Article

เทคนิคและวิธีการตรวจวิเคราะห์เขม่าปืนเพื่อสร้างความเชื่อมั่นในกระบวนการยุติธรรม: อดีต ปัจจุบัน และทิศทางในอนาคต

Techniques and Methods for Gunshot Residue Analysis to Enhance Confidence in the Justice Process: From the Past to Present and Future Direction

เยาวลักษณ์ เพิ่มพรสกุล*

Yaowaluck Phermpornsagul

กลุ่มงานตรวจอาวุธปืนและเครื่องกระสุน ศูนย์พิสูจน์หลักฐาน 2 อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี 20000

Firearms and Ammunition Sub-Division, Police Forensic Science Center 2

Muang District, Chonburi 20000, THAILAND

*Corresponding author E-mail: yaoyao3920256@gmail.com

วันที่รับบทความ: 18 มีนาคม 2564, วันแก้ไขบทความ: 28 มีนาคม 2564, วันตอบรับบทความ: 29 มีนาคม 2564

Received: 18 March 2021, Revised: 28 March 2021, Accepted: 29 March 2021

บทคัดย่อ

การตรวจพิสูจน์เขม่าปืนเป็นกระบวนการสำคัญในงานนิติวิทยาศาสตร์ ซึ่งเริ่มต้นจากการวิเคราะห์ลักษณะการกระจายตัวของเขม่าปืนที่เกิดขึ้น เทคนิคการเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์ผล จนถึงการตีความผลการวิเคราะห์จากเทคนิคที่เลือกใช้อย่างเหมาะสม เทคนิคการวิเคราะห์เขม่าปืนพัฒนาขึ้นมาตามลำดับ เริ่มจากการใช้วิธีทดสอบสี ต่อมาใช้เครื่อง Atomic absorption spectroscopy (AAS) เครื่อง Graphite furnace atomic absorption spectrometer (GFAAS) เครื่อง Neutron activation analysis (NAA) และใช้เครื่อง Inductive coupled plasma-mass spectrometer (ICP-MS) ในการวิเคราะห์เชิงปริมาณ แต่ละวิธีมีข้อดีและข้อด้อยแตกต่างกัน รวมทั้งการวิเคราะห์เชิงคุณภาพด้วยเทคนิค Scanning electron microscope-energy-dispersive X-ray spectroscopy (SEM-EDX) ที่สามารถระบุความเป็นเอกลักษณ์ของอนุภาคที่เป็นเขม่าปืนได้ มีการใช้ตัวอย่างเขม่าปืนมาตรฐานเพื่อทวนสอบผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค SEM-EDX ร่วมกับระบบการตรวจนับอนุภาคเขม่าปืนแบบอัตโนมัติ ความสำเร็จและความคุ้มค่าของการวิเคราะห์เขม่าปืนนั้นเกิดจากการพิจารณารูปแบบการเกิดเขม่าปืนและสภาพแวดล้อมในแต่ละกรณีที่ไม่เหมือนกัน นำไปสู่การตีความพฤติกรรมของกรณีได้ใกล้เคียงความจริงมากที่สุด

คำสำคัญ: นิติวิทยาศาสตร์, เขม่าปืน, การวิเคราะห์เชิงปริมาณ, การวิเคราะห์เชิงคุณภาพ

Abstract

Analysis of gunshot residue (GSR) is an important process in forensic science. There are three steps for the GSR analysis. The formation and distribution of GSR are firstly identified. Secondly, samples are collected and prepared for characterizations. Finally, the analyses by using appropriate techniques and the result interpretations are performed. The GSR analytical techniques have progressively been developed. Starting with a color test, atomic absorption spectroscopy (AAS), graphite furnace atomic absorption spectrometer (GFAAS), neutron activation analysis (NAA) and inductive coupled plasma-mass spectrometer (ICP-MS) have been used for the quantitative analysis. Each method has different advantages and disadvantages. The qualitative analysis includes scanning electron microscope with energy-dispersive X-ray spectroscopy (SEM-EDX) that can determine the unique particle of the GSR. Artificial standard GSR samples are used to verify the SEM-EDX analysis technique in conjunction with the automatic GSR particle counting system. The success and the cost-effectiveness of the GSR analysis are considered case-by-case of GSR distribution and their environment, leading to the most realistic interpretation of the case behavior.

Keywords: Forensic science, Gunshot residue, Quantitative analysis, Qualitative analysis

บทนำ

การรักษาความสงบเรียบร้อยภายในประเทศเป็นแผนย่อยของประเด็นความมั่นคง และแผนย่อยการพัฒนากระบวนการยุติธรรม สองแผนย่อยนี้ถูกกำหนดไว้ในยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปี ในกระบวนการยุติธรรมชั้นต้น การรวบรวมพยานหลักฐานของเจ้าหน้าที่ตำรวจพิสูจน์หลักฐานนั้นเป็นกระบวนการที่มีความสำคัญอย่างยิ่งยวด เพื่อนำเข้าสู่กระบวนการพิจารณาในชั้นศาล ในกรณีของคดีที่เกี่ยวกับอาวุธปืน ถือว่าเป็นคดีที่สะเทือนขวัญและได้รับความสนใจจากประชาชนและสื่อมวลชน กระบวนการเก็บรวบรวมและการวิเคราะห์พยานหลักฐานจากสถานที่เกิดเหตุมีความสำคัญต่อรูปคดีอย่างยิ่ง หลักฐานทางวิทยาศาสตร์ที่สำคัญอย่างหนึ่งคือเขม่าปืนจากผู้ต้องสงสัย ทั้งเสื้อผ้าที่คนร้ายสวมใส่และยานพาหนะที่ใช้ก่อเหตุ จากเหยื่อ หรือจากสถานที่เกิดเหตุ จะช่วยพนักงานสอบสวนให้สามารถนำคนผิดมาลงโทษได้

