรียบเทียบปริมาณเขม่า ดังนี้

คู่ที่ 1 เอเวอร์กรีน กับ รถพยาบาล

คู่ที่ 2 คีนี กับ โซมเฟรชมาร์ท

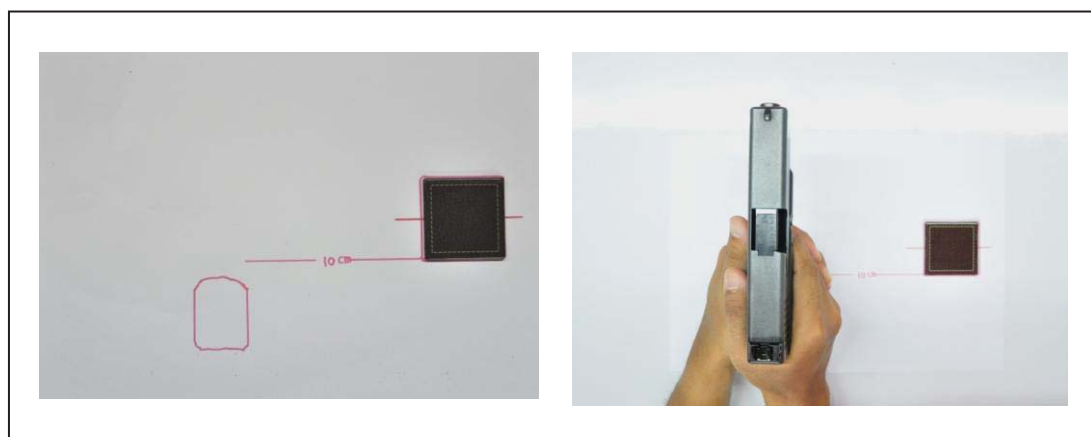
คู่ที่ 3 เอเวอร์กรีน กับ คีนี

คู่ที่ 4 รถพยาบาล กับ โซมเฟรชมาร์ท

คู่ที่ 5 เอเวอร์กรีน กับ โซมเฟรชมาร์ท

คู่ที่ 6 รถพยาบาล กับ คีนี

4.5.1.1.2 วางแผ่นกระเบื้องลงบนแผ่นกระดาษสีขาว ซึ่งได้ทำการระบุตำแหน่งของอาวุธปืน, แผ่นกระเบื้องและแบ่งพื้นที่ในการเก็บตัวอย่างไว้แล้ว โดยอาวุธปืนจะอยู่ห่างจากแนวช่องคัดลอกออกมาประมาณ 10 เซนติเมตร (ดังภาพที่ 34)



ภาพที่ 34 แสดงตำแหน่งที่วางอาวุธปืนและแผ่นกระเบื้อง

4.5.1.1.3 ทำการยิงปืนในห้องทดลองที่ปิดมิดชิดและไม่มีลมผ่าน โดยใช้ปืนพกอัตโนมัติ ขนาด 9 มม. LUGER ยี่ห้อ GLOCK MODEL 19 ความยาวลำกล้อง 3.75 นิ้ว และใช้กระสุนปืนอัตโนมัติ ขนาด 9 มม. LUGER ยี่ห้อ Bullet Master ทำการยิงโดยการจับอาวุธปืนด้วยมือทั้งสองข้าง ใช้มือขวากำอาวุธปืนและมือซ้ายรองรับอาวุธปืนอยู่ด้านล่างมือขวา จากนั้น วางปืนให้อยู่ในแนวตั้งฉากกับแผ่นกระเบื้อง และช่องคัดลอกอยู่ตรงกับแผ่นกระเบื้อง (ดังภาพที่ 34) ยิงครั้งละ 3 นัด ในแต่ละครั้งจะมีการทำซ้ำ จำนวน 10 ครั้ง ที่ระยะห่างจากเป้าหมายประมาณ 10 เมตร



ภาพที่ 35 แสดงการจับปืนและการวางตำแหน่งปืน

4.5.1.1.4 หลังจากยิงปืนแล้ว ตั้งแผ่นกระเบื้องไว้ รอจนระยะเวลาผ่านไป 15 นาที จึงทำการเก็บตัวอย่างบนแผ่นกระเบื้อง ตามพื้นที่ไว้

4.5.1.1.5 ทำการเก็บตัวอย่างโดยหยดกรดไนตริก 5% ลงบนสำลีพันปลายแท่งพลาสติก (cotton bud) ที่ตัดปลายข้างหนึ่งทิ้ง จำนวน 3 ก้าน แต่ละก้านบรรจุในซองพลาสติกใสมือจับและระบุหน้าซองว่าเป็นกรดตัวอย่าง, ก้านสำลียี่ห้อเอเวอร์กรีน และยี่ห้อรถพยาบาล (ดังภาพที่ 35) ประมาณ 3 – 4 หยด แล้วบรรจุใส่ซองโดยการหีบต้องพยายามไม่สัมผัสสำลี



ภาพที่ 36 แสดงวิธีการเก็บตัวอย่างเขม่าป็นแผ่นกระเบื้อง

4.5.1.1.6 ในการเก็บตัวอย่างกระทำโดยเช็ดจากด้านบนลงด้านล่าง (ห้ามเช็ดกลับไปมา) พร้อมหมุนก้านสำลีเพื่อให้เขม่าป็นติดโดยรอบแล้วจึงบรรจุลงไปในซองประมาณ 8 ครั้ง แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค ICP – MS ต่อไป

4.5.1.1.7 ทำการทดลองซ้ำ ก่อนจะทำการทดลองจะต้องเปิดพัดลมดูดอากาศทิ้งไว้ 10 นาที แล้วจึงทำการทดลองต่อ

4.4.1.8 ทำการทดลองแบบเดียวกัน แต่เปลี่ยนคู่ของยี่ห้อสำลีพันปลายแท่งพลาสติก (cotton bud) ที่ใช้ในการเปรียบเทียบ

4.5.1.2 เก็บตัวอย่างบนมือ

4.5.1.2.1 ก่อนทำการยิงปืนทุกครั้ง จะต้องล้างมือให้สะอาด แล้วหยดกรดไนตริก 5% ลงบนสำลีพันปลายแท่งพลาสติก (cotton bud) ที่ตัดปลายข้างหนึ่งทิ้ง แล้วเช็ดบริเวณหลังมือขวา เพื่อนำไปวิเคราะห์ว่า ก่อนทำการยิงปืนมีธาตุทั้ง 3 ชนิด ปนเปื้อนอยู่ที่มือหรือไม่

4.5.1.2.2 ทำการยิงปืนในห้องทดลองที่ปิดมิดชิดและไม่มีลมพัดผ่านโดยใช้ปืนพกอัตโนมัติ ขนาด 9 มม. LUGER ยี่ห้อ GLOCK MODEL 19 ความยาวลำกล้อง 3.75 นิ้ว และ ใช้กระสุนปืนอัตโนมัติ ขนาด 9 มม. LUGER ยี่ห้อ Bullet Master ทำการยิงโดยการจับอาวุธปืนด้วยมือทั้งสองข้าง ใช้มือขวากำอาวุธปืนและมือซ้ายรองรับอาวุธปืนอยู่ด้านล่างมือขวา ยิงครั้งละ 3 นัด ในแต่ละครั้งจะมีการทำซ้ำ จำนวน 5 ครั้ง ที่ระยะห่างจากเป้าหมายประมาณ 10 เมตร

4.5.1.2.3 หลังจากการยิงปืนแล้ว จึงทำการเก็บเขม่าปืนในแต่ละบริเวณที่กำหนด ได้แก่ แก่นิ้วหลังมือขวา และหลังมือขวา ทันทันที

4.5.1.2.4 ทำการเก็บตัวอย่างโดยหยดกรดไนตริก 5% ลงบนสำลีพันปลายแท่งพลาสติก (cotton bud) ที่ตัดปลายข้างหนึ่งทิ้ง (ใช้ก้านสำลียี่ห้อเอเวอร์กรีน)

4.5.1.2.5 ทำการเก็บตัวอย่างโดยหยดกรดไนตริก 5% ลงบนสำลีพันปลายแท่งพลาสติก (cotton bud) ที่ตัดปลายข้างหนึ่งทิ้ง จำนวน 4 ก้าน แต่ละก้านบรรจุในซองพลาสติกใสมีซิปลและระบุหน้าซองว่าเป็นกรดตัวอย่าง, เก็บก่อนยิง, แก่นิ้วหลังมือขวา และหลังมือขวา ประมาณ 3 – 4 หยด แล้วบรรจุใส่ซองโดยการหีบต้องพยายามไม่สัมผัสสำลี (ดังภาพที่ 37)



ภาพที่ 37 ซองเก็บตัวอย่าง

4.5.1.2.6 ในการเก็บตัวอย่าง กระทำโดยเด็ดจากด้านบนลงด้านล่าง (ห้ามเขี่ยกลับขึ้นมา) พร้อมหมั่นก้านสำลีเพื่อให้เขม่าป็นติดโดยรอบแล้วจึงบรรจุลงไปในซองประมาณ 8 ครั้ง แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค ICP – MS ต่อไป ทำการทดลองซ้ำ เพียงแต่เปลี่ยนยี่ห้อของก้านสำลี

4.5.2 ศึกษาปริมาณธาตุที่พบในเขม่าป็น เมื่อสูบและแช่โดยใช้สารละลายกรดต่างชนิดกัน

4.5.2.1 เก็บตัวอย่างบนแผ่นกระเบื้อง

4.5.2.1.1 วางแผ่นกระเบื้องลงบนแผ่นกระดาษสีขาว ซึ่งได้ทำการระบุตำแหน่งของอาวุธปืน, แผ่นกระเบื้องและแบ่งพื้นที่ในการเก็บตัวอย่างไว้แล้ว โดยอาวุธปืนจะอยู่ห่างจากแนวช่องคัดปลอกออกมาประมาณ 10 เซนติเมตร เช่นเดียวกับการศึกษาเปรียบเทียบสำลีพันปลายแท่งพลาสติก (ดังภาพที่ 35)

4.5.2.1.2 ทำการยิงปืนในห้องทดลองที่ปิดมิดชิดและไม่มีลมผ่าน โดยใช้ปืนพกอัตโนมัติ ขนาด 9 มม. LUGER ยี่ห้อ GLOCK MODEL 19 ความยาวลำกล้อง 3.75 นิ้ว และใช้กระสุนปืนอัตโนมัติ ขนาด 9 มม. LUGER ยี่ห้อ Bullet Master ทำการยิงโดยการจับอาวุธปืนด้วยมือทั้งสองข้าง ใช้มือขวากำอาวุธปืนและมือซ้ายรองรับอาวุธปืนอยู่ด้านล่างมือขวา จากนั้น วางปืนให้อยู่ในแนวตั้งฉากกับแผ่นกระเบื้อง และช่องคัดปลอกอยู่ตรงกับแผ่นกระเบื้อง (ดังภาพที่ 35) ยิงครั้งละ 3 นัด ในแต่ละครั้งจะมีการทำซ้ำ จำนวน 10 ครั้ง ที่ระยะห่างจากเป้าหมายประมาณ 10 เมตร

4.5.2.1.3 หลังจากยิงปืนแล้ว ตั้งแผ่นกระเบื้องไว้ รอจนระยะเวลาผ่านไป 15 นาที จึงทำการเก็บตัวอย่างบนแผ่นกระเบื้อง ตามพื้นที่ไว้

4.5.2.1.4 ทำการเก็บตัวอย่างโดยหยดกรดไนตริก 5% ลงบนสำลีพันปลายแท่งพลาสติก (cotton bud) ที่ตัดปลายข้างหนึ่งทิ้ง จำนวน 3 ก้าน แต่ละก้านบรรจุในซองพลาสติกใสมีซิปลและระบุหน้าซองว่าเป็นกรดตัวอย่าง, ก้านสำลียี่ห้อเอเวอร์กรีนชุบสารละลาย 5% Nitric acid และก้านสำลียี่ห้อเอเวอร์กรีนชุบสารละลายผสมระหว่าง 5% Nitric acid + 2% Tartalic acid + 2% Citric acid (ดังภาพที่ 36) ประมาณ 3 – 4 หยด แล้วบรรจุใส่ซองโดยการหีบต้องพยายามไม่สัมผัสสำลี



ภาพที่ 38 ของเก็บตัวอย่าง

4.5.2.1.5 ในการเก็บตัวอย่าง กระทำโดยเช็ดจากด้านบนลงด้านล่าง (ห้ามเช็ดกลับไปมา) พร้อมหมุนก้านสำลีเพื่อให้เขม่าเป็นดัดโดยรอบแล้วจึงบรรจุลงไปในซองประมาณ 8 ครั้ง แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค ICP – MS ต่อไป ทำการทดลองซ้ำ เพียงแต่เปลี่ยนยี่ห้อของก้านสำลี

4.5.2.2 เก็บตัวอย่างบนมือ

4.5.2.2.1 ก่อนทำการยิงปืนทุกครั้ง จะต้องล้างมือให้สะอาด แล้วหยดกรดไนตริก 5% ลงบนสำลีพันปลายแท่งพลาสติก (cotton bud) ที่ตัดปลายข้างหนึ่งทิ้ง แล้วเช็ดบริเวณหลังมือขวา เพื่อนำไปวิเคราะห์ว่า ก่อนทำการยิงปืนมีธาตุทั้ง 3 ชนิด ปนเปื้อนอยู่ที่มือหรือไม่

4.5.2.2.2 ทำการยิงปืนในห้องทดลองที่ปิดมิดชิดและไม่มีลมพัดผ่านโดยใช้ปืนพกออกโตเมติก ขนาด 9 มม. LUGER ยี่ห้อ GLOCK MODEL 19 ความยาวลำกล้อง 3.75 นิ้ว และ ใช้กระสุนปืนออกโตเมติก ขนาด 9 มม. LUGER ยี่ห้อ Bullet Master ทำการยิงโดยการจับอาวุธปืนด้วยมือทั้งสองข้าง ใช้มือขวากำอาวุธปืนและมือซ้ายรองรับอาวุธปืนอยู่ด้านล่างมือขวา ยิงครั้งละ 3 นัด ในแต่ละครั้งจะมีการทำซ้ำ จำนวน 5 ครั้ง ที่ระยะห่างจากเป้าหมายประมาณ 10 เมตร

4.5.2.2.3 หลังจากการยิงปืนแล้ว จึงทำการเก็บเขม่าปืนในแต่ละบริเวณที่กำหนด ได้แก่ กำมือนิ้วหลังมือขวา และหลังมือขวา ทันทีก

4.5.2.2.4 ทำการเก็บตัวอย่างโดยหยดกรดไนตริก 5% ลงบนลำลีพันปลายแท่งพลาสติก (cotton bud) ที่ตัดปลายข้างหนึ่งทิ้ง (ใช้ก้านลำลียี่ห้อเอเวอร์กรีน)

4.5.2.2.5 ทำการเก็บตัวอย่างโดยหยดกรดไนตริก 5% ลงบนลำลีพันปลายแท่งพลาสติก (cotton bud) ที่ตัดปลายข้างหนึ่งทิ้ง จำนวน 4 ก้าน แต่ละก้านบรรจุในซองพลาสติกใสมีซิปปและระบุหน้าซองว่าเป็นกรดตัวอย่าง, เก็บก่อนยิง, งามนิ้วหลังมือขวา และหลังมือขวา ประมาณ 3 – 4 หยด แล้วบรรจุใส่ซองโดยการหีบต้องพยายามไม่สัมผัสลำลี

