

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเขม่าป็นในโพรงจมูกผู้ยิงปืนกับระยะเวลาภายหลังการยิงปืนที่วิเคราะห์
โดยเทคนิค Inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICP-OES)



นางสาวสุรีย์พร ตันตีสักดิ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การแพทย์

คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2559

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

The correlation between the amount of gunshot residue in nasal cavity with the
time period after shooting by inductively coupled plasma-
optical emission spectrometry (ICP-OES) technique

Miss Sureeporn Tantisak



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Medical Science

Faculty of Medicine

Chulalongkorn University

Academic Year 2016

Copyright of Chulalongkorn University

| | |
|---------------------------------|---|
| หัวข้อวิทยานิพนธ์ | ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเขม่าป็นในโพรงจมูกผู้ยิงปืน กับระยะเวลาภายหลังการยิงปืนที่วิเคราะห์โดยเทคนิค Inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICP-OES) |
| โดย | นางสาวสุรีย์พร ตันติศักดิ์ |
| สาขาวิชา | วิทยาศาสตร์การแพทย์ |
| อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก | อาจารย์ นายแพทย์ ภาณุวัฒน์ ชุตินวงศ์ |
| อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม | พันตำรวจเอกหญิง ดร.ธีรินทร์ สินไชย |

คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยเป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะแพทยศาสตร์
(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ สุทธิพงษ์ วัชรสินธุ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร. แพทย์หญิง วิไล ชินธเนศ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(อาจารย์ นายแพทย์ ภาณุวัฒน์ ชุตินวงศ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(พันตำรวจเอกหญิง ดร.ธีรินทร์ สินไชย)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นายแพทย์ อมรพันธุ์ เสรีมาศพันธุ์)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(พันตำรวจเอก นายแพทย์ ปกรณ์ วัฒนรัตน์)

สุริย์พร ตันติศักดิ์ : ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเขม่าปืนในโพรงจมูกผู้ยิงปืนกับระยะเวลา
 ภายหลังการยิงปืนที่วิเคราะห์โดยเทคนิค Inductively coupled plasma optical emission
 spectrometry (ICP-OES) (The correlation between the amount of gunshot residue
 in nasal cavity with the time period after shooting by inductively coupled plasma-
 optical emission spectrometry (ICP-OES) technique) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: อ. นพ.
 ภาณุวัฒน์ ชุตินวงศ์, อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม: พ.ต.อ.หญิง ดร.ธีรินทร์ สิ้นไชย, 59 หน้า.

ในการก่ออาชญากรรมที่มีการใช้อาวุธปืนมักมีการร้องขอให้ตรวจพิสูจน์เขม่าปืนบนมือ
 ของผู้ยิงปืน ซึ่งในกรณีที่ผู้กระทำผิดมีการล้างมือหรือใส่ถุงมือขณะก่อเหตุอาชญากรรม อาจทำให้ไม่สามารถ
 ตรวจพบเขม่าปืนได้ การตรวจพิสูจน์หาเขม่าปืนในโพรงจมูกของผู้ยิงปืนจึงเป็นทางเลือกใหม่ในกระบวนการ
 ตรวจพิสูจน์เขม่าปืนจากร่างกายของผู้ยิงปืน

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของเขม่าปืนในโพรงจมูกของผู้ยิง
 ปืนกับระยะเวลาภายหลังยิงปืน โดยแบ่งอาสาสมัครเป็น 8 กลุ่มตามช่วงเวลาที่ จะทำการเก็บตัวอย่าง
 ภายหลังการยิงปืนด้วยปืนพกสั้นกึ่งอัตโนมัติ ขนาด 9 มิลลิเมตร คนละ 3 นัด (0, 3, 6, 12, 24, 36, 48 และ
 60 ชั่วโมง) เก็บตัวอย่างโดยป้ายสำลีก้านไม้ที่จุ่มด้วย 2 เปอร์เซนต์ อีทีดีเอ บริเวณโพรงจมูกและมือของผู้ยิง
 ปืนทั้งข้างซ้ายและข้างขวา จากนั้นวิเคราะห์ปริมาณเขม่าปืนของธาตุแอนติโมนี (Sb) ตะกั่ว (Pb) และ
 แบเรียม (Ba) ด้วยเทคนิค Inductively Coupled Plasma – Optical Emission Spectrometry (ICP-
 OES)

ผลการวิจัยพบว่า ปริมาณของธาตุที่พบในเขม่าปืนจากบริเวณโพรงจมูกของผู้ยิงปืนกับ
 ระยะเวลาภายหลังการยิงปืนมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\text{-value}\leq 0.05$) ยกเว้น
 ธาตุแบเรียม ธาตุแอนติโมนี (Sb) พบได้ในระยะเวลา 24 ชั่วโมงภายหลังการยิงปืน ขณะที่ธาตุตะกั่ว (Pb)
 และแบเรียม (Ba) นั้น พบได้ยาวนานถึง 60 ชั่วโมงภายหลังการยิงปืน ส่วนปริมาณของธาตุที่พบในเขม่าปืน
 บนมือผู้ยิงปืนกับระยะเวลาภายหลังการยิงปืนมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทุกธาตุ ($p\text{-}$
 $\text{value}\leq 0.05$) และระยะเวลาที่พบปริมาณเขม่าปืนบนมือภายหลังการยิงปืนเป็นเช่นเดียวกับบริเวณโพรง
 จมูก

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์การแพทย์

ปีการศึกษา 2559

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาร่วม

5774122130 : MAJOR MEDICAL SCIENCE

KEYWORDS: GUNSHOT RESIDUE / NASAL CAVITY / INDUCTIVELY COUPLED PLASMA OPTICAL EMISSION SPECTROMETRY

SUREEPORN TANTISAK: The correlation between the amount of gunshot residue in nasal cavity with the time period after shooting by inductively coupled plasma-optical emission spectrometry (ICP-OES) technique. ADVISOR: PANUWAT CHUTIWONG, M.D., CO-ADVISOR: POL.COL. THEERIN SINCHAI, 59 pp.

Gunshot residues (GSR) are usually used to investigate on suspect shooters' hands. But in case that washing hands or wearing groves, it may be not found. The examination in nasal cavity of suspect shooter is alternative method for criminal investigation.

This study present the correlation between the amounts of gunshot residue in nasal cavity with the time period after shooting. The subjects were divided into 8 groups according to the time. Samples were collected after firing (0, 3, 6, 12, 24, 36, 48, 60 hours) by 9 mm semi-automatic pistol, firing three shots. The samples were collected from the nasal cavities and hands both left and right side using 2% EDTA cotton swab. Then, the samples was analyzed the amount of antimony (Sb), lead (Pb) and barium (Ba). GSR elements detected by inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICP-OES) technique

The amounts of GSR in the nasal cavity correlate with time period after shooting, except Barium (Ba). (p -value ≤ 0.05) Antimony (Sb) can be detected up to 24 hours post firing time. Lead (Pb) and Barium (Ba) can be detected up to 60 hours post firing time. Whereas, the amounts of GSR on hand correlate with time period after shooting (p -value ≤ 0.05) and detection time are similar with the nasal cavity.

Field of Study: Medical Science

Academic Year: 2016

Student's Signature

Advisor's Signature

Co-Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาวิจัยฉบับนี้ ประสบความสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เพราะได้รับความอนุเคราะห์จาก อ.นพ.ภาณุวัฒน์ ชูติวงศ์ ภาควิชานิติเวชศาสตร์ คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และ พ.ต.อ.หญิง ดร.ธีรินทร์ สิ้นไชย กลุ่มงานพิษวิทยา สถาบันนิติเวชวิทยา โรงพยาบาลตำรวจ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้ให้คำแนะนำ คำปรึกษาและความช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์ ตลอดจนแนะนำตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ผู้วิจัยขอขอบพระคุณอาจารย์ทั้งสองท่านเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณ ศ. ดร. พญ.วิไล ชินธเนศ ประธานคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผศ. ดร.นพ.อมรพันธุ์ เสรีมาศพันธุ์ และพ.ต.อ. นพ.ปรกรณ์ วัชรินทร์ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาช่วยตรวจสอบความถูกต้องของวิทยานิพนธ์ตลอดจนให้คำแนะนำต่างๆ ที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ อ.สกลกฤษณ์ เอกจักรวาล ที่ให้คำแนะนำ และให้ความรู้เกี่ยวกับอาวุธปืนที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ตลอดจนการประสานงานกับโรงเรียนนายร้อยตำรวจเพื่อขออนุญาตใช้สถานที่ และเก็บตัวอย่างจากนักเรียนนายร้อยตำรวจที่เป็นอาสาสมัคร

ขอขอบพระคุณโรงเรียนนายร้อยตำรวจสามพราน จังหวัดนครปฐม ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้สถานที่ที่ใช้ในการยิงปืนและเก็บตัวอย่างจากอาสาสมัคร และขอขอบคุณนักเรียนนายร้อยตำรวจทุกนายที่เป็นอาสาสมัครในงานวิจัยนี้ ที่ให้ความร่วมมือจนงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณภาควิชาชีวเคมี คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และกลุ่มงานพิษวิทยา สถาบันนิติเวชวิทยา โรงพยาบาลตำรวจ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่อง Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry (ICP-OES) ในการทำวิจัยครั้งนี้

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ให้ความรู้ ประสิทธิ์ประสาทวิชา จนทำให้สำเร็จการศึกษาในระดับมหาบัณฑิตศึกษา

สุดท้ายขอขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัว ที่เป็นกำลังใจและสนับสนุนในการศึกษาด้วยดีเสมอมา คุณค่าและประโยชน์ที่พึงรับจากงานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ทางผู้จัดทำวิทยานิพนธ์ขอมอบให้ทุกท่านที่มีส่วนสำคัญต่อความสำเร็จของงานวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

สารบัญ

หน้า

| | |
|---|---|
| บทคัดย่อภาษาไทย..... | ง |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... | จ |
| กิตติกรรมประกาศ..... | ฉ |
| สารบัญ..... | ช |
| สารบัญตาราง..... | ญ |
| สารบัญรูปภาพ..... | ฎ |
| สัญลักษณ์และคำย่อ..... | ฏ |
| บทที่ 1 บทนำ | 1 |
| 1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา (Background and Rationale)..... | 1 |
| 1.2 คำถามการวิจัย (Research Question)..... | 1 |
| 1.3 วัตถุประสงค์ (Objective)..... | 1 |
| 1.4 สมมติฐาน (Hypothesis)..... | 2 |
| 1.5 กรอบแนวคิดงานวิจัย (Conceptual Framework) | 2 |
| 1.6 คำจำกัดความที่ใช้ในงานวิจัย (Keywords)..... | 3 |
| 1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ (Expected benefits)..... | 3 |
| บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง..... | 4 |
| 2.1 เขม่าป็น (GSR)..... | 4 |
| 2.1.1 การเกิดเขม่าป็น..... | 4 |
| 2.1.2 แหล่งกำเนิดเขม่าป็น | 4 |
| 2.1.3 ประเภทของเขม่าป็น | 6 |
| 2.2 อีดีทีเอ (EDTA) | 8 |
| 2.3 จมูก (Nose)..... | 8 |

| | |
|--|----|
| 2.4 มือ (Hand) | 9 |
| 2.5 Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry (ICP-OES) | 11 |
| 2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Review Literature) | 12 |
| บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย..... | 15 |
| 3.1 รูปแบบการวิจัย (Research design)..... | 15 |
| 3.2 ระเบียบวิธีวิจัย (Research Methodology) | 15 |
| 3.2.1 ประชากรที่ศึกษาและกลุ่มตัวอย่าง | 15 |
| 3.3 วิธีการเข้าถึงอาสาสมัคร (Approach to participant)..... | 15 |
| 3.4 เกณฑ์การคัดเลือกอาสาสมัครเข้าร่วมโครงการ (Inclusion criteria)..... | 15 |
| 3.5 เกณฑ์การคัดแยกอาสาสมัครออกจากโครงการ (Exclusion criteria)..... | 16 |
| 3.6 ขนาดของประชากรตัวอย่าง (Sample size)..... | 16 |
| 3.7 วิธีการวิจัย / วิธีดำเนินการวิจัย (Material and Method)..... | 17 |
| การเก็บตัวอย่างในโพรงจมูก..... | 17 |
| การเก็บตัวอย่างบริเวณมือ..... | 19 |
| 3.8 การทำ Method validation..... | 20 |
| - Linearity | 20 |
| - Accuracy | 20 |
| - Precision | 20 |
| - LOD, LOQ | 21 |
| 3.9 อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการทำวิจัย (Tools) | 21 |
| 3.10 การวิเคราะห์ข้อมูล (Data Analysis)..... | 23 |
| 3.11 ข้อพิจารณาทางจริยธรรม (Ethical Consideration) | 24 |
| บทที่ 4 ผลการวิจัย..... | 25 |

| | |
|--|----|
| 4.1 การทำ Method validation..... | 25 |
| 4.1.1 Linearity | 25 |
| 4.1.2 Accuracy..... | 25 |
| 4.1.3 Precision..... | 27 |
| 4.1.4 LOD, LOQ..... | 27 |
| 4.2 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของปริมาณเขม่าป็นในโพรงจมูกและมือของผู้ยิงปืน ภายหลังการยิงปืนในข้างซ้ายและข้างขวา | 28 |
| 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเขม่าป็นในโพรงจมูกและมือของผู้ยิงปืนกับระยะเวลา ภายหลังการยิงปืน | 29 |
| 4.4 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของปริมาณเขม่าป็นในโพรงจมูกและมือของผู้ยิงปืนก่อน การยิงปืนและภายหลังการยิงปืน..... | 32 |
| 4.5 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของปริมาณเขม่าป็นในโพรงจมูกและมือของผู้ยิงปืน ภายหลังการยิงปืน | 35 |
| บทที่ 5 สรุปผลและอภิปรายผลการทดลอง | 37 |
| ภาคผนวก ก..... | 42 |
| ภาคผนวก ข..... | 46 |
| รายการอ้างอิง | 55 |
| ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ | 59 |

สารบัญตาราง

| ตารางที่ | | หน้า |
|----------|--|------|
| 1 | เขม่าปืน (Gunshot Residue) ซึ่งประกอบไปด้วย Organic Residues และ Inorganic Residues | 7 |
| 2 | สภาวะของเครื่อง Inductively Coupled Plasma – Optical Emission Spectrometry | 12 |
| 3 | แสดงค่า %Recovery ของปริมาณธาตุที่วัดได้ ในระดับความเข้มข้นต่างๆ เพื่อทดสอบความแม่นยำของวิธีที่ใช้ | 25 |
| 4 | แสดงค่า %RSD ของปริมาณธาตุที่วัดได้ ในระดับความเข้มข้นต่างๆ เพื่อทดสอบ Precision ของวิธีที่ใช้ | 26 |
| 5 | แสดงค่า LOD และ LOQ ของการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุแอนติโมนี ตะกั่ว และแบเรียม ด้วยเทคนิค ICP-OES | 26 |
| 6 | ความแตกต่างของปริมาณเขม่าปืนในโพรงจมูกและบนมือผู้ยิงปืนข้างซ้ายและข้างขวาภายหลังการยิงปืน | 27 |
| 7 | ความแตกต่างของปริมาณเขม่าปืนบริเวณโพรงจมูกผู้ยิงปืนก่อนการยิงปืนและภายหลังการยิงปืน | 32 |
| 8 | ความแตกต่างของปริมาณเขม่าปืนบนมือของผู้ยิงปืนก่อนการยิงปืนและภายหลังการยิงปืน | 33 |
| 9 | ความแตกต่างของปริมาณเขม่าปืนในโพรงจมูกและมือของผู้ยิงปืน ตามระยะเวลาที่เก็บภายหลังการยิงปืน | 35 |

สารบัญรูปภาพ

| ภาพที่ | | หน้า |
|--------|--|------|
| 1 | แสดงเขม่าหรืออนุภาคของเขม่าที่ถ่ายกระสุนปืนและดินส่่งกระสุนปืนถูกแรงระเบิดขับเคลื่อนออกมา | 4 |
| 2 | โครงสร้างองค์ประกอบสำคัญของกระสุนปืน | 6 |
| 3 | โครงสร้างทางเคมีของอีดีทีเอ | 8 |
| 4 | ลักษณะทางกายวิภาคของโพรงจมูก | 9 |
| 5 | ปริมาณผลรวมของธาตุ แอนติโมนี ตะกั่ว และแบเรียม บริเวณหลังมือขวาของผู้ยิงปืน ในการยิงปืนครั้งละ 3 นัด | 10 |
| 6 | องค์ประกอบของเครื่อง ICP/OES รุ่น Optima 2100 DV ยี่ห้อ PerkinElmer | 11 |
| 7 | การประมาณค่าขนาดตัวอย่างด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปจิวาเวอร์เวอร์ชัน 3.1 | 17 |
| 8 | ตำแหน่งที่เหมาะสมในการเก็บตัวอย่างจากโพรงจมูกด้วยก้านสำลี | 18 |
| 9 | ตำแหน่งการเก็บตัวอย่างเขม่าปืนบริเวณมือของผู้ยิง | 19 |
| 10 | ก้านสำลีบรรจุในซองปิดผนึก บรรจุซองละ 5 ก้าน | 21 |
| 11 | อาวุธปืนพกสั้นกึ่งอัตโนมัติ ยี่ห้อ GLOCK MODEL 19 ขนาด 9 มิลลิเมตร | 22 |
| 12 | กระสุนปืนอโตเมติก ขนาด 9 มิลลิเมตร Para Cartridges ชนิด Lead Round Nose 135 gr. ยี่ห้อ bullet master บรรจุกล่องละ 50 นัด | 22 |
| 13 | สภาพการยิงปืนภายในห้องยิงปืนที่ปิดมิดชิด และการเกิดเขม่าในขณะที่ยิงปืน | 22 |
| 14 | แสดงการเก็บตัวอย่างจากโพรงจมูกและมือของอาสาสมัคร | 23 |
| 15 | ตัวอย่างกราฟแสดงผล Calibration curve จากเครื่อง ICP-OES ก่อนการวิเคราะห์ตัวอย่าง | 24 |
| 16 | ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณธาตุแอนติโมนี ตะกั่ว และแบเรียมในโพรงจมูกของผู้ยิงปืนกับระยะเวลาภายหลังการยิงปืน | 29 |
| 17 | ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณธาตุแอนติโมนี ตะกั่ว และแบเรียมบนมือของผู้ยิงปืนกับระยะเวลาภายหลังการยิงปืน | 30 |
| 18 | เปรียบเทียบปริมาณผลรวมของธาตุ แอนติโมนี ตะกั่ว และแบเรียม บริเวณในโพรงจมูกและบนมือของผู้ยิงปืน ในการยิงปืนครั้งละ 3 นัด | 37 |

สัญลักษณ์และคำย่อ

| คำย่อ | ความหมาย |
|------------------|---|
| GSR | Gunshot residue |
| Sb | Antimony |
| Ba | Barium |
| Pb | Lead |
| AOAC | The Association of Official Agricultural Chemists |
| HNO ₃ | กรดไนตริก |
| EDTA | อีดีทีเอ |
| μL | ไมโครลิตร |
| mL | มิลลิลิตร |
| μg/L | ไมโครกรัมต่อลิตร |
| mg/L | มิลลิกรัมต่อลิตร |
| ppm | หนึ่งส่วนในล้านส่วน (parts per million) |

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา (Background and Rationale)

การปฏิบัติงานด้านนิติวิทยาศาสตร์มีความเกี่ยวข้องกับการตรวจพิสูจน์วัตถุพยานที่มีความหลากหลาย ประกอบกับวัตถุพยานเหล่านั้นมีการเปลี่ยนแปลงไปอยู่ตลอดเวลาตามวิวัฒนาการและเทคโนโลยีที่มีความก้าวหน้ามากขึ้น ซึ่งในปัจจุบันการกระทำความผิดทางอาชญากรรมโดยเฉพาะการกระทำความผิดโดยใช้อาวุธปืนมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น (1, 2) ดังนั้นอาวุธปืนหรือวัตถุพยานอื่นๆที่เกี่ยวข้องกับอาวุธปืนจึงกลายเป็นวัตถุพยานที่ถูกร้องขอให้ทำการตรวจพิสูจน์เพื่อนำไปสู่การพิสูจน์ในข้อเท็จจริงของการก่อคดีในลักษณะของการเชื่อมโยงการกระทำความผิดหรือเพื่อการคลี่คลายการก่อคดีในประเด็นอื่นๆของการก่ออาชญากรรม เมื่อมีการยิงปืน อนุภาคต่างๆจะปลิวกระจายเกาะในตำแหน่งต่างๆของร่างกายผู้ยิง เช่น มือ แขน เสื้อผ้า รวมถึงเส้นผมของผู้ยิง จากงานวิจัยของ Hans Ditrach (2012) (3) พบว่ามีความเป็นไปได้ในการตรวจไม่พบเขม่าปืน (Gunshot residue, GSR) หรือสิ่งที่เหลือจากการยิงปืนที่มือผู้ต้องหาหรือผู้ต้องสงสัย เนื่องจากการยิงปืนโดยสวมใส่ถุงมือ หรือมีการทำความสะอาดมือไปแล้ว การตรวจหาเขม่าปืนบนมือผู้ต้องสงสัยจึงไม่ใช่ทางเลือกเดียวที่จะพิสูจน์ว่าผู้ต้องสงสัยได้ยิงปืนหรือไม่ บ่อยครั้งผู้ต้องหาหรือผู้ต้องสงสัยมักล้างทำความสะอาดมือจนอาจก่อให้เกิดผลลบลง จึงมีความพยายามที่จะตรวจหาเขม่าปืนจากบริเวณตำแหน่งอื่นๆ ซึ่งมีความคงอยู่ได้นานกว่าบริเวณมือ โดยเอกสารยืนยันการตรวจพบเขม่าปืนในโพรงจมูกครั้งแรกพบในปี 1904 และจากการวิจัยของ Schwartz และ Zona (1995) (4) พบว่าสามารถตรวจพบเขม่าปืนในโพรงจมูกได้ภายหลังการยิงปืน ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจที่จะทำการศึกษาธาตุหรือสารประกอบที่ได้จากเขม่าปืนภายในโพรงจมูกของผู้ยิงปืน โดยใช้เทคนิค Inductively Coupled Plasma Spectrometry (ICP Spectrometry) เนื่องจากเป็นเทคนิคที่สามารถวิเคราะห์ได้ทั้งเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณอย่างรวดเร็ว มีความเที่ยงตรงสูง(5) มีความไวในการตรวจวิเคราะห์ ใช้เวลาน้อยและสามารถวิเคราะห์ธาตุในสารละลายตัวอย่างได้หลายธาตุในเวลาเดียวกัน

1.2 คำถามการวิจัย (Research Question)

ปริมาณเขม่าปืนที่พบในโพรงจมูกผู้ยิงปืนมีอัตราการหายไปสัมพันธ์กับระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นหรือไม่

