

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของอุปกรณ์ตรวจวัดแบบกระดาษกับวิธี
ห้องปฏิบัติการสำหรับตรวจหาปริมาณสารตะกั่วจากเขม่าปืนที่มี
A COMPARISON OF EFFICIENCY BETWEEN THE MICROFLUIDIC
PAPERBASED DEVICE AND LABOLATORY METHOD FOR
QUANTIFICATION OF LEAD FROM GUNSHOT RESIDUE



¹นลพรรณ วิเชียรโชติ และ ²นพรุจ ศักดิ์ศิริ

¹Nonlaphan Vichienchot and ²Noparuj Saksiri

มหาวิทยาลัยศิลปากร, ประเทศไทย

Silpakorn University, Thailand.

¹Nonlaphan_v@gmail.com

Received: November 3, 2022; Revised: May 25, 2023; Accepted: August 2, 2023

บทคัดย่อ

การตรวจวิเคราะห์ธาตุโลหะจากเขม่าปืนที่มีในปัจจุบันนั้น ต้องวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการที่มีเครื่องมือขั้นสูง มีราคาแพง และตรวจวิเคราะห์โดยผู้ที่มีความชำนาญในหน่วยงานตรวจพิสูจน์หลักฐานยังขาดแคลนเครื่องมือและบุคลากรดังกล่าว ทำให้ขั้นตอนวิเคราะห์ต้องใช้เวลาานาน งานวิจัยนี้จึงได้ออกแบบการวิจัยเชิงทดลองเพื่อศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างอุปกรณ์ตรวจวัดแบบกระดาษและวิธี ICP-MS สำหรับตรวจหาปริมาณสารตะกั่วจากเขม่าปืนที่มีมือ โดยเก็บตัวอย่างเขม่าปืนที่มีบริเวณหลังมือขวา ฝ่ามือขวา หลังมือซ้ายและฝ่ามือซ้ายจากอาสาสมัคร ประชากรไทยในเขตจังหวัดกาญจนบุรี จำนวน 10 คน มีอายุระหว่าง 20-50 ปี นำสารละลายที่ได้จากการสกัดตัวอย่าง หยดลงอุปกรณ์ตรวจวัดแบบกระดาษ สังเกตสีที่ปรากฏขึ้น ผลการทดลองไม่พบการปรากฏสีที่อุปกรณ์ แต่เมื่อบันทึกภาพและวัดค่าความเข้มสีโดยใช้โปรแกรม

¹นักศึกษา, สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

²รองศาสตราจารย์ พลตำรวจตรี ดร. สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

Imagel วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของปริมาณตะกั่วจากเขม่าปืนที่มีมือเปรียบเทียบระหว่างวิธีอุปกรณ์ตรวจวัดแบบกระดาษและวิธี ICP-MS พบว่า ปริมาณตะกั่วที่วิเคราะห์ได้จากทั้งสองวิธีให้ผลไม่แตกต่างกัน แสดงว่าอุปกรณ์ตรวจวัดแบบกระดาษที่ประดิษฐ์ขึ้นสามารถนำมาใช้ตรวจวิเคราะห์ปริมาณตะกั่วจากเขม่าปืนที่มีมือได้ในเบื้องต้น

คำสำคัญ : ประสิทธิภาพ, วิธีการทดลองห้องปฏิบัติการ

Abstract

Nowadays, the elemental analysis for gunshot residue (GSR) is based on many advanced instruments, a high cost, and the specialists. Due to the lack of these resources, the Police Forensic Science of Thailand had to take a long time to analyze the element in GSR. This research studied the efficiency of the uPADs compared th ICP-MS for the Pb element detected from GSR on the hands. The GSR was swabbed on the front and back of both hands of ten Thais aged 20 to 50 in Kanchanaburi. The swabbed samples were extracted and dropped on the uPADs to detect the color change of the paper, which related to the amount of Pb element in GSR. The presented results demonstrated that no color change was observed with the naked eye on the uPADs, whereas the color intensity detected from image J changed. An application of this method for determination Pb content in a GSR from uPADs showed on significantly different by comparison with ICP-MS, thus the uPADs can be used to initially analyze the Pb element in GSR.