4.5.2.2.6 ทำการทดลองซ้ำ โดยเปลี่ยนเป็นหยดสารละลายผสมระหว่าง 5% Nitric acid + 2% Tartalic acid + 2% Citric acid ลงบนลำลีพันปลายแท่งพลาสติก (cotton bud) ที่ตัดปลายข้างหนึ่งทิ้ง (ดังภาพที่ 38)



ภาพที่ 39 ซองเก็บตัวอย่างบนมือ

4.6 ขั้นตอนการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง ICP – MS

4.6.1 การเตรียมตัวอย่าง

นำซองพลาสติกโพลิเอทิลีนที่บรรจุก้านสำลีที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างเขม่าป็น มาทำการตัด เพื่อทำการแช่ก้านสำลีตัวอย่างลงในหลอดทดลอง ขนาด 16 x 150 mm. เติมกรดไนตริก 5% จำนวน 10 ml ลงในหลอดทดลอง ปิดปากหลอดทดลองด้วยแผ่นพาราฟิล์ม แช่ทิ้งไว้นาน 24 ชั่วโมง

ในส่วนการเปรียบเทียบสารละลาย เตรียมตัวอย่างเหมือนกัน เพียงแต่เปลี่ยนสารละลายจากกรดไนตริก 5% เป็นสารละลายผสมระหว่าง 5% Nitric acid + 2% Citric acid + 2% Tartarlic acid แทน

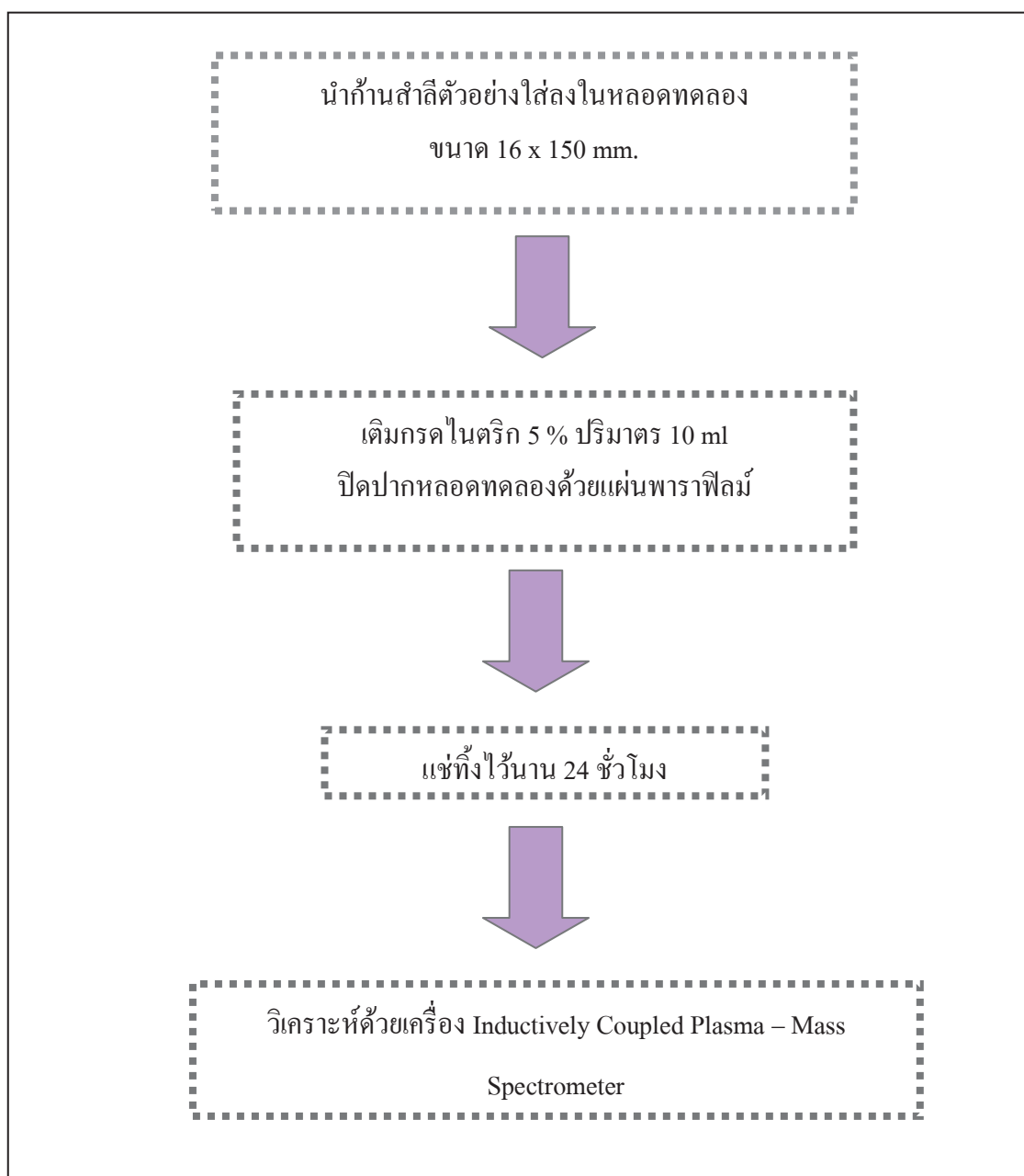
4.6.2 การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค ICP – MS

นำตัวอย่างที่ผ่านการเตรียมเรียบร้อยแล้วมาวิเคราะห์หาแอนติโมนี แบบรีมและตะกั่ว ด้วยเครื่อง ICP – MS โดยใช้สภาวะของเครื่องดังนี้

ตารางที่ 6 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

4.7 แผนผังแสดงการวิเคราะห์



หมายเหตุ ในการศึกษาเปรียบเทียบสารละลาย จะเปลี่ยนจากสารละลายกรดไนตริก 5% เป็น สารละลายผสมระหว่าง 5% Nitric acid + 2% Tartalic acid + 2% Citric acid

ภาพที่ 40 ขั้นตอนการวิเคราะห์

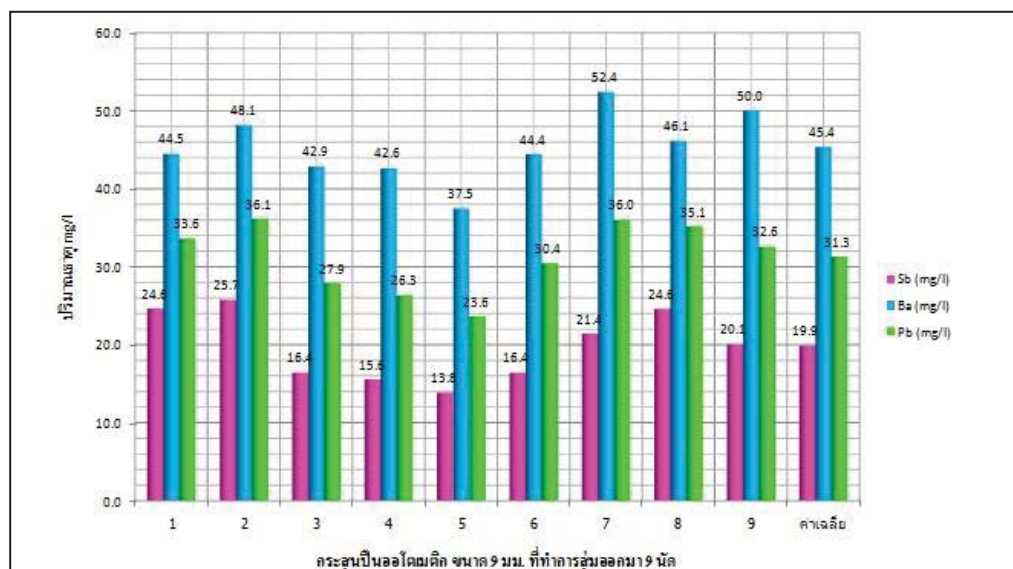
บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

การศึกษาปริมาณของ ตะกั่ว แบเรียม และแอนติโมนี ในขม่าปิ่น ที่เก็บจากการสำลี พันปลายแท่งพลาสติก (cotton bud) ภายหลังจากการยิงปืน โดยใช้สำลีพันปลายแท่งพลาสติก (cotton bud) จำนวน 4 ยี่ห้อย ได้แก่ เอเวอร์กรีน, ดีนี, รถพยาบาล และโซมเฟรชมาร์ท และได้ศึกษาเปรียบเทียบปริมาณ ของตะกั่ว แบเรียม และแอนติโมนี ที่เก็บจากสารละลายกรดไนตริก 5% กับสารละลายผสมระหว่าง กรดไนตริก5%+กรดซัลฟิวริก 2%+กรดทาร์ทาริก 2% และศึกษาโดยใช้อาวุธปืนพกกึ่งอัตโนมัติ ขนาด 9 มม. ได้ทำการศึกษา โดยเก็บตัวอย่างจากขม่าปิ่นที่มีมือของผู้ยิง ปืนและบนแผ่นกระเบื้อง โดยเทคนิค ICP – MS ได้ผลการวิเคราะห์ ดังนี้

4.1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณ แอนติโมนี แบเรียม และตะกั่ว ของกระสุนปืนที่ใช้ในการทดลอง

จากผลการทดลอง พบ ปริมาณของธาตุ แอนติโมนี(Sb) แบเรียม(Ba)และตะกั่ว(Pb) ใน กระสุนปืนแต่ละนัด จากกระสุนปืนที่ทำการสุ่มมาจำนวน 9 นัด เรียงลำดับจากปริมาณธาตุจากน้อย ไปมาก คือ แอนติโมนี(Sb) > ตะกั่ว(Pb) > แบเรียม(Ba) โดยมีอัตราส่วนของปริมาณของธาตุแต่ละ ธาตุ โดยคำนวณจากค่าเฉลี่ยได้ แอนติโมนี(Sb) : แบเรียม(Ba) : ตะกั่ว(Pb) ดังนี้ 1 : 2.3 : 1.6



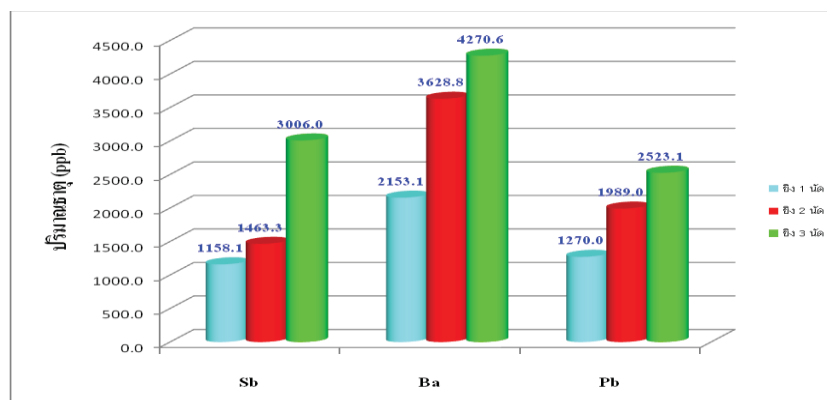
ภาพที่ 41 แผนภูมิแสดงปริมาณแอนติโมนี(Sb) แบเรียม(Ba) และตะกั่ว(Pb) ในแก้วกระสุนปืน

ตารางที่ 3 แสดงค่าปริมาณแอนติโมนี(Sb) แบเรียม(Ba) และตะกั่ว(Pb) ในแก้วของกระสุนปืน
ออโตเมติก ขนาด 9 มม. ที่ใช้ในการทำงานวิจัย โดยการสุ่ม 1 : 200 นัด

กระสุนปืนออโตเมติก ขนาด 9 มม.	Sb (mg/l)	Ba (mg/l)	Pb (mg/l)
1	24.63	44.46	33.60
2	25.74	48.15	36.15
3	16.40	42.87	27.88
4	15.57	42.60	26.31
5	13.84	37.48	23.63
6	16.41	44.41	30.44
7	21.40	52.39	35.97
8	24.60	46.14	35.12
9	20.11	50.05	32.55
ค่าเฉลี่ย	19.86	45.39	31.29

4.2 ผลการวิเคราะห์หาจำนวนนัดของการยิง

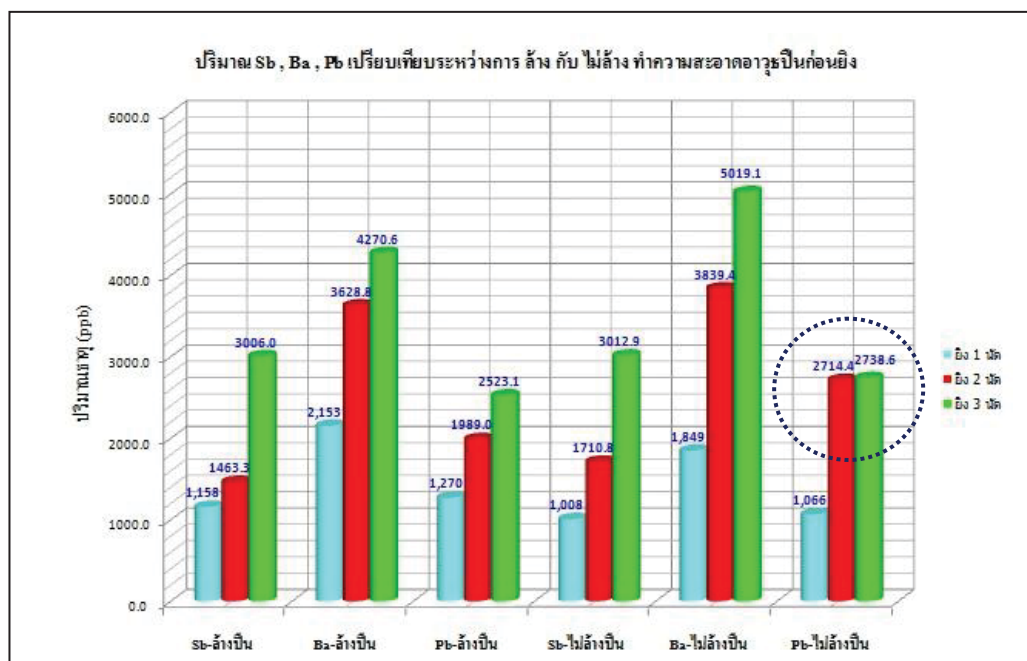
จากผลการทดลอง พบว่า ปริมาณของธาตุ แอนติโมนี(Sb), แบเรียม(Ba) และตะกั่ว(Pb) ในการยิงปืน 1 นัด มีค่าน้อยเกินไป ทำให้เวลาทำการเปรียบเทียบปริมาณธาตุ ทั้ง 3 ธาตุ จะเห็นความแตกต่างไม่ชัดเจน ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงเลือกที่จะทำการทดลองยิงปืนเก็บเขม่าปืน อย่างน้อยตัวอย่างละ 3 นัด เพื่อให้เห็นการเปลี่ยนแปลงของเขม่าปืนบนมือผู้ยิงปืน และบนแผ่นกระเบื้องอย่างชัดเจน แสดงในภาพที่ 42



แผนภูมิที่ 42 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 แสดงแผนภาพที่ 43



ภาพที่ 43 แสดงปริมาณธาตุทั้ง 3 ธาตุ ระหว่างการล้าง กับ ไม่ล้าง ทำความสะอาดอาวุธปืน