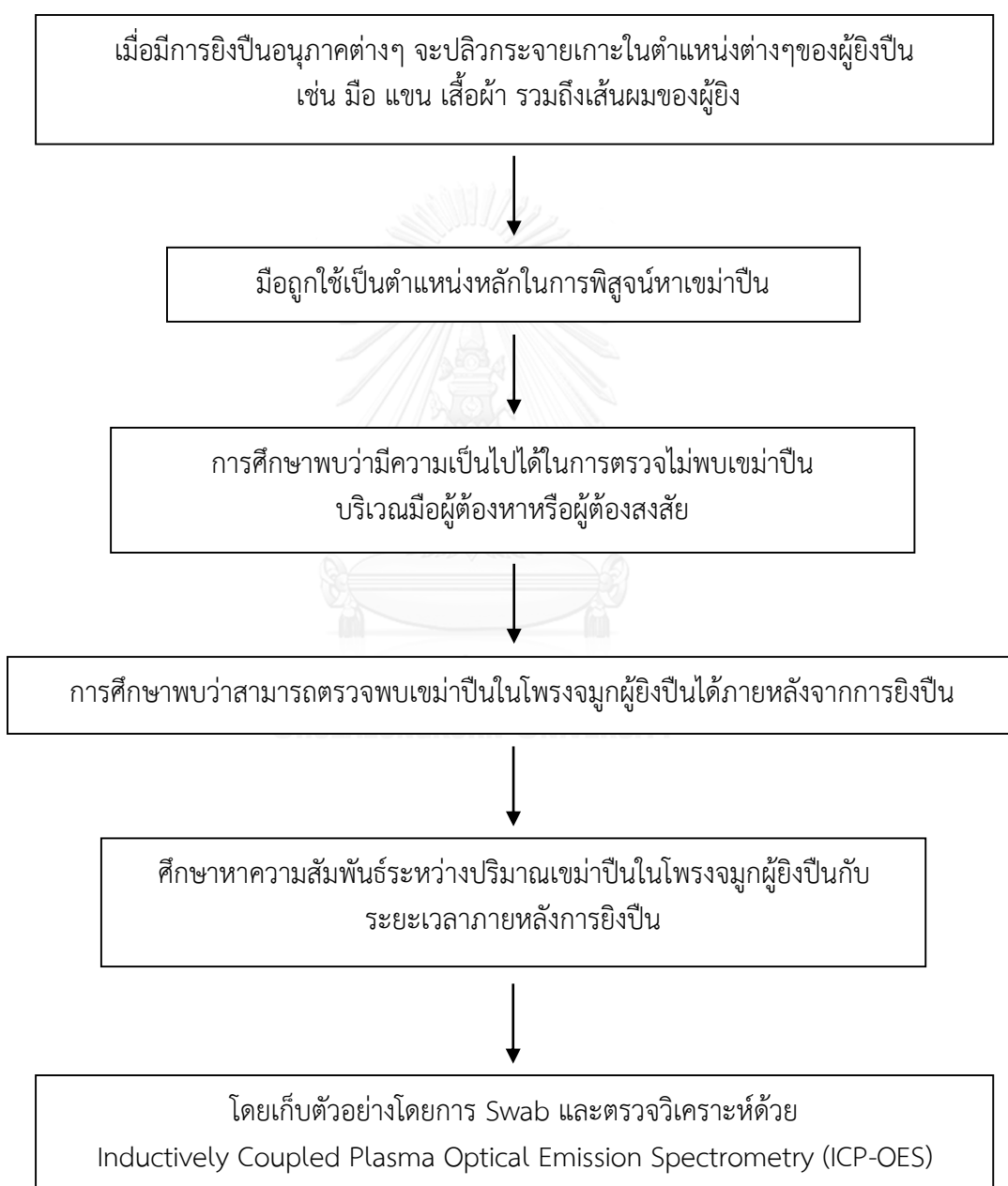
1.3 วัตถุประสงค์ (Objective)

เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของเขม่าปืนในโพรงจมูกของผู้ยิงปืนกับระยะเวลาภายหลังยิงปืน โดยศึกษารูปแบบการเปลี่ยนแปลงปริมาณของธาตุ แอนติโมนี (Sb) ตะกั่ว (Pb) และแบเรียม (Ba)

1.4 สมมติฐาน (Hypothesis)

ปริมาณเขม่าป็นที่พบในโพรงจมูกผู้ยิงปืนมีความสัมพันธ์กับระยะเวลาภายหลังการยิงปืนโดยจะน้อยลงหรือหมดไปเมื่อมีระยะเวลาหลังการยิงปืนนานขึ้น

1.5 กรอบแนวคิดงานวิจัย (Conceptual Framework)



1.6 คำจำกัดความที่ใช้ในงานวิจัย (Keywords)

- 1.6.1 Gunshot residue
- 1.6.2 Inductively coupled plasma-optical emission spectrometry
- 1.6.3 Nasal cavity

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ (Expected benefits)

- 1.) เพื่อทราบถึงระยะเวลาการคงอยู่ของเขม่าปืนในโพรงจมูกของตัวผู้ยิงปืน ภายหลังจากการยิงปืน
- 2.) เพื่อใช้เป็นทางเลือกในการตรวจสอบการคงอยู่ของเขม่าปืนในผู้ต้องสงสัยที่ผ่านระยะเวลาการก่อเหตุมานานกว่าที่จะสามารถตรวจพิสูจน์บริเวณมือได้



บทที่ 2

ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1 เขม่าปืน (GSR)

2.1.1 การเกิดเขม่าปืน

เขม่าปืนเป็นผลลัพธ์ที่เกิดจากปฏิกิริยาการเผาไหม้หลังจากการยิงปืนโดยอาศัยอนุภาคของเขม่าปืนซึ่งได้มาจากการระเบิดและเผาไหม้ของชนวนท้ายกระสุนปืน (Primer) ซึ่งการระเบิดและการเผาไหม้นั้นเป็นผลให้อุณหภูมิและความดันเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหัน เกิดความร้อนและก๊าซปริมาณมาก ขับผ่านออกมาทางปากลำกล้องปืน พาเอาเขม่าปืนหรือส่วนที่หลงเหลืออยู่หลังการเผาไหม้ออกมาพร้อมกันด้วย (ดังแสดงในภาพที่ 1)



ภาพที่ 1 แสดงเขม่าหรืออนุภาคของชนวนท้ายกระสุนปืนและดินส่งกระสุนปืนถูกแรงระเบิดขับเคลื่อนออกมา (http://www.konnakhon.com/detail_news.php?n_id=2352, 9 มกราคม 2559)

2.1.2 แหล่งกำเนิดเขม่าปืน

คือที่มาหรือส่วนซึ่งทำให้เกิดเขม่าปืน ที่ได้มาจากส่วนประกอบของเครื่องกระสุน ไม่ว่าจะเป็นชนวนท้ายกระสุนปืน ดินส่งกระสุนปืน ปลอกกระสุนปืน รวมทั้งลูกกระสุนปืน ทั้งนี้แหล่งกำเนิดในแต่ละแหล่งให้ส่วนประกอบของเขม่าปืนที่แตกต่างกัน โดยพบว่ามีส่วนประกอบทั้งที่เป็นอินทรีย์สาร (organic residue) และอนินทรีย์สาร (inorganic residue) ซึ่งส่วนมากอยู่ในรูปของ inorganic residue ที่ได้มาจากชนวนท้ายกระสุนปืน

องค์ประกอบจาก inorganic residue ส่วนใหญ่ประกอบด้วยธาตุโลหะซึ่งใช้ระยะเวลาในการสลายตัวของธาตุ(6) โดยรูปแบบหรือส่วนประกอบทั้งหมด ที่ฟุ้งกระจายและระเหยออกมาจากการยิงปืนนั้น จากการศึกษาอนุภาคเขม่าปืนสามารถแบ่งประเภทของอนุภาคที่เกิดจาก

การยิงปืนออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ แอนติโมนี (Sb) ตะกั่ว (Pb) และ แบเรียม (Ba) หากตรวจพบธาตุเหล่านี้พร้อมกันสามารถบอกได้แน่นอนว่ามีเขม่าปืน(7) นอกจากนี้ยังมีการรายงานยืนยันการพบอนุภาคของธาตุซึ่งเป็นองค์ประกอบได้อย่างน้อย 2 ชนิดคือ Sb และ Ba ทุกครั้ง จากบริเวณที่พบเขม่าปืน(8) ขณะที่ Standard Guide for Gunshot Residue Analysis ได้จำแนกอนุภาคที่เกิดจากการยิงปืนไว้เมื่อปี พุทธศักราช 2544 (ค.ศ. 2001) ว่ามี 3 จำพวกคือ (9, 10) 1) อนุภาคที่แน่นอน (Exclusive/Unique GSR) ซึ่งจะพบอนุภาคของธาตุหลักเหล่านี้ทุกธาตุ และทุกครั้งหลังจากการยิงปืน ได้แก่ Sb-Pb-Ba และ Sb-Ba 2) อนุภาคที่เป็นตัวชี้วัด (Characteristic/Indicative GSR) เป็นอนุภาคธาตุที่น่าเชื่อได้ว่าเกิดขึ้นจากการยิงปืน ซึ่งพบได้เพียงสองธาตุหรือน้อยกว่านั้น ได้แก่ Pb-Sb, Pb-Ba และ Pb, Ba และ 3) อนุภาคอื่นๆ ได้แก่ Ca, Cu, Fe, Ni, P, Si, S, Zn

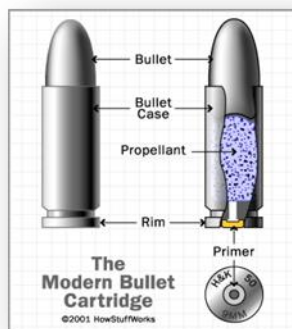
ในการยิงปืนแต่ละครั้ง สิ่งที่อยู่จากปากกระบอกปืนนอกจากจะเป็นกลุ่มของเขม่าดินปืน หรือควันปืน (soot) ยังมีหัวกระสุนปืนประกายดินปืนที่กำลังเผาไหม้ (unburnt particle) และความร้อน ทั้งนี้องค์ประกอบหลักของกระสุนปืนในปัจจุบัน ประกอบด้วย

1.) ลูกกระสุนปืน (Bullet) ผลิตขึ้นมาจากโลหะตะกั่วเป็นองค์ประกอบหลัก อาจมีการพัฒนารูปแบบของลูกกระสุนปืนในบางลักษณะ เช่น หุ้มแกนตะกั่วลูกกระสุนปืนด้วยโลหะอื่นๆ เช่น หุ้มด้วยทองแดง หรือวัสดุอื่นเพื่อเพิ่มความแข็งแรงและประสิทธิภาพในการใช้งานบางประการ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ในการออกแบบลูกกระสุนปืนนั้นๆ (11)

2.) ปดอกกระสุนปืน (Cartridge Case) เป็นส่วนที่รวมเอาส่วนประกอบทั้งหมดของกระสุนปืน ไม่ว่าจะเป็นหัวกระสุน ดินส่งกระสุน และชนวนท้ายกระสุนปืนไว้ด้วยกัน ซึ่งปดอกกระสุนมักจะทำด้วยโลหะทองเหลือง และต้องทนต่อแรงดันที่เกิดขึ้นจากดินส่งกระสุนปืนได้

3.) ดินส่งกระสุนปืนหรือดินปืน (Propellant or Gunpowder) เป็นแหล่งกำเนิดของเขม่าปืนที่แตกต่างไปจากเขม่าของชนวนท้ายกระสุนปืน เนื่องจากจะให้เขม่าที่ประกอบไปด้วยสาร organic และธาตุที่ไม่ใช่โลหะหนัก บรรจุอยู่ภายในปดอกกระสุนปืน เป็นสารที่ให้พลังงานสูง เมื่อขยายตัวสามารถเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ในเวลาอันรวดเร็ว (11) ทั้งนี้ยังเป็นแรงดันที่ใช้ขับเคลื่อนหัวกระสุนปืนให้พุ่งออกไป เดิมทีดินส่งกระสุนปืนจะใช้ดินดำ (black powder) ซึ่งจะให้เขม่าควันเป็นจำนวนมากจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ โดยจะให้เขม่ามากถึง 56 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนัก การเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ จะก่อให้เกิดเขม่าปืนที่มีธาตุโพแทสเซียม (K) คาร์บอน (C) และ กำมะถัน (S) อยู่ด้วย ต่อมาเปลี่ยนมาใช้เป็นดินควันน้อย (smokeless powder) ซึ่งให้เขม่าปืนที่มาจากกาเผาไหม้ของไนโตรกลีเซอริน (Nitroglycerine) โดยไม่พบว่ามีธาตุโพแทสเซียม (K) และกำมะถัน (S) เป็นส่วนประกอบของเขม่าที่ได้จากดินควันน้อย ซึ่งสามารถใช้ความแตกต่างนี้ เพื่อแยกแยะระหว่างดินดำและดินควันน้อยออกจากกันได้ ดินส่งกระสุนปืนส่วนที่ถูกเผาไหม้สมบูรณ์จะกลายเป็นก๊าซคาร์บอน ก๊าซออกซิเจน และก๊าซไนโตรเจน ลอยไปในอากาศจนหมด

4.) ชนวนท้ายกระสุนปืน (Primer) เป็นตัวจุดประกายไฟให้ผ่านเข้าไปติดดินปืนเพื่อจุดดินปืนให้เกิดการระเบิด ส่งหัวกระสุนให้วิ่งออกจากปากกระบอกปืน ชนวนท้ายกระสุนปืนมีส่วนประกอบของแอนติโมนี (Sb) ตะกั่ว (Pb) แบเรียม (Ba) ผสมอยู่ ซึ่งส่วนประกอบนี้มีความสำคัญในการตรวจพิสูจน์ว่า บุคคลนั้นมีการผ่านการยิงปืนมาแล้วหรือไม่



ภาพที่ 2 โครงสร้างองค์ประกอบสำคัญของกระสุนปืน

(<http://mancavehq.weebly.com/merica/parts-of-a-bullet>, 30 พฤศจิกายน 2558)

2.1.3 ประเภทของเขม่าปืน

เขม่าปืนได้มาจากองค์ประกอบหลักที่จะพบได้ในเครื่องกระสุนปืน ไม่ว่าจะเป็นชนวน ทำยกระสุนปืน ดินส่งกระสุนปืน ปลอกกระสุน และลูกกระสุนปืน ซึ่งพบว่ามิเขม่าบางส่วนอาจหลงเหลืออยู่ภายในลำกล้องปืนภายหลังการยิงปืน จึงทำให้แหล่งกำเนิดในแต่ละส่วนแตกต่างกัน สามารถแบ่งประเภทออกได้ดังนี้ดังแสดงตามตารางที่ 1

2.1.3.1 Organic gunshot residue (O-GSR)

เป็นเขม่าปืนที่เกิดจากการเผาไหม้ของสารอินทรีย์ เดิมใช้การตรวจหา ไนเตรต (NO_3^-) และไนโตรท์ (NO_2) ที่เกิดจากการเผาไหม้ของดินส่งกระสุนปืนชนิดดินดำแต่ในปัจจุบันนิยมใช้ดินส่งกระสุนปืนชนิดดินควันน้อย ซึ่งได้มาจากการเผาไหม้ของไนโตรกลีเซอริน (nitroglycerine) ซึ่งเป็นสารหลักในดินควันน้อย ตามข้อมูลของ FBI Laboratory ที่ได้ศึกษาและรวบรวมไว้ พบว่าดินควันน้อยมีเขม่าในรูปของสารประกอบ Organic จำพวก Nitro-compound อยู่ 23 ชนิด

2.1.3.2 Inorganic gunshot residue (I-GSR)

เป็นเขม่าปืนประเภทอนินทรีย์สารที่เป็นผลลัพธ์จากการเผาไหม้ของชนวน ทำยกระสุนปืน เกิดเป็นสารตกค้างของเขม่าปืนที่ประกอบไปด้วยอนุภาคของโลหะแอนติโมนี (Sb) ตะกั่ว (Pb) และแบเรียม (Ba) โดยจะพบอนุภาคของธาตุโลหะทั้งสามชนิดแทบทุกครั้งบริเวณมือหลังการยิงปืน จึงถูกนำเสนอให้นำมาใช้เพื่อวิเคราะห์หาเขม่าปืนครั้งแรกเมื่อปี ค.ศ. 1959 โดย Harrison and Gilroy(12)

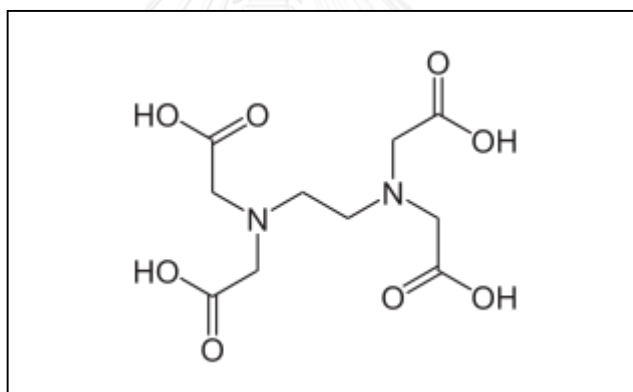
ตารางที่ 1 เหม่าปืน (Gunshot Residue) ซึ่งประกอบไปด้วย Organic Residues และ Inorganic Residues

| ส่วนประกอบ | ชื่อย่อ | แหล่งกำเนิด / หน้าที่ |
|---|---------|---------------------------------------|
| Organic Gunshot Residues (O-GSR) | | |
| Nitroglycerine | NG | Propellant |
| Resorcinol | | Rs |
| 2,4-dinitrotoluene | 24-DNT | Flash inhibitor |
| 2,6-dinitrotoluene | 26-DNT | Flash inhibitor |
| 2,3-dinitrotoluene | 23-DNT | Flash inhibitor |
| Dimethyl Phthalate | DMP | Plasticizer |
| Diethyl Phthalate | DEP | Plasticizer |
| Dibutyl Phthalate | DBP | Plasticizer |
| Diphenylamine | DPA | Stabilizer |
| Methyl Centralite | MC | Stabilizer |
| Ethyl Centralite | EC | Stabilizer |
| Inorganic Gunshot Residues (I-GSR) | | |
| Antimony | Sb | Fuel |
| Iron | Fe | Bullet material |
| Barium | Ba | Oxidizing agent |
| Calcium | Ca | Fuel |
| Magnesium | Mg | Fuel |
| Aluminum | Al | Fuel |
| Nickel | Ni | Bullet material |
| Zinc | Zn | Bullet material |
| Lead | Pb | Initiating explosive (lead styphnate) |
| Copper | Cu | Bullet material |

ที่มา : C. Cruces-Bianco, L. Gamiz-Gracia, and A.M. Garcia-Campana, "Applications of Capillary Electrophoresis in Forensic Analytical Chemistry," Trend in Analytical Chemistry 26, 3 (2007): 217

2.2 อีดีทีเอ (EDTA)

หรือ เอทิลีนไดอะมีน เตตระ อะซีติกแอซิด (Ethylene Diamine Tetra Acetic acid: EDTA) มีสูตรโมเลกุลทางเคมีคือ $C_{10}H_{16}N_2O_8$ ลักษณะเป็นผงขาวใส ละลายในน้ำได้เป็นสารในกลุ่ม aminopolycarboxylic acid มี 2 ตัว คือ ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA) และเกลือของ EDTA เช่น disodium EDTA (มี 2Na) tetrasodium EDTA (มี 4Na) EDTA มีคุณสมบัติเป็น สารคีเลต (chelates) ที่ใช้กันมากและเป็นประโยชน์ในทางเภสัชกรรม โดยการจับกับธาตุโลหะที่มี ประจุเช่นตะกั่วเหล็กสังกะสีแคดเมียมแมงกานีสและทองแดงออกจากร่างกาย เพื่อบำบัดภาวะ ผิดปกติทางสุขภาพที่สัมพันธ์กับการสะสมและตกค้างของสารโลหะหนักแบบเรื้อรังได้ หลาย การศึกษาได้มีการนำสารละลาย EDTA มาใช้เก็บตัวอย่างเขม่าป็นจากบริเวณมือของผู้ยิงปืน (5, 13-15) ทดแทนกรดไนตริก (HNO_3) ซึ่งมีกลิ่นฉุน ฤทธิ์เป็นกรด และกัดกร่อนสูง เป็นอันตรายอาจทำให้เกิดการระคายเคืองต่อผิวหนัง ตา จมูก และเนื้อเยื่อต่างๆทำให้เกิดการบาดเจ็บได้ (16) ทั้งนี้ การศึกษาของ Reis และคณะ (2003) พบว่า EDTA มีประสิทธิภาพในการเก็บตัวอย่างเขม่าป็นจาก มือผู้ยิงได้ค่าเฉลี่ยสูงสุดเมื่อเทียบกับ 2% กรดไนตริก (2% HNO_3) และน้ำปราศจากไอออน (Deionized Water)



ภาพที่ 3 โครงสร้างทางเคมีของอีดีทีเอ

(https://en.wikipedia.org/wiki/Ethylenediaminetetraacetic_acid, 9 มกราคม 2559)

ล่าสุดงานวิจัยของ Marina Aliste ในปี 2016 (17) ได้นำ EDTA มาใช้เก็บตัวอย่างเขม่าป็น ในโพรงจมูกของผู้ยิงโดยใช้ก้านสำลี (cotton swab) อีกด้วย

2.3 จมูก (Nose)

จมูกเป็นอวัยวะรับสัมผัสที่สำคัญอย่างหนึ่งของร่างกาย โดยทำหน้าที่รับกลิ่นของสิ่งที่อยู่ รอบๆตัวเรา นอกจากนี้ยังเป็นทางผ่านของอากาศ โดยทำหน้าที่กรองอากาศ ปรับอุณหภูมิ และ ความชื้นของอากาศก่อนที่จะเข้าสู่ปอด

จมูกประกอบด้วย

1. สันจมูก เป็นกระดูกอ่อนที่เริ่มตั้งแต่ใต้หัวคิ้ว ส่วนบนเป็นกระดูกที่เรียกว่าดั้งจมูก ส่วนล่างเป็นกระดูกอ่อน มีเนื้อเยื่อและผิวหนังปกคลุมอยู่ภายนอก

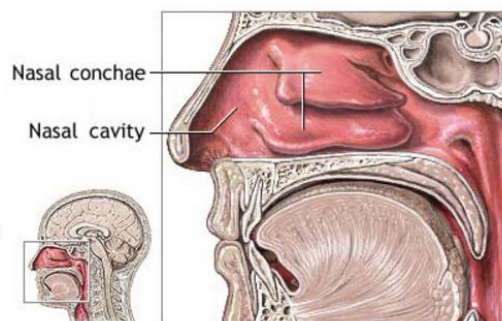
2. รูจมูก มีอยู่ 2 ข้าง ตรงส่วนล่างของจมูก ภายในมีขนจมูกทำหน้าที่ป้องกันฝุ่นละอองในขณะหายใจเข้า