Keywords: efficiency, Laboratory method

บทนำ

เนื่องด้วยตลอดระยะเวลาที่ผ่านมาในเหตุการณ์คดีอาชญากรรมที่มีความเกี่ยวข้องกับอาวุธปืนในประเทศไทยนั้นมีจำนวนที่สูงมาก ซึ่งจากสถิติคดีอาญา คดีความผิดที่รัฐเป็นผู้เสียหาย จำแนกตาม ประเภทความผิด พ.ศ.2560-2562 พบว่าทิวราชาอาณาจักรมีคดีประเภทความผิดที่มีความเกี่ยวข้องกับอาวุธปืน 20,000-30,000 คดี/ปี (มนตรี ดอนฟุ้งไพโร, 2564) โดยสถิติผลการปฏิบัติงานของงานตรวจอาวุธปืนและเครื่องกระสุน หน่วยงานในสังกัด สำนักงานพิสูจน์หลักฐาน

ตำรวจ ประจําปีงบประมาณ พ.ศ.2563 (เดือน ตุลาคม 2562- กันยายน 2563) พบว่า มีงานตรวจอาวุธปืนและเครื่องกระสุน จำนวน 39,194 เรื่อง แยกเป็นประเด็นการตรวจเขม่าปืนที่มี มีจำนวน 964 คดี (สำนักงานตำรวจแห่งชาติ, 2563)

ชนิดเขม่าปืนที่ได้รับการยอมรับและสามารถใช้เป็นหลักฐานประกอบในการดำเนินคดีทั้งในประเทศและระดับสากล คือเขม่าปืนที่เกิดจากการเผาไหม้ในส่วนของชนวนท้ายกระสุนปืน (primer mixture) โดยการตรวจวิเคราะห์ธาตุโลหะที่เป็นส่วนประกอบของชนวนท้ายกระสุนปืน จะพบธาตุตะกั่ว (Pb) แอนติโมนี (Sb) และ แบเรียม (Ba) เป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดทุกครั้งที่มีการยิงปืน ซึ่งหากตรวจพบธาตุเหล่านี้จะสามารถยืนยันได้ว่าเป็นเขม่าปืน จึงได้รับการยอมรับและใช้เป็นหลักฐานที่สำคัญในการสืบสวน เกี่ยวกับ คดีอาวุธปืน (Meng & Lee, 2007) ในการตรวจพิสูจน์หาผู้ต้องสงสัยนั้นจะทำการวิเคราะห์ธาตุโลหะดังกล่าวนี้เพื่อใช้ในการพิสูจน์และระบุตัวอาชญากรหรือผู้บริสุทธิ์ได้

ธนงศักดิ์ บุญมาก (2564) กล่าวถึงการตรวจวิเคราะห์ธาตุโลหะจากเขม่าปืนที่มีมือของสำนักงานพิสูจน์หลักฐานตำรวจ ในปัจจุบันใช้เทคนิค Inductively Coupled Plasma – Mass Spectrometry (ICP - MS) ที่สามารถควบคุมสิ่งรบกวนที่เกิดจากวิธีการสกัด มีสภาพไวในการวิเคราะห์สูง ช่วงความเข้มข้นของการสร้าง Calibration Curve กว้าง ใช้เวลาในการวิเคราะห์สั้นและมีความเที่ยงตรงและความแม่นยำสูง (Koons, 1998) หรือ เทคนิค Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS) ที่ทำการวัดโดยใช้ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานน้อย (อรอนงค์ แก้วบุตร, 2557)

เทคนิคการตรวจวิเคราะห์ดังกล่าวข้างต้น ต้องใช้เครื่องมือวิเคราะห์ที่มีราคาแพงเมื่อติดตั้งแล้วเคลื่อนย้ายได้ยาก บุคลากรต้องมีความชำนาญและทักษะเฉพาะในการใช้เครื่องมือ จึงได้มีแนวคิดในการพัฒนาการตรวจวิเคราะห์บนกระดาศเพื่อคัดกรองเบื้องต้น ช่วยลดต้นทุนและระยะเวลาในการตรวจวัด อีกทั้งอุปกรณ์ที่ทำจากกระดาศยังมีราคาถูก ใช้สารเคมีปริมาณน้อย ให้ผลวิเคราะห์ที่รวดเร็ว อุปกรณ์มีขนาดเล็กน้ำหนักเบา สามารถพกพาไปทดสอบในภาคสนามได้โดยสะดวก (Nishat et al., 2021)

ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาประสิทธิภาพของอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบกระดาศ สำหรับนำมาใช้ในการตรวจหาปริมาณสารตะกั่วจากเขม่าปืนที่มีมือ โดยอาศัยหลักการทางเคมี ติดตามความเปลี่ยนแปลงของความเข้มสีที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาเคมีระหว่างไซเดียม โรไดโซเนตกับตะกั่ว และนำผลการทดลองที่ได้มาเปรียบเทียบกับวิธี ICP-MS เพื่อเป็นแนวทางสำหรับการตรวจวิเคราะห์เบื้องต้นทั้งในห้องปฏิบัติการและงานภาคสนาม โดยให้ผลการทดสอบที่รวดเร็วถูกต้องและประหยัดค่าใช้จ่าย

วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างอุปกรณ์ตรวจวัดแบบกระดาษและวิธี ICP-MS สำหรับตรวจหาปริมาณสารตะกั่วจากเขม่าป็นที่มี

วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษานี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experiment Study) มีแบบแผนการทดลองแบบ One – Group Pretest – Posttest Design โดยไม่มีการสุ่มตัวอย่างเข้ากลุ่มทดลอง ทำการวัดผลการทดลองก่อนและหลังการทดลองเพื่อเปรียบเทียบค่า

1. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

อาสาสมัคร คือ ประชากรไทยในเขตจังหวัดกาญจนบุรี จำนวน 10 คน ที่มีอายุระหว่าง 20-50 ปี มีสภาพร่างกายและจิตใจพร้อมสำหรับการยิงปืน ทั้งที่มีพื้นฐานการยิงปืน และไม่มีพื้นฐาน ไม่ใช่บุคคลที่เคยสูญเสียอวัยวะ ได้แก่ แขน หรือ มือทั้งสองข้าง เนื่องจากอาจส่งผลกระทบต่อกรเก็บตัวอย่างเขม่าป็นที่มีได้

2. เครื่องมืออุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย

2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ ได้แก่

- 1) เครื่อง Inductively Coupled Plasma – Mass Spectrometry (ICP - MS)
- 2) เครื่องกวนสารละลายพร้อมให้ความร้อน
- 3) เครื่องชั่งไฟฟ้า 2 ตำแหน่ง
- 4) Ultrasonic water bath
- 5) กล้องถ่ายภาพ DSLR ยี่ห้อ Nikon D7200
- 6) อาวุธปืนพกชนิดอัตโนมัติ
- 7) Block screen
- 8) Micropipette
- 9) กระดาษกรองเบอร์ 1 เส้นผ่าศูนย์กลาง 1.25 เซนติเมตร
- 10) Beaker
- 11) หลอดทดลอง
- 12) กระบอกตวง
- 13) Dropper
- 14) ถังมือยาง
- 15) เทียนไขขี้ผึ้ง

2.2 สารเคมี ได้แก่

- 1) สารละลายมาตรฐานตะกั่ว (Lead Standard for AAS) ความเข้มข้น 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร (Pb in nitric acid)
- 2) Tartaric acid
- 3) Sodium hydrogen tartrate
- 4) กรดไนตริก (Nitric acid, HNO₃)
- 5) เลด(II) ไนเตรต (Lead (II) nitrate, Pb (NO₃)₂)
- 6) โซเดียมโรดิโซนเต ไดเบสิก (Sodium rhodizonate dibasic, C₆Na₂O₂)
- 7) Distilled water

2.3 การเตรียมสารเคมี

- 1) กรดไนตริก 5% ; เจือจาง Nitric acid 70% ในน้ำกลั่น
- 2) สารละลายมาตรฐานตะกั่ว ในช่วงความเข้มข้น 1-10 ppm
- 3) สารละลาย Tartrate Buffer ; 7.5 กรัม tartaric acid และ 9.5 กรัม sodium hydrogen tartrate ละลายในน้ำกลั่น 100 ml (2018, Supatana)
- 4) รีเอเจนท์ ละลาย Sodium Rhodizonate 0.0100 กรัม ในน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร

2.4 ขั้นตอนการเก็บเขม่าปืนที่มีมือ

ทำการเก็บตัวอย่างเขม่าปืนบนฝ่ามือและหลังมือทั้งสองข้าง ณ สนามยิงปืนรัตนวุธ ค่ายสุรสีห์ จังหวัดกาญจนบุรี จากอาสาสมัครให้ความร่วมมือเก็บตัวอย่างเขม่าปืน จำนวน 10 คน กำหนดให้อาสาสมัคร ล้างมือให้สะอาดก่อนยิงปืน ยิงปืนด้วยท่ายืน จับปืนด้วยมือทั้งสองข้าง ยิงจำนวน 3 นัด ติดกัน และทำการเก็บตัวอย่างทันที (Vanini et al., 2015) โดยใช้อาวุธปืนชนิดออตโตเมติก ยี่ห้อ BARETTA ขนาด 9 มม. ตลอดการทดลอง



ภาพที่ 1 ภาพแสดงท่าทางการยิงปืนของอาสาสมัคร

3. วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลตามความมุ่งหมายและสมมติฐานของการวิจัย โดยทำการประมวลผลข้อมูลในการทดลองด้วยโปรแกรม SPSS ซึ่งมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.1 การกำหนดค่าตัวแปร การกำหนดตัวแปรต่างๆ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ผลการทดลอง

1) วิธีการตรวจวิเคราะห์ปริมาณตะกั่ว เป็นข้อมูลระดับนามบัญญัติ (Nominal Scale) โดยกำหนดให้ 1= อุปกรณ์ตรวจวัดแบบกระดาษ 2= วิธี ICP-MS

2) ตำแหน่งที่เก็บเขม่าป็นที่มีมือ เป็นข้อมูลระดับนามบัญญัติ (Nominal Scale) โดยกำหนดให้ 1 = หลังมือขวา 2 = ฝ่ามือขวา 3 = หลังมือซ้าย 4 = ฝ่ามือซ้าย

3) ปริมาณของตะกั่วที่ตรวจวิเคราะห์ได้ เป็นข้อมูลระดับมาตราวัดอัตราส่วน (Ratio Scale) หน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อลิตร

3.2 วิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้นของกลุ่มตัวอย่าง ด้วยสถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ความถี่ ร้อยละ ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

3.3 วิเคราะห์การแจกแจงของข้อมูล โดยใช้ค่าสถิติแบบ Kolmogorov –Smirnov Test หากการแจกแจงของข้อมูลเป็นปกติ ใช้วิเคราะห์เปรียบเทียบปริมาณตะกั่วระหว่างวิธีตรวจวัดแบบกระดาษกับวิธี ICP-MS โดยใช้สถิติ Paired Sample t-test และหากการแจกแจงของข้อมูลไม่ปกติ ใช้สถิติ Wilcoxon Test

ผลการวิจัย

จากการศึกษาการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของอุปกรณ์ตรวจวัดแบบกระดาษกับวิธีห้องปฏิบัติการสำหรับตรวจหาปริมาณสารตะกั่วจากเขม่าป็นที่มีมือ สรุปผล ดังนี้

1. การวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้นของอาสาสมัคร

ข้อมูลเบื้องต้นของอาสาสมัคร จำนวน 10 คน ประกอบด้วยเพศ อายุ น้ำหนัก แสดงดังตารางที่ 4 ดังนี้

ตารางที่ 1 จำนวนและร้อยละของอาสาสมัคร

ข้อมูลทั่วไป		จำนวน (คน)	ร้อยละ
เพศ	หญิง	7	70
	ชาย	3	30
อายุ	18-30 ปี	2	20
	31-40 ปี	4	40
	41-60 ปี	4	40

น้ำหนัก	41-50 กิโลกรัม	1	10
	51-60 กิโลกรัม	5	50
	61-70 กิโลกรัม	1	10
	71-80 กิโลกรัม	2	20
	80 กิโลกรัมขึ้นไป	1	10