4.4 ผลการวิเคราะห์หาบริเวณที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างบนมือผู้ยิงปืน

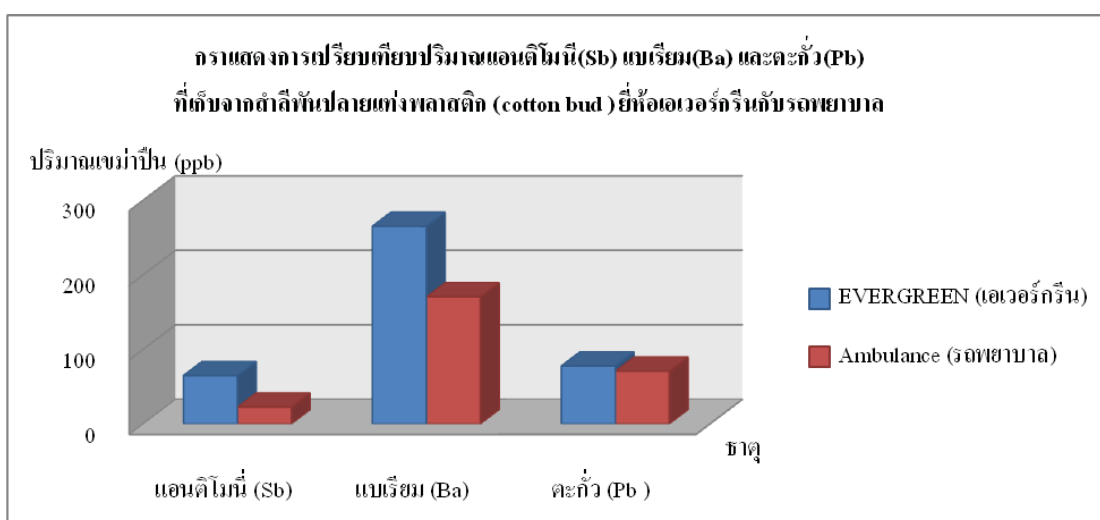
จากผลการทดลอง พบ ปริมาณของธาตุ แอนติโมนี(Sb), แบเรียม(Ba) และ ตะกั่ว(Pb) ในแต่ละบริเวณที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง จำนวน 8 บริเวณ มีปริมาณแตกต่างกัน ซึ่งพบว่าบริเวณที่พบปริมาณของธาตุ แอนติโมนี(Sb), แบเรียม(Ba) และ ตะกั่ว(Pb) มากที่สุดคือ บริเวณด้านหลังของมือขวา ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงเลือกที่จะทำการเก็บตัวอย่างเขม่าปืนบนมือผู้ยิงปืน จำนวน 2 บริเวณ ได้แก่ กำปั้นระหว่างนิ้วหัวแม่มือกับนิ้วชี้หลังมือขวา และ หลังมือขวา แสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 แสดงค่าปริมาณแอนติโมนี(Sb) แบเรียม(Ba) และตะกั่ว(Pb) ในการเก็บตัวอย่าง บนมือ
ผู้ยิงปืน จำนวน 8 บริเวณ ที่ใช้ในการทำงานวิจัย

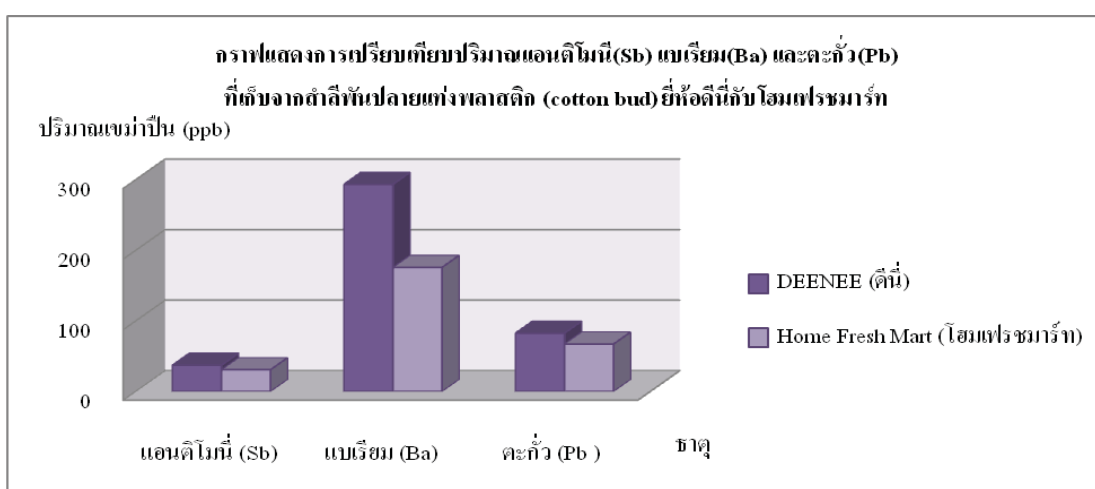
ธาตุ	บริเวณที่เก็บตัวอย่าง		ตัวอย่าง 1	ตัวอย่าง 2	ตัวอย่าง 3	ตัวอย่าง 4	ตัวอย่าง 5	ตัวอย่าง 6
แอนติโมนี (Sb) (ppb)	Blank		-0.76	-0.69	2.93	0.46	0.79	0.55
	FRB	ง่ามนิ้วหลังมือขวา	overd	overd	136.97	overd	overd	overd
	FRP	ง่ามนิ้วฝ่ามือขวา	655.78	573.98	55.22	495.6	700.24	284.82
	FLB	ง่ามนิ้วหลังมือซ้าย	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
แบเรียม (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 ผลการวิเคราะห์ปริมาณเงินที่เก็บด้วยสำลีพันปลายแท่งพลาสติก (cotton bud) ต่างยี่ห้อ

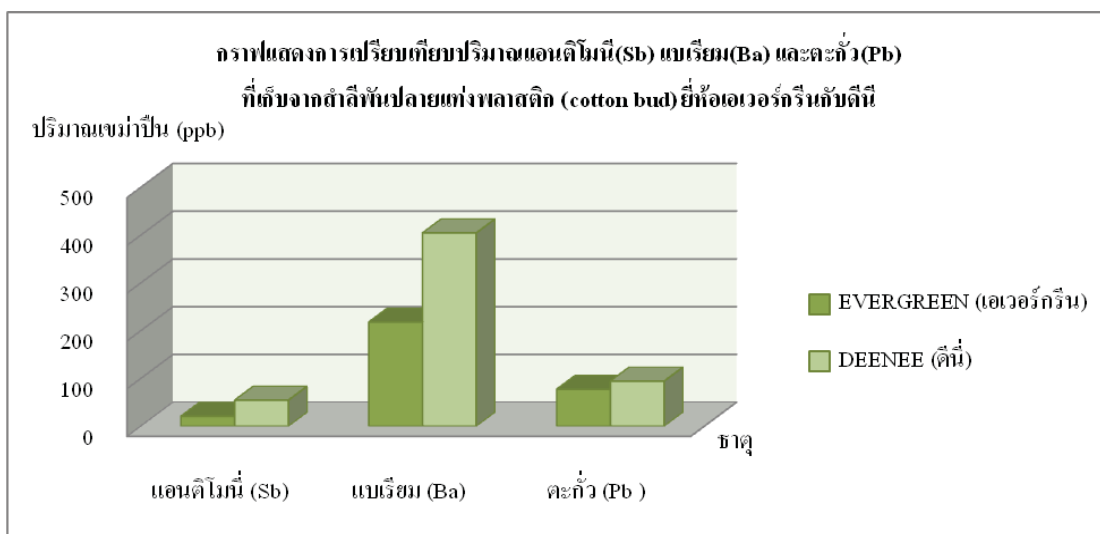
จากผลการทดลองเปรียบเทียบปริมาณของตะกั่ว แบเรียม และแอนติโมนี ในเงินที่เก็บจากการสำลีพันปลายแท่งพลาสติก (cotton bud) ภายหลังจากการยิงปืน โดยใช้สำลีพันปลายแท่งพลาสติก (cotton bud) ต่างยี่ห้อ ชุบด้วยสารละลายกรดไนตริก 5% บนแผ่นกระเบื้อง แล้วแช่ด้วยสารละลายกรดไนตริก 5% ได้ผลการทดลองดังนี้



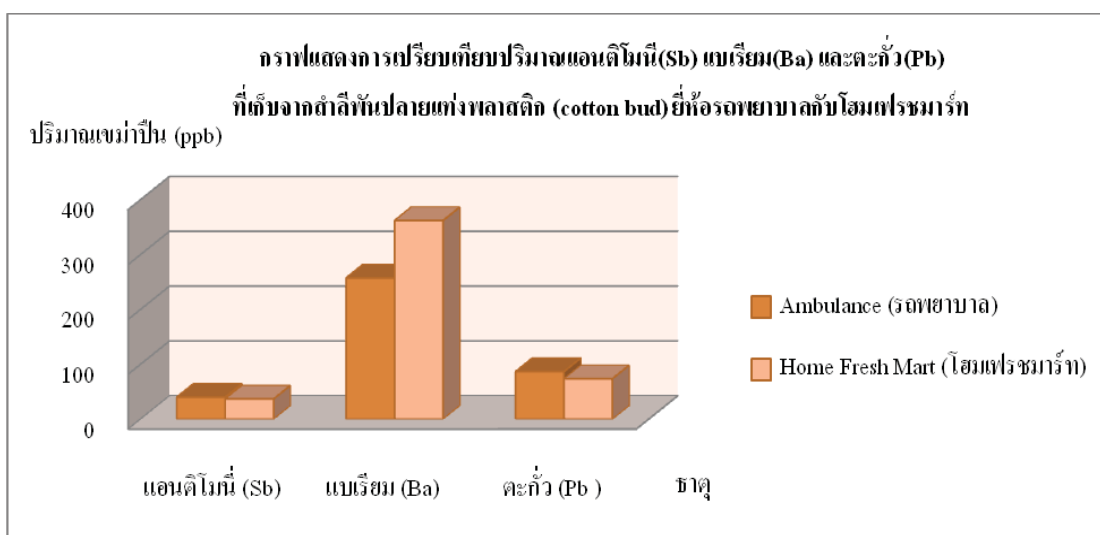
ภาพที่ 44 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณ แอนติโมนี (Sb) แบเรียม (Ba) และ ตะกั่ว (Pb) ที่เก็บจาก สำลีพันปลายแท่งพลาสติก(cotton bud) ยี่ห้อเอเวอร์กรีนกับรถพยาบาล



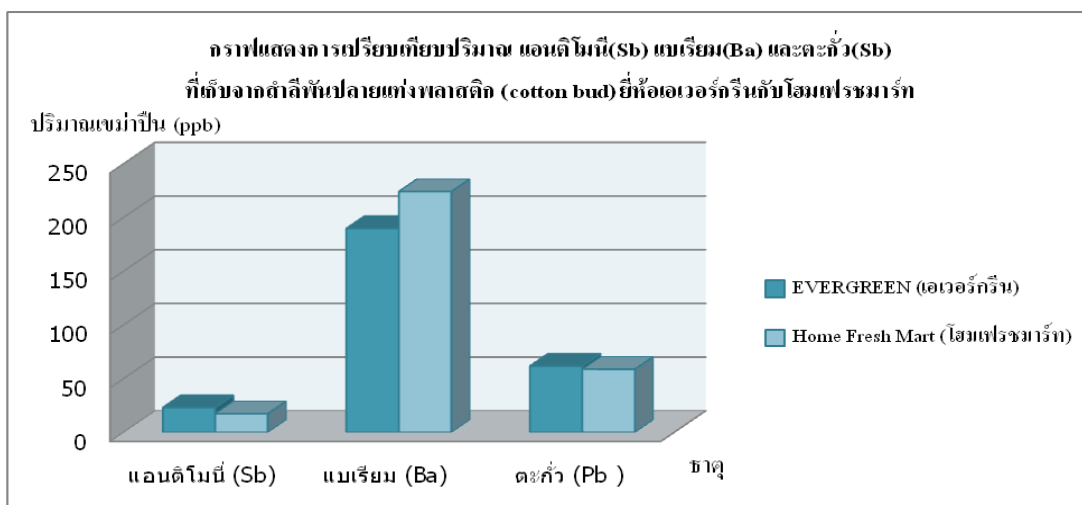
ภาพที่ 45 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณ แอนติโมนี (Sb) แบเรียม (Ba) และ ตะกั่ว (Pb) ที่เก็บจาก สำลีพันปลายแท่งพลาสติก(cotton bud) ยี่ห้อดีนีกับยี่ห้อโฮมเฟรชมาร์ท



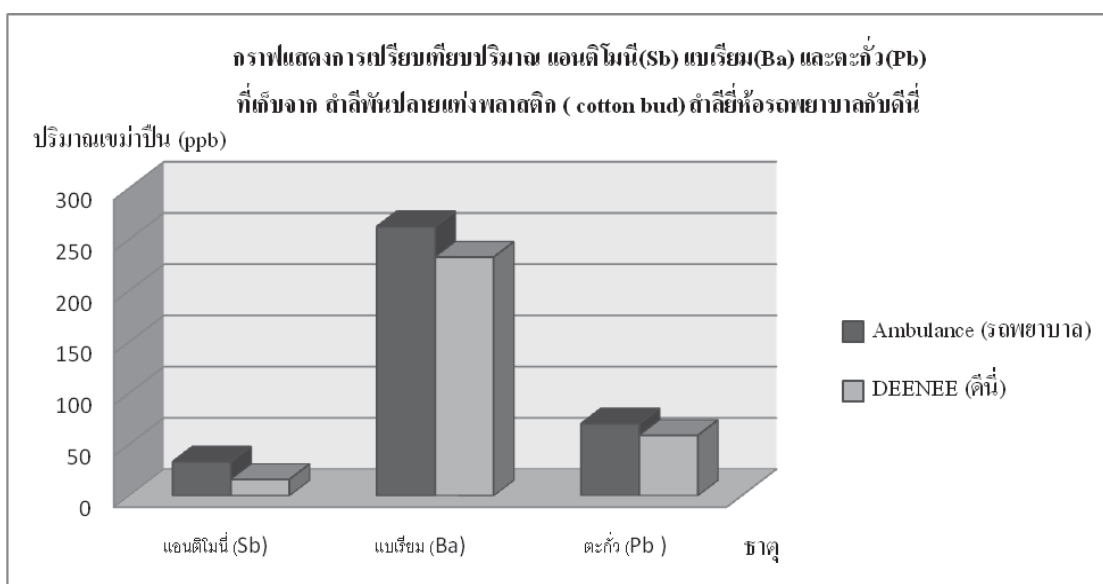
ภาพที่ 46 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณ แอนติโมนี (Sb) แบเรียม (Ba) และ ตะกั่ว (Pb) ที่เก็บจาก ลำต้นปลายแท่งพลาสติก (cotton bud) ยี่ห้อเอเวอร์กรีนกับดีนี



ภาพที่ 47 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณ แอนติโมนี (Sb) แบเรียม (Ba) และ ตะกั่ว (Pb) ที่เก็บจาก ลำต้นปลายแท่งพลาสติก (cotton bud) ยี่ห้อโรงพยาบาลกับโฮมเฟรชมาร์ก



ภาพที่ 48 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณ แอนติโมนี (Sb) แบเรียม (Ba) และ ตะกั่ว (Pb) ที่เก็บจาก ลำลีพันปลายแท่งพลาสติก(cotton bud) ยี่ห้อเอเวอร์กรีนกับโฮมเฟรชมาร์เก็ต