นับตั้งแต่เกิดเหตุการณ์ความไม่สงบในพื้นที่ 3 จังหวัดชายแดนภาคใต้ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2546 เป็นต้นมา สถิติการเกิดอาชญากรรมรุนแรงที่เกี่ยวข้องกับการใช้อาวุธปืนก่อเหตุเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและต่อเนื่องทำให้ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีการใช้อาวุธปืนก่อเหตุสูงที่สุดในทวีปเอเชีย และเป็น 2 เท่าของสหรัฐอเมริกาจากการรายงานของ University of Washington's Institute for Health and Metric Evaluation [1] อาวุธปืนที่ใช้ก่อเหตุมีหลากหลายชนิดและรูปแบบดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สถิติการใช้อาวุธปืนก่อเหตุในประเทศไทย รวบรวมโดยกองสารสนเทศ สำนักงานตำรวจแห่งชาติ [2]

ปี พ.ศ.	ปืนสั้น		ปืนยาว	รวม
2557	33,708		689	34,397
2558	29,949		139	30,088
ปี พ.ศ.	มีทะเบียน	ไม่มีทะเบียน	ปืนยาว	รวม
2559	6,978	19,957	783	27,718
2560	3,532	18,262	664	22,458
2561	6,517	26,099	732	33,348
2562	6,410	24,348	661	31,419

จากตารางที่ 1 ในปี พ.ศ. 2559 เริ่มมีการแยกรายงานจำนวนคดีที่เกี่ยวกับอาวุธปืนสั้นที่มีทะเบียนกับไม่มีทะเบียน จะเห็นได้ว่าอาวุธปืนสั้นที่ใช้ก่ออาชญากรรมเป็นแบบไม่มีทะเบียน (หรือเรียกว่า ปืนเถื่อน) มีจำนวน 4 เท่าของปืนสั้นที่มีทะเบียน ในขณะที่ปืนยาวมีจำนวนมากเช่นกัน รวมถึงปืนที่ไม่สามารถอนุญาตให้ประชาชนทั่วไปครอบครองได้ตามกฎหมาย ซึ่งปืนดังกล่าวคือปืนเล็กกล M16 และ AK-47 การก่อคดีที่ใช้อาวุธปืน M16 และ AK-47 ถือว่าเป็นคดีอุกฉกรรจ์ ทั้งนี้เนื่องจากอาวุธปืนสองชนิดนี้เคยเป็นอาวุธปืนสงคราม มีอำนาจการทำลายล้างที่รุนแรงและสะเทือนขวัญ

การตรวจพิสูจน์เขม่าปืนซึ่งเก็บตัวอย่างจากผู้ต้องสงสัยรวมเสื้อผ้าที่สวมใส่และยานพาหนะที่ใช้ก่อเหตุ จากที่เกิดเหตุ และจากวัตถุพยาน จะเป็นการรวบรวมพยานหลักฐานเพื่อนำไปสู่การจับกุม และฟ้องร้องดำเนินคดี นำตัวผู้กระทำความผิดมารับโทษตามกฎหมายจึงเป็นกระบวนการสำคัญอย่างยิ่งยวดในกระบวนการยุติธรรมชั้นต้น ที่จะทำให้ประชาชนมีความเชื่อมั่นและรู้สึกถึงความปลอดภัย นำไปสู่ความสงบเรียบร้อยในสังคม แต่ประสิทธิภาพและประสิทธิผลของการตรวจพิสูจน์เขม่าปืนขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น อุปกรณ์ เครื่องมือวิเคราะห์ ความเชี่ยวชาญของผู้ตรวจพิสูจน์ ฐานข้อมูลที่ใช้ เทคนิควิธีการที่ใช้ ฯลฯ โดยเฉพาะการตรวจพิสูจน์เขม่าปืนในคดีที่ใช้อาวุธปืนเล็กกล M16 และ AK-47 ในการก่อเหตุที่พบน้อยมากในงานวิจัยทั้งในและต่างประเทศ ดังนั้นการพัฒนางานด้านตรวจพิสูจน์เขม่าปืนไม่เพียงแต่จะสร้างฐานข้อมูลและเป็นหลักฐานมัดตัวผู้กระทำความผิดเท่านั้น แต่ยังเป็นการสร้างความเชื่อมั่นในกระบวนการยุติธรรม

บทความนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อเผยแพร่เทคนิคการตรวจวิเคราะห์เขม่าปืนที่ใช้อยู่ ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน ยืนยันกระบวนการที่ได้มาซึ่งหลักฐานสำคัญของกระบวนการยุติธรรมชั้นต้น และการพัฒนาสร้างองค์ความรู้ใหม่อย่างต่อเนื่อง รวมทั้งเสนอแนวคิดเทคนิคใหม่ในการตรวจพิสูจน์เขม่าปืนให้มีประสิทธิภาพและประสิทธิผลมากขึ้น คาดว่าจะเพิ่มความเชื่อมั่นในกระบวนการยุติธรรมชั้นต้นให้กับประชาชนได้