3. โพรงจมูก (nasal cavity) อยู่ถัดจากรูจมูกเข้าไปข้างใน ซึ่งเป็นที่พักของอากาศก่อนจะถูกสูดเข้าปอด โพรงจมูกทำหน้าที่ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นของอากาศ โดยหลอดเลือดฝอยตามแผ่นเยื่อเมือกจะถ่ายเทความร้อนออกมาทำให้อากาศชุ่มชื้น เยื่อเมือกจะทำหน้าที่ปรับความชื้นให้อากาศพร้อมทั้งดักจับฝุ่นละอองที่เล็ดลอดผ่านขนจมูกเข้าไปแล้วขับทิ้งออกมาเป็นน้ำมูก บริเวณด้านบนของโพรงจมูกมีปลายประสาททำหน้าที่รับกลิ่นทั้งนี้ภายในจมูกยังมีรูเปิดของท่อน้ำตาเวลาร้องไห้จึงมักจะคัดจมูกและมีน้ำมูกไหลออกมาทางช่องนี้

4. โพรงอากาศรอบจมูก (Sinus) เป็นโพรงกระดูกที่อยู่โนบริเวณรอบๆ จมูก มีอยู่ 4 คู่ คือ

- Maxillary sinuses มีขนาดใหญ่ที่สุด อยู่ใต้กระดูกโหนกแก้ม
- Frontal sinuses อยู่ที่หัวคิ้วทั้ง 2 ข้าง
- Ethmoidal sinuses ลักษณะคล้ายรังผึ้ง ระหว่างสันจมูกกับเบ้าตา
- Sphenoid sinuses อยู่ด้านหลัง Ethmoidal sinuses

โพรงอากาศเหล่านี้มีเยื่อบางๆ อยู่เช่นเดียวกับโพรงจมูกและโพรงอากาศเหล่านี้ก็จะเปิดเข้าสู่โพรงจมูกโดยตรงด้วย ดังนั้น ถ้ามีอะไรผิดปกติเกิดขึ้นที่โพรงจมูกก็มีผลต่อโพรงอากาศนี้ด้วย



ภาพที่ 4 ลักษณะทางกายวิภาคของโพรงจมูก

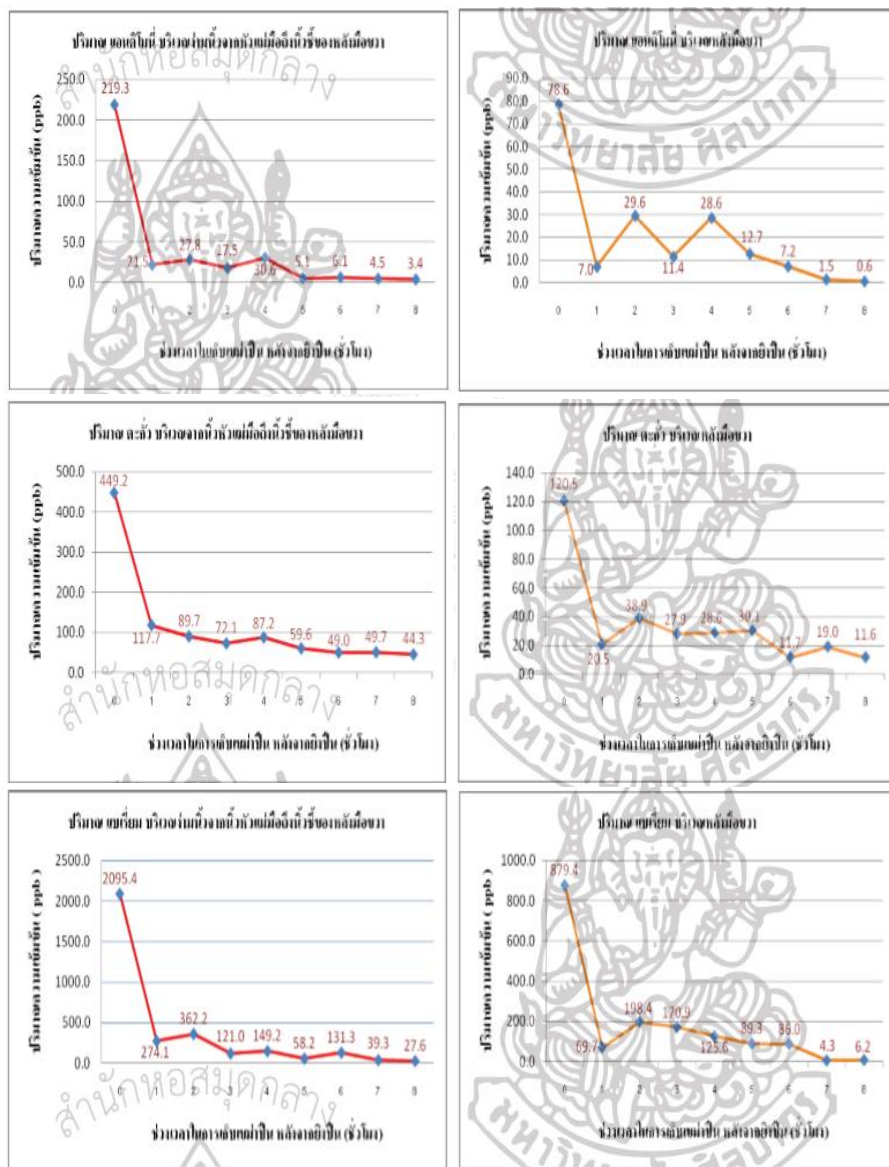
(http://www.myfirstbrain.com/student_view.aspx?ID=48595, 25 มกราคม 2559)

การเก็บตัวอย่างเสมห่าป็นในจมูกของผู้ยิงปืนนั้น จะทำการเก็บในส่วนบริเวณของโพรงจมูกส่วนต้น ซึ่งมีเนื้อเยื่อที่บุผิวเป็นเยื่อเมือกที่ประกอบด้วยซีเลีย (ciliated mucous membrane) คอยดักจับฝุ่นละออง ก่อนเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจ

2.4 มือ (Hand)

มือเป็นอวัยวะหนึ่งซึ่งช่วยในการดำรงชีวิต มีการใช้งานอยู่ตลอดเวลา เช่น การหยิบจับสิ่งของ เป็นต้น ซึ่งในการยิงปืนนั้น มือถือเป็นสิ่งสำคัญในการทำให้การก่อเหตุเป็นไปได้ ปัจจุบันการตรวจ

พิสูจน์หาเขม่าป็นในตัวผู้ยิงปืนนั้น ใช้การตรวจบริเวณมือผู้ยิงปืนเป็นมาตรฐานหลัก โดยการตรวจนั้น จะ เก็บไล่เขม่าป็นให้ทั่วบริเวณง่ามนิ้ว ฝ่ามือ และหลังมือของผู้ยิงปืน (18) ซึ่งในการศึกษาวิจัยของ เชิดพงศ์ ชุกกลิ่น (9) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ของปริมาณเขม่าป็นบนมือผู้ยิงปืนกับระยะเวลาภายหลังยิง ปืนในช่วงเวลา 0-8 ชั่วโมง พบว่าปริมาณเขม่าป็นจะลดลงอย่างรวดเร็วภายหลังการยิงปืนผ่านไป 1 ชั่วโมง จากนั้นจะลดลงตามระยะเวลา โดยหลังจากเวลาผ่านไปตั้งแต่ 5-8 ชั่วโมง การลดลงของ ปริมาณธาตุแอนติโมนี (Sb) ตะกั่ว (Pb) และแบเรียม (Ba) เกือบจะคงที่ ทั้งนี้ปริมาณเขม่าป็นพบมาก ที่สุดบริเวณง่ามนิ้วจากนิ้วหัวแม่มือถึงนิ้วชี้ของหลังมือขวา รองลงมาคือ บริเวณหลังมือขวานั้น ดัง แสดงในภาพที่ 5



ภาพที่ 5 ปริมาณผลรวมของธาตุ แอนติโมนี (Sb) แบเรียม (Ba) และตะกั่ว (Pb) บริเวณหลังมือขวา ของผู้ยิงปืน ในการยิงปืนครั้งละ 3 นัด (เชิดพงศ์ ชุกกลิ่น, 2555)

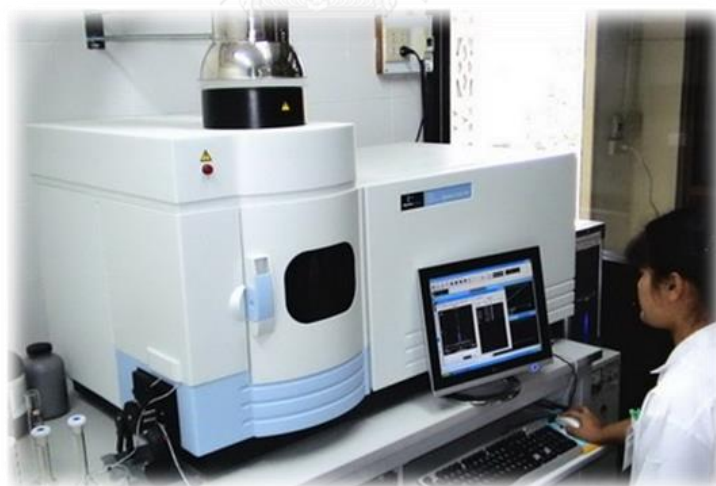
2.5 Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry (ICP-OES)

เป็นเครื่องมือที่สามารถใช้ทดสอบวิเคราะห์เชิงปริมาณและเชิงคุณภาพของธาตุต่างๆ ได้ที่ละหลายธาตุ วิธีวิเคราะห์ธาตุโดยหลักการของอะตอมมิคสเปกโทรสโกปี ซึ่งสามารถวิเคราะห์ธาตุได้พร้อมกันหลายตัวในเวลาเดียว มีความไวในการวิเคราะห์สูง สามารถวิเคราะห์ตรวจวัดธาตุที่ระดับความเข้มข้นไมโครกรัมต่อลิตร ($\mu\text{g/l}$)

เทคนิคการทำงานแยกเป็น 2 ส่วนหลักๆ คือ

Inductively Couple Plasma (ICP) เป็นเทคนิคที่ใช้วิเคราะห์หาปริมาณธาตุต่างๆ สารละลายจะถูกเปลี่ยนให้เป็นละอองลอย (Aerosol) โดยอาศัยการเหนี่ยวนำให้เกิดพลาสมาที่ให้อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิของเปลวไฟปกติทั่วไป ซึ่งอยู่ในช่วงประมาณ 10,000 องศาเซลเซียส ด้วยการปล่อยแก๊สอาร์กอนผ่านเข้าไปในคอบ (torch) โดยแก๊สอาร์กอน (argon gas) สารที่ได้รับพลังงานจะเกิดการแตกตัวเป็นอะตอมแล้วถูกกระตุ้นหรือไอออไนส์อะตอมหรือไอออนที่ถูกกระตุ้นจะเปล่งแสงออกมาซึ่งมีลักษณะเฉพาะ (19) แสงที่เกิดขึ้นจะผ่านเข้าไปในเครื่องสเปกโทรมิเตอร์ซึ่งในที่นี้คือ Optical Emission Spectrometer

Optical Emission Spectrometer (OES) ทำหน้าที่แยกแสงที่ต้องการวิเคราะห์ซึ่งตรงกับความยาวคลื่นที่เลือกไว้ผ่านเข้าไปยังตัวตรวจวัด (detector) ซึ่งเป็นยูวี-วิซิเบิล (UV-visible) เพื่อวัดสัญญาณและเปลี่ยนเป็นความเข้มข้น (20)



ภาพที่ 6 องค์ประกอบของเครื่อง ICP/OES รุ่น Optima 2100 DV ยี่ห้อ PerkinElmer
(<http://www.central-plating.com/s0109/index.php?pgid=index1,26> เมษายน 2560)

ตารางที่ 2 สภาวะของเครื่อง Inductively Coupled Plasma – Optical Emission Spectrometry

| PerkinElmer - Optima 2100 DV | |
|------------------------------|-------------|
| Operating conditions | |
| RF power | 1300 W |
| Argon Gas flow | 14 L/min |
| Auxiliary Gas flow | 0.2 L/min |
| Nebulizer Gas flow | 0.6 L/min |
| Sample flow rates | 1.5 mL/min |
| Torch | Quartz tube |
| Parameters | |
| Number of Replicate | 3 |
| Detector mode | Dual |

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Review Literature)

1.) ในปี ค.ศ. 1995 Robert H. Schwartz และ Charles A. Zona (4) ได้ทำการศึกษาวิธีการสกัดคราบเขม่าป็นออกจากสารเมือกที่อยู่ภายในจมูกของมนุษย์ โดยใช้แผ่นกรองสารตัวอย่าง (Mixed cellulose ester, MCE membrane filters) ขนาดรูพรุน 0.3 ไมโครเมตร เก็บตัวอย่าง และทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscopy / Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (SEM/EDX) ผลที่ได้คือกลุ่มตัวอย่างสารเมือกที่อยู่ภายในจมูกของมนุษย์สามารถคงอยู่ได้นาน 12-48 ชั่วโมงภายหลังการยิงปืน

2.) ในปี ค.ศ. 2001 Francesco Saverio Romolo และ PierreMargot (12) รายงานผลการวิจัย เขม่าป็นสามารถตรวจพบได้หลายตำแหน่งบนบริเวณต่างๆของร่างกายผู้ยิงปืน เช่น เสื้อผ้า เส้นผม และมือ

3.) ในปี ค.ศ. 2003 Edson L.T. Reis และคณะ(15) ได้ทำการศึกษาวิธีการเก็บและตรวจสอบเอกลักษณ์ของเขม่าป็นจากมือของผู้ยิงปืนโดยใช้สารละลาย 2% EDTA เป็นตัวช่วยในเก็บตัวอย่างบนมือโดยการ swab เปรียบเทียบกับการเก็บโดยใช้สารละลาย 2% Nitric acid และ Deionized water ทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Sector-field Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (HRICP-MS) ผลการทดลองพบว่า สารละลาย 2% EDTA สามารถเก็บตัวอย่างและพบอนุภาคเขม่าป็น แอนติโมนี (Sb) ตะกั่ว (Pb) แบเรียม (Ba) ได้ค่าเฉลี่ย (Mean) สูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับสารละลายอีกสองตัวข้างต้น

4.) ในปี ค.ศ. 2011 เชิดพงศ์ ชุกกลิ่น (9) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของเขม่าป็นบนมือของผู้ยิงปืน และระยะเวลาภายหลังการยิงปืนที่วิเคราะห์โดยเทคนิค Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS) ในช่วงเวลา 0-8 ชั่วโมง หาปริมาณ 3 ธาตุคือ แอนติโมนี (Sb) ตะกั่ว (Pb) และแบเรียม (Ba) ผลการวิจัยพบว่า ธาตุทั้งสามจะลดลงอย่างรวดเร็วหลังจากยิงปืนผ่านไป 1 ชั่วโมง จากนั้นจะลดลงตามระยะเวลา โดยหลังจากเวลาผ่านไปตั้งแต่ 5-8 ชั่วโมง การลดลงของปริมาณธาตุทั้งสามเกือบจะคงที่

5.) ในปี ค.ศ. 2012 ปรีชา และ สันต์ (21) ศึกษาอนุภาคเขม่าป็นในกระสุนปืนชนิด Lead-free primer โดยใช้ Scanning Electron Microscopy / Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (SEM/EDX) เก็บตัวอย่างเขม่าป็นที่เวลา 0 ชั่วโมง (ภายหลังยิงปืนทันที) และที่ 1,3,5 และ 7 ชั่วโมง ตามลำดับ บริเวณมือของผู้ยิง พบว่าเมื่อเวลาผ่านไป จำนวนค่าเฉลี่ยของอนุภาคที่เก็บตัวอย่างจากมือจะลดจำนวนลงอย่างรวดเร็วหลังจากสามชั่วโมงผ่านไป

6.) ในปี ค.ศ. 2014 Anil Aggrawal (22) ได้สรุปเนื้อหาในหนังสือ APC Textbook of Forensic Medicine and Toxicology ตอนหนึ่งว่าเขม่าป็นนั้นสามารถยังอยู่และพบได้ภายในโพรงจมูกภายหลังการยิงปืน

7.) ในปี ค.ศ. 2015 Gabriela V. และคณะ (13) ได้ใช้สารละลาย 2% EDTA เก็บตัวอย่าง โดยการ swab เขม่าป็นบนมือของกลุ่มตัวอย่างหลังจากทำการยิง 3 และ 5 นาที ทั้ง 4 บริเวณหลังจากการยิงเสร็จสิ้นลง และหลังจากการล้างมือ โดยใช้เทคนิค Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry (ICP-OES) ผลที่ได้คือ อนุภาคธาตุแอนติโมนี (Sb) ตะกั่ว (Pb) และแบเรียม (Ba) พบที่บริเวณฝ่ามือ ปลายนิ้วชี้และนิ้วโป้งจนถึงข้อมือด้านฝ่ามือ และปลายนิ้วชี้และนิ้วโป้งจนถึงข้อมือด้านหลังมือก่อนการล้างมือ และหลังจากการล้างมือพบได้เฉพาะบริเวณปลายนิ้วชี้และนิ้วโป้งจนถึงข้อมือด้านฝ่ามือ และปลายนิ้วชี้และนิ้วโป้งจนถึงข้อมือด้านหลังมือ สรุปได้ว่า จำนวนของการยิงและการล้างมือนั้นมีผลต่อค่าต่างๆ ที่สามารถตรวจสอบได้

8.) ในปี ค.ศ. 2016 Marina Aliste และ Luis Guillermo Cha´vez (17) ได้ใช้สารละลาย 2% EDTA เก็บตัวอย่างเขม่าป็นในจมูกมนุษย์ที่ระยะเวลา 0,3,6,12 ชั่วโมงภายหลังการยิงปืนที่ขนาดลำกล้องแตกต่างกัน วิเคราะห์โดยเทคนิค Graphite Furnace Atomic Absorbption Spectrometry (GFAAS) ผลการวิจัยพบเขม่าป็นที่มีอนุภาคธาตุแอนติโมนี(Sb) ตะกั่ว(Pb) และแบเรียม (Ba) ในจมูกของผู้ยิง โดยขนาดปืนที่มีลำกล้องใหญ่จะมีปริมาณของเขม่าป็นที่มากกว่าปืนลำกล้องขนาดเล็ก

9.) ในปี ค.ศ. 2016 Daniele Merli และคณะ(23) ศึกษาอนุภาคเขม่าป็นเฉพาะธาตุแอนติโมนี (Sb) และแบเรียม (Ba) ภายในจมูกของมนุษย์ที่ระยะเวลา 0, 3, 12 และ 24 ชั่วโมงภายหลังการ

ยิงปืนโดยใช้ชนิดอาวุธปืนที่แตกต่างกัน จากนั้นเก็บตัวอย่างโดยการให้อาสาสมัครพ่นลมหรือสิ่งที่ตกค้างภายในจมูกใส่ผ้าเช็ดหน้า ขนาด 4x4 เซนติเมตร วิเคราะห์ด้วยเทคนิค Instrumental Neutron Activation Analysis (INAA) ผลการศึกษาพบว่า เขม่าปืนของธาตุแอนติโมนี (Sb) และแบเรียม (Ba) ในโพรงจมูก มีปริมาณสูงสุดใน 3 ชั่วโมงแรกภายในการยิงปืน และไม่สามารถตรวจพบได้ในชั่วโมงที่ 24 ภายหลังจากการยิงปืน

งานวิจัยดังกล่าว ผู้วิจัยได้ศึกษาเพื่อนำมาใช้เป็นแนวทางประกอบการอภิปรายผลการทดลองในส่วนองวิธีการเก็บตัวอย่างรวมถึงการเก็บตัวอย่างจากบริเวณต่างๆของผู้ยิงปืน



บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 รูปแบบการวิจัย (Research design)

เป็นการวิจัย Analytical (Cross-sectional study)

3.2 ระเบียบวิธีวิจัย (Research Methodology)

3.2.1 ประชากรที่ศึกษาและกลุ่มตัวอย่าง

3.2.1.1 ประชากร

ตัวผู้ยิงปืนพกสั้นกึ่งอัตโนมัติ

3.2.1.2 กลุ่มตัวอย่าง

คราบเขม่าปืนจากโพรงจมูกและมือของผู้ยิงปืนพกสั้นกึ่งอัตโนมัติที่ระยะเวลาทันทีหลังยิง, 3, 6, 12, 24, 36, 48 และ 60 ชั่วโมง

3.3 วิธีการเข้าถึงอาสาสมัคร (Approach to participant)

ผู้วิจัยได้ติดต่อขอความร่วมมือจาก โรงเรียนนายร้อยตำรวจ อำเภอสามพราน จังหวัดนครปฐม เพื่อทำการทดสอบยิงปืนและเก็บตัวอย่างเขม่าปืนในโพรงจมูกและมือของผู้ยิงปืน โดยให้ทางโรงเรียนช่วยประชาสัมพันธ์รับสมัครอาสาสมัครที่ยินดีเข้าร่วมโครงการวิจัยด้วยความสมัครใจ โดยกลุ่มเป้าหมายอาสาสมัคร คือ กลุ่มนักเรียนนายร้อยของโรงเรียนนายร้อยตำรวจ สามพรานฯ

โดยทั้งนี้ผู้วิจัยจะชี้แจงขั้นตอนการทำวิจัยอย่างละเอียด ตั้งแต่วัตถุประสงค์การทำวิจัย การยิงปืน การเก็บตัวอย่างจากโพรงจมูกและมือ รวมถึงการประยุกต์ใช้ผลที่ได้จากการวิจัย ซึ่งอาสาสมัครสามารถตัดสินใจเข้าร่วมการวิจัยด้วยความสมัครใจ โดยผู้วิจัยรับรองว่าการทำวิจัยจะไม่มีอันตรายต่ออาสาสมัครทั้งด้านร่างกายและจิตใจ และ ถ้าหากอาสาสมัครคนใดไม่ยินดีเข้าร่วมการวิจัย ทางผู้วิจัยยืนยันจะไม่มีผลกระทบหรือภัยคุกคามต่ออาสาสมัครคนนั้น

3.4 เกณฑ์การคัดเลือกอาสาสมัครเข้าร่วมโครงการ (Inclusion criteria)

1. เพศชายอายุ 21-35 ปี เนื่องจากพบว่าเป็นช่วงวัยที่ก่อเหตุอาชญากรรมมากที่สุด (24)
2. เป็นคนปกติ ร่างกายแข็งแรง (ไม่อยู่ในสภาวะเจ็บป่วยทางระบบทางเดินหายใจ)
3. ไม่ได้ผ่านการยิงปืนมาภายในระยะเวลาอย่างน้อย 5 วัน
4. ไม่มีการประกอบอาชีพ หรือทำกิจกรรมเกี่ยวกับการซ่อมรถยนต์ การทาสี เนื่องจากอาจพบธาตุแบเรียม (Ba) และตะกั่ว (Pb) ก่อนทำการยิงปืนได้ (8)

