การหาปริมาณเขม่าปืน โดยเทคนิคแกรไฟต์เฟอเนสอะตอมมิกแอบซอร์ฟชั่น สเปคโตรโฟโตเมทรี : การศึกษาเปรียบเทียบจากกระสุนปืน 4 ชนิด

Determination of Gunshot Residues by Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrophotometry Thechnique : Comparison Study of 4 Type of Bullet

ปฏิพล บุญช่วย

Patipon Bunchuay

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fullfillment of the Requirements for the Degree of Master of Science in Forensic Science Prince of Songkla University

2553

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ การหาปริมาณเขม่าปืนโดยเทคนิคแกรไฟต์เฟอเนสอะตอมมิกแอบซอร์ฟชั่นสเปคโตรโฟโตเมทรี : การศึกษาเปรียบเทียบจากกระสุนปืน 4 ชนิด
ผู้เขียน นายปฏิพล บุญช่วย
สาขาวิชา นิติวิทยาศาสตร์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก **คณะกรรมการสอบ**

…….. ……ประธานกรรมการ
(นายแพทย์วิระชัย สมัย) (รองศาสตราจารย์ ดร.วีระวรรณ เรืองยุทธิการณ์)

……..…….....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.นายแพทย์พงษ์รักษ์ ศรีบัณฑิตมงคล)

.....……กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ มาลินี วงศ์นาวา)

……กรรมการ
(ดร.ฐิติมา รุจิราลัย)

.....……..กรรมการ
(นายแพทย์วิระชัย สมัย)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์

……..
(ศาสตราจารย์ ดร.อมรรัตน์ พงศ์ดารา)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อวิทยานิพนธ์ การหาปริมาณเขม่าปืนโดยเทคนิคแกรไฟต์เฟอเนสอะตอมมิกแอบซอร์ฟชั่น สเปคโตรโฟโตเมทรี : การศึกษาเปรียบเทียบจากกระสุนปืน 4 ชนิด

ผู้เขียน นายปฏิพล บุญช่วย

สาขาวิชา นิติวิทยาศาสตร์

ปีการศึกษา 2553

บทคัดย่อ

การพิสูจน์การฆาตกรรม การฆ่าตัวตาย และอุบัติเหตุ จากกระสุนปืนต้องอาศัยข้อมูลทางนิติวิทยาศาสตร์ในการตรวจพิสูจน์ เขม่าปืนเป็นหลักฐานสำคัญที่ช่วยแยกผู้ที่ฆ่าตัวตายได้ ในประเทศไทยอาวุธปืนที่นิยมใช้ คืออาวุธปืนพก 9 มม. และ 11 มม.และอาวุธปืนลูกโม่ขนาด .38 และ .357 ดังนั้นจึงควรศึกษาหาปริมาณของเขม่าปืนของกระสุนปืนแต่ละขนาดเพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานที่สามารถใช้ค่า cut off ในการช่วยแยกผู้ยิงและผู้ที่ไม่ได้ยิงอาวุธปืนได้

การศึกษานี้จึงจำเป็นต้องศึกษาวิธีในการเตรียมตัวอย่างสิ่งส่งตรวจและศึกษาสภาวะของเครื่องมือเพื่อที่จะวิเคราะห์ธาตุโลหะ 6 ชนิด คือ ตะกั่ว(Pb), แบเรี่ยม(Ba), พลวง (Sb), ทองแดง(Cu), นิกเกิล(Ni) และแมงกานีส(Mn) ซึ่งเป็นธาตุองค์ประกอบของเขม่าปืนและศึกษาการตรวจวัดปริมาณเขม่าปืนโดยสามารถใช้เป็นค่าอ้างอิงในการแยกชนิดของกระสุนปืนและใช้แยกระหว่างผู้ยิงและผู้ที่ไม่ได้ยิงอาวุธปืนได้ด้วยกระสุนปืนหนึ่งยี่ห้อกับอาวุธปืนขนาด 9 มม, 11 มม, .357 และลูกซองเบอร์ 12 โดยตรวจปริมาณธาตุโลหะตะกั่ว แบเรี่ยม พลวง ทองแดง นิกเกิล และแมงกานีสด้วยเครื่อง GFAAS

หลังจากได้วิธีการสกัดที่เหมาะสมคือ การสกัดด้วย 5% HNO_3 (ค่าการคืนกลับของ Pb, Ba, Sb, Cu, Ni, Mn เท่ากับ 98- 99, 93- 116, 87- 94, 104- 110, 97- 101, 98- 102% ตามลำดับ) โดยอบด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 80 ºC นาน 2 ชม. (ค่าการคืนกลับของ Pb, Ba, Sb, Cu, Ni, Mn เท่ากับ 94- 113, 104- 118, 90- 100, 95- 103, 85- 91, 93- 97% ตามลำดับ) จึงทำการศึกษาหาค่าการนำกลับไปใช้ได้พบว่า ค่าขีดความสามารถต่ำสุดของการตรวจวัด (LOD) ของ Pb, Ba, Sb, Cu, Ni, Mn เท่ากับ 0.27, 0.37, 0.61, 0.38, 0.44, 0.05 ppb. ตามลำดับ และค่าขีดการวิเคราะห์ต่ำสุดในเชิงปริมาณ (LOQ) ของ Pb, Ba, Sb, Cu, Ni, Mn เท่ากับ 0.89, 1.23, 2.04, 1.27, 1.46, 0.16 ppb. ตามลำดับ และค่าความเที่ยงของการวิเคราะห์น้อยกว่า 7.5%

จากการศึกษาผลการตรวจปริมาณธาตุโลหะทั้ง 6 ชนิดที่เป็นองค์ประกอบของเขม่าปืนเปรียบเทียบกับค่า cut off พบว่า อาวุธปืนขนาด 9 มม, 11 มม, .357 และลูกซองเบอร์

12 ให้ค่าความไวเท่ากับ 75, 50, 30, 60% ตามลำดับ โดยปริมาณของ Cu มีการปนเปื้อนตามธรรมชาติสูง จึงไม่เหมาะสมที่จะนำมาร่วมพิจารณา และเมื่อไม่พิจารณา Cu พบว่า อาวุธปืนขนาด 9 มม, 11 มม, .357 และลูกซองเบอร์ 12 ให้ค่าความไวเท่ากับ 95, 80, 80, 60% ตามลำดับ

การนำสัดส่วนของปริมาณของเขม่าปืนมาใช้แยกชนิดของกระสุนปืนต้องแยกพิจารณาทั้งบนหลังมือซ้ายและหลังมือขวา โดยมีลำดับการพิจารณาคือ พิจารณาแยกอาวุธปืนขนาด .357 ก่อน ตามด้วยอาวุธปืนขนาด 9 มม. ในขณะที่อาวุธปืนขนาด 11 มม. กับอาวุธปืนลูกซองเบอร์ 12 ไม่สามารถแยกได้ด้วยสัดส่วนของปริมาณของเขม่าปืน แต่ต้องพิจารณาแยกด้วยลักษณะบาดแผลทางเข้าและลูกกระสุนปืนเท่านั้น

Thesis Title	Determination of Gunshot Residues by Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrophotometry Technique : Comparison Study of 4 Type of Bullet
Author	Mr. Patipon Bunchuay
Major Program	Forensic Science
Academic Year	2010

Abstract

The investigation of murders, suicides and accidents by Gunshot required forensic science to prove it. Gunshot residues are important evidence to separate people who have committed suicide. The common weapons used in Thailand are pistol 9 mm. and 11 mm., revolver .38 and .357. Then, the amounts of gunshot residues for each ammunition size were studied to be available information by using cut off value to distinguish between Shooter and non-shooter.

This study were to prepare the specimens and instrument condition, to analyze 6 metals such as Lead(Pb), Barium(Ba), antimony(Sb), copper (Cu). Nickel(Ni) and manganese(Mn) which are chemical component of Gunshot residues, and to determine the gunshot residue as reference data for separating ammunition types and distinguish between Shooter and non-shooter by using one single bullet brand of pistol 9 mm, pistol 11 mm, revolver .357 and shotgun gauge 12. The amount of Lead, Barium, Antimony, Copper, Nickel and Manganese were analyzed using GFAAS.

After the optimum extraction method using 5% HNO_3 (extraction recovery of Pb, Ba, Sb, Cu, Ni, Mn are 98- 99, 93- 116, 87- 94, 104- 110, 97- 101, 98- 102%, respectively) and using hot air oven at 80 ºC for 2 hr (extraction recovery of Pb, Ba, Sb, Cu, Ni, Mn are 94- 113, 104- 118, 90- 100, 95- 103, 85- 91, 93- 97%, respectively) was obtained, the validation method was studied. The limits of detection (LOD) of Pb, Ba, Sb, Cu, Ni, Mn were 0.27, 0.37, 0.61, 0.38, 0.44, 0.05 ppb, respectively. The limits of quantification (LOQ) of Pb, Ba, Sb, Cu, Ni, Mn were 0.89, 1.23, 2.04, 1.27, 1.46, 0.16 ppb, respectively. The precision of the procedure was less than 7.5%.

The determination of 6 gunshot residues comparing with cut-off value was found that pistol 9 mm, pistol 11 mm, revolver .357 and shotgun gauge 12 provided the sensitivity of 75%, 50%, 30%, and 60%, respectively. The natural contamination of copper residues was high, so copper was rejected from the consideration. When copper was excluded, pistol 9 mm, pistol 11 mm, revolver .357 and shotgun gauge 12 then provided sensitivity of 95, 80, 80, and 60%, respectively.

The identification of bullets by using gunshot residues proportion have to consider both left and right hand sides. The revolver .357 should be first considered following by pistol 9 mm. However, pistol 11 mm. and shotgun gauge 12 could not be able to identify by gunshot residues, but the entrance wound and bullet characteristics should be concerned instead.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ ด้วยความช่วยเหลือและอนุเคราะห์จากคณาจารย์และบุคคลหลายฝ่าย ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณนายแพทย์วิระชัย สมัย อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ที่ให้การช่วยเหลือในทุกๆ ด้านอย่างดีที่สุดและให้ข้อเสนอแนะต่างๆ ตลอดระยะเวลาของการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.นายแพทย์พงษ์รักษ์ ศรีบัณฑิตมงคล ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.วีระวรรณ เรืองยุทธิการณ์ รองศาสตราจารย์มาลินี วงศ์นาวา และ ดร.ฐิติมา รุจิราลัย กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ให้ข้อเสนอแนะในการแก้ไขวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์นายแพทย์สุวิทย์ เรืองกิตติสกุล ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ในการทำวิทยานิพนธ์ ณ หน่วยนิติเวชศาสตร์และพิษวิทยา ขอขอบคุณอาจารย์และเจ้าหน้าที่ หน่วยนิติเวชศาสตร์และพิษวิทยา ภาควิชาพยาธิวิทยา คณะแพทยศาสตร์ ที่ให้คำแนะนำต่างๆ ในระหว่างทำการทดลอง

ขอขอบคุณ บัณฑิตวิทยาลัย คณะแพทยศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่สนับสนุนทุนวิจัย ขอขอบคุณอาจารย์และเจ้าหน้าที่หลักสูตรนิติวิทยาศาสตร์ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ประยุกต์ตลอดจนเพื่อนๆ นักศึกษา ที่ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกตลอดระยะเวลาของการทำวิทยานิพนธ์

สุดท้ายข้าพเจ้าขอขอบพระคุณพ่อแม่และครอบครัวของข้าพเจ้า ที่คอยห่วงใยและเป็นกำลังใจที่ดีที่สุดตลอดมา รวมทั้งสนับสนุนค่าใช้จ่ายในระหว่างการศึกษา คุณความดีแห่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่านที่ทำให้ข้าพเจ้าประสบความสำเร็จ

ปฏิพล บุญช่วย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(3)
Abstract	(5)
กิตติกรรมประกาศ	(7)
สารบัญ	(8)
รายการตาราง	(10)
รายการตารางภาคผนวก	(16)
รายการภาพประกอบ	(11)
รายการภาพประกอบภาคผนวก	(14)
บทที่	
1. บทนำ	
1.1 บทนำต้นเรื่อง	1
1.2 การตรวจเอกสาร	4
1.3 วัตถุประสงค์	35
2. วิธีการวิจัย	
2.1 สารเคมี	36
2.2 เครื่องมือและอุปกรณ์	36
2.3 วิธีดำเนินการ	
2.3.1 ขอบเขตและวิธีการศึกษา	37
2.3.2 การประเมินสภาวะของการสกัดและวิธีการตรวจวิเคราะห์	38
2.3.3 การศึกษาการรบกวนของเนื้อสาร (matrix interference) และกราฟมาตรฐาน (Standard calibration curve)	39
2.3.4 ค่าขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์ (Limit of detection) และ ค่าขีดจำกัดต่ำสุดของการหาปริมาณ (Limit of quantification)	40
2.3.5 การศึกษาร้อยละการคืนกลับ (%Recovery)	41
2.3.6 การศึกษาหาค่าความเที่ยง (Precision)	41
2.3.7 การหาปริมาณของเขม่าปืน	42
2.3.8 การคำนวณกลุ่มประชากรตัวอย่าง	42
2.3.9 การศึกษาหาสัดส่วนระหว่างปริมาณธาตุโลหะกับชนิดกระสุนปืน	44
2.3.10 การวิเคราะห์ข้อมูล	45

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3. ผลและบทวิจารณ์

3.1 การประเมินสภาวะของการสกัดและวิธีการตรวจวิเคราะห์ธาตุโลหะที่เป็นองค์ประกอบของ เขม่าปืนด้วยเครื่อง Zeeman Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrophotometer 46

3.2 Validation data 57

3.3 ผลค่าความเที่ยงของการวิเคราะห์ (% CV of Intra- assays test, Inter- assays test) 67

3.4 การศึกษาหาปริมาณธาตุโลหะ 68

4. บทสรุปและข้อเสนอแนะ 84

รายการเอกสารอ้างอิง 88

ภาคผนวก 93

ประวัติผู้เขียน 115

รายการตาราง

ตารางที่ **หน้า**

1. แสดงค่าร้อยละการคืนกลับที่ยอมรับได้ในช่วงความเข้มข้นต่างๆ 41
2. แสดงค่าการดูดกลืนแสงของธาตุโลหะทั้ง 6 ชนิดที่อุณหภูมิต่างๆ ที่ใช้ในสภาวะการเร่งอะตอม 50
3. ค่าเฉลี่ยของ % recovery rate และ % CV ที่สกัดด้วยวิธีการต่างๆ 54
4. แสดงค่าเฉลี่ยของ % recovery rate และ % CV ที่สกัดด้วย 2.5, 5 และ 10% HNO_3 56
5. แสดงการเปรียบเทียบ Matrix interference ของสารมาตรฐาน 58
6. ค่า LOD, LOQ ของการวิเคราะห์ 65
7. แสดงการกลับคืนของการวิเคราะห์ 66
8. แสดงค่าความเที่ยงของการวิเคราะห์ 67
9. ค่าเฉลี่ยและค่า cut off ของปริมาณธาตุโลหะ 6 ชนิดจากกลุ่มควบคุม จำนวน 20 คน 69
10. แสดงปริมาณธาตุโลหะ 6 ชนิด บริเวณหลังมือทั้งสองข้างจากกระสุนปืนทั้ง 4 ชนิด 70
11. ผลบวกแต่ละธาตุโลหะและค่าความไวของกลุ่มยิงปืน 20 คน ต่อขนาดกระสุนปืนหลังการยิงปืน 73

รายการภาพประกอบ

ภาพประกอบที่ **หน้า**

1. แสดงกระบวนการทางเคมีในการตรวจวิเคราะห์โดยใช้วิธี Paraffin test 3

2. แสดงกระบวนการทางเคมีในการตรวจวิเคราะห์โดยใช้วิธี Rhodizonate Test 5

3. แสดงส่วนประกอบพื้นฐานของ flameless atomic absorption spectrophotometer 9

4. แสดงการทำงานของ Zeeman effect 11

5. แสดงส่วนประกอบของเครื่อง ICPS 13

6. แสดงส่วนประกอบสำคัญของกระสุนปืน 20

7. แสดงรูปร่างลักษณะของลูกกระสุนปืนแบบต่างๆ 23

8. แสดงส่วนสำคัญของ Primer Cap 27

9. แสดงธาตุโลหะที่พบในชนวนท้ายกระสุนปืนของบริษัทต่างๆ 30

10. แสดงบริเวณที่ทำการเช็ดตัวอย่างให้มีประสิทธิภาพจากหน้ามือและหลังมือของกลุ่มควบคุม 43

11. แสดงการหาผลบวกและค่าความไว(Sensitivity) 44

12. กราฟแสดงเปรียบเทียบอุณหภูมิในการเร่งสภาวะของสารที่ระดับความเข้มข้นต่ำ (Pb, Ba, Sb, Cu, Ni ความเข้มข้น 25 ppb. เท่ากัน และ Mn ความเข้มข้น 2 ppb.) 48

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบที่ **หน้า**

13. กราฟแสดงเปรียบเทียบอุณหภูมิในการเร่งสภาวะของสารที่ระดับความเข้มข้นกลาง (Pb, Ba, Sb, Cu, Ni ความเข้มข้น 50 ppb. เท่ากัน และ Mn ความเข้มข้น 4 ppb.) 48

14. กราฟแสดงเปรียบเทียบอุณหภูมิในการเร่งสภาวะของสารที่ระดับความเข้มข้นสูง (Pb, Ba, Sb, Cu, Ni ความเข้มข้น 100 ppb. เท่ากัน และ Mn ความเข้มข้น 6 ppb.) 49

15. แสดงกราฟมาตรฐานสารตะกั่ว 59

16. แสดงกราฟมาตรฐานของแบเรี่ยม 60

17. แสดงกราฟมาตรฐานของพลวง 61

18. แสดงกราฟมาตรฐานของทองแดง 62

19. แสดงกราฟมาตรฐานของนิกเกิล 62

20. แสดงกราฟมาตรฐานของแมงกานีส 64

21. แสดงปริมาณธาตุตะกั่วบนหลังมือซ้ายที่ตรวจวัดได้ในปืนชนิดต่างๆ 74

22. แสดงปริมาณธาตุตะกั่วบนหลังมือขวาที่ตรวจวัดได้ในปืนชนิดต่างๆ 75

23. แสดงปริมาณธาตุแบเรี่ยมบนหลังมือซ้ายที่ตรวจวัดได้ในปืนชนิดต่างๆ 75

24. แสดงปริมาณธาตุแบเรี่ยมบนหลังมือขวาที่ตรวจวัดได้ในปืนชนิดต่างๆ 76

25. แสดงปริมาณธาตุพลวงบนหลังมือซ้ายที่ตรวจวัดได้ในปืนชนิดต่างๆ 77

26. แสดงปริมาณธาตุพลวงบนหลังมือขวาที่ตรวจวัดได้ในปืนชนิดต่างๆ 77

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบที่ **หน้า**

27. แสดงปริมาณธาตุทองแดงบนหลังมือซ้ายที่ตรวจวัดได้ในปืนชนิดต่าง ๆ 78

28. แสดงปริมาณธาตุทองแดงบนหลังมือขวาที่ตรวจวัดได้ในปืนชนิดต่าง ๆ 79

29. แสดงปริมาณธาตุนิกเกิลบนหลังมือซ้ายที่ตรวจวัดได้ในปืนชนิดต่าง ๆ 80

30. แสดงปริมาณธาตุนิกเกิลบนหลังมือขวาที่ตรวจวัดได้ในปืนชนิดต่าง ๆ 80

31. แสดงปริมาณธาตุแมงกานีสบนหลังมือซ้ายที่ตรวจวัดได้ในปืนชนิดต่าง ๆ 81

32. แสดงปริมาณธาตุแมงกานีสบนหลังมือขวาที่ตรวจวัดได้ในปืนชนิดต่าง ๆ 82

รายการภาพประกอบภาคผนวก

ภาพประกอบที่	หน้า
1. แสดงการคำนวณขนาดตัวอย่างสำหรับธาตุโลหะตะกั่วโดยใช้โปรแกรม R	94
2. แสดงการคำนวณขนาดตัวอย่างสำหรับธาตุโลหะแบเรี่ยมโดยใช้โปรแกรม R	95
3. แสดงการคำนวณขนาดตัวอย่างสำหรับธาตุโลหะพลวงโดยใช้โปรแกรม R	95
4. สัดส่วนปริมาณ Pb/Ba บริเวณหลังมือซ้าย	96
5. สัดส่วนปริมาณ Pb/Ba บริเวณหลังมือขวา	96
6. สัดส่วนปริมาณ Pb/Sb บริเวณหลังมือซ้าย	97
7. สัดส่วนปริมาณ Pb/Sb บริเวณหลังมือขวา	97
8. สัดส่วนปริมาณ Pb/Cu บริเวณหลังมือซ้าย	98
9. สัดส่วนปริมาณ Pb/Cu บริเวณหลังมือขวา	98
10. สัดส่วนปริมาณ Pb/Ni บริเวณหลังมือซ้าย	99
11. สัดส่วนปริมาณ Pb/Ni บริเวณหลังมือขวา	99
12. สัดส่วนปริมาณ Pb/Mn บริเวณหลังมือซ้าย	100
13. สัดส่วนปริมาณ Pb/Mn บริเวณหลังมือขวา	100
14. สัดส่วนปริมาณ Ba/Pb บริเวณหลังมือซ้าย	101
15. สัดส่วนปริมาณ Ba/Pb บริเวณหลังมือขวา	101
16. สัดส่วนปริมาณ Ba/Sb บริเวณหลังมือซ้าย	102
17. สัดส่วนปริมาณ Ba/Sb บริเวณหลังมือขวา	102

รายการภาพประกอบภาคผนวก (ต่อ)

ภาพประกอบที่ **หน้า**

18. สัดส่วนปริมาณ Ba/Cu บริเวณหลังมือซ้าย 103

19. สัดส่วนปริมาณ Ba/Cu บริเวณหลังมือขวา 103

20. สัดส่วนปริมาณ Ba/Ni บริเวณหลังมือซ้าย 104

21. สัดส่วนปริมาณ Ba/Ni บริเวณหลังมือขวา 104

22. สัดส่วนปริมาณ Ba/Mn บริเวณหลังมือซ้าย 105

23. สัดส่วนปริมาณ Ba/Mn บริเวณหลังมือขวา 105

24. สัดส่วนปริมาณ Sb/Pb บริเวณหลังมือซ้าย 106

25. สัดส่วนปริมาณ Sb/Pb บริเวณหลังมือขวา 106

26. สัดส่วนปริมาณ Sb/Ba บริเวณหลังมือซ้าย 107

27. สัดส่วนปริมาณ Sb/Ba บริเวณหลังมือขวา 107

28. สัดส่วนปริมาณ Sb/Cu บริเวณหลังมือซ้าย 108

29. สัดส่วนปริมาณ Sb/Cu บริเวณหลังมือขวา 108

30. สัดส่วนปริมาณ Sb/Ni บริเวณหลังมือซ้าย 109

31. สัดส่วนปริมาณ Sb/Ni บริเวณหลังมือขวา 109

32. สัดส่วนปริมาณ Sb/Mn บริเวณหลังมือซ้าย 110

33. สัดส่วนปริมาณ Sb/Mn บริเวณหลังมือขวา 110

รายการตารางภาคผนวก

ตารางที่ **หน้า**

1. ปริมาณธาตุโลหะที่ตรวจพบในกลุ่มประชากรที่ทำการยิงปืนหลังการยิงทันที จำนวน 20 คน ในปืนชนิดลูกโม่ .357 111

2. ปริมาณธาตุโลหะที่ตรวจพบในกลุ่มประชากรที่ทำการยิงปืนหลังการยิงทันที จำนวน 20 คน ในปืนพก 9 มม. 112

3. ปริมาณธาตุโลหะที่ตรวจพบในกลุ่มประชากรที่ทำการยิงปืนหลังการยิงทันที จำนวน 20 คน ในปืนพก 11 มม. 113

4. ปริมาณธาตุโลหะที่ตรวจพบในกลุ่มประชากรที่ทำการยิงปืนหลังการยิงทันที จำนวน 20 คน ในปืนลูกซองยาวเบอร์ 12 114

บทที่ 1

บทนำ

1.1 บทนำต้นเรื่อง

นิติวิทยาศาสตร์ คือ การนำวิทยาศาสตร์ทุกสาขามาประยุกต์ใช้ เพื่อประโยชน์แห่งกฎหมาย ประโยชน์แห่งกฎหมายได้แก่ ประโยชน์ทางนิติบัญญัติในเรื่องการออกกฎหมาย และประโยชน์ของการบังคับใช้ในเรื่องของบทลงโทษ (enforcement) ซึ่งเป็นศาสตร์แขนงหนึ่งที่นำกระบวนการทางวิทยาศาสตร์มายืนยันการกระทำผิดของบุคคล โดยการนำวัตถุพยานที่เก็บได้จากสถานที่เกิดเหตุ หรือจากตัวผู้ต้องสงสัยมาทำการตรวจพิสูจน์ เพื่อช่วยให้เจ้าหน้าที่ของรัฐมีแนวทางในการสืบสวนสอบสวน ทำให้สามารถดำเนินการจับกุมตัวผู้กระทำผิด และลงโทษผู้กระทำผิดได้ไม่ผิดตัว อันจะก่อให้เกิดความเป็นธรรมและความน่าเชื่อถือของกระบวนการยุติธรรมในสังคม

ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน อาชญากรรมนับเป็นสิ่งสำคัญอย่างหนึ่งที่บั่นทอนความสงบสุขและความเจริญงอกงามของสังคม แม้ว่าอาชญากรรมจะเป็นปรากฏการณ์อย่างหนึ่งในสังคมที่ไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ แต่ทว่าอาชญากรรมสามารถที่จะถูกควบคุมให้ลดน้อยลงได้ โดยในปัจจุบันการประกอบอาชญากรรมของคนร้ายนั้นมักใช้อาวุธปืนในการกระทำผิด อาชญากรรมที่กระทำโดยใช้อาวุธปืนในการประทุษร้ายต่อชีวิต ร่างกาย ในประเทศไทยนั้นนับว่าเป็นปัญหาใหญ่ ซึ่งหน่วยงานที่เกี่ยวข้องได้แก่ สำนักงานตำรวจแห่งชาติ กระทรวงมหาดไทย ตลอดจนผู้มีส่วนในกลไกของการรักษาความสงบเรียบร้อยภายในประเทศ พยายามออกกฎหมายกฎระเบียบข้อบังคับต่างๆ เพื่อควบคุมการมีและการใช้อาวุธปืนของประชาชนให้อยู่ในขอบเขตตามภารกิจหน้าที่และความจำเป็นที่เกิดขึ้น ซึ่งก็ได้ผลดีในระดับหนึ่ง เนื่องจากอาวุธปืนที่ใช้กันอยู่ในประเทศไทยนั้นมีจำนวนมาก และส่วนหนึ่งก็เป็นอาวุธที่อยู่นอกกฎหมาย หรือเรียกว่าปืนเถื่อน ซึ่งมีแหล่งผลิตอยู่เกือบทุกภาคของประเทศ ดังนั้นการตรวจพิสูจน์ทางนิติวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับอาวุธปืน จึงเป็นงานที่มีความสำคัญมากอีกแขนงหนึ่งของงานพิสูจน์หลักฐาน เพื่อนำไปสู่การสืบสวนสอบสวน และรวมถึงการควบคุมและป้องกันอาชญากรรมที่จะเกิดขึ้นในสังคมได้ด้วย

ในการสืบสวนคดีเกี่ยวกับอาวุธปืน วัตถุพยานต่างๆเกี่ยวกับอาวุธปืน และเครื่องกระสุนปืน เช่น อาวุธปืน ซองกระสุนปืน ลูกกระสุนปืน ปลอกกระสุนปืน ฯลฯ ซึ่งได้จากสถานที่เกิดเหตุ จำเป็นต้องมีการตรวจพิสูจน์เพื่อเป็นข้อมูลในการสืบสวนสอบสวนเพื่อนำไปใช้หาตัวผู้กระทำความผิด และทราบถึงพฤติการณ์การกระทำของคนร้าย

การตรวจพิสูจน์อาวุธปืน ของสำนักงานวิทยาการตำรวจในปัจจุบัน สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

1. การตรวจชนิดของอาวุธปืนและการตรวจเปรียบเทียบ เช่น การตรวจชนิดขนาดชิ้นส่วนต่างๆ ของอาวุธปืน การตรวจเปรียบเทียบลูกกระสุนปืนและปลอกกระสุนปืน เป็นต้น

2. การตรวจทางขีปนวิธี เช่น การตรวจหาคราบเขม่าที่เกิดจากการยิงปืน การตรวจหาวิถีกระสุนปืน การตรวจวิเคราะห์คุณภาพของกระสุนปืนชนิดต่าง ๆ เป็นต้น

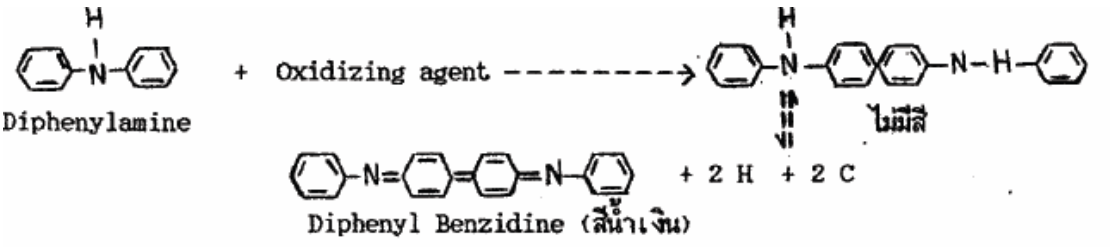
การตรวจพิสูจน์หาคราบเขม่าที่เกิดจากการยิงปืน (Gunshot Residue, GSR) จากตัวบุคคล ซึ่ง GSR นับเป็นหลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์อย่างหนึ่ง ที่สามารถพิสูจน์ทราบได้ว่า บุคคลนั้น ๆ ได้ผ่านการยิงปืน หรือเกี่ยวข้องกับการยิงปืนมาหรือไม่ ซึ่งผลจากการตรวจพิสูจน์จะช่วยคลี่คลายการสืบสวนสอบสวนในคดีอาชญากรรมต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการใช้อาวุธปืนได้ เช่น คดีฆาตกรรม คดีอัตวินิบาตกรรม หรืออุบัติเหตุ ฯลฯ เป็นต้น

ดังนั้นการตรวจพิสูจน์คราบเขม่าที่เกิดจากการยิงปืนนั้น หากทำการตรวจด้วยวิธีที่เชื่อถือได้ มีความจำเพาะเจาะจง และมีความแม่นยำสูงแล้ว จะก่อให้เกิดประโยชน์ต่อกระบวนการยุติธรรม เนื่องจากเป็นหลักฐานทางวัตถุที่สำคัญอันนำไปสู่การจับกุมผู้กระทำผิดมาลงโทษ และทำให้ผู้ที่ไม่ได้กระทำผิดพ้นจากมลทินข้อสงสัยในคดีที่เกิดขึ้น และก่อให้เกิดความยุติธรรมในสังคมสืบไป

ในปัจจุบันเมื่อพูดถึงเหตุฆาตกรรมในประเทศไทยพบว่า เหตุตายจากบาดแผลกระสุนปืนเป็นอันดับหนึ่งซึ่งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ปืนเป็นอาวุธที่ถูกใช้ในการประกอบอาชญากรรมอยู่บ่อย ๆ จากสถิติของสถาบันนิติเวชวิทยา พบว่า เหตุตายจากบาดแผลกระสุนปืนเป็นอันดับหนึ่งในช่วง 5 ปีที่ผ่านมา (พล.ต.อ. อรรถพลและคณะ, 2544) ในการสืบสวนสอบสวนเกี่ยวกับคดีต่างๆ เราต้องตระหนักถึงความจริงที่ว่า เมื่อมีการกระทำผิดเกิดขึ้นคนร้ายย่อมทิ้งร่องรอย และวัตถุตามธรรมชาติ ณ สถานที่เกิดเหตุ รวมไปถึงการบ่งชี้ถึงตัวผู้กระทำความผิดดังเช่น สถานการณ์ความไม่สงบใน 3 จังหวัดชายแดนภาคใต้ ซึ่งกลุ่มผู้ก่อการร้ายได้ใช้อาวุธปืนในการก่อการร้าย และสิ่งที่เราสามารถใช้เป็นหลักฐานในการระบุผู้ต้องสงสัยว่าผ่านการยิงปืนมาได้ คือ เขม่าปืนที่เกิดขึ้นหลังการยิง (gunshot residue หรือ firearms discharge residue หรือ cartridge discharge

เขม่าปืน หรือเขม่าที่เกิดจากการยิงปืน (GSR) เป็นวัตถุพยานทางวิทยาศาสตร์อย่างหนึ่งที่เกิดขึ้นภายหลังจากการยิงปืน โดยเขม่าปืนที่เกิดขึ้นนี้สามารถปลิวกระจายไปเกาะยังร่างกายของผู้ยิง เช่น มือ แขน ใบหน้า เสื้อผ้า และวัตถุแวดล้อมต่าง ๆ ที่อยู่ใกล้ตัวผู้ยิงปืนได้ ดังนั้นการตรวจพิสูจน์หาเขม่าที่เกิดจากการยิงปืน จึงสามารถยืนยันการยิงปืนของบุคคลต้องสงสัย เพื่อใช้เป็นหลักฐานประกอบคดีได้ โดยมีความเป็นมาตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันพอสังเขป คือ

การตรวจพิสูจน์หาคราบเขม่าปืน ในระยะเริ่มแรกราวปี ค.ศ. 1932 วงการตำรวจสากลทั่วไปได้ทำการตรวจหาคราบเขม่าที่เกิดจากการยิงปืนที่มือ ด้วยวิธีที่เรียกว่า Dermal Nitrate Testหรือ Paraffin Test ซึ่งเป็นการทดสอบทางเคมี โดยดูการเปลี่ยนแปลงสีที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาของสารประกอบจำพวกไนเตรทที่มาจากเขม่าดินปืน ซึ่งเขม่าดินปืนนี้เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ของดินส่งกระสุนปืน (ดินปืน) โดยใช้สารละลาย Diphenylamine ในกรดซัลฟูริคเข้มข้น หากมีสารประกอบจำพวกไนเตรทอยู่ สารละลาย Diphenylamine จะเปลี่ยนจากไม่มีสี เป็นสีน้ำเงินของ Diphenyl Benzidine ซึ่งปัจจุบันวิธีนี้ได้เลิกใช้ไปแล้ว เพราะผลการตรวจที่ให้มีความไม่แน่นอน เนื่องจากสารประกอบไนเตรทอาจมาจากแหล่งอื่นที่ไม่ใช่มาจากการยิงปืนได้ เช่น ปุ๋ย เป็นต้น



ภาพประกอบที่ 1 แสดงกระบวนการทางเคมีในการตรวจวิเคราะห์โดยใช้วิธี Paraffin test

1.2 บทตรวจเอกสาร

1.2.1 วิธีการตรวจวัดเขม่าปืน

1. การตรวจวิเคราะห์โดยใช้วิธี Paraffin test

เป็นการตรวจหาสารไนเตรท ซึ่งได้จากการเผาไหม้ของดินปืนที่ติดในมือของผู้ยิงหรือบริเวณเสื้อผ้าของผู้ถูกยิง วิธีนี้เป็นวิธีแรกที่นำมาใช้ในการตรวจเขม่าปืน ผลที่ได้ไม่แน่นอน เนื่องจากโอกาสเกิดผลบวกเท็จมีมากถึง 50% ซึ่งอาจเกิดจาก oxidizing agents อื่นๆ เช่น ปุ๋ยเคมี,ยาสูบ,เครื่องสำอางบางชนิด,ปัสสาวะ ,สนิม ,สีทาเล็บ และวัตถุระเบิดอื่นๆเป็นต้น

วิธีเก็บตัวอย่าง

นำพาราฟินหรือ molten wax ที่หลอมเหลวได้ และเตรียมแผ่นบางๆ หนาประมาณ 0.2 – 0.3 มม. กว้างและยาวประมาณ 15 ซม. X 15 ซม. แล้วนำไปลนไฟด้วยตะเกียงแอลกอฮอลล์ หรือตะเกียงบุนเสนอ่อนตัว และใช้พาราฟินที่อ่อนตัวนี้ทาบบนมือหรือวัตถุพยานที่ต้องการตรวจกดให้แน่นพอสมควร ทิ้งไว้สักครู่หนึ่งแล้วลอกออก แล้วนำแผ่นพาราฟินที่ได้นั้นไปทำการทดสอบ

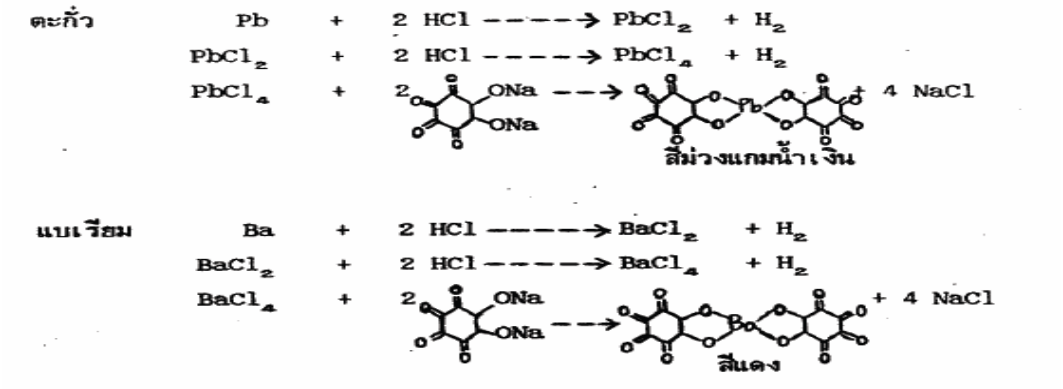
วิธีการทดสอบ

ใช้ 0.4% diphenylamine sulfate ที่ละลายใน 80% sulfuric acid หยดลงบนแผ่นพาราฟินที่แข็งตัวแล้ว ตรงตำแหน่งที่คาดว่ามี particles ติดอยู่ ถ้ามี nitrate residues อยู่จะเห็นเป็นจุดๆสีน้ำเงินตรงตำแหน่งที่สงสัย

การแปลผล

ผลบวกหมายถึงหมายถึงการตรวจพบสารไนเตรท หรืออาจจะเป็นผล oxidizing agents ต่างๆ ซึ่งจะเป็นเขม่าปืนหรือไม่ก็ได้

ต่อมาราวปี ค.ศ. 1959 มีการนำวิธี Sodium rhodizonate test ซึ่งเป็นวิธีการตรวจหาอนุภาคของตะกั่วและแบเรี่ยมที่ปลิวออกมาติดมือผู้ยิงหลังจากการยิงปืน หลักการ คือ เมื่อเก็บตัวอย่างจากมือผู้ต้องสงสัยแล้ว จึงนำมาวางบนกระดาษกรอง จากนั้นหยดสารละลายกรดไฮโดรคลอริก เข้มข้น 1 % ให้ทั่วบนตัวอย่าง แล้วนำกระดาษกรองไปอบให้แห้ง จึงนำกระดาษกรองที่อบแห้งแล้วนี้มาหยดสารละลาย Saturated sodium rhodizonate ที่ได้เตรียมไว้ใหม่ ๆ (สีเหลืองแกมส้ม) แล้วหยดตามด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก เข้มข้น 5 % ลงไปอีกครั้ง หากมีธาตุตะกั่วอยู่ในตัวอย่าง กระดาษกรองจะมีสีม่วงเกิดขึ้นทันที หากมีธาตุแบเรี่ยมอยู่ในตัวอย่าง กระดาษกรองจะมีสีแดงเกิดขึ้นทันทีปฏิกิริยาเป็นดังนี้



ภาพประกอบที่ 2 แสดงกระบวนการทางเคมีในการตรวจวิเคราะห์โดยใช้วิธี Rhodizonate Test

แต่วิธีนี้ไม่แพร่หลายในการใช้มากนัก เนื่องจากเป็นวิธีที่ไม่ค่อยมีความว่องไว (sensitive) และจำเพาะเจาะจง (specific) ต่อธาตุโลหะที่ต้องการตรวจพิสูจน์

2. การวิเคราะห์โดยใช้วิธี Rhodizonate Test

เป็นวิธีการตรวจหาอณูของธาตุตะกั่วและแบเรี่ยม ที่มาจากชนวนท้ายกระสุนปืนหรือแก๊ปปืน ซึ่งติดอยู่ที่มือผู้ยิงหลังการยิงปืน และอาจไปติดกับเสื้อผ้าของผู้ถูกยิงด้วยในกรณีที่ยิงระยะประชิด วิธีนี้ใช้ Sodium rhodizonate ที่ละลายในน้ำกลั่นจนอิ่มตัวทำปฏิกิริยากับตะกั่วซึ่งจะเกิดสารประกอบ Barium rhodizonate ซึ่งมีสีแดง สารละลายอิ่มตัว Sodium rhodizonate นี้จะต้องเตรียมใหม่เสมอก่อนการทดสอบทุกครั้ง เพราะสารนี้จะเปลี่ยนสีไปเมื่อถูกแสง

วิธีการเก็บตัวอย่าง

ใช้ไม้พันสำลีซึ่งหุ้มด้วยผ้าฝ้ายสะอาดอีกชั้นหนึ่ง (Cotton Cloth Swab) ชุบ 1% HCl เช็ดบริเวณมือหรือบริเวณที่ต้องการเก็บเขม่าปืน ในการเช็ดจากมือนั้น จากการศึกษาพบว่าบริเวณง่ามระหว่างนิ้วหัวแม่มือและนิ้วชี้เป็นจุดที่มีเขม่าปืนเกาะติดอยู่มากที่สุด จึงควรเน้นเช็ดที่บริเวณดังกล่าวให้มาก อย่างไรก็ตาม ให้เช็ดเลยไปยังบริเวณอื่นของมือด้วย เพื่อเก็บเขม่าปืนให้ได้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ การเก็บเขม่าปืนเพื่อส่งตรวจโดยวิธีนี้ที่ถูกต้องควรใช้ Swab 5 อัน ดังนี้

1. ชุบ 1% HCl เพื่อใช้เป็น Negative control แล้วเขียนกำกับว่า กรดหรือ control

2. ชุบ 1% HCl แล้วเช็ดหลังมือขวาโดยเน้นบริเวณง่ามระหว่างนิ้วหัวแม่มือและนิ้วชี้ เก็บใส่ซองพลาสติกขนาดเล็กปิดได้ แล้วเขียนกำกับว่า หลังมือขวา

3. ชุบ 1% HCl แล้วเช็ดฝ่ามือขวาจนทั่ว เก็บใส่ซองพลาสติกขนาดเล็กปิดได้ แล้วเขียนกำกับว่า ฝ่ามือขวา

4. ชุบ 1% HCl แล้วเช็ดหลังมือซ้ายโดยเน้นบริเวณง่ามระหว่างนิ้วหัวแม่มือและนิ้วชี้ เก็บใส่ซองพลาสติกขนาดเล็กปิดได้ แล้วเขียนกำกับว่า หลังมือซ้าย

5. ชุบ 1% HCl แล้วเช็ดฝ่ามือซ้ายจนทั่ว เก็บใส่ซองพลาสติกขนาดเล็กปิดได้ แล้วเขียนกำกับว่า ฝ่ามือซ้าย

วิธีการทดสอบ

1. นำผ้าฝ้ายจาก cotton cloth swab ที่เช็ดมาคลี่วางบนแก้ว ถ้าผ้ายังชื้นอยู่ควรผึ่งให้แห้งก่อน หรือนำไปอบในตู้อบอุณหภูมิประมาณ 50-60 c จนผ้าแห้ง

2. ตรวจบนผ้าฝ้ายดูบริเวณที่เช็ดมาด้วยกล้องจุลทรรศน์กำลังขยายต่ำ (10x) สังเกตดูว่ามีสีอะไรติดอยู่บ้าง

3. หยดน้ำยา Sodium rhodizonate อิ่มตัวในน้ำกลั่นลงบนผ้าฝ้าย ทิ้งไว้สักครู่หนึ่งแล้วตรวจดูด้วยกล้องอีกครั้งหนึ่ง สังเกตสีที่เปลี่ยนไป

4. หยด 5% HCl ลงไป 1-2 หยด ดูสีที่เปลี่ยนไปทันทีภายใต้กล้องจุลทรรศน์

ถ้ามี **ตะกั่ว** จะเกิด **สีม่วง**

ถ้ามี **แบเรี่ยม** จะเกิด **สีแดง**

การแปลผล

วิธีนี้สามารถบอกได้เพียงว่า มีตะกั่วหรือแบเรี่ยมในตัวอย่างที่ส่งตรวจมากน้อยเพียงใด (Semi - Quanlitative) แต่ไม่สามารถบอกปริมาณที่ได้แน่นอน

ต่อมาในปี ค.ศ. 1960 ได้มีผู้พยายามนำวิธี Neutron Activation Analysis (NAA) ซึ่งเป็นวิธีการวิเคราะห์เชิงปริมาณของธาตุแบเรี่ยมและพลวง ซึ่งเป็นธาตุที่ได้จากชนวนท้ายกระสุนปืน (แก๊ปปืน) เกิดการระเบิดภายหลังจากถูกเข็มแทงชนวนกระแทก ดังนั้นหากสามารถตรวจพิสูจน์หาปริมาณธาตุทั้ง 2 ตัวนี้ ที่ติดอยู่บริเวณมือของผู้ต้องสงสัยในปริมาณมากพอที่เชื่อได้ว่ามาจากการยิงปืนแล้ว ก็สามารถใช้ยืนยันว่าบุคคลนั้นได้ผ่านการยิงปืนมาแล้วนั่นเอง

3. การวิเคราะห์โดยใช้วิธี Neutron Activation Analysis (NAA)

วิธี NAA นี้ มีการตรวจวิเคราะห์อยู่ 2 วิธี คือ วิธีที่ต้องใช้เคมีช่วย (Chemical / Seperation Method หรือ Destructive Method) และวิธีที่ไม่ต้องใช้เคมีช่วย (Non-destructive Method) หรือเป็นวิธีที่ใช้เครื่องมือช่วย (Instrumental Neutron Activation Analysis: INAA) สำหรับวิธีแรกนั้น จะทำการสกัดเอาเขม่าปืนที่มือโดยใช้ parafin แล้วจึงนำไปอาบรังสี Neutron

พร้อมสารมาตรฐานแบเรี่ยม และพลวง หลังจากนั้นจึงทำการแยกทางเคมี โดยตกตะกอนให้เป็น Stibnite(Sb_2S_3) และ Barium Sulfate ($BaSO_4$) แล้วจึงคำนวณหาปริมาณของแบเรี่ยม และพลวงใน Paraffin จะเห็นได้ว่า วิธีที่ต้องใช้เคมีช่วยนี้ มีวิธีการที่ยุ่งยากอีกทั้งเสียเวลามาก ส่วนวิธีที่สองนั้น เป็นการหาปริมาณของธาตุหลังการอาบรังสี neutron โดยใช้การวัด spectrum ของสารตัวอย่างทั้งหมดโดยตรง ไม่ต้องผ่านวิธีทางเคมีใด ๆ ทั้งสิ้น แต่วิธีนี้ต้องอาศัยเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพสูงในการแยกพีคออกจากกัน และใช้หาโดยตรงเฉพาะธาตุพลวงเท่านั้น หากต้องการจะหาปริมาณแบเรี่ยมจะต้องทำการแยกทางเคมีอีก

ข้อเสียของวิธี NAA คือ เป็นวิธีที่เสียค่าใช้จ่ายสูง เพราะต้องใช้หัววัดรังสีซึ่งหัววัดรังสีและเครื่องวัดรังสีจะมีราคาแพงมาก อีกทั้งวิธีนี้ยังเป็นวิธีที่ต้องใช้เวลามาก เนื่องจากต้องเสียเวลาคอยเพื่อให้สารตัวอย่างสลายตัวนานถึง 4 – 5 วัน จึงจะสามารถนำไปตรวจวิเคราะห์ได้ และต้องระวังการปนเปื้อนจากสารกัมมันตภาพรังสี จึงเป็นวิธีที่ไม่เหมาะสมสำหรับงานที่ต้องการความเร่งด่วน นอกจากนี้วิธี NAA ยังตรวจวิเคราะห์ได้เพียงเฉพาะแต่ธาตุ แบเรี่ยม และพลวง เท่านั้น สำหรับธาตุตะกั่วจะไม่สามารถตรวจวิเคราะห์ได้ จึงไม่ค่อยมีผู้นิยมใช้กันมากเท่าไรนัก แม้ว่าวิธี NAA จะเป็นวิธีที่สามารถวิเคราะห์ได้ละเอียด และมีความไวสูงก็ตาม

NAA เป็นวิธีที่มี sensitivity สูง และ มี specificity ที่ดี แต่เครื่องมือมีราคาแพงและต้องอาศัยผู้เชี่ยวชาญในการควบคุมการใช้เครื่อง และสารกัมมันตรังสีที่เกี่ยวข้อง วิธีนี้เป็นการตรวจหา isotope ของธาตุแบเรี่ยม (Ba) และพลวง (Sb) โดยการยิงนิวเคลียสของแบเรี่ยมและพลวงด้วย thermal neutron ทำให้เกิดเป็นสารกัมมันตรังสีหรือ isotope Ba และ Sb ขึ้น ซึ่งจะปล่อยพลังงานหรือรังสีแกมม่าออกมา แล้วตรวจหารังสีนี้โดยใช้ gamma scintillation spectrometer แต่วิธีนี้ไม่สามารถวัดหาระดับของตะกั่วได้ เพราะตะกั่วไม่สามารถให้ isotope ที่เปล่งรังสีแกมม่าออกมา มีรายงานว่าวิธีนี้สามารถตรวจหาปริมาณธาตุแบเรี่ยมและพลวงได้ ทั้งจากมือผู้ใช้ปืนพกและปืนไรเฟิล

4. Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS)

วิธีการทาง Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS) ได้มีรายงานการใช้ AAS ในปี ค.ศ. 1970 และถัดจากนั้นมาอีกสามปี ได้มีรายงานเกี่ยวกับการใช้ Flameless Atomic Absorption Spectrophotometry (FAAS) ในการตรวจหาเขม่าปืน

หลักการของ Atomic Absorption Spectrophotometry คือ อาศัยหลักการที่ว่าอะตอมแต่ละชนิดนั้นจะสามารถดูดกลืนแสงที่มีความยาวคลื่นเฉพาะไม่เท่ากัน ดังนั้นเมื่อสารละลายตัวอย่างซึ่งมีธาตุที่ต้องการตรวจวิเคราะห์หา ถูกพ่นผ่านเข้าไปในเปลวไฟที่มีความร้อนเพียงพอ ธาตุที่ต้องการวิเคราะห์จะกลายสภาพเป็นไอของอะตอมอิสระ (Free Atom) และเมื่อแสงที่มีความยาวคลื่นสอดคล้องกับชนิดของอะตอมอิสระถูกผ่านเข้าไปในเปลวไฟ ส่วนหนึ่งของแสงจะถูกดูดกลืนโดยอะตอมอิสระนั้น โดยขนาดความยาวคลื่นของแสงจะเป็นตัวบ่งบอกให้ทราบถึงชนิดของอะตอม และปริมาณของแสงที่ถูกอะตอมอิสระดูดกลืนเข้าไป จะเป็นตัวบ่งชี้ให้