ทฤษฎีการเกิดเขม่าปืน

เขม่าปืน (Gunshot residues, GSRs) คืออนุภาคขนาดเล็กที่ปลดปล่อยออกมาจากการยิงปืน ซึ่งเขม่าปืนเกิดจากการเผาไหม้ของสสารมาจาก 3 ส่วน คือ 1) การระเบิดของแก๊ปปืน (Primer) 2) การเผาไหม้ของดินขับกระสุนปืน (Propellant) และ 3) มาจากส่วนอื่น ๆ เช่น ส่วนของดินปืนที่ยังไม่เผาไหม้หรือเผาไหม้ไม่หมด (Unburned particles) เศษโลหะที่หลุดออกจากปลอกกระสุนปืน หัวกระสุนปืน ลำกล้องปืน หรือสารอื่น ๆ ที่ใช้

เพื่อวัตถุประสงค์จำเพาะ เช่น สารหล่อลื่นหัวกระสุน สารเพิ่มความเหนียวดินปืน สารแต้มสีหัวกระสุนเพื่อการจำแนกประเภท เรียกรวมทั้งหมดนี้ว่า “เขม่าปืน” [3]

กลไกการเกิดเขม่าปืนเริ่มต้นเมื่อมีการลั่นไกทำให้เข็มแทงชนวน (Firing pin) ตีลงบนแก๊ปปืนอย่างแรง แรงกระตุ้นนี้ทำให้เกิดการระเบิดและให้ประกายไฟส่งความร้อนไปยังดินส่งกระสุนปืนเกิดการเผาไหม้ [4] ซึ่งการลุกไหม้ของดินส่งกระสุนทำให้เกิดการสลายตัวและเปลี่ยนรูปร่างกลายเป็นแก๊ส [5] ซึ่งประกอบด้วย คาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon dioxide) คาร์บอนมอนอกไซด์ (Carbon monoxide) ไอน้ำ กลุ่มของแก๊สไนโตรเจน [4] ในขณะเดียวกันความร้อนมหาศาลนี้ทำให้เกิดแรงดันแก๊สในการขับเคลื่อนลูกกระสุนปืนจากปลอกกระสุนปืนไปยังลำกล้องและออกไปทางปากกระบอกปืน

ก่อนการยิงปืนที่อุณหภูมิห้อง (25 °C) ภายในแก๊ปปืนจะมีความดันประมาณ 14 psi เมื่อเกิดการยิงปืน แก๊ปปืนจะระเบิดที่อุณหภูมิ 1,500-2,000 °C ความดันจะเปลี่ยนจาก 14 psi เป็น 1,400 psi โดยประมาณ ซึ่งจะเป็นตัวจุดชนวนให้ดินขับกระสุนปืนเกิดการเผาไหม้ทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นเป็นประมาณ 3,600 °C และจะมีความดันสูงถึง 40,000 psi ซึ่งในขั้นตอนการจุดชนวน (การระเบิดของแก๊ปปืน) จะทำให้ธาตุสำคัญที่มีในแก๊ปปืน คือ แอนติโมนี (Sb) แบเรียม (Ba) และตะกั่ว (Pb) ระเหิดกลายเป็นไอหรือควัน เมื่ออุณหภูมิลดลงไอของแต่ละธาตุเหล่านี้จะกลับมาเป็นอนุภาคของแข็ง ตารางที่ 2 แสดงจุดเดือดและจุดหลอมเหลวของโลหะส่วนผสมที่สำคัญของแก๊ปปืน [6]

ตารางที่ 2 แสดงจุดเดือดและจุดหลอมเหลวของโลหะสำคัญที่มีในแก๊ปปืน

ธาตุโลหะ	จุดหลอมเหลว (^{o}C)	จุดเดือด (^{o}C)
แอนติโมนี (Sb)	630	1,380
แบเรียม (Ba)	725	1,130
ตะกั่ว (Pb)	327	1,620

จากการที่มีความดันสูงขึ้นนั้นเขม่าปืนที่เกิดขึ้นจากการยิงปืนจะถูกขับออกมาจากตัวปืนในหลากหลายช่องทางที่มีที่ว่าง เช่น ในกรณีที่เป็นปืนพกรีวอลเวอร์จะมีช่องว่างระหว่างโม่ปืนกับโครงปืนดังรูปที่ 1(ก) บริเวณนี้เขม่าปืนจะถูกขับออกมา ส่วนในกรณีปืนพกกึ่งอัตโนมัติเมื่อลำเลื่อนถอยหลังเขม่าปืนก็จะถูกขับมาด้วยทางช่องคายปลอก (Ejection port) ดังรูปที่ 1(ข) ทำให้มีโอกาสพบเขม่าปืนบริเวณนิ้วหัวแม่มือกับนิ้วชี้มากในกรณีที่ใช้ปืนพกรีวอลเวอร์และปืนพกกึ่งอัตโนมัติในการก่อเหตุ ส่วนเขม่าปืนที่พ่นออกมาทางปากกระบอกปืนนั้นก็มีส่วนที่จะปลิวไปติดที่มือและบริเวณอื่น ๆ ได้เช่นกัน ในขณะที่เขม่าปืนที่เกิดจากการยิงปืนยาวลูกซองและปืนยาวแบบอัตโนมัตินั้นแสดงการเกิดเขม่าดังรูปที่ 1(ค) และ 1(ง)