จากตารางที่ 1 พบว่าข้อมูลของอาสาสมัคร จำนวน 10 คน ประกอบด้วยเพศหญิง จำนวน 7 คน คิดเป็นร้อยละ 70 และเพศชายจำนวน 3 คน คิดเป็นร้อยละ 30 เมื่อจำแนกกลุ่มตัวอย่างตามช่วงอายุ พบว่า ส่วนใหญ่มีอายุอยู่ในช่วง 31-40 ปี คิดเป็นร้อยละ 40 และ 41-60 ปี คิดเป็นร้อยละ 40 น้ำหนักของอาสาสมัครส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 51-60 กิโลกรัม จำนวน 5 คน คิดเป็นร้อยละ 50

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ค่าต่ำสุด (min) ค่าสูงสุด (max) ของอาสาสมัคร

		ค่าเฉลี่ย	S.D.	Min	Max
อายุ (ปี)	เพศหญิง (N = 7)	32.86	8.95	19	49
	เพศชาย (N = 3)	52.67	4.51	48	57
น้ำหนัก (กิโลกรัม)	เพศหญิง (N = 7)	59.00	7.77	49	74
	เพศชาย (N = 3)	81.00	14.93	70	98

จากตารางที่ 2 พบว่า ในอาสาสมัครเพศหญิง จำนวน 7 คน มีค่าเฉลี่ยอายุเท่ากับ 32.86 ปี ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 8.95 โดยมีอายุน้อยที่สุดเท่ากับ 19 ปี และอายุมากที่สุดเท่ากับ 49 ปี มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักเท่ากับ 59 กิโลกรัม ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 7.77 โดยมีน้ำหนักน้อยที่สุดเท่ากับ 49 กิโลกรัม และน้ำหนักมากที่สุดเท่ากับ 74 กิโลกรัม

ในอาสาสมัครเพศชาย จำนวน 3 คน มีค่าเฉลี่ยอายุเท่ากับ 52.67 ปี ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 4.51 โดยมีอายุน้อยที่สุดเท่ากับ 48 ปี และอายุมากที่สุดเท่ากับ 57 ปี มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักเท่ากับ 81 กิโลกรัม ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 14.93 โดยมีน้ำหนักน้อยที่สุดเท่ากับ 70 กิโลกรัม และน้ำหนักมากที่สุดเท่ากับ 98 กิโลกรัม

2. การวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยเครื่องวิเคราะห์หาปริมาณธาตุโดยการตรวจวัดมวลของไอออนของธาตุ Inductively Couple Plasma Mass Spectrometer (ICP-MS) ดังตาราง 3

ตารางที่ 3 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าความเข้มข้นของตะกั่ว Pb (ppm) ด้วยวิธี ICP-MS

ตัวอย่างที่	บริเวณที่วิเคราะห์	ค่าความเข้มข้นของตะกั่ว	มือที่ถนัด
		Pb (ppm)	
1	หลังมือขวา	1.756	ข้างขวา
	ฝ่ามือขวา	1.681	
	หลังมือซ้าย	0.391	
	ฝ่ามือซ้าย	0.540	
2	หลังมือขวา	0.184	ข้างขวา
	ฝ่ามือขวา	1.628	
	หลังมือซ้าย	0.316	
	ฝ่ามือซ้าย	0.568	
3	หลังมือขวา	6.575	ข้างขวา
	ฝ่ามือขวา	2.232	
	หลังมือซ้าย	1.525	
	ฝ่ามือซ้าย	0.601	
4	หลังมือขวา	2.227	ข้างขวา
	ฝ่ามือขวา	4.073	
	หลังมือซ้าย	0.577	
	ฝ่ามือซ้าย	1.476	
5	หลังมือขวา	0.945	ข้างขวา
	ฝ่ามือขวา	1.740	
	หลังมือซ้าย	0.299	
	ฝ่ามือซ้าย	1.761	
6	หลังมือขวา	2.174	ข้างขวา
	ฝ่ามือขวา	1.905	
	หลังมือซ้าย	0.712	
	ฝ่ามือซ้าย	1.523	
7	หลังมือขวา	0.532	ข้างซ้าย
	ฝ่ามือขวา	1.257	

	หลังมือซ้าย	0.143	
	ฝ่ามือซ้าย	1.256	
8	หลังมือขวา	0.490	ข้างซ้าย
	ฝ่ามือขวา	0.676	
	หลังมือซ้าย	0.763	
	ฝ่ามือซ้าย	1.574	
9	หลังมือขวา	1.335	ข้างขวา
	ฝ่ามือขวา	1.145	
	หลังมือซ้าย	0.323	
	ฝ่ามือซ้าย	1.517	
10	หลังมือขวา	4.294	ข้างขวา
	ฝ่ามือขวา	5.460	
	หลังมือซ้าย	1.150	
	ฝ่ามือซ้าย	3.049	