5. ยินยอมเข้าร่วมการวิจัยด้วยความสมัครใจ และลงนามในหนังสือยินยอมเข้าร่วมการศึกษาภายหลังได้รับการอธิบายและอ่านเอกสารเกี่ยวกับแผนการวิจัยนี้จนเข้าใจโดยตลอด

3.5 เกณฑ์การคัดแยกอาสาสมัครออกจากโครงการ (Exclusion criteria)

1. เพศชายที่มีภาวะเจ็บป่วยทางระบบทางเดินหายใจ
2. อาสาสมัครปฏิเสธ หรือขอลงนาม

3.6 ขนาดของประชากรตัวอย่าง (Sample size)

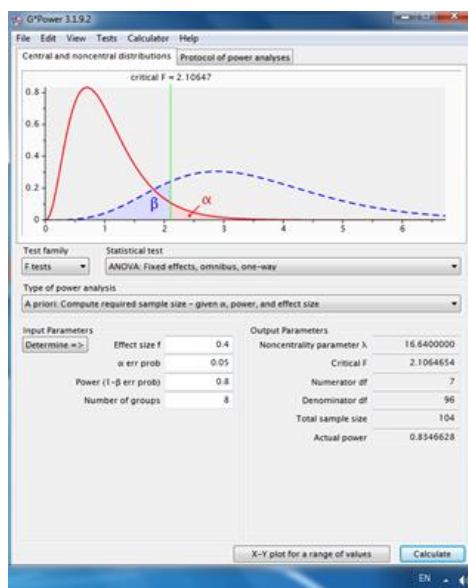
คำนวณขนาดตัวอย่างที่เหมาะสมก่อนการวิจัยด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป G*power version 3.1 (G star power 3.1) ของมหาวิทยาลัย Heinrich-Heine-Universität ที่สร้างจากสูตรของ Cohen และผ่านการตรวจสอบ/รับรองคุณภาพโดยนักวิจัยหลายท่าน เพื่อให้การกำหนดตัวอย่างเป็นไปอย่างถูกต้องสมบูรณ์ (25) โดยเลือกใช้การวิเคราะห์อำนาจการทดสอบก่อนการวิจัยซึ่งเป็นการกำหนดขนาดตัวอย่างจากค่าอำนาจการทดสอบที่ต้องการ เลือกการประมาณค่าขนาดตัวอย่างโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว ANOVA: fixed effect, omnibus, oneway แทนค่าดังนี้ (ดังแสดงในภาพที่ 8)

- Effect size คือ ค่าขนาดอิทธิพลสำหรับการทดสอบเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยมากกว่าสองกลุ่ม (f) คำนวณตามสูตรของ cohen $f = \sqrt{(\eta^2 / (1 - \eta^2))}$ แยกได้เป็นสามระดับ คือ ขนาดต่ำ (0.10) ปานกลาง (0.25) และสูง (0.40) ผู้วิจัยกำหนดที่ค่า 0.40

- α type I error คือ ความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนในการทดสอบประเภทที่หนึ่ง, ผู้วิจัยกำหนด ณ ระดับนัยสำคัญที่ 0.05

- Power คือ อำนาจการทดสอบ ซึ่งได้จากการคำนวณโดยใช้ค่า type II error หรือ β ค่า power มีค่าเท่ากับ $1 - \beta$ (1-ความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนในการทดสอบประเภทที่สอง) นิยมกำหนดค่า β ร้อยละ 20 จึงได้ค่า power ร้อยละ 80 (power = 0.8)

- Number of group คือ จำนวนกลุ่มที่ต้องการทำการทดลองซึ่งมีทั้งหมด 8 กลุ่ม



ภาพที่ 7 การประมาณค่าขนาดตัวอย่างด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปจีพาวเวอร์เวอร์ชัน3.1

ผลลัพธ์จากโปรแกรมคำนวณขนาดประชากรตัวอย่างพบว่าได้ค่าประชากรตัวอย่างทั้งหมด 104 คน

3.7 วิธีการวิจัย / วิธีดำเนินการวิจัย (Material and Method)

ดำเนินการวิจัยโดยการเก็บตัวอย่างภายหลังการยิงปืน อนุญาตให้ทำกิจกรรมต่างๆในชีวิตประจำวันตามปกติ โดยหลีกเลี่ยงการทำกิจกรรมเกี่ยวกับการซ่อมรถยนต์และทาสี ทั้งนี้เมื่อถึงเวลาที่กำหนด จะทำการเก็บตัวอย่างในโพรงจุกและมือ โดยระยะเวลาที่จะทำการเก็บตัวอย่างมี 8 ครั้ง คือ เก็บตัวอย่างหลังยิงปืนทันที, 3, 6, 12, 24, 36, 48 และ 60 ชั่วโมงโดยแบ่งอาสาสมัครเป็น 8 กลุ่ม ตามช่วงเวลาที่ทำการเก็บตัวอย่าง โดยจะนัดหมายอาสาสมัครมาเก็บตัวอย่างในครั้งต่อไป ณ ห้องประชุมของทางโรงเรียนนายร้อยฯ

การเก็บตัวอย่างมีขั้นตอนการเก็บและสกัดตัวอย่างดังนี้ (13, 15)

การเก็บตัวอย่างในโพรงจุก

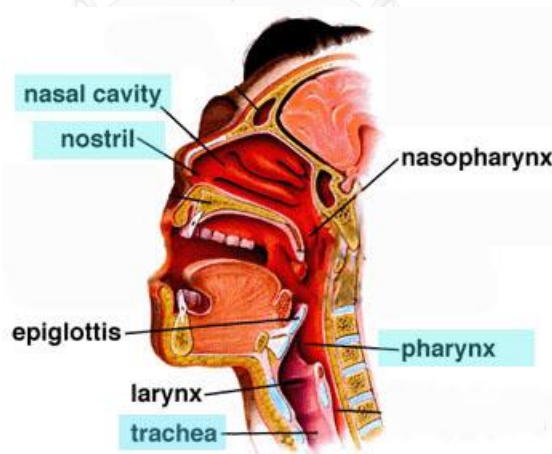
1. ผู้ยิงปืนสวมอุปกรณ์ป้องกันตาและหู ทำการยิงปืนในลักษณะท่าทางการจับอาวุธปืนด้วยมือทั้งสองข้าง ใช้มือขวากำอาวุธก่อนแล้วใช้มือซ้ายกำทับมือขวาเพื่อรองรับอาวุธปืนอยู่ด้านล่างมือขวา ยิงปืนภายในห้องทดลองที่ปิดมิดชิดและไม่มีลมพัดผ่านโดยใช้อาวุธปืนพกกึ่งอัตโนมัติ ขนาด 9 มิลลิเมตร ยี่ห้อ GLOCK MODEL 19 ใช้กระสุนปืนออตเมติก ขนาด 9 มิลลิเมตร ชนิด Lead Round Nose 135 gr. ยี่ห้อ Bullet Master ยิงปืนครั้งละ 3 นัด ที่ระยะห่างจากเป้าหมายประมาณ 10 เมตร

2. นำก้านสำลีที่จุ่มด้วยสารละลาย 2% EDTA (w/v) เก็บไว้ให้ทั่วพื้นที่ทำการเก็บโดยให้ผู้อย่างเห็นหน้าขึ้นประมาณ 45 องศาและกลั่นหายใจ หมุนก้านสำลีในโพรงจมูกทั้ง 2 ข้าง โดยรอบประมาณ 3 วินาทีแล้วบรรจุลงไปในถุงพลาสติกใสมีซิปล

3. ในการสกัดตัวอย่าง จะตัดก้านสำลีลงในหลอดพอลิโพรพิลีน (polypropylene tube) ขนาด 15 มิลลิลิตร ที่ถูกเติมด้วยสารละลาย 2% HNO₃ ปริมาณ 10 มิลลิลิตร (v/v) แช่ตัวอย่างทิ้งไว้ นานเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

4. อนุภาคเขม่าป็นจะถูกสกัดออกด้วยเครื่องล้างความถี่สูง (ultrasonic bath) เป็นเวลา 5 นาที ที่ความถี่ 25 กิโลเฮิรท์ซ (kHz) และในอ่างควบคุมอุณหภูมิ (water bath) เป็นเวลา 60 นาที ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส

5. นำก้านสำลีออกจากพอลิโพรพิลีน (polypropylene tube) จากนั้นนำสารละลายที่ได้วิเคราะห์ต่อด้วยเครื่อง Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry (ICP-OES) เตรียมสารละลายมาตรฐานโดยใช้ 2% HNO₃ เจือจางสารมาตรฐาน (High-purity standards) ที่มี ตะกั่ว แบริยม และแอนติโมนี ความเข้มข้น 1000 ไมโครกรัมต่อลิตร (µg/L) หรือ 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร (mg/L) ให้มีความเข้มข้นสุดท้ายอยู่ที่ 0.01, 0.03, 0.05, 0.1, 0.5, 1 และ 3 มิลลิกรัมต่อลิตร (mg/L)



ภาพที่ 8 ตำแหน่งที่เหมาะสมในการเก็บตัวอย่างจากโพรงจมูกด้วยก้านสำลี
http://webdb.dmsc.moph.go.th/ifc_nih/a_nih_2_002c.asp?info_id=822
 นายแพทย์รุ่งเรือง กิจผาติ, คุณปราณี ธวัชสุภา, นายแพทย์สมชายแสงกิจพร
 สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์สาธารณสุข กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์

การเก็บตัวอย่างบริเวณมือ

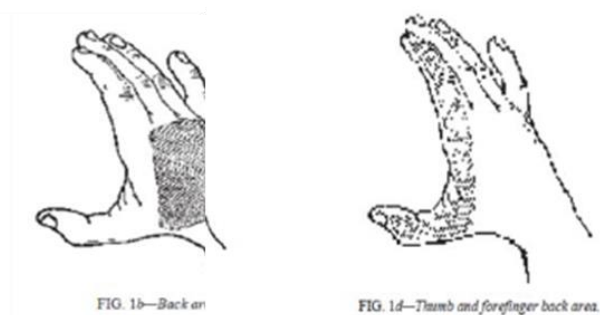
1. ผู้ยิงปืนสวมอุปกรณ์ป้องกันตาและหู ทำการยิงปืนในลักษณะท่าทางการจับอาวุธปืนด้วยมือทั้งสองข้าง ใช้มือขวากำอาวุธก่อนแล้วใช้มือซ้ายกำทับมือขวาเพื่อรองรับอาวุธปืนอยู่ด้านล่างมือขวา ยิงปืนภายในห้องทดลองที่ปิดมิดชิดและไม่มีลมพัดผ่านโดยใช้อาวุธปืนพกกึ่งอัตโนมัติ ขนาด 9 มิลลิเมตร ยี่ห้อ GLOCK MODEL 19 ใช้กระสุนปืนอัตโนมัติขนาด 9 มิลลิเมตร ชนิด Lead Round Nose 135 gr. ยี่ห้อ Bullet Master ยิงปืนครั้งละ 3 นัด ที่ระยะห่างจากเป้าหมายประมาณ 10 เมตร

2. นำก้านสำลีที่จุ่มด้วยสารละลาย 2%EDTA (w/v) เก็บใส่ให้ทั่วพื้นที่ที่ทำการเก็บ ที่บริเวณง่ามนิ้วหัวแม่มือถึงนิ้วชี้ของหลังมือ และหลังมือของผู้ทดลองยิงปืน กระทำโดยเช็ดจากด้านบนลงด้านล่าง จากด้านขวาไปด้านซ้าย (ห้ามเช็ดกลับไปมา) พร้อมหมั่นก้านสำลีเพื่อให้เขม่าปืนติดโดยรอบ แล้วบรรจุลงไปในถุงพลาสติกใสมีซิปล

3. ในการสกัดตัวอย่าง จะตัดก้านสำลีลงในหลอดพอลิโพรพิลีน (polypropylene tube) ขนาด 15 มิลลิลิตร ที่ถูกเติมด้วยสารละลาย 2% HNO₃ ปริมาณ 10 มิลลิลิตร (v/v)

4. อนุภาคเขม่าปืนจะถูกสกัดออกด้วยเครื่องล้างความถี่สูง (ultrasonic bath) เป็นเวลา 5 นาที ที่ความถี่ 25 กิโลเฮิรท์ซ (kHz) และในอ่างควบคุมอุณหภูมิ (water bath) เป็นเวลา 60 นาที ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส

5. นำก้านสำลีออกจากพอลิโพรพิลีน (polypropylene tube) จากนั้นนำสารละลายที่ได้วิเคราะห์ต่อด้วยเครื่อง Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry (ICP-OES) เตรียมสารละลายมาตรฐานโดยใช้ 2% HNO₃ เจือจางสารมาตรฐาน (High-purity standards) ที่มี ตะกั่ว แบริยม และแอนติโมนี ความเข้มข้น 1000 ไมโครกรัมต่อลิตร (µg/L) หรือ 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร (mg/L) ให้มีความเข้มข้นสุดท้ายอยู่ที่ 0.01, 0.03, 0.05, 0.1, 0.5, 1 และ 3 มิลลิกรัมต่อลิตร (mg/L)



Reis et al.,2003

ภาพที่ 9 ตำแหน่งการเก็บตัวอย่างเม่าป็นบริเวณมือของผู้ยิง

3.8 การทำ Method validation

ตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีทดสอบทางเคมี ตามวิธีของห้องปฏิบัติการทดสอบ กรม-อุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ (26)

- Linearity

ทำ Calibration curve โดยการนำ Standard solution ที่ความเข้มข้น 0, 0.03, 0.05, 0.1, 0.5 และ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร (mg/L) ความเข้มข้นละ 5 มิลลิลิตร (mL) ไปวิเคราะห์ด้วย ICP-OES ทำ 3 ซ้ำ จากนั้นคำนวณความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นและพื้นที่ใต้กราฟ (peak area ratio) และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient : r) ซึ่งการคำนวณสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficient: r) ต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 0.995

- Accuracy

- ตรวจสอบความถูกต้อง โดยการหา %Recovery เตรียมตัวอย่างที่เติมสารมาตรฐาน (spiked sample) ที่ระดับความเข้มข้น 0.05, 0.01 และ 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร (mg/L) จากนั้นนำไปวิเคราะห์ด้วย ICP-OES ทำการวัดความเข้มข้นละ 3 ซ้ำ คำนวณหาค่าเฉลี่ย (mean) ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) และ %Recovery ตามสูตร

$$\% \text{ Recovery} = \frac{\text{ค่าที่วิเคราะห์ได้}}{\text{ค่าความเข้มข้นของสารมาตรฐานที่เติม}} \times 100$$

- Precision

ตรวจสอบความแม่นยำ ใช้การทดสอบด้วยวิธีคำนวณ %RSD โดยทำการ เตรียมตัวอย่างที่เติมสารมาตรฐาน (spiked sample) ที่ระดับความเข้มข้น 0.05 0.1 และ 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร

(mg/L) นำไปวิเคราะห์ด้วย ICP-OES จากนั้น คำนวณหาค่าเฉลี่ย (mean) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) และ %RSD ตามสูตร

$$\%RSD = \frac{SD}{x} \times 100$$

- LOD, LOQ

- LOD (limit of detection) หมายถึงค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่วิเคราะห์ได้ในตัวอย่างที่สามารถตรวจวัดได้และ LOQ (limit of quantitation) หมายถึงค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่เครื่องสามารถตรวจพบและอ่านค่าได้อย่างถูกต้อง แม่นยำ สามารถรายงานค่าได้ หาค่า LOD และ LOQ ด้วยการนำ Sample blank (2% HNO₃) ทำการวัดซ้ำ 10 ครั้ง ซึ่งค่า LOD = ค่าเฉลี่ย + 3 S.D. และ LOQ = ค่าเฉลี่ย + 10 S.D.

เนื่องจาก Sample blank อ่านค่าไม่ได้ จึงทำการ spiked sample blank โดยการเติมสารมาตรฐานที่มีความเข้มข้นต่ำ คือ 0.001 mg/L แล้วคำนวณหาค่า LOD และ LOQ โดยค่า LOD = 3 S.D. และ LOQ = 10 S.D. (26)

3.9 อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการทำวิจัย (Tools)

1. สารละลายอีดีทีเอ (EDTA)
2. กรดไนตริก (HNO₃)
3. น้ำปราศจากไอออน (Deionized water)
4. ก้านไม้พันสำลี (Cotton swab)
5. ซองพลาสติกใสมีซิปล ขนาด 11 x 14 เซนติเมตร
6. หลอดพอลิโพรพิลีน (polypropylene tube) ขนาด 15 มิลลิลิตร
7. กระสุนปืนออตเมติก ขนาด 9 มิลลิเมตร Para Cartridges ชนิด Lead Round Nose 135 gr. ยี่ห้อ bullet master
8. ปืนพกสั้นกึ่งอัตโนมัติ ขนาด 9 มิลลิเมตร ยี่ห้อ GLOCK MODEL 19
9. เครื่องล้างความถี่สูง (Ultrasonic bath) รุ่น USR 8 ยี่ห้อ Julabo
10. อ่างควบคุมอุณหภูมิ (Water bath) รุ่น MaXturdy 30 ยี่ห้อ DAIHAN Scientific
11. เครื่องมือวิเคราะห์ Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry (ICP-OES) รุ่น Optima 2100 DV ยี่ห้อ PerkinElmer



ภาพที่ 10 ก้านไม้พันสำลีบรรจุในซองปิดผนึก บรรจุซองละ 5 ก้าน



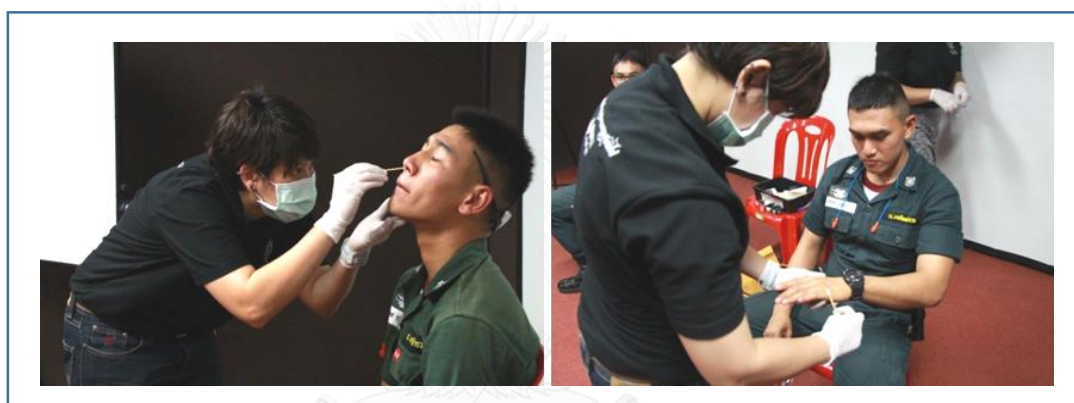
ภาพที่ 11 อาวุธปืนพกสั้นกึ่งอัตโนมัติ ยี่ห้อ GLOCK MODEL 19 ขนาด 9 มิลลิเมตร



ภาพที่ 12 กระสุนปืนอัตโนมัติ ขนาด 9 มิลลิเมตร Para Cartridges ชนิด Lead Round Nose 135 gr. ยี่ห้อ bullet master บรรจุกล่องละ 50 นัด



ภาพที่ 13 สภาพการยิงปืนภายในห้องยิงปืนที่ปิดมิดชิด และการเกิดเขม่าในขณะที่ยิงปืน



ภาพที่ 14 แสดงการเก็บตัวอย่างจากโพรงจมูกและมือของอาสาสมัคร

3.10 การวิเคราะห์ข้อมูล (Data Analysis)

บันทึกและตรวจวัดธาตุที่ระดับความเข้มข้นมิลลิกรัมต่อลิตร (mg/L) จากเครื่อง ICP-OES จากนั้นเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของเขม่าปืนจากการเก็บตัวอย่างบริเวณโพรงจมูกกับมือผู้ยิงปืนในข้างซ้ายและข้างขวา ก่อนการยิงปืนและภายหลังการยิงปืน และเปรียบเทียบระหว่างโพรงจมูกกับมือของผู้ยิงปืน โดยใช้สถิติ paired T-Test และหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเขม่าปืนบริเวณโพรงจมูกและมือของผู้ยิงปืนกับระยะเวลาภายหลังการยิงปืน โดยใช้สถิติ Pearson Correlation กำหนดระดับนัยสำคัญที่ 0.05 วิเคราะห์ด้วยโปรแกรม SPSS version 22

3.11 ข้อพิจารณาทางจริยธรรม (Ethical Consideration)

โดยวิเคราะห์ตามหลักจริยธรรมการวิจัยในคน 3 ข้อ ได้แก่

1. หลักความเคารพในบุคคล (Respect for person) ผู้วิจัยจะให้ข้อมูลอย่างครบถ้วนจนอาสาสมัครเข้าใจเป็นอย่างดีและตัดสินใจอย่างอิสระในการให้ความยินยอมเข้าร่วมในการวิจัย

2. หลักการให้ประโยชน์ ไม่ก่อให้เกิดอันตราย (Beneficence/Non-maleficence) ผู้วิจัยจะรักษาผลประโยชน์แก่อาสาสมัคร โดยการเก็บตัวอย่างจะกระทำโดยให้มีความเสี่ยงน้อยที่สุดต่ออาสาสมัคร เมื่อทำการวิจัยเสร็จสิ้นลงตัวอย่างจะถูกนำไปทำลาย ทั้งนี้ผู้วิจัยจะเก็บรักษาความลับของอาสาสมัคร โดยในแบบบันทึกข้อมูลจะไม่มี identifier ที่จะระบุถึงตัวบุคคล

3. หลักความยุติธรรม (Justice) คือมีเกณฑ์การคัดเลือกและออกชัดเจน ไม่มีอคติ มีการกระจายความเสี่ยงและผลประโยชน์อย่างเท่าเทียมกันโดยวิธีการสุ่ม