ความเข้าใจเกี่ยวกับการเกิดและการกระจายตัวของเขม่าปืนแต่ละประเภทจะนำไปสู่การวางแผนเก็บตัวอย่างได้อย่างเหมาะสมและมีประสิทธิภาพ การตั้งสมมติฐานการเกิดและการแพร่กระจายของเขม่าปืนในบริเวณที่เกิดเหตุ การเลือกวิธีเก็บตัวอย่างเพื่อนำไปวิเคราะห์ผล และการตีความผลการวิเคราะห์ให้ใกล้เคียงความจริงมากที่สุด ดังนั้นสำหรับการตรวจพิสูจน์เขม่าปืนไม่เพียงแต่จะช่วยยืนยันได้ว่าผู้ต้องสงสัยเกี่ยวข้องกับอาวุธปืนเท่านั้น หากแต่ยังช่วยติดตามร่องรอยทางเดินของเขม่าปืน (Trace elements) ของผู้ต้องสงสัยและวัตถุหรือวัสดุใกล้เคียง เช่น เสื้อผ้า หมวกนิรภัย ยานพาหนะที่ใช้ก่อเหตุ เป็นต้น [11]

(ก) (ข)

(ค) (ง)

รูปที่ 1 *เขม่าปืนที่ถูกขับออกมาจากโครงปืนในรูปแบบต่าง ๆ ก) เขม่าปืนจากปืนพกรีวอลเวอร์ [7] ข) เขม่าปืนจากปืนพกกึ่งอัตโนมัติ [8] ค) เขม่าปืนจากปืนยาวลูกซอง [9] และ ง) เขม่าปืนจากปืนยาวแบบอัตโนมัติ [10]*

ประวัติการตรวจพิสูจน์เขม่าปืน

การวิเคราะห์เขม่าปืนเริ่มต้นตั้งแต่ปี ค.ศ. 1933 โดยเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการตำรวจของเมืองเม็กซิโกซิตี้ ประเทศเม็กซิโก [5,12] ซึ่งทดสอบว่าทางเข้าของบาดแผลเป็นรูกระสุนปืนหรือไม่โดยใช้สาร Dermal nitrate หรือ พาราฟิน เรียกว่าการทดสอบสีเฉพาะจุดเป็นวิธีการแรกที่ได้รายงานการมีอยู่ของเขม่าปืนจากตัวอย่างวัตถุพยาน [13] ถึงแม้ว่าการใช้วิธีนี้จะเป็นเพียงข้อสันนิษฐานว่า “อาจจะ” เกี่ยวข้องกับเขม่าปืน เนื่องจากเกิดผลที่เป็น False positive กล่าวคือ เขม่าที่เก็บตัวอย่างจากมือของพนักงานโรงงานแบตเตอรี่ให้ผลการทดลองที่เหมือนกันกับตัวอย่างเขม่าปืน แต่ในบางประเทศยังคงใช้วิธีนี้เพื่อการตรวจสอบเบื้องต้น [14]

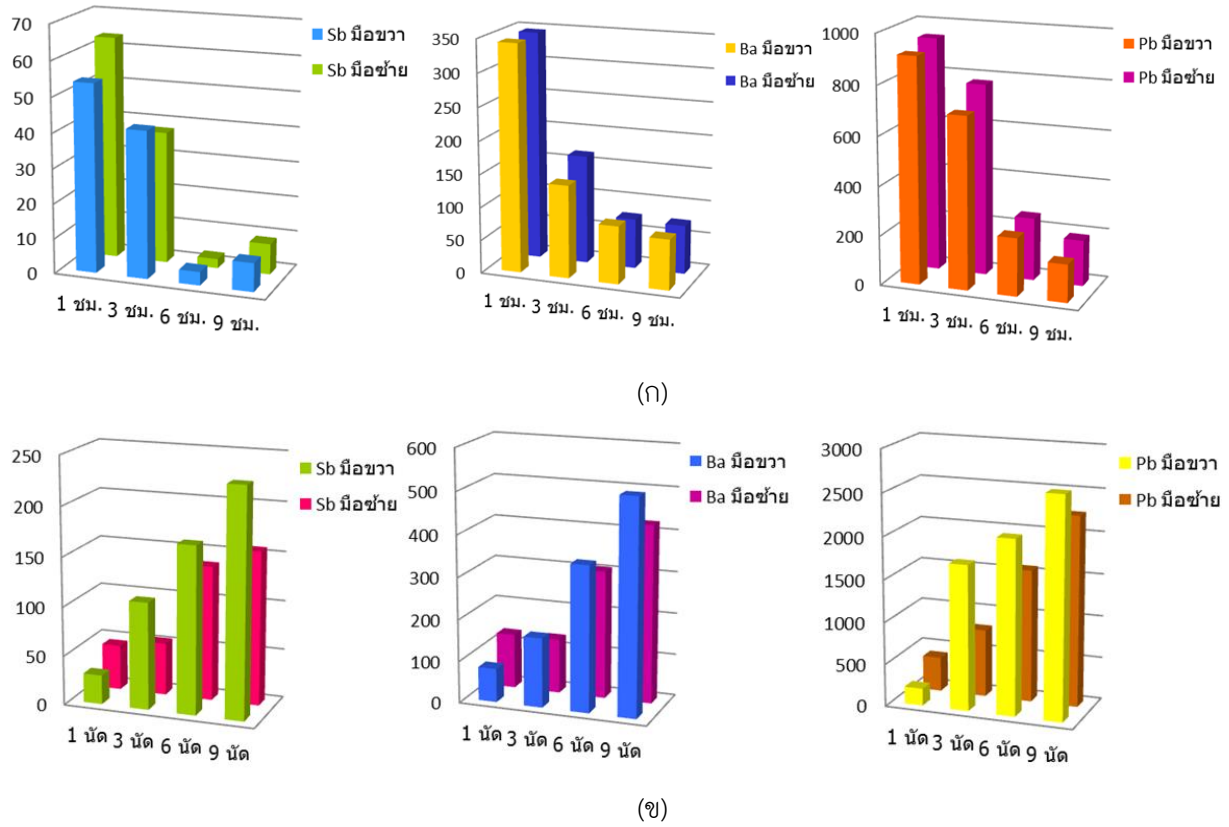
วิธีวิเคราะห์ทดสอบเขม่าปืนที่เป็นที่ยอมรับทั่วโลกคือการใช้เครื่องมือวิทยาศาสตร์ขั้นสูง เช่น Atomic absorption spectroscopy (AAS) เครื่อง Neutron activation analysis (NAA) เครื่อง Inductively coupled plasma-mass spectrometer (ICP-MS) เครื่อง Scanning electron microscopy (SEM) แต่ละเครื่องจะมีข้อดีข้อด้อยแตกต่างกัน เช่น เทคนิค NAA ไม่สามารถวิเคราะห์ธาตุตะกั่ว (Pb) ได้ ใช้เวลาวิเคราะห์ค่อนข้างนาน และอาศัยความเชี่ยวชาญของบุคลากรสูง เนื่องจากเป็นเทคนิคที่เกี่ยวข้องกับแหล่งกำเนิดนิวตรอนค่าใช้จ่ายจึงค่อนข้างสูง [15] ข้อดีคือสามารถวิเคราะห์ธาตุได้หลายชนิดและหลายตัวอย่างพร้อมกัน เหมาะสำหรับการวิเคราะห์เพื่อหา