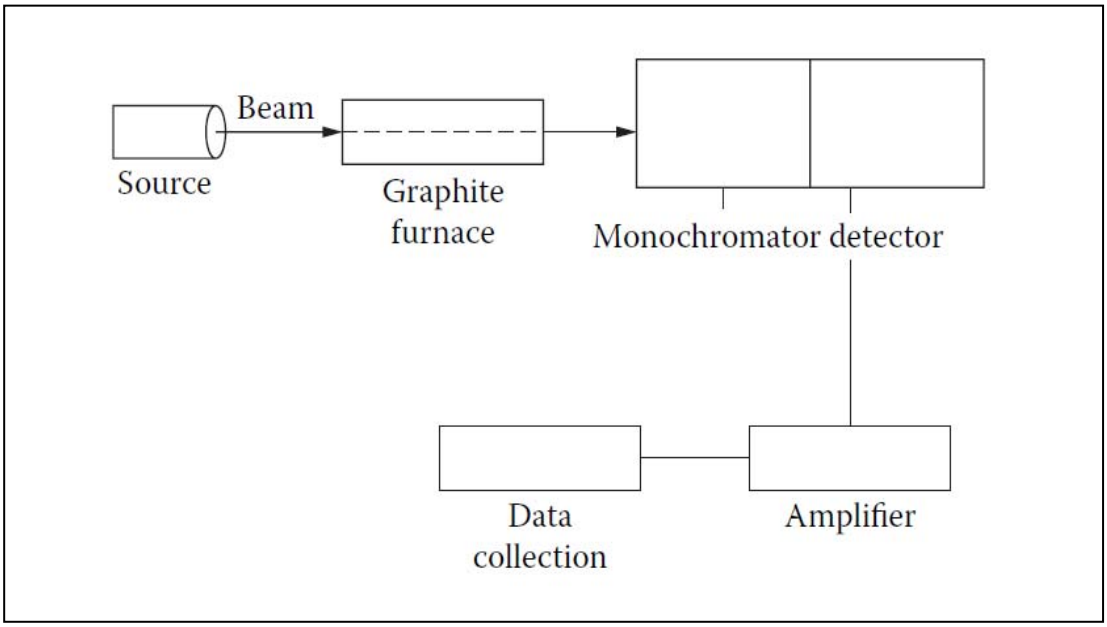
ทราบถึงปริมาณของธาตุที่วิเคราะห์ ซึ่งมีอยู่ในสารละลายตัวอย่างนั่นเอง เทคนิค AAS สามารถแบ่งออกเป็นเทคนิคย่อย ๆ ได้ 3 เทคนิคตามชนิดของ Atomizer ที่แตกต่างกัน ได้แก่ Flame AAS, Graphite Furnace AAS และ Hydride Generation/Cold Vapor AAS

4.1 การวิเคราะห์โดยใช้เทคนิค Flame Atommic Absorption Spectrophotometry

เทคนิคนี้ใช้เปลวไฟในการเผาสารตัวอย่างที่ผ่านการสเปรย์ให้เป็นละอองฝอย ทำให้ธาตุในตัวอย่างแตกตัวกลายเป็นอะตอม เป็นเทคนิคการวิเคราะห์ที่ค่อนข้างรวดเร็ว (ประมาณ 20 วินาที – 1 นาทีต่อตัวอย่าง) ใช้ปริมาณตัวอย่างปานกลาง (ประมาณ 3-7 มิลลิลิตรต่อตัวอย่าง) แต่มีข้อจำกัดในด้านความสามารถในการวิเคราะห์ได้ในระดับ ppm หรือต่ำกว่าเล็กน้อย (Detection Limit ไม่ต่ำมากนัก)

4.2 การวิเคราะห์โดยใช้เทคนิค Graphite Furnace Absorption Spectrophotometry (GFAAS) หรือ Flameless Absorption Spectrophotometry (FAAS)

เครื่อง Zeeman Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrometer (ZGF-AAS) เป็นวิธีตรวจหาเขม่าปืนที่นิยมใช้กันมากที่สุดในหน่วยงานตำรวจและหน่วยงานที่ต้องมีการวิเคราะห์ตรวจธาตุโลหะทั่วไปคือการใช้เครื่องมือวิเคราะห์ธาตุ Zeeman Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrometer ซึ่งวิธีการวิเคราะห์โดย ZGF-AAS เป็นวิธีการวิเคราะห์ที่มีความไวในการวิเคราะห์สูง สามารถวัดปริมาณสารในระดับต่ำกว่าระดับมิลลิกรัมต่อลิตร และมีความจำเพาะเจาะจงสูง เพราะการวิเคราะห์ธาตุแต่ละชนิดจะต้องใช้หลอดไฟเฉพาะสำหรับธาตุนั้นๆซึ่งเตรียมขึ้นสำหรับการวัดธาตุแต่ละธาตุแยกกัน ทำให้ผลการวิเคราะห์มีความน่าเชื่อถือมากขึ้น เนื่องจากสามารถลดปัญหาการรบกวนจากคลื่นแสงอื่นๆที่ไม่ใช่จากธาตุที่วิเคราะห์อยู่ได้ดี โดยการใช้แม่เหล็กเข้าช่วยซึ่งให้ความจำเพาะสำหรับการวิเคราะห์สูงมาก และประหยัดเวลาในการตรวจวัดโดยเฉลี่ยอัตราการตรวจตัวอย่างละ 2-3 นาที รวมถึงประหยัดค่าใช้จ่ายในตรวจและวิธีการเตรียมตัวอย่างสำหรับวิเคราะห์ไม่ยุ่งยากเท่ากับการใช้เครื่อง SEM/EDX



ภาพประกอบที่ 3 แสดงส่วนประกอบพื้นฐานของ flameless atomic absorption spectrophotometer (jame, 2008)

สำหรับตัว Furnace นั้นอาจจะมีการออกแบบแตกต่างกันของแต่ละบริษัทผู้ผลิต แต่อย่างไรก็ตามไม่ว่าจะเป็นแบบไหน Furnace จะทำงานบนพื้นฐานเหมือนกันหมด นั่นคือทำให้เกิดกระบวนการ Atomization ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนที่สามารถโปรแกรมได้ทั้งเวลาและอุณหภูมิ คือ

1. Drying stage เป็นขั้นตอนที่สารตัวอย่างค่อยๆถูกให้ความร้อนเพื่อละเหยตัวทำละลายให้ออกไปก่อน โดยปกติจะใช้อุณหภูมิต่ำ (ต่ำกว่า 100°C)

2. Ashing stage เป็นขั้นตอนที่ให้ความร้อนสูงขึ้น อาจถึง 1500°C เพื่อกำจัดสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ โดยโมเลกุลของสารเหล่านี้จะแตกสลายออกไปเหลือแต่สารอนินทรีย์ที่เสถียรเท่านั้น โดยทั่วไปจะอยู่ในรูปของโลหะออกไซด์

3. Atomization Stage เป็นขั้นตอนสุดท้ายที่สารที่เหลืออยู่ถูกเผาที่อุณหภูมิสูงอาจถึง 3000°C เพื่อสลายเป็นอะตอมเสรีเกิดขึ้นในช่องทางที่แสงผ่าน ซึ่งสามารถวัดสัญญาณของการดูดกลืนแสงได้ออกมาเป็นพีคแหลม (Sharp peak) และความสูงพีคจะเป็นปฏิภาคกับปริมาณของธาตุในสารตัวอย่างนั้น

เนื่องจากในการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค GFAAS นั้น มีการรบกวนของเนื้อสารมาก ดังนั้นเพื่อให้การวิเคราะห์ได้ผลถูกต้อง จำเป็นต้องหาทางลดการรบกวนของเนื้อสารให้เหลือน้อยที่สุด มีหลักง่ายๆที่ควรจะต้องคำนึงไว้ดังต่อไปนี้

1. พยายามลดปริมาณของคลอไรด์ หรือไม่ควรให้มีคลอไรด์ในตัวอย่าง เพราะมีธาตุหลายธาตุสามารถเกิดสารประกอบโคเวเลนต์กับคลอไรด์ที่เสถียรมากๆ เมื่อได้รับความร้อนจะระเหยออกไปโดยไม่สลายตัวทำให้สารตัวอย่างสูญเสียไป

2. ควรให้สารตัวอย่างอยู่ในสารละลายของกรดไนตริก เพราะโลหะไนเตรตจำนวนมากเมื่อได้รับความร้อนจะสลายตัวโดยไม่มีการระเหยถึงแม้จะมีคลอไรด์มากก็ตาม ดังนั้นในการวิเคราะห์ควรเติมกรดไนตริกให้มากเกินพอเสมอ

3. ควรจะต้องตรวจสอบความบริสุทธิ์ของกรดที่ใช้เสมอ หรือต้องหา Blank levels เสมอ

4. กรด H_2SO_4 และ H_3PO_4 สามารถใช้ได้เมื่อใช้ Furnace แต่ควรจะต้องระวัง เพราะเกลือซัลเฟตและเกลือฟอตเฟตไม่ค่อยละลายน้ำ ดังนั้นจึงไม่ควรเติมกรดเหล่านี้ก่อนนำไปฉีดใน Atomizer แต่ควรเติมภายหลัง

5. ควรทำให้ Standard และสารตัวอย่างมี matrix เหมือนๆกัน โดยใช้วิธีวิเคราะห์แบบ Standard addition calibration

นอกจากนี้ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาเทคนิคขึ้นมาใหม่ๆเพื่อใช้ในการทำลาย Interfering matrix ในระหว่าง Drying และ Ashing steps โดยไม่ทำให้สารตัวอย่างระเหยออกไป คือใช้วิธีเติมสารเคมีบางชนิดที่เรียกว่า Modifier ซึ่งสารเหล่านี้ช่วยทำให้เกิดสารอย่างใดอย่างหนึ่งดังต่อไปนี้

- ทำให้สารตัวอย่างเกิดประกอบที่มีจุดหลอมเหลวสูง เช่น เกิดเป็นเกลือหรือออกไซด์ หรือสารประกอบใดๆที่ระเหยยาก ดังนั้นสารประกอบที่รบกวนจะถูกกำจัดให้หมดไปในระหว่าง Drying และ Ashing steps

- ทำให้ Matrix มีการระเหยได้ง่ายขึ้น จึงสามารถกำจัดให้หมดไปก่อนสารตัวอย่างจะเกิด Atomization

ผลกระทบของสิ่งรบกวนต่อการวิเคราะห์ (Interference Effect)

- Physical effect เป็นผลเนื่องมาจากคุณสมบัติทางกายภาพของสารละลายที่จะวิเคราะห์ สิ่งเหล่านี้ได้แก่ Volatility ของตัวทำละลาย, Surface tension, Viscosity แต่โดยทั่วไปแล้วสิ่งเหล่านี้ก็มีผลน้อย และสามารถแก้ไขได้ง่าย เช่นทำให้สารละลายเจือจางน้อยลง หรือเตรียมสารละลายมาตรฐานให้มี Matrix อย่างเดียวกับสารตัวอย่าง

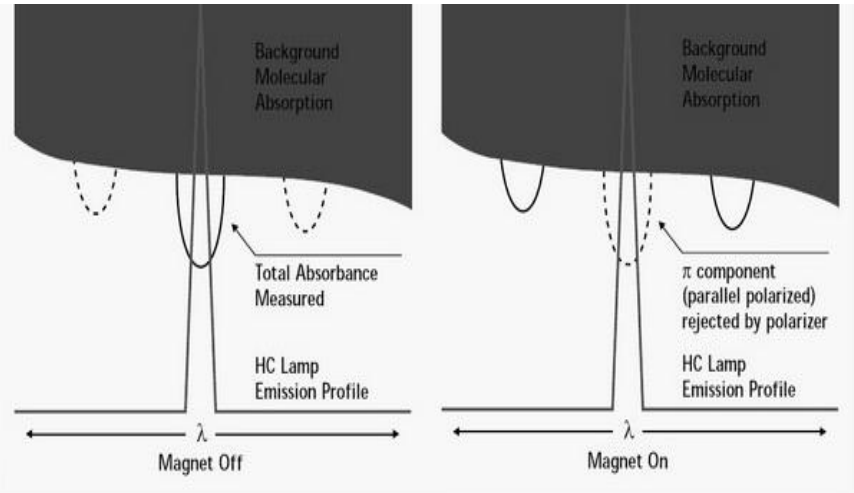
- Chemical Effect การเกิด Refractory compound ทำให้การแตกตัวเป็นอะตอมของธาตุที่วิเคราะห์น้อยลงกว่าที่ควรจะเป็น สามารถแก้ไขได้โดยปรับอุณหภูมิให้สูงขึ้นเพื่อทำให้เกิดการ Ionization ได้ดีและได้ค่าดูดกลืนแสงที่เหมาะสมต่อการวิเคราะห์

Background Correction

โดยทั่วไปแล้ว Background absorption ใน Graphite furnace จะมีมากกว่าใน Flame และ Background interference มักจะเกิดขึ้นที่ความยาวคลื่นสั้นมากในการแก้ปัญหาเกี่ยวกับ Background absorption นั้นสามารถทำได้หลายวิธี คือ

1. แก้ปัญหาโดยการใช้ Continuum source
2. แก้ปัญหาโดยการใช้ Zeeman effect หรือ Zeeman background corrector
3. แก้ปัญหาโดยการใช้ Smith-Hieftje background corrector
4. แก้ปัญหาโดยการใช้ Matrix modification

การใช้ Zeeman background corrector อาศัยโดยหลักการ Atomic spectrum ทั้ง emission และ apsorption lines เมื่อผ่านสนามแม่เหล็ก (magnetic field) ซึ่งมีความเข้มหลายกิโลเกาส์ (kilogauss) จะทำให้ spectrum นั้นเกิดการแยกออกเป็นแสงที่ vibrate ใน plane เดียว 3 ส่วน ซึ่งมีพลังงานต่างกัน ได้แก่ Pi component (π) 1 ส่วน และ sigma component (σ) 2 ส่วน ทำให้ในการใช้ Zeeman effect เพื่อทำ background correction จึงอยู่บนพื้นฐานความจริงที่ว่า background absorption ที่เกิดจาก molecular absorption หรือ scattering นั้นไม่มีผลเลย แต่จะมีผลต่อ atomic absorption นั้นคือทำให้แสงจาก HCL ผ่าน polarizer ได้แสงที่เป็น polarized light ขนานกับสนามแม่เหล็ก (π band) ผ่านเซลล์ ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้จะเป็นของสารตัวอย่าง และ background แล้วให้แสงที่เป็น polarized light ชนิดตั้งฉากกับสนามแม่เหล็ก (σ band) ผ่านเซลล์บ้าง ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้จะเป็นของ background เท่านั้น ผลต่างของค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้จากทั้งสองครั้งจะเป็นค่าการดูดกลืนแสงของสารตัวอย่างจริง ๆ



ภาพประกอบที่ 4 แสดงการทำงานของ Zeeman effect

4.3 การวิเคราะห์โดยใช้เทคนิค Hydride Generation/Cold Vapor AAS

ใช้ปฏิกิริยาทางเคมีของสารที่ทำให้เกิดสารประกอบไฮไดรด์ของธาตุ หรือเกิดปฏิกิริยารีดักชั่นของธาตุ ทำให้ธาตุในตัวอย่างระเหยกลายเป็นไอและแตกตัวกลายเป็นอะตอมในหลอดแก้วควอทซ์ (Quartz Cell) เป็นเทคนิคการวิเคราะห์ที่สามารถวิเคราะห์ได้ในระดับ ppb (Detection Limit ต่ำมาก) ใช้ปริมาณตัวอย่างปานกลาง (ประมาณ 10-15 มิลลิลิตรต่อตัวอย่าง) แต่มีข้อจำกัดในด้านความยุ่งยากในการเตรียมสารเคมี และวิเคราะห์ธาตุได้จำกัด (As, Se, Sn, Sb, Bi, Te และ Hg)

แม้ว่าวิธี AAS จะเป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถใช้วิเคราะห์หาปริมาณของธาตุที่มีน้อย ๆ ได้ ในระดับไมโครกรัม หรืออาจถึงระดับนาโนกรัม อีกทั้งยังมีความไวในการวิเคราะห์สูงด้วยก็ตาม เทคนิค AAS ก็เป็นเทคนิคที่มีช่วงความเข้มข้นของการสร้าง Calibration curve ค่อนข้างแคบ (Linear Dynamic range ต่ำ)แต่ก็ยังมีขีดจำกัดที่ไม่สามารถวิเคราะห์ธาตุที่เกิดจากการยิงปืน ได้ทั้งหมดในเวลาเดียวกัน ต้องทำการวิเคราะห์ทีละธาตุ ซึ่งเหมาะกับงานที่มีจำนวนธาตุและจำนวนตัวอย่างไม่มากนัก (2-3 ธาตุต่อตัวอย่าง) หรือมีงบประมาณจำกัด ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเลือกเทคนิคย่อยให้เหมาะสมกับชนิดของงานซึ่งมีปัจจัยที่ต้องพิจารณาอยู่หลายปัจจัย เช่น ความเข้มข้นต่ำสุดที่ต้องการ (Detection Limit) จำนวนธาตุและจำนวนตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์ ปริมาณตัวอย่างที่มี เป็นต้น

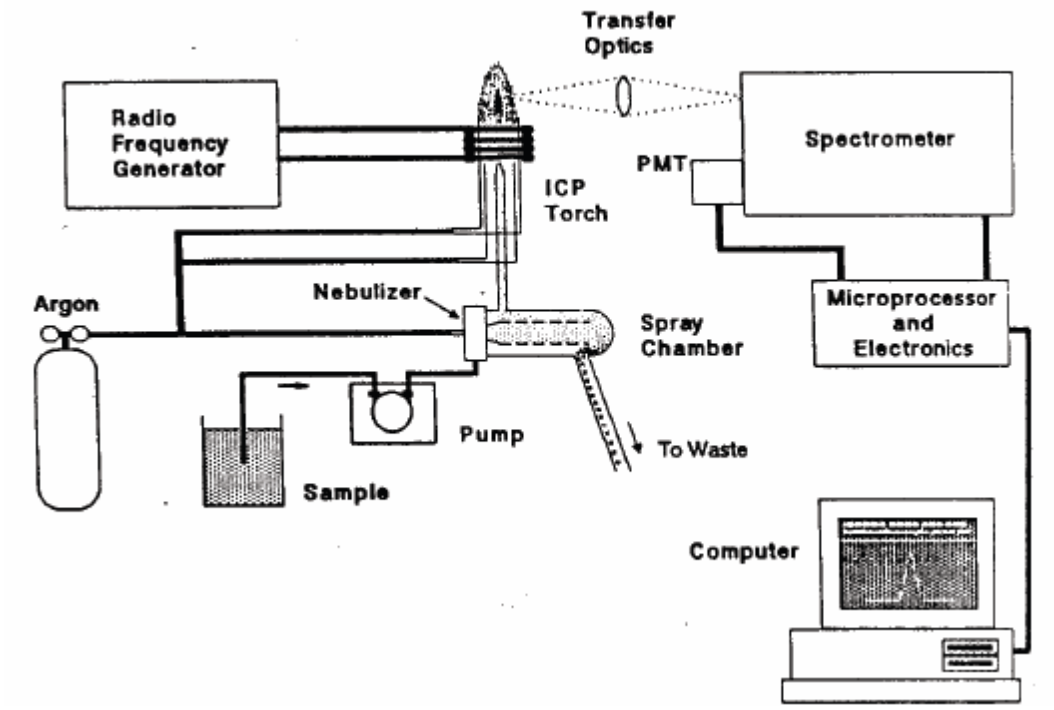
5. เครื่องมือ Inductively coupled plasma spectrometer (ICPS)

เทคนิค ICPS เป็นเทคนิคที่ใช้ในการตรวจวิเคราะห์ปริมาณธาตุที่เป็นโลหะและอโลหะที่ระดับต่ำถึง ppm และ ppb หลักการคือ ปล่อยให้แก๊สอาร์กอนผ่านเข้าไปในคบ (Torch) ซึ่งประกอบด้วยหลอดที่ทำด้วยควอร์ตซ์ (Quartz Tube) ซ้อนกัน 3 ชั้น ที่ปลายคบด้านบนจะมีท่อกลวงทำด้วยทองแดงล้อมรอบอยู่ เรียกว่า “Load Coil” โดยคอยล์นี้จะต่อเข้ากับเครื่องส่งความถี่วิทยุ (Radio Frequency, RF Generator) เมื่อให้ RF Power (โดยทั่วไปจะเป็น 700 – 1,500 วัตต์) เข้าไปใน Loda Coil จะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าสลับเคลื่อนที่ไปมาในหลอดทองแดง หรือเกิดการสั่นขึ้น (Oscillate) ด้วยอัตราเร็วเท่ากับความถี่ของเครื่องส่ง (RF Generator) ในเครื่อง ICPS ส่วนมากจะใช้ ความถี่ที่ 27 หรือ 40 เมกะเฮิร์ตซ์ (MHz) และจากการผ่าน RF เข้าไปในในหลอดทองแดงจะทำให้ เกิดสนามแม่เหล็กขึ้นที่บริเวณปลายคบ แล้วทำให้เกิดการชักนำให้มีกระแสไฟฟ้า (Eddy Current) ไหลผ่านตัวนำและทำให้ตัวนำมีความร้อนเกิดขึ้น แก๊สอาร์กอนที่ผ่านเข้าไปจะถูกผ่านเข้าไปในแนวตั้งฉาก เพื่อทำให้แก๊สเกิดการหมุนไปรอบหลอดควอร์ตซ์ได้ ซึ่งหลอดควอร์ตซ์นั้นที่อุณหภูมิห้องจะไม่เป็นตัวนำไฟฟ้า ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำให้เป็นตัวนำด้วยการทำให้เกิดการสปาร์คหรือปล่อยประจุไฟฟ้าจากเทสลา (Tesla Discharge) ให้ผ่านแก๊สอาร์กอนเสียก่อน เพื่อทำให้แก๊สอาร์กอนเกิดไอออไนส์ได้อิเล็กตรอนเกิดขึ้น สนามแม่เหล็กจะทำหน้าที่ช่วยเร่งให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่เร็วขึ้น ประกอบกับมีหลอดทองแดงทำ

หน้าที่เป็นขดลวด ทำให้อิเล็กตรอนมีพลังงานเพิ่มขึ้น เรียกว่าเกิด “Inductive Coupling” อิเล็กตรอนที่มีพลังงานสูงนี้จะชนกับอะตอมของแก๊สอาร์กอนต่อไป ทำให้เกิดอิเล็กตรอนมากขึ้นไปอีกเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ กลายเป็นพลาสมา (Plasma) จึงเรียกว่า Inductively Coupled Plasma (ICP) ซึ่งการปล่อยประจุจากพลาสมานี้จะให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงประมาณ 1,000 – 10,000°K และมีความเสถียร

สารตัวอย่างที่จะทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง ICPS จะถูกเตรียมในรูปของสารละลาย และสารละลายจะถูกนำเข้าสู่ภายในเครื่องและเปลี่ยนให้เป็นละออง โดยกระบวนการ Nebulization แล้วสารละลายตัวอย่างที่เป็นละอองนี้จะถูกพาเข้าสู่พลาสมาของ ICP Torch ซึ่งจะทำให้ตัวอย่างแห้งกลายเป็นไอ และกลายเป็นอะตอมหรือไอออน

อะตอมหรือไอออนเหล่านี้ เมื่อได้รับพลังงานจากเปลวของพลาสมาที่มีพลังงานสูงมากก็จะอยู่ในภาวะถูกกระตุ้น (Excited) ซึ่งจะเปล่งพลังงานในรูปแสงที่มีเอกลักษณ์จำเพาะตัวออกมาสามารถใช้จำแนกธาตุได้ โดยแสงที่เกิดขึ้นนี้จะผ่านเข้าไปในเครื่อง Spectrometer เพื่อแยกเอาเฉพาะแสงที่มีความยาวคลื่นที่ต้องการ แล้วให้แสงที่แยกแล้วดังกล่าวตกลงบน Detector เพื่อตรวจวัดความเข้มของสัญญาณแสง ซึ่งความเข้มของสัญญาณแสงนี้จะถูกวิเคราะห์และแปรผลเป็นความเข้มข้นของธาตุที่ต้องการวิเคราะห์ต่อไป (แม้นและอมร, 2539)



ภาพประกอบที่ 5 แสดงส่วนประกอบของเครื่อง ICPS (แม้นและอมร, 2539)

ลักษณะเฉพาะของ ICPS สรุปได้ดังนี้

1. ให้อุณหภูมิสูงถึงประมาณ 10,000°K

2. สารตัวอย่างที่จะวิเคราะห์สามารถอยู่ในพลาสมาได้นานพอ โดยทั่วไปจะอยู่ได้นานถึง 2 – 3 ms ทำให้สารตัวอย่างสามารถแตกตัวเป็นอะตอมได้อย่างมีประสิทธิภาพสูง

3. Matrix และ Interelement Effects มีน้อย โดยเฉพาะเมื่ออยู่ในบรรยากาศของแก๊สเฉื่อยทำให้อะตอมอิสระที่เกิดขึ้นในพลาสมามี Life Time ที่ยาวขึ้น

4. ในกรณีที่ใช้ Ar-ICP พบว่าทำให้ Electron Density สูง แม้จะใส่สารบางชนิดที่ไอออไนส์ได้ง่ายเข้าไป ก็จะไม่มีผลต่อจำนวนอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้น ดังนั้นการแทรกสอดที่เกิดจากการไอออไนเซชั่นจะมีผลกระทบน้อย

5. Molecule Species มีโอกาสเกิดน้อย หรือไม่เกิดเลย เพราะอุณหภูมิสูงทำให้เกิดฟลูออเรสเซนซ์และ Self-Absorption

6. แก๊สที่ใช้เป็นแก๊สเฉื่อยจึงไม่การะเบิดเกิดขึ้น

7. ไม่ต้องใช้ขั้วไฟฟ้าเลย

ข้อด้อยของ ICPS

1.เป็นเทคนิคการตรวจโดยเปรียบเทียบกับสารละลายมาตรฐาน ซึ่งต้องมีการเตรียมสารละลายมาตรฐานทุกครั้งก่อนทำการตรวจ

2. มีค่าใช้จ่ายในการตรวจวัดสูง

3. เป็นเทคนิคที่ต้องใช้ความเชี่ยวชาญในการวิเคราะห์ โอกาสผิดพลาดอาจเกิดขึ้นในขั้นตอนการเตรียมสาร

4. เนื้อสาร (Matrix) มีผลมาก

5.การวิเคราะห์โดยใช้เทคนิค Scanning Electron Microscopy/Enegy Dispersive X-Ray Spectroscopy (SEM/EDX)

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) ใช้อิเล็กตรอนในการสร้างภาพขยาย ซึ่ง SEM เครื่องแรกประดิษฐ์ขึ้นในช่วงทศวรรษ 1960 หลังจากนั้น SEM ก็ค่อย ๆ กลายเป็นเครื่องมือที่นำไปประยุกต์ใช้แพร่หลายทั่วไป ทั้งในด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี การแพทย์ อุตสาหกรรม นิติวิทยาศาสตร์ โบราณคดี และอื่น ๆ อีกหลายด้าน

SEM/EDX เป็นวิธีที่ได้รับการยอมรับว่า เป็นวิธีที่ทันสมัยและมีความแม่นยำแน่นอนมากที่สุด กล่าวคือ เป็นวิธีที่มีความจำเพาะ (Specificity) มากกว่าวิธีอื่นใดทั้งหมด เนื่องจาก SEM/EDX เป็นวิธีที่สามารถมองเห็นภาพอนุภาคของคราบเขม่าที่มาจากการยิงปืนได้ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็คตรอนแบบสแกน ซึ่งจะแสดงผลเป็นภาพสามมิติ คือ มีทั้งความกว้าง ความยาว และความลึกได้อย่างชัดเจน รวมทั้งยังแสดงขนาดอีกด้วย และสามารถบอกชนิดของ

ธาตุที่มีอยู่ในอนุภาคนั้นได้ ด้วย X-Ray (EDX) ซึ่งวิธีการใช้ SEM/EDX สามารถวิเคราะห์ธาตุต่าง ๆ ได้หลายธาตุในเวลาเดียวกัน โดยไม่จำกัดว่าจะต้องเป็นเฉพาะธาตุตะกั่ว แบเรียม และพลวง เท่านั้น นอกจากนี้ หากผู้ที่ทำการตรวจวิเคราะห์มีความชำนาญมากพอก็จะสามารถแยกลักษณะภาพของอนุภาคที่เกิดจากการยิงปืน ออกจากสิ่งปนเปื้อนอื่นที่มาจากสิ่งแวดล้อม หรือจากอาชีพการงานได้อย่างถูกต้อง แม่นยำ โดยอาศัยรูปร่างเฉพาะตัวของคราบเขม่าที่มาจากการยิงปืนและการหาชนิดของธาตุด้วย EDX เป็นสิ่งยืนยันในการตรวจพิสูจน์ นอกจากนั้น EDX ยังมีจุดเด่นอีกอย่างหนึ่ง คือ มีความไวสูงมาก สามารถวิเคราะห์ธาตุที่มีอยู่ในตัวอย่างปริมาณน้อยมาก ระดับ 10 - 11 กรัมได้

SEM/EDX เป็นวิธีการหาธาตุตะกั่ว แบเรี่ยมและพลวงเป็นส่วนใหญ่ โดยดูลักษณะ รูปร่างของธาตุเหล่านี้ ซึ่งโดยทั่วไปมีลักษณะกลม เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 – 10 ไมครอน วิธีนี้สามารถวัดปริมาณโลหะที่เป็นองค์ประกอบของเขม่าปืนได้แม้มีปริมาณเพียงเล็กน้อย แต้ต้องอาศัยกล้องจุลทรรศน์อิเล็คตรอนซึ่งมีราคาแพงมาก และการใช้เครื่องวัด EDX ซึ่งต้องหล่อด้วยไนโตรเจนเหลวตลอดเวลา การเก็บตัวอย่าเขม่าปืนจากตัวบุคคลหรือจากเสื้อผ้าอาจใช้ Glue – lift technique หรือใช้ Vacuum ดูดผ่าน nucleopore membrane filter วิธีการตรวจนี้มีการใช้กันมากขึ้นในปัจจุบัน เพราะให้ผลที่มีความน่าเชื่อถือมากที่สุด แต่เนื่องจากค่าใช้จ่ายในการตรวจวัดแพงมากและต้องอาศัยผู้เชี่ยวชาญในการใช้เครื่องมืออย่างสูง จึงมีการนำมาใช้เพื่อตรวจเขม่าปืนน้อยกว่าการใช้วิธี AAS

ปัจจุบัน วิธีการที่นิยมใช้หา GSR ในหลาย ๆ ประเทศมีอยู่ 3 วิธี คือ

1. Neutron Activation Analysis : NAA
2. Atomic Absorption Spectrophotometry : AAS
3. Scanning Electron Microscopy / Energy Dispersive X-ray Spectroscopy :SEM/EDX

โดยในแต่ละประเทศจะเลือกใช้วิธีใดนั้น ขึ้นอยู่กับความเหมาะสม ประเทศที่มีพัฒนาการทางด้านวิทยาศาสตร์สูง ส่วนใหญ่นิยมตรวจพิสูจน์ GSR ด้วยวิธี SEM/EDX เพราะเป็นวิธีที่แสดงให้เห็นรูปร่าง ลักษณะและขนาดอนุภาคของ GSR ซึ่งเป็นข้อดีที่ทำให้ผู้ตรวจพิสูจน์วินิจฉัยได้ง่ายกว่าทุกวิธีที่มีมา อีกทั้ง SEM/EDX ยังสามารถระบุธาตุที่เป็นองค์ประกอบใน GSRและยังลดระยะเวลาในการตรวจพิสูจน์ให้น้อยลง ทำให้ตอบสนองปริมาณงานที่มีเพิ่มขึ้นอยู่ตลอดเวลาได้อีกด้วย

1.2.2 อาวุธปืนและเครื่องกระสุนปืน (อัมพร จารุจินดา, 2542)

ตามความหมายในมาตรา 4 แห่งพระราชบัญญัติอาวุธปืน เครื่องกระสุนปืน วัตถุระเบิด ดอกไม้เพลิง และสิ่งเทียมอาวุธปืน พ.ศ. 2490 แก้ไขเพิ่มโดยมาตรา 3 แห่ง พระราชบัญญัติอาวุธปืน ฯลฯ (ฉบับที่ 3) พ.ศ.2501 ได้บัญญัติคำว่าอาวุธปืนไว้ดังนี้

“อาวุธปืน” หมายความรวมตลอดถึงอาวุธทุกชนิดซึ่งใช้ส่งเครื่องกระสุนปืนโดย วิธีระเบิด หรือกำลังดันของแก๊สหรืออัดลม หรือเครื่องกลไกอย่างใดซึ่งต้องอาศัยอำนาจของ พลังงานและส่วนหนึ่งส่วนใดของอาวุธนั้นๆ ดังนั้นคำว่า อาวุธปืนตามกฎหมายจึงหมายถึง

1. อาวุธปืนทุกชนิด เช่น ปืนพก ปืนยาว ปืนลูกซอง ปืนกล ปืนใหญ่ ฯลฯ

2. ส่วนของอาวุธปืน เช่น ลำกล้อง เครื่องลูกเลื่อน เครื่องลั่นไก เครื่องส่งกระสุน ซองกระสุน หรือส่วนประกอบสำคัญของสิ่งเหล่านี้

อาวุธปืนกระบอกแรกใครเป็นผู้สร้าง ไม่มีใครบอกได้ รู้กันแต่เพียงว่าอาวุธปืน แบบแรกทำด้วยท่อโลหะ ซึ่งสามารถส่งลูกกระสุนวิถีโค้งวิ่งไปได้ระยะทางหนึ่ง หรือไปยัง เป้าหมายใกล้ ๆ โดยมีดินปืนเป็นตัวขับดันลูกกระสุน จึงใช้คำว่า “Lock” สำหรับเรียกระบบจุด ระเบิดของอาวุธปืนแบบแรกนี้

อาวุธปืนแบบเริ่มแรกเป็นแบบที่เรียกกันว่า “ปืนประจุปาก หรือบรรจุปาก” (Muzzle Loading) คือลักษณะของลำกล้องปืนเป็นท่อโลหะกลวง ปลายข้างหนึ่งอุดตัน ใกล้ ๆ ปลายท่อข้างอุดตันมีรูเล็ก ๆ เจาะทะลุเข้าไปถึงภายในลำกล้องปืน เวลาบรรจุดินปืนและลูก กระสุนปืนก็จะต้องบรรจุเข้าทางปากลำกล้อง โดยเอาดินปืนบรรจุเข้าไปก่อน และใช้หมอน กระสุนปืน (Wad) อัดตามลงไปแล้วกระทุ้งให้แน่น แล้วจึงบรรจุลูกกระสุนปืนและมีหมอนกระสุน ปืนอัดตามลงไปและกระทุ้งให้แน่น อีกครั้งหนึ่ง ดินปืนซึ่งถูกอัดแน่นก็จะมีบางส่วนล้นออกมา ทางรูเจาะทะลุที่อยู่ข้างลำกล้องที่กล่าวข้างต้น ซึ่งใช้เป็นดินล่อ หรือบางทีดินล่ออาจจะใส่เข้าไป ในรูดังกล่าวจากข้างนอกก็ได้ เวลาจะยิงปืนก็เอาไฟ หรือโลหะเผาไฟ หรือถ่านติดไฟแดง ๆ มา จุดหรือจี้ที่ดินล่อ เมื่อดินล่อติดไฟไฟก็ลามเข้าไปติดดินปืนซึ่งถูกอัดแน่นอยู่ภายในลำกล้องปืน และเกิดการเผาไหม้ของดินปืนอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดแก๊สจำนวนมหาศาลและเกิดกำลังดัน สูงขึ้นภายในลำกล้องปืน ดันให้ลูกกระสุนปืนวิ่งออกจากลำกล้องปืนไปได้

หมอนกระสุนปืนในสมัยเริ่มแรกนั้นทำด้วยไม้เนื้ออ่อน หรือพวกวัสดุเส้นใยนิ่ม ๆ เช่น ฝอยกาบมะพร้าวดังที่ใช้กันอยู่ในชนบทของประเทศเราในปัจจุบัน เพราะจะได้ง่ายต่อ การที่จะใช้ไม้หรือแท่งโลหะกระทุ้งอัดให้แน่นได้ดีขึ้น ถ้าหมอนกระสุนปืนอัดไม่แน่นก็จะเกิดรอย รั่วของแก๊สตามขอบของหมอนได้ อันจะเป็นเหตุให้กำลังดันลูกกระสุนปืนไม่ดี ลูกกระสุนปืนที่ ถูกยิงออกไปก็จะมีความเร็วต่ำทำให้ไปได้ไม่ไกล

ตั้งแต่ศตวรรษที่ 18 เป็นต้นมา มนุษย์มีความรู้ทางวิชาเคมีเพิ่มมากขึ้น ทำให้มี ผู้คิดค้นสารเคมีที่เป็นสารวัตถุระเบิด ที่เมื่อถูกกระทบกระแทกอย่างแรงแล้วจะสามารถระเบิด ขึ้นได้สารเคมีที่ว่านั้นคือ Fulminate of Mercury ซึ่งถือว่าเป็น Priming Powder ตัวแรก ที่

มนุษย์นำมาใช้ในการยิงปืน หลักฐานตามประวัติศาสตร์ บันทึกไว้ว่าตั้งแต่ปี ค.ศ. 1703 นักวิทยาศาสตร์ชาวฝรั่งเศสเป็นผู้ค้นพบว่า Fulminate of Mercury เป็นวัตถุระเบิด จนกระทั่งในปี ค.ศ. 1793 บาทหลวงชาวสก็อตแลนด์ ชื่อ Alexander John Forsyth ได้ทดลองนำเอา Fulminate of Mercury เป็นตัวจุดดินปืนขึ้น โดยให้ชื่อปืนชนิดนี้ว่า ปืนแบบ Percussion Locks ซึ่งได้ผลิตขึ้นเป็นครั้งแรกในกรุงลอนดอน ต่อมาในปี ค.ศ. 1812 Forsyth ได้ร่วมมือกับ James Waatts ประดิษฐ์ปืนแบบ Percussion Locks ขึ้นไว้หลายแบบ

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

ในกลางศตวรรษที่ 19 ปืนแบบ Percussion Locks ก็มีใช้กันอย่างแพร่หลายทั่วไปทั้งทวีปยุโรปและอเมริกา พร้อมกันนี้ก็ได้มีผู้พยายามคิดค้นสร้างกระสุนปืนชนิดเป็นนัดและมีระบบจุดดินปืนอยู่ภายในกระสุนปืนแต่ละนัด (ดังเช่นกระสุนปืนในปัจจุบัน) ขึ้นมากมาย แต่ก็ยังใช้การไม่ได้เพราะแก๊สจากการเผาไหม้ของดินปืนสามารถรั่วออกทางท้ายลำกล้องปืนได้

ปืนแบบ Percussion Locks นี้ ในปัจจุบันยังคงมีใช้กันอยู่อย่างกว้างขวางทั่วไปทั้งโลกเช่นในชนบทที่ห่างไกลของประเทศไทย ในประเทศอินเดีย และบางประเทศในแอฟริกา ตลอดจนกลุ่มคนที่นิยมใช้อาวุธปืนแบบ Muzzle Loading ในประเทศสหรัฐอเมริกาและอังกฤษ เป็นต้น ซึ่งปืนแบบนี้ไทยเราเรียกว่า “ปืนแก๊ป” นั่นเอง

ภายหลังจากที่มีการประดิษฐ์กระสุนปืนแบบ Rim Fire และ Center Fire ขึ้นมาได้ อาวุธปืนแบบและขนาดต่าง ๆ กัน ก็ถูกพัฒนาขึ้นมามากมาย อาวุธปืนที่มีประสิทธิภาพสูง เช่น ปืนกลต่าง ๆ ได้รับการพัฒนาอย่างรวดเร็วมาก ทำให้การแยกแยะจัดหมวดหมู่อาวุธปืนกระทำได้ยาก ในที่นี้จะขอแบ่งประเภทอาวุธปืนตามการใช้งานสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ประเภท คือ

1. ปืนพก (Pistol) ปืนจำพวกนี้สามารถใช้ทำการยิงได้ด้วยมือเดียว เพราะมีขนาดเล็กทำให้พกพาติดตัวไปได้สะดวก สามารถซ่อนหรือปกปิดได้ง่าย และเนื่องจากเป็นอาวุธปืนที่มีขนาดเล็ก จึงทำให้อำนาจการยิงมีระยะไม่ไกลมากนัก ซึ่งถ้าแบ่งตามลักษณะของอาวุธปืนจำพวกนี้แล้วสามารถแบ่งได้เป็น 3 ชนิด คือ

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

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

ค. ปืนพกแบบอื่น ๆ (Miscellaneous Handgun) เป็นปืนที่ผู้ผลิตทำออกมาเพื่อให้ผู้ที่ไม่เคยพบเห็นคิดว่าเป็นไม่ใช่อาวุธปืน การผลิตดังกล่าวส่วนใหญ่ผลิตเพื่อนำไปให้สายลับใช้ป้องกันตัวยามจำเป็น มีบ้างที่ผลิตเพื่อการค้า แต่ก็มักจะเป็นของต้องห้ามในเกือบทุกประเทศ เพราะปืนเหล่านี้มีขนาดเล็ก ซุกซ่อนได้ง่ายและยังสังเกตยากว่าเป็นปืนหรือไม่ ตัวอย่างเช่น ปืนปากกา, ปืนหัวเข็มขัด, ปืนไฟแช็ก, ปืนพวงกุญแจ, ปืนไม้เท้า ฯลฯ เป็นต้น

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

3. ปืนเล็ก ชนิดของปืนเล็กในที่นี้ หมายถึง ปืนที่ทำการยิงโดยอาศัยการประทับไหล่ ซึ่งมีขนาดต่าง ๆ กัน ดังนี้

ก. ปืนเล็กยาว (Rifle) เป็นอาวุธปืนเล็กที่มีความยาวลำกล้องประมาณ 24 – 30 นิ้ว

ข. ปืนเล็กสั้น (Carbine) เป็นปืนที่สร้างขึ้นโดยประสงค์ให้ผู้มีหน้าที่ขี่ม้าได้ใช้โดยไม่เกิดความเกะกะในการนำไปนำมา และสามารถใช้ได้คล่องตัวขึ้น ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับปืนเล็กยาวทุกอย่าง ตลอดจนการทำงานของเครื่องกลไก จะต่างกันก็เพียงความยาวลำกล้องที่สั้นกว่าเท่านั้น

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

ง. ปืนเล็กสั้นบรรจุเอง (Self Loading Carbine) ก็มีหลักการเดียวกันกับปืนเล็กยาวบรรจุเอง ต่างกันก็แต่เฉพาะลำกล้องที่สั้นกว่าเท่านั้นเอง

จ. ปืนเล็กกล (Assault Rifle) เป็นอาวุธปืนยาวที่สามารถยิงได้ทั้งแบบอัตโนมัติและแบบกึ่งอัตโนมัติ

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

ก. ปืนกลเบา เป็นปืนกลที่มีน้ำหนักตั้งแต่ 35 ปอนด์ลงไป

ข. ปืนกลหนัก เป็นปืนกลที่มีน้ำหนักมากกว่า 35 ปอนด์ขึ้นไป

อาวุธปืนแบบต่าง ๆ ตามที่ได้กล่าวมานั้น จะใช้ได้ผลดีและมีอานุภาพสูงสุด ก็ต่อเมื่อกระสุนปืน จะต้องประกอบด้วยสิ่งสำคัญ 3 สิ่ง คือ

1. กระสุนปืนจะต้องเป็นแบบ “Fixed Charge” คือ มีปลอกกระสุนปืน, แก๊ป, ดินปืนและลูกกระสุนปืน รวมอยู่เป็นอันเดียวกัน

2. ปลอกกระสุนปืนจะต้องขยายตัวได้ เพื่อว่าเมื่อกระสุนปืนถูกยิงปลอกกระสุนปืนจะขยายตัวได้แนบสนิทกับผนังรังเพลิง เพื่อป้องกันไม่ให้แก๊สรั่วย้อนออกทางข้างปลอกกระสุนปืนได้และยังต้องง่ายต่อการที่จะดึงปลอกกระสุนปืนที่ยิงแล้วออกจากรังเพลิง

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

กระสุนปืน (Metallic Cartridge)

ตั้งแต่มีการผลิตกระสุนปืนขึ้นมาได้จนถึงปัจจุบันนี้ Metallic Cartridge มีด้วยกันถึง 11 แบบ ที่สำคัญ และผลิตออกมาจำหน่ายทางการค้ามีอยู่ 3 แบบ คือ

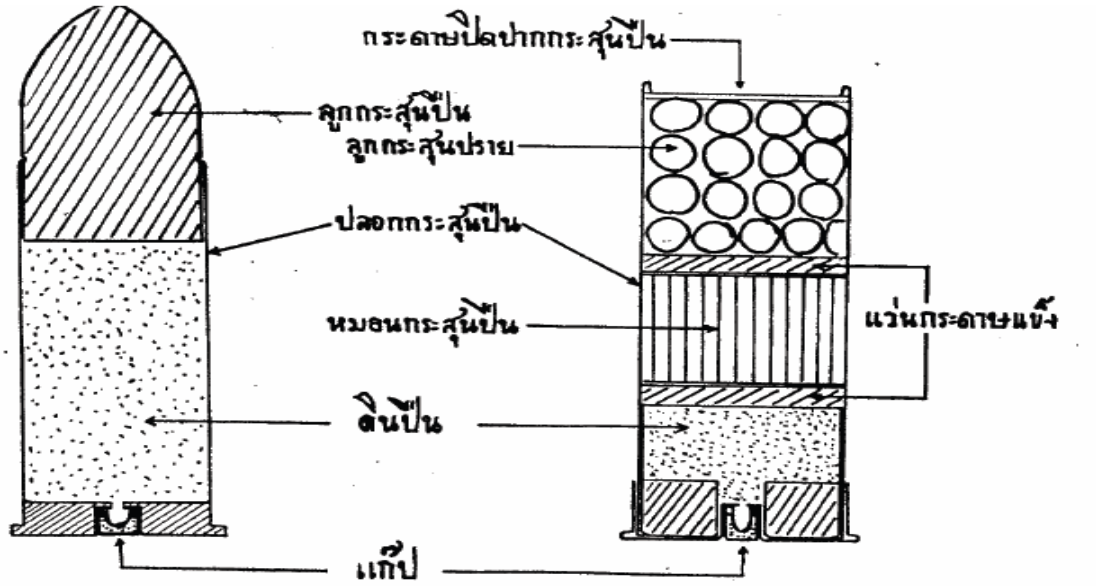
1. Pin Fire Cartridge เป็นกระสุนปืนแบบแรกที่สร้างขึ้นโดยช่างทำปืนชาวเมืองปารีสชื่อ E. Lefaucheux ในปี ค.ศ. 1835 และผลิตออกจำหน่ายในปี ค.ศ. 1836 โดยมีทั้งกระสุนปืนไรเฟิลกระสุนปืนพก และกระสุนปืนลูกซอง ในตอนแรกปลอกกระสุนปืนทุกชนิดทำด้วยกระดาษ ส่วนท้ายเป็นทองเหลือง และมีเข็มโผล่ออกมาทางด้านข้างปลอกกระสุน ปลายเข็มอีกด้านหนึ่งฝังอยู่ภายในปลอกกระสุนปืนโดยวางอยู่บนแก๊ป (Primer Cap) ซึ่งบรรจุอยู่ในถ้วยโลหะ อาวุธปืนที่ใช้กระสุนปืนแบบนี้ที่นกปืนไม่มีเข็มแทงชนวน เวลายิงนกปืนจะกระแทกลงบนเข็มที่โผล่ออกมาข้างปลอกกระสุนปืน และปลายเข็มอีกข้างหนึ่งก็จะกระแทกกับแก๊ป เกิดระเบิดขึ้นประกายไฟก็จะไปเผาไหม้ดินปืนต่อไป กระสุนปืนแบบ Pin Fire มีอายุการใช้งานไม่นานนักก็ถูกแทนที่ด้วยกระสุนปืนแบบใหม่ คือ Rim Fire

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

3. Center Fire Cartridge เป็นกระสุนปืนที่เข็มแทงชนวนจะต้องแทงให้ถูกตรงกลางของจานท้ายกระสุนปืนจึงลั่นได้ มีใช้กันมาตั้งแต่ปี ค.ศ. 1861 แต่กว่าจะมีคุณภาพเหมือนกับที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันนี้ ก็ได้มีการปรับปรุงแก้ไขกันอย่างมากมาย ตั้งแต่วัสดุที่ใช้ทำปลอกกระสุนปืน, ดินปืน,ลูกกระสุนปืน, Primer Cap และ Priming Mixture

เมื่อกระสุนปืน Rim Fire และ Center Fire ถูกสร้างขึ้นมา ก็นับเป็นจุดเริ่มของการพัฒนาอาวุธปืนสมัยใหม่ขึ้นมา ทำให้มีปืนแบบที่สามารถยิงซ้ำได้ เช่นแบบ Lever Action, Pump Action, Semi-Automatic และปืนกลแบบต่าง ๆ ขึ้น ทำให้อาวุธปืนได้รับการพัฒนาทั้งทางด้านคุณภาพและประสิทธิภาพขึ้นอย่างมากมาย โดยเฉพาะในช่วงเวลาหลังสงครามโลกครั้งที่ 2 เป็นต้นมา ซึ่งในสมัยเริ่มแรกที่มีอาวุธปืนนั้น กว่าจะยิงปืนได้แต่ละนัดต้องใช้เวลามาก ความแม่นยำก็ไม่ดี แต่ในปัจจุบันนี้อาวุธปืนลำกล้องเดี่ยวสามารถยิงได้เร็วที่สุดถึง 1,200 นัดต่อนาที ดังเช่นปืนกลมือ Ingram M.10 และ M.11 เป็นต้น กระสุนปืนโดยทั่วไปมีส่วนประกอบที่สำคัญ 4 ส่วน คือ

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



ภาพประกอบที่ 6 แสดงส่วนประกอบสำคัญของกระสุนปืน (อัมพร จารุจินดา, 2542)

ลูกกระสุนปืน (Bullet)