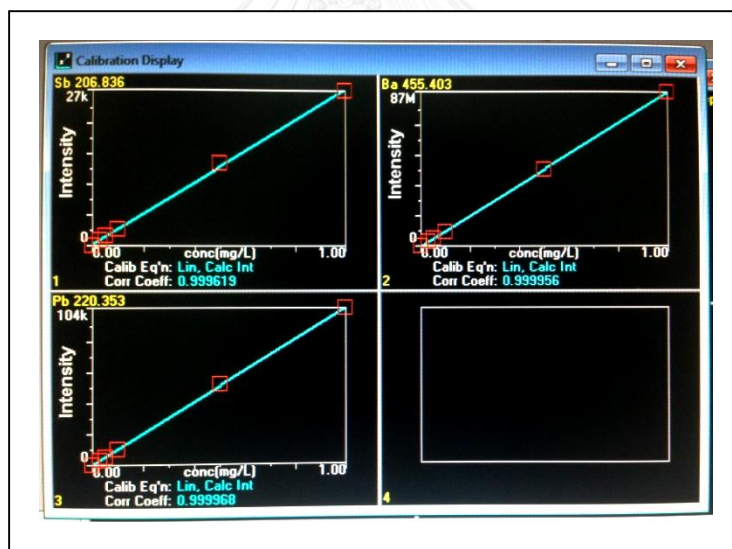
บทที่ 4

ผลการวิจัย

4.1 การทำ Method validation

4.1.1 Linearity

เมื่อทำการวัด Standard solution ที่ความเข้มข้น 0, 0.03, 0.05, 0.1, 0.5 และ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร (mg/L) พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกับพื้นที่ใต้กราฟมีลักษณะเป็นเส้นตรงตลอดช่วงความเข้มข้นที่ทดสอบ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficient: r) ของธาตุ แอนติโมนี (Sb) ตะกั่ว (Pb) และ แบเรียม (Ba) เท่ากับ 0.999619 0.999956 และ 0.999968 ตามลำดับ



ภาพที่ 15 ตัวอย่างกราฟแสดงผล Calibration curve จากเครื่อง ICP-OES ก่อนการวิเคราะห์ ตัวอย่าง

4.1.2 Accuracy

การหา Accuracy โดยใช้การหา %Recovery พบว่า %Recovery อยู่ในช่วง 83.1-109.4 % ซึ่งถือว่าค่าที่คำนวณได้อยู่ในช่วงที่ดีตามมาตรฐาน AOAC ที่กำหนดว่าความเข้มข้นของสารที่วิเคราะห์ในระดับ มิลลิกรัมต่อลิตร (mg/L) จะมีค่า %Recovery ที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 75-120%

(26) จึงกล่าวได้ว่าวิธีการหาปริมาณธาตุแอนติโมนี (Sb) ตะกั่ว (Pb) และแบเรียม (Ba) ด้วยวิธีนี้มี Accuracy สูง ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงค่า %Recovery ของปริมาณธาตุที่วัดได้ ในระดับความเข้มข้นต่างๆ เพื่อทดสอบ Accuracy ของวิธีที่ใช้

| ระดับความเข้มข้น (mg/L) | ธาตุ | ความเข้มข้นที่วัดได้ (mg/L), n=3 | % Recovery | ค่าเฉลี่ย %Recovery (\pm S.D.), n=3 | |
|-------------------------|-----------|----------------------------------|------------|--|-----------------------|
| 0.05 | แอนติโมนี | 0.0547 | 109.4 | 100.6 \pm 13.7128 | |
| | | 0.0538 | 107.6 | | |
| | | 0.0424 | 84.8 | | |
| | ตะกั่ว | 0.0498 | 99.6 | | 97.8667 \pm 4.2724 |
| | | 0.0505 | 101 | | |
| | | 0.0465 | 93 | | |
| | แบเรียม | 0.0511 | 102.2 | | 101.9333 \pm 1.4189 |
| | | 0.0516 | 103.2 | | |
| | | 0.0502 | 100.4 | | |
| 0.1 | แอนติโมนี | 0.0893 | 89.3 | 97.6667 \pm 12.4709 | |
| | | 0.112 | 112 | | |
| | | 0.0917 | 91.7 | | |
| | ตะกั่ว | 0.0969 | 96.9 | | 93.6667 \pm 9.3778 |
| | | 0.101 | 101 | | |
| | | 0.0831 | 83.1 | | |
| | แบเรียม | 0.103 | 103 | | 100.9333 \pm 4.4736 |
| | | 0.104 | 104 | | |
| | | 0.0958 | 95.8 | | |
| 0.5 | แอนติโมนี | 0.466 | 93.2 | 99.3333 \pm 6.531 | |
| | | 0.531 | 106.2 | | |
| | | 0.493 | 98.6 | | |
| | ตะกั่ว | 0.49 | 98 | | 99.6667 \pm 6.4632 |
| | | 0.471 | 94.2 | | |
| | | 0.534 | 106.8 | | |
| | แบเรียม | 0.493 | 98.6 | | 99.6667 \pm 1.3614 |
| | | 0.496 | 99.2 | | |
| | | 0.506 | 101.2 | | |

4.1.3 Precision

การตรวจสอบความแม่นยำ โดยใช้การหา %RSD พบว่า %RSD อยู่ในช่วง 0.52 -2.89 % ซึ่งถือว่าค่าที่คำนวณได้มีความแม่นยำอยู่ในช่วงที่ดีตามมาตรฐาน ที่กำหนดว่าความเข้มข้นของสารที่วิเคราะห์ในระดับ มิลลิกรัมต่อลิตร (mg/L) จะมีค่า %RSD ที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 0 - 10% (27) ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 แสดงค่า %RSD ของปริมาณธาตุที่วัดได้ ในระดับความเข้มข้นต่างๆ เพื่อทดสอบ Precision ของวิธีที่ใช้

| ธาตุ | ความเข้มข้น (mg/L) | %RSD |
|-----------|--------------------|-------|
| แอนติโมนี | 0.05 | 2.87% |
| | 0.1 | 2.89% |
| | 0.5 | 2.74% |
| ตะกั่ว | 0.05 | 1.29% |
| | 0.1 | 0.69% |
| | 0.5 | 0.52% |
| แบเรียม | 0.05 | 1.38% |
| | 0.1 | 1.66% |
| | 0.5 | 1.75% |

4.1.4 LOD, LOQ

ค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่วิเคราะห์ได้ในตัวอย่างที่สามารถตรวจวัดได้ (LOD) ของธาตุ แอนติโมนี (Sb) ตะกั่ว (Pb) และแบเรียม (Ba) เท่ากับ 0.0020 0.00145 และ 0.00141 ตามลำดับ และค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่เครื่องสามารถตรวจพบและอ่านค่าได้อย่างแม่นยำ (LOQ) ของธาตุ แอนติโมนี (Sb) ตะกั่ว (Pb) และแบเรียม (Ba) เท่ากับ 0.00675 0.00483 และ 0.00471 ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 แสดงค่า LOD และ LOQ ของการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุแอนติโมนี ตะกั่ว และแบเรียม ด้วยเทคนิค ICP-OES

| ธาตุ | ค่า LOD (mg/L) | ค่า LOQ (mg/L) |
|-----------|----------------|----------------|
| แอนติโมนี | 0.00202 | 0.00675 |
| ตะกั่ว | 0.00145 | 0.00483 |
| แบเรียม | 0.00141 | 0.00471 |

4.2 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของปริมาณเมมาป็นในโพรงจมูกและมือของผู้ยิงปืนภายหลังการยิงปืนในข้างซ้ายและข้างขวา

จากผลการทดลอง โดยการเก็บตัวอย่างบริเวณ โพรงจมูก และบริเวณง่ามนิ้วหัวแม่มือถึงนิ้วชี้ของหลังมือ และหลังมือทั้งข้างซ้ายและขวาของผู้ยิงปืน ด้วยการยิงปืนครั้งละ 3 นัด พบปริมาณของธาตุ แอนติโมนี (Sb) ตะกั่ว (Pb) และแบเรียม (Ba) โดยธาตุแบเรียม (Ba) มีปริมาณเฉลี่ยสูงสุดทั้งข้างซ้ายและขวา มีค่าเป็น 0.05060 mg/L ในโพรงจมูกด้านซ้าย 0.04707 mg/L ในโพรงจมูกด้านขวา 0.07068 mg/L บนมือข้างซ้าย และ 0.09491 mg/L บนมือข้างขวา เมื่อวิเคราะห์ผลทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของปริมาณเมมาป็นที่พบทั้งในข้างซ้ายและขวาของผู้ยิงปืน ($p\text{-value} \geq 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ความแตกต่างของปริมาณเมมาป็นในโพรงจมูกและบนมือผู้ยิงปืนข้างซ้ายและข้างขวา ภายหลังการยิงปืน (Mean \pm SD, n=104)

| ตำแหน่งที่เก็บ | ปริมาณเมมาป็น | p-value |
|--|--|---------|
| ธาตุ Sb โพรงจมูกซ้าย โพรงจมูกขวา | 0.00504 \pm 0.013 0.00548 \pm 0.012 | 0.338 |
| ธาตุ Sb มือซ้าย มือขวา | 0.01007 \pm 0.028 0.01398 \pm 0.041 | 0.171 |
| ธาตุ Pb โพรงจมูกซ้าย โพรงจมูกขวา | 0.04277 \pm 0.059 0.03955 \pm 0.055 | 0.553 |
| ธาตุ Pb มือซ้าย มือขวา | 0.06726 \pm 0.119 0.08767 \pm 0.174 | 0.082 |
| ธาตุ Ba โพรงจมูกซ้าย โพรงจมูกขวา | 0.05060 \pm 0.025 0.04707 \pm 0.025 | 0.248 |
| ธาตุ Ba มือซ้าย มือขวา | 0.07068 \pm 0.069 0.09491 \pm 0.145 | 0.053 |

*กำหนดค่าระดับนัยสำคัญ 0.001

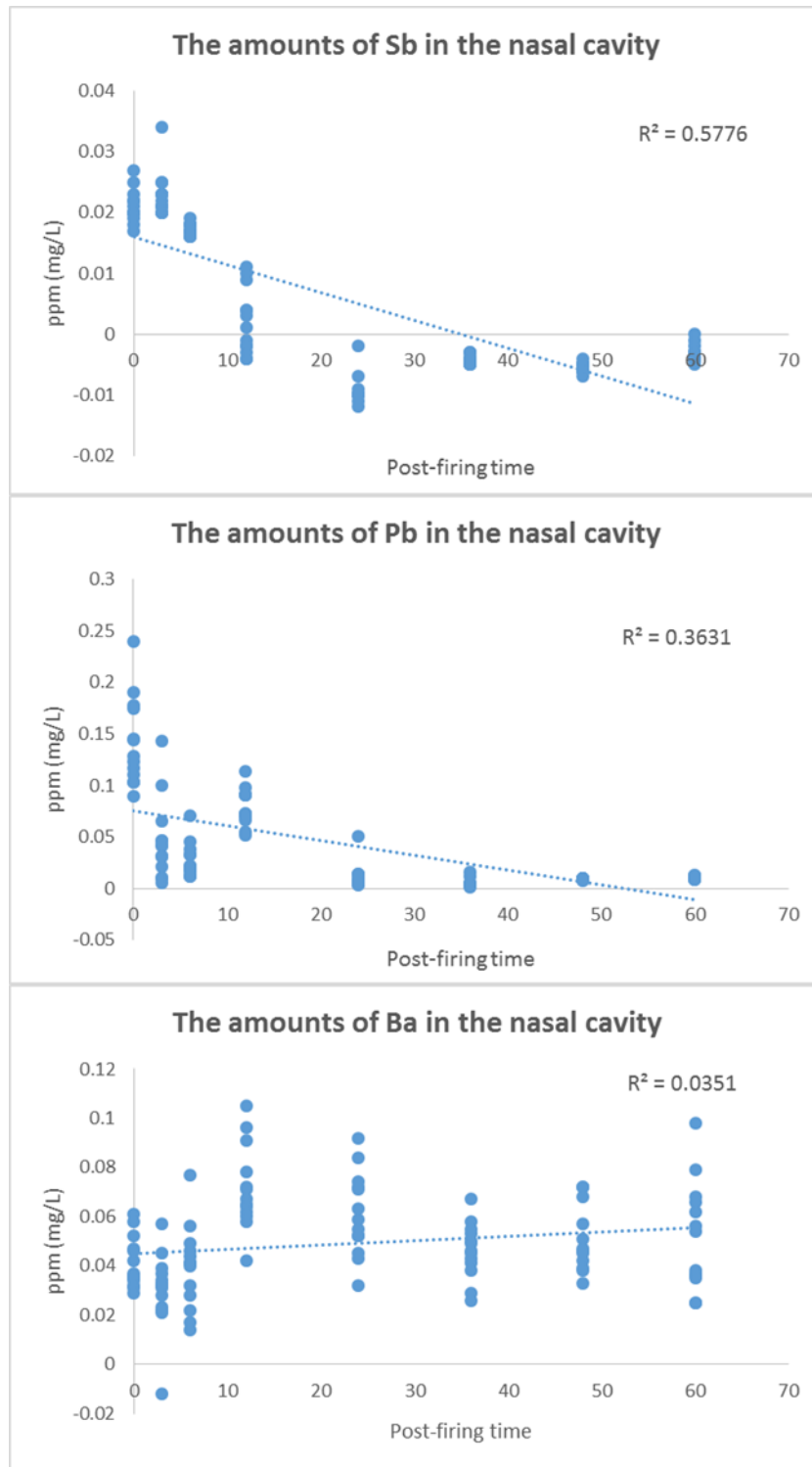
**กำหนดค่าระดับนัยสำคัญ 0.05

4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเขม่าป็นในโพรงจมูกและมือของผู้ยิงปืนกับระยะเวลาภายหลังการยิงปืน

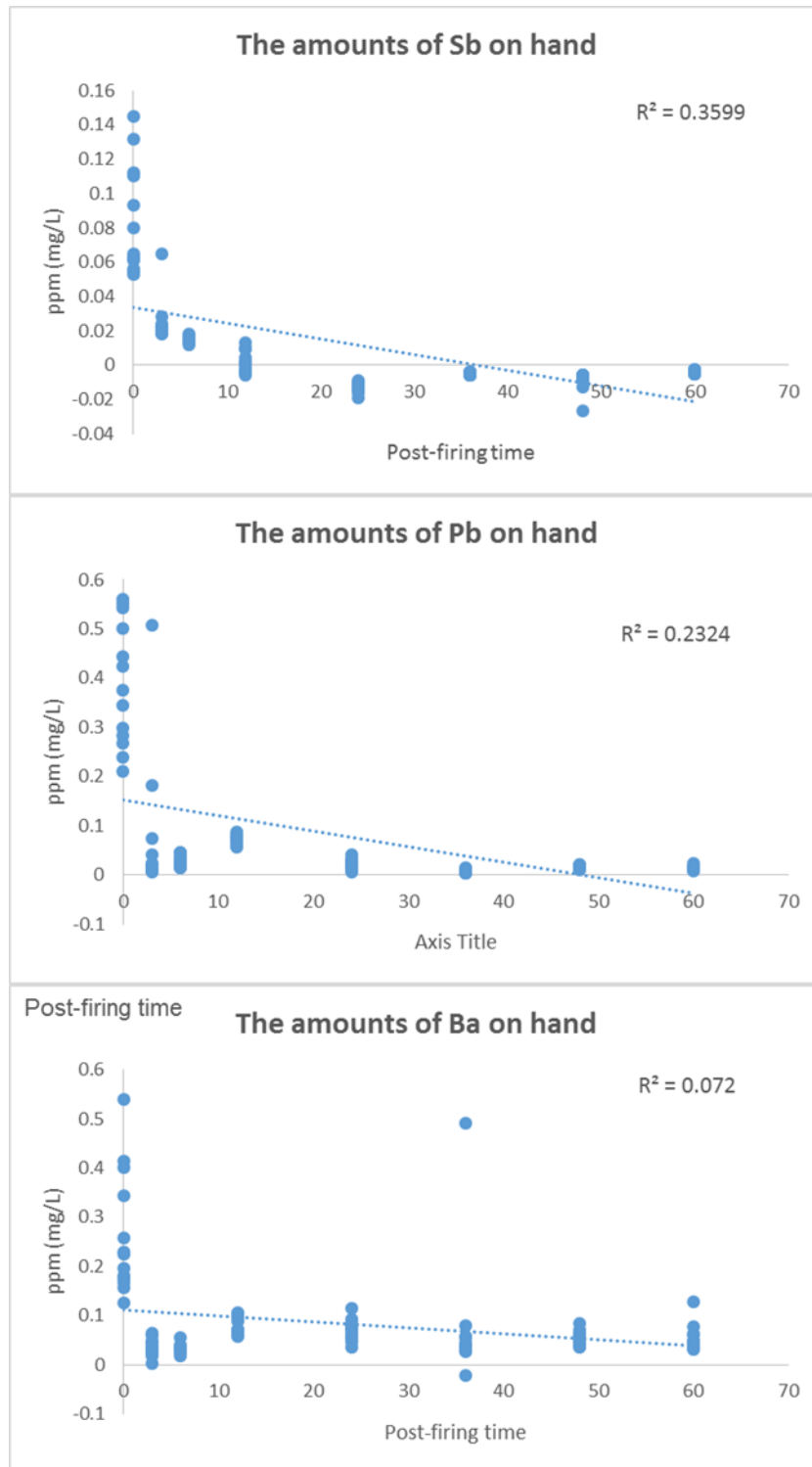
ปริมาณธาตุแอนติโมนี (Sb) และตะกั่ว (Pb) ในโพรงจมูกผู้ยิงปืนมีความสัมพันธ์กับระยะเวลาภายหลังการยิงปืน ($p\text{-value} \leq 0.001$) โดยปริมาณธาตุแอนติโมนี (Sb) และตะกั่ว (Pb) ในโพรงจมูกผู้ยิงปืนมีความสัมพันธ์ในทางลบกับระยะเวลาภายหลังการยิงปืน กล่าวคือ ถ้าระยะเวลาภายหลังการยิงปืนเพิ่มขึ้น ปริมาณแอนติโมนี (Sb) และตะกั่ว (Pb) ในโพรงจมูกผู้ยิงปืนจะลดลง ($R^2 = 0.5776, 0.3631$) แต่ปริมาณธาตุแบเรียม (Ba) ในโพรงจมูกผู้ยิงปืนไม่มีความสัมพันธ์กับระยะเวลาภายหลังการยิงปืน ($p\text{-value} = 0.055, R^2 = 0.0351$) ดังแสดงในภาพที่ 16

ปริมาณธาตุแอนติโมนี (Sb) ตะกั่ว (Pb) และแบเรียม (Ba) บนมือของผู้ยิงปืนมีความสัมพันธ์กับระยะเวลาภายหลังการยิงปืน ($p\text{-value} \leq 0.001$ และ 0.05) โดยปริมาณธาตุแอนติโมนี (Sb) ตะกั่ว (Pb) และแบเรียม (Ba) บนมือของผู้ยิงปืนมีความสัมพันธ์ในทางลบกับระยะเวลาภายหลังการยิงปืน กล่าวคือ ถ้าระยะเวลาภายหลังการยิงปืนเพิ่มขึ้น ปริมาณธาตุแอนติโมนี (Sb) ตะกั่ว (Pb) และแบเรียม (Ba) บนมือของผู้ยิงปืนจะลดลง ($R^2 = 0.3599, 0.2324$ และ 0.072) ดังแสดงในภาพที่ 17





ภาพที่ 16 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณธาตุแอนติโมนี ตะกั่ว และแบเรียมในโพรงจมูกของผู้ยิงปืน
กับระยะเวลาภายหลังการยิงปืน



ภาพที่ 17 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณธาตุแอนติโมนี ตะกั่ว และแบเรียมบนมือของผู้ยิงปืนกับระยะเวลาภายหลังการยิงปืน

4.4 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของปริมาณเขม่าป็นในโพรงจมูกและมือของผู้ยิงปืนก่อนการยิงปืนและภายหลังการยิงปืน

ผลการทดลองโดยเก็บตัวอย่างก่อนการยิงปืน เพื่อนำมาเป็น baseline ของการวิเคราะห์ตัวอย่างที่เก็บตามระยะเวลาภายหลังการยิงปืน ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 7 พบว่า

1. ปริมาณธาตุแอนติโมนี (Sb) ในโพรงจมูกของผู้ยิงปืนก่อนการยิงปืนและภายหลังการยิงปืนมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระยะเวลา 0 - 48 ชั่วโมงภายหลังการยิงปืน ซึ่งค่าเฉลี่ยของปริมาณธาตุแอนติโมนี (Sb) มีค่าติดลบที่ระยะเวลา 24 ชั่วโมงภายหลังการยิงปืน แสดงให้เห็นว่า ไม่พบธาตุแอนติโมนี (Sb) ที่ระยะเวลา 24 ชั่วโมงภายหลังการยิงปืน
2. ปริมาณธาตุตะกั่ว (Pb) ในโพรงจมูกของผู้ยิงปืนก่อนการยิงปืนและภายหลังการยิงปืนมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระยะเวลา 0 - 12 ชั่วโมงและที่ 60 ชั่วโมงภายหลังการยิงปืน
3. ปริมาณธาตุแบเรียม (Ba) ในโพรงจมูกของผู้ยิงปืนก่อนการยิงปืนและภายหลังการยิงปืนมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทุกกลุ่มระยะเวลาภายหลังการยิงปืน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าธาตุแบเรียม (Ba) สามารถตรวจพบได้ถึง 60 ชั่วโมงภายหลังการยิงปืน

ผลการทดลองโดยเก็บตัวอย่างก่อนการยิงปืน ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุแอนติโมนี (Sb) ตะกั่ว (Pb) และแบเรียม (Ba) บนมือของผู้ยิงปืนก่อนการยิงปืนและภายหลังการยิงปืน ดังแสดงในตารางที่ 8 พบว่า

1. ปริมาณธาตุแอนติโมนี (Sb) บนมือของผู้ยิงปืนก่อนการยิงปืนและภายหลังการยิงปืนมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระยะเวลา 0 - 48 ชั่วโมงภายหลังการยิงปืน ซึ่งค่าเฉลี่ยของปริมาณธาตุแอนติโมนี (Sb) มีค่าติดลบที่ระยะเวลา 24 ชั่วโมงภายหลังการยิงปืน แสดงให้เห็นว่า ไม่พบธาตุแอนติโมนี (Sb) ที่ระยะเวลา 24 ชั่วโมงภายหลังการยิงปืน
2. ปริมาณธาตุตะกั่ว (Pb) บนมือของผู้ยิงปืนก่อนการยิงปืนและภายหลังการยิงปืนมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระยะเวลา 0, 12, 36, 48 และ 60 ชั่วโมงภายหลังการยิงปืน
3. ปริมาณธาตุแบเรียม (Ba) บนมือของผู้ยิงปืนก่อนการยิงปืนและภายหลังการยิงปืนมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระยะเวลา 0, 6, 12, 24, 48 และ 60 ชั่วโมงภายหลังการยิงปืน