ธาตุในตัวอย่างเขม่าปืนได้ถึง 13 ชนิด [16-20] สามารถคำนวณหาระยะการยิงปืนจากการวิเคราะห์เขม่าปืนได้ [21]

เทคนิค AAS ถูกนำมาเพื่อใช้ตรวจวัดธาตุตะกั่ว (Pb) ในตัวอย่างเขม่าปืน แต่ทำให้การวิเคราะห์ธาตุแอนติโมนี (Sb) และธาตุแบเรียม (Ba) ไม่แม่นยำ [21] วิธีนี้ได้รับการแก้ไขโดยการเพิ่มประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ของธาตุแอนติโมนี (Sb) และธาตุแบเรียม (Ba) ด้วยเตาหลอดกราไฟต์แทนทาลัมและแท่งคาร์บอน (Electrothermal atomizer) [12] นอกจากนี้ ในปี ค.ศ. 1982 Ravreby [22] ได้พัฒนาเทคนิค AAS โดยใช้ Flameless atomic absorption spectroscopy (FAAS) ที่สามารถแสดงผลการวิเคราะห์ได้ทีละธาตุ และเก็บตัวอย่างโดยใช้เทคนิคการ Swab [23-24] ผลการวิจัยพบว่าสตรอนเชียม (Sr) สังกะสี (Zn) ทองแดง (Cu) แอนติโมนี (Sb) ตะกั่ว (Pb) โพแทสเซียม (K) นิกเกิล (Ni) แบเรียม (Ba) และเหล็ก (Fe) (ได้มาจากการแต้มสีที่ปลายกระสุนเพื่อตรวจสอบติดตาม) และดีบุก (Sn) เกิดจากหัวกระสุน ปลอกกระสุน และแก๊ปปืน ผลลัพธ์ที่ได้นี้ช่วยระบุกระสุนที่ใช้ได้ ข้อด้อยของการใช้วิธีการ AAS ที่ Koons และคณะ ได้อธิบายไว้คือการสกัดแอนติโมนี (Sb) จากตัวอย่างที่ไม่สมบูรณ์ กล่าวคือสกัดได้เพียง 60-70% เท่านั้น แม้ว่าตะกั่ว (Pb) และแบเรียม (Ba) จะสามารถสกัดได้ดีกว่าก็ตาม [24] อาจเป็นเพราะการเลือกใช้สารดูดซับหรือองค์ประกอบของเมทริกซ์ที่แตกต่างกัน [25]