ลูกกระสุนปืนในตอนแรกเป็นพวกลูกดอก, ลูกธนู, หินกลม ๆ เป็นต้น ต่อมาก็ใช้ลูกเหล็ก หรือตะกั่ว ซึ่งต่อมาพบว่า ลูกเหล็กหรือตะกั่วจะให้ระยะยิงไกลกว่าอย่างอื่น แต่ในที่สุดก็พบว่า ตะกั่วเป็นสารเดียวที่เหมาะสมที่สุดที่จะใช้ทำลูกกระสุนปืน เนื่องจากคุณสมบัติที่มีน้ำหนักดีราคาถูก และง่ายในการที่จะหลอมหรือหล่อทำรูปแบบต่าง ๆ ตั้งแต่เริ่มวิวัฒนาการของ

อาวุธปืนเป็นต้นมา ลูกกระสุนปืนที่ใช้ทำด้วยตะกั่วล้วน ๆ ยาวนานมาเป็นเวลานานถึง 525 ปี จนกระทั่งในปี ค.ศ. 1880 – 1890 จึงได้มีลูกกระสุนปืนแบบที่เรียกว่า Jacketed Bullet เกิดขึ้น ซึ่งในสมัยนั้น Jacket จะทำด้วยทองเหลือง หรือทองแดงบาง ๆ หุ้มแกนตะกั่วไว้ภายใน ลูกกระสุนปืนในปัจจุบันมีอยู่ด้วยกัน 2 แบบ คือ

1. Lead Bullet เป็นลูกกระสุนปืนที่ทำด้วยตะกั่ว เพราะราคาถูกและเป็นลูกกระสุนปืนที่ใช้กับกระสุนปืนที่มีความเร็วต้นต่ำกว่า 2,000 ฟุตต่อวินาที เนื่องจากความร้อนที่เกิดจากแรงระเบิดของ ดินปืนไม่สูงเกินไปจนทำให้ตะกั่วละลาย แต่ลูกกระสุนปืนชนิดนี้ก็ใช่ว่าจะทำด้วยตะกั่วล้วน เพราะจะอ่อนเกิดไป ดังนั้นจึงต้องใช้โลหะอื่นผสมลงไปด้วยเพื่อทำให้มีความแข็งขึ้น ซึ่งส่วนใหญ่โลหะที่มักใช้ผสมจะเป็นโลหะพลวง (Sb) หรือดีบุก (Tin)

ลูกกระสุนปืนขนาดเล็กสำหรับปืนพกทั่ว ๆ ไป ที่โรงงานผลิตออกขาย จะใช้ตะกั่วผสมกับพลวง แต่ลูกกระสุนปืนที่อัดใช้เอง มักจะใช้ตะกั่วผสมกับดีบุก เพราะง่ายในการหลอมและหล่อขึ้นรูปลูกกระสุนปืนนั่นเอง ในปัจจุบันนี้ ลูกกระสุนปืนที่ทำด้วยตะกั่วมีลักษณะตอนท้ายของลูกกระสุนปืนอยู่ 5 แบบ คือ

ก. Plain Base แบบนี้ก้นลูกกระสุนปืนจะเรียบเสมอกัน

ข. Hollow Base แบบนี้ก้นลูกกระสุนปืนจะเว้าเข้าหรือกลวงลึก

ค. Gas Check Base แบบนี้จะมีถ้วยทองแดงหรือทองเหลืองบาง ๆ หุ้มก้นลูกกระสุนปืนเพื่อป้องกันตะกั่วส่วนก้นละลายเนื่องจากความร้อนในกระสุนปืนแบบ High Temperature and Pressure

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

จ. Short or Half Jacketed แบบนี้มี Jacket หุ้มก้นลูกกระสุนปืนสูงขึ้นมาประมาณ 1/4 หรือ 3/4 ของความสูงของลูกกระสุนปืน ทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้ตะกั่วบริเวณก้นและด้านข้างของลูกกระสุนปืนละลายติดลำกล้องปืนเช่นเดียวกัน

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

ก. Flat Base แบบนี้ก้นลูกกระสุนปืนจะเรียบเสมอกัน และด้านข้างลูกกระสุนปืนก็ตรงตลอดเสมอกัน

ข. Boat Tail แบบนี้ก้นลูกกระสุนปืนจะเรียบเสมอกัน แต่ด้านข้างลูกกระสุนปืนตอนใกล้ก้นจะสอบเข้าหากันเล็กน้อย คือ ส่วนปลายใกล้ก้นของลูกกระสุนปืนจะเล็กกว่าตอนกลางของลูกกระสุนปืน เพื่อประโยชน์ในการลด Air Drag หรือลดการเสียดสีของอากาศกับลูกกระสุนปืนเมื่อใช้ยิงออกไป ทำให้ลูกกระสุนปืนแบบนี้ยิงไปได้ไกลกว่า และมีวิถีกระสุนปืนแบนราบดีกว่าลูกกระสุนปืนแบบ Flat Base เมื่อมีความเร็วต้นเท่ากัน

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

ก. Round Nose (RN) เป็นลูกกระสุนปืนธรรมดาทั่ว ๆ ไป มีปลายหัวมน

ข. Semi-Wad Cutter (SWC) เป็นลูกกระสุนปืนที่มีส่วนปลายที่พ้นปลอกกระสุนออกมามีขนาดเล็กกว่าส่วนใหญ่ที่อยู่ในปลอกกระสุน และส่วนปลายตัดตรงไม่มน

ค. Wad Cutter (WC) เป็นลูกกระสุนปืนที่ส่วนปลายสั้นเสมอปากปลอกกระสุนปืนและส่วนปลายตัดตรง

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

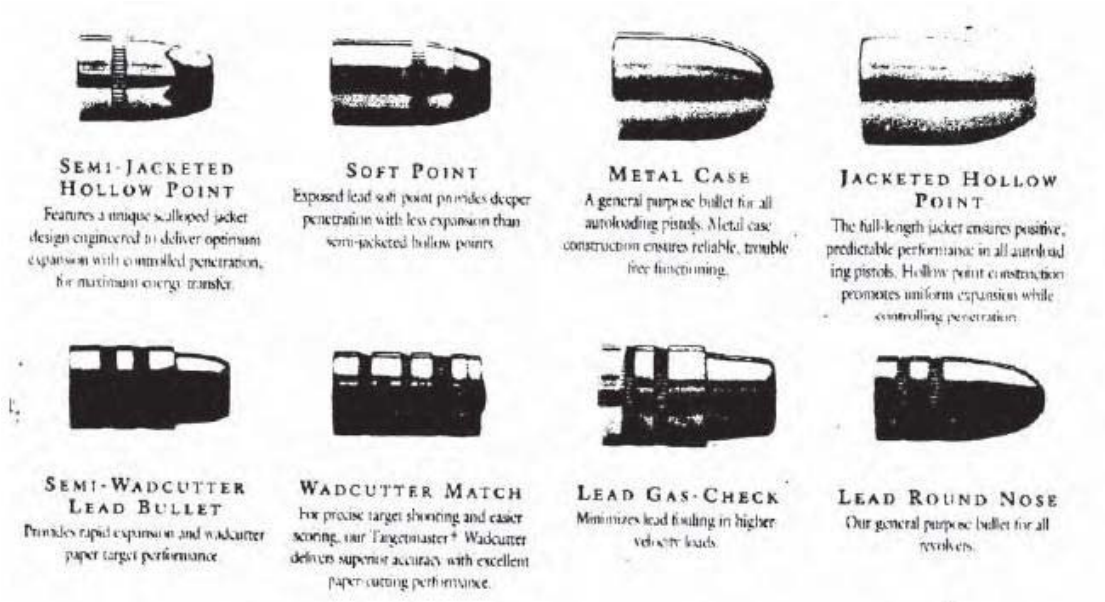
จ. Full Metal Jacket (FMJ) เป็นลูกกระสุนปืนที่มี Jacket หุ้มทั้งหมด ส่วนปลายมน บางทีเรียกว่า Metal Case Bullet

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

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

ซ. Point เป็นลูกกระสุนปืนที่ Jacket หุ้มหมด และปลายแหลม

ฌ. Metal Piercing (MP) และ Armour Piercing (AP) เป็นลูกกระสุนปืนที่ใช้ยิงเจาะเกราะ โดยแบบ MP นั้น เป็นลูกกระสุนปืนขนาดเล็ก เช่น ปืนพกทั่วไป ส่วนปลายของลูกกระสุนปืนจะแหลม และ Jacket ที่หุ้มส่วนปลายนี้จะมีความหนากว่าส่วนอื่น ๆ ประโยชน์ใช้ยิงทะลุเกราะอ่อนหรือที่เรียกว่า เสื้อเกราะและแผ่นวัตถุหรือโลหะที่มีความหนาไม่มากนัก สำหรับลูกกระสุนแบบ AP เป็นลูกกระสุนปืนที่ใช้กับปืนทางการทหาร โดยส่วนปลายของลูกกระสุนแบบนี้จะแหลมและ Jacket เป็นทองแดงหรือเหล็กชุบทองแดง ส่วน Core จะทำด้วย Tungsten Carbine ซึ่งมีความแข็งมาก สามารถเจาะทะลุเกราะเหล็กได้ วัตถุประสงค์เพื่อใช้สำหรับยิงทะลุยานยนต์หุ้มเกราะของทหาร หรือยิงทะลุแผ่นวัตถุหรือโลหะที่มีความหนามาก ๆ ได้



ภาพประกอบที่ 7 แสดงรูปร่างลักษณะของลูกกระสุนปืนแบบต่างๆ (อัมพร จารุจินดา, 2542)

ปลอกกระสุนปืน

เมื่อมีการประดิษฐ์กระสุนปืนขึ้นได้ ในตอนแรกปลอกกระสุนปืนทำด้วยกระดาษแข็งจานท้ายเป็นทองเหลือง แต่กระดาษแข็งมีข้อเสียที่ว่า ปลอกกระสุนปืนจะบวมเมื่อถูกความชื้นทำให้ไม่สามารถใส่เข้าไปในรังเพลิงของอาวุธปืนได้ นอกจากนี้ยังทำได้ยากเมื่อเป็นกระสุนปืนขนาดเล็กๆ ต่อมาจึงพบว่า ทองเหลืองเป็นโลหะที่ดีที่สุดในการใช้ทำปลอกกระสุนปืน แต่สำหรับปลอกกระสุนปืนลูกซองยังคงทำด้วยกระดาษแข็งอยู่ เพราะเป็นปลอกกระสุนปืนที่มีขนาดใหญ่และยังเป็นการลดต้นทุนการผลิต เนื่องจากกระดาษมีราคาถูกกว่าทองเหลืองมาก ในปัจจุบันวิวัฒนาการของพลาสติกเจริญขึ้นมาก ปลอกกระสุนปืนลูกซองที่ผลิตจากประเทศที่เจริญแล้ว จะทำด้วยพลาสติกที่ทนความร้อนและแรงดันสูง อีกทั้งยังไม่เกิดการบวมของปลอกเมื่อถูกความชื้นอีกด้วย

ทองเหลืองเป็นโลหะผสมระหว่างทองแดงกับสังกะสี (Copper Zinc Alloy) ทองเหลืองที่ใช้ทำปลอกกระสุนปืนที่มีคุณภาพดีที่สุด จะมีส่วนผสมของสังกะสีประมาณ 30-33 % ซึ่งปลอกกระสุนปืนที่เห็นมีใช้กันทั่วไปในปัจจุบัน ส่วนใหญ่ทำจากทองเหลือง ถึงแม้บางยี่ห้อจะมีปลอกเป็นสีขาวมันวาว ก็เป็นทองเหลืองชุบโครเมียมเพื่อความสวยงาม ดึงดูดผู้ซื้อนั่นเอง ปลอกกระสุนปืนที่ทำด้วยอลูมิเนียมจะมองเห็นเป็นสีขาวด้าน ๆ ส่วนปลอกกระสุนปืนที่ผลิตจากกลุ่มประเทศในยุโรปตะวันออก เช่น โซเวียต, โปแลนด์, เชคโกสโลวาเกีย และประเทศสารธารณรัฐประชาชนจีนจะทำด้วยเหล็กชุบทองแดง หรือสี Epoxy อบด้วยความร้อน เพื่อป้องกัน

สนิม ปลอกกระสุนปืนที่ทำด้วยโลหะอื่นนอกจากทองเหลืองแล้ว จะใช้ครั้งเดียวทิ้ง ไม่สามารถนำกลับไปอัดยิงใหม่ได้อีก รูปร่างลักษณะภายนอกของปลอกกระสุนปืนจะมี 3 แบบ คือ

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

รูปร่างลักษณะของส่วนท้ายปลอกกระสุนปืนมี 5 แบบ คือ

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

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

จากการที่ส่วนท้ายของปลอกกระสุนปืนมีด้วยกันถึง 5 แบบ ดังนั้นการออกแบบรังเพลิงของอาวุธปืนที่จะใช้กับกระสุนปืนแบบต่าง ๆ นั้น จะต้องพิถีพิถันเพื่อรองรับกระสุนแบบที่ใช้ให้พอดีทั้งความกว้าง ความยาว และรูปร่างเพื่อให้แน่ใจว่าในขณะที่ดินปืนเผาไหม้และเกิดการระเบิดของแก๊สขึ้น ปลอกกระสุนปืนจะแนบสนิทกับผนังรังเพลิงทุกด้าน ถ้าหลวมจะเกิดปัญหาปลอกกระสุนปืนบวมติดรังเพลิง ทำให้คัดปลอกไม่ออก

ดินส่งกระสุนปืน (Gun Powder, Propellant)

ดินส่งกระสุนปืน หรือดินปืน เป็นของแข็งซึ่งเมื่อเกิดการลุกไหม้จะให้แก๊สในปริมาณมากในช่วงเวลาอันสั้น การลุกไหม้จะเกิดจากประกายไฟ หรือเปลวไฟที่ได้มาจากการระเบิดของแก๊ป หรือโดยวิธีอื่นก็ได้ ความรวดเร็วในการเผาไหม้ของดินปืนเป็นสิ่งสำคัญ หากเกิดการเผาไหม้เร็วเกินไป แก๊สที่เกิดขึ้นก็จะเกิดอย่างรวดเร็วมาก มีความดันสูงเกินกว่าที่ลูกกระสุนปืนจะวิ่งออกจากลำกล้องปืนได้ทัน ลำกล้องปืนก็จะระเบิด ในทางตรงกันข้ามถ้าการเผาไหม้ช้าไป แก๊สที่เกิดจะมีน้อยทำให้แรงขับดันลูกกระสุนปืนน้อยตามลงไปด้วย ก็จะทำให้วิถี

กระสุนปืนไม่ดี หรือบางทีลูกกระสุนปืนอาจจะตกแค่ปากกระบอกปืนก็ได้ ดินปืนในปัจจุบันมีอยู่ด้วยกัน 3 แบบ คือ

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

2. Pyrodex (ดินดำแบบใหม่) ดินปืนชนิดนี้มีส่วนผสมหลักเหมือนกับดินดำ คือ มีดินประสิว ถ่านไม้ และกำมะถัน แต่มีอัตราส่วนแตกต่างกับดินดำ นอกจากนี้ยังมีส่วนผสมอื่นเข้ามาอีกคือ Potassiumpercholrate, Sodiumbenzoate, Dicyandiamide (1-Cyanoguanidine) และยังมี Dextrine, Wax และ Graphite จำนวนเล็กน้อยผสมอยู่ Pyrodex ที่ยังไม่ได้ใช้ยิงจะเห็นความแตกต่างจากดินดำอย่างชัดเจน เพราะ Pyrodex เป็นเม็ดสีเทา และมีบางส่วนโปร่งแสง นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติติดไฟยากกว่าดินดำ เนื่องจากมีจุดติดไฟที่ 750°F

สำหรับ Pyrodex ที่ยิงแล้ว สามารถตรวจหาสารประกอบที่นอกเหนือจากดินดำได้หลายวิธี เช่น ใช้ High Perfomance Liquid Chromatography, Energy Dispersive Elemental Analysis และ/หรือ FTIR (Infared Spectroscopy) เป็นต้น

3. Smokeless Powder (ดินควันน้อย) การพัฒนาดินควันน้อยนั้น เกิดขึ้นใกล้ ๆ กับการค้นพบ Guncotton, Nitroglycerine และ Dynamite โดยในปี 1845 Christian Schoenbein ชาวสวิสเป็นผู้ค้นพบ Guncotton ในปี ค.ศ. 1846 Ascaio Sobrero ชาวอิตาลี ได้พบ Nitroglycerine หรือ Glyceryl Nitrate ต่อมาในปี ค.ศ. 1867 Alfred Nobel ชาวสวีเดน ได้พบ Dynamite แต่ทั้ง 3 ตัวนี้ ล้วนเป็นวัตถุระเบิดไม่สามารถนำมาใช้เป็นดินปืนได้ ทำให้มีการศึกษาหาวิธีทำดินปืนแบบใหม่ขึ้นมา เพื่อให้มีประสิทธิภาพสูงกว่าดินดำ และสามารถควบคุมอัตราการเผาไหม้ได้ ซึ่งมีผู้ค้นพบดินควันน้อยอยู่ด้วยกันหลายคน คือ

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

ในปี ค.ศ. 1870 Frederich Volkmann ชาวออสเตรีย ได้จดลิขสิทธิ์ดินปืนที่เขาค้นพบโดยให้ชื่อว่า Collodin ซึ่งใช้ไม้ Alder ป่นละเอียดแทนไม้ทั่ว ๆ ไป

ในปี ค.ศ. 1884 Vieille ชาวฝรั่งเศสและ Duttenhofer ชาวเยอรมัน ได้ละลาย Nitrocellulose ใน Alcohol หรือ Ether หรือสารละลายตัวอื่น ๆ ทำให้ได้ Plastic Gelatin ที่สามารถทำให้เป็นแผ่นแล้วตากแห้ง แล้วหั่นเป็นชิ้นเล็ก ๆ ใช้เป็นดินปืนได้

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

และในปี ค.ศ. 1890 ดินควันน้อยก็ได้ถูกนำมาใช้เป็นดินปืนแทนดินดำ เนื่องจากดินควันน้อยให้แรงระเบิดสูงกว่าดินดำมากในปริมาณที่เท่ากัน และเมื่อใช้ยิงแล้วก็มีเขม่า หรือควันปืนน้อยมากเมื่อเทียบกับดินดำ อีกทั้งยังง่ายต่อการควบคุมการจุดระเบิด แต่ข้อเสียคือ มีราคาแพงกว่าดินดำมาก และยังมีปัญหาเกี่ยวกับความปลอดภัยในการใช้กับปืนในสมัยนั้น ซึ่งสร้างจากเหล็กที่ทนแรงดันได้ไม่สูงนัก

ดินควันน้อยในปัจจุบันทำจากการนำเอา Cotton หรือ Cellulose Fiber อย่างอื่นทำปฏิกิริยาทางเคมีกับกรด Nitric และกรด Sulfuric เข้มข้น ได้สารประกอบที่มีชื่อว่า Nitrocellulose หรือ Cellulose Nitrate ดินควันน้อยที่ทำจากสารประกอบ Nitrocellulose เพียงอย่างเดียวเรียกว่าแบบ Single Base แต่ถ้าต้องการแบบที่มีแรงระเบิดสูงขึ้นก็ใช้ Nitroglycerine ผสมเข้ากับ Nitrocellulose ในอัตราส่วนต่าง ๆ กัน แล้วแต่ว่าต้องการความเร็วในการเผาไหม้มากน้อยเพียงใด แบบนี้มีชื่อว่า Double Base การควบคุมอัตราการจุดระเบิดของดินควันน้อยทำได้โดยการทำดินควันน้อยให้มีรูปร่างต่าง ๆ กัน เช่น ทำให้เป็นฝอย (Flake), เป็นแผ่น (Disc), เป็นแท่ง (Tabular) หรือเป็นเม็ดกลม (Ball) เป็นต้น นอกจากนี้การเคลือบสารเคมีบางอย่างก็สามารถทำให้อัตราเร็วในการเผาไหม้แตกต่างกันได้อีกด้วย

แก๊ป (Primer Cap)

แก๊ป หรือชนวนท้ายกระสุนปืน จะอยู่ที่บริเวณจานท้ายปลอกกระสุนปืน นับเป็นหัวใจของกระสุนปืนในปัจจุบัน ซึ่งกระสุนปืนแบบ Center Fire ยกเว้นของกระสุนปืนลูกซอง จะมีPrimer Cap อยู่ 2 แบบ คือ

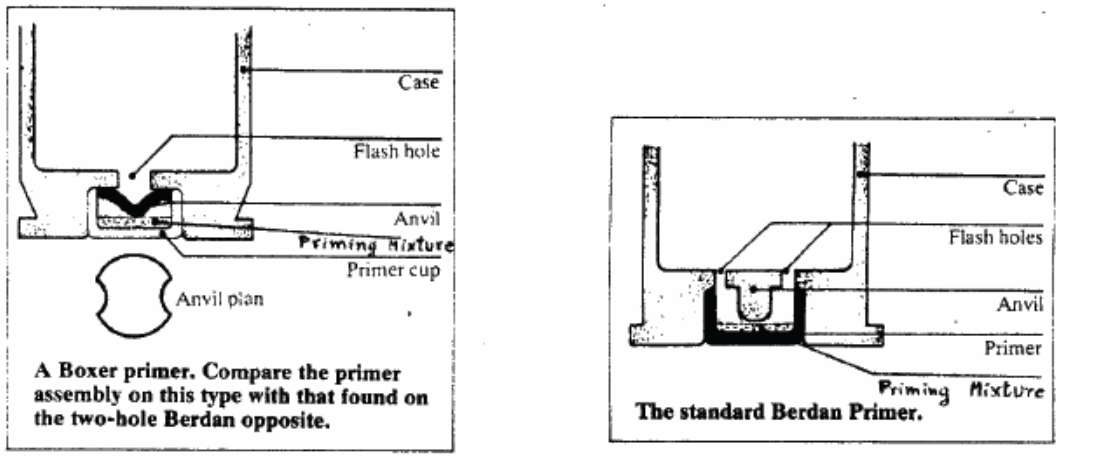
1. Standard ใช้กับกระสุนปืนพกขนาดเล็กทั่ว ๆ ไป ตัว Primer Cap มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.175 นิ้ว

2. Magnum ใช้กับกระสุนปืนพกขนาดใหญ่ และกระสุนปืนไรเฟิล ตัว Primer Cap มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.210 นิ้ว Primer Cap จะมีส่วนประกอบสำคัญอยู่ 3 ส่วน คือ

ก. Primer Cup ทำด้วยโลหะทองแดง, ทองเหลือง หรือทองเหลืองชุบนิกเกิล ทำหน้าที่เป็นตัวบรรจุ Priming Mixture

ข. Priming Mixture เป็นวัตถุระเบิดประเภทกระทบแตก ทำหน้าที่เป็นตัวให้ประกายไฟจุดดินปืน

ค. Anvil เป็นโลหะแข็ง ทำหน้าที่เป็นตัวรับการกระแทกของเข็มแทงชนวน เพื่อทำให้ Priming Mixture ที่อยู่ระหว่างกลางเกิดการระเบิดขึ้น



ภาพประกอบที่ 8 แสดงส่วนสำคัญของ Primer Cap (อัมพร จารุจินดา, 2542)

คราบเขม่าที่เกิดจากการยิงปืน (Gunshot Residues: GSR)

เขม่าปืนหรือเขม่าจากการยิงปืน หมายถึง เขม่าที่เกิดจากการเผาไหม้ของชนวนท้ายกระสุนปืนหรือแก๊ปปืน (primer) กลไกการเกิดเขม่าปืนเริ่มต้นเมื่อมีการลั่นไกทำให้เข็มแทงชนวนตีลงบนจานท้ายของกระสุนปืนอย่างแรง แรงกระตุ้นนี้ทำให้เกิดความร้อนส่งไปยังดินส่งกระสุนซึ่งเป็นสารกลุ่ม Pitric acid แล้วเกิดการเผาไหม้ (Heard, 1997) และทำให้เกิดการเผาไหม้ต่อเนื่องถึงแก๊ปปืนและดินปืน (ดินประสิว) และเปลี่ยนสถานะไปเป็นแก๊ส (Meng and Caddy, 1997) ซึ่งประกอบด้วย carbon dioxide, carbon monoxide, ไอน้ำ และกลุ่มของธาตุ nitrogen (Heard, 1997) ในขณะเดียวกันความร้อนมหาศาลนี้ทำให้เกิดแรงดันในการขับเคลื่อนหัวกระสุนปืนออกจากปลอกกระสุนปืนไปยังลำกล้องและออกไปทางปากกระบอกปืน ส่วนที่เหลือจากการเผาไหม้แก๊ปปืนจะถูกขับเคลื่อนออกมาทางปากกระบอกปืนร่วมกับลูกกระสุนที่ยิงไปยังเป้าหมายเป็นส่วนน้อย และฟุ้งออกจากรังเพลิงกระสุนปืนมาติดอยู่ที่มือของผู้ยิงปืนเป็นส่วนใหญ่ ธาตุที่เป็นส่วนประกอบหลักของแก๊ปปืนคือ ตะกั่ว แบเรี่ยมและพลวง ส่วนธาตุอื่น ๆ ที่ตรวจพบ เช่น ทองแดง, สังกะสี, เหล็ก, อลูมิเนียม, ซิลิกอน, กำมะถัน, โปแทสเซียมและแคลเซียม นี้สามารถเกิดได้จากลูกกระสุนปืนที่ถูกรีดด้วยสันเกลียวกระบอกปืน, ปลอกกระสุนปืนและลำกล้อง (Meng and Caddy, 1997) โดยภายใต้สภาวะสมมุติถือเอาส่วนประกอบทั้งหมดของแก๊ปปืนที่เกิดกระบวนการเผาไหม้ และถูกเปลี่ยนแปลงกลายเป็นแก๊ส เรียกว่า เขม่าปืน (gunshot residue) แต่ในทางปฏิบัติไม่สามารถเป็นเช่นนั้นได้ เพราะไม่สามารถแบ่ง ดินปืนทั้งหมดที่บรรจุในกระสุนได้ คือ เมื่อยิงปืนดินปืนบางส่วนของแก๊ปปืนและดินส่งกระสุนปืน ที่เกิดการเผาไหม้และไม่เผาไหม้ทั้ง 2 ส่วนจะถูกขับเคลื่อนออกมาทางปากกระบอกปืนพร้อมกับลูกกระสุนปืนที่ยิงไปยังเป้าหมายและฟุ้งออกจากรังเพลิงกระสุนปืน ทำให้เขม่าปืน ประกอบด้วยสารประกอบอินทรีย์และอนินทรีย์(Meng and Caddy, 1997) ซึ่งไออนุภาคเหล่านี้เมื่อออกมาสู่

บริเวณภายนอกที่มีความร้อนน้อยกว่าก็จะควบแน่นลงมา แล้วปลิวไปเกาะติดอยู่ที่บริเวณมือ เสื้อผ้า และพื้นผิวอื่น ๆ ที่อยู่บริเวณใกล้เคียง ซึ่งปริมาณความมากน้อยของอนุภาคที่จะปลิวมาเกาะนั้น ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลักสำคัญหลายอย่าง เช่น ชนิด ขนาด และลักษณะรูปแบบของอาวุธปืนและกระสุนปืนที่ใช้ หรือสภาพพื้นที่ในขณะยิงปืน เช่น ยิงปืนภายในอาคาร หรือภายนอกอาคาร ก็จะทำให้ทิศทางการฟุ้งกระจายของไออนุภาคมีความแตกต่างกันด้วย เป็นต้น

ชนวนท้ายของกระสุนปืน (Primer Cap) จะมีส่วนผสมของสารประกอบเคมีหลักสำคัญอยู่ 3 ส่วน ที่มีบทบาทสำคัญในการศึกษาและการวิเคราะห์ในเรื่องคราบเขม่าที่มาจากการยิงปืนด้วยกัน ได้แก่

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

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

3. Fuel เป็นตัวทำให้เกิดเปลวไฟเพียงพอที่จะจุดดินปืนต่อไป นิยมใช้ Antimony Sulfide (Sb_2S_3) ซึ่งเชื้อปะทุที่ใช้กันมาในอดีต ได้แก่ Mercury Fulminate ($Hg(CNO)_2$), Stibnite(Sb_2S_3), Potassium Chlorate ($KClO_3$) และผงแก้ว (Powder Glass) แต่หลังจากสงครามโลกครั้งที่สองเป็นต้นมาจนถึงปัจจุบันมักจะใช้ Lead Styphnate ($PbO_2C_6H(NO_2)_3$), Stibnite (Sb_2S_3), Barium Nitrate ($Ba(NO_3)_2$) และ Tetracene ($C_{18}H_{12}$) โดยแต่ละบริษัทที่ผลิตจะมีองค์ประกอบของสารดังกล่าวข้างต้นแตกต่างกันออกไป (Schwoeble *et al.*, 2000)

การรวมตัวของอนุภาค GSR

เมื่อเข็มแทงชนวนกระทบที่ชนวนท้ายกระสุนปืน (Primer Cap) จะทำให้เกิดการระเบิดและเผาไหม้ขึ้นอย่างรวดเร็ว ในขณะนั้นจะเกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งอุณหภูมิและความดันสูงขึ้นเป็นอย่างมาก โดยภายในเวลา 1 millisecond อุณหภูมิจะสูงขึ้นเป็น 3,600°C และความดันเปลี่ยนเป็น 40,000 psi ซึ่งที่สภาวะนี้ จะมีอุณหภูมิที่สูงกว่าจุดเดือดของตะกั่ว แบเรี่ยม และพลวง เนื่องจากตะกั่ว แบเรี่ยม และพลวง มีจุดเดือดเพียง 1,620°C, 1,140°C และ 1,380°C ตามลำดับ

ดังนั้นธาตุโลหะทั้งสามจึงเปลี่ยนสถานะเป็นไอ แต่เนื่องจากมีการอิ่มตัวของไอธาตุเหล่านี้มากเกินไป จึงเกิดการควบแน่นกลับคืนมาเป็นหยดเล็ก ๆ โดยที่ผิวของมันยังมีลักษณะเป็นของเหลวอยู่ โดยเหตุการณ์นี้จะเกิดในสภาวะสมดุลไดนามิคที่อุณหภูมิ 1,500 – 2,000°C ความดัน 9,653 kPa (1,400 psi) และเมื่ออุณหภูมิลดลง หยดเล็ก ๆ เหล่านี้ก็จะแข็งตัวกลายเป็นคราบเขม่าที่มาจากการยิงปืนนั่นเอง

เนื่องจากอนุภาคเขม่าปืน (Gunshot residues:GSR) ที่เกิดจากการควบแน่นและรวมตัวของไอธาตุตะกั่ว(Pb) แบเรี่ยม(Ba)และพลวง(Sb) นั้นมาจากการที่ไอธาตุได้เย็นตัวลงอย่างรวดเร็วภายหลังจากการเผาไหม้ของชนวนท้ายกระสุนปืนจึงทำให้รูปแบบหรือสัณฐานของอนุภาค GSR ที่เกิดขึ้นนี้มีได้หลายแบบ โดย Basu ได้ทำการศึกษาสัณฐานของอนุภาค GSR และแบ่งออกเป็น 3 แบบ คือ

ก. Regular Spheroids เป็นอนุภาคที่มีลักษณะเป็นทรงกลม และมีขนาดตั้งแต่ 1 - 10ไมโครเมตร

ข. Irregular Particles หรือ Nodular Spheroids เป็นอนุภาคที่เกิดจากการรวมตัวของอนุภาคขนาดเล็กมาเกาะติดแน่นอยู่บนอนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่า ทำให้มีรูปลักษณ์เป็นทรงกลมโดยที่บริเวณผิวทรงกลมมีปุ่มงอกออกขึ้นมาอย่างเห็นได้ชัด

ค. อนุภาคที่มีแบเรี่ยมและพลวงก่อตัวเป็นแกนกลาง โดยมีตะกั่วหุ้มล้อมรอบอยู่ภายนอกอนุภาค ซึ่งเรียกว่า “Peeled Orange” เป็นผลเนื่องมาจากการเย็นตัวอย่างรวดเร็วทำให้แบเรี่ยมและพลวงแข็งตัวในเวลาที่ใกล้เคียงกัน เพราะต่างมีจุดเยือกแข็งที่ใกล้เคียงกัน คือ 725 ๐C และ 630.5 ๐C ตามลำดับ ส่วนจุดเยือกแข็งของตะกั่วเพียง 327 ๐C จึงเกิดการแข็งตัวช้าที่สุด เป็นเหตุให้อยู่ล้อมรอบสองธาตุดังกล่าว (Basu,1982)

Schwoeble และคณะ (2000) ได้อธิบายว่าโดยทั่วไปในแก๊ปปืนจะมีธาตุโลหะต่างๆ หลายชนิดเป็นองค์ประกอบ ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ

1. ประเภทที่แน่นอน (Unique Categories) ถ้าตรวจพบพร้อมกัน บอกได้แน่นอนว่าเป็นเขม่าที่มาจากการยิงปืน เมื่อตรวจพบว่าอนุภาคมีธาตุโลหะ ตะกั่ว(Pb) แบเรี่ยม(Ba)และพลวง(Sb) เป็นองค์ประกอบ

2. ประเภทบ่งชี้ (Indicative Categories) ถ้าตรวจพบว่ามีธาตุเหล่านี้น่าเชื่อว่าเป็นอนุภาคของคราบเขม่าที่มาจากการยิงปืน ได้แก่

2.1 อนุภาคที่ประกอบด้วย Ba, Ca และ Si ที่ปราศจาก S หรือมี S ในปริมาณน้อย

2.2 อนุภาคที่ประกอบด้วย Pb และ Sb, อนุภาคที่ประกอบด้วย Pb และ Ba, อนุภาคที่ประกอบด้วย Sb และ Ba

2.3 อนุภาคที่ประกอบด้วย Sb อย่างเดียวหรืออาจมี S เป็นองค์ประกอบด้วยก็ได้

2.4 อนุภาคที่ประกอบด้วย Pb อย่างเดียว, อนุภาคที่ประกอบด้วย Ba อย่างเดียว และไม่มี S

อนุภาค GSR ทั้ง 2 ประเภท อาจมีธาตุโลหะรองชนิดอื่นเป็นส่วนประกอบอยู่ด้วยซึ่งธาตุโลหะรองเหล่านี้ ได้แก่ Si, Ca, Al, Cu, Fe, S, P, Ni, K, Cl และ Zn ดังจะเห็นได้

จากรายงานของ Andrasko และ Machly ที่ทำการทดลองไว้ในปี ค.ศ. 1977 โดยได้ทำการตรวจหาธาตุต่าง ๆ ในชนวนท้ายกระสุนปืนหลายชนิดและขนาดดังตาราง

Ammunition	Caliber	Elements Found (Traces)
Norma (Sweden)	7.65 mm	Pb, Ba, Sb, (Cu, Ca, Si)
Sako (Finland)	7.65 mm	Pb, Ba, Sb, Ca, Si, Hg, (Fe, Cu)
SM (Sweden)	7.65 mm	Pb, Ba, Sb, Ca,Si (Fe, Cu)
Lapua (Finland)	7.65 mm	Pb, Ba, Sb
Geco (W.Germany)	7.65 mm	Pb, Ba, Sb, (Cu, Sn)
S-40 (Finland, 1940)	9 mm	Pb, Ba, Sb, Sn, Ca, Si, Mn (Cu)
51 K (Sweden, 1951)	9 mm	Pb, Ba, Sn, Ca, Si (Fe)
FN (Belgium)	9 mm	Sb, Hg
RWS (W.Germany)	9 mm	Pb, Sb, Sn, K, Cl, Hg, (Cu)
H (USA) (Winchester)	0.22 in.	Pb, Ba, Si
ICI (England)	0.22 in.	Pb, Ba (Ca, Si)
X-super (USA) (Winchester)	0.22 in.	Pb, Ba, Si
HP (Australia) (Hinterberger)	0.22 in.	Pb, Ba, Sb (K, Cl)
RWS (W.Germany)	0.22 in.	Pb, Ba, Sb, Si (Ca, Cu)
U (USA) (Remington)	0.22 in.	Pb, Si, Ca (Fe)
E (England)	0.22 in.	Pb, Ba, Si, Ca, P, (Na, K, CL, Fe, Cu)
Peters HV (USA) (Remington)	0.22 in.	Pb, Si, Ca (Cu, Fe)
Z (Czechoslovakia)	6.35 mm	Pb, Ba, Si, Ca (Cu, Fe)
FN (Belgium)	6.35 mm	Sb, Hg, Sn, K, Cl
61 K (Sweden, 1961)	9 mm	Pb, Ba, Sn, Ca, Si

ภาพประกอบที่ 9 แสดงธาตุโลหะที่พบในชนวนท้ายกระสุนปืนของบริษัทต่างๆ (Andrasko, *et al.*,1977)

1.2.3 รายงานเอกสารที่เกี่ยวข้อง

การตรวจพิสูจน์เขม่าปืนนั้นใช้สารอินทรีย์หลักคือ ตะกั่ว(Pb) แบเรี่ยม (Ba)และพลวง(Sb)เป็นตัวบ่งชี้ถึงบุคคลที่ยิงปืน ซึ่งการตรวจพบธาตุหลักของเขม่าปืนเป็นสิ่งที่น่าเชื่อถือได้ว่า ผู้นั้นผ่านการยิงปืน เพราะโอกาสที่จะเกิดจากการสัมผัสตามธรรมชาติหรือการประกอบอาชีพมีน้อยมาก แต่ต้องพึงระวังในหลายเหตุผลเพราะ Pb, Ba และ Sb สามารถปนเปื้อนได้จากสิ่งแวดล้อมทั่วไปหรือการประกอบอาชีพหรือพฤติกรรม เช่น คนที่ชอบยิงปืนเป็นงานอดิเรกได้ โดยธาตุตะกั่วสามารถพบได้ในควันท่อไอเสียรถยนต์ หรือ ขั้วแบตเตอรี่ เป็นต้น พลวงสามารถพบได้บนเส้นใยที่มีการเคลือบเงา และแบเรียมสามารถพบได้จากแป้งแต่งหน้าหรือเครื่องอัดกระดาษ เป็นต้น (Heard, 1997) หรือบุคคลที่ประกอบอาชีพต่างๆ ช่างซ่อมรถ และอาชีพเกี่ยวกับการซ่อมบำรุง เช่น ช่างเครื่อง ช่างไฟ และพนักงานในปั๊มน้ำมัน ซึ่งสารประกอบดังกล่าวจะปนเปื้อนอยู่ในวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการประกอบอาชีพ (Garofano, *et al.*

1999) แต่ก็ยังสามารถแยกได้ถ้ามีการเพิ่มขึ้นปริมาณของธาตุแบเรียมและพลวง และการเปื้อนของธาตุดังกล่าวมีปริมาณเพิ่มขึ้นบริเวณหลังมือข้างที่สงสัยว่าใช้ยิงปืน เป็นต้น (Garofano, *et al.* 1999, Havakost, *et al*. 1990)

Romolo และ Margot (2001) ได้ทำการศึกษาเขม่าปืนโดยศึกษาส่วนที่เป็นสารอนินทรีย์ในเขม่าปืน โดยทำการวิเคราะห์อนุภาคซึ่งสามารถตรวจวัดปริมาณและสิ่งที่แสดงลักษณะของเขม่าปืน ซึ่งวิเคราะห์โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM) เป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพมากสำหรับงานด้านนิติวิทยาศาสตร์ ซึ่งสามารถอธิบายลำดับเหตุการณ์ที่มีการยิงอาวุธปืน หรือสัมผัสกับบริเวณที่มีส่วนประกอบคล้ายเขม่าปืน การวิเคราะห์อนุภาคสามารถวิเคราะห์ในแต่ละอนุภาคโดยวิเคราะห์ทั้งลักษณะภายนอกและลักษณะของแต่ละธาตุ และได้กล่าวว่าในงานการตรวจเขม่าปืนในทางนิติวิทยาศาสตร์ไม่มีวิธีที่วิเคราะห์เฉพาะเจาะจง แต่ผลการวิเคราะห์ถ้าเป็นเขม่าปืนจะตรวจพบธาตุ 3 ธาตุ คือ ธาตุตะกั่ว แบเรียม และพลวงซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะที่พบในเขม่าปืนเท่านั้น

นอกจากนี้เขม่าปืนยังสามารถใช้บอกระยะยิงได้อีกด้วยจากการกระจายและพุ่งไปข้างหน้ากระบอกปืนพร้อมลูกกระสุนปืน ซึ่ง Cooper และคณะ (1994) ได้ทำการศึกษาโดยใช้อาวุธปืนขนาด 9 มม. และ .38 (ทั้งชนิด semi-auto และ revolver) มายิงและทำการตรวจวัด พบว่าถ้าเป็นอาวุธปืนแบบ Semi-auto ทั้งขนาด 9 มม. และ .38 เขม่าปืนสามารถพุ่งไปได้ไกลประมาณ 4 ฟุต หรือ 120 ซม. แต่ถ้าเป็นอาวุธปืนชนิด Revolver เขม่าปืนสามารถพุ่งไปได้ไกลประมาณ 3 ฟุต หรือ 90 ซม.

Steffen และคณะ (2007) ได้ทำการวิเคราะห์เขม่าปืนโดยใช้เครื่องมือ inductively coupled plasma - mass spectrometry พบว่าในการวิเคราะห์อนุภาคเขม่าปืนต้องคำนึงถึงเวลาที่เก็บตัวอย่างและการสกัดเอาเขม่าปืนออกมาจากมือผู้ยิง โดยการย่อยอนุภาคของเขม่าปืนด้วยกรดไนตริก (HNO_3)เวลาและระดับความเข้มข้นที่ใช้ย่อยอาจส่งผลต่อความแม่นยำในการตรวจวัดและทำให้เกิดการเสื่อมสภาพของตัวอย่างที่จะเอามาตรวจวัดได้

Goleb และคณะ (1975) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบวิธีการเก็บเขม่าปืนจากมือของอาสาสมัครที่ยิงปืน โดยใช้ transparent adhesive tape, plastic Film Lift, และสำลีพันปลายไม้ พบว่า transparent adhesive tape และสำลีพันปลายไม้ให้ผลการเก็บเขม่าปืนดีที่สุด คือให้ผลบวกประมาณ 90% และ 80% ตามลำดับ แต่การนำมาใช้ก็ต้องคำนึงถึงสภาพสังคมด้วย สำหรับประเทศไทยการเก็บด้วยสำลีพันปลายไม้ น่าจะเหมาะสมที่สุดเพราะสามารถใช้ได้ในทุกสถานที่ ทุกสถานการณ์ และราคาถูก

Koons และคณะ (1987) ศึกษาการวิเคราะห์เขม่าปืนจากวัสดุเก็บสะสมตัวอย่างโดยใช้เครื่องมือ flameless atomic absorption spectrophotometry: พิจารณาเกี่ยวกับวิธีการสกัดและเครื่องมือ ซึ่งวัสดุที่ใช้คือ plastic shafted swabs (Johnson & Johnson) ผลการทดลอง การเก็บรักษาตัวอย่างที่อุณหภูมิห้อง (20°C) เป็นเวลา 3 สัปดาห์ก่อนนำไปสกัด พบว่า

หลอดทดลองที่ปิดฝาไม่สนิทนั้นมีเปอร์เซ็นต์การสูญหายของสารมากกว่าหลอดทดลองที่ปิดฝาสนิท ดังนั้นการหาปริมาณความเข้มข้นของธาตุในวัสดุที่เก็บเขม่าปืนต้องทำให้วัสดุแห้งก่อนการวิเคราะห์ อิทธิพลของระยะเวลาที่ทำให้วัสดุแห้งพบว่า เปอร์เซ็นต์การคืนกลับของธาตุพลวงที่สกัดจากวัสดุซึ่งทำให้แห้งอย่างรวดเร็วให้เปอร์เซ็นต์การคืนกลับมากกว่าการทำให้แห้งอย่างช้าๆ ที่อุณหภูมิต่ำกว่า และการทดลองเปอร์เซ็นต์การคืนกลับของไม้พันสำลีที่ตัดด้ามจับพลาสติกออกและไม่ตัดด้ามจับพลาสติกออกนั้น พบว่าปริมาณที่วิเคราะห์ได้มีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนสารสกัดกรดไนตริกที่ความเข้มข้น 10% มีความเหมาะสมสำหรับเขม่าปืน เนื่องจากให้เปอร์เซ็นต์การคืนกลับของพลวงสูง การสกัดตัวอย่างที่อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมงเป็นอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมที่ให้เปอร์เซ็นต์การคืนกลับดีที่สุด ดังนั้นวิธีการสกัดที่ได้จากการทดลอง คือ การนำตัวอย่างเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลาข้ามคืนหรือจนกว่าตัวอย่างแห้ง แล้วเติม 2.00 ml. ของ 10% HNO_3 นำมา vortex ประมาณ 30 วินาที แล้วนำเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นนำมา vortex ประมาณ 30 วินาทีอีกครั้ง รอจนเย็นที่อุณหภูมิห้องแล้วจึงนำไปหมุนเหวี่ยงเป็นเวลา 5 นาทีเพื่อแยกสารละลายและวัสดุเก็บสะสม

Koons และคณะ (1989) ยังได้ทำการศึกษาการวิเคราะห์ในการเก็บสะสมเขม่าปืนด้วยการเช็ดจากมือโดยใช้เครื่อง flameless atomic absorption spectroscopy (FAAS) และ inductively coupled plasma - atomic emission spectrometry (ICP-AES) เกี่ยวกับผลกระทบของการสกัดและการเก็บสะสมที่ได้มาตรฐาน โดยทำการเก็บตัวอย่างที่ทราบปริมาณของธาตุแบเรียม, พลวงและตะกั่วด้วยไม้พันสำลี (cotton bud) ซึ่งมีปริมาณของพลวง 0.02 และ 0.2 µg. ส่วนแบเรียมและตะกั่วมีปริมาณ 0.1 และ 1.0 µg. ตามลำดับ และทำการวิเคราะห์พลวงและตะกั่วด้วยเครื่องมือ FAAS ส่วนแบเรียมวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือ ICP-AES ทำการสกัดตัวอย่างหลังจากเก็บตัวอย่างได้ 3, 7, 15, 22, 30, 45, 59, 92 และ 120 วันแล้วนำมาวัดปริมาณธาตุทั้ง 3 ชนิด พบว่า แบเรียม, พลวงและตะกั่วสามารถวัดค่าได้ใกล้เคียงกับปริมาณตั้งต้น แสดงให้เห็นว่าระยะเวลาในการเก็บรักษาตัวอย่างและระดับความชื้นที่ลดลงไม่มีผลในการสกัด แต่ทั้งนี้ตัวอย่างที่เก็บสะสมจะต้องไม่ได้รับการปนเปื้อนหรือสูญเสียตัวอย่าง

วีระวรรณและคณะ (2543) ได้ทำการเก็บตัวอย่างจากกลุ่มบุคคลากรภาควิชานิติเวชศาสตร์ นักศึกษาคณะแพทยศาสตร์ นักศึกษาคณะเทคนิคการแพทย์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ และเจ้าหน้าที่ตำรวจ ในการศึกษาได้ใช้อาวุธปืนและกระสุนปืนขนาด 9 มม. และเก็บเขม่าปืนจากฝ่ามือและหลังมือทั้งสองข้างทันที ทำการสกัดเขม่าปืนจากสำลีพันปลายไม้ด้วย 5% HNO_3 และทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GFAAS ผลการศึกษาพบว่ากลุ่มเจ้าหน้าที่ตำรวจตรวจพบปริมาณของเขม่าปืนสูงกว่ากลุ่มผู้ที่ไม่เกี่ยวข้องกับการใช้อาวุธปืนเช่น บุคคลากรและนักศึกษา สำหรับการตรวจหาปริมาณสารตกค้างเขม่าปืนจากผู้ยิงอาวุธปืนของสถาบันนิติวิทยาศาสตร์ตำรวจ สำนักงานตำรวจแห่งชาติ ใช้เพื่อการวินิจฉัยว่าสิ่งส่งตรวจนั้นเก็บจากมือที่ผ่านการใช้อาวุธปืนหรือไม่ โดยไม่ได้แยกชนิดของกระสุนปืนและกลุ่มอาชีพ ส่วน

ค่า cut off ที่ใช้บ่งชี้ถึงผู้ที่ผ่านการยิงปืนคือ ตะกั่ว ต้องมีการตรวจพบในปริมาณมากกว่า 200 ไมโครกรัมต่อลิตร, แบเรี่ยม ต้องมีการตรวจพบในปริมาณมากกว่า 200 ไมโครกรัมต่อลิตร และพลวงต้องมีการตรวจพบในปริมาณมากกว่า 20 ไมโครกรัมต่อลิตร(เจริญ ปานคล้าย, 2550)

จากรายงานการวิจัย Flynn และคณะ (1998) ชนิดของกระสุนปืนที่ต่างกันอาจมีแก๊ปปืนที่ต่างกันได้ พบว่ากระสุนปืนพกชนิด Dynamit Nomel (Sintox) 9 mm Luger ประเทศฟินแลนด์ ไม่มี Pb และ Sb เป็นองค์ประกอบ แต่มี Zn, Cu และ Ti เป็นองค์ประกอบแทน ในขณะที่ กระสุนชนิด Winchester 9 mm NATO, Winchester 9 mm Luger จากประเทศสหรัฐอเมริกา กระสุนชนิด Norma 9 mm Luger จากประเทศสวีเดน และกระสุนชนิด Dynamit Nobel (RWS-Geco) 9 mm Luger จากประเทศเยอรมัน มีทั้ง Pb, Ba, Sb เป็นองค์ประกอบ

Lubor และ Tomas (2005) ทำการศึกษาช่วงเวลาการคงอยู่ของอนุภาคเขม่าปืนภายหลังการยิงปืน หลังการยิงด้วยปืนพกสั้น และอาวุธปืนรีวอลเวอร์ โดยใช้อาวุธปืนพกสั้นยี่ห้อ CZ รุ่น 85 ขนาด 9 มม. Luger กับกระสุนปืนขนาด 9 มม. Luger FMJ Sellier&Bellot, อาวุธปืนพกสั้น ยี่ห้อ CZ รุ่น 70 ขนาด 7.65 มม. Browning (.32 ACP) กับกระสุนปืนขาด 7.65 มม. Browning FMJ Sellier&Bellot และอาวุธปืนรีวอลเวอร์ ยี่ห้อ S&W รุ่น 60 ความยาวลำกล้อง 2-1/880 ขนาด .38 special กับกระสุนปืนยี่ห้อ Sellier&Bellot (FMJ) ผลของการศึกษาชี้ให้เห็นถึงพฤติกรรมของอนุภาคเขม่าปืนที่ยังคงอยู่ภายหลังการยิงปืนหนึ่งนัด โดยอนุภาคเขม่าปืนที่ตกลงหลังการยิงปืน จากการทดลองนี้ถูกยืนยันว่าอนุภาคของเขม่าปืนจะยังคงอยู่ในอากาศเป็นช่วงเวลาหนึ่งภายหลังการยิงปืน ดังนั้นจึงเสี่ยงที่จะมีการปนเปื้อนของบุคคลซึ่งเข้ามาในสถานที่เกิดเหตุหลังการยิงปืนหลาย ๆนาที ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเมื่อใช้อาวุธปืนพกสั้นกึ่งอัตโนมัติมีความเป็นไปได้ที่การปนเปื้อนยังคงอยู่นานประมาณ 8 นาทีภายหลังการยิงปืน และเมื่อใช้อาวุธปืนรีวอลเวอร์เป็นไปได้ที่การปนเปื้อนจะเกิดยาวนานกว่ามากถึง 10 นาทีหลังการยิงปืน ชนิดของอาวุธปืน และกระสุนปืนที่ใช้มีผลต่อเวลาหลังยิงปืนซึ่งเสี่ยงต่อการปนเปื้อนที่ระยะเวลายาวนานหรือน้อยกว่า