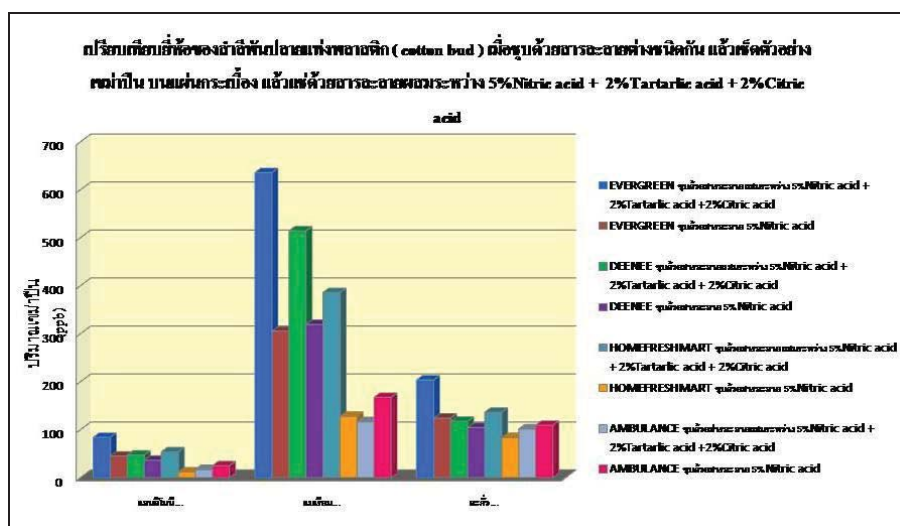


ภาพที่ 49 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณ แอนติโมนี (Sb) แบเรียม (Ba) และ ตะกั่ว (Pb) ที่เก็บจาก ลำลีพันปลายแท่งพลาสติก(cotton bud) ยี่ห้ออรรถพยาบาลกับดีนีย์

4.6 ผลการวิเคราะห์ปริมาณเขม่าป็น เมื่อชุบสำลีพันปลายแท่งพลาสติก (cotton bud) ด้วยสารละลายต่างชนิดกัน

4.6.1 การศึกษาเปรียบเทียบชนิดของสารละลาย โดยเก็บตัวอย่างเขม่าป็นบนแผ่นกระเบื้อง

จากการศึกษาเปรียบเทียบชนิดของสารละลาย ในการทดลองจะแบ่งครึ่งพื้นที่บนแผ่นกระเบื้อง โดยใช้สำลีพันปลายแท่งพลาสติก (cotton bud) ชุบสารละลาย 5% Nitric acid เช็ดบนแผ่นกระเบื้องครึ่งหนึ่ง ส่วนอีกครึ่งหนึ่ง ใช้สำลีพันปลายแท่งพลาสติก (cotton bud) ซึ่งเป็นยี่ห้อเดียวกันกับก้านแรก ชุบสารละลายผสมระหว่าง 5% Nitric acid + 2% Tartaric acid + 2% Citric acid เช็ดบนแผ่นกระเบื้องที่เหลือ แล้วนำไปแช่ด้วยสารละลายผสมระหว่าง 5% Nitric acid + 2% Tartaric acid + 2% Citric acid ได้ผลดังกราฟที่ 7

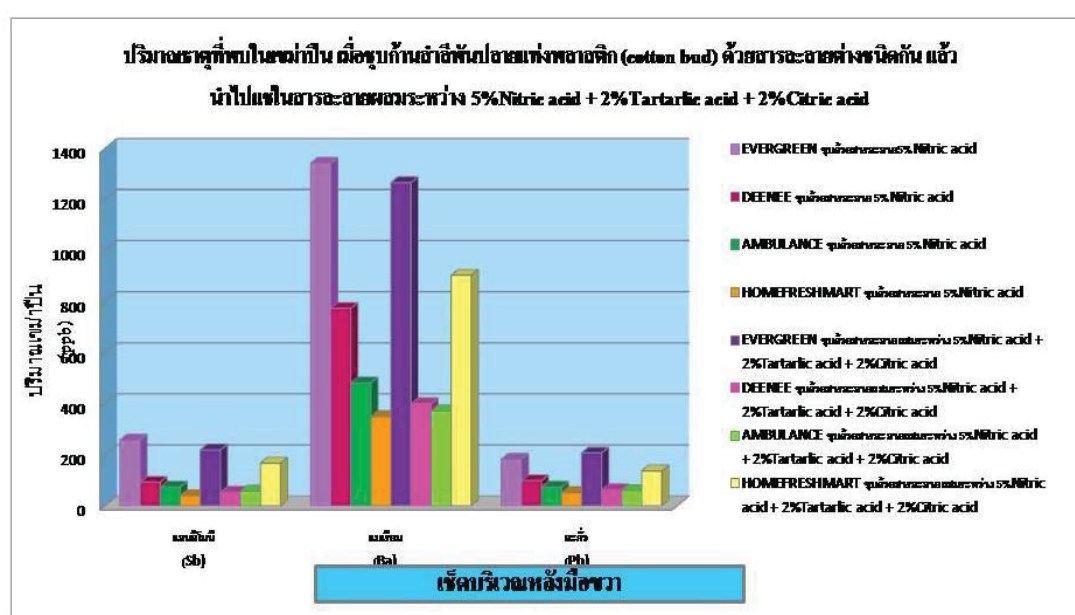
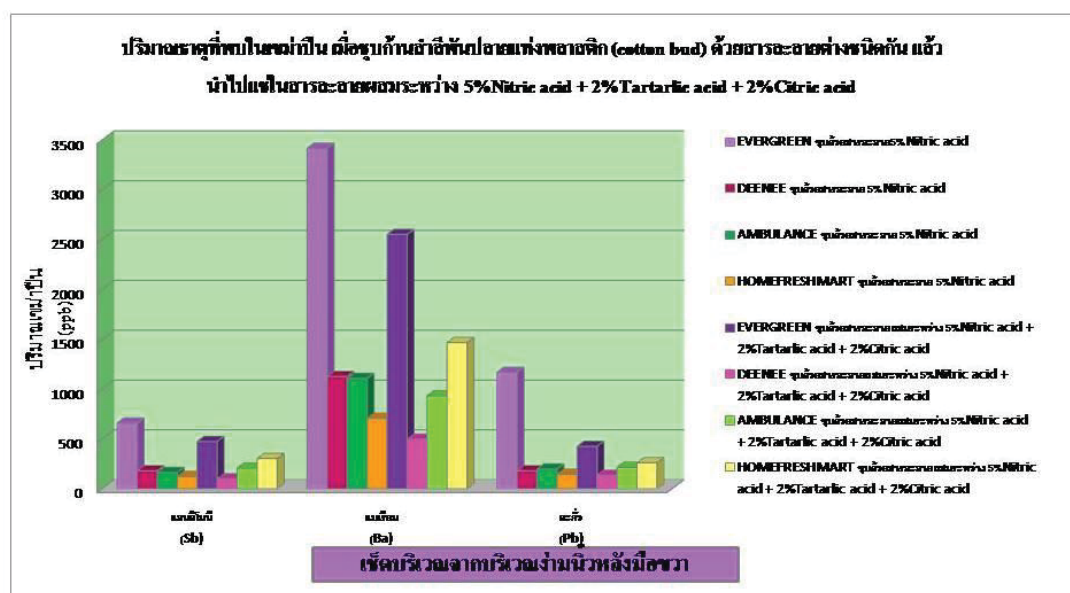


ภาพที่ 50 แสดงปริมาณของ ตะกั่ว แบเรียม และแอนติโมนี ในเขม่าป็น โดยใช้สำลีพันปลายแท่งพลาสติก (cotton bud) ชุบด้วยสารละลายกรดต่างชนิดกัน แล้วนำไปแช่ในสารละลายผสมระหว่าง กรดไนตริก 5%+กรดซิตริก 2%+กรดทาร์ทาริก 2%

4.6.2 การศึกษาเปรียบเทียบชนิดของสารละลาย โดยเก็บตัวอย่างเขม่าป็นบนมือของผู้ยิงปืน

ทำการทดลอง โดยใช้สำลีพันปลายแท่งพลาสติก (cotton bud) ยี่ห้อเดียวกัน ชุบสารละลาย 5% Nitric acid โดยแยกแต่ละก้านในการเก็บแต่ละส่วน คือ เก็บก่อนทำการยิงปืน บริเวณหลังมือขวา จำนวน 1 ก้าน และเก็บหลังจากการยิงปืนที่บริเวณ จากนั้นหัวแม่มือถึงนิ้วชี้ของมือขวา จำนวน 1 ก้าน, หลังมือขวา จำนวน 1 ก้าน และชุบกรดตัวอย่างเป็นตัวควบคุม จำนวน 1 ก้าน รวมเป็น 4 ก้าน จากนั้น ทำการเตรียมตัวอย่าง แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง ICP-MS และ

ทำการทดลองเช่นเดิม แต่เปลี่ยนมาใช้ลำลีพันปลายแท่งพลาสติก (cotton bud) ชุบสารละลายผสมระหว่าง 5%Nitric acid+ 2%Tartaric acid + 2% Citric acid ได้ผลดังกราฟที่ 8

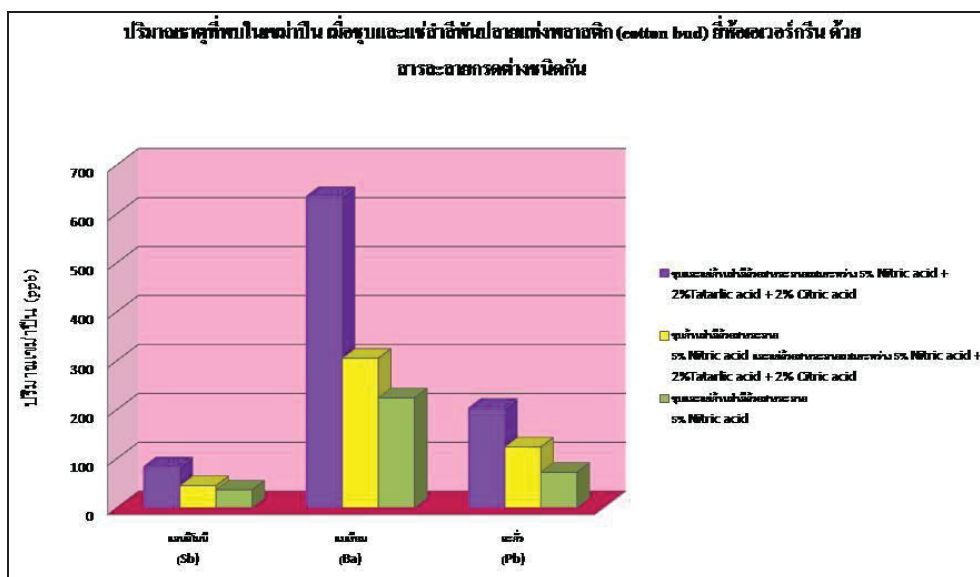


ภาพที่ 51 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณ แอนติโมนี (Sb) แบเรียม (Ba) และ ตะกั่ว (Pb) เมื่อชุบจากลำลีพันปลายแท่งพลาสติก (cotton bud) ด้วยสารละลายต่างชนิดกัน และนำไปแช่ด้วยสารละลายผสมระหว่าง กรดไนตริก 5%+กรดซิตริก 2%+กรดทาร์ทาริก 2%

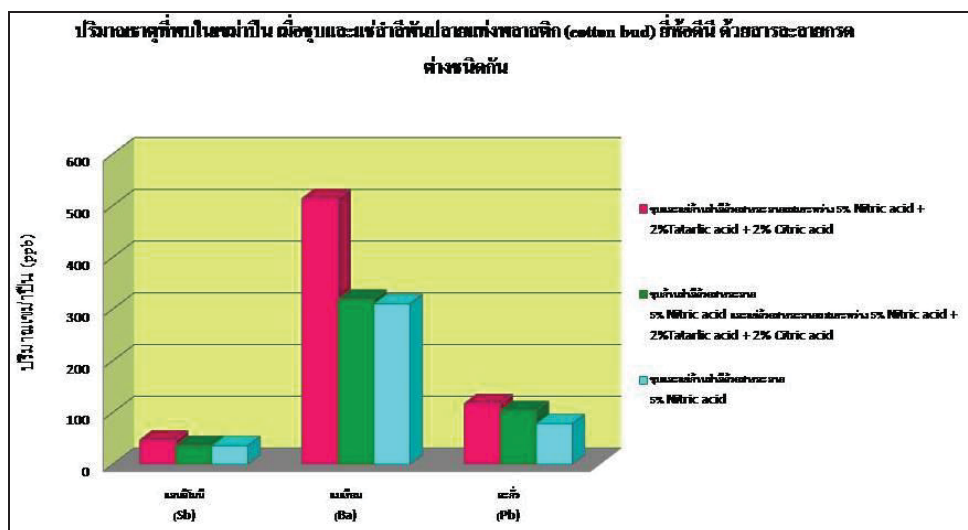
และได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบปริมาณของ ตะกั่ว แบเรียม และแอนติโมนี ในเขม่าป็น โดยใช้สำลีพันปลายแท่งพลาสติก (cotton bud) ยี่ห้อเดียวกัน โดยแบ่งสภาวะการทดลอง ดังนี้

1. ชุบด้วยสารละลายกรดไนตริก 5% นำไปแช่เขม่าป็นตัวอย่างบนแผ่นกระเบื้อง แล้วนำไปแช่ในสารละลายผสมระหว่าง กรดไนตริก 5%+กรดซิตริก 2%+กรดทาร์ทาริก 2%
2. ชุบด้วยสารละลายผสมระหว่าง กรดไนตริก 5%+กรดซิตริก 2%+กรดทาร์ทาริก 2% นำไปแช่เขม่าป็นตัวอย่างบนแผ่นกระเบื้อง แล้วนำไปแช่ในสารละลายผสมระหว่าง กรดไนตริก 5%+กรดซิตริก 2%+กรดทาร์ทาริก 2%
3. ชุบด้วยสารละลายกรดไนตริก 5% นำไปแช่เขม่าป็นตัวอย่างบนแผ่นกระเบื้อง แล้วนำไปแช่ในสารละลายกรดไนตริก 5%