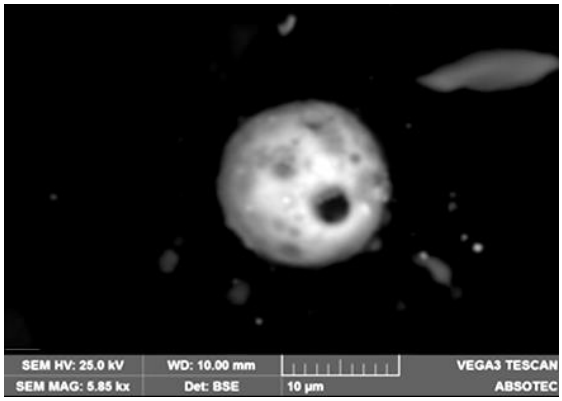
เทคนิค ICP-MS สามารถใช้ร่วมกับ Atomic emission spectroscopy (AES) เพื่อตรวจสอบการมีอยู่ของแบเรียม (Ba) จากตัวอย่างที่ได้จากการ Swab ข้อดีคือการวิเคราะห์แบเรียม (Ba) ด้วยเทคนิค ICP-AES จะมีความไวมากกว่า AAS และมีความถูกต้องแม่นยำกว่าเมื่อต้องวิเคราะห์ความเข้มข้นของตัวอย่างในช่วงกว้าง และมีการใช้เทคนิค ICP-MS เพื่อวิเคราะห์เขม่าปืนที่มาจากแก๊ปปืน วิธีนี้ให้ผลได้ดีกว่าเทคนิค Graphite furnace atomic absorption spectroscopy (GFAAS) เพราะสามารถตรวจจับไอโซโทปของแอนติโมนี (Sb) แบเรียม (Ba) และตะกั่ว (Pb) [25] สอดคล้องกับงานวิจัยของ Zeichner และคณะ [26] ซึ่งใช้เทคนิค ICP-MS เพื่อวิเคราะห์หาอัตราส่วนไอโซโทปของตะกั่ว (Pb) ในตัวอย่างเขม่าปืน การวิเคราะห์ไอโซโทปของตะกั่ว (Pb) มีประโยชน์มากเมื่อตัวอย่างเขม่าปืนเก็บมาจากแหล่งที่มาหลายประเภทจากสถานที่เกิดเหตุ เช่น อาวุธปืนหลายชนิด หรือการปนเปื้อนจากสารอนินทรีย์สิ่งแวดล้อม เป็นต้น Zeichner ได้เสนอว่า ไอโซโทปจากเขม่าปืนของผู้ต้องสงสัย (ผู้ยิง) สามารถเชื่อมโยงกับเขม่าปืนที่เก็บจากบาดแผลของเหยื่อได้ อย่างไรก็ตามเทคนิค ICP-MS ยังพบปัญหาของการปนเปื้อนสารตะกั่ว (Pb) ที่เกิดจากการวิเคราะห์ตัวอย่างก่อนหน้า รูปที่ 2 แสดงผลการวิเคราะห์เขม่าปืนด้วยเทคนิค ICP-MS จากปืนเล็กกล M16 และ AK-47 เก็บตัวอย่างจากมือซ้ายและมือขวาของผู้ยิงเปรียบเทียบระยะเวลาเก็บตัวอย่างหลังยิงปืน 1 3 6 และ 9 ชั่วโมง (รูปที่ 2(ก)) และเปรียบเทียบกับจำนวน 1 3 6 และ 9 นัด (รูปที่ 2(ข)) ยืนยันได้ว่ามีการตรวจพบปริมาณธาตุหลัก ที่ความเข้มข้นแตกต่างกันในช่วงกว้าง [27]

เทคนิคการตรวจวิเคราะห์เขม่าปืนที่กล่าวมาข้างต้นเป็นเทคนิควิเคราะห์เชิงปริมาณที่มีค่าใช้จ่ายและความเชี่ยวชาญบุคลากรสูงและเกิดสารเคมีเหลือทิ้งปริมาณมาก เหมาะสมกับการวิเคราะห์ตัวอย่างเป็นจำนวนมาก ผลการวิเคราะห์ทำให้ได้ปริมาณของสารชี้บ่งว่าเป็นตัวอย่างเขม่าปืน คือแอนติโมนี (Sb) แบเรียม (Ba) และตะกั่ว (Pb) บ่อยครั้งพบว่าการมีอยู่ของแอนติโมนี (Sb) แบเรียม (Ba) และตะกั่ว (Pb) มาจากสิ่งแวดล้อมทำให้เกิด False positive ตัวอย่างเช่นตะกั่ว (Pb) และแบเรียม (Ba) มาจากการเผาไหม้ คนงานพ่นสีและอุตสาหกรรมแบตเตอรีเป็นต้น ดังนั้นถึงแม้ผลการวิเคราะห์จะได้ปริมาณสารที่แม่นยำ แต่ก็ไม่ได้หมายความว่าจะสามารถระบุได้ชัดเจนว่าเป็นตัวอย่างเขม่าปืน [28]

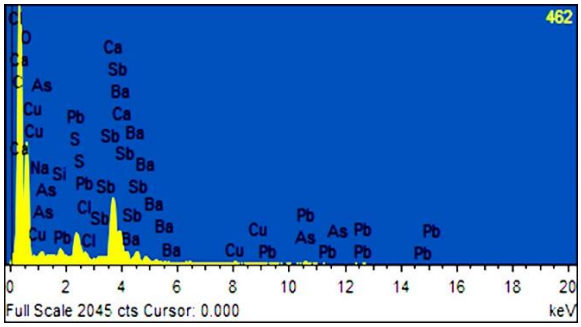


รูปที่ *2 ตัวอย่างผลการวิเคราะห์เชิงปริมาณที่ได้จากเทคนิค ICP-MS เปรียบเทียบผลระหว่างมือซ้ายและมือขวา (ก) เก็บตัวอย่างจากปืนเล็กกล M16 หลังจากผ่านไป 1 3 6 และ 9 ชั่วโมง และ (ข) เก็บตัวอย่างจากปืนเล็กกล AK-47 1 3 6 และ 9 นัด*