การใช้สัดส่วนของธาตุในการระบุและจำแนกประเภทกลุ่มตัวอย่างถูกนำมาใช้ในทางนิติวิทยาศาสตร์ ในปี 1978 Blanchard พยายามจำแนกกระดาษโดยใช้สัดส่วนระหว่างธาตุซาแมเรียมและสแคนเดียมที่เป็นส่วนผสมในการทำกระดาษในการจำแนกสามารถระบุได้ว่ากระดาษตัวอย่างมีแหล่งที่มาจากที่เดียวกัน

Havekost และคณะ (1990) ได้นำการใช้สัดส่วนระหว่างแบเรี่ยมและพลวงมาใช้เพื่อแยกระหว่างผู้ที่ยิงปืนและไม่ได้ยิงปืน จากการศึกษา 230 ตัวอย่างของผู้ที่ไม่ได้ยิงปืนมาก่อนพบว่าหากสัดส่วนระหว่างแบเรี่ยมกับพลวงไม่เกิน 10 สามารถบ่งชี้ได้ว่าเป็นปริมาณที่ตรวจวัดได้จากผู้ที่ไม่เคยผ่านการยิงปืนมาก่อน และหากสัดส่วนเกิน 10 น่าจะผ่านการยิงปืนมาแล้ว

Piya และคณะ (2007) ศึกษาองค์ประกอบของโลหะบนหัวกระสุนปืนชนิดต่าง ๆ ที่ผ่านการยิง โดยใช้กระสุนปืนสามชนิด คือ lead bullets, semi-jacketed bullets และ full metal jacket bullets ตรวจวิเคราะห์ธาตุโลหะ 4 ชนิด ได้แก่ ตะกั่ว ทองแดง สังกะสี นิกเกิล ผลการศึกษาพบว่าที่ผิวของหัวกระสุนทั้ง 3 ชนิดมีสังกะสีและนิกเกิลอยู่ในปริมาณที่น้อยมากในขณะที่ตะกั่วและทองแดงเป็นธาตุที่พบว่ามีปริมาณสูง อย่างไรก็ตาม ลำพังตะกั่วหรือทองแดงแต่เพียงอย่างเดียวนั้น แม้ทั้งสองธาตุจะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างหัวกระสุนทั้ง 3 ชนิด แต่ก็ไม่สามารถนำมาใช้ในการแยกแยะหัวกระสุนทั้งสามออกจากกันได้ มีเพียงสัดส่วนของธาตุทั้งสองกล่าวคือ ตะกั่ว/ทองแดงเท่านั้นที่มีศักยภาพในการแยกหัวกระสุนดังกล่าวออกจากกัน

(ศรุต, 2008) ได้ทำการยิงปืนในพื้นที่ปิด จากผลการทดลองพบว่า จำนวนอนุภาคของเขม่าปืนของปืนขนาด 9 มม. มีจำนวนโดยรวมมากกว่าอนุภาคของเขม่าปืนของปืนขนาด .38 ค่อนข้างมาก อาจเป็นเพราะกระสุนขนาด .38 เป็นกระสุนแรงดันต่ำ ทำให้อาจจะเกิดการเผาไหม้ไม่หมดของแก๊ปปืน เขม่าปืนจึงเกิดไม่สมบูรณ์ทั้งหมดต่างกับกระสุนปืนขนาด 9 มม. ซึ่งเป็นกระสุนแรงดันสูง จึงเกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์กว่า น่าจะทำให้เกิดจำนวนอนุภาคของเขม่าปืนที่มากกว่า

การจะพิจารณาโดยนำปริมาณเขม่าปืนที่เป็นค่ามาตรฐานทั่วไปมาใช้จึงต้องระวังมาก และมีปัจจัยอื่นๆที่เป็นอุปสรรคในการวิเคราะห์เขม่าปืน เช่น สภาวะการสกัดเขม่าปืน สภาวะของเครื่องมือตรวจวัด วิธีการเก็บและรักษาตัวอย่าง การปนเปื้อน การวิเคราะห์และแปลผลข้อมูล ซึ่งการศึกษาปัจจัยเหล่านี้จะทำให้กระบวนการวิเคราะห์มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

ในประเทศไทยอาวุธปืนที่นิยมใช้ คืออาวุธปืนพก 9 มม. และ 11 มม.และอาวุธปืนลูกโม่ขนาด .38 และ .357 ดังนั้นจึงควรศึกษาหาปริมาณของเขม่าปืนของกระสุนปืนแต่ละขนาดเพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานที่สามารถใช้ค่า cut off ในการช่วยแยกผู้ยิงและผู้ที่ไม่ได้ยิงอาวุธปืนได้

การศึกษานี้จึงจำเป็นต้องศึกษาวิธีในการเตรียมตัวอย่างสิ่งส่งตรวจและศึกษาสภาวะของเครื่องมือเพื่อที่จะวิเคราะห์ธาตุโลหะ 6 ชนิด คือ ตะกั่ว(Pb), แบเรี่ยม(Ba), พลวง(Sb), ทองแดง(Cu), นิกเกิล(Ni) และแมงกานีส(Mn) ซึ่งเป็นธาตุองค์ประกอบของเขม่าปืนและศึกษาการตรวจวัดปริมาณเขม่าปืนโดยสามารถใช้เป็นค่าอ้างอิงในการแยกชนิดของกระสุนปืนและใช้แยกระหว่างผู้ยิงและผู้ที่ไม่ได้ยิงอาวุธปืนได้

1.3 วัตถุประสงค์

1.3.1 ศึกษาสภาวะของการสกัด สภาวะของเครื่องมือและวิธีการตรวจวิเคราะห์ธาตุโลหะ 6 ชนิดที่เป็นองค์ประกอบเขม่าปืน

1.3.2 ศึกษาหาปริมาณของเขม่าปืนจากลูกกระสุนปืนชนิดต่างๆที่สามารถตรวจพบบนมือของผู้ยิงปืนทันทีหลังการยิงปืน

1.3.3 ศึกษาหาค่า cut off ของเขม่าปืนเพื่อใช้แยกกลุ่มผู้ยิงปืนกับไม่ได้ยิงปืนในปืนพกขนาด 9, 11 มม. ปืนลูกโม่ขนาด .357 และปืนลูกซองเบอร์ 12 จากกระสุนปืนหนึ่งยี่ห้อ

1.3.4 ทดสอบความเหมาะสมของค่า cut off เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการตรวจเขม่าปืน

บทที่ 2

วิธีการวิจัย

2.1 สารเคมี

2.1.1 สารละลายมาตรฐานพลวง (Sb 1,000 ppm, Sigma, St. Louis, Mo, USA)

2.1.2 สารละลายมาตรฐานแบเรียม (Ba 1,000 ppm, Sigma-Aldrich, Steinheim, Germany)

2.1.3 สารละลายมาตรฐานตะกั่ว (Pb 1,000 ppm, Merck, Damstadt, Germany)

2.1.4 สารละลายมาตรฐานทองแดง (Cu 1,000 ppm, BDH, Poole, England)

2.1.5 สารละลายมาตรฐานนิกเกิล (Ni 1,000 ppm, Merck, Damstadt, Germany)

2.1.6 สารละลายมาตรฐานแมงกานีส (Mn 1,000 ppm, Merck, Damstadt, Germany)

2.1.7 สารละลายกรดไนตริก (conc. HNO_3, Suprapure grade, Merck, Damstadt, Germany)

2.1.8 Chemical modifiers : Ammonium dihydrogen orthophosphate(5mg/mL), Nickel nitrate(50-1000 µg/mL)

2.1.9 DI Water จากเครื่อง Milli- Q® (Millipore Corp, Milford, MA,USA)

2.1.10 Argon Gas 99.99% (TIG, Samutprakarn, Thailand)

2.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

2.2.1 Zeeman Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrometer (ZGF-AAS)/ GTA – 100 Graphite Tube Atomizer / Autosampler (SpectrAA 800 series, Varian, Victory, Australia) โดยใช้ software SpectrAA880Z version 2.10 ผ่านคอมพิวเตอร์ควบคุมบนระบบปฏิบัติการ Window Me และ Single Element Hollow Cathode Lamp (Varian, Victory, Australia)

2.2.2 ปิเปต

2.2.3 เครื่องแก้วที่ผ่านการทำความสะอาดด้วยการแช่ 20% HNO_3 ข้ามคืนและล้างด้วย DI Water

2.2.4 ไม้พันสำลี (Evergreen, Bangkok, Thailand), กรรไกร, ถุงมือ, เครื่องแก้วที่ผ่านการทำความสะอาดด้วยการแช่ 20% HNO_3 ข้ามคืนและล้างด้วย DI Water

2.2.5 อาวุธปืนพกและเครื่องกระสุนปืนขนาด 9 มม. (HK-USP, USA) ความยาวกระบอกปืน 4 นิ้ว

2.2.6 อาวุธปืนพกและเครื่องกระสุนปืนขนาด 11 มม. (Colt, Italy) ความยาวกระบอกปืน 5 นิ้ว

2.2.7 อาวุธปืนลูกโม่และเครื่องกระสุนปืนขนาด .357 (Smith & Westson, USA) ความยาวกระบอกปืน 4 นิ้ว

2.2.8 อาวุธปืนลูกซองและเครื่องกระสุนปืนลูกซองยาวเบอร์ 12 (Remington, USA) ความยาวกระบอกปืน 20 นิ้ว

2.2.9 กระสุนปืนขนาด 9 มม, 11 มม, .357 และกระสุนปืนลูกซองเบอร์ 12 ยี่ห้อ Bullet Master (Samutprakarn, Thailand)

2.3 วิธีดำเนินการ

2.3.1 ขอบเขตและวิธีการศึกษา

1. ศึกษาอุณหภูมิในการเร่งสภาวะการแตกตัวของอะตอม (Atomize State) ที่เหมาะสมที่สุดของธาตุโลหะ Pb, Ba, Sb, Cu, Ni ที่ความเข้มข้น 25, 50 และ 100 ppb. และ Mn 2, 4 และ 6 ppb ซึ่งละลายใน 10% HNO_3 เท่ากัน และเลือกเปรียบเทียบอุณหภูมิในการเร่งสภาวะการแตกตัวของอะตอม โดยพิจารณาจากอุณหภูมิที่ให้ค่าการดูดกลืนแสงที่ดีที่สุด ดังนี้

- เปรียบเทียบอุณหภูมิในการเร่งสภาวะการแตกตัวของอะตอม Pb ที่ 1900, 2100 และ 2300°C
- เปรียบเทียบอุณหภูมิในการเร่งสภาวะการแตกตัวของอะตอม Ba ที่ 2600, 2800 และ 3000°C
- เปรียบเทียบอุณหภูมิในการเร่งสภาวะการแตกตัวของอะตอม Sb ที่ 2100, 2300 และ 2500°C
- เปรียบเทียบอุณหภูมิในการเร่งสภาวะการแตกตัวของอะตอม Cu ที่ 2300, 2500 และ 2700°C
- เปรียบเทียบอุณหภูมิในการเร่งสภาวะการแตกตัวของอะตอม Ni ที่ 2400, 2600 และ 2800°C
- เปรียบเทียบอุณหภูมิในการเร่งสภาวะการแตกตัวของอะตอม Mn ที่ 2300, 2500 และ 2700°C

2. ศึกษาวิธีการสกัดเพื่อชะธาตุโลหะ Pb, Ba, Sb, Cu, Ni ความเข้มข้น 25, 50 และ 100 ppb และ Mn 2, 4 และ 6 ppb ซึ่งละลายใน 10% HNO_3 ออกจากสำลีพันปลายไม้

โดยทำการเปรียบเทียบวิธีการสกัดที่แตกต่างกัน 4 วิธี และเลือกวิธีการสกัดที่ดีที่สุดโดยการพิจารณาจากร้อยละการคืนกลับ ซึ่งวิธีการสกัดประกอบด้วย

- การอบที่อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง (Koon *et al*, 1987)
- การอบที่อุณหภูมิ 50°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
- การกระแทกด้วยคลื่นเสียงความถี่สูง (Sonication) เป็นเวลา 30 นาที (ปรางดาว, 2551)
- การกระแทกด้วยคลื่นเสียงความถี่สูง (Sonication) เป็นเวลา 30 นาที ร่วมกับการอบที่อุณหภูมิ 50°C เวลา 2 ชั่วโมง

3. ศึกษาความเข้มข้นของกรดไนตริก (HNO_3)ที่ใช้ในการสกัดธาตุโลหะ Pb, Ba, Sb, Cu, Ni และ Mn ที่ความเข้มข้น 25, 50 และ 100 ppb. เท่ากัน โดยเปรียบเทียบการสกัดด้วย HNO_3 ที่ความเข้มข้น 2.5%, 5.0%, 10.0% และเลือกความเข้มข้นของ HNO_3 ที่เหมาะสมโดยการพิจารณาจากร้อยละการคืนกลับ

4. ค่า Validation Data จากการทำกราฟมาตรฐาน (Standard calibration curve) รวมทั้งผลการรบกวนของเนื้อสาร (matrix interference), ค่าขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์ (Limit of detection), ค่าขีดจำกัดต่ำสุดของการหาปริมาณ (Limit of quantification), ร้อยละการคืนกลับ (%Recovery) และค่าความเที่ยง (Precision)

5. การหาปริมาณของธาตุโลหะที่เป็นองค์ประกอบของเขม่าปืนเพื่อหาค่า cut off จากกลุ่มควบคุมที่ไม่ได้ทำการยิงปืนมาก่อน

6. การหาปริมาณของธาตุโลหะที่เป็นองค์ประกอบของเขม่าปืนจากกลุ่มยิงปืน การหาจำนวนของผู้ยิงปืนที่ให้ผลบวกจากค่า cut off ของธาตุโลหะในรูปร้อยละ และการศึกษาค่าความไว(Sensitivity) ของค่า cut off

7. การศึกษาสัดส่วนระหว่างปริมาณของธาตุโลหะที่เป็นองค์ประกอบของเขม่าปืนเพื่อแยกชนิดของกระสุนปืน

2.3.2 การประเมินสภาวะของการสกัดและวิธีการตรวจวิเคราะห์

2.3.2.1 การเตรียม Nitric Acid (HNO_3)

เตรียม 5% HNO_3 Suprapure grade เตรียมจาก 65% HNO_3 เจือจางด้วย DI Water

2.3.2.2 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน

1. แอนติโมนี (Sb) เตรียมจาก Stock solution ความเข้มข้น 1000 ppm เจือจางด้วย 5% HNO_3 ให้ได้ระดับความเข้มข้น 20, 40 และ 100 ppb และ modifier Nickel nitrate

2. แบเรียม (Ba) และตะกั่ว (Pb)เตรียมจาก Stock solution ความเข้มข้น 1000 ppm เจือจางด้วย 5% HNO_3 ให้ได้ระดับความเข้มข้น 20, 60, และ 100 ppb และ modifier สำหรับตะกั่ว Ammonium dihydrogen orthophosphate

3. ทองแดง (Cu) และนิกเกิล (Ni) เตรียมจาก Stock solution ความความเข้มข้น 1000 ppm เจือจางด้วย 5% HNO_3 ให้ได้ระดับความเข้มข้น 10, 20 และ 30 ppb

4. แมงกานีส (Mn) เตรียมจาก Stock solution ความเข้มข้น 1000 ppm เจือจางด้วย 5% HNO_3 ให้ได้ระดับความเข้มข้น 2, 4 และ 6 ppb

2.3.2.3 การเตรียมตัวอย่างวิเคราะห์

1. นำสำลีพันปลายไม้ที่หยดสารมาตรฐานในแต่ละความเข้มข้นใส่ในหลอดแก้วอบที่อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 10 ชม.

2. นำสำลีพันปลายไม้ออกจากตู้อบใส่ลงในหลอดทดลองและเติม 10% HNO_3 ปริมาณ 3 ml จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 2 ชม. (Koon et al, 1987)

3. นำสำลีพันปลายไม้มาปั่นเพื่อให้สำลีหลุดออกมา และนำไปปั่นหมุนเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 500 ×g เป็นเวลา 10 นาที

4. นำของเหลวใสมาทำการวิเคราะห์

2.3.3 การศึกษาการรบกวนของเนื้อสาร (matrix interference) และกราฟมาตรฐาน (Standard calibration curve)

ศึกษาผลการรบกวน (matrix interference) โดยเปรียบเทียบความชันและจุดตัดแกน y ของสมการเส้นตรงระหว่างสารมาตรฐานที่ละลายใน HNO_3 เปรียบเทียบกับสารมาตรฐานที่สกัดจากสำลีพันปลายไม้ โดยกราฟเส้นตรงอยู่ในช่วงความเข้มข้นและสกัดดังนี้

1. พลวง (Sb) ที่ความเข้มข้น 60, 40 และ 20 ppb ใน 5% HNO_3 (spike สารมาตรฐานโดยตรง) และใน 5% HNO_3 ที่สกัดจากสำลีพันปลายไม้หลังจากอบที่อุณหภูมิ 80°C นาน 2 ชั่วโมง

2. แบเรียม (Ba) และตะกั่ว (Pb) ที่ความเข้มข้น 100, 60 และ 20 ppb ใน 5% HNO_3 (spike สารมาตรฐานโดยตรง) และใน 5% HNO_3 ที่สกัดจากสำลีพันปลายไม้หลังจากอบที่อุณหภูมิ 80°C นาน 2 ชั่วโมง

3. ทองแดง (Cu) และนิกเกิล (Ni) ที่ความเข้มข้น 100, 60 และ 20 ppb ใน 5% HNO_3 (spike สารมาตรฐานโดยตรง) และใน 5% HNO_3 ที่สกัดจากสำลีพันปลายไม้หลังจากอบที่อุณหภูมิ 80°C นาน 2 ชั่วโมง

4. แมงกานีส (Mn) ที่ความเข้มข้น 6, 4 และ 2 ppb ใน 5% HNO_3 (spike สารมาตรฐานโดยตรง) และใน 5% HNO_3 ที่สกัดจากสำลีพันปลายไม้หลังจากอบที่อุณหภูมิ 80°C นาน 2 ชั่วโมง

2.3.4 การศึกษาค่าขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์ (Limit of detection) และค่าขีดจำกัดต่ำสุดของการหาปริมาณ (Limit of quantification)

ค่าขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์ (LOD) คือ ความเข้มข้นต่ำสุดที่เครื่องมือสามารถวัดได้ โดยปกติเป็นที่ยอมรับกันว่าสัญญาณมากกว่า 3 เท่าของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการวัด blank (3σ หรือ $3S_B$) และค่าขีดจำกัดต่ำสุดของการหาปริมาณ (LOQ) คือ ความเข้มข้นต่ำสุดที่เครื่องสามารถอ่านค่าได้ ซึ่งเป็นที่ยอมรับกันว่าสัญญาณมากกว่า10 เท่าของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการวัด blank (10σ หรือ $10S_B$) (Taylor, 1987) ในการศึกษานี้ ทำการหาค่าขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์และค่าขีดจำกัดต่ำสุดของการหาปริมาณ โดยสร้างกราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานพลวงที่ความเข้มข้น 60, 40 และ 20 ppb ตะกั่วและแบเรียมที่ความเข้มข้น 100, 60 และ 20 ppb ทองแดงและนิกเกิลที่ความเข้มข้น 30, 20 และ 10 ppb และแมงกานีสที่ความเข้มข้น 6, 4 และ 2 ppb เพื่อหาค่าความชันของกราฟมาตรฐาน โดยกราฟมาตรฐานได้จากค่าระหว่าง ค่าการดูดกลืนแสงกับค่าความเข้มข้นของแต่ละธาตุ จากนั้นวัดสัญญาณของ blank 10 ซ้ำ เพื่อหาค่าเฉลี่ยของ blank (X_B) และหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของ blank (S_B) แล้วนำมาคำนวณได้จากสูตรตามวิธีการของ IUPAC (Long and Wirefordner, 1983)

การหาค่าสัญญาณจากการวิเคราะห์ที่ต่ำที่สุด (X_L) สามารถคำนวณได้จาก

$$X_L = X_B + kS_B \qquad \text{------ (1)}$$

เมื่อ k คือ จำนวนคงที่ซึ่งพิจารณาจากระดับความต้องการ ค่าขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์ (C_L) หาได้จาก X_L

$$C_L = (X_L - X_B)/ m \qquad \text{------ (2)}$$

เมื่อ m คือ ความชันของกราฟมาตรฐานที่ได้จากการวิเคราะห์ เพราะค่าเฉลี่ยของ blank อ่านได้จาก X_B ซึ่งเท่ากับ 0 สัญญาณถูกต้องไม่มี background โดยแทนสูตร 1 ในสูตร 2 จะได้การหาค่าขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์(LOD) สามารถคำนวณได้จาก

$$C_L = kS_B / m$$

เมื่อ C_L = ค่าความเข้มข้นของค่าขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์

k = 3 (3 คือ ค่าสัญญาณมากกว่า 3 เท่าของ blank)

S_B = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการวัด blank

m = ความชันของกราฟมาตรฐานที่ได้จากการวิเคราะห์

การหาค่าขีดจำกัดต่ำสุดของการหาปริมาณ (LOQ) สามารถคำนวณได้จาก

$$C_L = kS_B / m$$

เมื่อ C_L = ค่าความเข้มข้นของค่าขีดจำกัดต่ำสุดของการหาปริมาณ

k = 10 (10 คือ ค่าสัญญาณมากกว่า 10 เท่าของ blank)

S_B = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการวัด blank

m = ความชันของกราฟมาตรฐานที่ได้จากการวิเคราะห์

2.3.5 การศึกษาร้อยละการคืนกลับ (%Recovery)

การหาร้อยละการคืนกลับ เพื่อทำการตรวจสอบการได้คืนกลับของการตรวจวัดปริมาณธาตุและทดสอบผลการรบกวนระหว่างสารมาตรฐานที่ละลายใน HNO_3 เปรียบเทียบกับสารมาตรฐานที่สกัดจากสำลีพันปลายไม้ เตรียมโดยการหยดสารละลายมาตรฐานของธาตุ Pb, Ba, Sb, Cu, Ni และ Mn ลงในสำลีพันปลายไม้ธาตุละ 3 ความเข้มข้นและสกัดความเข้มข้นละ 5 ตัวอย่าง จากนั้นทำการตรวจวัดตัวอย่างละ 3 ซ้ำ โดยคำนวณร้อยละการคืนกลับ (%recovery) ได้จากสมการ

$$\%\text{Recovery} = \frac{\text{ความเข้มข้นที่วัดได้}}{\text{ความเข้มข้นที่ทราบค่าจริง}} \times 100$$

ตารางที่ 1 แสดงค่าร้อยละการคืนกลับที่ยอมรับได้ในช่วงความเข้มข้นต่างๆ

ความเข้มข้น (µg/ml)	Mean Recovery (%)
100	90 – 107
10	80 – 110
1	80 – 110
0.1	80 – 110
0.01	60 – 115
0.001	40 – 120

ที่มา: Taverniers *et al*, 2004

2.3.6 การศึกษาหาค่าความเที่ยง (Precision)

ค่าความเที่ยงเป็นค่าความใกล้เคียงของปริมาณสารที่ตรวจวัดได้จากการตรวจวัดซ้ำหลายๆครั้ง ค่าความเที่ยงของการวิเคราะห์ภายในวันเดียวกัน (Intraday) และระหว่าง (Interday) เตรียมโดยการเติมสารละลายมาตรฐานของธาตุ Pb, Ba, Sb, Cu, Ni และ Mn ลงในสำลีพันปลายไม้ธาตุละ 3 ความเข้มข้นและสกัดความเข้มข้นละ 5 ตัวอย่าง จากนั้นทำ

การตรวจวัดตัวอย่างละ 3 ซ้ำ ให้ผลแสดงในรูปร้อยละของค่าสัมประสิทธิ์ของความแปรปรวน (%Coefficient of variation) หรือ %CV ซึ่งคำนวณได้ดังสมการ

$$\%CV = \frac{S.D.}{\bar{x}} \Delta 100$$

โดยหลักเกณฑ์การพิจารณา คือ ค่า CV Ω 10 หมายถึง ดี, 10 $\{$ C.V. $\{$ 15 หมายถึง พอใช้, C.V. $\varnothing$15 หมายถึง ปรับปรุง

(**ที่มา**: Taverniers *et al*, 2004)

2.3.7 การหาปริมาณของเขม่าปืน

2.3.7.1 การเตรียมสารละลายมาตรฐานและทำกราฟมาตรฐาน

1. พลวง (Sb) เตรียมจาก Stock solution ความเข้มข้น 1000 ppm เจือจางด้วย 5% HNO_3 ให้ได้ระดับความเข้มข้น 60, 40 และ 20 ppb

2. แบเรียม (Ba) เตรียมจาก Stock solution ความเข้มข้น 1000 ppm เจือจางด้วย 5% HNO_3 ให้ได้ระดับความเข้มข้น 100, 60 และ 20 ppb

3. ตะกั่ว (Pb) เตรียมจาก Stock solution ความเข้มข้น 1000 ppm เจือจางด้วย 5% HNO_3 ให้ได้ระดับความเข้มข้น 100, 60 และ 20 ppb

4. ทองแดง (Cu) เตรียมจาก Stock solution ความเข้มข้น 1000 ppm เจือจางด้วย 5% HNO_3 ให้ได้ระดับความเข้มข้น 30, 20 และ 10 ppb

5. นิกเกิล (Ni) เตรียมจาก Stock solution ความเข้มข้น 1000 ppm เจือจางด้วย 5% HNO_3 ให้ได้ระดับความเข้มข้น 30, 20 และ 10 ppb

6. แมงกานีส (Mn) เตรียมจาก Stock solution ความเข้มข้น 1000 ppm เจือจางด้วย 5% HNO_3 ให้ได้ระดับความเข้มข้น 6, 4 และ 2 ppb

2.3.8 การคำนวณกลุ่มประชากรตัวอย่าง

การคำนวณกลุ่มประชากรตัวอย่าง อ้างอิงจากงานวิจัยของวีระวรรณและคณะ (2543) จากกลุ่มประชากรที่ยิงปืนโดยก่อนยิงปืนและหลังยิงปืนจำนวน 1 นัด คำนวณจากแต่ละธาตุคือ ตะกั่ว แบเรี่ยม แอนติโมนี ในปืนชนิด ปืนลูกโม่ โดยใช้โปรแกรม R Version 2.6.2 และใช้ Package: epicalc Version 2.6.1.5 ในการคำนวณหาขนาดตัวอย่างแบบ การประมาณขนาดตัวอย่างสำหรับการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับค่าเฉลี่ยของประชากร 2 กลุ่ม(Two-sample mean) ก่อนยิงปืนและหลังยิงปืนกรณีทราบความแปรปรวนของประชากร โดยทดสอบค่าความแม่นยำที่ได้(precision) ใช้ N+10%

$$n = 2\sigma^2 [(z_{\alpha/2} + z_{\beta})^2] / (\mu_1 - \mu_2)^2$$ ..... (Fleiss, 1986)

โดย σ^2 = variance of study outcome

$z_{\alpha/2}$ = 95 % confidence = 1.96

z_{β} = Type II – error (not more than 10 %) = 1.28

μ_1 = mean of study outcome in first group

μ_2 = mean of study outcome in second group

โดย μ_1 = ค่าเฉลี่ยปริมาณธาตุโลหะที่ตรวจพบบนมือก่อนยิงปืน

μ_2 = ค่าเฉลี่ยปริมาณธาตุโลหะที่ตรวจพบบนมือหลังยิงปืน

จากการคำนวณกลุ่มประชากรตัวอย่าง (n) ที่ใช้ในการวิเคราะห์ พบว่า ธาตุตะกั่ว = 18, ธาตุแบเรี่ยม = 2, ธาตุพลวง = 14, ดังนั้น N ± 10% เป็นดังนี้

ธาตุตะกั่ว = 18 ± 1.8 ≈ 20 คน

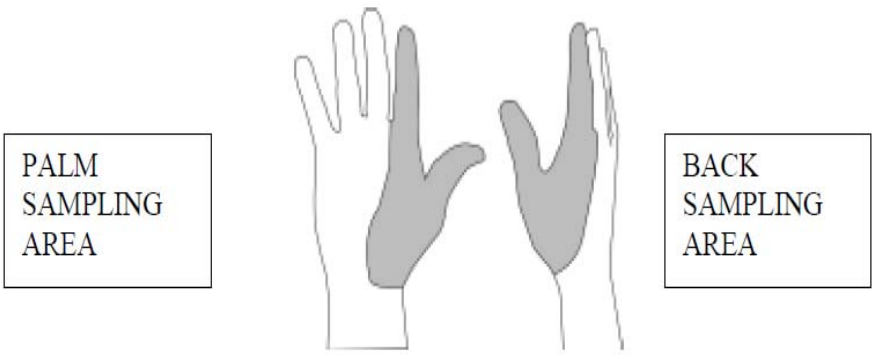
ธาตุแบเรี่ยม = 2 ± 0.2 ≈ 3 คน

ธาตุพลวง = 14 ± 1.4 ≈ 16 คน

ดังนั้นการใช้ประชากรจำนวน 20 คน จึงจะเพียงพอในการแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติระหว่างกลุ่มผู้ยิงปืนและกลุ่มผู้ไม่ได้ยิงปืน

กลุ่มประชากรที่ทำการศึกษา

กลุ่มควบคุม คือ นักศึกษาถนัดมือขวาจำนวน 20 คน ซึ่งไม่เคยผ่านการยิงปืนมาก่อนโดยเช็ดบริเวณหน้ามือและหลังมือทั้งสองข้างด้วยไม้พันสำลีชุบ 5% HNO_3 หมาด ๆ เก็บในหลอดแก้ว เก็บรักษาด้วยการอบที่อุณหภูมิ 80°C, 10 ชม.



ภาพประกอบที่ 10 แสดงบริเวณที่ทำการเช็ดตัวอย่างให้มีประสิทธิภาพจากหน้ามือและหลังมือของกลุ่มควบคุม

กลุ่มยิงปืน คือ นักศึกษาถนัดมือขวาจำนวน 20 คน ซึ่งไม่เคยผ่านการยิงปืนมาก่อน โดยควบคุมท่ายิงให้ยิงในท่ายืนจับปืนด้วยมือขวาและประคองปืนด้วยมือซ้าย ยิงปืนคนละ

1 นัด ในสนามยิงปืนที่โล่ง สภาพอากาศปกติ ไม่มีฝนหรือลมแรง จากนั้นเก็บตัวอย่างโดยใช้ไม้พันสำลีชุบ 5% HNO_3 หมาด ๆ เช็ดบริเวณหลังมือทั้งสองข้าง เก็บรักษาด้วยการอบที่อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 10 ชม.เพื่อทำให้แห้งก่อน ตามการศึกษาของ koon และคณะ(1987) พบว่าร้อยละการคืนกลับของพลวงที่ทำการอบให้แห้งก่อนมากกว่าการอบให้แห้งช้า โดยการยิงปืนแต่ละขนาดห่างกัน 1 อาทิตย์ เพื่อป้องกันการปนเปื้อนจากกระสุนปืนแต่ละชนิดจนครบทั้ง 4 ชนิด

การเตรียมตัวอย่างวิเคราะห์

1. นำสำลีพันปลายไม้ชุบ 5% HNO_3 พอหมาดๆ จากนั้นทำการเช็ดมาจากหลังมือผู้ยิงปืนแล้วนำใส่ในหลอดแก้วอบที่อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 10 ชม.

2. นำสำลีพันปลายไม้ออกจากตู้อบใส่ลงในหลอดทดลองและเติม 5% HNO_3 ปริมาณ 3 ml จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 2 ชม. (Koon et al, 1987)

3. นำสำลีพันปลายไม้มาปั่นเพื่อให้สำลีหลุดออกมา และนำไปปั่นหมุนเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 500 ×g เป็นเวลา 10 นาที

4. นำของเหลวใสมาทำการวิเคราะห์

การคำนวณผลบวกและค่าความไว(Sensitivity)

$$\text{sensitivity} = \frac{\text{number of True Positives}}{\text{number of True Positives} + \text{number of False Negatives}}$$

		Condition (as determined by " Gold standard ")		
		Positive	***Negative***	
Test outcome	***Positive***	True Positive	False Positive (Type I error , P-value)	→ Positive predictive value
	Negative	False Negative (Type II error)	True Negative	→ Negative predictive value
		↓ Sensitivity	↓ Specificity	

ภาพประกอบที่ 11 แสดงการหาผลบวกและค่าความไว(Sensitivity)

http://en.wikipedia.org/wiki/Diagnostic_test

2.3.9 การศึกษาหาสัดส่วนระหว่างปริมาณธาตุโลหะกับชนิดกระสุนปืน

ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนของปริมาณของธาตุโลหะแต่ละชนิดในกระสุนปืนต่างชนิดเพื่อนำมาใช้ในการแยกชนิดของกระสุนปืนและเพื่อที่จะดูว่าสัดส่วนของกลุ่ม

โลหะดังกล่าวว่าสัมพันธ์กับชนิดของลูกกระสุนปืนหรือไม่ โดยนำข้อมูลมาวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธี one way - ANOVA เพื่อดูความแตกต่างของสัดส่วนปริมาณธาตุกับชนิดลูกกระสุนปืน

2.3.10 การวิเคราะห์ข้อมูล

2.3.10.1 การประเมินสภาวะของอุณหภูมิในการเร่งสภาวะการแตกตัวของอะตอม

ใช้โปรแกรม Microsoft Excel คำนวณหาค่าเฉลี่ย, ค่าเบี่ยงเบียนมาตรฐานของค่าการดูดกลืนแสงของแต่ละธาตุโลหะ (scale expansion mode, software SpectrAA880Z version 2.10)

2.3.10.2 การประเมินการศึกษาการรบกวนของเนื้อสารและกราฟมาตรฐาน

ใช้โปรแกรม Microsoft Excel วิเคราะห์กราฟมาตรฐานและวิเคราะห์ข้อมูลความแตกต่างทางสถิติของค่าความชัน (slope) และจุดตัดแกน y (intercept) โดยวิธี paired sample T- test

2.3.10.3 การศึกษาค่าความเที่ยงและร้อยละการคืนกลับ

ใช้โปรแกรม Microsoft Excel คำนวณหาค่าเฉลี่ยร้อยละการคืนกลับ (%Recovery) และร้อยละของค่าสัมประสิทธิ์ของความแปรปรวน (%CV)

2.3.10.4 การหาปริมาณของเขม่าปืน

ใช้โปรแกรม Microsoft Excel คำนวณหาค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบียนมาตรฐานจากกลุ่มควบคุมเพื่อหาค่า cut off (Mean ± 3SD) ของปริมาณธาตุโลหะจากกระสุนปืนแต่ละชนิดและจำนวนของผู้ยิงปืนที่ให้ผลบวกจากค่า cut off ของธาตุโลหะในรูปร้อยละ

2.3.10.5 การศึกษาหาสัดส่วนระหว่างปริมาณธาตุโลหะกับชนิดกระสุนปืน

ใช้โปรแกรม Microsoft Excel คำนวณหาค่าเฉลี่ย และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของแต่ละธาตุโลหะและสัดส่วนระหว่างกลุ่มธาตุโลหะนำมาทำกราฟ และนำข้อมูลมาวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธี one way – ANOVA และทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแบบจับคู่พหุคูณ **(**Multiple comparison**)** เพื่อดูความแตกต่างของสัดส่วนปริมาณธาตุกับชนิดลูกกระสุนปืน

บทที่ 3

ผลและบทวิจารณ์

3.1 การประเมินสภาวะของการสกัดและวิธีการตรวจวิเคราะห์ธาตุโลหะที่เป็นองค์ประกอบของ เขม่าปืนด้วยเครื่อง Zeeman Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrophotometer

3.1.1 ผลการศึกษาสภาวะการวิเคราะห์โดยการเปรียบเทียบอุณหภูมิในการเร่งสภาวะการแตกตัวของอะตอม (Atomize state)

การวิเคราะห์ธาตุโลหะตะกั่วที่ความเข้มข้น 3 ระดับ คือ 25, 50 และ 100 ppb. โดยใช้อุณหภูมิในการเร่งสภาวะการแตกตัวของอะตอมที่ 1900°C, 2100°C และ 2300°C พบว่า ธาตุโลหะตะกั่วทั้งสามความเข้มข้นให้ค่าการดูดกลืนแสงที่อุณหภูมิ 2100ºC สูงสุด โดยธาตุโลหะตะกั่วที่ความเข้มข้น 25 และ 100 ppb. มีค่าการดูดกลืนแสงที่อุณหภูมิ 2100°C แตกต่างจากการดูดกลืนแสงที่อุณหภูมิ 1900°C และ 2300°C อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในขณะที่ธาตุโลหะตะกั่วที่ความเข้มข้น 50 ppb. ให้ค่าการดูดกลืนแสงที่อุณหภูมิ 1900 °C และ 2100°C ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่ค่าการดูดกลืนแสงที่อุณหภูมิ 2100ºC และ 2300°C มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) ดังนั้นอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดในการใช้เร่งสภาวะการแตกตัวของอะตอมของธาตุโลหะตะกั่ว คือ 2100°C ผลการศึกษาแสดงดังภาพประกอบที่ 12, 13, 14 และตารางที่ 2

การวิเคราะห์ธาตุโลหะแบเรี่ยมที่ความเข้มข้น 3 ระดับ คือ 25, 50 และ 100 ppb. โดยใช้อุณหภูมิในการเร่งสภาวะการแตกตัวของอะตอมที่ 2600°C, 2800°C และ 3000°C พบว่า ธาตุโลหะแบเรี่ยมทั้งสามความเข้มข้นให้ค่าการดูดกลืนแสงที่อุณหภูมิ 3000ºC สูงสุด โดยค่าการดูดกลืนแสงทั้งสามอุณหภูมิมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) ดังนั้นอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดในการใช้เร่งสภาวะการแตกตัวของอะตอมของธาตุโลหะแบเรี่ยม คือ 3000 °C

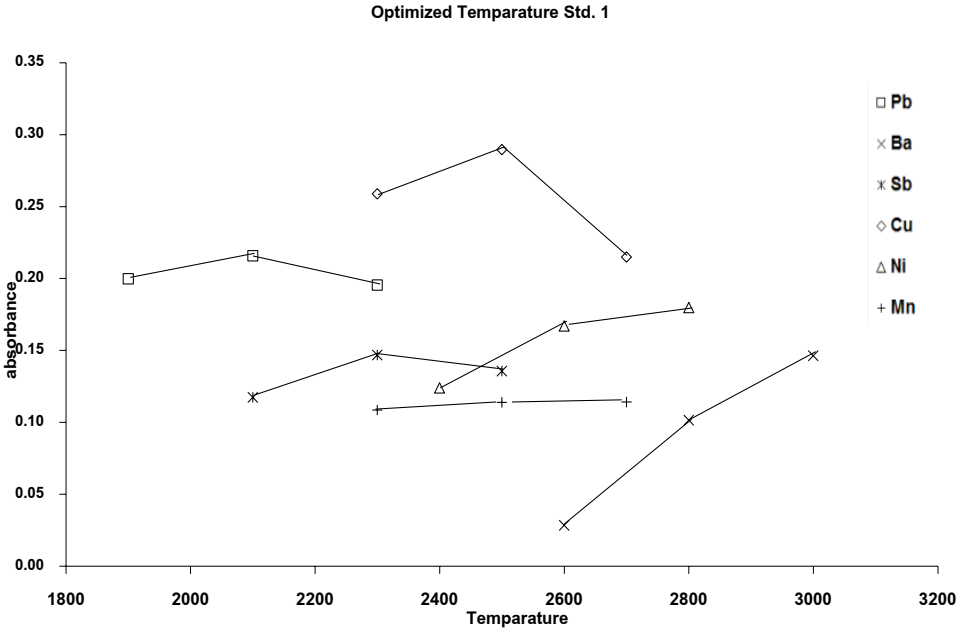
การวิเคราะห์ธาตุโลหะพลวงที่ความเข้มข้น 3 ระดับ คือ 25, 50 และ 100 ppb. โดยใช้อุณหภูมิในการเร่งสภาวะการแตกตัวของอะตอมที่ 2100°C, 2300°C และ 2500°C พบว่า ธาตุโลหะพลวงทั้งสามความเข้มข้นให้ค่าการดูดกลืนแสงที่อุณหภูมิ 2300 ºC สูงสุด โดยธาตุโลหะพลวงมีค่าการดูดกลืนแสงที่อุณหภูมิ 2300 °C แตกต่างจากการดูดกลืนแสงที่อุณหภูมิ 2100°C และ 2500°C อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ดังนั้นอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดในการใช้เร่งสภาวะการแตกตัวของอะตอมของธาตุโลหะพลวงคือ 2300 °C

การวิเคราะห์ธาตุโลหะทองแดงที่ความเข้มข้น 3 ระดับ คือ 25, 50 และ 100 ppb. โดยใช้อุณหภูมิในการเร่งสภาวะการแตกตัวของอะตอมที่ 2300°C, 2500°C และ 2700°C

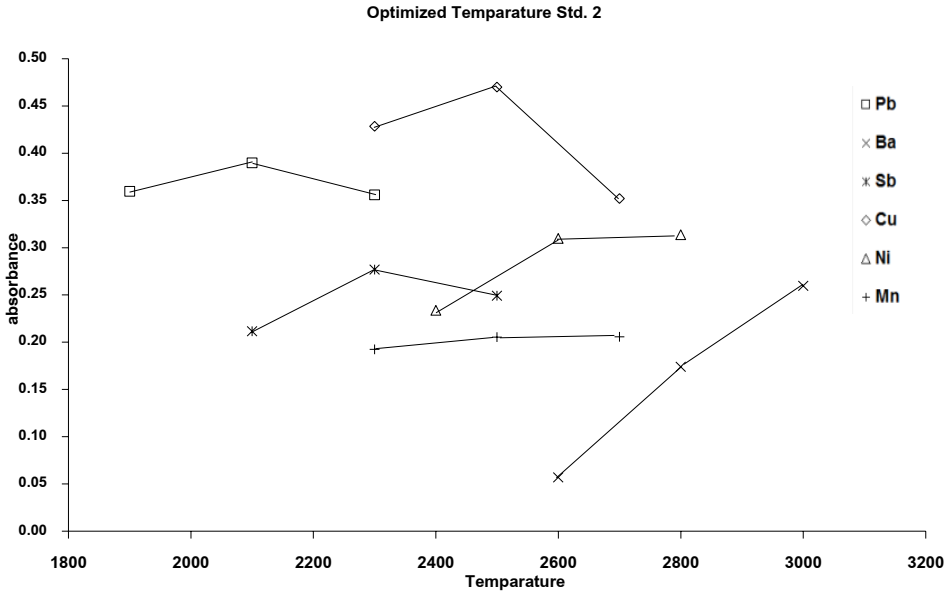
พบว่า ธาตุโลหะทองแดงทั้งสามความเข้มข้นให้ค่าการดูดกลืนแสงที่อุณหภูมิ 2500ºC สูงสุด โดยค่าการดูดกลืนแสงทั้งสามอุณหภูมิมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) ดังนั้นอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดในการใช้เร่งสภาวะการแตกตัวของอะตอมของธาตุโลหะทองแดง คือ 2500°C

การวิเคราะห์ธาตุโลหะนิกเกิลที่ความเข้มข้น 3 ระดับ คือ 25, 50 และ 100 ppb. โดยใช้อุณหภูมิในการเร่งสภาวะการแตกตัวของอะตอมที่ 2400°C, 2600°C และ 2800°C พบว่า ธาตุโลหะนิกเกิลทั้งสามความเข้มข้นให้ค่าการดูดกลืนแสงที่อุณหภูมิ 2800ºC สูงสุด โดยธาตุโลหะนิกเกิลทั้งสามความเข้มข้นมีค่าการดูดกลืนแสงที่อุณหภูมิ 2600°C และ 2800°C แตกต่างจากการดูดกลืนแสงที่อุณหภูมิ 2400°C อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แต่ค่าการดูดกลืนแสงของธาตุโลหะนิกเกิลที่อุณหภูมิ 2600°C และ 2800°C ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่เนื่องจากเครื่อง Graphite Furnace AAS ต้องใช้กระแสไฟฟ้าไปยัง Graphite tube เพื่อให้ความร้อนดังนั้นการใช้อุณหภูมิ 2800°C ต้องใช้กระแสไฟฟ้ามากกว่าอุณหภูมิ 2600°C และการใช้อุณหภูมิที่สูงย่อมทำให้อายุการใช้งานของ Graphite tube สั้นลง ดังนั้นอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดในการใช้เร่งสภาวะการแตกตัวของอะตอมของธาตุโลหะนิกเกิล คือ 2600°C

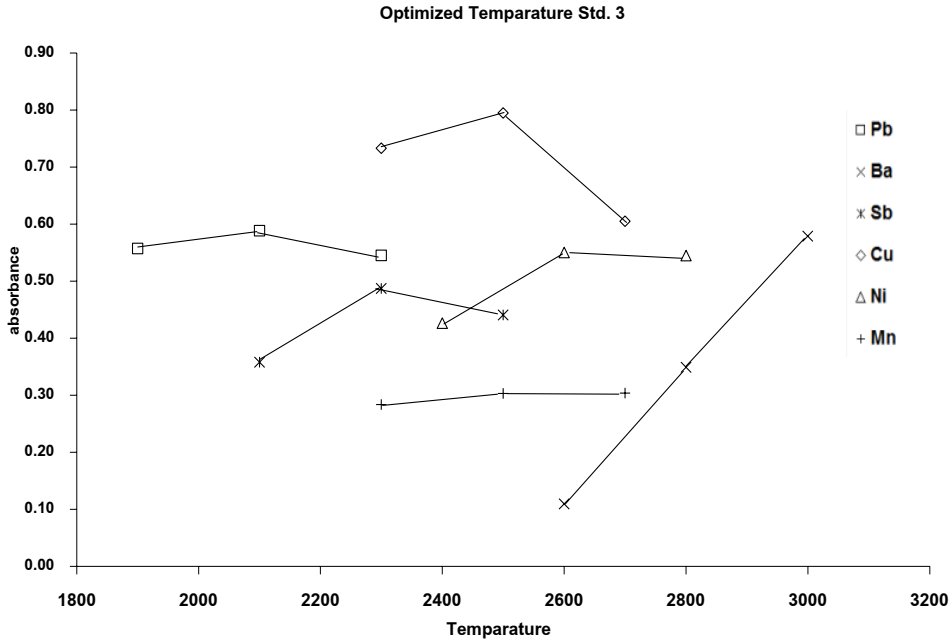
การวิเคราะห์ธาตุโลหะแมงกานีสที่ความเข้มข้น 3 ระดับ คือ 2, 4 และ 6 ppb. โดยใช้อุณหภูมิในการเร่งสภาวะการแตกตัวของอะตอมที่ 2300°C, 2500°C และ 2700°C พบว่า ธาตุโลหะแมงกานีสทั้งสามความเข้มข้นให้ค่าการดูดกลืนแสงที่อุณหภูมิ 2700ºC สูงสุด โดยธาตุโลหะแมงกานีสที่ระดับความความเข้มข้น 2 และ 4 ppb มีค่าการดูดกลืนแสงที่อุณหภูมิ 2500°C และ 2700°C แตกต่างจากการดูดกลืนแสงที่อุณหภูมิ 2300°C อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แต่ค่าการดูดกลืนแสงของธาตุโลหะแมงกานีสที่อุณหภูมิ 2500°C และ 2700°C ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) สำหรับค่าการดูดกลืนแสงของธาตุโลหะแมงกานีสที่ระดับความความเข้มข้น 6 ppb พบว่าที่อุณหภูมิ 2500°C แตกต่างจากการดูดกลืนแสงที่อุณหภูมิ 2300°C อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แต่ที่อุณหภูมิ 2500°C กับ 2700°C และที่อุณหภูมิ 2300°C กับ 2700°C ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) ดังนั้นอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดในการใช้เร่งสภาวะการแตกตัวของอะตอมของธาตุโลหะแมงกานีส คือ 2500°C เพราะเครื่อง Graphite Furnace AAS ต้องใช้กระแสไฟฟ้าไปยัง Graphite tube เพื่อให้ความร้อนดังนั้นการใช้อุณหภูมิ 2800°C ต้องใช้กระแสไฟฟ้ามากกว่าอุณหภูมิ 2600°C และการใช้อุณหภูมิที่สูงย่อมทำให้อายุการใช้งานของ Graphite tube สั้นลง เช่นเดียวกับการวิเคราะห์ธาตุโลหะนิกเกิล



ภาพประกอบที่ 12 กราฟแสดงเปรียบเทียบอุณหภูมิในการเร่งสภาวะของสารที่ระดับความเข้มข้นต่ำ (Pb, Ba, Sb, Cu, Ni ความเข้มข้น 25 ppb. เท่ากัน และ Mn ความเข้มข้น 2 ppb.)



ภาพประกอบที่ 13 กราฟแสดงเปรียบเทียบอุณหภูมิในการเร่งสภาวะของสารที่ระดับความเข้มข้นกลาง (Pb, Ba, Sb, Cu, Ni ความเข้มข้น 50 ppb. เท่ากัน และ Mn ความเข้มข้น 4 ppb.)



ภาพประกอบที่ 14 กราฟแสดงเปรียบเทียบอุณหภูมิในการเร่งสภาวะของสารที่ระดับความเข้มข้นสูง (Pb, Ba, Sb, Cu, Ni ความเข้มข้น 100 ppb. เท่ากัน และ Mn ความเข้มข้น 6 ppb.)