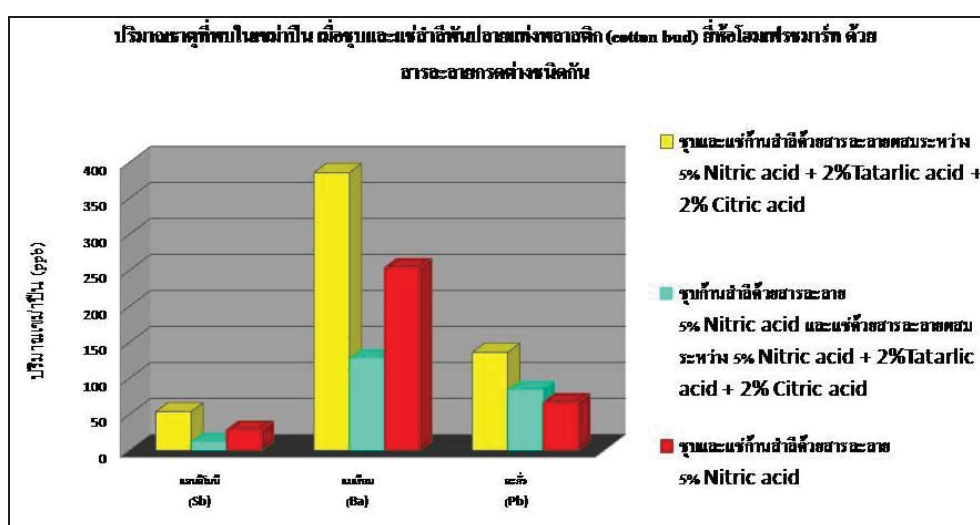
จากผลการทดลอง พบว่า สำลีพันปลายแท่งพลาสติก (cotton bud) ที่ชุบและแช่ด้วยสารละลายผสมระหว่าง กรดไนตริก 5%+กรดซิตริก 2%+กรดทาร์ทาริก 2% จะพบปริมาณของแอนติโมนี และแบเรียม เพิ่มขึ้นกว่า การใช้สำลีพันปลายแท่งพลาสติก (cotton bud) ชุบและแช่ด้วยสารละลายกรดไนตริก 5% เพียงอย่างเดียว ส่วนปริมาณของตะกั่ว ที่การทดลองทั้งสองสภาวะ พบว่า มีปริมาณไม่แตกต่างกัน ดังภาพที่ 52 ถึง ภาพที่ 55



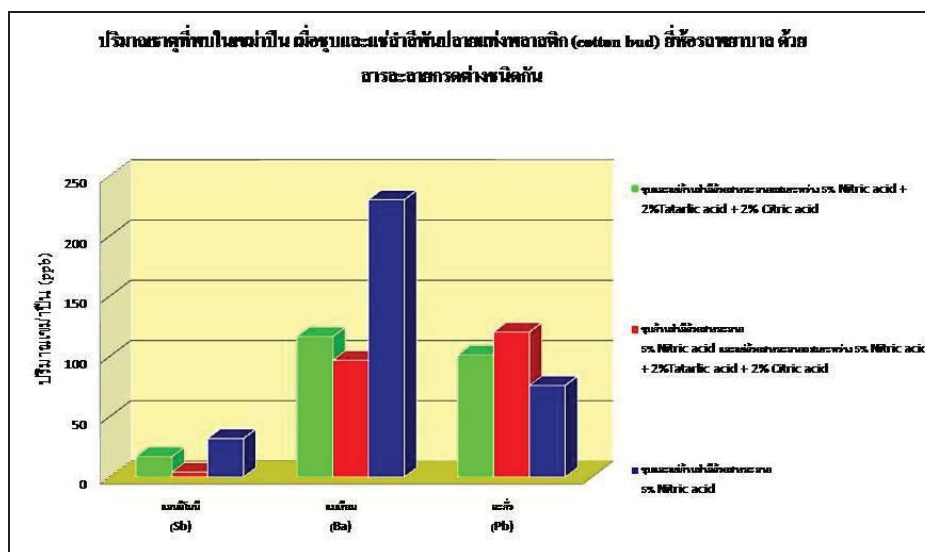
ภาพที่ 52 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณ แอนติโมนี (Sb) แบเรียม (Ba) และ ตะกั่ว (Pb) เมื่อชุบและแช่สำลีพันปลายแท่งพลาสติก (cotton bud) ยี่ห้อเอเวอร์กรีน ด้วยสารละลายต่างชนิดกัน



ภาพที่ 53 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณ แอนติโมนี (Sb) แบเรียม (Ba) และ ตะกั่ว (Pb) เมื่อชุบและแช่สำลีพันปลายแท่งพลาสติก (cotton bud) ยี่ห้อคีนี ด้วยสารละลายต่างชนิดกัน



ภาพที่ 54 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณ แอนติโมนี (Sb) แบเรียม (Ba) และ ตะกั่ว (Pb) เมื่อชุบและแช่สำลีพันปลายแท่งพลาสติก (cotton bud) ยี่ห้อโฮมเฟรชมาร์ท ด้วยสารละลายต่างชนิดกัน



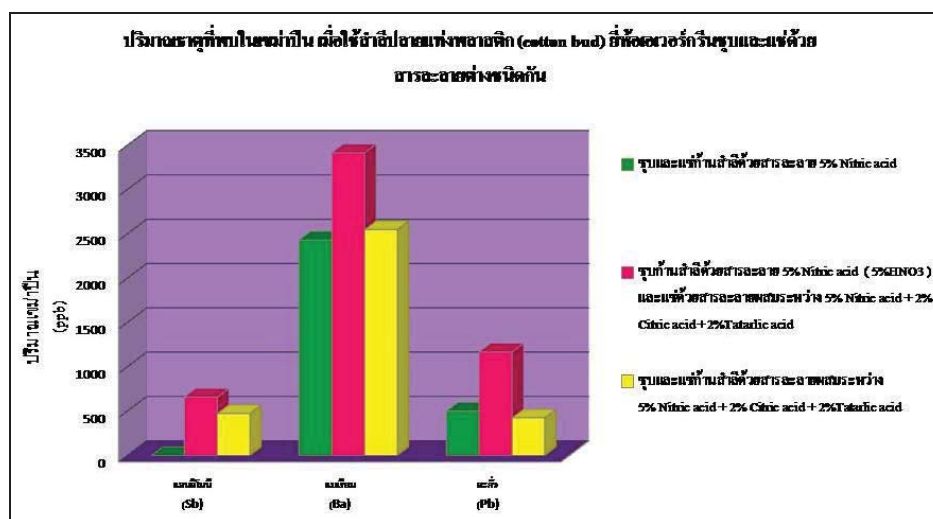
ภาพที่ 55 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณ แวนดีเนียม (Sb) แบเรียม (Ba) และ ตะกั่ว (Pb) เมื่อชุบและแช่สำลีพันปลายแท่งพลาสติก (cotton bud) ยี่ห้อเอเวอร์กรีน ด้วยสารละลายต่างชนิดกัน

และได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบปริมาณของ ตะกั่ว แบเรียม และแวนดีเนียม ในขี้เถ้าป่น โดยใช้สำลีพันปลายแท่งพลาสติก (cotton bud) ยี่ห้อเอเวอร์กรีน ชุบและแช่ในสารละลายกรด โดยทำการทดลอง ดังนี้

1. ใช้สำลีพันปลายแท่งพลาสติก (cotton bud) ยี่ห้อเอเวอร์กรีน ชุบด้วยสารละลายกรดไนตริก 5% นำไปแช่ขี้เถ้าป่นตัวอย่างบนมือของผู้ยังปิ่น แล้วนำไปแช่ในสารละลายผสมระหว่าง กรดไนตริก 5%+กรดซิตริก 2%+กรดทาร์ทาริก 2%
2. ใช้สำลีพันปลายแท่งพลาสติก (cotton bud) ยี่ห้อเอเวอร์กรีน ชุบด้วยสารละลายผสมระหว่าง กรดไนตริก 5%+กรดซิตริก 2%+กรดทาร์ทาริก 2% นำไปแช่ขี้เถ้าป่นตัวอย่างบนมือของผู้ยังปิ่น แล้วนำไปแช่ในสารละลายผสมระหว่าง กรดไนตริก 5%+กรดซิตริก 2%+กรดทาร์ทาริก 2%
3. ใช้สำลีพันปลายแท่งพลาสติก (cotton bud) ยี่ห้อเอเวอร์กรีน ชุบด้วยสารละลายกรดไนตริก 5% นำไปแช่ขี้เถ้าป่นตัวอย่างบนมือของผู้ยังปิ่น แล้วนำไปแช่ในสารละลายกรดไนตริก 5%

จากผลการทดลอง พบว่า สำลีพันปลายแท่งพลาสติก (cotton bud) ที่ชุบด้วยสารละลายกรดไนตริก 5% และแช่ด้วยสารละลายผสมระหว่าง กรดไนตริก 5%+กรดซิตริก 2%+กรดทาร์ทาริก 2% กับสำลีพันปลายแท่งพลาสติก (cotton bud) ที่ชุบและแช่ด้วยสารละลายผสม

ระหว่าง กรดไนตริก 5%+กรดซิตริก 2%+กรดทาร์ทาริก 2% จะพบปริมาณของแอนติโมนี แบเรียม และตะกั่ว เพิ่มมากขึ้นกว่า การใช้สำลีพันปลายแท่งพลาสติก (cotton bud) ชุบและแช่ ด้วยสารละลายกรดไนตริก 5% เพียงอย่างเดียว แสดงดังภาพที่ 56



ภาพที่ 56 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณ แอนติโมนี (Sb) แบเรียม (Ba) และ ตะกั่ว (Pb) เมื่อชุบ และแช่สำลีพันปลายแท่งพลาสติก (cotton bud) ด้วยสารละลายต่างชนิดกัน

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

1. สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาปริมาณของ ตะกั่ว แบเรียม และแอนติโมนี ในเขม่าป่น ที่เก็บจากการลำลีพ่นปลายแท่งพลาสติก (cotton bud) ต่างยี่ห้อ ภายหลังจากการยิงปืน ในการทดลองได้ทำการจับคู่ยี่ห้อของลำลีพ่นปลายแท่งพลาสติก (cotton bud) ออกเป็น 6 คู่ คือ คู่ที่ 1 เอเวอร์กรีน กับ รถพยาบาล, คู่ที่ 2 คีนี่ กับ โฮมเฟรชมาร์ท, คู่ที่ 3 เอเวอร์กรีน กับ คีนี่, คู่ที่ 4 รถพยาบาล กับ โฮมเฟรชมาร์ท, คู่ที่ 5 เอเวอร์กรีน กับ โฮมเฟรชมาร์ท, คู่ที่ 6 รถพยาบาล กับ คีนี่ และแบ่งครึ่งพื้นที่บนแผ่นกระเบื้อง จากนั้น ยิงปืนจำนวน 3 นัด ตั้งทิ้งไว้ 15 นาที แล้วใช้ลำลีพ่นปลายแท่งพลาสติก (cotton bud) ต่างยี่ห้อ ชุบด้วยสารละลาย 5% Nitric acid โดยครึ่งหนึ่งเช็ดด้วยก้านลำลียี่ห้อหนึ่ง ส่วนอีกครึ่งหนึ่งเช็ดด้วยก้านลำลีอีกยี่ห้อหนึ่ง แล้วนำไปแช่ในสารละลาย 5% Nitric acid จากผลการทดลอง พบว่า ลำลีพ่นปลายแท่งพลาสติก(cotton bud) ทั้ง 4 ยี่ห้อ วัดปริมาณของธาตุทั้งสามที่พบในเขม่าป่น ได้ปริมาณมีความแตกต่างกันเล็กน้อย จึงสามารถสรุปได้ว่า ยี่ห้อของก้านลำลีไม่มีผลต่อการเก็บตัวอย่างเขม่าป่น

และจากการศึกษาเปรียบเทียบปริมาณของ แอนติโมนี(Sb) แบเรียม(Ba) และตะกั่ว(Pb) โดยได้ทำการทดลองเก็บตัวอย่างจาก 2 บริเวณ คือ บนแผ่นกระเบื้อง (แบ่งครึ่งพื้นที่บนแผ่นกระเบื้อง) และที่มือของผู้ยิงปืน

เก็บตัวอย่างบนแผ่นกระเบื้อง

นำลำลีพ่นปลายแท่งพลาสติก (cotton bud) ชุบด้วยสารละลายกรดไนตริก 5% นำไปเช็ดเขม่าป่นตัวอย่างบนแผ่นกระเบื้องครึ่งหนึ่ง ส่วนอีกก้านชุบด้วยสารละลายผสมระหว่าง กรดไนตริก 5%+กรดซัลฟิวริก 2%+กรดทาร์ทาริก 2% นำไปเช็ดเขม่าป่นตัวอย่าง บนแผ่นกระเบื้อง (บนพื้นที่อีกครั้งที่เหลือ) แล้วนำลำลีพ่นปลายแท่งพลาสติก (cotton bud) ทั้งสองก้าน ไปแช่ในสารละลายผสมระหว่าง กรดไนตริก 5%+กรดซัลฟิวริก 2%+กรดทาร์ทาริก 2% จากการทดลองพบว่า ลำลีพ่นปลายแท่งพลาสติก (cotton bud) ที่มีการชุบและแช่ด้วยสารละลายผสมระหว่าง กรดไนตริก 5%+กรดซัลฟิวริก 2%+กรดทาร์ทาริก 2% สามารถวัดปริมาณธาตุที่พบในเขม่าป่นได้ปริมาณเพิ่มมาก

ขึ้น เมื่อเทียบกับสำลีพันปลายแท่งพลาสติก (cotton bud) ที่มีการชุบและแช่ด้วยสารละลายกรดไนตริก 5%

เก็บตัวอย่างบนมือของผู้ยิงปืน

ใช้สำลีพันปลายแท่งพลาสติก (cotton bud) ยี่ห้อเดียวกัน ชุบสารละลาย 5% Nitric acid โดยแยกแต่ละก้านในการเก็บแต่ละส่วน คือ เก็บก่อนทำการยิงปืนบริเวณหลังมือขวา จำนวน 1 ก้าน และเก็บหลังจากการยิงปืนที่บริเวณ จากนิ้วหัวแม่มือถึงนิ้วชี้ของมือขวา จำนวน 1 ก้าน, หลังมือขวา จำนวน 1 ก้าน และชุบกรดตัวอย่างเป็นตัวควบคุม จำนวน 1 ก้าน รวมเป็น 4 ก้าน จากนั้นทำการเตรียมตัวอย่าง แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง ICP-MS และทำการทดลองเช่นเดิม แต่เปลี่ยนมาใช้สำลีพันปลายแท่งพลาสติก (cotton bud) ชุบสารละลายผสมระหว่าง 5% Nitric acid + 2% Tartaric acid + 2% Citric acid จากผลการทดลอง พบว่า ปริมาณธาตุทั้งสามที่วัดได้ มีปริมาณของ แอนติโมนี และแบเลียม เพิ่มขึ้น ส่วนตะกั่วไม่มีความแตกต่างกันมาก เมื่อเปรียบเทียบกับ การเก็บตัวอย่างบนมือของผู้ที่ผ่านการยิงปืนทันที โดยใช้สำลีพันปลายแท่งพลาสติก (cotton bud) ที่ชุบและแช่ด้วย สารละลาย 5% Nitric acid

จากผลการทดลอง พบว่า การเติมสารละลายกรดทาร์ทาริก และสารละลายกรดซิตริก ลงไปในสารละลายกรดไนตริก 5% ที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างเขม่าปืนทั้งสองบริเวณ มีแนวโน้มเป็นทิศทางเดียวกันคือ มีปริมาณของ แอนติโมนี และแบเลียม เพิ่มขึ้น ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า จะพบว่า การเติมสารละลายกรดทาร์ทาริก และสารละลายกรดซิตริก ลงไปในสารละลายกรดไนตริก 5% ที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างเขม่าปืน นั้น จะช่วยให้สามารถวัดปริมาณ แอนติโมนี และแบเลียม ได้มากขึ้น ซึ่งธาตุดังกล่าว มีความสำคัญในการบ่งชี้ว่า ผู้ต้องสงสัยหรือผู้ถูกกล่าวหาเคยผ่านการยิงปืนมาหรือไม่