วิธีการวิเคราะห์เชิงคุณภาพจึงถูกนำมาใช้เพื่อยืนยันความเป็นเอกลักษณ์ของตัวอย่างเขม่าปืน ได้แก่เทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนร่วมกับการวิเคราะห์การกระจายตัวของพลังงาน โดยเครื่องตรวจจับรังสีเอกซ์ (Scanning electron microscope-energy-dispersive X-ray spectroscopy, SEM-EDX) เทคนิค SEM อาศัยลำอิเล็กตรอนส่องกราดพื้นผิวตัวอย่าง ทำให้ได้ภาพที่มีกำลังขยายสูงถึง 100,000 เท่า ใช้ร่วมกับเทคนิค EDX ที่ใช้ลำรังสีเอกซ์พุ่งชนอะตอมของสารตัวอย่างสามารถวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุได้จากช่วงการเปลี่ยนแปลงชั้นพลังงานของอะตอม ในช่วง 50 ปี ที่ผ่านมาเทคนิค SEM-EDX ได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นอย่างมากจากเจ้าหน้าที่พิสูจน์หลักฐานหลาย ๆ ประเทศ ในการวิเคราะห์ตัวอย่างเขม่าปืนเนื่องจากสามารถระบุตัวอย่างได้ชัดเจนว่าอนุภาคที่มองเห็นจาก SEM เป็นอนุภาคของเขม่าปืน มีการบัญญัติศัพท์ที่เกี่ยวข้องกับเขม่าปืน เช่น “Characteristic” หมายถึงเป็นอนุภาคเกิดจากเขม่าปืน และคำว่า “Consistent with GSR” หมายถึงเป็นอนุภาคอาจจะเกิดจากเขม่าปืน รวมทั้งกำหนดอนุภาคที่มีลักษณะจำเพาะ (Unique particle) ดังรูปที่ 3 ทำให้ผู้วิเคราะห์สามารถตัดสินใจได้ถูกต้องมากขึ้นทั้งนี้ต้องอาศัยผลการวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุจากเทคนิค EDX ร่วมด้วยดังรูปที่ 4 นอกจากนี้ยังมีการวิเคราะห์ตัวอย่างเขม่าที่มาจากอาชีพอื่น ๆ (ที่ไม่ได้เกิดจากการยิงปืน) พบว่าไม่มีตัวอย่างใด ๆ เลยที่ให้ผลเหมือนกันกับการวิเคราะห์เขม่าปืน ผลการทดลองนี้ยืนยัน “Characteristic” ของเขม่าปืนได้ดี [29-31]



รูปที่ 3 *ตัวอย่างอนุภาคที่มีลักษณะจำเพาะ เรียกว่า Unique particle [27]*



รูปที่ 4 *ตัวอย่างสเปคตรัมพลังงานที่ระบุองค์ประกอบธาตุของเขม่าปืน [27]*

ข้อดีของเทคนิค SEM-EDX คือมีความสามารถในการวิเคราะห์ทั้งทางสัณฐานวิทยาและทางเคมีของตัวอย่างแต่ละอนุภาคได้ ช่วยในการยืนยันชัดเจนว่าเป็นอนุภาคเขม่าปืนหรือไม่ และ SEM-EDX ยืนยันได้ว่าบุคคลนั้นเกี่ยวข้องกับการยิงปืน [32] ข้อด้อยของเทคนิค SEM-EDX คือใช้เวลาค้นหาอนุภาคที่เป็น Unique particle ค่อนข้างนานเนื่องจากต้องส่องกราดตลอดพื้นผิวของตัวอย่าง ปัญหานี้แก้ไขโดยการพยายามเก็บตัวอย่างให้มีความเข้มข้นสูง รวมทั้งมีการใช้โปรแกรมค้นหาและนับจำนวนอนุภาคเขม่าปืนจากตัวอย่าง ซึ่งโปรแกรมค้นหาอัตโนมัตินี้ได้รับการทวนสอบโดยตัวอย่างทดสอบมาตรฐาน (เป็นตัวอย่างเขม่าปืนเทียมถูกนำมาใช้เพื่อทดสอบความชำนาญของเจ้าหน้าที่วิเคราะห์) และเป็นมาตรการประกันคุณภาพในห้องปฏิบัติการทางนิติวิทยาศาสตร์ [33] ปัจจุบันห้องปฏิบัติการทางนิติวิทยาศาสตร์ในต่างประเทศส่วนใหญ่ใช้เทคนิค SEM-EDX ในการวิเคราะห์เขม่าปืนที่ได้จากแก๊ป [11,34-37]

การศึกษาเชิงเปรียบเทียบการวิเคราะห์เขม่าปืนโดยใช้เทคนิค SEM-EDX และ ICP-MS ในงานวิจัยของ Taudte และคณะ [38] และ Steffen และคณะ [39] ได้เสนอผลการวิเคราะห์ที่เก็บรวบรวมของตัวอย่างเขม่าปืนด้วยการใช้เทคนิค SEM-EDX ซึ่ง Steffen จำแนกตัวอย่างออกเป็นสามกลุ่มโดยใช้ซอฟต์แวร์การวิเคราะห์คือ “อนุภาคคล้ายเขม่าปืน (Consistent with GSR) อนุภาคเขม่าปืน (Characteristic) และอนุภาคจากสิ่งแวดล้อม (Environmental particle)” ซึ่งเป็นการยากที่จะแยกความแตกต่างระหว่าง เขม่าปืน และอนุภาคสิ่งแวดล้อมที่คล้ายคลึงกัน ดังนั้นการวัดอัตราส่วนไอโซโทปด้วยเทคนิค ICP-MS ถูกนำมาใช้เป็นคุณสมบัติเสริมของเทคนิค SEM-EDX เพื่อลดความเสี่ยงของการจำแนกประเภทที่ไม่ถูกต้อง [40]