ดังนั้นจากการศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการใช้เร่งสภาวะการแตกตัวของอะตอมธาตุโลหะ ตะกั่ว (Pb), แบเรี่ยม (Ba), แอนติโมนี่ (Sb), ทองแดง (Cu), นิกเกิล (Ni) และแมงกานีส (Mn) คือ 2100°C, 3000°C, 2300°C, 2500°C, 2600°C, 2500°C ตามลำดับ จะได้ค่าการดูดกลืนแสงที่ดีที่สุด

ตารางที่ 2 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของธาตุโลหะทั้ง 6 ชนิดที่อุณหภูมิต่าง ๆ ที่ใช้ในสภาวะการเร่งอะตอม

ธาตุโลหะ	ความเข้มข้น (ppb)	Temperature [1]			Pair T-test ($p < 0.05$) [2]
		Low (L)	Medium (M)	High (H)	
Pb	25	0.1998 ± 0.0032	0.2157 ± 0.0062	0.1954 ± 0.0065	L * M, M * H
	50	0.3597 ± 0.0208	0.3898 ± 0.0538	0.3559 ± 0.0432	M * H
	100	0.5575 ± 0.0064	0.5885 ± 0.0101	0.5451 ± 0.0018	L * M, M * H
Ba	25	0.0283 ± 0.0025	0.1014 ± 0.0010	0.1462 ± 0.0034	L * M * H
	50	0.0569 ± 0.0109	0.1740 ± 0.0009	0.2595 ± 0.0026	L * M * H
	100	0.1095 ± 0.0068	0.3489 ± 0.0078	0.5790 ± 0.0069	L * M * H
Sb	25	0.1173 ± 0.0051	0.1467 ± 0.0022	0.1356 ± 0.0035	L * M, M * H
	50	0.2115 ± 0.0106	0.2767 ± 0.0073	0.2490 ± 0.0126	L * M * H
	100	0.3581 ± 0.0038	0.4872 ± 0.0295	0.4408 ± 0.0305	L * M * H
Cu	25	0.2588 ± 0.0116	0.2895 ± 0.0101	0.2149 ± 0.0079	L * M * H
	50	0.4283 ± 0.0360	0.4698 ± 0.0397	0.3520 ± 0.0305	L * M * H
	100	0.7330 ± 0.0010	0.7950 ± 0.0025	0.6049 ± 0.0022	L * M * H
Ni	25	0.1239 ± 0.0042	0.1670 ± 0.0035	0.1797 ± 0.0024	L * M, L * H
	50	0.2337 ± 0.0048	0.3097 ± 0.0018	0.3136 ± 0.0046	L * M, L * H
	100	0.4262 ± 0.0039	0.5501 ± 0.0039	0.5450 ± 0.0088	L * M, L * H
Mn	2	0.1085 ± 0.0004	0.1138 ± 0.0004	0.1141 ± 0.0003	L * M, L * H
	4	0.1924 ± 0.0005	0.2053 ± 0.0013	0.2057 ± 0.0011	L * M, L * H
	6	0.2837 ± 0.0022	0.3033 ± 0.0006	0.3039 ± 0.0001	L * M

[1] L คือ 1900 ºC, 2600 ºC, 2100 ºC, 2300 ºC, 2400 ºC, 2300 ºC
M คือ 2100 ºC, 2800 ºC, 2300 ºC, 2500 ºC, 2600 ºC, 2500 ºC
H คือ 2300 ºC, 3000 ºC, 2500 ºC, 2700 ºC, 2800 ºC, 2700 ºC
สำหรับธาตุโลหะ Pb, Ba, Sb, Cu, Ni, Mn ตามลำดับ

[2] อุณหภูมิในการเร่งอะตอมที่ให้ค่าการดูดกลืนแสงมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

ตารางที่ 1 แสดงรายละเอียดและอุณหภูมิในแต่ละสภาวะของพลวง

Step	Temp (C)	Time (s)	Flow (L/min)	Gas Type	Read	Signal Storage
1	85	5.0	3.0	Normal	No	No
2	95	40.0	3.0	Normal	No	No
3	120	10.0	3.0	Normal	No	No
4	800	5.0	3.0	Normal	No	No
5	800	1.0	3.0	Normal	No	No
6	800	2.0	0.0	Normal	No	Yes
7	2300	0.7	0.0	Normal	Yes	Yes
8	2300	2.0	0.0	Normal	Yes	Yes
9	2300	2.0	3.0	Normal	No	Yes

ตารางที่ 2 แสดงรายละเอียดและสภาวะของแบเรี่ยม

Step	Temp (C)	Time (s)	Flow (L/min)	Gas Type	Read	Signal Storage
1	85	5.0	3.0	Normal	No	No
2	95	40.0	3.0	Normal	No	No
3	120	10.0	3.0	Normal	No	No
4	1400	5.0	3.0	Normal	No	No
5	1400	1.8	3.0	Normal	No	No
6	1400	2.0	0.0	Normal	No	Yes
7	3000	2.3	0.0	Normal	Yes	Yes
8	3000	2.0	0.0	Normal	Yes	Yes
9	3000	2.0	3.0	Normal	No	Yes

ตารางที่ 3 แสดงรายละเอียดและสภาวะของตะกั่ว

Step	Temp (C)	Time (s)	Flow (L/min)	Gas Type	Read	Signal Storage
1	85	5.0	3.0	Normal	No	No
2	95	40.0	3.0	Normal	No	No
3	120	10.0	3.0	Normal	No	No
4	600	5.0	3.0	Normal	No	No
5	600	2.1	3.0	Normal	No	No
6	600	2.1	0.0	Normal	No	Yes
7	2100	1.0	0.0	Normal	Yes	Yes
8	2100	2.0	0.0	Normal	Yes	Yes
9	2100	2.0	3.0	Normal	No	Yes

ตารางที่ 4 แสดงรายละเอียดและสภาวะของทองแดง

Step	Temp (C)	Time (s)	Flow (L/min)	Gas Type	Read	Signal Storage
1	85	5.0	3.0	Normal	No	No
2	95	40.0	3.0	Normal	No	No
3	120	10.0	3.0	Normal	No	No
4	900	5.0	3.0	Normal	No	No
5	900	1.0	3.0	Normal	No	No
6	900	2.0	0.0	Normal	No	Yes
7	2500	1.1	0.0	Normal	Yes	Yes
8	2500	2.0	0.0	Normal	Yes	Yes
9	2500	2.0	3.0	Normal	No	Yes

ตารางที่ 5 แสดงรายละเอียดและสภาวะของนิกเกิล

Step	Temp (C)	Time (s)	Flow (L/min)	Gas Type	Read	Signal Storage
1	85	5.0	3.0	Normal	No	No
2	95	40.0	3.0	Normal	No	No
3	120	10.0	3.0	Normal	No	No
4	900	5.0	3.0	Normal	No	No
5	900	1.0	3.0	Normal	No	No
6	900	2.0	0.0	Normal	No	Yes
7	2600	1.1	0.0	Normal	Yes	Yes
8	2600	2.0	0.0	Normal	Yes	Yes
9	2600	2.0	3.0	Normal	No	Yes

ตารางที่ 6 แสดงรายละเอียดและสภาวะของแมงกานีสในระบบ Zeeman GF-AAS

Step	Temp (C)	Time (s)	Flow (L/min)	Gas Type	Read	Signal Storage
1	85	5.0	3.0	Normal	No	No
2	95	40.0	3.0	Normal	No	No
3	120	10.0	3.0	Normal	No	No
4	800	5.0	3.0	Normal	No	No
5	800	2.0	3.0	Normal	No	No
6	800	2.0	0.0	Normal	No	Yes
7	2500	1.1	0.0	Normal	Yes	Yes
8	2500	2.0	0.0	Normal	Yes	Yes
9	2500	2.0	3.0	Normal	No	Yes

3.1.2 ผลการศึกษาเปรียบเทียบวิธีการสกัดตัวอย่าง

การเปรียบเทียบวิธีการสกัดตัวอย่าง พบว่า การสกัดธาตุโลหะต่างๆ ทั้ง 6 ชนิด ด้วยวิธีการ Sonication เวลา 30 นาที และวิธีการ Sonication เวลา 30 นาที รวมกับการอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 50ºC เวลา 2 ชั่วโมง ให้ผลศึกษาค่าเฉลี่ยของการคืนกลับของธาตุโลหะที่ไม่ดีเมื่อเปรียบเทียบกับค่าการคืนกลับที่ยอมรับได้ในช่วงความเข้มข้น 10 – 100 ppb. (Taverniers *et al*, 2004) ผลการศึกษาแสดงดังตารางที่ 3 ดังนั้นการสกัดด้วย 2 วิธีนี้ จึงไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการสกัดธาตุโลหะทั้ง 6 ชนิด ในขณะที่การสกัดธาตุโลหะด้วยวิธีการอบในตู้อบที่

อุณหภูมิ 80ºC เวลา 2 ชั่วโมงและการอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 50ºC เวลา 2 ชั่วโมง พบว่าให้ค่าเฉลี่ยของการคืนกลับของธาตุโลหะและค่าสัมประสิทธิ์ของความแปรปรวนที่ดี

การสกัดธาตุโลหะตะกั่วที่ความเข้มข้น 3 ระดับ คือ 25, 50 และ 100 ppb. โดยใช้การอบที่อุณหภูมิ 80ºC และ 50ºC เวลา 2 ชั่วโมง ให้ผลค่าเฉลี่ยการคืนกลับที่ดีอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ โดยพบว่าที่ความเข้มข้น 50 และ 100 ppb การสกัดโดยการอบที่อุณหภูมิ 80ºC ให้ผลค่าเฉลี่ยการคืนกลับและความเที่ยงที่ดีกว่าการสกัดโดยการอบที่อุณหภูมิ 50ºC แต่เมื่อพิจารณาที่ความเข้มข้น 25 ppb. พบว่าการสกัดโดยการอบที่อุณหภูมิ 50ºC ให้ผลค่าเฉลี่ยการคืนกลับและความเที่ยงที่ดีกว่าการสกัดโดยการอบที่อุณหภูมิ 80ºC

การสกัดธาตุโลหะแบเรี่ยมที่ความเข้มข้น 3 ระดับ คือ 25, 50 และ 100 ppb. โดยใช้การอบที่อุณหภูมิ 80ºC และ 50ºC เวลา 2 ชั่วโมงพบว่าการสกัดโดยใช้การอบที่อุณหภูมิ 80ºC ให้ให้ผลค่าเฉลี่ยการคืนกลับและความเที่ยงที่ดีกว่าการสกัดโดยการอบที่อุณหภูมิ 50ºC ทุกค่าความเข้มข้น

การสกัดธาตุโลหะพลวงและนิกเกิลที่ความเข้มข้น 3 ระดับ คือ 25, 50 และ 100 ppb. โดยใช้การอบที่อุณหภูมิ 80ºC และ 50ºC เวลา 2 ชั่วโมง พบว่าการสกัดโดยใช้การอบที่อุณหภูมิ 80ºC ให้ผลค่าเฉลี่ยการคืนกลับและความเที่ยงที่ดีกว่าการสกัดโดยการอบที่อุณหภูมิ 50ºC ทุกค่าความเข้มข้น โดยการสกัดด้วยการอบที่อุณหภูมิ 50ºC พบว่าค่าเฉลี่ยการคืนกลับอยู่ในช่วงที่ค่อนข้างต่ำ (77 – 85%) เมื่อเปรียบเทียบกับค่าการคืนกลับที่ยอมรับได้ในช่วงความเข้มข้น 10 - 100 ppb. (Taverniers *et al*, 2004)

การสกัดธาตุโลหะทองแดงและแมงกานีสที่ความเข้มข้น 3 ระดับ คือ 25, 50 และ 100 ppb. โดยใช้การอบที่อุณหภูมิ 80ºC และ 50ºC เวลา 2 ชั่วโมง พบว่า การสกัดโดยใช้การอบที่อุณหภูมิ 80ºC และ 50ºC ให้ผลค่าเฉลี่ยการคืนกลับและความเที่ยงที่ดีเท่าๆ กันทุกค่าความเข้มข้น

ดังนั้นจากการศึกษาพบว่า การสกัดธาตุโลหะทั้ง 6 ชนิด ออกจากสำลีพันปลายไม้ด้วยการอบที่อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 2 ชม. ให้ค่าการคืนกลับได้ดีกว่าอีก 3 วิธี โดยเฉพาะธาตุโลหะชนิดหลัก (Pb, Ba, Sb)

ตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ยของ % recovery rate และ % CV ที่สกัดด้วยวิธีการต่างๆ (* วิเคราะห์จำนวน 5 ครั้งต่อความเข้มข้นและวิเคราะห์จำนวน 3 ซ้ำต่อตัวอย่าง)

ธาตุโลหะ *	ความเข้มข้น (ppb)	วิธีการสกัด [1]			
		อบ 80 °C	อบ 50 °C	Sonication	Sonication, อบ 50 ° C
Pb	25	113.28 (4.79)	100.22 (3.98)	112.62(13.61)	105.66 (4.32)
	50	94.24 (6.45)	81.73 (6.45)	84.50 (5.62)	76.58 (3.45)
	100	96.06 (8.29)	83.48 (8.90)	77.81 (7.98)	73.05 (4.59)
Ba	25	118.20 (5.02)	127.8 (5.53)	156.80 (1.80)	124.60 (2.64)
	50	104.96 (5.70)	111.48 (6.54)	107.60 (4.44)	115.00 (3.80)
	100	110.16 (2.74)	96.66 (5.48)	113.42 (5.62)	101.38 (2.26)
Sb	25	90.24 (8.98)	85.67 (6.31)	50.24 (4.20)	60.89 (1.26)
	50	94.64 (6.56)	77.01 (8.80)	46.83 (3.02)	59.41 (3.77)
	100	100.44 (4.82)	80.91 (12.05)	45.12 (3.13)	59.87 (1.60)
Cu	25	103.18 (3.97)	100.22 (3.98)	112.62(13.61)	105.66 (4.32)
	50	97.58 (3.07)	94.24 (6.45)	84.50 (5.62)	76.58 (3.45)
	100	95.03 (1.88)	96.06 (8.29)	77.81 (7.98)	73.05 (4.59)
Ni	25	91.12 (3.54)	77.52 (5.46)	75.83 (5.69)	81.36 (5.16)
	50	89.76 (5.08)	77.01 (8.80)	69.85 (3.41)	77.44 (4.74)
	100	85.93 (3.17)	82.46 (4.74)	74.98 (5.36)	71.37 (8.97)
Mn	2	93.53 (1.84)	83.54 (2.67)	65.93 (3.98)	73.22 (4.52)
	4	96.88 (2.13)	86.66 (3.83)	69.41 (3.32)	78.48 (4.17)
	6	97.44 (2.39)	88.67 (5.59)	70.71 (2.88)	68.65 (3.38)

[1] การสกัดด้วยวิธีการอบ ใช้เวลา 2 ชม. และการสกัดด้วยวิธีการ Sonication ใช้เวลา 30 นาที

Koon และคณะ (1987) พบว่า การอบสำลีพันปลายไม้ที่ใช้เก็บคราบเขม่าปืนด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 2 ชม. โดยการใช้กรดไนตริก ความเข้มข้น 10% และนำมาวิเคราะห์ด้วย Graphite Furnace AAS จะให้ผลการสกัดที่ดีที่สุด

ปรางดาว (2551) ได้ทำการศึกษาวิธีการสกัดเขม่าปืนจากสำลีพันปลายก้านพลาสติกโดยการแช่กรดไนตริก ความเข้มข้น 5%, การ Sonication เวลา 10 นาที และ 20 นาที จากการศึกษาพบว่า การสกัดด้วยวิธีการแช่กรดไนตริก ความเข้มข้น 5% และการ Sonication

เวลา 20 นาที ให้ผลการคืนกลับของธาตุโลหะตะกั่ว แบเรี่ยม และพลวง ได้ดีใกล้เคียงกัน (97.91 – 103.92%, 85.44 – 101.51% และ 82.43 – 107.48% ตามลำดับ) แต่จากการศึกษาในครั้งนี้ พบว่าการอบสำลีพันปลายไม้ที่ใช้เก็บคราบเขม่าปืนด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 2 ชม. ให้ผลการคืนกลับที่ดีกว่าการ Sonication เวลา 30 นาที โดยเฉพาะธาตุโลหะพลวง

3.1.3 ผลการศึกษาความเข้มข้นของกรดไนตริกที่ใช้ในการสกัดตัวอย่าง

การสกัดธาตุโลหะด้วยกรดไนตริกความบริสุทธิ์ของกรดไนตริกเป็นปัจจัยที่สำคัญมาก เช่น ปริมาณคลอไรด์ที่มากทำให้ธาตุโลหะที่ต้องการตรวจจับกับคลอไรด์จะเกิดสารประกอบที่เสถียรมาก แต่เมื่อได้รับความร้อนจะสามารถระเหยไปได้อย่างรวดเร็วจึงทำให้สูญเสียสารตัวอย่างไป (แม้นและอมร, 2539) ในการศึกษาครั้งนี้ กรดไนตริกเป็น suprapure glade ซึ่งมีปริมาณของคลอไรด์ที่ต่ำมากและนอกจากนี้ปัจจัยหลักอีกประการคือ ปริมาณความเข้มข้นซึ่งมีผลต่อการเกิดพันธะโคเวเลนซ์ของสารประกอบของธาตุโลหะที่มีความเสถียรสูงและสลายยาก เมื่อได้รับความร้อนทำให้ธาตุโลหะไม่สลายตัว

จากการศึกษาพบว่า การสกัดด้วยกรดไนตริกทุกความเข้มข้นให้ผลการคืนกลับที่ดี แต่กรดไนตริกที่ความเข้มข้น 2.5% ให้ค่าการคืนกลับสำหรับธาตุโลหะพลวงที่ค่อนข้างต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับการสกัดด้วยกรดไนตริก ความเข้มข้น 5% และ 10% และเมื่อเปรียบเทียบกับค่าการคืนกลับที่ยอมรับได้ในช่วงความเข้มข้น 10 – 100 ppb (Taverniers *et al*, 2004)

กรดไนตริก ความเข้มข้น 5% และ 10% ให้ผลค่าการกลับคืนและค่าสัมประสิทธิ์ของความแปรปรวนที่ดี ดังแสดงในตารางที่ 4 ซึ่งสามารถใช้ได้ทั้งสองความเข้มข้น แต่เมื่อพิจารณาถึงความคุ้มค่าแล้วพบว่า การใช้กรดไนตริก ความเข้มข้น 5% จะคุ้มค่าและประหยัดกว่าทั้งปริมาณที่นำมาเจือจางและผลต่อ graphite tube ที่พบว่าเมื่อใช้กรดไนตริก ความเข้มข้น 5 % จะสามารถใช้ได้ประมาณ 600 - 700 ครั้ง ในขณะที่กรดไนตริก ความเข้มข้น 10% จะใช้ได้ประมาณ 300 - 400 ครั้ง

ตารางที่ 4 แสดงค่าเฉลี่ยของ % recovery rate และ % CV ที่สกัดด้วย 2.5, 5 และ 10% HNO_3

ธาตุโลหะ *	**ความเข้มข้น** (ppb)	**2.5% HNO_3**	**5% HNO_3**	**10% HNO_3**
Pb	25	101.33 (10.76)	98.86 (6.30)	94.24 (6.45)
	50	95.27 (7.82)	98.89 (2.40)	96.06 (8.29)
	100	102.38 (6.64)	98.33 (4.89)	88.22 (8.83)
Ba	25	110.92 (6.56)	116.50 (7.64)	104.96 (5.70)
	50	102.68 (16.80)	101.9 (6.17)	110.16 (2.74)
	100	117.18 (19.27)	93.35 (3.64)	109.02 (5.41)
Sb	25	84.87 (6.03)	94.34 (1.83)	90.24 (8.98)
	50	79.00 (2.79)	87.74 (1.68)	94.64 (6.56)
	100	74.07 (10.02)	87.95 (3.62)	100.44 (4.82)
Cu	25	135.74 (1.47)	110.76 (3.05)	103.18 (3.97)
	50	107.57 (4.51)	108.10 (2.88)	97.58 (3.07)
	100	108.69 (7.74)	104.99 (3.15)	95.03 (1.88)
Ni	25	91.38 (1.94)	101.26 (2.66)	91.12 (3.54)
	50	93.51 (1.00)	97.89 (3.07)	89.76 (5.08)
	100	100.88 (1.07)	98.57 (4.58)	85.93 (3.17)
Mn	2	89.45 (2.37)	98.79 (1.76)	105.54 (4.41)
	4	90.26 (5.43)	101.22 (2.25)	107.38 (5.38)
	6	90.30 (3.20)	102.15 (2.34)	105.60 (2.24)

(***** วิเคราะห์จำนวน 5 ครั้งต่อความเข้มข้นและวิเคราะห์จำนวน 3 ซ้ำต่อตัวอย่าง**)**

3.2 Validation Data

3.2.1 ผลการศึกษา matrix interference

การสร้างกราฟมาตรฐานสามารถทำได้โดยการตรวจวัดสารมาตรฐานที่ความเข้มข้นต่างกันอย่างน้อย 3 – 5 จุด เพื่อนำค่าของผลการตรวจวัดมาทำ plot กราฟ และคำนวณหาสมการ (y = ax + b) ที่จะนำมาใช้หาความเข้มข้นของสารเป้าหมายที่จะทำการวิเคราะห์ โดยปกตินั้นสารมาตรฐานจะทำการ spiked ในสารชนิดเดียวกับสิ่งส่งตรวจ (matrix) ที่ไม่มีสารเป้าหมายปนเปื้อนอยู่และนำมาทำการสกัดตามวิธีที่กำหนด เนื่องจาก matrix อาจจะมีผลให้เกิดการกระตุ้นหรือกดสัญญาณการตรวจวัดของสิ่งส่งตรวจได้เมื่อเปรียบเทียบกับสัญญาณของสารมาตรฐานในสารละลาย โดยมีผลต่อความชันและจุดตัดแกน y ของกราฟมาตรฐานทำให้การคำนวณหาค่าความเข้มข้นผิดเพี้ยนไป (Eurachem-Guides, 1998) แต่อย่างไรก็ตามการสร้างกราฟมาตรฐานอาจจะทำได้จากสารมาตรฐานในสารละลายก็ได้ แต่ต้องทำการศึกษาเปรียบเทียบว่า สมการที่ได้ระหว่างสารมาตรฐานในสารละลายกับสารมาตรฐานใน matrix ให้ค่าการตรวจวัดที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ทดสอบค่าความชันและจุดตัดแกน y ของสมการทั้งสองสมการ) ซึ่งการใช้สารมาตรฐานในสารละลายมาทำกราฟมาตรฐานเพื่อหาสมการนั้นจะเป็นการลดขั้นตอนการสกัดออกไปและประหยัดเวลาในการวิเคราะห์

การศึกษาอิทธิพลของ matrix เพื่อดูการตอบสนองของระบบการตรวจด้วยวิธี GF-AAS ครั้งนี้ ได้ทำการตรวจวิเคราะห์ธาตุโลหะที่เป็นองค์ประกอบของกระสุนปืนทั้ง 6 ชนิด โดยการ spiked สารมาตรฐานใน 5% HNO_3 กับสารมาตรฐานที่ spiked ในสำลีพันปลายไม้ก่อนที่สกัดด้วย 5% HNO_3 ในตู้อบอุณหภูมิ 80ºC เวลา 2 ชม. โดยสารมาตรฐานของธาตุโลหะตะกั่ว และแบเรียมมีความเข้มข้น 20, 60 และ 100 ppb. ธาตุโลหะพลวงมีความเข้มข้น 20, 40 และ 60 ppb. ธาตุโลหะทองแดงและนิกเกิลมีความเข้มข้น 10, 20 และ 30 ppb. และธาตุโลหะแมงกานีสมีความเข้มข้น 2, 4 และ 6 ppb. จากการศึกษา พบว่า ค่าความชันและจุดตัดแกน y ระหว่างธาตุโลหะมาตรฐานที่ spiked ใน 5% HNO_3 กับธาตุโลหะมาตรฐานที่ spiked ในสำลีพันปลายไม้ก่อนที่สกัดด้วย 5 % HNO_3 ของธาตุโลหะตะกั่วและแอนติโมนี่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ในขณะที่ธาตุโลหะแบเรี่ยม ทองแดงและนิกเกิลมีค่าความชันระหว่างธาตุโลหะมาตรฐานที่ spiked ใน 5 % HNO_3 กับธาตุโลหะมาตรฐานที่ spiked ในสำลีพันปลายไม้ก่อนที่สกัดด้วย 5 % HNO_3 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แต่จุดตัดแกน y ของธาตุโลหะทั้งสามชนิดไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) สำหรับธาตุโลหะแมงกานีสมีค่าความชันระหว่างธาตุโลหะมาตรฐานที่ spiked ใน 5 % HNO_3 กับธาตุโลหะมาตรฐานที่ spiked ในสำลีพันปลายไม้ก่อนที่สกัดด้วย 5 % HNO_3 ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) และจุดตัดแกน y ของธาตุโลหะทั้งสามชนิด

มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ดังนั้นในการวิเคราะห์เพื่อหาความเข้มข้นของตัวอย่างจริงสำหรับธาตุโลหะแบเรี่ยม ทองแดง นิกเกิลและแมงกานีส การทำกราฟมาตรฐานจะต้องได้มาจากการวิเคราะห์ธาตุโลหะมาตรฐานใน matrix จึงจะได้ค่าที่แม่นยำที่สุด ในขณะที่ธาตุโลหะตะกั่วและพลวงนั้นอาจจะใช้กราฟมาตรฐานจากธาตุโลหะมาตรฐานที่ spiked ใน 5% HNO_3 ได้เพราะกราฟมาตรฐานทั้งสองแทบจะซ้อนทับกันจึงไม่มีผลต่อความเข้มข้นที่คำนวณได้ ผลการศึกษาแสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 แสดงการเปรียบเทียบ Matrix interference ของสารมาตรฐาน

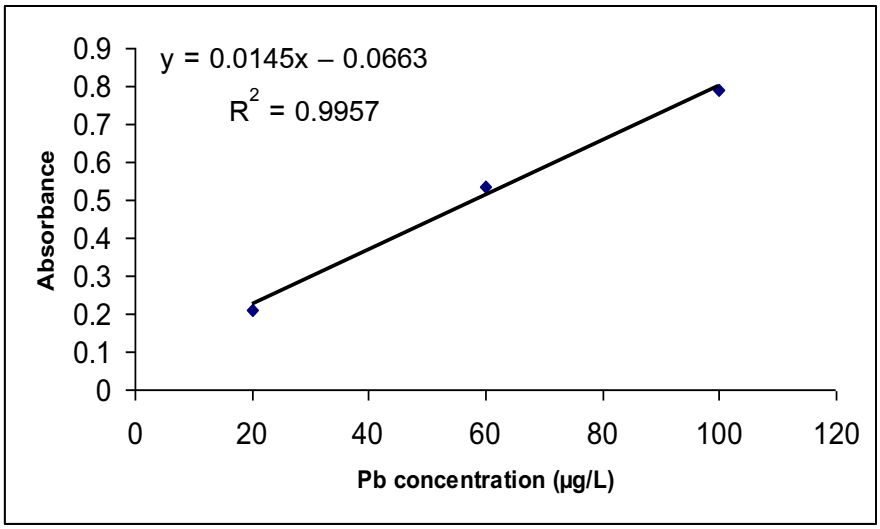
ธาตุโลหะ *	Slope (mean ± SD)		Paired sample T- test	Intercept (mean ± SD)		Paired sample T- test
	5% HNO_3	matrix		5% HNO_3	Matrix	
Pb	0.2861 ± 0.0045	0.2955 ± 0.0079	NS	0.1418 ± 0.0102	0.1279 ± 0.0212	NS
Ba	0.0787 ± 0.0055	0.1942 ± 0.0149	S	0.0386 ± 0.0174	0.0568 ± 0.0184	NS
Sb	0.1087 ± 0.0035	0.1138 ± 0.0052	NS	0.0294 ± 0.0070	0.0041 ± 0.0072	NS
Cu	0.0724 ± 0.0069	0.0964 ± 0.0023	S	0.0451 ± 0.0177	0.0338 ± 0.0152	NS
Ni	0.1738 ± 0.0068	0.1475 ± 0.0075	S	0.0007 ± 0.0082	0.0446 ± 0.0125	NS
Mn	0.0973 ± 0.0043	0.094 ± 0.0075	NS	0.0235 ± 0.0068	0.1418 ± 0.0019	S

(* วิเคราะห์จำนวน 5 ครั้งต่อความเข้มข้นและวิเคราะห์จำนวน 3 ซ้ำต่อตัวอย่าง, NS= non - significant, S= significant, p - value < 0.05)

3.2.2 ผลการศึกษาค่าขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัด (LOD) และค่าขีดจำกัดต่ำสุดในการวิเคราะห์เชิงปริมาณ (LOQ)

3.2.2.1 ศึกษาค่าขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัดและค่าขีดจำกัดต่ำสุดในการวิเคราะห์เชิงปริมาณของตะกั่ว

กราฟมาตรฐานของตะกั่วเตรียมที่ความเข้มข้น 20, 60 และ 100 ppb. ได้ผลแสดงดังภาพประกอบที่ 15



ภาพประกอบที่ 15 แสดงกราฟมาตรฐานสารตะกั่ว

ค่าขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัดของตะกั่ว คำนวณได้จาก

สูตร $C_L = kS_B / m$, เมื่อ $k = 3$

$S_B = 0.0013$

$m = 0.0145$

แทนค่า $C_L = 3 \times 0.0013 / 0.0145$

$C_L = 0.27$ ppb.

ค่าขีดจำกัดต่ำสุดในการวิเคราะห์เชิงปริมาณของตะกั่ว คำนวณได้จาก

สูตร $C_L = kS_B / m$, เมื่อ $k = 10$

$S_B = 0.0013$

$m = 0.0145$

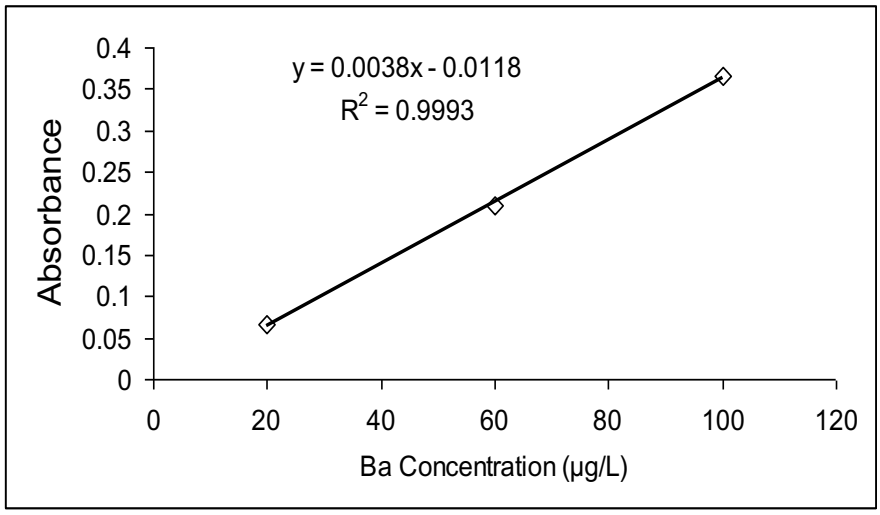
แทนค่า $C_L = 10 \times 0.0013 / 0.0145$

$C_L = 0.89$ ppb.

ดังนั้น การทดลองค่าขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัดและค่าขีดจำกัดต่ำสุดในการวิเคราะห์เชิงปริมาณของตะกั่วให้ค่า LOD เท่ากับ 0.27 ppb และ LOQ เท่ากับ 0.89 ppb ตามลำดับ

3.2.2.2 ศึกษาค่าขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัดและค่าขีดจำกัดต่ำสุดในการวิเคราะห์เชิงปริมาณของแบเรี่ยม (Ba)

กราฟมาตรฐานของแบเรี่ยมเตรียมที่ความเข้มข้น 20, 60 และ 100 ppb. ได้ผลแสดงดังภาพประกอบที่ 16



ภาพประกอบที่ 16 แสดงกราฟมาตรฐานของแบเรี่ยม

ค่าขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัดของแบเรี่ยม คำนวณได้จาก

สูตร $C_L = kS_B / m$, เมื่อ $k = 3$

$S_B = 0.00047$

$m = 0.0038$

แทนค่า $C_L = 3 \times 0.00047 / 0.0038$

$C_L = 0.37$ ppb.

ค่าขีดจำกัดต่ำสุดในการวิเคราะห์เชิงปริมาณของแบเรี่ยม คำนวณได้จาก

สูตร $C_L = kS_B / m$, เมื่อ $k = 10$

$S_B = 0.00047$

$m = 0.0038$

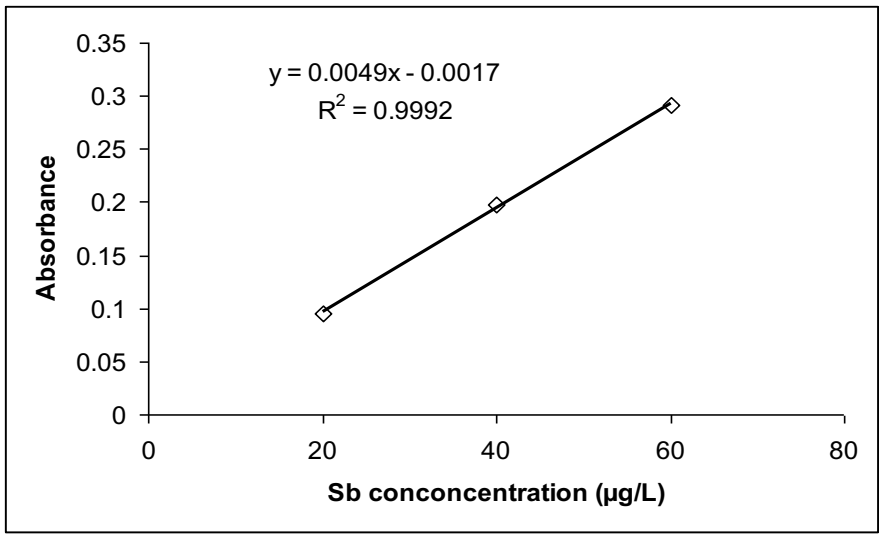
แทนค่า $C_L = 3 \times 0.00047 / 0.0038$

$C_L = 1.23$ ppb.

ดังนั้น การทดลองค่าขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัดและค่าขีดจำกัดต่ำสุดในการวิเคราะห์เชิงปริมาณของแบเรี่ยมให้ค่า LOD เท่ากับ 0.37 ppb และ LOQ เท่ากับ 1.23 ppb ตามลำดับ

3.2.2.3 ศึกษาค่าขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัดและค่าขีดจำกัดต่ำสุดในการวิเคราะห์เชิงปริมาณของพลวง

กราฟมาตรฐานของพลวงเตรียมที่ความเข้มข้น 20, 40 และ 60 ppb. ได้ผลแสดงดังภาพประกอบที่ 17



ภาพประกอบที่ 17 แสดงกราฟมาตรฐานของพลวง

ค่าขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัดของพลวง คำนวณได้จาก

สูตร $C_L = kS_B / m$, เมื่อ $k = 3$

$S_B = 0.0010$

$m = 0.0049$

แทนค่า $C_L = 3 \times 0.0010 / 0.0049$

$C_L = 0.61$ ppb.

ค่าขีดจำกัดต่ำสุดในการวิเคราะห์เชิงปริมาณของพลวง คำนวณได้จาก

สูตร $C_L = kS_B / m$, เมื่อ $k = 10$

$S_B = 0.0010$

$m = 0.0049$

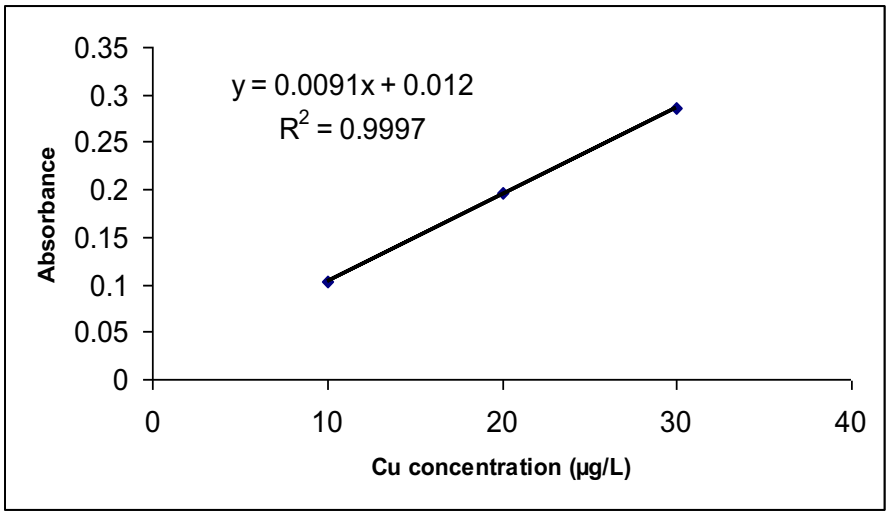
แทนค่า $C_L = 10 \times 0.0010 / 0.0049$

$C_L = 2.04$ ppb.

ดังนั้น การทดลองค่าขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัดและค่าขีดจำกัดต่ำสุดในการวิเคราะห์เชิงปริมาณของพลวงให้ค่า LOD เท่ากับ 0.61 ppb และ LOQ เท่ากับ 2.04 ppb ตามลำดับ

3.2.2.4 ศึกษาค่าขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัดและค่าขีดจำกัดต่ำสุดในการวิเคราะห์เชิงปริมาณของทองแดง

กราฟมาตรฐานของทองแดงเตรียมที่ความเข้มข้น 10, 20 และ 30 ppb. ได้ผลแสดงดังภาพประกอบที่ 18



ภาพประกอบที่ 18 แสดงกราฟมาตรฐานของทองแดง

ค่าขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัดความเข้มข้นทองแดงคำนวณได้จาก

สูตร $C_L = kS_B / m$, เมื่อ $k = 3$

$S_B = 0.0012$

$m = 0.0091$

แทนค่า $C_L = 3 \times 0.0012 / 0.0091$

$C_L = 0.38$ ppb.

ค่าขีดจำกัดต่ำสุดในการวิเคราะห์เชิงปริมาณความเข้มข้นทองแดงคำนวณได้จาก

สูตร $C_L = kS_B / m$, เมื่อ $k = 10$

$S_B = 0.0012$

$m = 0.0091$

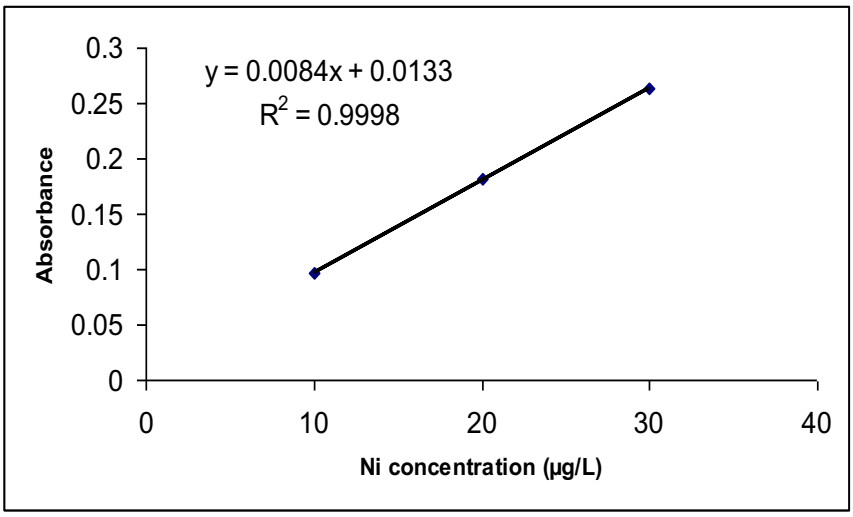
แทนค่า $C_L = 10 \times 0.0012 / 0.0091$

$C_L = 1.27$ ppb.

ดังนั้น การทดลองค่าขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัดและค่าขีดจำกัดต่ำสุดในการวิเคราะห์เชิงปริมาณของทองแดงให้ค่า LOD เท่ากับ 0.38 ppb และ LOQ เท่ากับ 1.27 ppb ตามลำดับ

3.2.2.5 ศึกษาค่าขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัดและค่าขีดจำกัดต่ำสุดในการวิเคราะห์เชิงปริมาณของนิกเกิล

กราฟมาตรฐานของนิกเกิลเตรียมที่ความเข้มข้น 10, 20 และ 30 ppb. ได้ผลแสดงดังภาพประกอบที่ 19



ภาพประกอบที่ 19 แสดงกราฟมาตรฐานของนิกเกิล

ค่าขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัดของนิกเกิล คำนวณได้จาก

สูตร $C_L = kS_B / m$, เมื่อ $k = 3$

$S_B = 0.0012$

$m = 0.0084$

แทนค่า $C_L = 3 \times 0.0012 / 0.0084$

$C_L = 0.44$ ppb.

ค่าขีดจำกัดต่ำสุดในการวิเคราะห์เชิงปริมาณของนิกเกิล คำนวณได้จาก

สูตร $C_L = kS_B / m$, เมื่อ $k = 10$

$S_B = 0.0012$

$m = 0.0084$

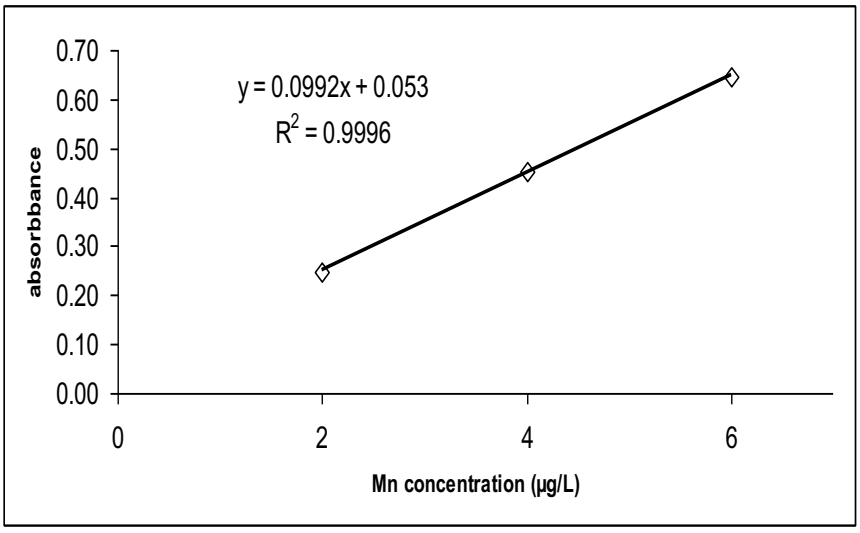
แทนค่า $C_L = 10 \times 0.0012 / 0.0084$

$C_L = 1.46$ ppb.

ดังนั้น การทดลองค่าขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัดและค่าขีดจำกัดต่ำสุดในการวิเคราะห์เชิงปริมาณของนิกเกิลให้ค่า LOD เท่ากับ 0.44 ppb และ LOQ เท่ากับ 1.46 ppb ตามลำดับ

3.2.2.6 ศึกษาค่าขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัดและค่าขีดจำกัดต่ำสุดในการวิเคราะห์เชิงปริมาณของแมงกานีส

กราฟมาตรฐานของแมงกานีสเตรียมที่ความเข้มข้น 2, 4 และ 6 ppb. ได้ผลแสดงดังภาพประกอบที่ 19



ภาพประกอบที่ 20 แสดงกราฟมาตรฐานของแมงกานีส

ค่าขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัดความเข้มข้นของแมงกานีส คำนวณได้จาก

สูตร $C_L = kS_B / m$, เมื่อ $k = 3$

$S_B = 0.0016$

$m = 0.0992$

แทนค่า $C_L = 3 \times 0.0016 / 0.0992$

$C_L = 0.05$ ppb.

ค่าขีดจำกัดต่ำสุดในการวิเคราะห์เชิงปริมาณของนิกเกิล คำนวณได้จาก

สูตร $C_L = kS_B / m$, เมื่อ $k = 3$

$S_B = 0.0016$

$m = 0.0992$

แทนค่า $C_L = 3 \times 0.0016 / 0.0992$

$C_L = 0.16$ ppb.