ตารางที่ 4 แสดงค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ค่าต่ำสุด (Min) และค่าสูงสุด (Max) ของปริมาณธาตุตะกั่วจากเขม่าป็นที่มี Pb (ppm) จากอาสาสมัคร จำนวน 10 ราย ที่วิเคราะห์ด้วยวิธี ICP-MS

Sample (n=10)	Pb (ppm)			
	หลังมือขวา	ฝ่ามือขวา	หลังมือซ้าย	ฝ่ามือซ้าย
\bar{X}	2.051	2.180	0.620	1.387
S.D.	1.989	1.467	0.434	0.746
Min	0.184	0.676	0.143	0.540
Max	6.575	5.460	1.525	3.049

จากตารางที่ 4 พบว่าปริมาณธาตุตะกั่วที่ตรวจพบบริเวณหลังมือขวา มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.051 ppm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1.989 พบปริมาณตะกั่วที่น้อยที่สุดเท่ากับ 0.184 ppm และพบปริมาณตะกั่วมากที่สุดเท่ากับ 6.575 ppm ปริมาณธาตุตะกั่วที่ตรวจพบบริเวณฝ่ามือขวา

มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.180 ppm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1.467 พบปริมาณตะกั่วที่น้อยที่สุดเท่ากับ 0.676 ppm ปริมาณตะกั่วมากที่สุดเท่ากับ 5.460 ppm

อภิปรายผล

ผู้วิจัยขอเสนอสรุปผลการวิจัยโดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ 1) ผลการเปรียบเทียบปริมาณตะกั่วที่ตรวจวัด 2) เปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านการประหยัด โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. ผลการเปรียบเทียบปริมาณตะกั่วที่ตรวจวัด

จากการวิเคราะห์ข้อมูลผลการเปรียบเทียบปริมาณตะกั่วที่ตรวจวัดได้จากวิธี ICP-MS และวิธีอุปกรณ์ตรวจวัดแบบกระดาษ โดยพิจารณาเฉพาะค่าบวก พบว่าที่บริเวณหลังมือขวา และฝ่ามือขวา ในตัวอย่างที่ 1, 2, 3, 4, 6 และ 10 ปริมาณตะกั่วมีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งสอดคล้องกับที่ Werner et al. (2020) ได้ทำการศึกษาวิจัยเรื่องการเปรียบเทียบวิธีการเก็บรวบรวมตัวอย่าง 3 วิธีสำหรับตรวจหาเขม่าป็นที่มีมือ โดยใช้โซเดียม โรไดโซเนต (Sodium Rhodizonate) กล่าวว่าปฏิกิริยาเชิงบวกส่วนใหญ่ สังเกตได้จากมือข้างที่ถนัด (ขวา) เมื่อนำข้อมูลไปวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อเปรียบเทียบตามสมมติฐาน ปริมาณสารตะกั่วจากเขม่าป็นที่มีมือที่ตรวจวัดด้วยอุปกรณ์ตรวจวัดแบบกระดาษและวิธี ICP-MS มีค่าไม่แตกต่างกัน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ทวี และคณะ (2560) ที่ศึกษาวิจัยเรื่อง การพัฒนาชุดทดสอบแบบเรียบและตะกั่วด้วยอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบกระดาษ เปรียบเทียบกับวิธีการแกรไฟเฟออร์เนตอะตอมมิกแอสซอสชันสเปกโตรเมตรี พบว่าให้ผลที่ไม่แตกต่างกัน นั่นแสดงว่าวิธีการแบบกระดาษที่พัฒนาขึ้นเป็นวิธีการทางเลือกใหม่ที่มีความสมรรถนะเหมาะสมสำหรับประยุกต์ใช้เป็นชุดทดสอบปริมาณธาตุตะกั่วและแบบเรียบได้ เช่นเดียวกันกับการศึกษาของ รุ่ง คำปู้ (2562) ที่วิเคราะห์เปรียบเทียบปริมาณไนโตรทและไนเตรทในเขม่าป็นที่วัดได้ด้วยอุปกรณ์ตรวจวัดบนกระดาษ กับที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิคไอออนโครมาโตกราฟี พบว่าข้อมูลมีความสัมพันธ์กันเป็นอย่างดี

2. เปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านการประหยัด

จากการรวบรวมข้อมูลค่าใช้จ่าย อุปกรณ์ตรวจวัดแบบกระดาษ (μ PADs) ที่ประดิษฐ์ขึ้นจากกระดาษกรองมีราคาแผ่นละ 3.6 บาท โดยกระดาษกรอง 1 แผ่น สามารถประดิษฐ์อุปกรณ์ตรวจวัดได้ จำนวน 7 ชิ้น ขั้นตอนการประดิษฐ์และการใช้งานไม่ซับซ้อน อุปกรณ์มีน้ำหนักเบาสามารถเคลื่อนย้ายได้ สอดคล้องกับแนวคิดในการพัฒนาการตรวจวิเคราะห์บนกระดาษเพื่อคัดกรองเบื้องต้นของ Nishat และคณะ (2021) ที่กล่าวว่าช่วยลดต้นทุนและระยะเวลาในการตรวจวัด อีกทั้งอุปกรณ์ที่ทำจากกระดาษยังมีราคาถูก ใช้สารเคมีปริมาณน้อย ให้ผลวิเคราะห์ที่รวดเร็ว อุปกรณ์มีขนาดเล็กน้ำหนักเบา สามารถพกพาไปทดสอบในภาคสนามได้โดยสะดวก ส่วนในวิธี

Inductively coupled plasma-mass spectrometry (ICP-MS) หรือเครื่องตรวจวิเคราะห์ธาตุแบบรีเอมและแอนติโมนีในเขม่าป็นที่มีมือ พร้อมอุปกรณ์ จำนวน 1 เครื่อง มีราคา 10,580,000 บาท มีค่าซ่อมและบำรุงรักษาประมาณ 400,000 บาท ต่อปี ใช้งานตรวจวิเคราะห์ภายในห้องปฏิบัติการ และผู้ใช้งานต้องมีทักษะในการใช้งานเครื่องมือได้อย่างดี สอดคล้องกับที่ Scott C Wilschefski, M. R. B., (2019) กล่าวว่า แม้ว่าแมสเปกโตรเมทรีจะมีความเฉพาะเจาะจงสูง นักวิทยาศาสตร์และแพทย์ควรตระหนักถึงศักยภาพของการรบกวน และปัจจัยการวิเคราะห์ที่อาจส่งผลกระทบต่อความถูกต้องของผลลัพธ์ที่รายงาน ได้แก่ ค่าใช้จ่ายทุนเริ่มต้น (ค่าเครื่องมือและการตั้งค่าห้องปฏิบัติการ) และต้นทุนการดำเนินงานต่อเนื่อง ห้องปฏิบัติการต้องประเมินปัจจัยทั้งหมดเหล่านี้

อีกประเด็นหนึ่ง เครื่องมือ ICP-MS ในประเทศไทย ยังมีจำนวนน้อย ทำให้บางหน่วยงานขาดแคลนเครื่องมือ จึงต้องใช้เวลาส่งหลักฐานไปตรวจพิสูจน์ ซึ่งใช้ระยะเวลาานาน แต่วิธีอุปกรณ์ตรวจวัดแบบกระดาษ สามารถตรวจได้ทันที เหมาะกับเป็นการตรวจเบื้องต้น ดังนั้นเมื่อปริมาณตะกั่ว ไม่แตกต่างกัน และประหยัดกว่า สามารถนำวิธีอุปกรณ์ตรวจวัดแบบกระดาษมาใช้ได้ แต่มีข้อจำกัด ในเรื่องการตรวจสอบปริมาณตะกั่วที่มีค่าน้อย จึงสรุปได้ว่าอุปกรณ์ตรวจวัดแบบกระดาษที่ประดิษฐ์ขึ้นสามารถนำมาใช้ได้ถ้าตัวอย่างมีปริมาณความเข้มข้นของตะกั่วมากเพียงพอ