ตารางที่ 7 เปรียบเทียบความแตกต่างของปริมาณเขม่าป็นบริเวณโพรงจมูกผู้ยิงปืนก่อนการยิงปืน และภายหลังกการยิงปืน

| ระยะเวลาที่เก็บตัวอย่าง | ก่อนยิง (Mean \pm SD) | หลังยิง (Mean \pm SD) | p-value |
|-------------------------|-------------------------|-------------------------|----------------|
| แอนติโมนี | | | |
| 0 ชั่วโมง | -0.00250 \pm 0.001 | 0.02085 \pm 0.003 | $\leq 0.001^*$ |
| 3 ชั่วโมง | -0.00546 \pm 0.002 | 0.02077 \pm 0.004 | $\leq 0.001^*$ |
| 6 ชั่วโมง | -0.00465 \pm 0.006 | 0.01708 \pm 0.001 | $\leq 0.001^*$ |
| 12 ชั่วโมง | -0.00265 \pm 0.001 | 0.00192 \pm 0.005 | 0.004** |
| 24 ชั่วโมง | -0.00358 \pm 0.001 | -0.00919 \pm 0.003 | $\leq 0.001^*$ |
| 36 ชั่วโมง | -0.00173 \pm 0.001 | -0.00392 \pm 0.001 | $\leq 0.001^*$ |
| 48 ชั่วโมง | -0.00175 \pm 0.001 | -0.00525 \pm 0.001 | $\leq 0.001^*$ |
| 60 ชั่วโมง | -0.00312 \pm 0.002 | -0.00288 \pm 0.001 | 0.703 |
| ตะกั่ว | | | |
| 0 ชั่วโมง | 0.00496 \pm 0.013 | 0.14169 \pm 0.043 | $\leq 0.001^*$ |
| 3 ชั่วโมง | 0.00458 \pm 0.009 | 0.04535 \pm 0.039 | 0.001** |
| 6 ชั่วโมง | 0.00650 \pm 0.004 | 0.02723 \pm 0.017 | 0.001** |
| 12 ชั่วโมง | 0.00673 \pm 0.010 | 0.07796 \pm 0.018 | $\leq 0.001^*$ |
| 24 ชั่วโมง | 0.00827 \pm 0.009 | 0.01062 \pm 0.012 | 0.623 |
| 36 ชั่วโมง | 0.00535 \pm 0.005 | 0.00508 \pm 0.004 | 0.861 |
| 48 ชั่วโมง | 0.00533 \pm 0.006 | 0.00883 \pm 0.001 | 0.116 |
| 60 ชั่วโมง | 0.00488 \pm 0.004 | 0.01004 \pm 0.002 | 0.001** |
| แบเรียม | | | |
| 0 ชั่วโมง | 0.01046 \pm 0.009 | 0.04127 \pm 0.010 | $\leq 0.001^*$ |
| 3 ชั่วโมง | 0.00912 \pm 0.009 | 0.02977 \pm 0.016 | 0.002** |
| 6 ชั่วโมง | 0.00915 \pm 0.006 | 0.03865 \pm 0.016 | $\leq 0.001^*$ |
| 12 ชั่วโมง | 0.01150 \pm 0.008 | 0.07142 \pm 0.017 | $\leq 0.001^*$ |
| 24 ชั่วโมง | 0.01446 \pm 0.012 | 0.06088 \pm 0.017 | $\leq 0.001^*$ |
| 36 ชั่วโมง | 0.00881 \pm 0.004 | 0.04612 \pm 0.011 | $\leq 0.001^*$ |
| 48 ชั่วโมง | 0.01354 \pm 0.007 | 0.05075 \pm 0.013 | $\leq 0.001^*$ |
| 60 ชั่วโมง | 0.01242 \pm 0.008 | 0.05196 \pm 0.022 | $\leq 0.001^*$ |

*กำหนดค่าระดับนัยสำคัญ 0.001 **กำหนดค่าระดับนัยสำคัญ 0.05

ตารางที่ 8 เปรียบเทียบความแตกต่างของปริมาณเขม่าป็นบนมือของผู้ยิงปืนก่อนการยิงปืนและ
ภายหลังการยิงปืน

| ระยะเวลาที่เก็บ ตัวอย่าง | ก่อนยิง (Mean \pm SD) | หลังยิง (Mean \pm SD) | p-value |
|-----------------------------|-------------------------|-------------------------|----------------|
| แอนติโมนี | | | |
| 0 ชั่วโมง | -0.00569 \pm 0.001 | 0.08327 \pm 0.032 | $\leq 0.001^*$ |
| 3 ชั่วโมง | -0.00885 \pm 0.011 | 0.02438 \pm 0.012 | $\leq 0.001^*$ |
| 6 ชั่วโมง | -0.00938 \pm 0.008 | 0.01554 \pm 0.002 | $\leq 0.001^*$ |
| 12 ชั่วโมง | -0.00312 \pm 0.003 | 0.00150 \pm 0.006 | 0.031** |
| 24 ชั่วโมง | -0.00354 \pm 0.002 | -0.01246 \pm 0.003 | $\leq 0.001^*$ |
| 36 ชั่วโมง | -0.00185 \pm 0.001 | -0.00485 \pm 0.001 | $\leq 0.001^*$ |
| 48 ชั่วโมง | -0.00233 \pm 0.001 | -0.00900 \pm 0.006 | 0.003** |
| 60 ชั่วโมง | -0.00473 \pm 0.003 | -0.00381 \pm 0.001 | 0.360 |
| ตะกั่ว | | | |
| 0 ชั่วโมง | 0.03438 \pm 0.013 | 0.38750 \pm 0.125 | $\leq 0.001^*$ |
| 3 ชั่วโมง | 0.01735 \pm 0.016 | 0.07177 \pm 0.139 | 0.188 |
| 6 ชั่วโมง | 0.02131 \pm 0.008 | 0.02573 \pm 0.011 | 0.165 |
| 12 ชั่วโมง | 0.03165 \pm 0.017 | 0.07204 \pm 0.009 | $\leq 0.001^*$ |
| 24 ชั่วโมง | 0.03104 \pm 0.013 | 0.02246 \pm 0.009 | 0.087 |
| 36 ชั่วโมง | 0.03127 \pm 0.015 | 0.00685 \pm 0.003 | $\leq 0.001^*$ |
| 48 ชั่วโมง | 0.03033 \pm 0.016 | 0.05075 \pm 0.013 | 0.011** |
| 60 ชั่วโมง | 0.03062 \pm 0.016 | 0.01319 \pm 0.003 | 0.003** |
| แบเรียม | | | |
| 0 ชั่วโมง | 0.02619 \pm 0.011 | 0.26223 \pm 0.124 | $\leq 0.001^*$ |
| 3 ชั่วโมง | 0.02273 \pm 0.014 | 0.03527 \pm 0.017 | 0.091 |
| 6 ชั่วโมง | 0.02362 \pm 0.010 | 0.03331 \pm 0.009 | 0.016** |
| 12 ชั่วโมง | 0.03365 \pm 0.007 | 0.07804 \pm 0.017 | $\leq 0.001^*$ |
| 24 ชั่วโมง | 0.03177 \pm 0.012 | 0.07115 \pm 0.021 | $\leq 0.001^*$ |
| 36 ชั่วโมง | 0.02581 \pm 0.010 | 0.07281 \pm 0.128 | 0.204 |
| 48 ชั่วโมง | 0.03333 \pm 0.009 | 0.05358 \pm 0.015 | 0.002** |
| 60 ชั่วโมง | 0.03231 \pm 0.013 | 0.05373 \pm 0.026 | 0.004** |

*กำหนดค่าระดับนัยสำคัญ 0.001

**กำหนดค่าระดับนัยสำคัญ 0.05

4.5 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของปริมาณเขม่าป็นในโพรงจมูกและมือของผู้ยิงปืนภายหลังการยิงปืน

จากผลการทดลองวิเคราะห์ความแตกต่างของปริมาณเขม่าป็นในโพรงจมูกและมือของผู้ยิงปืนภายหลังการยิงปืนดังแสดงในตารางที่ 9 พบว่า

1. ปริมาณเฉลี่ยของธาตุ แอนติโมนี (Sb) ตะกั่ว (Pb) และแบเรียม (Ba) ในโพรงจมูกและมือของผู้ยิงปืนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในกลุ่มที่เก็บตัวอย่างหลังยิงทันที (0 ชั่วโมง) ($p\text{-value} \leq 0.001$)
2. ปริมาณเฉลี่ยของธาตุแอนติโมนี (Sb) ในโพรงจมูกและมือของผู้ยิงปืนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในกลุ่มที่เก็บตัวอย่างหลังยิงปืน 6 ชั่วโมง ($p\text{-value} \leq 0.05$)
3. ปริมาณเฉลี่ยของธาตุตะกั่ว (Pb) ในโพรงจมูกและมือของผู้ยิงปืนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในกลุ่มที่เก็บตัวอย่างหลังยิงปืน 24 และ 60 ชั่วโมง ($p\text{-value} \leq 0.05$) และ 48 ($p\text{-value} \leq 0.001$)
4. ปริมาณเฉลี่ยของธาตุ แอนติโมนี (Sb) ตะกั่ว (Pb) และแบเรียม (Ba) ในโพรงจมูกและมือของผู้ยิงปืนในกลุ่มที่เก็บตัวอย่างหลังยิงปืน 3, 12 และ 36 ชั่วโมงไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\text{-value} \geq 0.05$)

ตารางที่ 9 เปรียบเทียบความแตกต่างของปริมาณของปริมาณไขมันโพรงจมูกและมือของผู้หญิงเป็น ตามระยะเวลาที่เก็บภายหลังการยิงเป็น

| ระยะเวลาการเก็บตัวอย่าง | ธาตุแอนติโมนี | | ธาตุตะกั่ว | | ธาตุแบเรียม | |
|-------------------------|------------------|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | โพรงจมูก | มือ | โพรงจมูก | มือ | โพรงจมูก | มือ |
| 0 ชั่วโมง | 0.02085 ± 0.003 | 0.08327 ± 0.032 | 0.14169 ± 0.043 | 0.38750 ± 0.125 | 0.04127 ± 0.010 | 0.26223 ± 0.124 |
| 3 ชั่วโมง | 0.02077 ± 0.124 | 0.02438 ± 0.012 | 0.04535 ± 0.039 | 0.07177 ± 0.139 | 0.02977 ± 0.016 | 0.03527 ± 0.017 |
| 6 ชั่วโมง | 0.01708 ± 0.001 | 0.01554 ± 0.002 | 0.02723 ± 0.017 | 0.02573 ± 0.011 | 0.03865 ± 0.017 | 0.03331 ± 0.009 |
| 12 ชั่วโมง | 0.00192 ± 0.005 | 0.00150 ± 0.006 | 0.07796 ± 0.018 | 0.07204 ± 0.009 | 0.07142 ± 0.017 | 0.07804 ± 0.017 |
| 24 ชั่วโมง | -0.00919 ± 0.003 | -0.01246 ± 0.009 | 0.01062 ± 0.012 | 0.02246 ± 0.010 | 0.06088 ± 0.017 | 0.07115 ± 0.021 |
| 36 ชั่วโมง | -0.00392 ± 0.001 | -0.00485 ± 0.001 | 0.00508 ± 0.004 | 0.00685 ± 0.003 | 0.04612 ± 0.011 | 0.07281 ± 0.128 |
| 48 ชั่วโมง | -0.00525 ± 0.001 | -0.00900 ± 0.001 | 0.00883 ± 0.001 | 0.01542 ± 0.003 | 0.05075 ± 0.013 | 0.05358 ± 0.015 |
| 60 ชั่วโมง | -0.00288 ± 0.001 | -0.00381 ± 0.001 | 0.01004 ± 0.002 | 0.01319 ± 0.003 | 0.05196 ± 0.022 | 0.05373 ± 0.026 |

*กำหนดค่าระดับนัยสำคัญ 0.001

**กำหนดค่าระดับนัยสำคัญ 0.05

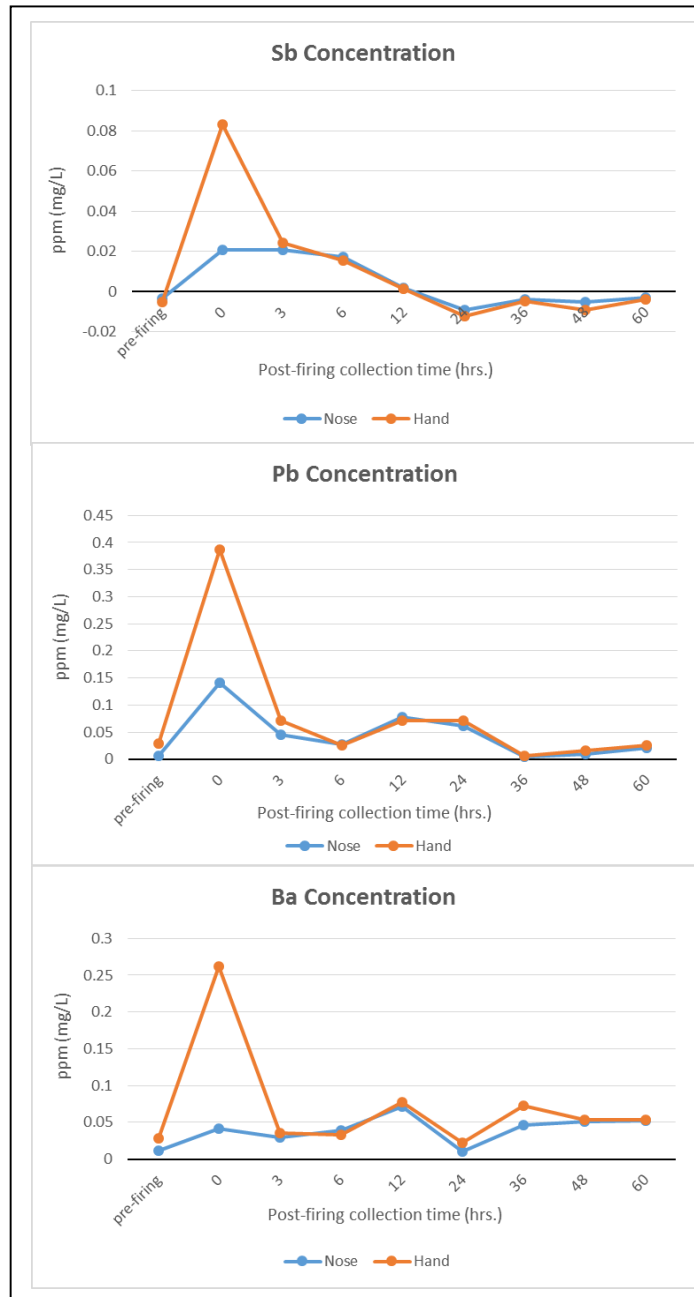
บทที่ 5

สรุปผลและอภิปรายผลการทดลอง

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงวิเคราะห์ ณ จุดเวลาใดเวลาหนึ่ง (Cross-Sectional Analytic Studies) ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการทดลองและศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเขม่าปืนที่มีธาตุแอนติโมนี (Sb) ตะกั่ว (Pb) และแบเรียม (Ba) ในโพรงจมูกและบนมือของผู้ยิงปืนกับระยะเวลาภายหลังการยิงปืนที่ระยะเวลาต่างๆ คือ เก็บทันทีภายหลังการยิงปืน, 3, 6, 12, 24, 36, 48 และ 60 ชั่วโมง โดยใช้อาวุธปืนพกสั้นกึ่งอัตโนมัติ ขนาด 9 มิลลิเมตร ยี่ห้อ GLOCK MODEL 19 และกระสุนปืน ขนาด 9 มิลลิเมตร ชนิด Lead Round Nose 135 gr. ยี่ห้อ Bullet Master ทำการทดลองโดยให้อาสาสมัครทำการยิงปืนภายในห้องปิด ไม่มีลมพัดผ่าน คนละ 3 นัด ในลักษณะทำยิงมือทั้งสองข้างจับปืน โดยใช้มือขวากำอาวุธปืนก่อนแล้วใช้มือซ้ายกำทับมือขวาเพื่อรองรับอาวุธปืนอยู่ด้านล่างมือขวา ทำการเก็บตัวอย่างทั้งก่อนและหลังการยิงปืน โดยใช้ก้านสำลิจุ่มด้วยสารละลาย 2%EDTA ภายหลังการยิงปืนกำหนดให้อาสาสมัครสามารถดำเนินกิจกรรมใดๆ ได้ตามความต้องการ จากนั้นวิเคราะห์ตัวอย่างโดยใช้เทคนิค Inductively couple plasma optical emission spectrometry (ICP-OES) ผลการวิจัย สามารถสรุปได้ดังนี้

1. ปริมาณเขม่าปืนในโพรงจมูกและบนมือของผู้ยิงปืนทั้งในข้างซ้ายและข้างขวาไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\text{-value} \geq 0.05$)
2. ปริมาณเขม่าปืนในโพรงจมูกและบนมือของผู้ยิงปืนกับระยะเวลาภายหลังการยิงปืนมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\text{-value} \leq 0.001$) โดยจะมีปริมาณลดลงตามระยะเวลาภายหลังการยิงปืนที่เพิ่มขึ้น ยกเว้นธาตุแบเรียม (Ba) ในโพรงจมูกที่ไม่มีความสัมพันธ์กับระยะเวลาภายหลังการยิงปืน
3. ปริมาณเขม่าปืนในโพรงจมูกและมือของผู้ยิงปืนก่อนและหลังการยิงปืน ปริมาณธาตุแอนติโมนี (Sb) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในช่วงระยะเวลา 0 - 48 ชั่วโมง ภายหลังการยิงปืน ($p\text{-value} \leq 0.05$) ปริมาณธาตุตะกั่ว (Pb) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติบริเวณโพรงจมูกที่ 0 -12 และ 60 ชั่วโมงภายหลังการยิงปืน และบนมือที่ระยะเวลา 0, 12, 36, 48 และ 60 ชั่วโมงภายหลังการยิงปืน ($p\text{-value} \leq 0.05$) ส่วนปริมาณธาตุแบเรียม (Ba) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติบริเวณโพรงจมูกถึงระยะเวลา 60 ชั่วโมงภายหลังการยิงปืน และบนมือที่ระยะเวลา 0, 6, 12, 24, 48 และ 60 ชั่วโมงภายหลังการยิงปืน ตามลำดับ ($p\text{-value} \leq 0.05$)
4. การเปรียบเทียบปริมาณเขม่าปืนระหว่างบริเวณโพรงจมูกกับมือของผู้ยิงปืนภายหลังการยิงปืน พบว่า ปริมาณเขม่าปืนของทั้ง 3 ธาตุ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในกลุ่มที่เก็บตัวอย่างทันทีภายหลังการยิงปืนเท่านั้น ($p\text{-value} \leq 0.001$) ส่วนผลในกลุ่มที่เก็บ

ตัวอย่างภายหลังจากยิงปืน 6 ชั่วโมง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเพียงธาตุแอนติโมนี (Sb) (p -value ≤ 0.05) และในกลุ่มที่เก็บตัวอย่างภายหลังจากยิงปืนที่ 24, 48 และ 60 ชั่วโมง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเพียงธาตุตะกั่ว (Pb) (p -value ≤ 0.05) ส่วนกลุ่มที่เก็บตัวอย่างภายหลังจากยิงปืนที่ 3, 12 และ 36 ชั่วโมง ปริมาณเข้ามาป็นของทั้ง 3 ธาตุ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ



ภาพที่ 18 เปรียบเทียบปริมาณผลรวมของธาตุ แอนติโมนี ตะกั่ว และแบเรียม บริเวณในโพรงจมูก และบนมือของผู้ยิงปืน ในการยิงปืนครั้งละ 3 นัด

การศึกษาปริมาณเขม่าป็นของธาตุแอนติโมนี (Sb) ตะกั่ว (Pb) และแบเรียม (Ba) บนมือของผู้ยิงปืน พบว่า ปริมาณเขม่าป็นจะลดลงอย่างรวดเร็วหลังจากการยิงปืนผ่านไป 3 ชั่วโมง จากนั้นปริมาณเขม่าป็นจะเริ่มลดลงตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาก่อนหน้านี้ที่ศึกษาพบว่าความสัมพันธ์ระหว่างเขม่าป็นบนมือของผู้ยิงปืนกับระยะเวลาภายหลังการยิงปืนจะลดลงอย่างรวดเร็วหลังจากการยิงปืนผ่านไป 3 ชั่วโมง และจะเริ่มคงที่เมื่อเวลาภายหลังการยิงปืนผ่านไป 5-8 ชั่วโมง (9, 21) ทั้งนี้การศึกษายังพบว่า ธาตุแอนติโมนี (Sb) จะไม่สามารถตรวจพบได้ หลังจากยิงปืนผ่านไป 24 ชั่วโมง ขณะที่ธาตุตะกั่ว (Pb) และแบเรียม (Ba) จะยังมีการคงอยู่ถึง 60 ชั่วโมง ภายหลังการยิงปืน ซึ่งมากกว่าการศึกษาก่อนหน้าที่ได้สรุปไว้ว่า เขม่าป็นบนมือผู้ยิงปืนจะคงอยู่เพียงในเวลา 12 ชั่วโมงภายหลังการยิงปืน (22) อาจเนื่องมาจากการที่มีอนั้นเป็นอวัยวะที่มีการใช้งานตลอดเวลาในชีวิตประจำวัน และจากปัจจัยอื่นๆ เช่น สภาพอากาศ การขับเหงื่อของแต่ละบุคคล รวมถึงการล้างมือทำความสะอาด (28, 29) เพื่อปกป้องร่องรอยการกระทำความผิด โดยการคงอยู่ของธาตุตะกั่ว (Pb) และแบเรียม (Ba) นั้น ยังสามารถบ่งชี้ได้ว่าบุคคลหรือผู้ต้องสงสัยนั้น ได้ผ่านการยิงปืนมาจริง (9, 10)

ในขณะที่การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของปริมาณเขม่าป็นธาตุแอนติโมนี (Sb) ตะกั่ว (Pb) และแบเรียม (Ba) โดยการเก็บตัวอย่างจากโพรงจมูกของผู้ยิงปืน พบว่าปริมาณธาตุทั้งสามที่เป็นองค์ประกอบของเขม่าป็นจะค่อยๆ ลดลงอย่างช้าๆ ในทุกชั่วโมงของการเก็บตัวอย่างภายหลังการยิงปืน โดยมีลักษณะเหมือนกับตัวอย่างที่เก็บจากมือของผู้ยิงปืนที่พบว่าธาตุแอนติโมนี (Sb) จะตรวจไม่พบภายหลังการยิงปืนผ่านไป 24 ชั่วโมง แต่ยังสามารถพบธาตุตะกั่ว (Pb) และแบเรียม (Ba) ได้ถึง 60 ชั่วโมงภายหลังการยิงปืน ซึ่งผลดังกล่าวมีระยะเวลามากกว่าการศึกษาก่อนหน้าที่พบปริมาณธาตุแอนติโมนี (Sb) ตะกั่ว (Pb) และแบเรียม (Ba) ในระยะเวลา 12 - 48 ชั่วโมงภายหลังการยิงปืน (4) และตรวจไม่พบปริมาณเขม่าป็นของธาตุทั้งสามที่ระยะเวลา 24 ชั่วโมงภายหลังการยิงปืน (23) นอกจากนี้การศึกษายังพบว่าปริมาณเขม่าป็นของธาตุแอนติโมนี (Sb) ตะกั่ว (Pb) และแบเรียม (Ba) ที่พบในโพรงจมูกผู้ยิงปืนจะมีค่าเฉลี่ยและอัตราการลดลงของปริมาณเขม่าป็นน้อยกว่าที่พบบนมือผู้ยิงปืน ซึ่งจะเห็นได้อย่างชัดเจนในกลุ่มที่เก็บตัวอย่างทันทีภายหลังการยิงปืน (0 ชั่วโมง) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Marina Aliste และคณะ (17) ที่ได้สรุปไว้ว่า แม้ปริมาณเขม่าป็นในโพรงจมูกจะมีน้อยกว่าบริเวณมือผู้ยิงปืน แต่ยังสามารถคงอยู่ได้นานกว่า ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากลักษณะกายวิภาคศาสตร์ภายในของโพรงจมูกที่ประกอบไปด้วยความชื้นและมีเนื้อเยื่อบุผิวเป็นเยื่อเมือกที่ประกอบด้วยซีเลีย (ciliated mucous membrane) ซึ่งมีหน้าที่คอยดักจับฝุ่นละอองก่อนเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจ(30, 31) จึงสามารถจับกับฝุ่นเขม่าป็นได้ดีกว่าบริเวณมือที่มีการใช้งานตลอดเวลาทั้งวันและสามารถล้างออกได้โดยง่าย