ดังนั้น การทดลองค่าขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัดและค่าขีดจำกัดต่ำสุดในการวิเคราะห์เชิงปริมาณของแมงกานีสให้ค่า LOD เท่ากับ 0.05 ppb และ LOQ เท่ากับ 0.16 ppb ตามลำดับ

ตารางที่ 6 ค่า LOD, LOQ ของการวิเคราะห์

ธาตุโลหะ *	Regression Equation	R^2	LOD (ppb)	LOQ (ppb)
Pb	Y= 0.0145x – 0.0663	0.9957	0.27	0.89
Ba	Y =0.0038x – 0.0118	0.9993	0.37	1.23
Sb	Y = 0.0049x – 0.0017	0.9992	0.61	2.04
Cu	Y = 0.0091x + 0.012	0.9997	0.38	1.27
Ni	Y = 0.0084 + 0.0133	0.9998	0.44	1.46
Mn	Y = 0.9992x + 0.053	0.9996	0.05	0.16

(* วิเคราะห์จำนวน 5 ครั้งต่อความเข้มข้นและวิเคราะห์จำนวน 3 ซ้ำต่อตัวอย่าง)

3.2.3 ค่าการกลับคืนของการวิเคราะห์ธาตุโลหะต่าง ๆ (% Recovery Rate)

จากการศึกษาพบว่า เปอร์เซ็นต์ค่าการคืนกลับ (% Recovery rate) ของธาตุโลหะ Pb, Ba, Sb, Cu, Ni, Mn เท่ากับ 91.05 - 108.05 %, 90.17 - 100.80%, 90.15 - 102.20%, 90.15 - 102.20%, 90.15 - 102.20%, 89.70 - 108.40% ตามลำดับ ซึ่งพบว่าผลศึกษาค่าเฉลี่ยของการคืนกลับของธาตุโลหะอยู่ในเกณฑ์ที่ดี เมื่อเปรียบเทียบกับค่าการคืนกลับที่ยอมรับได้ในช่วงความเข้มข้น 1 – 100 ppb. (Taverniers *et al*, 2004)

ตารางที่ 7 แสดงการกลับคืนของการวิเคราะห์

ธาตุโลหะ *	ความเข้มข้น (ppb)	%Recovery Rate	Mean ± SD	%CV
Pb	20	91.05 – 108.75	98.87 ± 9.03	9.13
	60	94.80 – 104.72	99.20 ± 4.43	4.46
	100	96.57 – 108.05	100.95 ± 4.47	4.43
Ba	20	91.50 – 97.50	94.13 ± 2.87	3.05
	60	90.17 – 92.50	91.72 ± 1.35	1.47
	100	93.1 – 100.8	97.22 ± 2.85	2.93
Sb	20	90.15 – 102.20	96.35 ± 5.62	5.84
	40	90.48 – 97.38	92.91 ± 4.12	4.43
	60	90.63 – 100.10	94.60 ± 3.70	3.91
Cu	10	105.10 – 112.10	109.17 ± 3.64	3.33
	20	88.05 – 103.80	97.91 ± 6.41	6.55
	30	93.03 – 101.37	97.80 ± 3.66	3.74
Ni	10	91.30 – 99.70	96.46 ± 3.82	3.68
	20	90.60 – 94.00	92.27 ± 1.39	1.51
	30	87.27 – 94.17	90.48 ± 3.28	3.62
Mn	2	89.70 – 100	94.85 ± 5.95	6.27
	4	100.88 – 112.83	106.91 ± 4.98	4.66
	6	105.15 – 108.40	106.90 ± 1.64	1.53

(* วิเคราะห์จำนวน 5 ครั้งต่อความเข้มข้นและวิเคราะห์จำนวน 3 ซ้ำต่อตัวอย่าง)

3.3 ผลค่าความเที่ยงของการวิเคราะห์ (% CV of Intra- assays test, Inter- assays test)

จากการศึกษา ค่าความเที่ยงแบบ Intra- assays และ Inter- assays พบว่าค่าที่ได้น้อยกว่า 7.5% ซึ่งผลศึกษาค่าเฉลี่ยของการคืนกลับของธาตุโลหะอยู่ในเกณฑ์ที่ดี (< 10%) ผลแสดงดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 แสดงค่าความเที่ยงของการวิเคราะห์

ธาตุโลหะ *	ความเข้มข้น (ppb)	% CV of Intra – assays (n=3)	% CV of Inter – assays (n=3)
Pb	20	7.52	4.74
	60	4.94	3.50
	100	4.25	5.19
Ba	20	4.75	5.18
	60	4.16	5.32
	100	4.67	5.90
Sb	20	5.77	4.17
	40	2.42	1.57
	60	3.01	1.28
Cu	10	2.81	1.96
	20	6.81	6.84
	30	4.75	3.68
Ni	10	6.41	6.05
	20	6.59	4.01
	30	1.83	1.55
Mn	2	6.23	5.03
	4	4.36	2.06
	6	1.81	1.56

(* วิเคราะห์จำนวน 5 ครั้งต่อความเข้มข้นและวิเคราะห์จำนวน 3 ซ้ำต่อตัวอย่าง)

3.4 การศึกษาหาปริมาณธาตุโลหะ

3.4.1 ผลการศึกษาหาปริมาณธาตุโลหะจากกลุ่มควบคุม

ปริมาณ Pb, Ba, Sb, Cu, Ni และ Mn ที่ตรวจพบบนหน้ามือและหลังมือทั้ง 2 ข้างของกลุ่มควบคุมจำนวน 20 ราย มีค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานแสดงดังตารางที่ 9 ผลการตรวจปริมาณธาตุโลหะในกลุ่มควบคุม พบว่า มีปริมาณธาตุโลหะ Cu ปนเปื้อนบนหลังมือขวาและหลังมือซ้ายมากที่สุดคือ 49.04 และ 53.08 ppb ตามลำดับ ตามด้วย Pb, Ba, Ni, Mn และ Sb ลดลงมาตามลำดับ บริเวณหน้ามือขวาพบปริมาณธาตุโลหะ Cu ปนเปื้อนมากที่สุดคือ 102.86 ppb ตามด้วย Ni, Ba, Pb, Mn และ Sb ตามลำดับ บริเวณหน้ามือซ้ายพบปริมาณธาตุโลหะ Cu ปนเปื้อนมากที่สุดคือ 130.96 ppb ตามด้วย Ni, Pb, Ba, Mn และ Sb ตามลำดับ จากการศึกษาปริมาณธาตุโลหะต่างๆ ที่เป็นองค์ประกอบของเขม่าปืน จึงนำมาหาค่า cut off โดยใช้ค่า Mean + 3SD เนื่องจากการใช้ค่านี้ พบว่า จะให้ค่าผลบวกสูงถึง 99.7% (Fisher, และคณะ, 2004) ซึ่งหมายความว่า จะสามารถแยกกลุ่มผู้ยิงปืนออกจากกลุ่มผู้ไม่ได้ยิงปืนออกจากกันได้อย่างสมบูรณ์

เนื่องจากกลุ่มควบคุมพบว่ามีการปนเปื้อนของธาตุโลหะ Cu ค่อนข้างสูง ซึ่งการปนเปื้อนนี้เป็นผลจากการประกอบอาชีพหรือการปนเปื้อนตามธรรมชาติจากการใช้ชีวิตประจำวันก็ได้เช่นเดียวกับการศึกษาของ Garofano L และคณะ (1999) ที่พบการปนเปื้อนของธาตุโลหะหนัก Pb, Ba, Sb ในผู้ประกอบอาชีพเด็กปั๊มน้ำมันหรือช่างซ่อมเบรครถ การปนเปื้อนของธาตุโลหะ Pb ในผู้ประกอบอาชีพช่างสีหรือพนักงานด้านแบตเตอรี่ (Romolo and Margo, 2001) หรือการพบธาตุโลหะ Ba สำหรับผู้ประกอบอาชีพในโรงงานผลิตกระดาษ ช่างสี เจ้าหน้าที่ด้านการเอกซเรย์ (Mendoza *et al*., 2009) จนไม่สามารถแยกผู้ยิงปืนออกได้ด้วยการตรวจเชิงปริมาณ แต่อย่างไรก็ตาม Torre และคณะ (2002) ศึกษาโครงสร้างเฉพาะของแต่ละธาตุเท่านั้น

ตารางที่ 9 ค่าเฉลี่ยและค่า cut off ของปริมาณธาตุโลหะ 6 ชนิดจากกลุ่มควบคุม จำนวน 20 คน

กลุ่มควบคุม	ชนิดของธาตุโลหะ (ppb)																	
	Pb			Ba			Sb			Cu			Ni			Mn		
	Mean	SD	Mean+3SD	Mean	SD	Mean+3SD	Mean	SD	Mean+3SD	Mean	SD	Mean+3SD	Mean	SD	Mean+3SD	Mean	SD	Mean+3SD
หลังมือขวา	32	6	50	37	6	55	1.9	0.3	2.8	27	8	51	14	5	29	11	3	20
หลังมือซ้าย	27	6	45	30	5	45	3.2	0.4	4.4	25	9	52	10	3	19	9	3	18
หน้ามือขวา	33	6	51	26	10	56	0.2	0.4	1.4	44	10	74	31	16	79	12	5	27
หน้ามือซ้าย	59	7	80	18	13	57	1.5	0.4	2.7	45	29	132	29	17	80	13	11	46

3.4.2 ผลการศึกษาหาปริมาณธาตุโลหะจากกลุ่มยิงปืน

จากการศึกษา ผลการตรวจปริมาณธาตุโลหะทั้ง 6 ชนิดจากกลุ่มยิงปืนแสดงในตารางที่ 10

ตารางที่ 10 แสดงปริมาณธาตุโลหะ 6 ชนิด บริเวณหลังมือทั้งสองข้างจากกระสุนปืนทั้ง 4 ชนิด

ชนิดกระสุนปืน	บริเวณที่เก็บ	**Mean (SD)** (ppb)					
		Pb	**Ba**	**Sb**	**Cu**	**Ni**	**Mn**
9 มม. (FMJ)	**หลังมือขวา**	192 (91)	75 (23)	27.8 (30.4)	91 (31)	56 (6)	25 (6)
	หลังมือซ้าย	125 (73)	78 (45)	22.7 (17.8)	86 (56)	51 (7)	22 (4)
11 มม. (FMJ)	**หลังมือขวา**	141 (85)	124 (103)	42.0 (57.4)	61 (21)	61 (14)	27 (7)
	หลังมือซ้าย	74 (28)	63 (23)	11.0 (9.1)	99 (148)	58 (38)	28 (20)
. 357 (SMJ)	**หลังมือขวา**	378 (226)	72 (10)	26.0 (11.5)	63 (29)	68 (33)	28 (12)
	หลังมือซ้าย	405 (484)	70 (20)	34.4 (29.3)	54 (30)	75 (48)	29 (22)
ลูกซอง 12	**หลังมือขวา**	79 (20)	68 (34)	5.3 (2.5)	59 (18)	55 (15)	25 (8)
	หลังมือซ้าย	83 (33)	58 (26)	9.5 (5.1)	56 (17)	36 (7)	28 (12)

*FHJ คือ full metal jacket bullet

SMJ คือ hallow point semi – full jacket bullet

การยิงด้วยอาวุธปืนและกระสุนปืนขนาด 9 มม. พบว่า บริเวณหลังมือขวาและหลังมือซ้ายของธาตุโลหะในลักษณะที่เหมือนกัน คือพบการตกค้างของปริมาณธาตุโลหะ Pb มากที่สุด ตามด้วย Cu, Ba, Ni, Sb, และ Mn ตามลำดับ

การยิงด้วยอาวุธปืนและกระสุนปืนขนาด 11 มม. พบว่า บริเวณหลังมือขวามีการตกค้างของปริมาณธาตุโลหะ Pb มากที่สุด ตามด้วย Ba, Ni ,Cu, Sb และ Mn ตามลำดับ บริเวณหลังมือซ้ายพบปริมาณธาตุโลหะ Cu มากที่สุด ตามด้วย Pb, Ba, Ni, Mn และ Sb ตามลำดับ

การยิงด้วยอาวุธปืนขนาด .357 พบว่า บริเวณหลังมือขวามีการตกค้างของปริมาณธาตุโลหะ Pb มากที่สุด ตามด้วย Ba, Ni, Cu, , Mn และ Sb ตามลำดับ บริเวณหลังมือซ้ายพบปริมาณธาตุโลหะ Pb มากที่สุด ตามด้วย Ni, Ba, Cu, Sb และ Mn ตามลำดับ

การยิงด้วยอาวุธปืนลูกซอง เบอร์ 12 พบว่า บริเวณหลังมือขวามีการตกค้างของปริมาณธาตุโลหะ Pb มากที่สุด ตามด้วย Ba, Cu, Ni, Mn และ Sb ตามลำดับ บริเวณหลังมือซ้ายพบปริมาณธาตุโลหะ Pb มากที่สุด ตามด้วย Ba, Cu, Ni, Mn และ Sb ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณเขม่าปืนที่เป็นธาตุโลหะในอาวุธปืน 2 ชนิด คือ ขนาด 9 มม. กับ 11 มม. ซึ่งกระสุนปืนที่มีรูปลักษณะเหมือนกัน (full metal jacket bullet) พบว่าปริมาณธาตุโลหะ Pb, Ba และ Cu มีปริมาณที่ค่อนข้างสูงโดดเด่น เมื่อเปรียบเทียบกับธาตุโลหะชนิดอื่นๆ ซึ่งอาจจะเป็นเพราะการบรรจุธาตุโลหะ Pb และ Ba ซึ่งเป็นธาตุโลหะหลักในแก็ปปืนค่อนข้างมากก็ได้ ในขณะที่ธาตุโลหะ Cu มีปริมาณมาก ส่วนหนึ่งอาจจะมาจากแก็ปปืน แต่อีกส่วนอาจจะเกิดจากความร้อนที่สูงมากในขณะที่มีการจุดระเบิดในขณะยิงปืนทำให้เกิดการหลอมเหลวและฟุ้งออกมาของธาตุโลหะ Cu ที่นำมาใช้ทำเป็นเปลือกโลหะหุ้มกระสุนปืนได้

สำหรับกระสุนปืน .357 เป็นชนิด hallow point semi – full jacket bullet พบว่าธาตุโลหะ Pb, Ba มีปริมาณที่ค่อนข้างสูงโดดเด่น เมื่อเปรียบเทียบกับธาตุโลหะชนิดอื่นๆ ซึ่งอาจจะเป็นเพราะการบรรจุธาตุโลหะ Pb และ Ba ซึ่งเป็นธาตุโลหะหลักในแก็ปปืนค่อนข้างมากก็ได้ ประกอบกับลักษณะของกระสุนปืนเป็นแบบ semi – full jacket bullet ซึ่งจะปรากฏธาตุโลหะ Pb บริเวณส่วนหัวของกระสุนปืนและเมื่อยิงปืนอาจจะเกิดจากความร้อนที่สูงมาก ทำให้เกิดการหลอมเหลวและฟุ้งออกมาของธาตุโลหะ Pb มาติดอยู่ที่บริเวณมือของผู้ยิงปืน อีกเหตุผลคือ อาวุธปืน ขนาด .357 เป็นแบบลูกโม่ ซึ่งมีช่องว่างระหว่างลุกโม่กับส่วนต้นของลำกล้องปืน ทำหาธาตุโลหะต่างๆ ฟุ้งกระจายออกมาได้มาก

ในขณะที่ปริมาณเขม่าปืนที่ตรวจวัดได้จากการยิงปืนลูกซองยาวเบอร์ 12 จะตรวจพบได้น้อยกว่าปริมาณเขม่าปืนจากการตรวจปืนชนิดอื่น เนื่องอาวุธปืนลูกซองมีปากกระบอกปืนที่ยาวออกไป ทำให้มือที่จับอยู่ห่างจากปากกระบอกปืนและกระสุนปืนบรรจุอยู่ในรังเพลิงซึ่งเป็นส่วนเดียวกับลำกล้องปืนทำให้เขม่าปืนฟุ้งกระจายมาติดบริเวณมือของผู้ยิงปืนได้น้อยกว่าอาวุธปืนชนิดอื่นที่มีลำกล้องสั้นกว่ามาก

3.4.3 ผลการศึกษาหาค่า cut off ระหว่างกลุ่มควบคุมและกลุ่มยิงปืน

การศึกษาหาค่า cut off ต้องหาค่าที่เหมาะสมที่สุดที่ต้องคัดผู้บริสุทธิ์หรือผู้ไม่ได้ยิงปืนออก ดังนั้น การใช้ค่า cut off ที่ Mean + 3SD จึงเป็นค่าที่เหมาะสมที่สุด ถ้าหากตรวจพบปริมาณการตกค้างของ Pb, Ba, Sb, Cu, Ni และ Mn มากกว่าค่า cut off นี้แล้ว ทำให้สามารถบ่งชี้ได้ถึงพฤติกรรมว่าน่าจะผ่านการใช้ปืนมาก่อน ไม่ว่าจะเป็นปืนขนาด 9 มม., 11 มม.,ปืนขนาด .357 มม. และปืนลูกซองยาวเบอร์ 12 ซึ่งเป็นปืนที่มีการใช้ในคดีอาวุธปืนต่างๆ ในประเทศไทยมาก แต่หากตรวจพบการตกค้างของเขม่าปืนต่ำกว่าค่า cut off แล้ว ควรต้องมีการพิจารณาด้วยว่าอาวุธปืนที่ใช้เป็นชนิดใดและใช้กระสุนปืนชนิดใด

Flynn และคณะ (1998) พบว่าชนิดของกระสุนปืนที่ต่างกันอาจมีแก็ปปืนที่ต่างกันได้ โดยกระสุนปืนพกชนิด Dynamit Nomel (Sintox) 9 mm Luger ประเทศฟินแลนด์ ไม่มี Pb และ Sb เป็นองค์ประกอบ แต่มี Zn, Cu และ Ti เป็นองค์ประกอบแทน ในขณะที่กระสุนปืนชนิด Winchester 9 mm NATO, Winchester 9 mm Luger จากประเทศ

สหรัฐอเมริกา กระสุนชนิด Norma 9 mm Luger จากประเทศสวีเดน และกระสุนชนิด Dynamit Nobel (RWS-Geco) 9 mm Luger จากประเทศเยอรมัน มีทั้ง Pb, Ba, Sb เป็นองค์ประกอบ จึงควรนำชนิดของปลอกกระสุนปืนมาพิจารณาด้วย เพราะผลตรวจการตรวจเขม่าปืนที่เป็นลบอาจจะไม่สามารถระบุได้ว่าไม่มีการใช้ปืนมาก่อน

นอกจากนี้การตรวจไม่พบธาตุโลหะชนิดต่างๆ ที่เป็นองค์ประกอบของเขม่าปืนอาจจะเนื่องมาจากระยะเวลาที่เนิ่นนานในการเก็บเขม่าปืนหลังจากการยิงปืน ตามรายงานของวีระวรรณ และคณะ (2543) และปรางดาว (2551) พบว่า ปริมาณธาตุโลหะต่างๆ จะลดลงอย่างชัดเจน เมื่อเวลาผ่านไปมากกว่า 6 ชม. หลังการยิงปืน เช่นเดียวกับรายงานของ (Lloyd, 1986) ซึ่งสามารถตรวจเขม่าปืนจากมือของผู้ยิงปืนได้ภายในเวลาประมาณ 7 ชม. และนานถึง 5 วัน สำหรับการตรวจเขม่าปืนบนเสื้อที่ไม่ได้ซักทำความสะอาดของผู้ยิงปืน แต่ (Kilty, 1975) พบว่าปริมาณเขม่าปืนจะลดลงอย่างรวดเร็วภายในเวลา 2 ชม. และแทบไม่พบเลยสำหรับผู้ที่ล้างมือหลังจากยิงปืน

การศึกษาครั้งนี้ ค่าความไว(Sensitivity)ของผู้ยิงปืนทั้ง 4 ชนิด เปรียบเทียบกับค่า cut off ทั้ง 6 ธาตุ พบว่า อาวุธปืน ขนาด 9 มม. ให้ผลบวก 75%, อาวุธปืน ขนาด 11 มม. ให้ผลบวก 50%, อาวุธปืน ขนาด .357 ให้ผลบวก 30% และอาวุธปืนลูกซองยาว เบอร์ 12 ให้ผลบวก 60% แสดงในตารางที่ 11 และเมื่อพิจารณาค่าความไว (Sensitivity) ทั้ง 5 ธาตุโดยตัด Cu ออกไป ทำให้ได้ค่าความไวที่ดีขึ้น พบว่าปืนพก 9 มม. ให้ผลบวก 95%, ปืนพก 11 มม. ให้ผลบวก 80%, ปืนลูกโม่ขนาด .357 ให้ผลบวก 80% และปืนลูกซองยาว เบอร์ 12 ให้ผลบวก 60% เนื่องจากในการยืนยันผู้ยิงปืนค่าความไว (Sensitivity) ต้องแสดงเป็นผลบวก 100% โดยพิจารณาจากธาตุองค์ประกอบหลักคือ Pb, Ba, Sb แต่เมื่อพิจารณา Ba ซึ่งแสดงผลบวกเพียง 60% เพราะฉะนั้นจึงจำเป็นต้องนำธาตุอื่นมาพิจารณาร่วมด้วย ถ้าหากพิจารณาเฉพาะปริมาณของ Pb, Ni จะให้ผลบวก 100% ในการยิงปืนทุกชนิด ดังนั้นจึงทำให้สามารถตัดผู้ที่ไม่ได้ยิงปืนออกได้หมด 100 %

ตารางที่ 11 ผลบวกแต่ละธาตุโลหะและค่าความไวของกลุ่มยิงปืน 20 คน ต่อขนาดกระสุนปืนหลังการยิงปืน

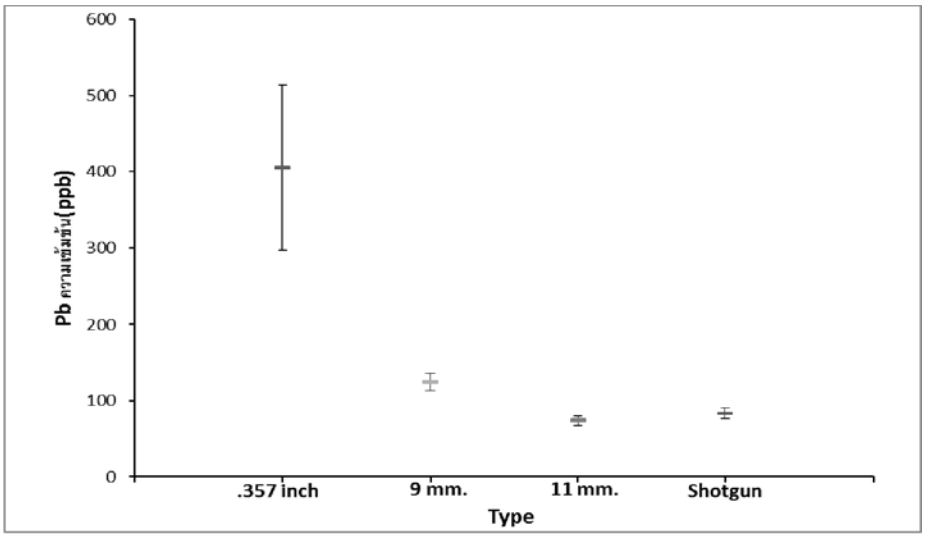
ชนิดปืน	ผลบวกแต่ละธาตุโลหะบริเวณหลังมือขวา (คน)						ผลบวกแต่ละธาตุโลหะบริเวณหลังมือซ้าย (คน)						ผลบวกรวมจากการยิงปืน (คน)	ความไว (%)	ความไวตัด Cu (%)
	Pb	Ba	Sb	Cu	Ni	Mn	Pb	Ba	Sb	Cu	Ni	Mn			
ปืนพก 9 มม.	20	20	20	20	20	19	20	20	20	15	20	20	15	75	95
ปืนพก 11 มม.	20	20	20	12	20	17	20	16	18	10	20	19	10	50	80
ปืนลูกโม่ .357	20	20	20	16	20	18	20	20	20	6	20	16	6	30	80
ปืนลูกซองยาวเบอร์ 12	20	12	17	13	20	15	20	15	20	12	20	19	12	60	60

3.4.4 ผลการศึกษาหาปริมาณธาตุโลหะกับชนิดลูกกระสุนปืน

ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของธาตุโลหะแต่ละชนิดกับชนิดลูกกระสุนในธาตุตะกั่ว, แบเรี่ยม, แอนติโมนี, ทองแดง, นิกเกิลและแมงกานีส เพื่อที่จะดูว่าธาตุโลหะดังกล่าวมีความสัมพันธ์กับชนิดของลูกกระสุนปืนหรือไม่ โดยนำข้อมูลมาวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธี one way - ANOVA

ผลการวิเคราะห์ปริมาณตะกั่วบนหลังมือซ้าย

ปริมาณของตะกั่วในการตรวจจากการยิงอาวุธปืนขนาด .357 มีปริมาณมากที่สุดและอาวุธปืนขนาด 11 มม. มีปริมาณน้อยที่สุด ดังแสดงในภาพประกอบที่ 21 โดยการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธี one way – ANOVA เขม่าปืนที่ตรวจพบจากปืนทุกชนิดมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) และทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแบบจับคู่พหุคูณ **(**Multiple comparison**)** พบว่า ปริมาณของตะกั่วในการตรวจจากการยิงอาวุธปืนขนาด .357 มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญกับปริมาณของตะกั่วในอาวุธปืนขนาด 9 มม , 11 มม และปืนลูกซองเบอร์ 12 ($p < 0.05$)

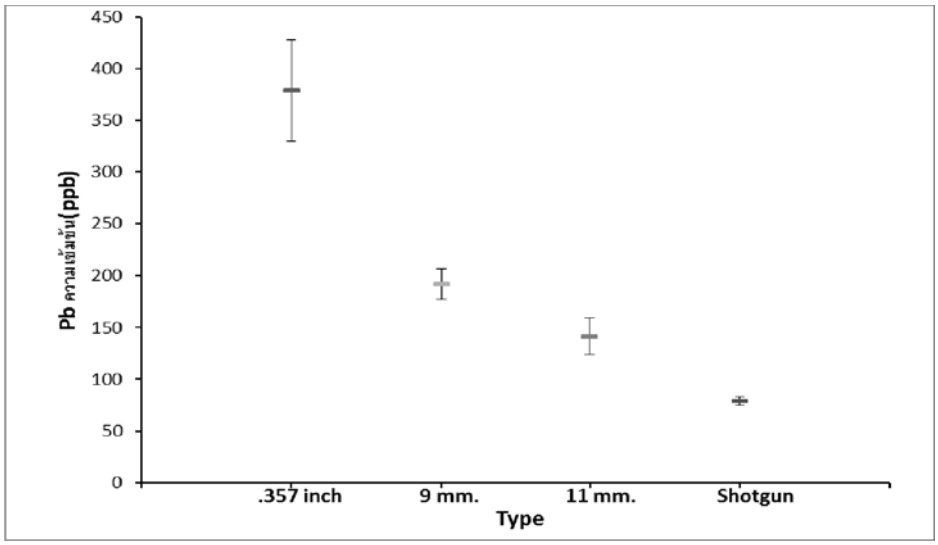


ภาพประกอบที่ 21 แสดงปริมาณธาตุตะกั่วบนหลังมือซ้ายที่ตรวจวัดได้ในปืนชนิดต่าง ๆ

ผลการวิเคราะห์ปริมาณตะกั่วบนหลังมือขวา

ปริมาณของตะกั่วในการตรวจจากการยิงอาวุธปืนขนาด .357 มีปริมาณมากที่สุดและอาวุธปืนลูกซองเบอร์ 12 มีปริมาณน้อยที่สุด ดังแสดงในภาพประกอบที่ 22 โดยการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธี one way – ANOVA พบว่าปริมาณเขม่าปืนที่ตรวจพบจากปืนทุกชนิดมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) และทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแบบจับคู่พหุคูณ **(**Multiple comparison**)** พบว่า ปริมาณของตะกั่วในการตรวจจากการยิงอาวุธ

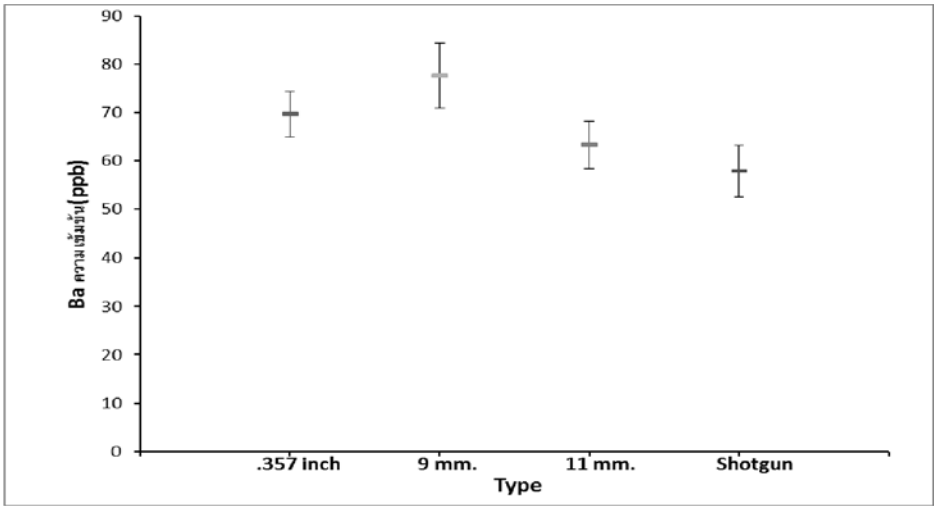
ปืนขนาด .357 มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญกับปริมาณของตะกั่วในอาวุธปืนขนาด 9 มม , 11 มม และปืนลูกซองเบอร์ 12 ($p < 0.05$) โดยที่ปริมาณของตะกั่วในอาวุธปืนขนาด 9 มม. มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญกับปืนลูกซองเบอร์ 12 เช่นกัน ($p < 0.05$)



ภาพประกอบที่ 22 แสดงปริมาณธาตุตะกั่วบนหลังมือขวาที่ตรวจวัดได้ในปืนชนิดต่าง ๆ

ผลการวิเคราะห์ปริมาณแบเรี่ยมบนมือซ้าย

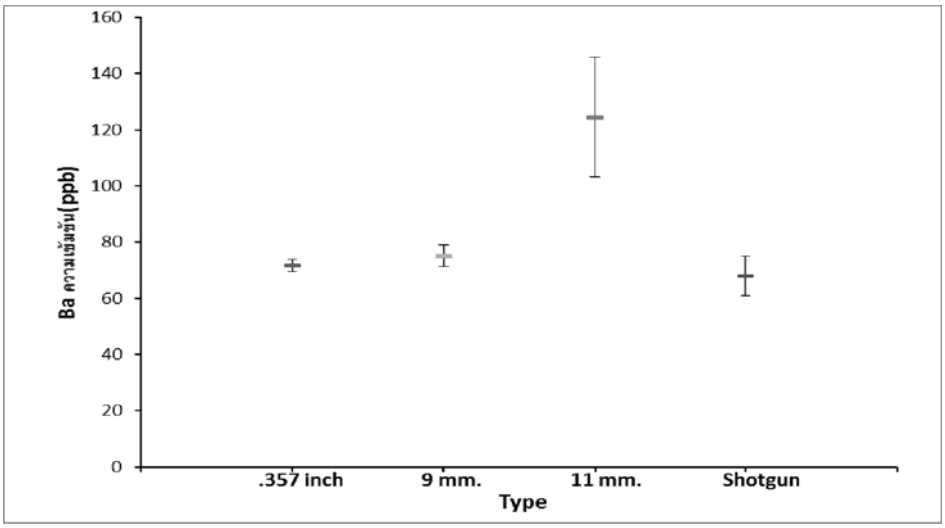
ปริมาณของแบเรี่ยมในการตรวจจากการยิงอาวุธปืนขนาด 9 มม. มีปริมาณมากที่สุดและอาวุธปืนลูกซองเบอร์ 12 มีปริมาณน้อยที่สุด ดังแสดงในภาพประกอบที่ 23 โดยการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธี one way – ANOVA พบว่า ปริมาณเขม่าปืนที่ตรวจพบจากปืนทุกชนิดไม่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)



ภาพประกอบที่ 23 แสดงปริมาณธาตุแบเรี่ยมบนหลังมือซ้ายที่ตรวจวัดได้ในปืนชนิดต่าง ๆ

ผลการวิเคราะห์ปริมาณแบเรี่ยมบนมือขวา

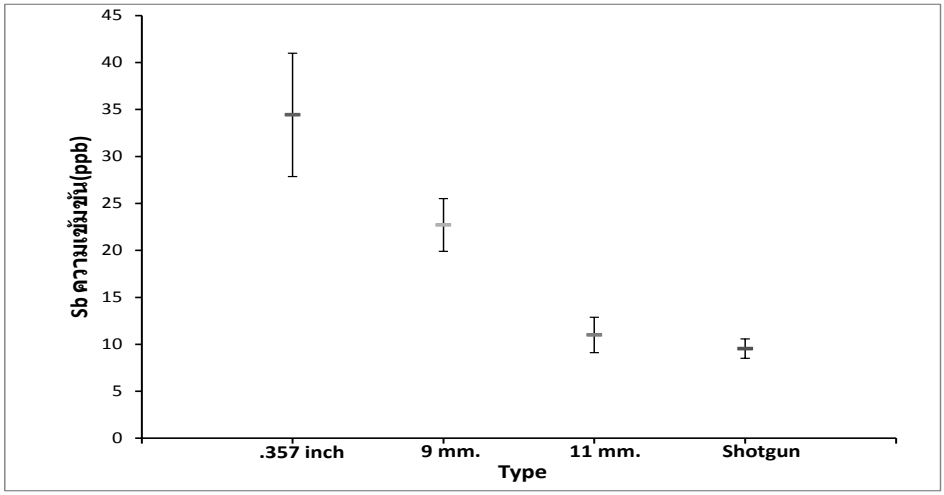
ปริมาณของแบเรี่ยมในการตรวจจากการยิงอาวุธปืนขนาด 11 มม. มีปริมาณมากที่สุดและอาวุธปืนลูกซองเบอร์ 12 มีปริมาณน้อยที่สุด ดังแสดงในภาพประกอบที่ 24 โดยการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธี one way – ANOVA พบว่าปริมาณเขม่าปืนที่ตรวจพบจากปืนทุกชนิดมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) และทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแบบจับคู่พหุคูณ **(**Multiple comparison**)** พบว่า ปริมาณของแบเรี่ยมในการตรวจจากการยิงอาวุธปืนขนาด 11 มม. มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญกับปริมาณของแบเรี่ยมในอาวุธปืนขนาด .357, 9 มม และปืนลูกซองเบอร์ 12 ($p < 0.05$)



ภาพประกอบที่ 24 แสดงปริมาณธาตุแบเรี่ยมบนหลังมือขวาที่ตรวจวัดได้ในปืนชนิดต่าง ๆ

ผลการวิเคราะห์ปริมาณพลวงบนมือซ้าย

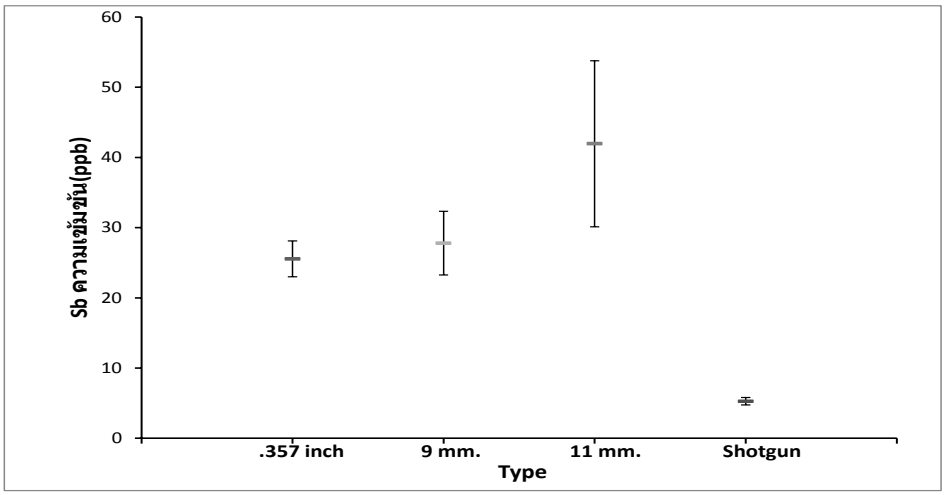
ปริมาณของพลวงในการตรวจจากการยิงอาวุธปืนขนาด .357 มีปริมาณมากที่สุดและอาวุธปืนลูกซองเบอร์ 12 มีปริมาณน้อยที่สุด ดังแสดงในภาพประกอบที่ 25 โดยการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธี one way – ANOVA พบว่าปริมาณเขม่าปืนที่ตรวจพบจากปืนทุกชนิดมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) และทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแบบจับคู่พหุคูณ **(**Multiple comparison**)** พบว่า ปริมาณของพลวงในการตรวจจากการยิงอาวุธปืนขนาด .357 มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญกับปริมาณของพลวงในอาวุธปืนขนาด 11 มม และปืนลูกซองเบอร์ 12 ($p < 0.05$)



ภาพประกอบที่ 25 แสดงปริมาณธาตุพลวงบนหลังมือซ้ายที่ตรวจวัดได้ในปืนชนิดต่าง ๆ

ผลการวิเคราะห์ปริมาณพลวงบนมือขวา

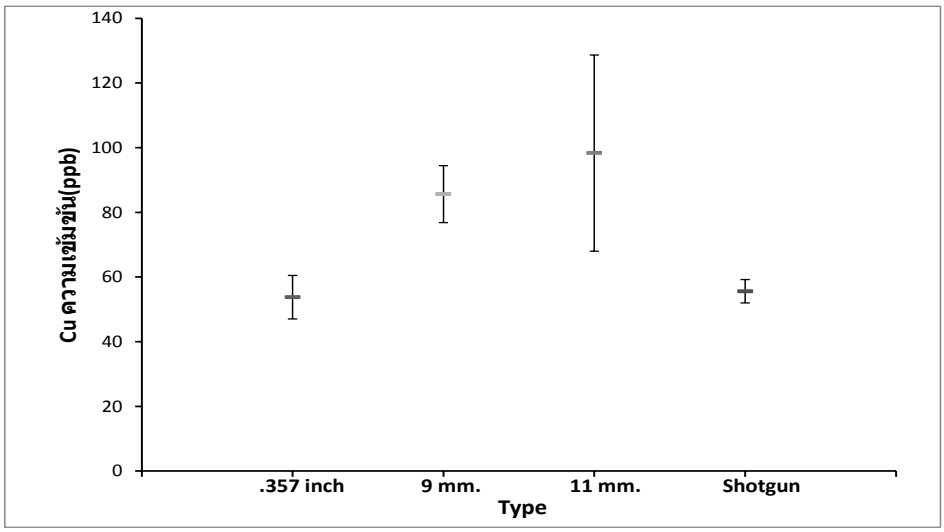
ปริมาณของพลวงในการตรวจจากการยิงอาวุธปืนขนาด 11 มม.มีปริมาณมากที่สุดและอาวุธปืนลูกซองเบอร์ 12 มีปริมาณน้อยที่สุด ดังแสดงในภาพประกอบที่ 26 โดยการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธี one way – ANOVA พบว่าปริมาณเขม่าปืนที่ตรวจพบจากปืนทุกชนิดมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) และทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแบบจับคู่พหุคูณ **(**Multiple comparison**)** พบว่า ปริมาณของพลวงในการตรวจจากการยิงอาวุธปืนขนาด 11 มม. มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญกับปริมาณของพลวงในอาวุธปืนลูกซองเบอร์ 12 ($P < 0.05$)



ภาพประกอบที่ 26 แสดงปริมาณธาตุพลวงบนหลังมือขวาที่ตรวจวัดได้ในปืนชนิดต่าง ๆ

ผลการวิเคราะห์ปริมาณทองแดงบนมือซ้าย

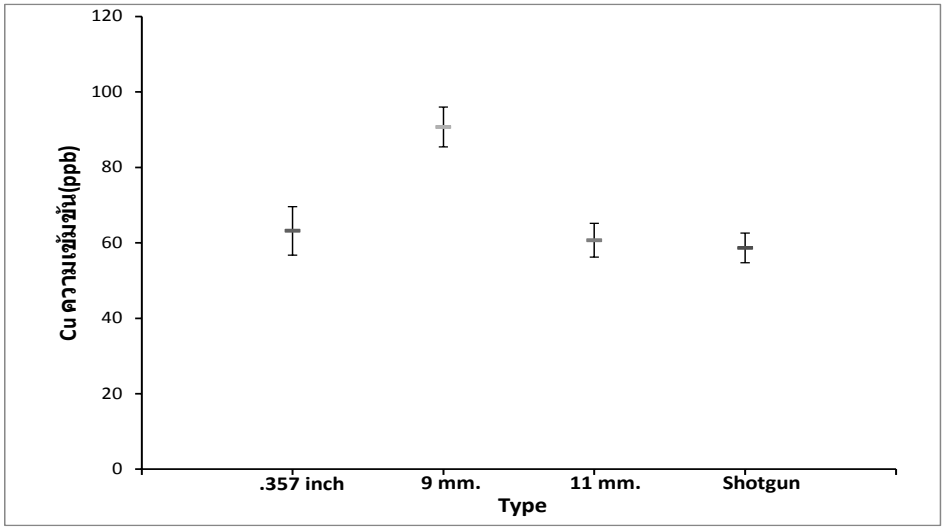
ปริมาณของทองแดงในการตรวจจากการยิงอาวุธปืนขนาด 11 มม. มีปริมาณมากที่สุดและอาวุธปืนขนาด .357 มีปริมาณน้อยที่สุด ดังแสดงในภาพประกอบที่ 27 โดยการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธี one way – ANOVA พบว่าปริมาณเขม่าปืนที่ตรวจพบจากปืนทุกชนิดไม่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)



ภาพประกอบที่ 27 แสดงปริมาณธาตุทองแดงบนหลังมือซ้ายที่ตรวจวัดได้ในปืนชนิดต่าง ๆ

ผลการวิเคราะห์ปริมาณทองแดงบนมือขวา

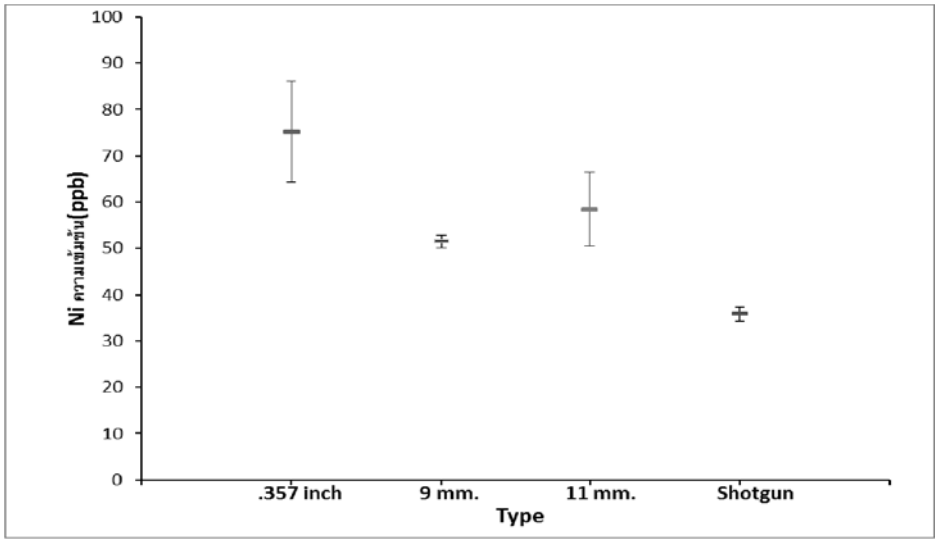
ปริมาณของทองแดงในการตรวจจากการยิงอาวุธปืนขนาด 9 มม.มีปริมาณมากที่สุดและอาวุธปืนลูกซองเบอร์ 12 มีปริมาณน้อยที่สุด ดังแสดงในภาพประกอบที่ 28 โดยการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธี one way – ANOVA พบว่าปริมาณเขม่าปืนที่ตรวจพบจากปืนทุกชนิดมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) และทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแบบจับคู่พหุคูณ **(**Multiple comparison**)** พบว่าปริมาณของทองแดงในการตรวจจากการยิงอาวุธปืนขนาด 9 มม. มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญกับปริมาณของทองแดงในอาวุธปืนขนาด .357, 11 มม และปืนลูกซองเบอร์ 12 ($p < 0.05$)



ภาพประกอบที่ 28 แสดงปริมาณธาตุทองแดงบนหลังมือขวาที่ตรวจวัดได้ในปืนชนิดต่าง ๆ

ผลการวิเคราะห์ปริมาณนิกเกิลบนมือซ้าย

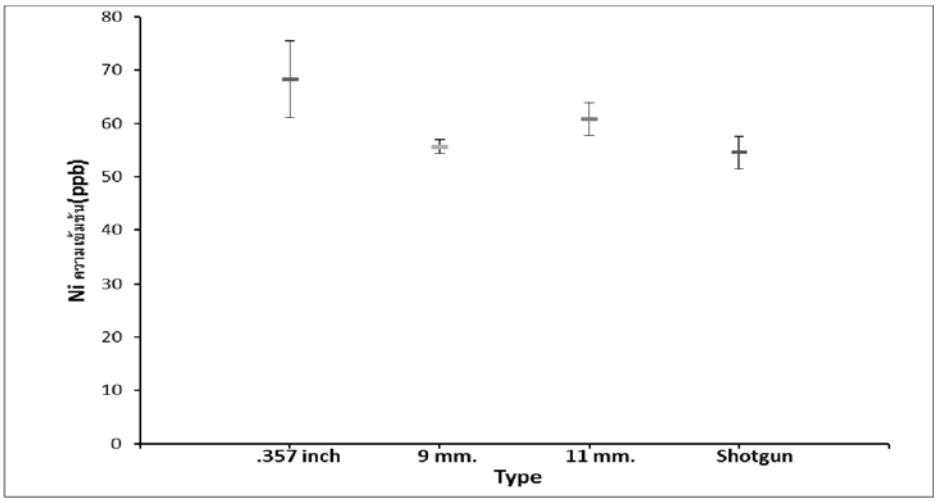
ปริมาณของนิกเกิลในการตรวจจากการยิงอาวุธปืนขนาด .357 มีปริมาณมากที่สุดและอาวุธปืนลูกซองเบอร์ 12 มีปริมาณน้อยที่สุด ดังแสดงในภาพประกอบที่ 29 โดยการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธี one way – ANOVA พบว่าปริมาณเขม่าปืนที่ตรวจพบจากปืนทุกชนิดมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) และทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแบบจับคู่พหุคูณ **(**Multiple comparison**)** พบว่า ปริมาณของนิกเกิลในการตรวจจากการยิงอาวุธปืนขนาด .357 มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญกับปริมาณของนิกเกิลในอาวุธปืนลูกซองเบอร์ 12 ($p < 0.05$)



ภาพประกอบที่ 29 แสดงปริมาณธาตุนิกเกิลบนหลังมือซ้ายที่ตรวจวัดได้ในปืนชนิดต่างๆ

ผลการวิเคราะห์ปริมาณนิกเกิลบนมือขวา

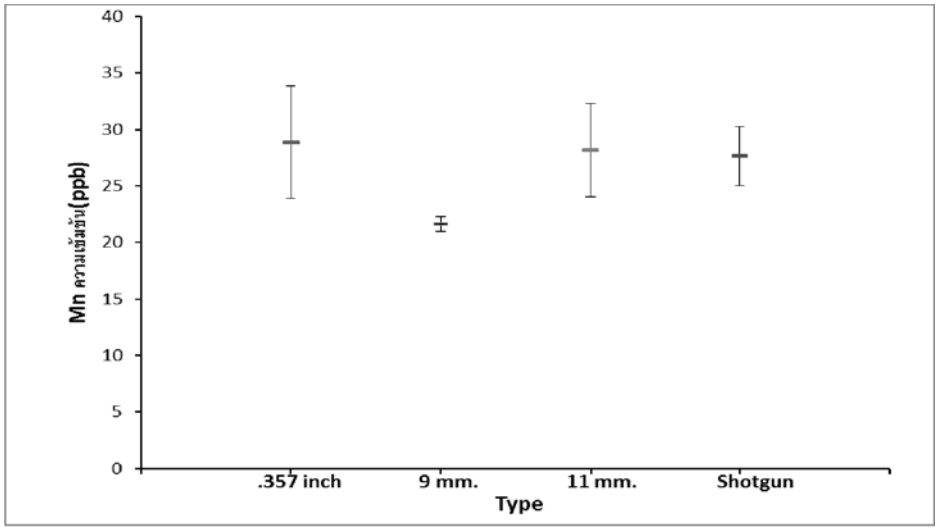
ปริมาณของนิกเกิลในการตรวจจากการยิงอาวุธปืนขนาด .357 มีปริมาณมากที่สุดและอาวุธปืนลูกซองเบอร์ 12 มีปริมาณน้อยที่สุด ดังแสดงในภาพประกอบที่ 30 โดยการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธี one way – ANOVA พบว่าปริมาณเขม่าปืนที่ตรวจพบจากปืนทุกชนิดไม่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)



ภาพประกอบที่ 30 แสดงปริมาณธาตุนิกเกิลบนหลังมือขวาที่ตรวจวัดได้ในปืนชนิดต่างๆ

ผลการวิเคราะห์ปริมาณแมงกานีสบนมือซ้าย

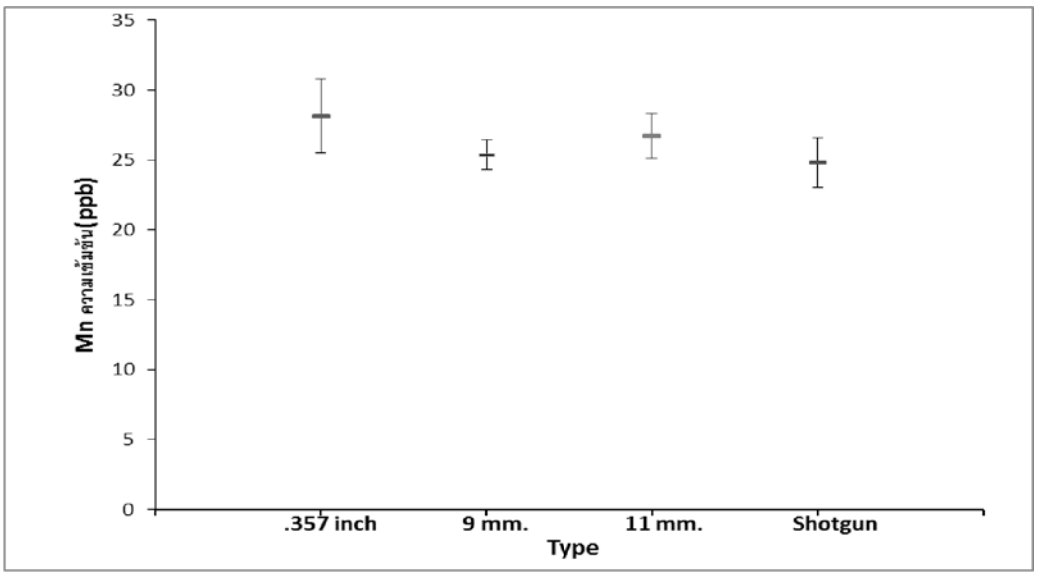
ปริมาณของแมงกานีสในการตรวจจากการยิงอาวุธปืนขนาด .357 มีปริมาณมากที่สุดและอาวุธปืนขนาด 9 มม. มีปริมาณน้อยที่สุด ดังแสดงในภาพประกอบที่ 31 โดยการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธี one way – ANOVA พบว่าปริมาณเขม่าปืนที่ตรวจพบจากปืนทุกชนิดไม่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)



ภาพประกอบที่ 31 แสดงปริมาณธาตุแมงกานีสบนหลังมือซ้ายที่ตรวจวัดได้ในปืนชนิดต่าง ๆ

ผลการวิเคราะห์ปริมาณแมงกานีสบนมือขวา

ปริมาณของแมงกานีสในการตรวจจากการยิงอาวุธปืนขนาด .357 มีปริมาณมากที่สุดและอาวุธปืนลูกซองเบอร์ 12 มีปริมาณน้อยที่สุด ดังแสดงในภาพประกอบที่ 32 โดยการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธี one way – ANOVA พบว่าปริมาณเขม่าปืนที่ตรวจพบจากปืนทุกชนิดไม่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)



ภาพประกอบที่ 32 แสดงปริมาณธาตุแมงกานีสบนหลังมือขวาที่ตรวจวัดได้ในปืนชนิดต่าง ๆ

จากการศึกษาธาตุโลหะทุกชนิดไม่สามารถนำมาใช้แยกกระสุนปืนออกจากกันได้อย่างสมบูรณ์ เพราะไม่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

3.4.5 ผลการศึกษาหาสัดส่วนระหว่างปริมาณธาตุโลหะกับชนิดลูกกระสุนปืน

ศึกษาสัดส่วนระหว่างกลุ่มธาตุตะกั่ว, แบเรี่ยมและพลวงกับกลุ่มธาตุทองแดง, นิกเกิลและแมงกานีส เพื่อที่จะดูว่าสัดส่วนของกลุ่มโลหะดังกล่าวว่าสัมพันธ์กับชนิดของลูกกระสุนปืนหรือไม่ โดยนำข้อมูลมาวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธี one way - ANOVA เพื่อดูความแตกต่างของสัดส่วนปริมาณธาตุกับชนิดลูกกระสุนปืน จากการวิเคราะห์ข้อมูลสามารถนำสัดส่วนระหว่างปริมาณธาตุโลหะมาวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแบบจับคู่พหุคูณ **(**Multiple comparison**)** สามารถนำมาใช้เป็นเกณฑ์ในการพิจารณาการแยกชนิดเขม่าปืนออกจากกลุ่มชนิดปืนได้ดังนี้

การแยกอาวุธปืนขนาด .357, 9 มม, 11 มม. และปืนลูกซองเบอร์ 12 (Post hoc test: $p < 0.05$)

จากการศึกษาพบว่าอาวุธปืนขนาด .357 สามารถแยกออกจากอาวุธปืนขนาด 9 มม, 11 มม. และอาวุธปืนลูกซองเบอร์ 12 ด้วยการใช้สัดส่วนของธาตุโลหะจากเขม่าปืนที่ตกค้างบนหลังมือได้ดังนี้ (ภาพประกอบภาคผนวกที่ 4, 5, 8, 9, 10, 11 ,12, 13, 14, 26, 28)

- มือซ้าย: Pb/Ba, Pb/Cu, Pb/Ni, Pb/Mn, Ba/Pb, Sb/Ba, Sb/Cu
- มือขวา: Pb/Ba, Pb/Cu, Pb/Ni, Pb/Mn

จากการศึกษาพบว่าอาวุธปืนขนาด 9 มม. สามารถแยกออกจากอาวุธปืนขนาด .357, 11 มม. และอาวุธปืนลูกซองเบอร์ 12 ด้วยการใช้สัดส่วนของธาตุโลหะจากเขม่าปืนที่ตกค้างบนหลังมือได้ดังนี้ (ภาพประกอบภาคผนวกที่ 6)

- มือซ้าย: Pb/Sb,
- มือขวา: ไม่มีสัดส่วนระหว่างธาตุโลหะชนิดใดที่สามารถแยกอาวุธปืนขนาด 9 มม. ออกจากอาวุธปืนชนิดอื่นได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

แต่พบว่า เมื่อพิจารณาสัดส่วนของธาตุโลหะจากเขม่าปืนที่ตกค้างบนหลังมือจากการใช้อาวุธปืนขนาด 9 มม. สามารถแยกกับอาวุธปืนชนิดอื่น โดยไม่รวมอาวุธปืนขนาด .357 ดังนี้ (ภาพประกอบภาคผนวกที่ 6, 15, 16, 22, 32)

- มือซ้าย Pb/Sb, Ba/Sb, Ba/Mn, Sb/Mn
- มือขวา Ba/Pb

จากการศึกษาพบว่าอาวุธปืนขนาด 11 มม. สามารถแยกออกจากอาวุธปืนขนาด .357, 9 มม. และอาวุธปืนลูกซองเบอร์ 12 ด้วยการใช้สัดส่วนของธาตุโลหะจากเขม่าปืนที่ตกค้างบนหลังมือได้ดังนี้ (ภาพประกอบภาคผนวกที่ 19, 21, 23, 25)

- มือซ้าย: ไม่มีสัดส่วนระหว่างธาตุโลหะชนิดใดที่สามารถแยกอาวุธปืนขนาด 11 มม. ออกจากอาวุธปืนชนิดอื่นได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ
- มือขวา Ba/Cu, Ba/Ni, Ba/Mn, Sb/Pb

แต่พบว่า เมื่อพิจารณาสัดส่วนของธาตุโลหะจากเขม่าปืนที่ตกค้างบนหลังมือจากการใช้อาวุธปืนขนาด 11 มม. สามารถแยกกับอาวุธปืนชนิดอื่น โดยไม่รวมอาวุธปืนลูกซองเบอร์ 12 ดังนี้ (ภาพประกอบภาคผนวกที่ 14, 15, 16, 19, 20, 23)

- มือซ้าย: Ba/Pb, Ba/Sb
- มือขวา: Ba/Pb, Ba/Cu, Ba/Ni, Ba/Mn

จากการศึกษาพบว่าอาวุธปืนลูกซองเบอร์ 12 สามารถแยกออกจากอาวุธปืนขนาด .357, 9 มม. และอาวุธปืนขนาด 11 มม. ด้วยการใช้สัดส่วนของธาตุโลหะจากเขม่าปืนที่ตกค้างบนหลังมือได้ดังนี้ (ภาพประกอบภาคผนวกที่ 17, 27, 31)

- มือซ้าย: ไม่มีสัดส่วนระหว่างธาตุโลหะชนิดใดที่สามารถแยกอาวุธปืนลูกซองเบอร์ 12 ออกจากอาวุธปืนชนิดอื่นได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ
- มือขวา Ba/Sb, Sb/Ba, Sb/Ni