2. ข้อเสนอแนะ

1. ควรทำการศึกษาเพิ่มเติมว่า หากสำลีพันปลายแท่งไม้หรือกระดาษ แทนการใช้แท่งพลาสติก จะมีผลต่อปริมาณธาตุทั้ง 3 ธาตุที่พบในเขม่าปืนหรือไม่
2. ควรทำการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสม ในการเติมกรดทาร์ทาริก และกรดซิตริก ลงไปในสารละลาย 5% Nitric acid เพื่อให้สามารถหาปริมาณธาตุทั้ง 3 ชนิด ได้มากขึ้น

บรรณานุกรม

ภาษาไทย

- จิรวรรณ ฐนรัตน์. “คู่มือการตรวจหาดินปืน เขม่าดินปืน ตะกั่ว และทองแดง ของลูกกระสุนปืน.” เอกสารเผยแพร่กองพิสูจน์หลักฐาน สำนักงานนิติวิทยาศาสตร์ตำรวจ, 2551. (อัดสำเนา)
- ฉัตรชัย วิเศษสุวรรณภูมิ. “ผ่าปืน.” เดลินิวส์, 16 มิถุนายน 2544 – 14 กันยายน 2545.
- นพสิทธิ์ อัครนพหงส์. “หลักการตรวจพิสูจน์เขม่าที่เกิดจากการยิงปืน.” เอกสารอัดสำเนา กองพิสูจน์หลักฐาน สำนักงานนิติวิทยาศาสตร์ตำรวจ, 2550. (อัดสำเนา)
- แม่น อมรสิทธิ์ และคณะ. “หลักการและเทคนิควิเคราะห์เชิงเครื่องมือ.” กรุงเทพฯ : บริษัท ชวนการพิมพ์ 50 จำกัด, 2552.
- ศิริลักษณ์ ชไมบุปผา. “การศึกษาการกระจายตัวของอนุภาคเขม่าปืนจากปืนที่ยิงในห้องปิด ด้วยเทคนิค ICP-OES” วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบัณฑิต สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2551
- สำนักมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. “มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ลำลีพังก้าน (COTTON BUDS) มอก.1113-2551” ราชกิจจานุเบกษา ฉบับประกาศและงานทั่วไป เล่ม 125 ตอนพิเศษ 82ง (2551)
- อัญจราภรณ์ ประสงค์. “ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของเขม่าปืนบนเสื้อผ้าของผู้ยิงปืนและระยะเวลาภายหลังการยิงปืนที่วิเคราะห์โดยเทคนิค Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry (ICP-MS).” วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบัณฑิต สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2552.
- อัมพร จารุจินดา. “การตรวจพิสูจน์อาวุธปืนและเครื่องกระสุนปืน.” เอกสารความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับอาวุธปืนและกระสุนปืนสำหรับผู้เข้าอบรม กองพิสูจน์หลักฐาน สำนักงานวิทยาการตำรวจ, 2542. (อัดสำเนา)

ภาษาต่างประเทศ

- Schwoeble A. J., and David L. Exline. Current methods in forensic gunshot residue analysis. Florida : CRC Press LLC, 2000.
- Andrasko, J., and S. Pettersson. “A simple method for collection of gunshot residues from clothing.” Journal of Forensic Science Society, no.31 (1991) : 321 – 330.

- Bakowska, Elzbieta (Ela), Peter B. Harrsch, and Thomas J. Gluodenis. "Analysis of gunshot residue by ICP – MS." Agilent Technologies, no.3 (2006) : 1 – 4.
- 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.
- Koons, Robert D. "Analysis of gunshot primer residue collection swabs by Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry." Journal of Forensic Science 43, (1998) : 748 – 754.
- 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.
- 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
บนผ้าแต่ละชนิด โดยเทคนิค ICP – MS

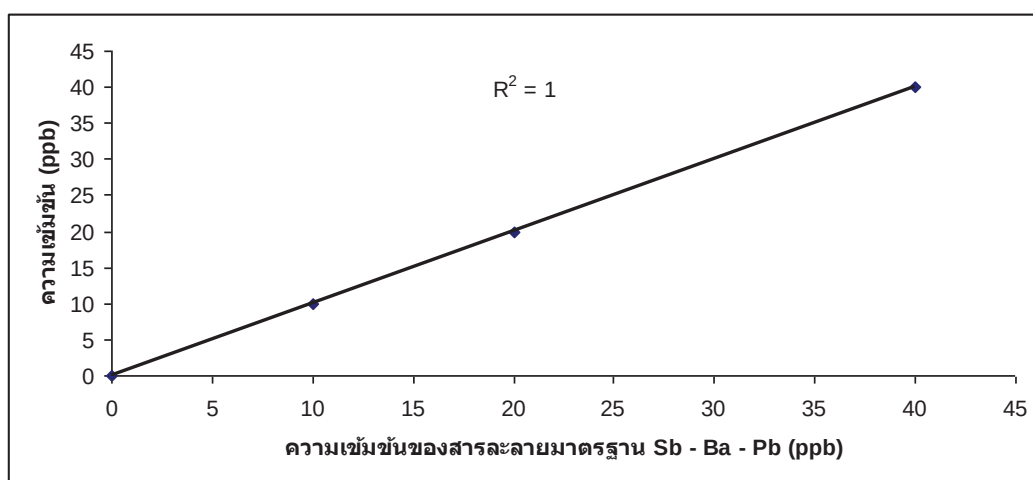
กราฟมาตรฐานของการวิเคราะห์หาปริมาณของธาตุแอนติโมนี แบเรียม และตะกั่ว บนมือของผู้ยิงปืน ที่วิเคราะห์โดยเทคนิค ICP-MS

1. กราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานแอนติโมนี แบเรียม และตะกั่ว

ความเข้มข้น 10 - 20 - 40 ppb

ตารางที่ 9 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

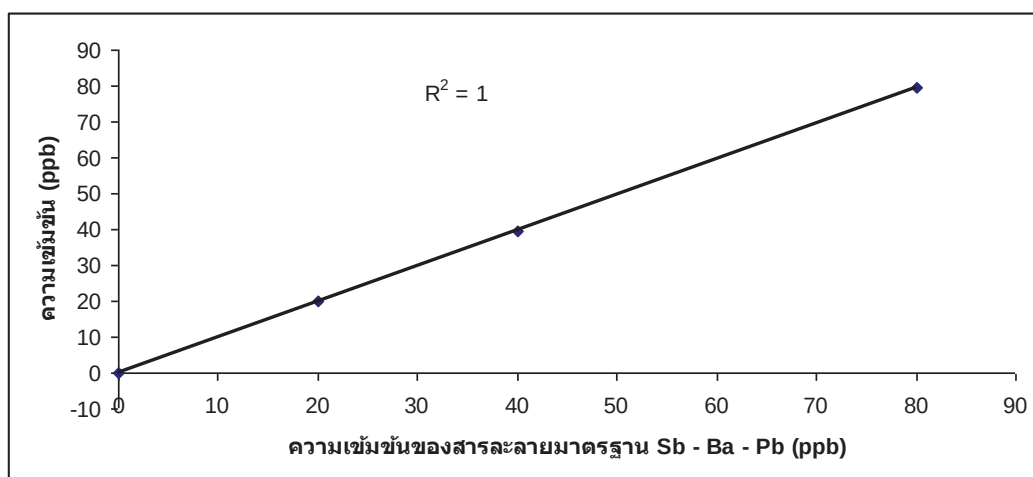


ภาพที่ 57 กราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานแอนติโมนี แบเรียม และตะกั่ว ความเข้มข้น 10 - 20 - 40 ppb

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

ตารางที่ 10 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

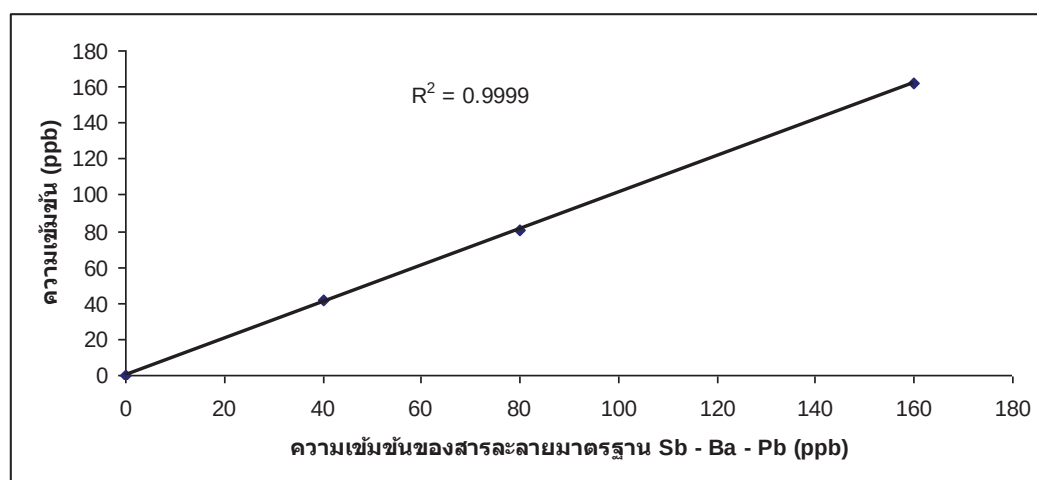


ภาพที่ 58 กราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานแอนติโมนี แบเรียม และตะกั่ว ความเข้มข้น
20 - 40 - 80 ppb

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

ตารางที่ 11 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

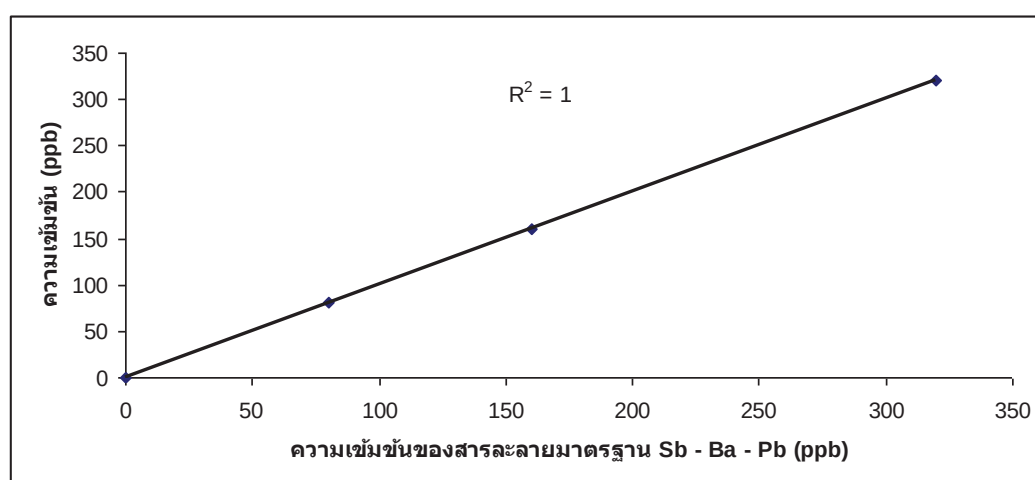


ภาพที่ 59 กราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานแอนติโมนี แบเรียม และตะกั่ว ความเข้มข้น
40 - 80 - 160 ppb

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

ตารางที่ 12 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

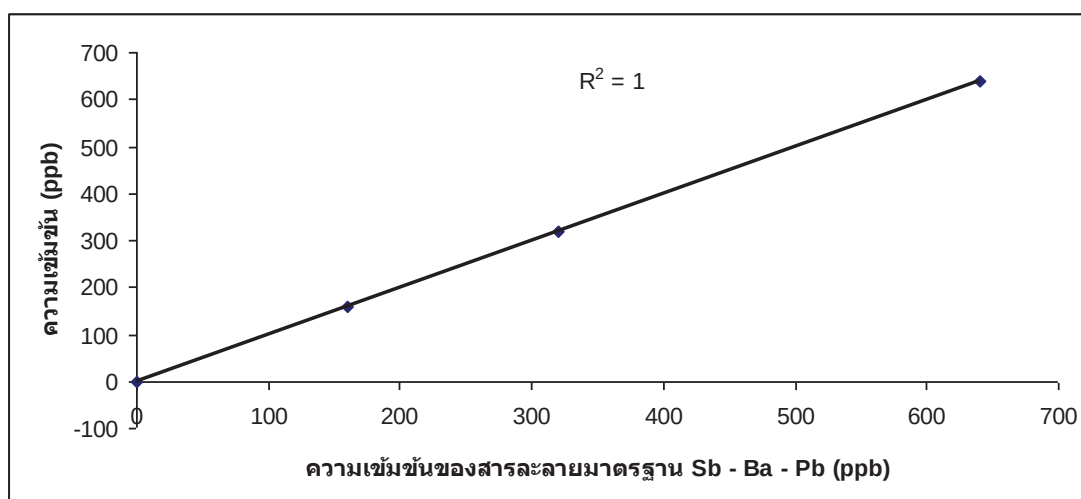


ภาพที่ 60 กราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานแอนติโมนี แบเรียม และตะกั่ว ความเข้มข้น
80 - 160 - 320 ppb

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

ตารางที่ 13 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 61 กราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานแอนติโมนี แบเรียม และตะกั่ว ความเข้มข้น
160 - 320 - 640 ppb

ภาคผนวก ข

ตัวอย่างผลการวิเคราะห์หาปริมาณของธาตุแอนติโมนี แบบรียม และตะกั่ว
บนมือผู้ยิงปืน

ตัวอย่างผลการวิเคราะห์หาปริมาณของธาตุแอนติโมนี แบริยม 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 ง
ผลการวิเคราะห์หาปริมาณของธาตุ แอนติโมนี แบเรียม และตะกั่ว บนมือผู้ยิงปืน
โดยเทคนิค ICP-MS

ตารางที่ 14 แสดงปริมาณ แอนติโมนี แบบเรียบ ตะกั่ว ที่ตรวจพบในส่วนต่างของมือทั้งสองข้าง

ยิงแล้วเก็บทันที

กย 2552			กระสุนขนาด 9 มม. จับ 2 มือ			กระสุนขนาด .357 จับ 2 มือ
ธาตุ	บริเวณที่เก็บตัวอย่าง		ยิง 3 นัด	ยิง 2 นัด	ยิง 1 นัด	ยิง 3 นัด
แอนติโมนี	Blank		2.78	-4.68	-3.98	-3.58
(Sb)	FRB	ง่ามมือ หลังมือขวา	over	over	over	88.25
	FRP	ง่ามมือ ฝ่ามือขวา	over	over	over	19.26
	FLB	ง่ามมือ หลังมือซ้าย	over	over	over	36.56
	FLP	ง่ามมือ ฝ่ามือซ้าย	15.9	47.43	39.84	22.34
	RB	หลังมือขวา	over	over	over	92.39
	RP	ฝ่ามือขวา	over	44.83	over	over
	LB	หลังมือซ้าย	25.33	4.85	8.57	37.49
	LP	ฝ่ามือซ้าย	85.13	46.07	16.68	14.48
ตะกั่ว	Blank		49.55	2.94	3.87	5.89
(Pb)	FRB	ง่ามมือ หลังมือขวา	over	over	over	over
	FRP	ง่ามมือ ฝ่ามือขวา	over	97.68	over	89.78
	FLB	ง่ามมือ หลังมือซ้าย	over	107.34	over	250.5
	FLP	ง่ามมือ ฝ่ามือซ้าย	62.39	32.03	192.47	156.79
	RB	หลังมือขวา	over	214.29	over	over
	RP	ฝ่ามือขวา	165.93	53.27	over	over
	LB	หลังมือซ้าย	12.8	24.31	51.86	188.02
	LP	ฝ่ามือซ้าย	126.74	100.28	147.65	55.91
แบเรียม	Blank		171.3	69.6	51.7	29.6
(Ba)	FRB	ง่ามมือ หลังมือขวา	over	over	over	159.2
	FRP	ง่ามมือ ฝ่ามือขวา	over	over	over	40.4
	FLB	ง่ามมือ หลังมือซ้าย	over	over	over	56.65
	FLP	ง่ามมือ ฝ่ามือซ้าย	158.9	113	94	22.4
	RB	หลังมือขวา	over	over	over	177
	RP	ฝ่ามือขวา	over	187.5	over	71
	LB	หลังมือซ้าย	94.6	70.4	39.2	-19.9