นอกจากนี้ ประเด็นที่พบได้จากการวิจัย ได้แก่

1. จากผลการศึกษาปริมาณเขม่าป็นในโพรงจมูกและมือของผู้ยิงปืนก่อนและหลังการยิงปืน การเก็บตัวอย่างก่อนการยิงปืนนั้น พบว่าปริมาณของธาตุตะกั่ว (Pb) และ แบเรียม (Ba) มีค่าสูงอย่างผิดปกติ รวมทั้งในกลุ่มที่เก็บตัวอย่างที่ระยะเวลา 12, 24 และ 36 ชั่วโมงภายหลังการยิงปืนก็มีการเพิ่มขึ้นของค่าทั้งสองอย่างผิดปกติเช่นกัน ซึ่งอาจเป็นผลมาจากการปนเปื้อนจากสิ่งแวดล้อมของอาสาสมัครในกลุ่มนั้นๆ การศึกษาก่อนหน้านี้พบว่า ส่วนประกอบหลักของเขม่าป็นไม่ได้มีอยู่เฉพาะแต่ในเขม่าป็นเท่านั้น แต่มีความเป็นไปได้ในการพบธาตุตะกั่ว (Pb) และแบเรียม (Ba) ปะปนอยู่ในสิ่งแวดล้อม (8, 12, 32, 33)

2. ในการศึกษาทำการเก็บตัวอย่างปริมาณเขม่าป็น ในโพรงจมูกและบนมือของผู้ยิงปืนโดยใช้ก้านสำลีสที่จุ่มด้วยสารละลาย 2%EDTA แทนการใช้สารละลาย 2%Nitric acid ตามวิธีมาตรฐานเนื่องจากสารละลายไนตริก มีคุณสมบัติเป็นกรด อาจก่อให้เกิดความระคายเคืองหรืออันตรายแก่อาสาสมัครได้ ทั้งนี้ การศึกษาก่อนหน้าพบว่า สารละลาย 2%EDTA สามารถเก็บตัวอย่างและพบปริมาณเขม่าป็นได้มากกว่าการใช้สารละลาย 2%Nitric acid (15)

3. จำนวนนัดในการยิงปืนมีผลต่อปริมาณเขม่าป็น โดยการศึกษาวิจัยของเชิดพงศ์ ชุกกลิ่น (9) ศึกษาจำนวนนัดในแต่ละครั้งของการยิงปืน ตั้งแต่ 1, 2, 3 และ 9 นัด โดยใช้เทคนิค Inductively Couple Plasma Optical Emission Spectrometry (ICP-OES) ผลการทดลองพบว่า จำนวนนัดที่เพิ่มขึ้นมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณเขม่าป็นที่เพิ่มขึ้น

4. จากผลการศึกษาปริมาณเขม่าป็นในโพรงจมูกและบนมือของผู้ยิงปืนกับระยะเวลาภายหลังการยิงปืนมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\text{-value} \leq 0.001$) โดยจะมีปริมาณลดลงตามระยะเวลาภายหลังการยิงปืนที่เพิ่มขึ้น ยกเว้นธาตุแบเรียม (Ba) ในโพรงจมูกที่ไม่มีความสัมพันธ์กับระยะเวลาภายหลังการยิงปืน ซึ่งปริมาณของธาตุแบเรียม (Ba) ในโพรงจมูกมีความแตกต่างกันในแต่ละคนค่อนข้างมาก อาจเนื่องมาจากกายวิภาคศาสตร์ภายในของโพรงจมูกที่แตกต่างกันไปในแต่ละคนทำให้สามารถดูดซับปริมาณเขม่าป็นได้ไม่เท่ากัน (4) หรืออาจเกี่ยวข้องกับชนิดของก้านสำลีสที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง โดยวิธีการ Swabbing จากการศึกษาของคุณิตา อ่อนละออ (34) พบว่าสำลีสชนิดก้านไม้มีแนวโน้มพบเขม่าป็นของธาตุแอนติโมนี (Sb) ตะกั่ว (Pb) และแบเรียม (Ba) มีปริมาณเฉลี่ยมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับสำลีสชนิดก้านพลาสติก ขณะเดียวกันปริมาณของธาตุแบเรียมที่ได้จากการเก็บตัวอย่างด้วยสำลีสชนิดก้านไม้ มีค่าเฉลี่ยที่สูงกว่าสำลีสชนิดก้านพลาสติกมาก ซึ่งอาจเป็นผลจากการปนเปื้อนจากวัสดุที่ใช้ทำสำลีสก้าน จึงเป็นข้อควรระวังในการใช้สำลีสก้านไม้ในการเก็บตัวอย่างเขม่าป็น

จากผลการวิจัยข้างต้นจะเห็นได้ว่าปริมาณเขม่าป็นทั้งในโพรงจมูกและมือของผู้ยิงปืนมีระยะเวลาการคงอยู่นานกว่าการศึกษาวิจัยก่อนหน้า ซึ่งพิสูจน์ได้ว่าหลังจากการยิงปืนผ่านไปแล้ว 24

ชั่วโมง จะยังคงมีเขม่าป็นหลงเหลืออยู่พอที่จะทดสอบเพื่อเป็นพยานหลักฐานในการบ่งชี้ตัวผู้ต้องสงสัยหรือตัวผู้กระทำผิดได้ การตรวจหาเขม่าป็นจากโพรงจมูกเป็นทางเลือกที่ดีสำหรับตรวจหาเขม่าป็นในผู้กระทำความผิดที่สวมใส่ถุงมือหรือล้างมือก่อนที่จะถูกจับกุม จึงสามารถนำการตรวจหาเขม่าป็นจากโพรงจมูกไปประยุกต์ใช้ในการปฏิบัติงานทางด้านนิติวิทยาศาสตร์ได้





ภาคผนวก ก

การเตรียมสารเคมีเพื่อวิเคราะห์

1. การเตรียมสารละลาย 2% HNO₃

เตรียมจาก HNO₃ เข้มข้น 65% ให้ได้สารละลาย HNO₃ ที่มีความเข้มข้น 2% ปริมาตร 1000 mL โดยใช้สูตร

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

$$65\% (V) = 2\% \times 1000 \text{ mL}$$

$$V = 30.7692 \text{ mL.}$$

ดังนั้น ตวง 65% HNO₃ ปริมาตร 30.7692 mL. ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 1000 mL

2. การเตรียมสารละลาย 2% EDTA

เตรียมสารละลาย EDTA ความเข้มข้น 2% (w/v) ปริมาตร 50 mL โดยใช้สูตร

$$\%w/v = \frac{\text{น้ำหนักตัวถูกละลาย (g)}}{\text{ปริมาตรสารละลาย (ml)}} \times 100$$

$$2\% \text{ EDTA (w/v)} = \frac{\text{EDTA ตั้งต้น (g)}}{50 \text{ ml}} \times 100$$

$$\text{EDTA ตั้งต้น} = 1 \text{ g.}$$

ดังนั้น ชั่ง EDTA 1 g. ละลายในน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 50 mL

3. การเตรียมสารละลายมาตรฐาน แอนติโมนี แบริยม ตะกั่ว (Mixed standard)

เตรียมจากสารละลายมาตรฐาน แอนติโมนี แบริยม ตะกั่ว (Single standard) ที่มีความเข้มข้น 1000 mg/L ให้ได้เป็น Mixed standard ปริมาตร 50 mL ที่มีความเข้มข้น 100 mg/L เพื่อใช้เป็น stock เพื่อเตรียม สารละลายมาตรฐานในความเข้มข้นต่างๆ โดยใช้สูตร

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

$$1000 \text{ mg/L (V)} = 100 \text{ mg/L} \times 50 \text{ mL}$$

$$V = 5 \text{ mL}$$

ดังนั้น จุด Single standard ของทั้ง 3 ธาตุ มาอย่างละ 5 mL ปรับปริมาตรด้วย 2% HNO₃ ให้ได้ปริมาตร 50 mL หลังจากนั้น เตรียมสารละลายจาก Mixed standard Sb, Ba, Pb 100 mg/L ที่ความเข้มข้น 0.01, 0.03, 0.05, 0.1, 0.5, 1 และ 3 mg/L

- ความเข้มข้น 0.01 mg/L

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

$$100 \text{ mg/L (V)} = 0.01 \text{ mg/L} \times 25 \text{ mL}$$

$$V = 0.0025 \text{ mL หรือ } 2.5 \text{ }\mu\text{L}$$

ดังนั้น จุด Mixed standard Sb, Ba, Pb 100 mg/L มา 2.5 μ L ปรับปริมาตรด้วย 2% HNO₃ ให้ได้ปริมาตร 25 mL

- ความเข้มข้น 0.03 mg/L

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

$$100 \text{ mg/L (V)} = 0.03 \text{ mg/L} \times 25 \text{ mL}$$

$$V = 0.0075 \text{ mL หรือ } 7.5 \text{ }\mu\text{L}$$

ดังนั้น จุด Mixed standard Sb, Ba, Pb 100 mg/L มา 7.5 μ L ปรับปริมาตรด้วย 2% HNO₃ ให้ได้ปริมาตร 25 mL

- ความเข้มข้น 0.05 mg/L

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

$$100 \text{ mg/L (V)} = 0.05 \text{ mg/L} \times 25 \text{ mL}$$

$$V = 0.0125 \text{ mL หรือ } 12.5 \text{ }\mu\text{L}$$

ดังนั้น จุด Mixed standard Sb, Ba, Pb 100 mg/L มา 12.5 μ L ปรับปริมาตรด้วย 2% HNO₃ ให้ได้ปริมาตร 25 mL

- ความเข้มข้น 0.1 mg/L

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

$$100 \text{ mg/L (V)} = 0.1 \text{ mg/L} \times 25 \text{ mL}$$

$$V = 0.025 \text{ mL หรือ } 25 \text{ }\mu\text{L}$$

ดังนั้น จุด Mixed standard Sb, Ba, Pb 100 mg/L มา 25 μ L ปรับปริมาตรด้วย 2% HNO₃ ให้ได้ปริมาตร 25 mL

- ความเข้มข้น 0.5 mg/L

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

$$100 \text{ mg/L (V)} = 0.5 \text{ mg/L} \times 25 \text{ mL}$$

$$V = 0.125 \text{ mL หรือ } 125 \text{ }\mu\text{L}$$

ดังนั้น จุด Mixed standard Sb, Ba, Pb 100 mg/L มา 125 μ L ปรับปริมาตรด้วย 2% HNO₃ ให้ได้ปริมาตร 25 mL

- ความเข้มข้น 1 mg/L

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

$$100 \text{ mg/L (V)} = 1 \text{ mg/L} \times 25 \text{ mL}$$

$$V = 0.25 \text{ mL หรือ } 250 \text{ }\mu\text{L}$$

ดังนั้น จุด Mixed standard Sb, Ba, Pb 100 mg/L มา 250 μ L ปรับปริมาตรด้วย 2% HNO₃ ให้ได้ปริมาตร 25 mL

- ความเข้มข้น 3 mg/L

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

$$100 \text{ mg/L (V)} = 3 \text{ mg/L} \times 25 \text{ mL}$$

$$V = 0.75 \text{ mL หรือ } 750 \text{ }\mu\text{L}$$

ดังนั้น จุด Mixed standard Sb, Ba, Pb 100 mg/L มา 750 μ L ปรับปริมาตรด้วย 2% HNO₃ ให้ได้ปริมาตร 25 mL



ภาคผนวก ข

ผลการวิเคราะห์หาปริมาณของธาตุแอนติโมนี ตะกั่ว และแบเรียม
ในโพรงจมูกและบนมือผู้ยิงปืน โดยเทคนิค ICP-OES

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

| ตัวอย่าง | ธาตุแอนติโมนี (Sb) | | | | | | ธาตุตะกั่ว (Pb) | | | | | | ธาตุแบเรียม (Ba) | | | | | |
|-----------|--------------------|---------|---------|---------|----------|---------|-----------------|---------|----------|---------|----------|---------|------------------|---------|---------|---------|--------|--|
| | จุ่มซ้าย | | มือซ้าย | | มือขวา | | จุ่มซ้าย | | มือซ้าย | | มือขวา | | จุ่มซ้าย | | มือซ้าย | | มือขวา | |
| | จุ่มซ้าย | จุ่มขวา | มือซ้าย | มือขวา | จุ่มซ้าย | มือขวา | จุ่มซ้าย | มือขวา | จุ่มซ้าย | มือขวา | จุ่มซ้าย | มือขวา | จุ่มซ้าย | มือซ้าย | จุ่มขวา | มือซ้าย | มือขวา | |
| 1 | 0.023 | 0.026 | 0.115 | 0.148 | 0.186 | 0.193 | 0.334 | 0.356 | 0.041 | 0.032 | 0.321 | 0.508 | | | | | | |
| 2 | 0.025 | 0.018 | 0.027 | 0.078 | 0.176 | 0.080 | 0.102 | 0.317 | 0.060 | 0.010 | 0.121 | 0.337 | | | | | | |
| 3 | 0.026 | 0.016 | 0.031 | 0.155 | 0.249 | 0.040 | 0.226 | 0.894 | 0.035 | 0.058 | 0.088 | 0.360 | | | | | | |
| 4 | 0.020 | 0.019 | 0.038 | 0.087 | 0.079 | 0.126 | 0.248 | 0.835 | 0.047 | 0.045 | 0.088 | 0.162 | | | | | | |
| 5 | 0.022 | 0.031 | 0.073 | 0.037 | 0.142 | 0.338 | 0.326 | 0.210 | 0.069 | 0.052 | 0.222 | 0.131 | | | | | | |
| 6 | 0.023 | 0.017 | 0.046 | 0.076 | 0.177 | 0.057 | 0.295 | 0.592 | 0.032 | 0.036 | 0.115 | 0.197 | | | | | | |
| 7 | 0.016 | 0.020 | 0.129 | 0.094 | 0.062 | 0.159 | 0.538 | 0.563 | 0.033 | 0.029 | 0.457 | 0.344 | | | | | | |
| 8 | 0.024 | 0.014 | 0.042 | 0.087 | 0.177 | 0.028 | 0.235 | 0.361 | 0.022 | 0.050 | 0.100 | 0.259 | | | | | | |
| 9 | 0.015 | 0.025 | 0.115 | 0.104 | 0.031 | 0.256 | 0.535 | 0.467 | 0.026 | 0.037 | 0.350 | 0.337 | | | | | | |
| 10 | 0.028 | 0.018 | 0.040 | 0.249 | 0.274 | 0.081 | 0.160 | 0.590 | 0.027 | 0.057 | 0.168 | 0.910 | | | | | | |
| 11 | 0.025 | 0.019 | 0.030 | 0.081 | 0.237 | 0.113 | 0.299 | 0.547 | 0.029 | 0.028 | 0.087 | 0.248 | | | | | | |
| 12 | 0.013 | 0.020 | 0.049 | 0.111 | 0.032 | 0.146 | 0.158 | 0.322 | 0.051 | 0.052 | 0.152 | 0.365 | | | | | | |
| 13 | 0.018 | 0.021 | 0.102 | 0.021 | 0.069 | 0.176 | 0.509 | 0.056 | 0.066 | 0.049 | 0.297 | 0.094 | | | | | | |
| ค่าเฉลี่ย | 0.02138 | 0.02031 | 0.06438 | 0.10215 | 0.14546 | 0.13792 | 0.30500 | 0.47000 | 0.04138 | 0.04115 | 0.19738 | 0.32708 | | | | | | |

ตารางที่ 17 ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุแอนติโมนี ตะกั่ว และแบเรียม ในกลุ่มที่เก็บตัวอย่างภายหลังการยิงปืน 3 ชั่วโมง

| ตัวอย่าง | ธาตุแอนติโมนี (Sb) | | | ธาตุตะกั่ว (Pb) | | | ธาตุแบเรียม (Ba) | | | |
|-----------|--------------------|---------|---------|-----------------|---------|---------|------------------|---------|---------|---------|
| | จุ่มซ้าย | จุ่มขวา | มือซ้าย | จุ่มซ้าย | จุ่มขวา | มือซ้าย | จุ่มซ้าย | จุ่มขวา | มือซ้าย | |
| 1 | 0.015 | 0.023 | 0.023 | 0.036 | 0.027 | 0.089 | 0.019 | 0.054 | 0.070 | 0.048 |
| 2 | 0.020 | 0.021 | 0.022 | 0.010 | 0.012 | 0.015 | 0.038 | 0.027 | 0.031 | 0.064 |
| 3 | 0.021 | 0.021 | 0.021 | 0.035 | 0.049 | 0.016 | 0.016 | 0.025 | 0.015 | 0.034 |
| 4 | 0.022 | 0.023 | 0.017 | 0.030 | 0.062 | 0.018 | 0.057 | 0.032 | 0.019 | 0.048 |
| 5 | 0.021 | 0.020 | 0.020 | 0.066 | 0.016 | 0.019 | 0.078 | 0.036 | 0.023 | 0.037 |
| 6 | 0.023 | 0.022 | 0.022 | 0.001 | 0.019 | 0.009 | -0.023 | -0.001 | 0.009 | -0.003 |
| 7 | 0.021 | 0.017 | 0.024 | 0.046 | 0.084 | 0.050 | 0.019 | 0.025 | 0.044 | 0.025 |
| 8 | 0.021 | 0.021 | 0.020 | 0.042 | 0.049 | 0.017 | 0.048 | 0.015 | 0.022 | 0.042 |
| 9 | 0.019 | 0.020 | 0.020 | 0.019 | 0.042 | 0.013 | 0.027 | 0.035 | 0.028 | 0.059 |
| 10 | 0.020 | 0.020 | 0.020 | 0.005 | 0.004 | 0.010 | 0.023 | 0.044 | 0.019 | 0.016 |
| 11 | 0.019 | 0.021 | 0.019 | 0.017 | 0.024 | 0.008 | 0.036 | 0.010 | 0.026 | 0.021 |
| 12 | 0.018 | 0.020 | 0.023 | 0.219 | 0.066 | 0.148 | 0.053 | 0.025 | 0.018 | 0.072 |
| 13 | 0.024 | 0.025 | 0.070 | 0.094 | 0.105 | 0.566 | 0.034 | 0.022 | 0.088 | 0.042 |
| ค่าเฉลี่ย | 0.02033 | 0.02109 | 0.02469 | 0.04769 | 0.04300 | 0.07523 | 0.03269 | 0.02685 | 0.03169 | 0.03885 |

ตารางที่ 18 ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุแอนติโมนี ตะกั่ว และแบเรียม ในกลุ่มที่เก็บตัวอย่างภายหลังการยิงปืน 6 ชั่วโมง

| ตัวอย่าง | ธาตุแอนติโมนี (Sb) | | | ธาตุตะกั่ว (Pb) | | | ธาตุแบเรียม (Ba) | | | |
|-----------|--------------------|---------|---------|-----------------|---------|---------|------------------|---------|---------|---------|
| | จุ่มซ้าย | จุ่มขวา | มือซ้าย | จุ่มซ้าย | จุ่มขวา | มือซ้าย | จุ่มซ้าย | จุ่มขวา | มือซ้าย | |
| 1 | 0.017 | 0.016 | 0.015 | 0.022 | 0.018 | 0.032 | 0.036 | 0.117 | 0.029 | 0.037 |
| 2 | 0.017 | 0.017 | 0.015 | 0.012 | 0.011 | 0.02 | 0.032 | 0.047 | 0.036 | 0.036 |
| 3 | 0.017 | 0.017 | 0.017 | 0.019 | 0.047 | 0.033 | 0.008 | 0.036 | 0.047 | 0.033 |
| 4 | 0.018 | 0.017 | 0.015 | 0.022 | 0.022 | 0.021 | 0.05 | 0.031 | 0.021 | 0.03 |
| 5 | 0.017 | 0.018 | 0.015 | 0.045 | 0.045 | 0.045 | 0.045 | 0.019 | 0.02 | 0.048 |
| 6 | 0.017 | 0.018 | 0.018 | 0.029 | 0.047 | 0.031 | 0.015 | 0.018 | 0.038 | 0.016 |
| 7 | 0.018 | 0.016 | 0.017 | 0.029 | 0.013 | 0.019 | 0.008 | 0.019 | 0.009 | 0.06 |
| 8 | 0.016 | 0.016 | 0.018 | 0.015 | 0.011 | 0.013 | 0.043 | 0.054 | 0.04 | 0.026 |
| 9 | 0.018 | 0.018 | 0.015 | 0.04 | 0.026 | 0.012 | 0.019 | 0.072 | 0.051 | 0.015 |
| 10 | 0.019 | 0.019 | 0.016 | 0.071 | 0.071 | 0.038 | 0.036 | 0.02 | 0.107 | 0.002 |
| 11 | 0.016 | 0.016 | 0.018 | 0.009 | 0.014 | 0.021 | 0.046 | 0.035 | 0.013 | 0.047 |
| 12 | 0.016 | 0.016 | 0.014 | 0.02 | 0.014 | 0.022 | 0.055 | 0.032 | 0.055 | 0.015 |
| 13 | 0.016 | 0.018 | 0.015 | 0.011 | 0.025 | 0.015 | 0.081 | 0.031 | 0.018 | 0.017 |
| ค่าเฉลี่ย | 0.01708 | 0.01708 | 0.01608 | 0.02646 | 0.02800 | 0.02477 | 0.03646 | 0.04085 | 0.03723 | 0.02938 |