บทที่ 4

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

การศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการตรวจทางห้องปฏิบัติการเป็นสิ่งที่สำคัญ เพราะจะเป็นการสะท้อนถึงความน่าเชื่อถือต่างๆ จากการศึกษาครั้งนี้พบว่า อุณหภูมิในการเร่งสภาวะการแตกตัวของอะตอม (Atomize state) มีความแตกต่างกันตามคุณสมบัติในแต่ละธาตุโลหะ โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมในการใช้เร่งสภาวะการแตกตัวของอะตอมธาตุโลหะ ตะกั่ว (Pb), แบเรี่ยม (Ba), แอนติโมนี่ (Sb), ทองแดง (Cu), นิกเกิล (Ni) และแมงกานีส (Mn) คือ 2100 °C, 3000°C, 2300°C, 2500°C, 2600°C และ 2500°C ตามลำดับ จะได้ค่าการดูดกลืนแสงที่ดีที่สุด

การสกัดธาตุโลหะทั้ง 6 ชนิด ออกจากสำลีพันปลายไม้ด้วยการอบที่อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 2 ชม. ให้ค่าการคืนกลับได้ดีกว่าวิธีการ Sonication เวลา 30 นาที และวิธีการ Sonication เวลา 30 นาที ร่วมกับการอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 50 ºC เวลา 2 ชั่วโมง โดยเฉพาะธาตุโลหะชนิดหลัก (Pb, Ba, Sb) ซึ่งเป็นวิธีที่ดีและเหมาะสม เพราะใช้เวลาไม่นานและประหยัด

การศึกษาความเข้มข้นของกรดไนตริกที่ใช้ในการสกัดตัวอย่าง การใช้กรดไนตริกที่ความเข้มข้น 5 % และ 10 % จะให้ผลค่าการกลับคืนและค่าสัมประสิทธิ์ของความแปรปรวนที่ดี แต่เมื่อพิจารณาถึงความคุ้มค่าแล้วพบว่า การใช้กรดไนตริก ความเข้มข้น 5 % จะคุ้มค่าและประหยัดกว่าทั้งปริมาณที่นำมาเจือจางและผลต่อ graphite tube

ในขณะที่การทำกราฟมาตรฐานพบว่า ค่าความชันและจุดตัดแกน y ของธาตุโลหะ (ยกเว้นธาตุโลหะ Pb และ Sb) มีความแตกต่างกันระหว่างธาตุโลหะมาตรฐานในกรดไนตริกกับธาตุโลหะมาตรฐานที่สกัดจากสำลีพันปลายไม้ (matrix) ดังนั้นการสร้างกราฟมาตรฐานควรใช้ธาตุโลหะมาตรฐานที่สกัดจากสำลีพันปลายไม้ จึงจะได้ค่าความเข้มข้นของธาตุโลหะจากการวิเคราะห์ที่ดีที่สุด

โดยค่าขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัดและค่าขีดจำกัดต่ำสุดในการวิเคราะห์เชิงปริมาณของตะกั่วให้ค่า LOD เท่ากับ 0.27 ppb และ LOQ เท่ากับ 0.89 ppb, แบเรี่ยมให้ค่า LOD เท่ากับ 0.37 ppb และ LOQ เท่ากับ 1.23 ppb, แอนติโมนีให้ค่า LOD เท่ากับ 0.61 ppb และ LOQ เท่ากับ 2.04 ppb, ทองแดงให้ค่า LOD เท่ากับ 0.38 ppb และ LOQ เท่ากับ 1.27 ppb, นิกเกิลให้ค่า LOD เท่ากับ 0.44 ppb และ LOQ เท่ากับ 1.46 ppb และแมงกานีสให้ค่า LOD เท่ากับ 0.05 ppb และ LOQ เท่ากับ 0.16 ppb

ผลค่าการกลับคืนของการวิเคราะห์ธาตุโลหะต่างๆ อยู่ในเกณฑ์ที่ดี (% Recovery Rate = 88 – 112%) เมื่อเปรียบเทียบกับค่าการคืนกลับที่ยอมรับได้ในช่วงความ

เข้มข้น 1 ppb – 100 ppb. (Taverniers *et al*, 2004) และค่าความเที่ยงน้อยกว่า 7.5 % ทั้ง Intra-assays และ Inter- assays ซึ่งพบว่าผลศึกษาค่าเฉลี่ยของการคืนกลับของธาตุโลหะอยู่ในเกณฑ์ที่ดี (< 10%)

การแยกกลุ่มนักศึกษาที่ไม่ได้ยิงปืนออกจากกลุ่มนักศึกษาที่ยิงปืนด้วยกระสุนปืนหนึ่งยี่ห้อกับอาวุธปืนขนาด 9 มม, 11 มม, .357 และลูกซองเบอร์ 12 โดยตรวจธาตุโลหะตะกั่ว แบเรี่ยม แอนติโมนี ทองแดง นิกเกิล และแมงกานีส ด้วยเครื่อง GFAAS ค่าปริมาณธาตุโลหะต่างๆ โดยใช้ค่า cut off (Mean ± 3SD) พบว่า

การยิงด้วยอาวุธปืนและกระสุนปืนขนาด 9 มม. พบว่า บริเวณหลังมือขวาและหลังมือซ้ายของธาตุโลหะในลักษณะที่เหมือนกัน คือพบการตกค้างของปริมาณธาตุโลหะ Pb มากที่สุด ตามด้วย Cu, Ba, Ni, Sb, และ Mn ตามลำดับ

การยิงด้วยอาวุธปืนและกระสุนปืนขนาด 11 มม. พบว่า บริเวณหลังมือขวามีการตกค้างของปริมาณธาตุโลหะ Pb มากที่สุด ตามด้วย Ba, Ni ,Cu, Sb และ Mn ตามลำดับ บริเวณหลังมือซ้ายพบปริมาณธาตุโลหะ Cu มากที่สุด ตามด้วย Pb, Ba, Ni, Mn และ Sb ตามลำดับ

การยิงด้วยอาวุธปืนขนาด .357 พบว่า บริเวณหลังมือขวามีการตกค้างของปริมาณธาตุโลหะ Pb มากที่สุด ตามด้วย Ba, Ni, Cu, , Mn และ Sb ตามลำดับ บริเวณหลังมือซ้ายพบปริมาณธาตุโลหะ Pb มากที่สุด ตามด้วย Ni, Ba, Cu, Sb และ Mn ตามลำดับ

การยิงด้วยอาวุธปืนลูกซอง เบอร์ 12 พบว่า บริเวณหลังมือขวามีการตกค้างของปริมาณธาตุโลหะ Pb มากที่สุด ตามด้วย Ba, Cu, Ni, Mn และ Sb ตามลำดับ บริเวณหลังมือซ้ายพบปริมาณธาตุโลหะ Pb มากที่สุด ตามด้วย Ba, Cu, Ni, Mn และ Sb ตามลำดับ

การศึกษาปริมาณธาตุโลหะทั้งหกชนิดจากผู้ยิงปืนทั้ง 4 ชนิด เปรียบเทียบกับค่า cut off พบว่า อาวุธปืนขนาด 9 มม. ให้ค่าความไว 75%, อาวุธปืนขนาด 11 มม. ให้ค่าความไว 50%, อาวุธปืนขนาด .357 ให้ค่าความไว 30% และอาวุธปืนลูกซองยาว เบอร์ 12 ให้ค่าความไว 60% และเมื่อพิจารณาธาตุโลหะเพียง 5 ธาตุโดยตัดธาตุโลหะ Cu ออกไป ทำให้ได้ค่าความไวที่ดีขึ้น พบว่าปืนพก 9 มม. ให้ค่าความไว 95%, ปืนพก 11 มม. ให้ค่าความไว 85%, ปืนลูกโม่ขนาด .357 ให้ค่าความไว 80% และปืนลูกซองยาว เบอร์ 12 ให้ค่าความไว 60%

ดังนั้นจากการศึกษานี้พบว่า การตรวจเขม่าปืนโดยการเพิ่มจำนวนธาตุโลหะจะช่วยในการพิจารณาแยกผู้ที่ใช้อาวุธปืนกับผู้ที่ไม่ใช้อาวุธปืนได้อย่างมั่นใจยิ่งขึ้น โดยเฉพาะการพิจารณาคัดผู้ที่ไม่ได้ยิงปืนหรือผู้บริสุทธิ์ออก ส่วนกลุ่มผู้ที่ใช้อาวุธปืนอาจจะต้องใช้หลักฐานอื่นมาช่วยในการพิจารณาด้วย จึงจะสามารถยืนยันการใช้อาวุธปืนได้อย่างแน่นอน

การนำผลการศึกษานี้ไปใช้งานเพื่อคัดผู้บริสุทธิ์ออกหรือเพื่อการยืนยันผู้ที่ยิงปืนจะต้องมีการพิจารณาอย่างรอบคอบ เพราะการศึกษามีข้อจำกัดที่ว่า กลุ่มควบคุมที่นำผลการ

ปนเปื้อนของธาตุโลหะมาเป็นค่า cut off เป็นกลุ่มนักศึกษาเพียงกลุ่มเดียวดังนั้นอาจจะไม่ครอบคลุมทุกกลุ่มอาชีพ อาวุธปืนแต่ละขนาดก็ใช้เพียงขนาดละหนึ่งยี่ห้อและกระสุนปืนยี่ห้อ Bullet Master เท่านั้น ในขณะที่ความจริงในประเทศไทยอาวุธปืนและกระสุนปืน มีความหลากหลายมาก และระยะเวลาในการเก็บเขม่าแก๊ปปืนจากผู้ที่ยิงปืนก็มีความสำคัญมากเช่นกัน

ผลการศึกษาหาปริมาณธาตุโลหะกับชนิดลูกกระสุนปืนโดยศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของธาตุโลหะแต่ละชนิดกับชนิดลูกกระสุน และนำข้อมูลมาวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธี one way – ANOVA โดยทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแบบจับคู่พหุคูณพบว่าปริมาณของธาตุโลหะตะกั่วบนมือทั้งสองข้างในปืนขนาด .357 มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญกับอาวุธปืนทุกชนิด ($p < 0.05$)

ดังนั้นจึงใช้ปริมาณธาตุโลหะตะกั่วเป็นตัวแยกอาวุธปืนขนาด .357 ออกจากอาวุธปืนขนาด 9 มม., 11 มม. และอาวุธปืนลูกซองเบอร์ 12 ได้ แต่การพิจารณาเพียงธาตุโลหะเดียวอาจไม่เพียงพอที่จะใช้แยกระหว่างผู้ยิงปืนและผู้ไม่ได้ยิงปืนได้

การศึกษาสัดส่วนระหว่างธาตุโลหะตะกั่ว, แบเรี่ยม, พลวง, ทองแดง, นิกเกิล และแมงกานีส เพื่อที่จะดูว่าสัดส่วนของกลุ่มโลหะดังกล่าวว่าสัมพันธ์กับชนิดของลูกกระสุนปืนและนำข้อมูลมาวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธี one way – ANOVA โดยทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแบบจับคู่พหุคูณพบว่า เมื่อพิจารณาสัดส่วนระหว่างตะกั่วต่อแบเรี่ยม (Pb/Ba), ตะกั่วต่อทองแดง (Pb/Cu), ตะกั่วต่อนิกเกิล (Pb/Ni) และตะกั่วต่อแมงกานีส (Pb/Mn) บนมือทั้งสองข้างจากการยิงยิงอาวุธปืนขนาด .357 มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญกับปืนทุกชนิด ($p < 0.05$) จึงสามารถใช้แยกระหว่างอาวุธปืนขนาด .357 ออกจากอาวุธปืนขนาด 9 มม., 11 มม. และปืนลูกซองเบอร์ 12 ได้

เมื่อพิจารณาสัดส่วนระหว่างแบเรี่ยมต่อแอนติโมนีบนมือทั้งสองข้างที่ยิงด้วยอาวุธปืนลูกซองเบอร์ 12 มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญกับอาวุธปืนขนาด .357, 9 มม. ($p < 0.05$) จึงสามารถใช้แยกระหว่างอาวุธปืนลูกซองเบอร์ 12 ออกจากอาวุธปืนขนาด .357 และ 9 มม. ได้ แต่ไม่สามารถแยกการใช้อาวุธปืนขนาด 11 มม. ออกจากอาวุธปืนลูกซองเบอร์ 12 แต่ในทางปฏิบัติการแยกอาวุธปืนลูกซองออกจากอาวุธปืนลูกโดดสามารถแยกด้วยลักษณะอื่นๆ ได้ เช่น บาดแผลทางเข้าหรือลักษณะของลูกกระสุนปืน

นอกจากนั้นเมื่อพิจารณาสัดส่วนระหว่างแบเรี่ยมต่อตะกั่วบนมือทั้งสองข้างที่ยิงด้วยอาวุธปืนขนาด 9 มม. มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญกับอาวุธปืนขนาด .357 และ 11 มม. ($p < 0.05$) จึงสามารถใช้แยกระหว่างอาวุธปืนขนาด 9 มม.ออกจากอาวุธปืนขนาด .357 และ 11 มม. ได้

โดยสรุปสามารถพิจารณาแยกกระสุนปืนแต่ละชนิดตามขั้นตอนดังนี้

1. พิจารณาแยกอาวุธปืนขนาด .357 ออกจากอาวุธปืนชนิดอื่นๆ ก่อน ถ้าแยกได้แสดงว่าเป็นอาวุธปืนขนาด .357 ที่ใช้ในการยิงปืน

2. ถ้าไม่สามารถแยกอาวุธปืนได้ว่าเป็นขนาด .357 หรือไม่ ต้องพิจารณาต่อว่าเป็นอาวุธปืนขนาด 9 มม. หรือไม่ โดยไม่นำอาวุธปืนขนาด .357 มาร่วมพิจารณา ถ้าแยกได้แสดงว่าเป็นอาวุธปืนขนาด 9 มม. ที่ใช้ในการยิงปืน

3. ถ้าไม่สามารถแยกอาวุธปืนได้ว่าเป็นขนาด 9 มม. หรือไม่ แสดงว่าเป็นอาวุธปืนขนาด 11 มม. หรืออาวุธปืนลูกซองเบอร์ 12 อย่างใดอย่างหนึ่ง

4. การพิจารณาแยกอาวุธปืนขนาด 11 มม. กับอาวุธปืนลูกซองเบอร์ 12 ไม่สามารถแยกออกจากกันได้อย่างเด็ดขาดด้วยการใช้สัดส่วนของธาตุโลหะจากเขม่าปืน แต่สามารถพิจารณาแยกออกจากกันได้ด้วยรูปร่างของบาดแผลทางเข้าหรือลักษณะของลูกกระสุนปืน

อย่างไรก็ตามในงานวิจัยนี้ การยิงปืนจะยิงในพื้นที่จำลองไม่เหมือนที่เกิดเหตุจริง อีกทั้งกระสุนปืนมีเพียงยี่ห้อเดียวโดยองค์ประกอบธาตุของ GSR จะสูงขึ้นอยู่กับชนิดของไพรเมอร์และองค์ประกอบของไพรเมอร์ของกระสุน (Meng and Caddy, 1997) ผู้ยิงปืนมีเพียงกลุ่มเดียว และการตรวจหาธาตุโลหะจากเขม่าแก็ปปืนจะต้องเก็บจากทั้งหลังมือและหน้ามือทั้งสองข้าง แต่การศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยเก็บเขม่าแก็ปปืนจากกลุ่มผู้ยิงปืนเฉพาะจากหลังมือด้วยเหตุผลที่ว่า การเก็บจากหน้ามือจะต้องมีการควบคุมการปนเปื้อนบริเวณด้ามปืนด้วย อาจจะทำโดยการหาวัสดุมารองหรือต้องล้างด้ามปืนทุกครั้งที่ยิง แต่เนื่องจากศึกษาครั้งนี้กลุ่มผู้ยิงปืนเป็นนักศึกษาที่ไม่เคยยิงปืนมาก่อน ไม่มีหรือต้องล้างด้ามปืนทุกครั้งที่ยิง ไม่มีความถนัดในการใช้ปืนมาก การรองด้วยวัสดุหรือล้างด้ามปืนอาจจะทำให้ด้ามปืนลื่นจนมีผลต่อความปลอดภัยได้

ดังนั้นหากจะให้เกิดความสมบูรณ์ในการทดลองยิ่งขึ้นแล้ว ควรจะทำการทดลองโดยคำนึงถึงปัจจัยอื่นๆเช่น ความสะอาดของปืน ชนิดของกระสุนปืน พื้นที่ที่ใช้ยิงปืน สภาพพื้นผิวที่ใช้เก็บเขม่าปืน และในสภาพแวดล้อมอื่น ๆ เพิ่มเติมด้วย อาทิเช่น อาจทำการยิงปืนในบริเวณที่เปิดโล่งที่มีลมแรง เช่น ในสนาม ทุ่งหญ้า หรือยิงปืนในขณะขับขี่รถจักรยานยนต์เป็นต้น(jame, 2008) และเก็บเขม่าปืนจากทั้งหลังมือและหน้ามือทั้งสองข้าง นอกจากนี้การเก็บตัวอย่างจากบริเวณอื่นของร่างกาย เช่น ใบหน้า ใบหู ล้วนเป็นสิ่งที่นับว่า มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการเชื่อมโยงการกระทำความผิดของคนร้าย หากได้มีการทดลองเก็บข้อมูลที่ดีและมากพอจะทำให้การตรวจเขม่าแก็ปปืนซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของงานทางนิติวิทยาศาสตร์ของประเทศไทยมีความเจริญก้าวหน้าต่อไป

เอกสารอ้างอิง

เจริญ ปานคล้าย. 2550. การตรวจเขม่าดินปืนบนเสื้อผ้าที่ระยะยิงต่างๆ ด้วยเทคนิค ICP-MS. สถาบันนิติวิทยาศาสตร์ตำรวจ สำนักงานตำรวจแห่งชาติ.

ทรงฉัตร โตษยานนท์. นิติเวชศาสตร์. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์. 2519: 608-620.

ปรางดาว จันมุนี. 2551. การหาปริมาณธาตุแบเรี่ยม, แอนติโมนีและตะกั่วในเขม่าปืน โดยใช้เครื่องมือ Inductively Coupled Plasma- Optical Emission Spectrometry (IPC-OES). วิทยานิพนธ์, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา, ประเทศไทย.

แม้น อมรสิทธิ์และอมร เพชรสม. 2539. Principle and Techniques of Instrumental Analysis. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ชวนพิมพ์.

วีระวรรณ เรืองยุทธิการณ์, สุนทร คำชมนันท์และภัทรวดี พงษ์ระวีวงศา. 2543. ศึกษาการตกค้างของเขม่าปืนหลังยิงปืนโดยใช้อะตอมมิกแอบซอพชั่นสเปกโตรมิเตอร์ แบบซีแมนกราไฟท์เฟอเนส. เชียงใหม่: คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ศรุต ดิสราธิคม. 2551. การศึกษาหาการกระจายตัวของเขม่าปืนจากปืนที่ยิงในห้องปิดด้วยเทคนิค SEM/EDS. วิทยานิพนธ์, มหาวิทยาลัยศิลปากร, นครปฐม, ประเทศไทย.

อรรถพล แช่มสุวรรณวงศ์. 2546. วัตถุพยานประเภทอาวุธปืน เครื่องกระสุนปืน และการตรวจพิสูจน์ .*ใน* นิติวิทยาศาสตร์ 2 เพื่อการสืบสวนสอบสวนนิติเวชศาสตร์ .(พิมพ์ครั้งที่ 4). บริษัท ทีซีจี พริ้นติ้ง จำกัด ,กรุงเทพฯ .หน้า 92-135 .

อัมพร จารุจินดา, พลตำรวจตรี. 2542. การตรวจพิสูจน์อาวุธปืนและเครื่องกระสุนปืน. กองพิสูจน์หลักฐาน สำนักงานวิทยาการตำรวจ,: 1 – 38.

Andrasko, J., and Machly, A.C. 1977. Detection of Gunshot Residue on Hands by SEM. Journal of Forensic Science. 22: 279 – 287.

Andrew, R.J. and Julie, M.J. 2004. Forensic Science. Hampshire: Ashford Colour Press Ltd.

Chap, T.L. 2003. Introductory Biostatistics. New Jersey: Wiley.

Cooper R, Guileyardo JM, Stone IC, Hall V, Fletcher L. 1994. Primer residues deposited by handguns. Am J Forensic Med Pathol.; 15: 325- 7.

Cowan, M.E., and Purdon, P.L. 1967. A study of the paraffin test. Journal Forensic Science.12: 14- 36.

Eurachem-Guides, 1998. The fitness for Purpose of Analytical Method: A Laboratory Guide to Method Validation and Ralated Topics, update on December, 1998.

Fisher, L.D., and Belle, G.V. 2004. Biostatistics, A Methodology for The Health Sciences. New Jersey: Wiley.

Fleiss, J.L. 1986. The design and analysis of Clinical Experiment. New York : John Wiley & Son.

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

Garofano, L., Capra, M., Ferrari, F., Bizzaro, G.P., Di, T.D., Dell, O.M., and Ghitti, A. 1999. Gunshot residue further studies on particles of environmental and occupational origin. Forensic Science International.103: 1- 12.

Harris, A. 1995. Analysis of primer residue from CCI blazer lead free- ammunition by scanning electron microscopy/ energy dispersive X- ray. Forensic Science. 40: 27-30.

Harrison, D. and Gilroy, A. 1959. Firearms Discharge Residues. Forensic Science. 4: 184-199.

Havekost, D.G., Peters, C.A., and Koon, R.D. 1990. Barium and antimony distributions on the hand of nonshooter. Forensic Science. 35: 1096- 1114.

Heard, B.J. 1997. Handbook of firearms and ballistics: examining and interpreting forensic evidence. Antony Rowe Ltd,: England.

Jauhari, M., Rao, M.S., Chattopadhyay, N., Chatterjee, S.M., and Sen, A. 1985. Shooter identification: Elemental analysis of swabbing materials by neutron activation analysis (NAA) and anodic stripping voltammetry (ASV). Forensic Science International. 28: 175-178.

Kilty, J W. 1975. Activity After Shooting and its Effect on the Retention of Primer Residue. Journal of Forensic Science. 20 (2): 219-230.

Knowles, M. 1988. Analytical Data. In: Rothery E, editor. Analysis Methods for Graphite Tube Atomizers. Victoria: Varian Australia Pty Ltd; 35- 64.

Koons, R.D., Havekost, D.G., and Peters, C.A. 1987. Analysis of gunshot primer residue collection swabs using flameless atomic absorption spectrophotometry: A reexamination of extraction and instrument procedure. Forensic Science. 32: 846-865.

Koons, R.D., Havekost, D.G., and Peters, C.A. 1988. Determination of Barium in gunshot residue collection swab using inductive coupled plasma – atomic emission spectrometry. Forensic Science. 33: 35-41.

Koons, R.D., Havekost, D.G., and Peters, C.A. 1998. Analysis of gunshot primer residue collection swabs using inductive coupled plasma – mass spectrometry. Forensic Science. 43: 748- 754.

Koons R. D., Havekost D. G. and Peters C. A. 1989. Analysis of Gunshot Primer Residue Collection Swabs Using Flameless Atomic Absorption Spectroscopy (FAAS) and Inductively Coupled Plasma - Atomic Emission Spectrometry: Effects of a Modified Extraction Procedure and Storage of Standards. Forensic Science. 34: 218-221.

Long, G.L., and winefordner, J.D. 1983. The limit of detection. Analytical Chemistry. 55: 712A-724A.

Lloyd J. 1986. Liquid Chromatography of Firearms Propellants Traces. *J Energetic Materials*;4:239-71

Martiny, A., Campos, A.P.C., Sader, M.S., and Pinto, M.A.L. 2008. SEM/EDS analysis and characterization of gunshot residues from Brazilian lead – free ammunition. Forensic Science International.177 (1): 9- 17.

Mendoza C.B., Schweitzer J.S., Gestring B.J., Trombka J.I., Floyd S., Zeosky J., Selvka C. 2009. Evaluating Antimony and Barium Ratios Found in Elemental Data from Gunshot Residue. The CACNews.3(26) : 26-33.

Meng, H.H., and Caddy, B. 1997. Gunshot Residue Analysis – A Review. Forensic Science. 42: 553- 570.

Piya, D. Karnda, V. Pongruk, S. Klintean, W. 2007. COMPOSITION OF METALS ON DIFFERENT TYPES OF FIRED BULLETS. Chiang Mai Med J ;46(2):75-82.

Romolo, F., and Margo, P. 2001. Identification of Gunshot Residue: a Critical Review. Forensic Science International.119:195-211.

Schowoeble, A.J., and Exline, D.L. 1999. Current Methods in Forensic Gunshot Residue Analysis. BocaRaton London New York Washington, D.C.CRC Press: 1 – 21.

Taverniers, I., Loose, M.D., and Bockstaele, E.V. 2004. Trends in quality in the analytical laboratory II. Analytical method validation and quality assurance. Trends in Analytical Chemistry. 23: 535-552.

Taylor, J.K. 1987. Quality assurance of chemical measurements. Lewis Publishers, Inc. Michigan: USA.

Torre C, Mattutino G, Vasino V, Robino C. Brake Linings. 2002. A Source of Non-GSR Particles Containing Lead, Barium and Antimony. Journal of Forensic Science. 47 (3):494-504

Wallace, J.S., and Basu, S. 1982. Chemical analysis of firearms, ammunition, and gunshot residue “Formation of Gunshot Residue.” Journal of Forensic Science. 27: 72-91.

Wallace, J.S. 2008. . Chemical analysis of firearms, ammunition, and gunshot residue.USA: CRC Press. pp 127 – 128

XueDong W. and Shane E. 2004. Typical Detection Limits for the Varian ICP-MS in Normal Sensitivity Mode.[ออนไลน์] สืบค้นได้จาก http://www.varianinc.com (accessed 6/17/10)

Thomas Jefferson National Accelerator Facility, Jefferson Lab [ออนไลน์] สืบค้นได้จาก http://education.jlab.org/itselemental/ele056.html, (accessed 5/20/10).

Diagnostic test. Sensitivity and specificity, From Wikipedia, the free encyclopedia [ออนไลน์] สืบค้นได้จาก http://en.wikipedia.org/wiki/Diagnostic_test (accessed 11/10/10)

ภาคผนวก

การคำนวณกลุ่มประชากรตัวอย่าง

การคำนวณกลุ่มประชากรตัวอย่าง อ้างอิงจากงานวิจัยของอาจารย์วีระวรรณ (2543) จากกลุ่มประชากรที่ยิงปืนโดยก่อนยิงปืนและหลังยิงปืนจำนวน 1 นัด คำนวณจากแต่ละธาตุคือ ตะกั่ว แบเรี่ยม พลวง ในปืนชนิด ปืนลูกโม่ โดยใช้โปรแกรม R Version 2.6.2 และใช้ Package: epicalc Version 2.6.1.5 ในการคำนวณหาขนาดตัวอย่างแบบ การประมาณขนาดตัวอย่างสำหรับการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับค่าเฉลี่ยของประชากร 2 กลุ่ม(Two-sample mean) ก่อนยิงปืนและหลังยิงปืนกรณีทราบความแปรปรวนของประชากร โดยทดสอบค่าความแม่นยำที่ได้(precision) ใช้ N+10%

$$n = 2\sigma^2 [(z_{\alpha/2} + z_{\beta})^2] / (\mu_1 - \mu_2)^2$$ ..... (Fleiss, 1986)

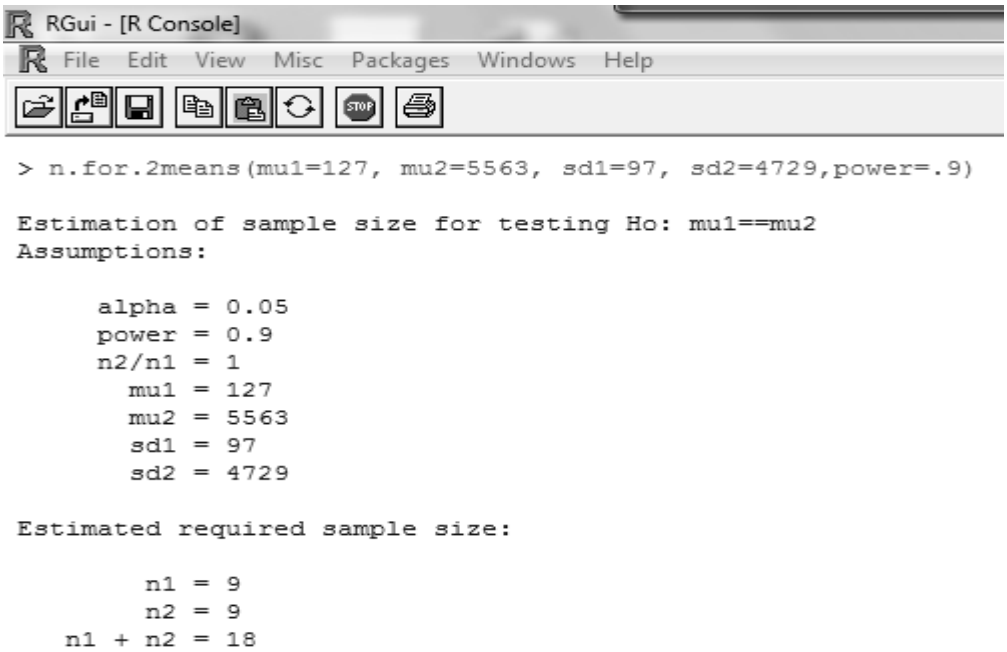
โดย σ^2 = variance of study outcome

$z_{\alpha/2}$ = 95 % confidence = 1.96

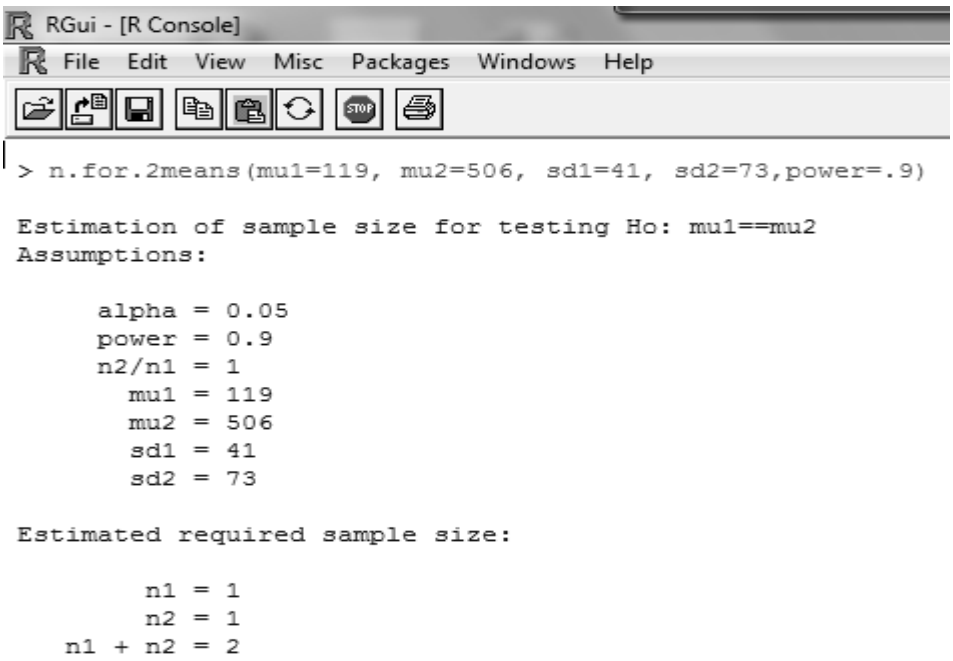
z_{β} = Type II – error (not more than 10 %) = 1.28

μ_1 = mean of study outcome in first group

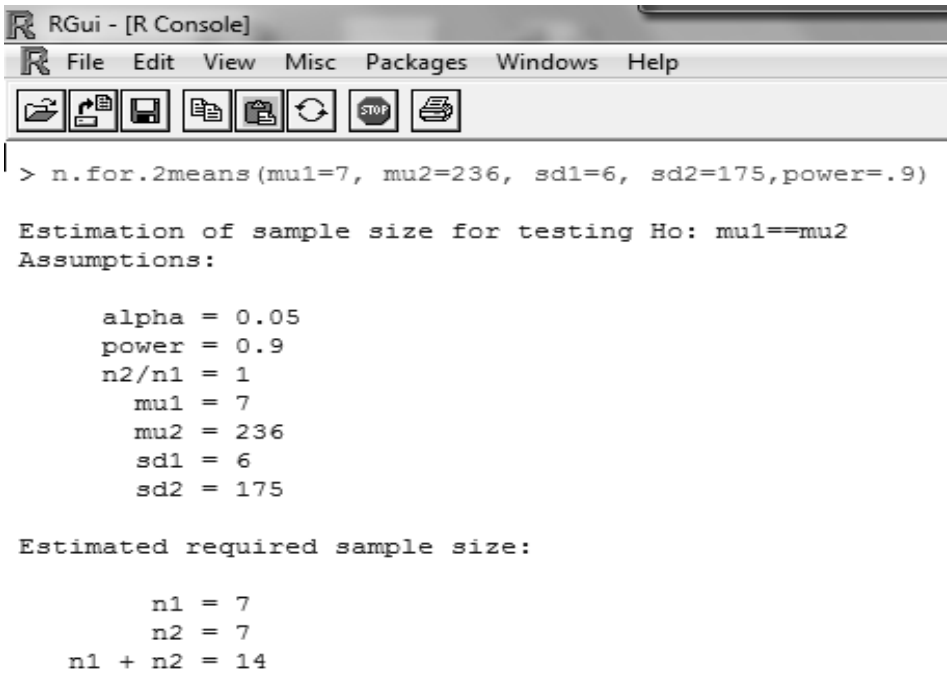
μ_2 = mean of study outcome in second group



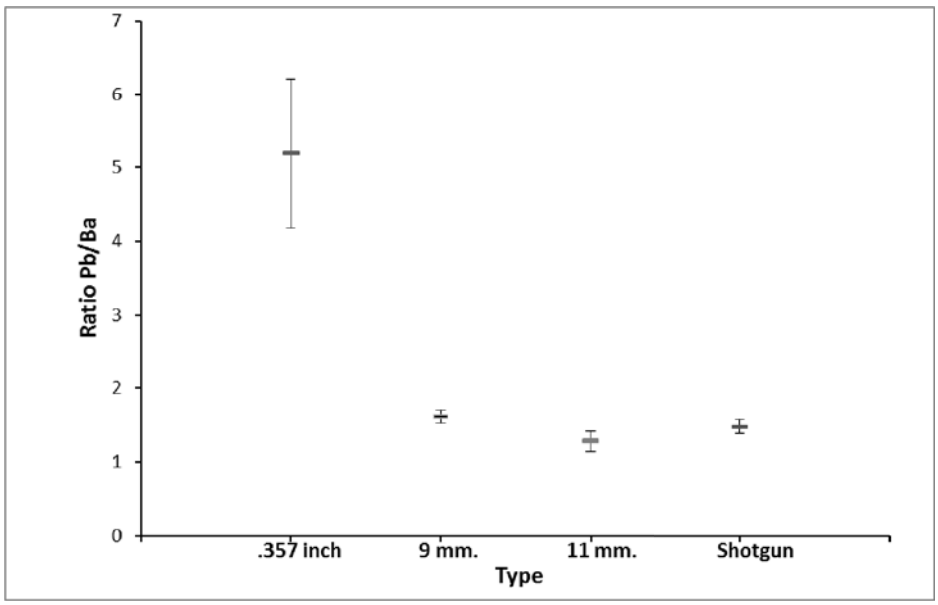
ภาพประกอบภาคผนวกที่ 1 แสดงการคำนวณขนาดตัวอย่างสำหรับธาตุโลหะตะกั่วโดยใช้โปรแกรม R



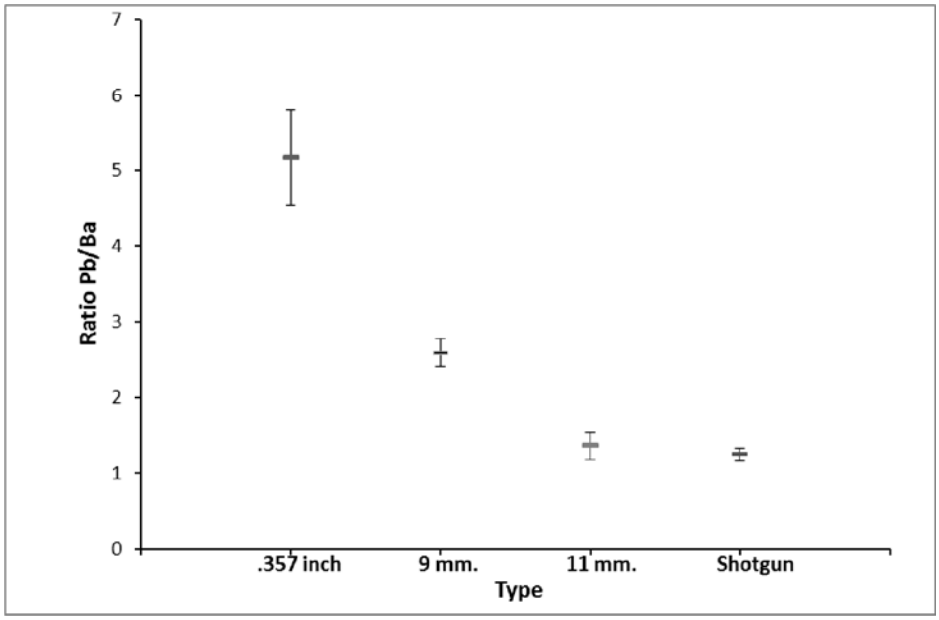
ภาพประกอบภาคผนวกที่ 2 แสดงการคำนวณขนาดตัวอย่างสำหรับธาตุโลหะแบเรี่ยมโดยใช้โปรแกรม R



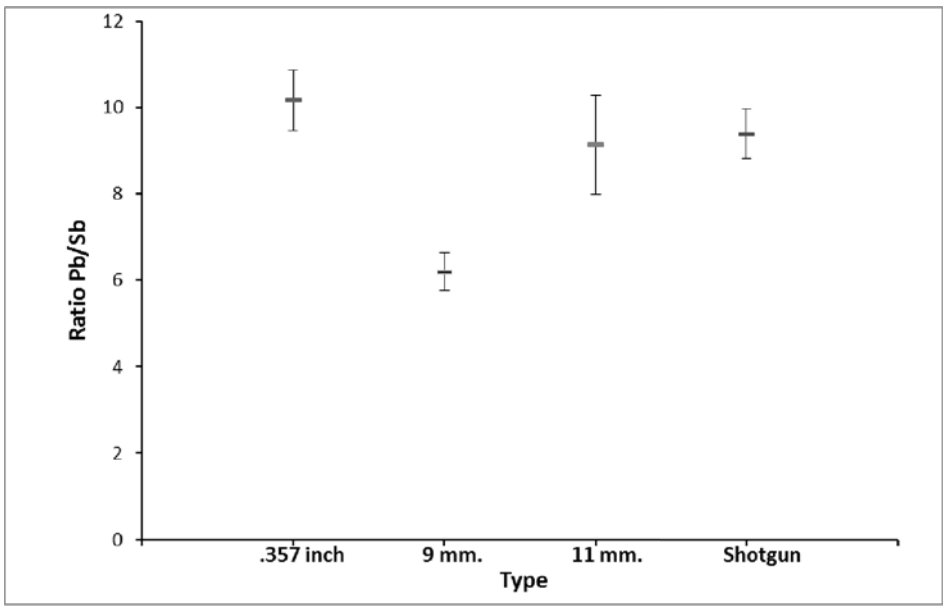
ภาพประกอบภาคผนวกที่ 3 แสดงการคำนวณขนาดตัวอย่างสำหรับธาตุโลหะพลวงโดยใช้โปรแกรม R



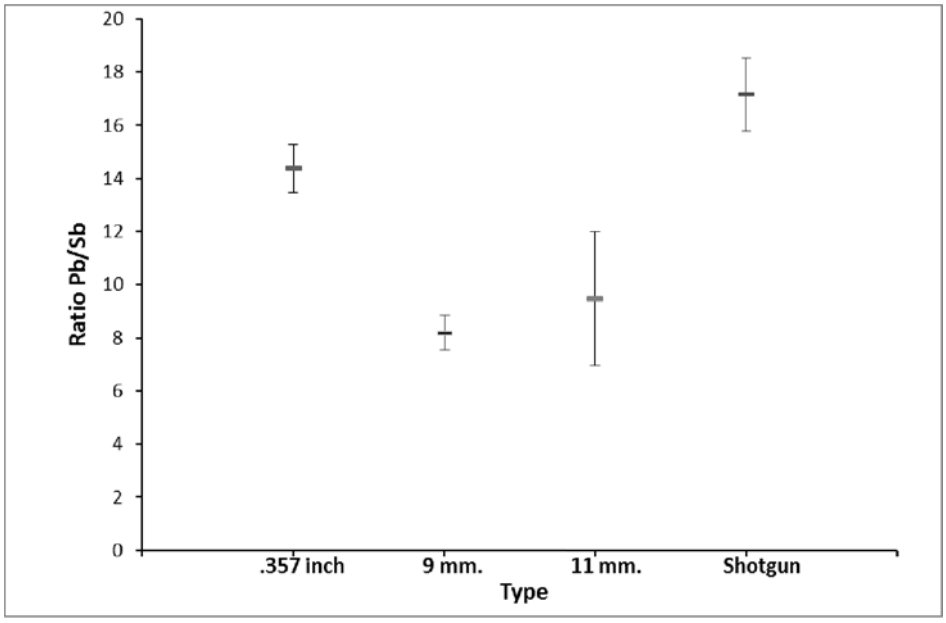
ภาพประกอบภาคผนวกที่ 4 สัดส่วนปริมาณ Pb/Ba บริเวณหลังมือซ้าย



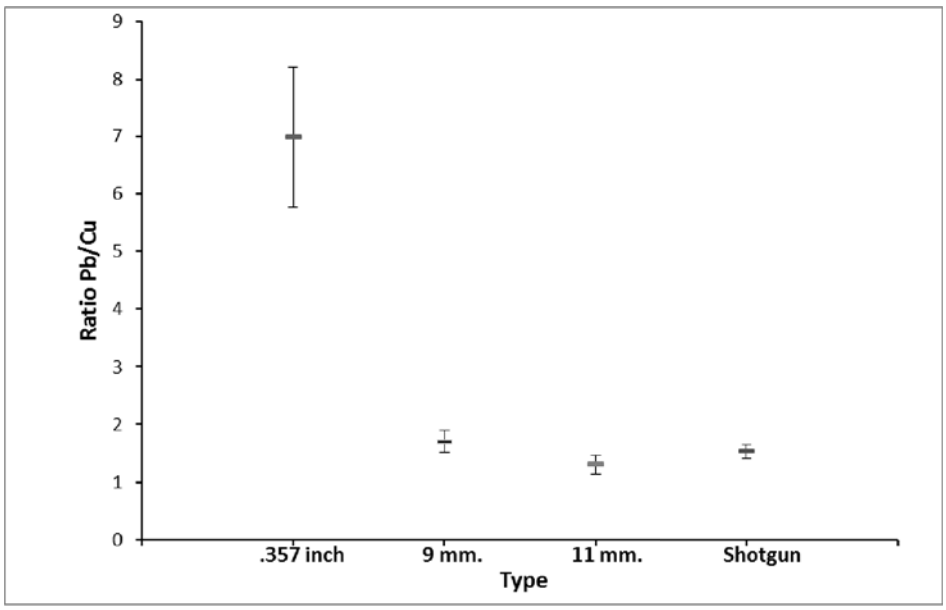
ภาพประกอบภาคผนวกที่ 5 สัดส่วนปริมาณ Pb/Ba บริเวณหลังมือขวา



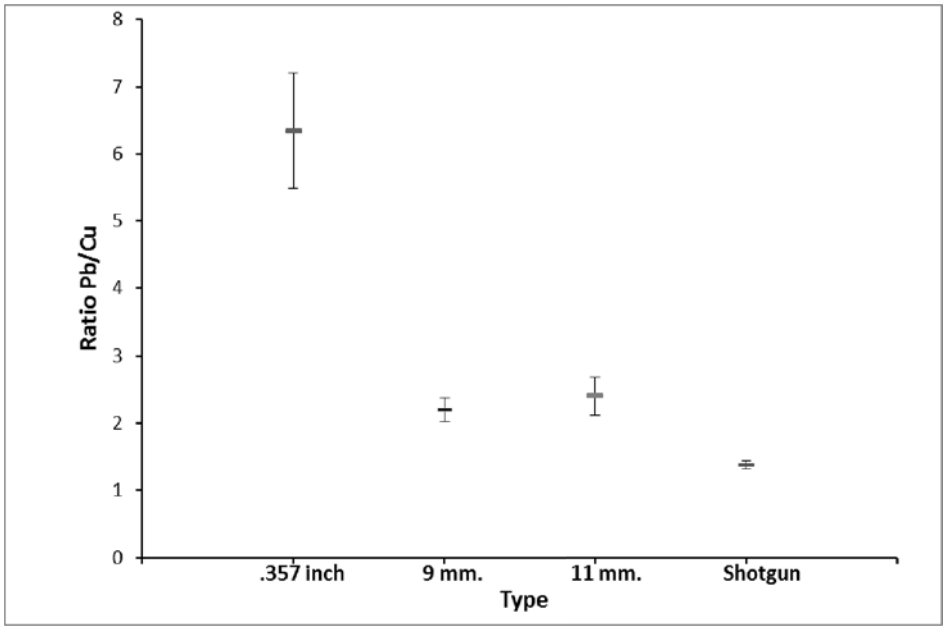
ภาพประกอบภาคผนวกที่ 6 สัดส่วนปริมาณ Pb/Sb บริเวณหลังมือซ้าย



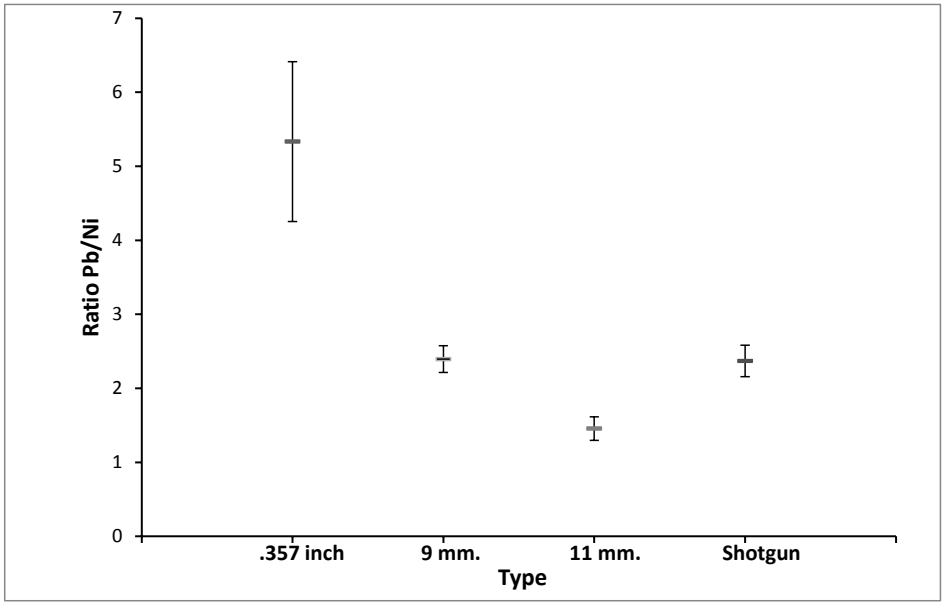
ภาพประกอบภาคผนวกที่ 7 สัดส่วนปริมาณ Pb/Sb บริเวณหลังมือขวา



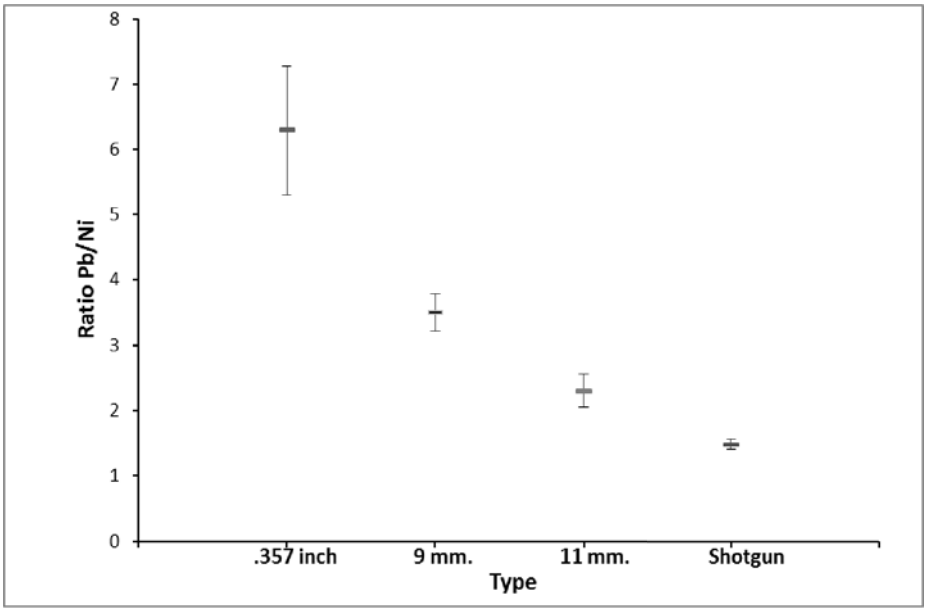
ภาพประกอบภาคผนวกที่ 8 สัดส่วนปริมาณ Pb/Cu บริเวณหลังมือซ้าย



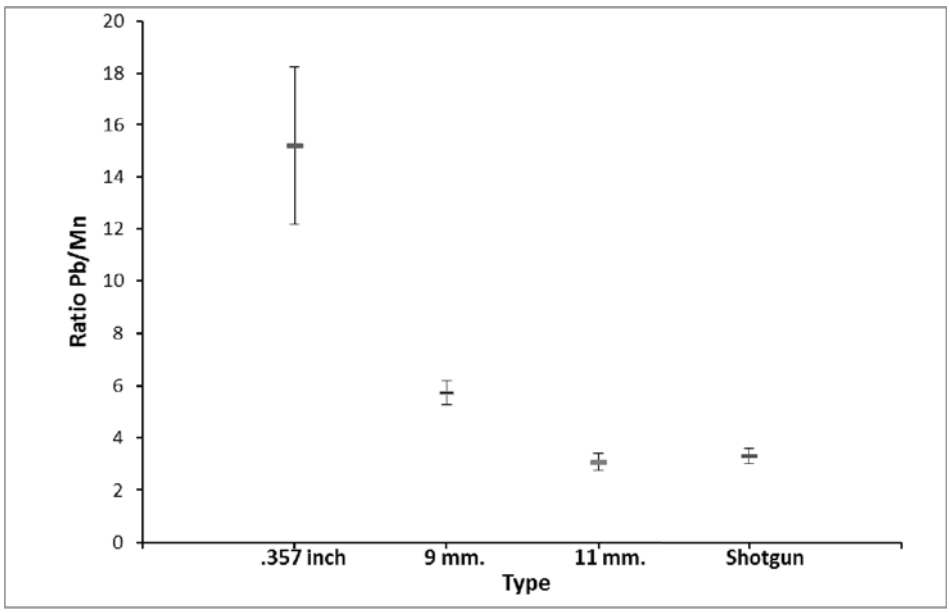
ภาพประกอบภาคผนวกที่ 9 สัดส่วนปริมาณ Pb/Cu บริเวณหลังมือขวา