ตารางที่ 15 เปรียบเทียบปริมาณแอนติโมนิ แบเรียม และตะกั่ว ที่วัดได้ ในสภาวะที่ล้างอาวูรบินเทียบกับไม่ล้างอาวูรบิน

จำนวนนัด	ธาตุ	บริเวณที่เก็บ	ล้างป็น					ไม่ล้างป็น				
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1 นัด	แอนติโมนี	กรดตัวอย่าง	0.76	3.6	1.25	1.9	2.45	1.92	1.07	1.56	1.61	2.52
		เก็บก่อนยิง	1	1.65	2.92	1.71	2.62	1.2	1.98	1.42	1.32	1.46
		งำนนิ้วหลังมือขวา	1207	613.6	986	1156	412.4	810.6	951.5	417.6	709	600.2
		หลังมือขวา	623	71.78	173.5	224	343.1	28.25	342.5	465.5	665.5	66.44
	แบเรียม	กรดตัวอย่าง	128.2	104.4	120.6	106.2	114.2	118.9	112.6	68.17	156.2	123.2
		เก็บก่อนยิง	154.5	138.6	115.4	90.32	121.5	130.8	131.4	83.94	132.1	113.4
		งำนนิ้วหลังมือขวา	2137	1253	1700	2326	1119	1518	1520	689.1	1503	1627
		หลังมือขวา	1119	268.6	493.7	598.8	897.6	245.4	611	790.3	1567	330.9
	ตะกั่ว	กรดตัวอย่าง	20.72	28.77	23.8	20.28	19.89	21.05	21.72	14.58	21.97	17.38
		เก็บก่อนยิง	38.47	34.79	36.07	31.93	44.58	31.18	61.28	25.43	36.83	38.35
		งำนนิ้วหลังมือขวา	1280	693.1	918.8	1297	598.8	775.9	801.5	479.7	905.6	824.6
		หลังมือขวา	778	122.1	221.7	256.4	411.1	76.91	303.2	499.3	733.1	122.7
2 นัด	แอนติโมนี	กรดตัวอย่าง	0	1.44	0.24	0.08	1.67	3.51	4.58	2.54	2.44	2.32
		เก็บก่อนยิง	2.89	6.28	1.87	10.56	0.24	5.37	14.49	4.26	2.35	1.27
		งำนนิ้วหลังมือขวา	262.47	632.14	714.52	1300.8	1591.2	341.95	1363.8	1522.9	931.88	1296
		หลังมือขวา	1002.1	254.64	85.58	325.27	1154.5	1089	551.13	515.06	402	570.75
	แบเรียม	กรดตัวอย่าง	108.7	99.06	131.32	135.38	127.64	76.12	107.12	150.77	120.48	146.01
		เก็บก่อนยิง	157.23	85.82	117.56	161.56	71.42	127.7	99.67	132.33	147.6	112.68
		งำนนิ้วหลังมือขวา	2492.2	1634.1	2231.6	3267.8	3974.8	3225.7	3033.4	3463.8	604.2	2815.2
		หลังมือขวา	655.68	723.05	467.93	932.55	2968.4	1787.8	1278.7	1220.9	1051.8	1916.4
	ตะกั่ว	กรดตัวอย่าง	6.62	15.36	5.7	5.96	12.02	22.8	4.37	4.3	13.67	5.86
		เก็บก่อนยิง	58.35	141.73	45.88	188.47	21.75	129.9	279.46	48.55	67.69	21.67
		งำนนิ้วหลังมือขวา	1106.2	1472.9	1313.2	1521.6	1804.7	2310.5	1885	1649.9	2124.4	1685.9
		หลังมือขวา	314.4	603.33	198.91	375.31	1326	1460.8	643.48	603.33	455.66	854.99
3 นัด	แอนติโมนี	กรดตัวอย่าง	4.47	7.3	8.98	2.9	1.13	0	2.92	1.16	7.5	1.6
		เก็บก่อนยิง	4.39	85.53	6.28	2.08	5.56	2.41	6.23	5.33	9.78	0.69
		งำนนิ้วหลังมือขวา	3686.2	2959.1	897.28	878.14	526.49	2924	1674.2	2283.2	706.97	2311.4
		หลังมือขวา	3224.1	1486.4	708.24	159.07	554.39	1166.8	1599.4	1036.4	255.73	1132.5
	แบเรียม	กรดตัวอย่าง	104.7	119.5	72.36	105.86	92.35	79.57	88.22	98.53	176.32	100.7
		เก็บก่อนยิง	120	81.67	121.71	81.14	134.18	92.21	81.47	87.45	110.26	64.44
		งำนนิ้วหลังมือขวา	2471.3	4202.3	2133.7	1567.7	1277.9	4147.1	3980.8	3657.7	1710.1	2319.4
		หลังมือขวา	4735.8	2716.2	1402.9	484.17	1350.4	1937.9	3079.8	1961.3	579.86	2790.4
	ตะกั่ว	กรดตัวอย่าง	4.27	43.53	12.98	7.49	5.65	2.26	27.13	14.1	43.14	15.67
		เก็บก่อนยิง	141.66	3.76	66.18	37.56	69	91.15	61.33	103.86	127.33	25.63
		งำนนิ้วหลังมือขวา	2350.1	1928.7	891.27	986.39	616.24	2142.4	1638.7	2051.4	744.31	2404.5
		หลังมือขวา	3225	1213.2	473.74	205.72	872.94	949.38	1533.7	1104.9	247.71	1080.7

ตารางที่ 16 แสดงปริมาณ แอนติโมนี แบเรียม ตะกั่ว ที่มีของผู้อยู่เป็น ภายหลังจากการยิงปืนทันที

ระยะเวลา	ธาตุ	บริเวณที่เก็บตัวอย่าง		ตัวอย่าง (เก็บด้วยก้านสำลียี่ห้อเอเวอร์กรีน)									
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
เก็บทันที ยิง 3 นัด	แอนติโมนี	A	BLANK	0.46	0.43	0.29	0.64	0.35	0.43	0.34	0.4	0.36	0.4
	(Sb)	B-RB	เก็บก่อนยิง	3.55	0.45	0.52	0.4	2.12	0.48	0.57	0.62	1.06	1.17
	(ug/l)	FRB	จุ่มนิ้วหลังมือขวา	890.19	62.43	269.57	315.32	414.48	58.23	262.48	44.9	188.71	385.93
		RB	หลังมือขวา	95.11	41.68	112.21	103.81	59.87	5.49	75.97	7.36	61.34	55.98
	แบเรียม	A	BLANK	99.37	120.91	108.99	151.51	109.08	97.3	94.02	113.45	110.89	80
	(Ba)	B-RB	เก็บก่อนยิง	85.34	111.2	118.88	121.41	131.98	95.58	111.85	97.8	109.62	86.7
	(ug/l)	FRB	จุ่มนิ้วหลังมือขวา	5668.7	1418	2900.9	2839.1	2689.4	1194	2177.3	874.9	1728.1	2821.5
		RB	หลังมือขวา	920.72	1134.9	1345.1	1128.7	554.41	194.96	972.58	209.95	402.27	377.42
	ตะกั่ว	A	BLANK	33.07	12.07	7.59	19.54	6.77	11.76	10.36	10.36	18.73	12.22
	(Pb)	B-RB	เก็บก่อนยิง	42.88	26.98	22.32	15.86	82.31	24.89	24.46	34.04	38.55	106.21
	(ug/l)	FRB	จุ่มนิ้วหลังมือขวา	1179.6	276.78	669.83	742.17	473.6	261.47	359.84	230.63	265.46	545.32
		RB	หลังมือขวา	229.49	97.42	164.86	208.37	80.86	42.44	153.59	46.79	46.76	58.28

ตารางที่ 17 แสดงปริมาณแอนติโมนี แบเรียม ตะกั่ว เมื่อชั่งและแก้กันสำหรับหัตถ์ต่างๆ บนมือของผู้เป็นด้วยสารละลายผสมระหว่าง 5% Nitric acid + 2% Tartaric acid + 2% Citric acid

วิธีทดลอง	จำนวนซ้ำ	1						2						3						4						5					
		1			2			3			4			5			6			7			8			9			10		
		แอนติโมนี (Sb)	แบเรียม (Ba)	ตะกั่ว (Pb)	แอนติโมนี (Sb)	แบเรียม (Ba)	ตะกั่ว (Pb)	แอนติโมนี (Sb)	แบเรียม (Ba)	ตะกั่ว (Pb)	แอนติโมนี (Sb)	แบเรียม (Ba)	ตะกั่ว (Pb)	แอนติโมนี (Sb)	แบเรียม (Ba)	ตะกั่ว (Pb)	แอนติโมนี (Sb)	แบเรียม (Ba)	ตะกั่ว (Pb)	แอนติโมนี (Sb)	แบเรียม (Ba)	ตะกั่ว (Pb)	แอนติโมนี (Sb)	แบเรียม (Ba)	ตะกั่ว (Pb)	แอนติโมนี (Sb)	แบเรียม (Ba)	ตะกั่ว (Pb)	แอนติโมนี (Sb)	แบเรียม (Ba)	ตะกั่ว (Pb)
วิธีหัตถ์	yg/1 บริเวณที่เก็บ																														
	กรด	0.7	39.27	12.38	0.88	39.09	20.73	1.11	38.41	17.76	0.74	30.57	11.79	0.8	38.62	13.32															
	เก็บก่อนยิง	3.84	104.99	40.37	4.7	82.69	33.99	12.65	110.63	47.46	8.4	90.47	37.88	3.6	77.43	23.24															
	งานนิวหลังมือขวา	111.37	383.13	236.4	990.05	3434.4	623.17	240.6	1289.1	216.91	298.39	2545.8	358.13	734.44	5099	691.21															
EVERGREEN	หลังมือขวา	80.58	623.22	108.87	352.5	1952	387.72	212.93	1163.6	186.64	336.65	1671.8	262.54	111.58	919.66	90															
	กรด	0.64	161.01	7.83	0.58	118.49	12.36	0.64	127.1	12.22	0.63	130.24	12.49	0.63	119.16	12.54															
	เก็บก่อนยิง	3.15	120.87	50.37	3.1	132.73	48.89	1.21	123.63	16.7	2	119.8	26.093	1.61	87.18	17.71															
	งานนิวหลังมือขวา	102.83	102.83	176.1	82.07	772.23	125.47	33.25	302.44	103.24	208.69	899.8	169.45	64.33	412.16	100.62															
DEENEE	หลังมือขวา	46.53	46.53	70.72	61.63	547.02	59.89	56.13	375.08	59.98	52.44	551.19	68.22	52.44	481.29	56.1															
	กรด	0	38.36	4.18	0	44.71	3.37	0	69.05	5.2	0	52.71	4.67	0	49.22	4.24															
	เก็บก่อนยิง	0.32	52.56	15.98	2.6	44.85	11.04	0.74	71.77	13.13	1.41	77.36	13.32	0.97	58.34	14.36															
	งานนิวหลังมือขวา	181.56	867.33	253.83	211.83	837.51	185.89	241.42	1294.2	252.82	168.89	795.54	167.14	231.42	866.25	215.98															
AMBULANCE	หลังมือขวา	126.74	571.95	106.32	112.34	865.65	106.76	2.21	77.88	12.06	2.21	77.88	12.06	45.8	267.42	63.36															
	กรด	0	39.43	3.84	0	41.9	4.01	0	41.78	4.18	0	46.53	3.96	0	44.85	4.07															
	เก็บก่อนยิง	0.27	69.44	28.68	0.46	60.81	10.73	0.21	48.58	7.7	0.25	65.75	8.68	0.64	63.68	14.11															
	งานนิวหลังมือขวา	520.61	1997.1	418.02	248.87	886.47	206.94	482.27	2797.5	422.31	237.3	1244.6	214.42	25.05	400.76	35.11															
HOMEFRESHMART	หลังมือขวา	228.26	919.19	124.73	179.03	1371.2	161.34	107.02	686.68	101.79	58.14	246.58	39.76	262.22	1290.6	257.34															

ตารางที่ 18 แสดงปริมาณแอนติโมนี แบเรียม ตะกั่ว บนแผ่นกระเบื้อง ด้วยสัณฐานปลายแหลมของหินอะลูมิเนียม

เก็บบนแผ่นกระเบื้อง												
จำนวนซ้ำ	หุบกันสำลีด้วยสารละลายผสม ระหว่าง 5% Nitric acid + 2%Tartaric acid + 2% Citric acid						หุบกันสำลีด้วยสารละลาย 5% Nitric acid					
	กรด			EVERGREEN			EVERGREEN					
	แอนติ โมนี (Sb)	แบเรียม (Ba)	ตะกั่ว (Pb)	แอนติ โมนี (Sb)	แบเรียม (Ba)	ตะกั่ว (Pb)	แอนติ โมนี (Sb)	แบเรียม (Ba)	ตะกั่ว (Pb)	แอนติ โมนี (Sb)	แบเรียม (Ba)	ตะกั่ว (Pb)
1	2.76	54.88	65.79	19.01	169.03	89.28	8.95	90.06				
2	0.85	33.24	12.36	52.46	384.19	95.4	33.32	215.93				
3	1.09	30.82	16.42	78.7	685.49	150.41	6.66	123.59				
4	0.66	32.59	11.76	62.13	649	152	14.84	138.05				
5	0.71	38.2	11.76	116.04	1022.1	247.09	118.76	494.71				
6	0.63	34.64	11.65	17.62	166.49	79.46	13.77	206.36				
7	0.78	36.78	13.66	353.47	2342.6	778.73	119.85	658.7				
8	0.94	39.25	14.7	10.56	111.76	96.28	15.5	140.4				
9	0.71	49.66	12.83	86.79	523.03	199.67	75.13	687.75				
10	0.67	29.07	11.7	42.09	302.86	145.67	42.88	297.36				

ตารางที่ 19 แสดงปริมาณแอนติโมนี โมลิบดีนัม แบเรียม ตะกั่ว บนแผ่นกระเบื้อง ด้วยสารละลายต่าง ๆ ที่แสดงในตารางนี้