ตารางที่ 19 ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุแอนติโมนี ตะกั่ว และแบเรียม ในกลุ่มที่เก็บตัวอย่างภายหลังการยิงปืน 12 ชั่วโมง

| ตัวอย่าง | ธาตุแอนติโมนี (Sb) | | | ธาตุตะกั่ว (Pb) | | | ธาตุแบเรียม (Ba) | | | |
|-----------|--------------------|---------|---------|-----------------|---------|---------|------------------|---------|---------|---------|
| | จุ่มซ้าย | จุ่มขวา | มือซ้าย | จุ่มซ้าย | จุ่มขวา | มือซ้าย | จุ่มซ้าย | จุ่มขวา | มือซ้าย | |
| 1 | -0.004 | -0.004 | -0.004 | 0.066 | 0.037 | 0.064 | 0.039 | 0.077 | 0.093 | 0.083 |
| 2 | -0.003 | -0.004 | -0.004 | 0.091 | 0.093 | 0.059 | 0.073 | 0.047 | 0.083 | 0.128 |
| 3 | -0.003 | -0.003 | -0.006 | 0.048 | 0.062 | 0.062 | 0.067 | 0.142 | 0.053 | 0.062 |
| 4 | -0.003 | -0.001 | -0.004 | 0.061 | 0.071 | 0.077 | 0.066 | 0.078 | 0.072 | 0.071 |
| 5 | -0.003 | 0.001 | -0.001 | 0.077 | 0.067 | 0.070 | 0.095 | 0.060 | 0.087 | 0.055 |
| 6 | -0.001 | -0.003 | 0.003 | 0.067 | 0.074 | 0.073 | 0.119 | 0.073 | 0.092 | 0.102 |
| 7 | 0.000 | 0.006 | 0.000 | 0.071 | 0.110 | 0.072 | 0.081 | 0.047 | 0.052 | 0.068 |
| 8 | -0.001 | 0.003 | 0.002 | 0.072 | 0.065 | 0.078 | 0.021 | 0.063 | 0.128 | 0.078 |
| 9 | 0.002 | 0.005 | 0.002 | 0.108 | 0.073 | 0.080 | 0.062 | 0.079 | 0.059 | 0.061 |
| 10 | 0.003 | 0.014 | 0.003 | 0.078 | 0.067 | 0.078 | 0.075 | 0.059 | 0.077 | 0.064 |
| 11 | 0.003 | 0.016 | 0.010 | 0.071 | 0.074 | 0.077 | 0.057 | 0.072 | 0.108 | 0.081 |
| 12 | 0.003 | 0.005 | 0.012 | 0.126 | 0.103 | 0.076 | 0.069 | 0.055 | 0.084 | 0.053 |
| 13 | 0.010 | 0.012 | 0.016 | 0.107 | 0.088 | 0.084 | 0.094 | 0.087 | 0.063 | 0.072 |
| ค่าเฉลี่ย | 0.00023 | 0.00362 | 0.00169 | 0.08023 | 0.07569 | 0.07308 | 0.07062 | 0.07223 | 0.08085 | 0.07523 |

ตารางที่ 20 ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุแอนติโมนี ตะกั่ว และแบเรียม ในกลุ่มที่เก็บตัวอย่างภายหลังการยิงปืน 24 ชั่วโมง

| ตัวอย่าง | ธาตุแอนติโมนี (Sb) | | | | ธาตุตะกั่ว (Pb) | | | | ธาตุแบเรียม (Ba) | | | |
|-----------|--------------------|----------|----------|----------|-----------------|---------|---------|---------|------------------|---------|---------|---------|
| | จุ่มซ้าย | จุ่มขวา | มือซ้าย | มือขวา | จุ่มซ้าย | จุ่มขวา | มือซ้าย | มือขวา | จุ่มซ้าย | จุ่มขวา | มือซ้าย | มือขวา |
| 1 | -0.006 | -0.007 | -0.016 | -0.016 | 0.005 | 0.009 | 0.033 | 0.033 | 0.030 | 0.033 | 0.074 | 0.096 |
| 2 | -0.012 | -0.010 | -0.009 | -0.008 | 0.007 | 0.003 | 0.018 | 0.021 | 0.048 | 0.094 | 0.072 | 0.034 |
| 3 | -0.008 | 0.005 | -0.015 | -0.015 | 0.002 | 0.004 | 0.024 | 0.029 | 0.097 | 0.071 | 0.126 | 0.106 |
| 4 | -0.012 | -0.007 | -0.012 | -0.011 | 0.005 | 0.007 | 0.024 | 0.028 | 0.048 | 0.056 | 0.066 | 0.092 |
| 5 | -0.009 | -0.010 | -0.010 | -0.011 | 0.027 | 0.000 | 0.021 | 0.032 | 0.064 | 0.120 | 0.062 | 0.078 |
| 6 | -0.011 | -0.010 | -0.013 | -0.011 | 0.012 | 0.002 | 0.018 | 0.015 | 0.068 | 0.036 | 0.087 | 0.069 |
| 7 | -0.011 | -0.009 | -0.011 | -0.013 | 0.003 | 0.004 | 0.047 | 0.034 | 0.088 | 0.038 | 0.067 | 0.056 |
| 8 | -0.010 | -0.009 | -0.014 | -0.015 | 0.007 | 0.000 | 0.023 | 0.018 | 0.044 | 0.045 | 0.044 | 0.070 |
| 9 | -0.011 | -0.009 | -0.010 | -0.010 | 0.000 | 0.007 | 0.006 | 0.005 | 0.059 | 0.088 | 0.040 | 0.029 |
| 10 | -0.011 | -0.010 | -0.018 | -0.020 | 0.022 | 0.007 | 0.028 | 0.025 | 0.054 | 0.055 | 0.100 | 0.084 |
| 11 | -0.015 | -0.009 | -0.009 | -0.012 | 0.021 | 0.006 | 0.010 | 0.027 | 0.022 | 0.064 | 0.057 | 0.105 |
| 12 | -0.010 | -0.010 | -0.011 | -0.012 | 0.010 | 0.007 | 0.014 | 0.006 | 0.052 | 0.066 | 0.069 | 0.023 |
| 13 | -0.008 | -0.010 | -0.011 | -0.011 | 0.069 | 0.030 | 0.022 | 0.023 | 0.116 | 0.027 | 0.057 | 0.087 |
| ค่าเฉลี่ย | -0.01031 | -0.00808 | -0.01223 | -0.01269 | 0.01462 | 0.00662 | 0.02215 | 0.02277 | 0.06077 | 0.06100 | 0.07085 | 0.07146 |

ตารางที่ 21 ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุแอนติโมนี ตะกั่ว และแบเรียม ในกลุ่มที่เก็บตัวอย่างภายหลังการยิงปืน 36 ชั่วโมง

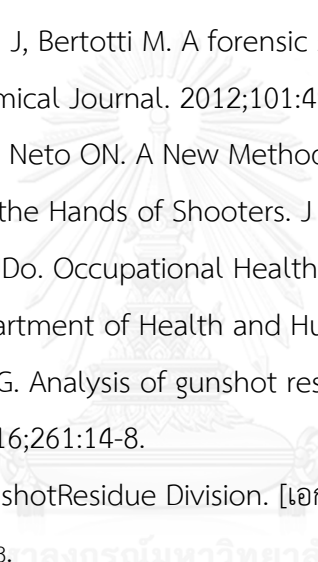
| ตัวอย่าง | ธาตุแอนติโมนี (Sb) | | | | ธาตุตะกั่ว (Pb) | | | | ธาตุแบเรียม (Ba) | | | |
|-----------|--------------------|----------|----------|----------|-----------------|---------|---------|---------|------------------|---------|---------|---------|
| | จุ่มซ้าย | จุ่มขวา | มือซ้าย | มือขวา | จุ่มซ้าย | จุ่มขวา | มือซ้าย | มือขวา | จุ่มซ้าย | จุ่มขวา | มือซ้าย | มือขวา |
| 1 | -0.004 | -0.004 | -0.005 | -0.006 | 0.002 | 0.002 | 0.004 | 0.002 | 0.068 | 0.032 | 0.040 | 0.032 |
| 2 | -0.004 | -0.004 | -0.003 | -0.005 | 0.005 | 0.003 | 0.004 | 0.006 | 0.015 | 0.043 | 0.073 | 0.043 |
| 3 | -0.005 | -0.005 | -0.005 | -0.006 | 0.002 | 0.006 | 0.008 | 0.009 | 0.061 | 0.072 | 0.045 | 0.015 |
| 4 | -0.002 | -0.004 | -0.004 | -0.005 | 0.004 | 0.004 | 0.007 | 0.007 | 0.032 | 0.019 | 0.077 | 0.904 |
| 5 | -0.002 | -0.004 | -0.004 | -0.006 | 0.014 | 0.018 | 0.014 | 0.014 | 0.052 | 0.054 | 0.037 | 0.017 |
| 6 | -0.004 | -0.005 | -0.004 | -0.007 | 0.005 | 0.003 | 0.003 | 0.009 | 0.071 | 0.046 | 0.029 | 0.039 |
| 7 | -0.004 | -0.004 | -0.004 | -0.004 | 0.006 | 0.003 | 0.014 | 0.011 | 0.065 | 0.025 | 0.023 | 0.045 |
| 8 | -0.003 | -0.002 | -0.005 | -0.005 | 0.005 | 0.003 | 0.005 | 0.005 | 0.038 | 0.048 | 0.020 | -0.062 |
| 9 | -0.006 | -0.004 | -0.004 | -0.005 | 0.002 | 0.006 | 0.009 | 0.009 | 0.047 | 0.051 | 0.046 | 0.044 |
| 10 | -0.003 | -0.004 | -0.004 | -0.006 | 0.011 | 0.012 | 0.006 | 0.004 | 0.072 | 0.039 | 0.052 | 0.061 |
| 11 | -0.004 | -0.005 | -0.003 | -0.004 | 0.003 | 0.003 | 0.004 | 0.003 | 0.067 | 0.025 | 0.087 | 0.071 |
| 12 | -0.004 | -0.005 | -0.005 | -0.006 | 0.004 | 0.004 | 0.004 | 0.005 | 0.049 | 0.032 | 0.022 | 0.059 |
| 13 | -0.003 | -0.004 | -0.005 | -0.006 | 0.002 | 0.000 | 0.004 | 0.008 | 0.020 | 0.056 | 0.023 | 0.051 |
| ค่าเฉลี่ย | -0.00369 | -0.00415 | -0.00423 | -0.00546 | 0.00500 | 0.00515 | 0.00662 | 0.00708 | 0.05054 | 0.04169 | 0.04415 | 0.10146 |

ตารางที่ 23 ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุแอนติโมนี ตะกั่ว และแบเรียม ในกลุ่มที่เก็บตัวอย่างภายหลังการยิงปืน 60 ชั่วโมง

| ตัวอย่าง | ธาตุแอนติโมนี (Sb) | | | | ธาตุตะกั่ว (Pb) | | | | ธาตุแบเรียม (Ba) | | | |
|-----------|--------------------|----------|----------|----------|-----------------|---------|---------|---------|------------------|---------|---------|---------|
| | จุ่มซ้าย | จุ่มขวา | มือซ้าย | มือขวา | จุ่มซ้าย | จุ่มขวา | มือซ้าย | มือขวา | จุ่มซ้าย | จุ่มขวา | มือซ้าย | มือขวา |
| 1 | -0.005 | 0.004 | -0.004 | -0.003 | 0.008 | 0.008 | 0.012 | 0.014 | 0.063 | 0.061 | 0.050 | 0.032 |
| 2 | -0.004 | -0.002 | -0.003 | -0.005 | 0.014 | 0.011 | 0.015 | 0.013 | 0.055 | 0.141 | 0.043 | 0.044 |
| 3 | -0.003 | -0.003 | -0.004 | -0.004 | 0.010 | 0.011 | 0.014 | 0.016 | 0.092 | 0.043 | 0.039 | 0.023 |
| 4 | -0.003 | -0.004 | -0.003 | -0.005 | 0.011 | 0.009 | 0.012 | 0.013 | 0.062 | 0.013 | 0.056 | 0.067 |
| 5 | -0.003 | -0.003 | -0.002 | -0.003 | 0.008 | 0.009 | 0.009 | 0.007 | 0.079 | 0.053 | 0.103 | 0.051 |
| 6 | -0.002 | -0.002 | -0.005 | -0.003 | 0.013 | 0.011 | 0.012 | 0.010 | 0.097 | 0.061 | 0.020 | 0.069 |
| 7 | -0.004 | -0.003 | -0.004 | -0.005 | 0.011 | 0.009 | 0.010 | 0.014 | 0.017 | 0.032 | 0.045 | 0.048 |
| 8 | -0.004 | -0.003 | -0.003 | -0.003 | 0.009 | 0.009 | 0.015 | 0.012 | 0.040 | 0.034 | 0.021 | 0.050 |
| 9 | -0.005 | 0.005 | -0.004 | -0.006 | 0.010 | 0.009 | 0.020 | 0.026 | 0.038 | 0.032 | 0.043 | 0.212 |
| 10 | -0.003 | -0.005 | -0.006 | -0.004 | 0.011 | 0.008 | 0.012 | 0.011 | 0.095 | 0.016 | 0.086 | 0.040 |
| 11 | -0.003 | -0.003 | -0.004 | -0.004 | 0.007 | 0.008 | 0.010 | 0.014 | 0.024 | 0.047 | 0.044 | 0.049 |
| 12 | -0.004 | -0.005 | -0.004 | -0.002 | 0.012 | 0.009 | 0.012 | 0.012 | 0.075 | 0.032 | 0.045 | 0.052 |
| 13 | -0.004 | -0.004 | -0.004 | -0.002 | 0.014 | 0.012 | 0.016 | 0.012 | 0.028 | 0.021 | 0.027 | 0.038 |
| ค่าเฉลี่ย | -0.00362 | -0.00215 | -0.00385 | -0.00377 | 0.01062 | 0.00946 | 0.01300 | 0.01338 | 0.05885 | 0.04508 | 0.04785 | 0.05962 |

รายการอ้างอิง

1. “ปืนเถื่อน” อินเทอร์เน็ตเน็ตของ “คสช.” ลุกล้ำอาวุธ [Internet]. ทีมข่าวอาชญากรรม. 2557 [cited 6 มกราคม 2559]. Available from: <http://www.komchadluek.net/detail/20140604/185861.html>.
2. Friendly Thailand stares down the barrel of rising gun crime [Internet]. 2012 [cited 29 มีนาคม 2559]. Available from: <http://www.reuters.com/article/us-thailand-guns-idUSBRE89K0GE20121021>.
3. Ditrich H. Distribution of gunshot residues - The influence of weapon type. *Forensic Sci Int* 2012;220:85-90.
4. Schwartz RH, Zona. CA. A recovery method for airborne gunshot residue retained in human nasal mucus. *J Forensic Sci.* 1995;40:659-61.
5. Sarkis JES. Measurements of gunshot residues by sector field inductively coupled plasma mass spectrometry - Further studies with pistols. *Forensic Sci Int* 2007;172:63-66. *Forensic Sci Int.* 2007;172:63-6.
6. AJ S, DL E. *Current methods in forensic gunshot residue analysis.* Florida: CRC Press; 2000.
7. ณรงค์ กุลนิเทศ. การวิเคราะห์เขม่าดินปืนบนเสื้อผ้าแต่ละชนิดโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด. วารสารวิชาการอาชีวศึกษาและนิติวิทยาศาสตร์ โรงเรียนนายร้อยตำรวจ. 2558;1:25.
8. อัญญาอุท ผลภาค. เปรียบเทียบอนุภาคของเขม่าที่ได้รับจากการประกอบอาชีพและเขม่าปืนชนิด Lead-free. กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยศิลปากร; 2555.
9. เชิดพงศ์ ชุกลิน. ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของเขม่าปืนบนมือของผู้ยิงปืนและระยะเวลาภายหลังการยิงปืนที่วิเคราะห์โดยเทคนิค Inductively Coupled Plasma – Mass Spectrometry (ICP-MS). กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยศิลปากร; 2554.
10. Taudte RV, Beavis A, Blanes L, Cole N, Doble P, Roux C. Detection of Gunshot Residues Using Mass Spectrometry. *BioMed Research International.* 2014;2014:1-16.

11. มนตรี ดอนฟุงไฟร. การพัฒนามาตรฐานวิธีการตรวจพิสูจน์หาระยะยิงและรอยกระสุนปืนแบบไม่ทำลายตัวอย่าง โดยเทคนิค X-rayFluorescenceSpectroscopy (XRF) และ FT-IRSpectroscopy. วารสารกระบวนการยุติธรรม. 2555;5:118-21.
12. Saverio Romolo F, Margot P. Identification of gunshot residue: a critical review. Forensic Science International. 2001;119(2):195-211.
13. Vanini G, Destefani CA, Merlob BB, W.D.Carneiro MT, Filgueiras PR, Poppi RJ, et al. Forensic ballistics by inductively coupled plasma-optical emission spectroscopy: Quantification of gunshot residues and prediction of the number of shots using different firearms. Microchemical Journal. 2015;118:19-25.
14. Salles MO, Naozaka J, Bertotti M. A forensic study: Lead determination in gunshot residue. Microchemical Journal. 2012;101:49-53.
15. Reis ELT, Sarkis JES, Neto ON. A New Method for Collection and Identification of Gunshot Residues from the Hands of Shooters. J Forensic Sci. 2003;48.
16. labor TUDohahsatUDo. Occupational Health Guideline for Nitric acid. United State of America: U.S. Department of Health and Human Service; 1992.
17. Aliste M, Cha'vez LG. Analysis of gunshot residues as trace in nasal mucus by GFAAS. Forensic Sci Int. 2016;261:14-8.
18. พวงครามพันธุ์ จ. GunshotResidue Division. [เอกสารประกอบการเรียนการสอนรายวิชานิติวิทยาศาสตร์]. In press 2558. 
19. แม้น อมรสิทธิ์, คณະ. หลักการและเทคนิคการวิเคราะห์เชิงเครื่องมือ (Part II) Principles & techniques of instrument. กรุงเทพมหานคร: ขวนพิมพ์ 50 สิทธิพรแอสโซซิเอต; 2553.
20. ศิริรัตน์ พันธุ์เรือง. อินดักทีฟลิคัพเพิลพลาสมาอิมมิสชันสเปกโทรสโกปี. วารสารวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม. 2550:53-61.
21. ปรีชา หงส์ศักดิ์ศิลป์, สันตี สุขวัจฉ์. การวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของเขม่าปืนในกระสุนปืนชนิดที่ชนวนทำองค์ประกอบเป็นธาตุโลหะหนัก(ตะกั่ว) และทดสอบความคงอยู่ของเขม่าปืนโดยใช้ SEM/EDS. วารสารวิทยาศาสตร์ แห่งมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี. 2555:20-30.
22. Aggrawal A. APC Textbook of Forensic Medicine and Toxicology. Delhi: Avichal publishing; 2014.
23. Merli D, Brandone A, Amadasi A, Cattaneo C, Profumo A. The detection of gunshot residues in the nasal mucus of suspected shooters. International Journal of Legal Medicine. 2016;130(4):1045-52.

24. คชรัตน์ เฮงตระกูล. วิทยุ : ยูวอาชญากรและเหยื่ออาชญากรรม. 2555;2:15-21.
25. นงลักษณ์ วิรัชชัย. การกำหนดขนาดตัวอย่างในการทดสอบสมมุติฐานวิจัย. ใน:เอกสารประกอบการบรรยายเรื่อง “วิธีการที่ถูกต้องและทันสมัยในการกำหนดขนาดตัวอย่าง. โครงการ Research Zone โดยศูนย์การเรียนรู้ทางการวิจัย; 2555.
26. นันทนา กัญยานุวัฒน์, นุชนาท นาคำ. แนวทางการตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีทดสอบทางเคมี. กรุงเทพมหานคร: สำนักงานอุตสาหกรรมพื้นฐาน กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและเหมืองแร่; 2555.
27. วิลลาวัลย์ พงษ์พิทักษ์. การทดสอบความใช้ได้ของวิธีทดสอบและการประยุกต์ใช้เทคนิคทางสถิติ. กรุงเทพมหานคร: สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย; 2544.
28. Havekost DG, Peters CA, Koons RD. Barium and antimony distributions on the hands of non-shooters. J Forensic Sci. 1990;35:1096–114.
29. Aksoy Ç, Bora T, Şenocak N, Aydın F. A new method to reduce false positives due to antimony in detection of gunshot residues. Forensic Sci Int. 2015;250:87-90.
30. Wiltshire PEJ, Black S. The cribriform approach to the retrieval of palynological evidence from the turbinates of murder victims. Forensic Science International. 2006;163(3):224-30.
31. ระบบการหายใจ
[Internet]. สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน โดยพระราชประสงค์ในพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว 8 2526 [cited 29 มกราคม 2559]. Available from: <http://kanchanapisek.or.th/kp6/sub/book/book.php?book=8&chap=2&page=t8-2-infodetail20.html>.
32. Wolten GM, Nesbitt RS. On the mechanism of gunshot residue particle formation. J Forensic Sci. 1980;25(3):533–45.
33. Dalby O, Butler D, Birkett JW. Analysis of gunshot residue and associated material – a review. J Forensic Sci. 2010;55(4):924–43.
34. คุณิตา อ่อนละออ, พ.ต.ท.จิรวุฒ ฐนุรัตน์, ดร.วรรณา ศิริแสงตระกูล. การทดสอบประสิทธิภาพของสำลีกำในการเก็บตัวอย่างปืนชนิดอนินทรีย์. The National and International Graduate Research Conference. 2016:166-74.



ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

| | |
|------------------------------------|--|
| ชื่อ - สกุล | นางสาว สุรีย์พร ตันติศักดิ์ |
| วัน/เดือน/ปีเกิด | 7 สิงหาคม 2534 |
| ที่อยู่ | 190/108 หมู่7 ถนนปลายบาง ตำบลมหาสวัสดิ์ อำเภอบางกรวย จังหวัดนนทบุรี 11130 |
| อีเมล | k_kung@windowslive.com |
| ประวัติการศึกษา | |
| พ.ศ. 2557 | สำเร็จการศึกษา ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (สาขา วิทยาศาสตร์ชีวการแพทย์) คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต |
| พ.ศ. 2557-ปัจจุบัน | ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต หลักสูตรวิทยาศาสตร การแพทย์ (แขนงนิติวิทยาศาสตร์) คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย |
| ประวัติการนำเสนอ/ตีพิมพ์ผลงานวิจัย | |
| พ.ศ. 2557 | Oral Presentation โครงการเผยแพร่งานวิชาการและวิจัยสู่ชุมชน วิทยาศาสตร์การแพทย์สู่ชุมชน วันที่ 21 พฤษภาคม 2557 ณ ห้องประชุมบริษัท ที ที แอล จำกัด |
| พ.ศ. 2560 | Poster Presentation และ Proceeding การประชุมวิชาการ ระดับชาติ IAMBEST ครั้งที่ 2 วันที่ 31 พฤษภาคม ถึง 1 มิถุนายน 2560 ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณ ทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร |
| รางวัลหรือทุนการศึกษาที่ได้รับ | |
| พ.ศ. 2560 | รางวัลการนำเสนอบทความวิจัย ภาคโปสเตอร์ ระดับยอดเยี่ยม |