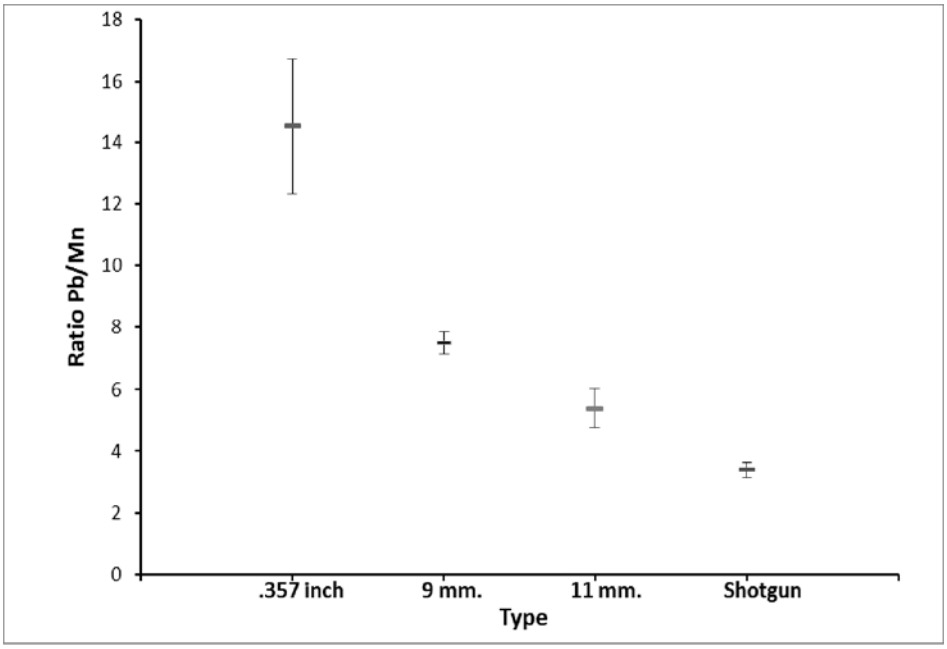
ภาพประกอบภาคผนวกที่ 10 สัดส่วนปริมาณ Pb/Ni บริเวณหลังมือซ้าย



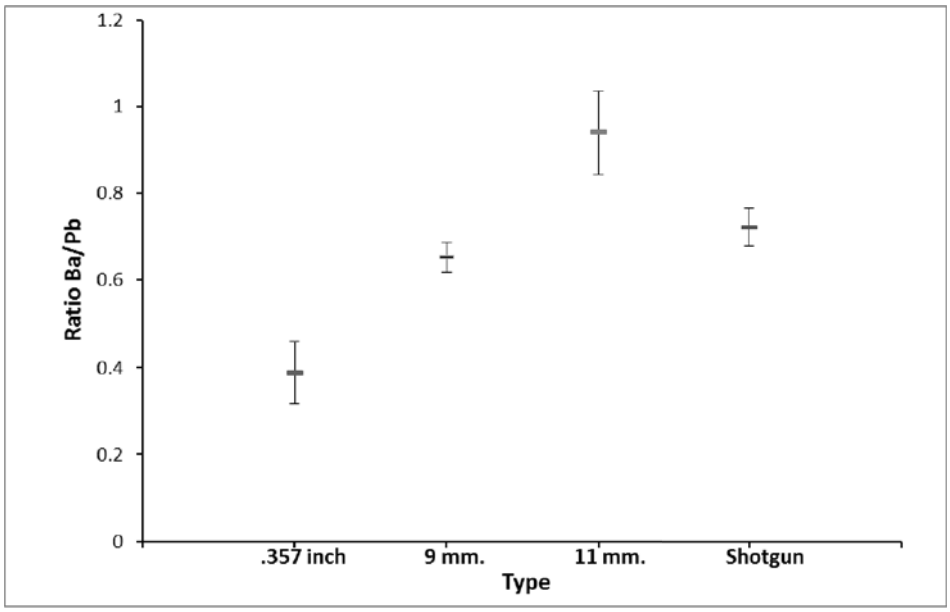
ภาพประกอบภาคผนวกที่ 11 สัดส่วนปริมาณ Pb/Ni บริเวณหลังมือขวา



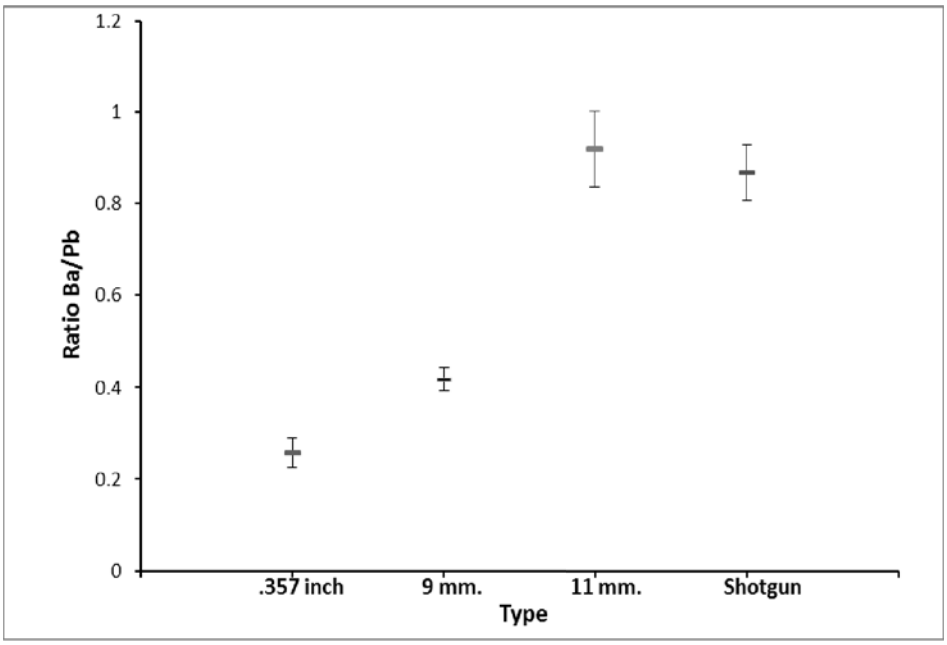
ภาพประกอบภาคผนวกที่ 12 สัดส่วนปริมาณ Pb/Mn บริเวณหลังมือซ้าย



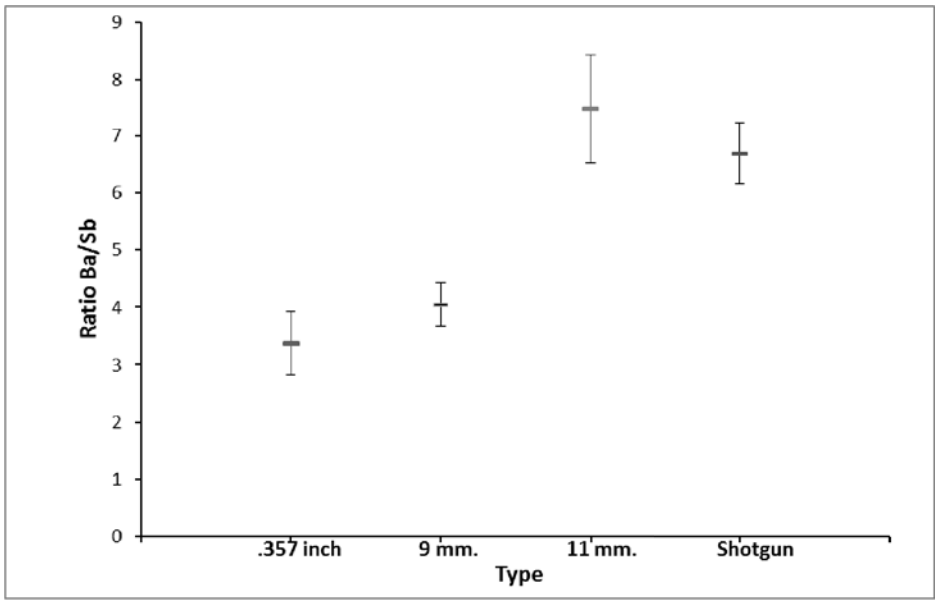
ภาพประกอบภาคผนวกที่ 13 สัดส่วนปริมาณ Pb/Mn บริเวณหลังมือขวา



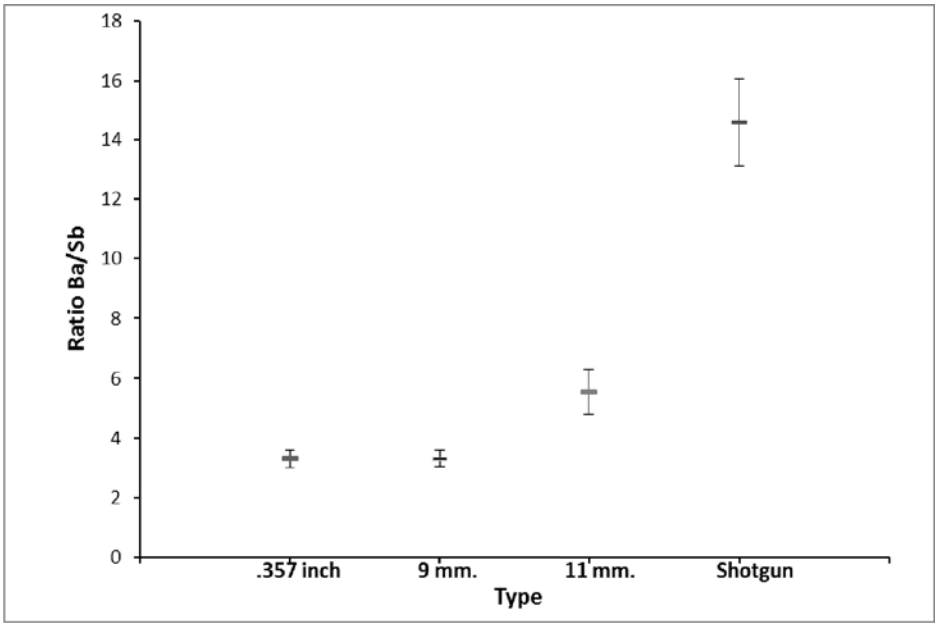
ภาพประกอบภาคผนวกที่ 14 สัดส่วนปริมาณ Ba/Pb บริเวณหลังมือซ้าย



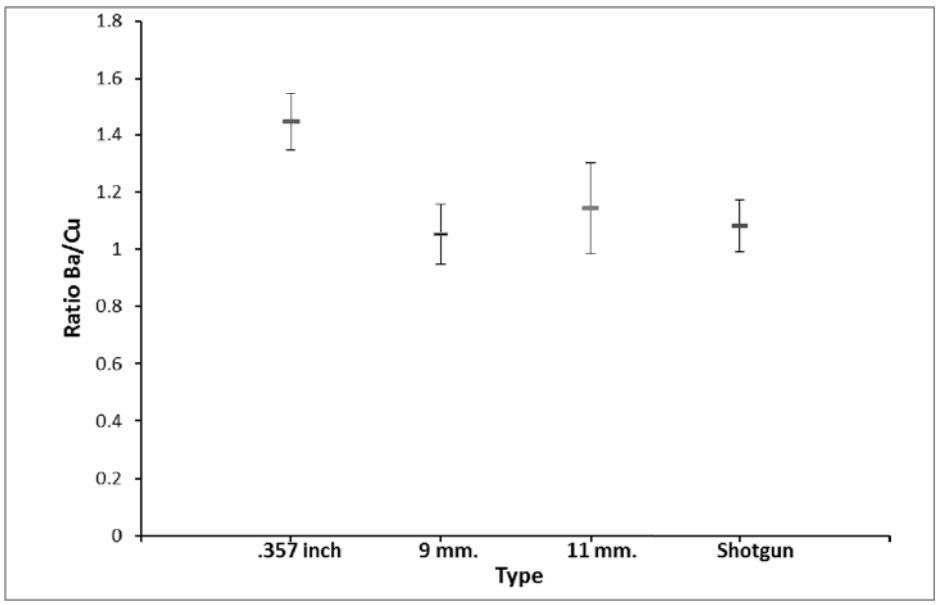
ภาพประกอบภาคผนวกที่ 15 สัดส่วนปริมาณ Ba/Pb บริเวณหลังมือขวา



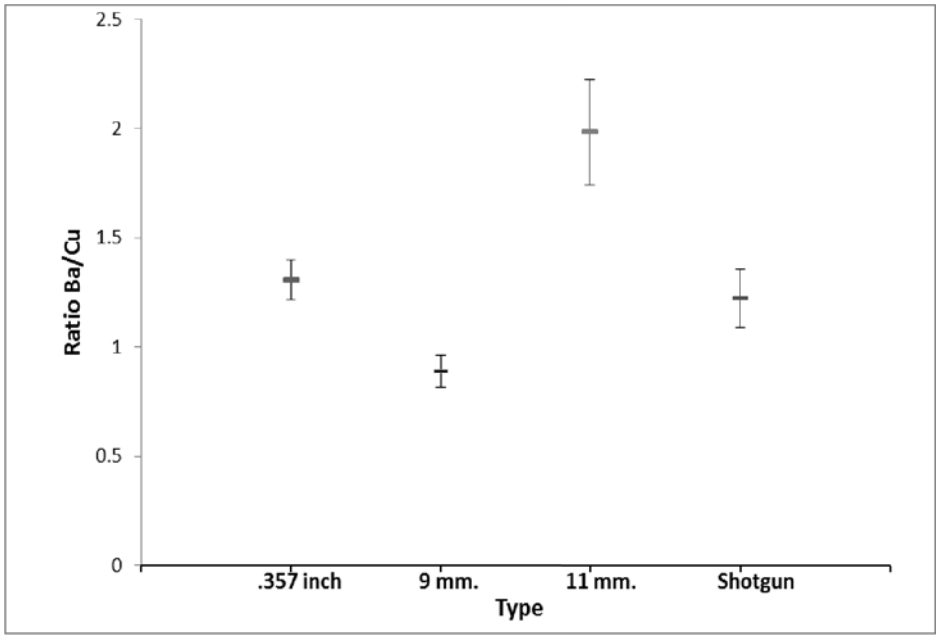
ภาพประกอบภาคผนวกที่ 16 สัดส่วนปริมาณ Ba/Sb บริเวณหลังมือซ้าย



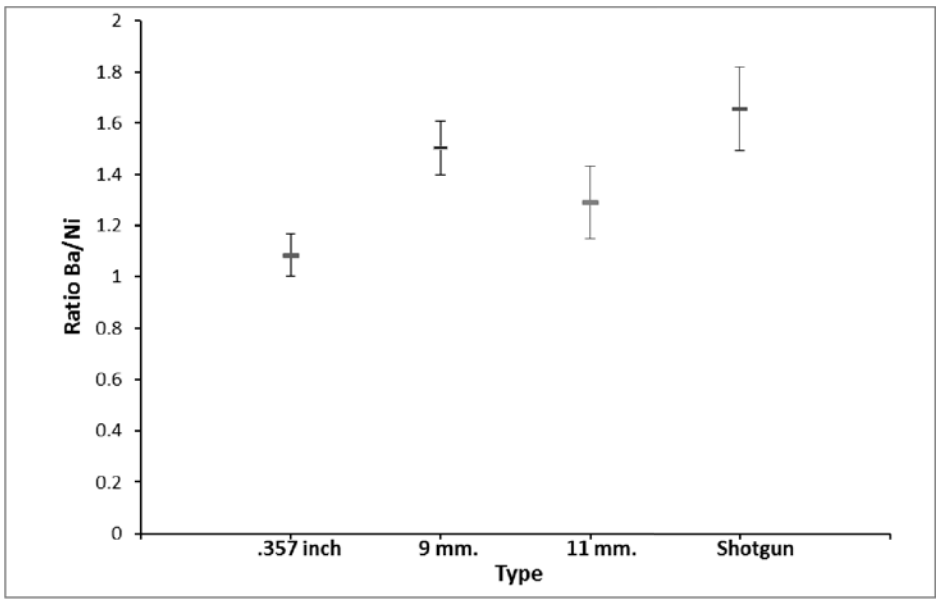
ภาพประกอบภาคผนวกที่ 17 สัดส่วนปริมาณ Ba/Sb บริเวณหลังมือขวา



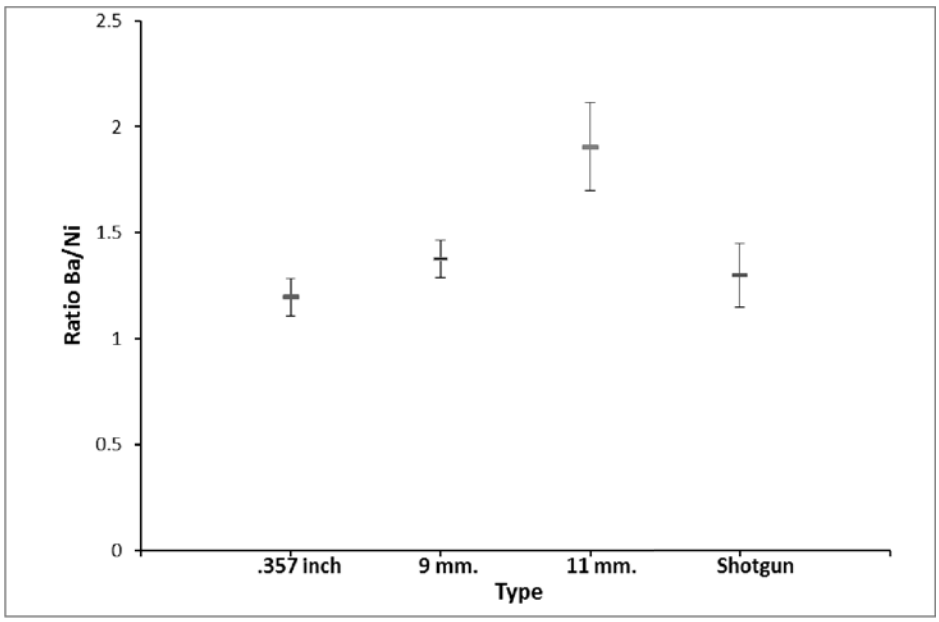
ภาพประกอบภาคผนวกที่ 18 สัดส่วนปริมาณ Ba/Cu บริเวณหลังมือซ้าย



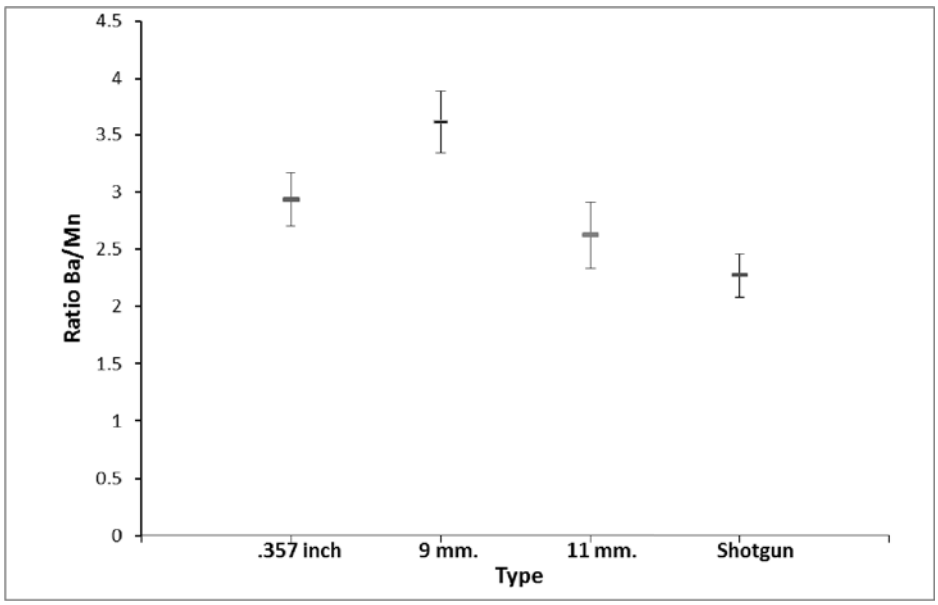
ภาพประกอบภาคผนวกที่ 19 สัดส่วนปริมาณ Ba/Cu บริเวณหลังมือขวา



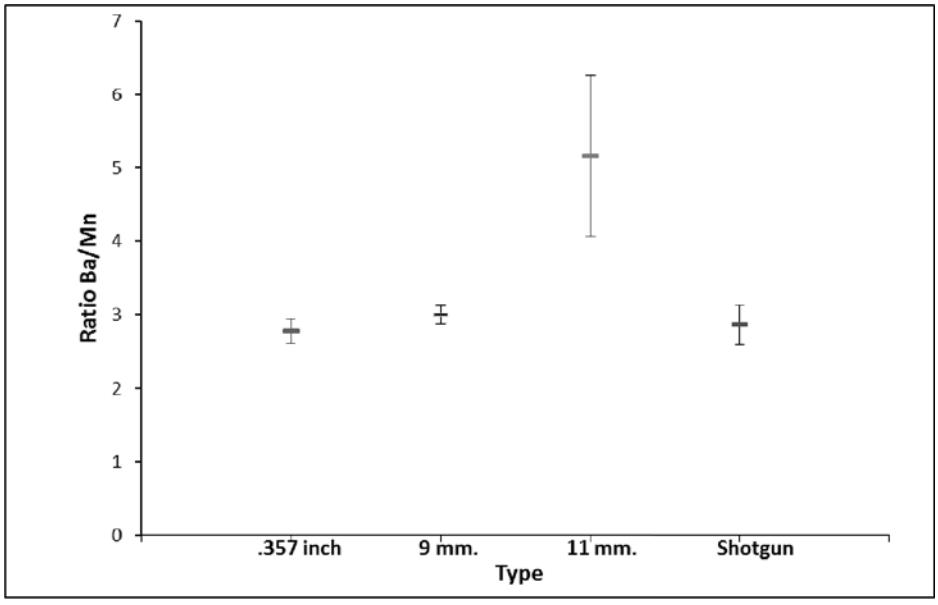
ภาพประกอบภาคผนวกที่ 20 สัดส่วนปริมาณ Ba/Ni บริเวณหลังมือซ้าย



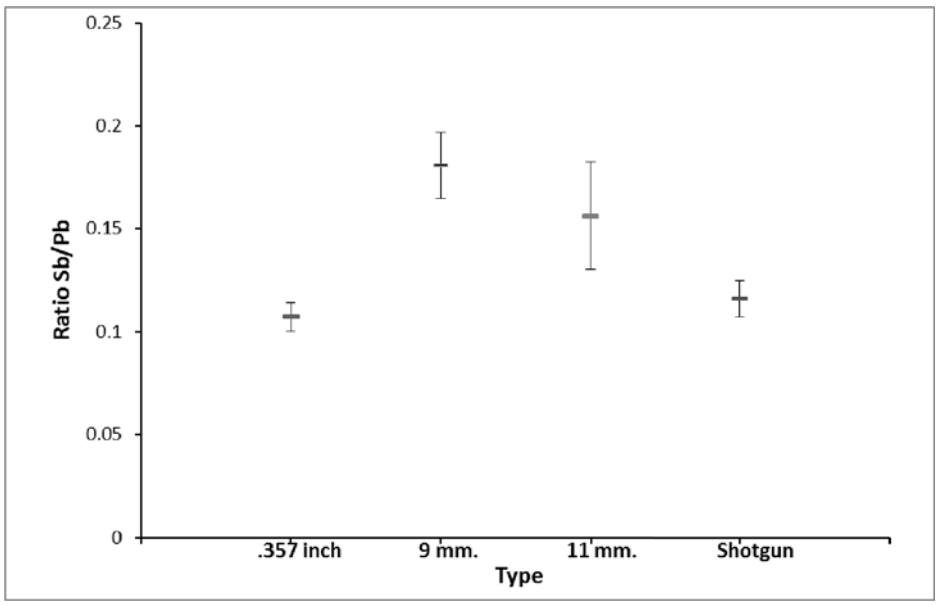
ภาพประกอบภาคผนวกที่ 21 สัดส่วนปริมาณ Ba/Ni บริเวณหลังมือขวา



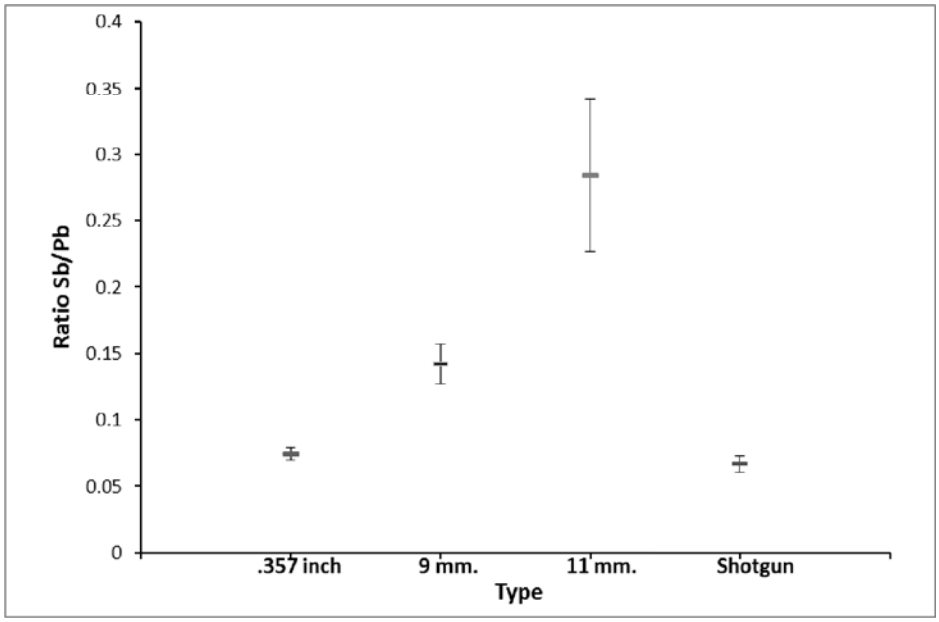
ภาพประกอบภาคผนวกที่ 22 สัดส่วนปริมาณ Ba/Mn บริเวณหลังมือซ้าย



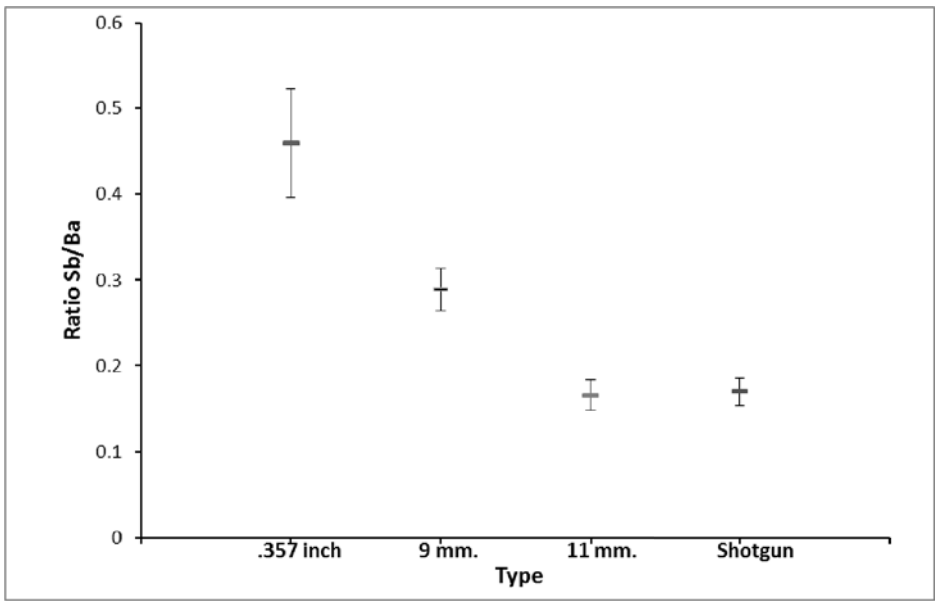
ภาพประกอบภาคผนวกที่ 23 สัดส่วนปริมาณ Ba/Mn บริเวณหลังมือขวา



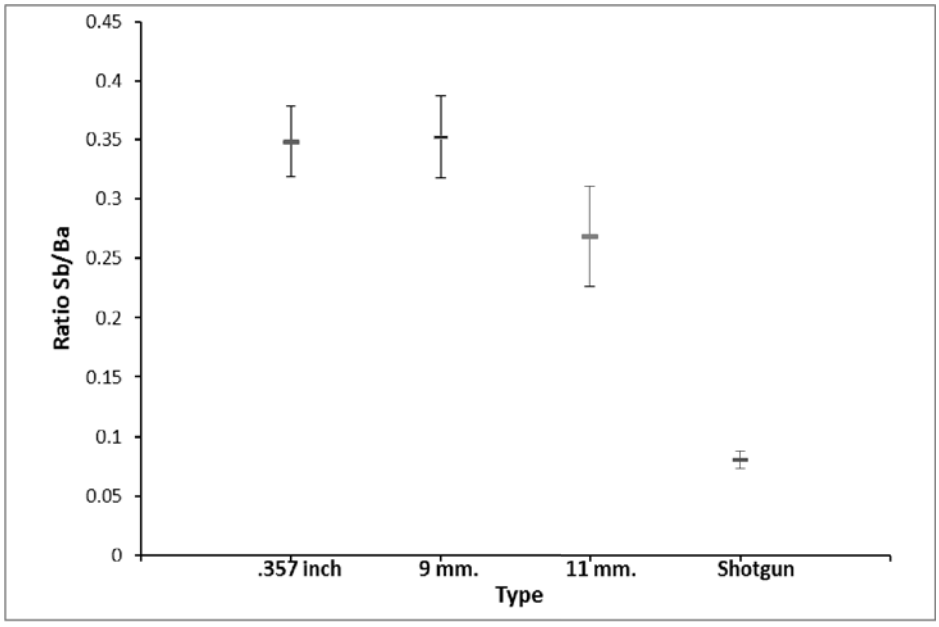
ภาพประกอบภาคผนวกที่ 24 สัดส่วนปริมาณ Sb/Pb บริเวณหลังมือซ้าย



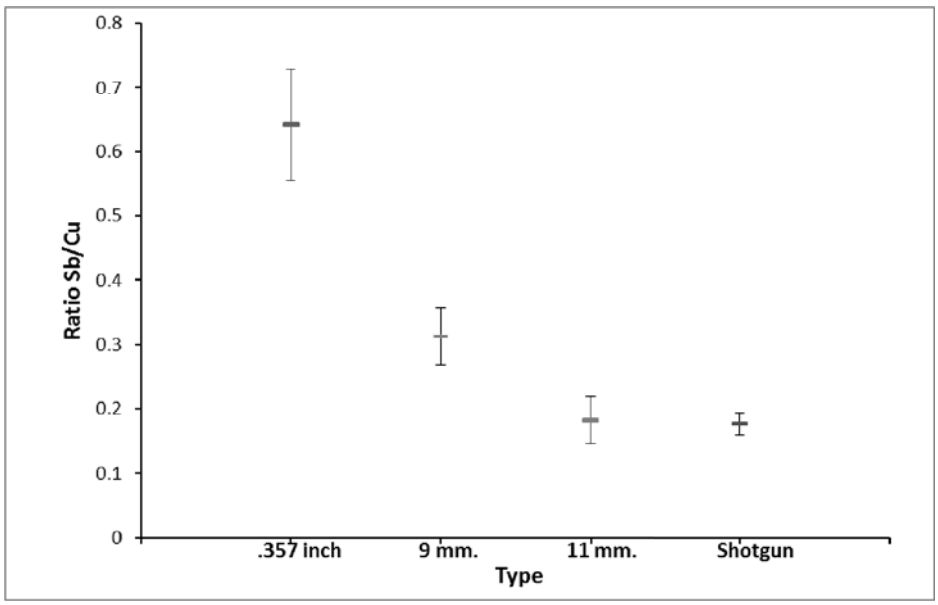
ภาพประกอบภาคผนวกที่ 25 สัดส่วนปริมาณ Sb/Pb บริเวณหลังมือขวา



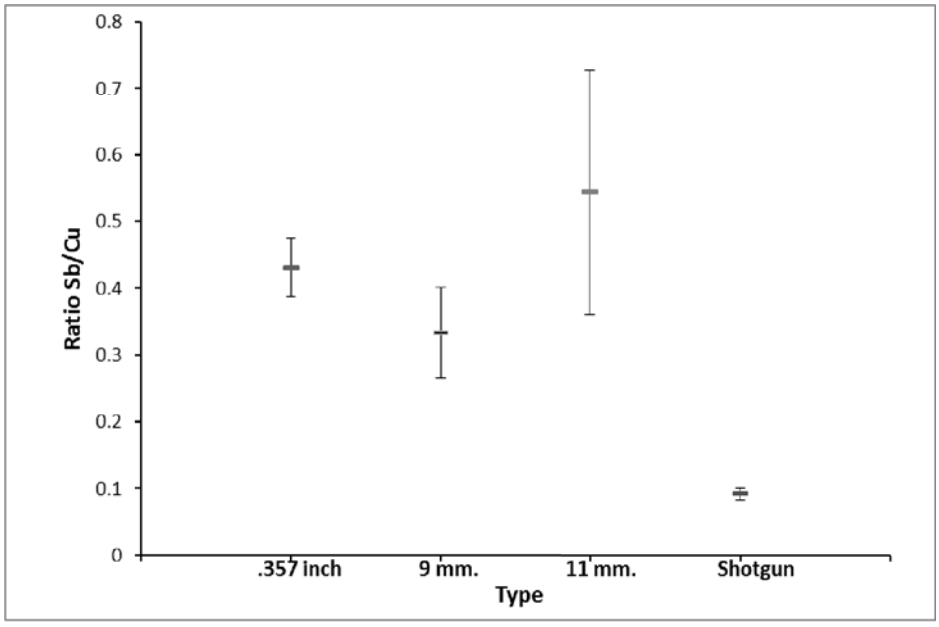
ภาพประกอบภาคผนวกที่ 26 สัดส่วนปริมาณ Sb/Ba บริเวณหลังมือซ้าย



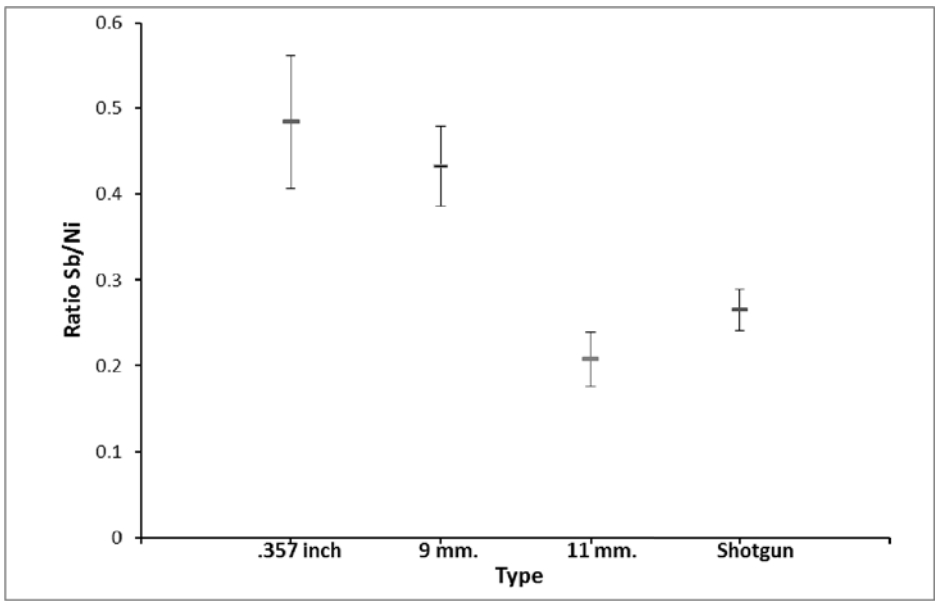
ภาพประกอบภาคผนวกที่ 27 สัดส่วนปริมาณ Sb/Ba บริเวณหลังมือขวา



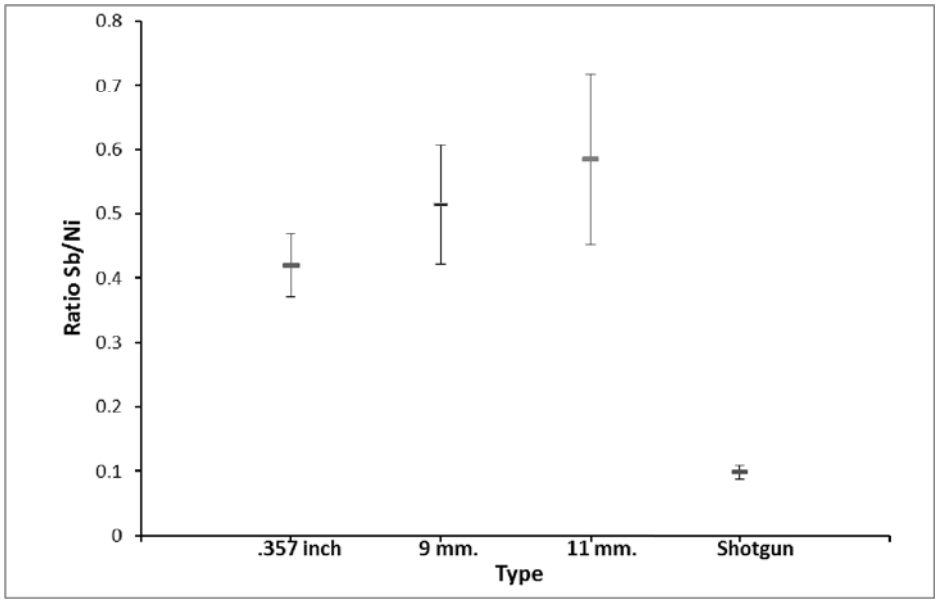
ภาพประกอบภาคผนวกที่ 28 สัดส่วนปริมาณ Sb/Cu บริเวณหลังมือซ้าย



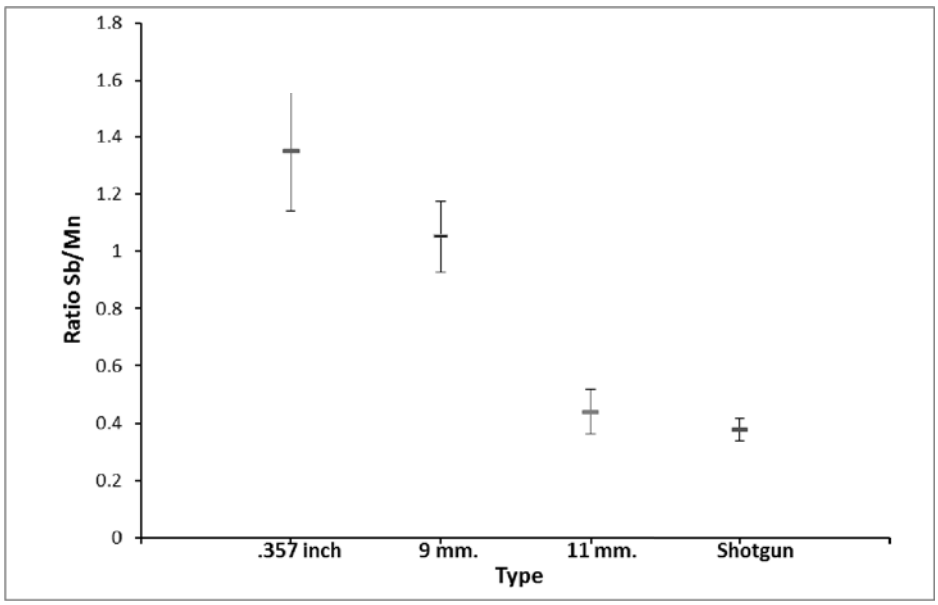
ภาพประกอบภาคผนวกที่ 29 สัดส่วนปริมาณ Sb/Cu บริเวณหลังมือขวา



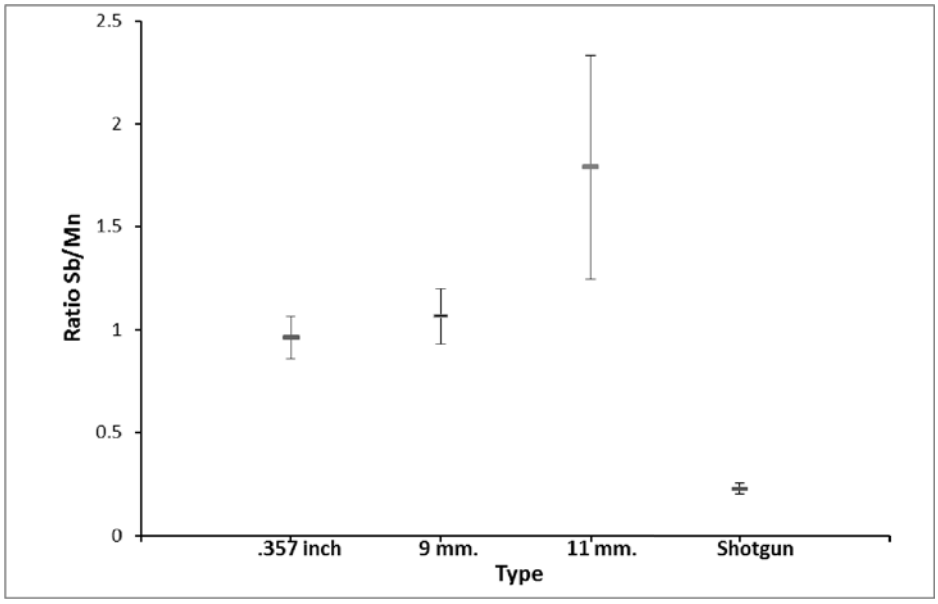
ภาพประกอบภาคผนวกที่ 30 สัดส่วนปริมาณ Sb/Ni บริเวณหลังมือซ้าย



ภาพประกอบภาคผนวกที่ 31 สัดส่วนปริมาณ Sb/Ni บริเวณหลังมือขวา



ภาพประกอบภาคผนวกที่ 32 สัดส่วนปริมาณ Sb/Mn บริเวณหลังมือซ้าย



ภาพประกอบภาคผนวกที่ 33 สัดส่วนปริมาณ Sb/Mn บริเวณหลังมือขวา

ตารางภาคผนวกที่ 1 ปริมาณธาตุโลหะที่ตรวจพบในกลุ่มประชากรที่ทำการยิงปืนหลังการยิงทันทีจำนวน 20 คน ในปืนชนิดลูกโม่ .357

กลุ่มยิงปืน(n)	ชนิดของธาตุโลหะ (ppb)											
	ตะกั่ว		แบเรี่ยม		พลวง		ทองแดง		นิกเกิล		แมงกานีส	
	LH	RH	LH	RH	LH	RH	LH	RH	LH	RH	LH	RH
1	2104	669	92	45	122	33	132	28	223	38	39	9
2	72	571	27	40	6	33	17	44	41	34	16	10
3	70	389	30	36	8	31	15	30	45	37	18	14
4	43	658	28	40	3	45	12	31	42	46	9	17
5	340	473	31	43	27	28	14	140	41	60	14	22
6	366	898	37	34	25	42	85	27	156	36	22	11
7	641	386	96	28	66	29	31	28	58	35	19	20
8	663	381	32	32	39	26	14	27	38	76	7	39
9	532	391	48	54	38	38	16	30	48	67	10	16
10	1019	202	46	21	77	13	31	28	45	68	20	10
11	189	341	34	56	23	33	10	84	42	167	7	55
12	456	247	37	26	46	16	35	28	52	65	9	12
13	35	128	29	21	5	11	10	32	49	78	17	10
14	65	161	23	31	11	15	27	31	53	70	27	11
15	109	234	60	27	19	17	11	10	45	37	9	7
16	186	81	39	32	26	11	28	15	50	27	10	6
17	77	132	18	31	9	10	9	33	43	26	7	10
18	39	77	44	21	6	9	46	10	38	20	13	11
19	312	173	27	35	35	20	17	21	135	28	108	22
20	255	356	26	34	31	15	11	36	37	53	7	17

*LH คือ หลังมือซ้าย

RH คือ หลังมือขวา

ตารางภาคผนวกที่ 2 ปริมาณธาตุโลหะที่ตรวจพบในกลุ่มประชากรที่ทำการยิงปืนหลังการยิงทันทีจำนวน 20 คน ในปืนพก 9 มม.

กลุ่มยิงปืน(n)	ชนิดของธาตุโลหะ (ppb)											
	ตะกั่ว		แบเรี่ยม		พลวง		ทองแดง		นิกเกิล		แมงกานีส	
	LH	RH	LH	RH	LH	RH	LH	RH	LH	RH	LH	RH
1	275	118	168	31	60	14	58	81	50	48	15	17
2	33	83	33	20	5	17	95	31	38	31	9	7
3	117	349	43	41	21	37	180	78	55	41	18	27
4	49	103	24	30	4	10	103	81	36	35	10	11
5	64	260	38	99	32	104	22	40	36	34	10	21
6	128	125	36	24	25	10	26	33	43	45	10	10
7	49	123	31	34	7	14	22	128	33	42	8	10
8	74	83	30	30	10	12	16	47	37	40	11	9
9	90	201	30	32	12	15	22	49	37	51	18	13
10	109	156	46	38	12	31	31	68	46	46	13	20
11	136	198	52	26	23	34	45	90	36	44	14	15
12	128	130	48	26	19	17	40	72	34	48	10	12
13	108	228	38	28	28	32	73	86	47	34	15	11
14	94	184	40	40	24	18	94	62	44	38	13	18
15	74	202	38	38	15	19	84	64	43	36	15	14
16	110	134	48	56	17	28	81	66	36	36	9	11
17	74	154	56	30	11	32	76	54	36	42	12	11
18	80	144	60	38	12	24	57	52	38	48	13	15
19	84	104	54	44	25	29	43	39	41	42	10	13
20	78	130	50	50	29	21	42	41	44	34	9	12

*LH คือ หลังมือซ้าย

RH คือ หลังมือขวา

ตารางภาคผนวกที่ 3 ปริมาณธาตุโลหะที่ตรวจพบในกลุ่มประชากรที่ทำการยิงปืนหลังการยิงทันทีจำนวน 20 คน ในปืนพก 11 มม.

กลุ่มยิงปืน(n)	ชนิดของธาตุโลหะ (ppb)											
	ตะกั่ว		แบเรี่ยม		พลวง		ทองแดง		นิกเกิล		แมงกานีส	
	LH	RH	LH	RH	LH	RH	LH	RH	LH	RH	LH	RH
1	34	271	13	48	2	8	23	31	50	53	12	27
2	27	259	71	76	1	7	20	33	27	42	21	24
3	73	69	32	67	7	15	24	32	27	33	17	18
4	125	70	20	39	6	15	15	31	28	33	12	21
5	103	223	18	299	2	163	503	77	154	65	12	21
6	25	39	12	43	1	16	39	22	33	39	20	22
7	41	166	15	27	1	4	13	14	30	33	26	28
8	20	33	14	16	1	4	9	11	35	35	20	19
9	43	100	23	23	6	6	21	20	44	37	9	8
10	46	41	22	40	9	13	37	14	39	40	7	8
11	42	45	36	20	8	13	18	27	36	45	12	7
12	37	61	39	54	11	67	16	81	33	53	8	11
13	61	146	53	217	33	163	428	41	142	73	94	9
14	30	61	42	80	3	31	42	54	41	39	13	9
15	35	213	101	367	28	142	14	47	33	83	9	6
16	42	37	34	41	6	11	32	9	30	41	11	9
17	20	30	31	23	7	5	31	21	24	37	12	10
18	56	124	38	90	8	27	72	48	58	38	22	10
19	33	107	24	76	7	38	46	34	42	56	17	19
20	53	98	36	95	8	55	58	17	42	44	21	16

*LH คือ หลังมือซ้าย

RH คือ หลังมือขวา

ตารางภาคผนวกที่ 4 ปริมาณธาตุโลหะที่ตรวจพบในกลุ่มประชากรที่ทำการยิงปืนหลังการยิงทันทีจำนวน 20 คน ในปืนลูกซองยาวเบอร์ 12

กลุ่มยิงปืน(n)	ชนิดของธาตุโลหะ (ppb)											
	ตะกั่ว		แบเรี่ยม		พลวง		ทองแดง		นิกเกิล		แมงกานีส	
	LH	RH	LH	RH	LH	RH	LH	RH	LH	RH	LH	RH
1	31	59	27	24	1	6	17	44	26	46	23	13
2	39	23	14	16	3	0	18	14	19	36	8	17
3	28	44	19	55	5	9	28	19	17	30	9	7
4	48	34	23	12	7	1	15	19	48	27	55	9
5	53	27	15	34	7	2	18	18	22	27	9	7
6	77	25	27	20	12	0	46	14	21	29	11	6
7	49	85	16	16	5	5	15	45	23	39	14	7
8	18	32	23	18	2	3	27	15	21	36	8	11
9	63	73	12	37	4	6	19	90	24	89	9	39
10	43	59	29	21	3	4	31	33	19	36	9	10
11	55	46	20	17	6	2	31	32	25	37	31	15
12	50	40	37	25	6	5	36	33	25	38	17	7
13	74	87	32	158	21	5	35	32	37	36	21	18
14	170	41	125	21	14	2	35	23	23	60	23	28
15	49	59	36	13	4	2	27	30	22	32	31	5
16	39	31	17	18	3	5	30	18	23	45	21	18
17	74	33	11	12	4	2	90	49	26	32	8	10
18	38	56	29	24	7	3	30	35	28	46	15	11
19	86	44	26	28	7	4	33	32	24	35	24	15
20	45	42	30	40	6	3	28	26	23	38	15	14

*LH คือ หลังมือซ้าย

RH คือ หลังมือขวา

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล นายปฏิพล บุญช่วย

รหัสประจำตัวนักศึกษา 5

วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิทยาศาสตรบัณฑิต	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2547

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

ปฏิพล บุญช่วย และวิระชัย สมัย. ข้อบ่งชี้ในการแยกกลุ่มผู้ยิงปืนและกลุ่มผู้ไม่ได้ยิงปืนด้วยเขม่าปืนจากหลังมือ : การศึกษาเบื้องต้นจากกระสุนปืนหนึ่งยี่ห้อ. การประชุมวิชาการนิติวิทยาศาสตร์ CIFS Academic Day ครั้งที่ 4 ดำเนินการจัดงานโดย สถาบันนิติวิทยาศาสตร์ กระทรวงยุติธรรม 22 - 23 กันยายน 2552