จำนวนซ้ำ	เก็บบนแผ่นกระเบื้อง									
	สารละลาย					สารละลาย				
	ระหว่าง 5% Nitric acid + 2% Tartaric acid + 2% Citric acid					5% Nitric acid				
	กรด					DEENEE				
	แอนติโมนี (Sb)	แบเรียม (Ba)	ตะกั่ว (Pb)	แอนติโมนี (Sb)	แบเรียม (Ba)	ตะกั่ว (Pb)	แอนติโมนี (Sb)	แบเรียม (Ba)	ตะกั่ว (Pb)	
1	0.59	87.51	12.31	15.44	262.36	107.25	9.47	215.42	87.15	
2	0.65	105.12	13.77	69.08	348.9	111.08	38.46	528.09	114.34	
3	0.8	153.31	12.86	73.35	906.22	216.73	33.48	318.14	148.78	
4	0.64	132.96	13.35	118.01	665.98	147.63	62.99	326.14	127.73	
5	0.73	128.08	13.1	121.17	2036.7	198.61	115.28	472.16	117.72	
6	0.85	126.8	16.31	10.71	193.47	130.31	6.68	199.43	65.07	
7	0.61	113.64	12.97	26.66	313.3	88.19	31.24	335.42	91.75	
8	0.74	120.08	13.21	0.25	3.92	1.03	19.14	256.06	80.91	
9	0.7	120.57	13.89	18.53	178.69	96.62	22.36	270.6	116.08	
10	0.68	131.13	15.23	16.52	232.09	77.84	23.15	272.12	92.83	

ตารางที่ 20 แสดงปริมาณแอนติโมนี แบเรียม ตะกั่ว บนแผ่นกระเบื้อง ด้วยสปีฟนปลายแห่งพลาสติกหือโสมพรมารัท

เก็บบนแผ่นกระเบื้อง										
จำนวนซ้ำ	หุบกันล้าด้วยสารละลายผสม ระหว่าง 5% Nitric acid + 2%Tartaric acid + 2% Citric acid						หุบกันล้าด้วยสารละลาย 5% Nitric acid			
	กรด			HOMEFRESHMART			HOMEFRESHMART			
	แอนติ โมนี (Sb)	แบเรียม (Ba)	ตะกั่ว (Pb)	แอนติ โมนี (Sb)	แบเรียม (Ba)	ตะกั่ว (Pb)	แอนติ โมนี (Sb)	แบเรียม (Ba)	ตะกั่ว (Pb)	
1	0	38.13	2.09	14.25	134.23	70.28	13.86	163.13	87.75	
2	0	49.17	3.4	283.05	1978.3	339.69	12.82	152.34	105.92	
3	0	53.71	4.83	63.22	317.96	144.95	23.96	143.67	77.69	
4	0	44.98	10.52	11.52	149.69	91.77	10.75	166.88	97.04	
5	0	41.46	3.69	108.43	699.17	237.95	6.58	135.42	68.16	
6	0	53.08	3.83	10.11	115.08	146.23	11.45	122.23	159.93	
7	0	46.52	2.89	4.05	81.49	72.26	0.89	38.27	36.33	
8	0.22	34.12	5	25.81	145.2	113.01	27.1	125.28	66.86	
9	0.41	55.51	7.48	4.42	83.53	51.36	3.07	73.81	49.06	
10	0	47.72	2.63	11.63	152.68	93.82	8.05	158.15	87.89	

ตารางที่ 21 แสดงปริมาณแอนติโมนี แบเรียม ตะกั่ว บนแผ่นกระเบื้อง ด้วยสัณฐานปลายแหลมติดกึ่งหรือรพยาบาล

จำนวนซ้ำ	เก็บบนแผ่นกระเบื้อง									
	หุบกันสำลิตัวสารละลายผสม					หุบกันสำลิตัวสารละลาย				
	ระหว่าง 5% Nitric acid + 2%Tatarlic acid + 2% Citric acid					5% Nitric acid				
	กรด			AMBULANCE			AMBULANCE			
	แอนติโมนี (Sb)	แบเรียม (Ba)	ตะกั่ว (Pb)	แอนติโมนี (Sb)	แบเรียม (Ba)	ตะกั่ว (Pb)	แอนติโมนี (Sb)	แบเรียม (Ba)	ตะกั่ว (Pb)	
1	0	53.8	5.48	13.79	120.79	119.57	18.63	200.4	163.4	
2	0	52.1	3.39	17.1	115.63	116.49	3.08	83.82	87.98	
3	0	45.53	4.02	17.35	134.12	79.84	14.83	173.2	97.45	
4	0	89.7	4.97	14	143.82	142.53	125.35	446.18	162.83	
5	0	34.58	3.28	3.65	65.64	42.19	1.54	51.97	25.37	
6	0	51.07	4.54	24.37	110.99	92.9	10.33	101.75	59.72	
7	0	78.86	4.75	8.32	72.96	138.49	4.33	84.09	127.82	
8	0	41.48	3.51	26.14	146.04	89.02	29.14	239.39	134.26	
9	0.12	43.02	5.9	42.77	197.65	105.93	35.87	195.69	112.42	
10	0	23.37	2.39	2.4	57.97	86.17	4.01	97	120.4	

ตารางที่ 22 แสดงปริมาณ แอนติโมนี แบเรียม ตะกั่ว ที่เก็บบนแผ่นกระเบื้องด้วยสำลีพันปลายแท่งพลาสติก (cotton bud) ต่างยี่ห้อ

ครั้งที่	ธาตุ (ug/l)	ตู้ที่ 1 เปรียบเทียบ			ตู้ที่ 2 เปรียบเทียบ			ตู้ที่ 3 เปรียบเทียบ		
		กรด (Acid)	A	B	กรด (Acid)	C	D	กรด (Acid)	A	C
			EVERGREE N (เอเวอร์กรีน)	Ambulance (รถพยาบาล)		DEENEE (คีนี่)	Home Fresh Mart (โฮมเฟรชมาร์ท)		EVERGREEN (เอเวอร์กรีน)	DEENEE (คีนี่)
1	แอนติโมนี (Sb)	0.31	169.8	26.87	0.4	6.46	3.64	0.99	16.85	17.83
	แบเรียม (Ba)	40.15	461.62	203.51	59.36	117.43	80.68	47.53	210.3	248.2
	ตะกั่ว (Pb)	8.18	95.77	85.22	8.16	57.32	49.05	18.04	48.74	64.39
2	แอนติโมนี (Sb)	0.53	45.94	33.44	0.44	11.4	162.37	-1.28	13.79	34.16
	แบเรียม (Ba)	31.13	208.79	216.66	47.52	187.17	462.46	68.43	129.8	462.4
	ตะกั่ว (Pb)	7.16	86.97	83.99	9.65	47.2	99.7	1.36	109.3	94.06
3	แอนติโมนี (Sb)	0.51	9.06	10.55	1.07	27.49	17.57	-1.46	33.56	28.72
	แบเรียม (Ba)	41.49	91.83	106.71	53.83	255.73	157.95	29.93	352.6	322.4
	ตะกั่ว (Pb)	7.59	61.62	53.24	8.99	97.49	60.31	2.9	101.9	80.58
4	แอนติโมนี (Sb)	0.39	184.76	7.95	0.57	239.64	44.26	-1.48	21.13	12.99
	แบเรียม (Ba)	45.09	641.49	100.05	44.85	870.77	251.62	28.19	180.7	181.2
	ตะกั่ว (Pb)	8.22	97.49	48.89	8.32	176.86	104.01	0.73	61.17	61.71
5	แอนติโมนี (Sb)	0.57	20.69	17.59	0.84	78.23	84.74	-1.5	15.57	22.23
	แบเรียม (Ba)	52.41	196.02	162.68	51.48	326.17	319.45	34.86	210	275
	ตะกั่ว (Pb)	8.22	81.72	70.85	8.12	128.6	143.53	1.68	56.55	97.6
6	แอนติโมนี (Sb)	-0.45	207.2	22.84	-0.45	7	4.77	-1.64	37.27	30.03
	แบเรียม (Ba)	48.8	1461	173.8	46.89	150.1	74.42	38.3	340.7	369.5
	ตะกั่ว (Pb)	9.39	285.9	106.7	2.33	42.29	31.29	1.25	125.4	133
7	แอนติโมนี (Sb)	-0.4	48.39	46.53	-0.68	129	27.55	-1.54	19.39	183.5
	แบเรียม (Ba)	37.69	195.5	190.7	44.53	1332	170	62.6	205.4	562.6
	ตะกั่ว (Pb)	1.87	89.31	85.42	1.56	248.4	68.69	0.31	74.65	110.8
8	แอนติโมนี (Sb)	-0.43	18.93	19.22	-0.43	12.54	7.1	-1.3	32.83	331.7
	แบเรียม (Ba)	34.22	142.6	124.4	64.14	124.2	86.87	35.83	270.9	2264
	ตะกั่ว (Pb)	1.67	58.47	67.62	3.45	48.05	32.59	1.35	109	476.2
9	แอนติโมนี (Sb)	-0.53	16.42	18.41	-0.52	13.91	22.81	-1.91	13.18	105.8
	แบเรียม (Ba)	42.06	107.5	189.8	36.23	206	164.8	40.3	196.8	815
	ตะกั่ว (Pb)	3.81	46.89	43.91	3	53.78	67.23	1.57	57.8	111.9
10	แอนติโมนี (Sb)	-0.64	13.23	32.41	-0.22	17.51	36.86	-1.48	3.96	3.54
	แบเรียม (Ba)	31.26	167.5	212.1	41.69	227.6	181	35.71	119.3	173.7
	ตะกั่ว (Pb)	1.1	50.02	71.2	5.03	55.92	55.58	0.64	43.42	46.04

ตารางที่ 23 แสดงปริมาณ แอนติโมนี แบเรียม ตะกั่ว ที่เก็บบนแผ่นกระดาษแข็งด้วยสำลีพันปลายแท่งพลาสติก (cotton bud) ต่างยี่ห้อ

เครื่องวัด	ธาตุ (ug/l)	คู่มือ 4 เปรียบเทียบ			คู่มือ 5 เปรียบเทียบ			คู่มือ 6 เปรียบเทียบ		
		กรด (Acid)	B	D	กรด (Acid)	A	D	กรด (Acid)	B	C
			Ambulance (รถพยาบาล)	Home Fresh Mart (โฮมเฟรชมาร์ท)		EVERGREEN (เอเวอร์กรีน)	Home Fresh Mart (โฮมเฟรชมาร์ท)		Ambulance (รถพยาบาล)	DEENEE (ดีนี)
1	แอนติโมนี (Sb)	-1.59	65.54	115.7	-1.03	2.14	1.56	-0.59	20.45	18.46
	แบเรียม (Ba)	25.77	271.5	952.6	29.4	59.52	84.06	38.58	192.6	254.7
	ตะกั่ว (Pb)	2.27	66.1	75.42	2.94	45.47	44.96	2.52	76.46	68.71
2	แอนติโมนี (Sb)	-0.99	48.78	2.26	-1.74	0.14	-0.16	-0.42	8.34	8.66
	แบเรียม (Ba)	27.8	349.8	82.78	33.98	56.22	57.89	56.63	105.8	199.8
	ตะกั่ว (Pb)	0.82	333.3	45.07	1.67	29.63	38.35	4.43	44.23	53.88
3	แอนติโมนี (Sb)	-1.56	1.48	1.05	-1.7	51.94	49.18	-0.51	67.6	26.85
	แบเรียม (Ba)	47.06	107.1	77.06	32.29	283.8	476.9	49.41	545.5	292.7
	ตะกั่ว (Pb)	8.86	38.45	29.38	2.29	88.21	116.4	3.51	118.9	74.79
4	แอนติโมนี (Sb)	-0.79	5.82	3.46	-0.64	4.53	1.37	-4.99E-02	11.57	17.31
	แบเรียม (Ba)	41.91	98.7	90.86	33.81	74.13	89.15	42.06	137	257.9
	ตะกั่ว (Pb)	7.04	59.8	52.03	2.18	39.33	40.3	3.06	46.6	56.45
5	แอนติโมนี (Sb)	-1.76	129.4	36.09	-1.76	71.66	12.05	-0.19	97.48	5.48
	แบเรียม (Ba)	36.56	1919	781.1	42.39	860.4	154.7	47.42	632.2	157.2
	ตะกั่ว (Pb)	2.8	152.8	94.7	0.59	182.1	70.26	4.18	47.93	51.81
6	แอนติโมนี (Sb)	0.38	36.29	31.57	-1.65	4.68	152.7	-0.18	2.78	3.52
	แบเรียม (Ba)	49.92	222.8	200	84.58	91.21	1007	30.83	103.7	199
	ตะกั่ว (Pb)	37.27	46.41	73.98	1.6	41.82	165.9	3.36	69.85	48.77
7	แอนติโมนี (Sb)	-1.39	54.48	48.43	-0.67	8.84	8.5	0.41	7.48	6.03
	แบเรียม (Ba)	36.76	284.6	283.2	29.69	120.6	140.9	41.12	116.2	157.1
	ตะกั่ว (Pb)	6.24	113.6	98.52	0.96	60.12	41.16	2.89	44.29	42.31
8	แอนติโมนี (Sb)	-1.38	36.35	35.79	-1.58	34.76	10.74	-0.37	286.5	24.01
	แบเรียม (Ba)	39.86	304.3	316.3	47.39	197.2	113.5	37.92	1087	295.5
	ตะกั่ว (Pb)	2.77	83.18	83.64	3.03	60.7	45.09	4.62	158.9	56.08
9	แอนติโมนี (Sb)	-1.53	24.79	20.19	-1.52	5.9	29.11	0.36	46.74	48.79
	แบเรียม (Ba)	31.38	215.4	189.4	69.01	90.49	573	42.43	243.5	332.7
	ตะกั่ว (Pb)	-0.16	73.13	66.21	3.01	46.82	43.98	4.3	104.1	128.7
10	แอนติโมนี (Sb)	-0.17	47.99	133.8	-1.36	136.8	25.76	0.22	11.52	21.07
	แบเรียม (Ba)	22.35	304.5	1310	77.77	601.6	160.8	46.6	129.5	206.5
	ตะกั่ว (Pb)	16.19	98.82	248.8	5.22	111.2	67.16	2.97	55.76	61.45

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ - สกุล	ว่าที่พันตำรวจตรีหญิง สรลนุช ชุกกลิ่น
ที่อยู่	245/19 หมู่ที่ 3 ตำบลสันทรายน้อย อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่
ที่ทำงาน	กลุ่มงานตรวจสอบสถานที่เกิดเหตุ กองพิสูจน์หลักฐานกลาง สำนักงานพิสูจน์หลักฐานตำรวจ สำนักงานตำรวจแห่งชาติ โทรศัพท์ 0 - 2205 - 1739
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ. 2547	ปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต (สาขาเคมี) คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
พ.ศ. 2550 - ปัจจุบัน	ศึกษาต่อระดับปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร
ประวัติการทำงาน	
พ.ศ. 2547 – 2548	รองสารวัตรงาน 2 กองกำกับการวิทยาการ เขต 11 นครศรีธรรมราช
พ.ศ. 2548 - 2552	นักวิทยาศาสตร์ (สบ 1) กลุ่มงานตรวจสอบสถานที่เกิดเหตุ และถ่ายภาพ สำนักงานนิติวิทยาศาสตร์ตำรวจ
พ.ศ. 2552 – 2555	นักวิทยาศาสตร์ (สบ 1) กลุ่มงานตรวจสอบสถานที่เกิดเหตุ กองพิสูจน์หลักฐานกลาง สำนักงานพิสูจน์หลักฐานตำรวจ
พ.ศ. 2555 - ปัจจุบัน	นักวิทยาศาสตร์ (สบ 2) กลุ่มงานตรวจสอบสถานที่เกิดเหตุ กองพิสูจน์หลักฐานกลาง สำนักงานพิสูจน์หลักฐานตำรวจ