องค์ความรู้ที่ได้จากการศึกษา

การตรวจพิสูจน์หลักฐาน ผู้ตรวจพิสูจน์หลักฐานที่ปฏิบัติงานเกี่ยวกับด้านอาวุธปืนและเครื่องกระสุนปืนสามารถนำผลการวิจัยนี้ไปใช้เป็นแนวทางการตรวจหาปริมาณธาตุตะกั่วจากเขม่าป็นที่มีมือเบื้องต้น ส่วนในด้านของผู้ตรวจสถานที่เกิดเหตุ สามารถนำอุปกรณ์ตรวจวัดแบบกระดาษไปทดสอบหาปริมาณตะกั่วเบื้องต้นได้ในสถานที่เกิดเหตุหรือนำไปใช้ในห้องปฏิบัติการ เพื่อเป็นการคัดกรองงานเบื้องต้น โดยผลการวิจัยพบว่า ปริมาณสารตะกั่วจากเขม่าป็นที่มีมือที่ตรวจวัดด้วยอุปกรณ์ตรวจวัดแบบกระดาษและวิธี ICP-MS มีค่าไม่แตกต่างกัน แต่อย่างไรก็ตามปริมาณตะกั่วจากเขม่าป็นที่มีมือจำเป็นต้องยืนยันด้วยค่าที่แน่นอนเพราะผลการพิสูจน์นั้น เป็นการระบุยืนยันความเกี่ยวข้องกับการยิงปืน

เอกสารอ้างอิง

ชนงศักดิ์ บุญมาก. (2564). การตรวจพิสูจน์หลักฐานด้านอาวุธปืน. เอกสารประกอบการสอนรายวิชา 510694 หลักสูตรระดับมหาบัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยศิลปากร.

- ทวี ทนาวร, สุณิสา นิยมนา & ธนากร เปลื้องกลาง. (2560). การพัฒนาชุดทดสอบแบบเร็วและ ตะกั่วด้วยอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบกระดาษ. *วารสารวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา* 2(2), 1.
- มนตรี ดอนฟุ้งไพร. (2564). *นิยามความหมายของอาวุธปืนทางนิติวิทยาศาสตร์*. Retrieved 9 พฤษภาคม from
- รุ่ง คำปู้. (2562). *การพัฒนาอุปกรณ์ตรวจวัดบนกระดาษสำหรับตรวจวัดไนเตรท และไนไตรท์ใน เขม่าดินปืน* วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขานิติวิทยาศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- สำนักงานตำรวจแห่งชาติ. (2563). *สถิติผลการปฏิบัติงานของหน่วยงานในสังกัด สำนักงานพิสูจน์หลักฐานตำรวจ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2563 (ต.ค.62 - ก.ย.63)*.
- อรอนงค์ แก้วบุตร. (2557). *การกระจายตัวของอนุภาคเขม่าปืนในรถยนต์ที่ใช้ก่อเหตุยิงด้วยอาวุธ ปืนด้วยเทคนิคอะตอมมิก แอบซอร์พชัน สเปกโตรโฟโตเมตตรี*. วิทยานิพนธ์ปริญญา มหาบัณฑิต สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- Koons, R. D. (1998). Analysis of gunshot primer residue collection swabs by Inductively Coupled Plasma–Mass Spectrometry. *Journal of Forensic Science*, 1998(43), 748-754.
- Meng, H.-H., & Lee, H.-C. (2007). Elemental analysis of primer mixtures and gunshot residues from handgun cartridges commonly encountered in Taiwan. *Forensic Science Journal*, 2007(6 (1)), 39-54.
- Nishat, S., Jafry, A. T., Martinez, A. W., & Awan, F. R. (2021). Paper-based microfluidics: Simplified fabrication and assay methods. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 336, 129681.
- Nishat, S., Jafry, A. T., Martinez, A. W., & Awan, F. R. (2021). Paper-based microfluidics: Simplified fabrication and assay methods. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 336, 129681.
- Scott C Wilschefski, M. R. B. (2019). Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry: Introduction to Analytical Aspects. *The clinical biochemist reviews*, 115-133.
- Werner, D., Gassner, A.-L., Marti, J., Christen, S., Wyss, P., & Weyermann, C. (2020). Comparison of three collection methods for the sodium rhodizonate detection of gunshot residues on hands. *Science & Justice*, 60(1), 63-71.