เทคนิคการเก็บตัวอย่างเขม่าปืนและเงื่อนไขแวดล้อม

โดยทั่วไปความสำเร็จของการวิเคราะห์เขม่าปืนและการจำลองเหตุการณ์การเกิดอาชญากรรมจากสถานที่เกิดเหตุขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ เช่น วิธีการเก็บตัวอย่าง ตำแหน่งของการเก็บตัวอย่าง เวลาที่ผ่านไปหลังการยิง เป็นต้น เนื่องจากมีวิธีการเก็บตัวอย่างเขม่าปืนได้หลายวิธี ดังนั้นจึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องเลือกเทคนิคที่เหมาะสมที่สุดเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ตัวอย่างสูงสุด เทคนิคการ Swab ใช้เก็บตัวอย่างในการวิเคราะห์เชิงปริมาณ [23-24] คือการใช้สารเคมีที่เหมาะสมเป็นตัวทำละลายในการตรวจหาปริมาณอินทรีย์สาร เช่น การหยด

กรดไนตริก 5% ลงบนก้านสำลีจากนั้นคลึงก้านสำลีบนบริเวณเก็บตัวอย่างจาก ดังรูปที่ 5 นำไปสู่การวิเคราะห์ด้วย AAS หรือ ICP-MS ส่วนเทคนิค Tape lift คือการใช้เทปกาวแปะลงบนพื้นผิวที่ต้องการเก็บตัวอย่างแล้วยกขึ้น (ดังรูปที่ 6-7) เหมาะกับการเก็บตัวอย่างที่พื้นผิวราบเรียบ เช่น มือ ผม และยานพาหนะ (ประตู เบาะหลัง ที่นั่ง หน้าต่างและหมวกนิรภัย) สารอนินทรีย์ตกค้างจะถูกรวบรวมจากพื้นผิว [12] ตัวอย่างจากเทปกาวจะถูกวางลงบนแท่นวางตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์หาเขม่าปืนด้วยเทคนิค SEM-EDX ต่อไป [41-43] อย่างไรก็ตามเทคนิคนี้ไม่เหมาะสมกับการเก็บตัวอย่างเขม่าปืนจากเสื้อผ้าเนื่องจากพื้นที่เข้าถึงตัวอย่างมีจำกัด การสูญเสียความเหนียวของเทปและการมีเส้นใยผ้าและการมีอนุภาคที่ไม่ต้องการอื่น ๆ ปะปนทำให้การวิเคราะห์ SEM ยากขึ้น [44]

รูปที่ 5 *เทคนิคการ Swab ด้วยก้านสำลี*

(ก) (ข)

รูปที่ 6 *อุปกรณ์ในการเก็บตัวอย่าง (ก) Tape lift ด้วย ชุด GSR kit (ข) ถุงมือไนไตรด์*

รูปที่ *7 การเก็บตัวอย่างโดยใช้ ชุด GSR kit เทคนิค Tape lift*

เขม่าปืนที่ตกอยู่ในที่เกิดเหตุและจากผู้ต้องสงสัยโดยปกติจะเสื่อมสภาพตามระยะเวลา การคงอยู่ของเขม่าปืนตามระยะเวลาจึงเป็นเรื่องยากที่จะสรุปได้เนื่องจากขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น กิจกรรมตามปกติของผู้ต้องสงสัย หรือการถูกรบกวนจากสิ่งแวดล้อมในสถานที่เกิดเหตุ [5] ดังนั้นจึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องเข้าใจปัจจัยของเวลาที่ผ่านไปของการเก็บตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์หาอนุภาคเขม่าปืนของแต่ละแหล่งเก็บตัวอย่าง เช่น จากเสื้อผ้า หมวก นิรภัย จากมือ และวัสดุอื่น ๆ ในการเก็บตัวอย่างจากแหล่งเหล่านี้สามารถช่วยในการพิจารณาว่าจำเป็นต้องเก็บตัวอย่างหรือไม่ บริเวณใดควรเน้นเป็นพิเศษหรือควรละเลย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่ผู้ต้องสงสัยยิงอาวุธปืนในช่วงเวลาหนึ่งก่อนที่จะถูกควบคุมตัวเพื่อเก็บตัวอย่างเขม่าปืน [45] เขม่าปืนจากผู้ต้องสงสัยอาจถูกทำลาย หรือลดน้อยลง หรือร่างกายได้รับการชะล้างก่อนการชันสูตรพลิกศพ [46] ในทุก ๆ 1 ถึง 3 ชั่วโมงหลังจากการยิงปืน จำนวนอนุภาคเขม่าปืนจะสูญหายไปอย่างรวดเร็ว [45] อย่างไรก็พบว่ามีรายงานการตรวจพบตัวของอนุภาคเขม่าปืนที่เก็บตัวอย่าง 5 วันหลังจากยิงปืนได้ แต่ส่วนใหญ่เจ้าหน้าที่แนะนำให้เก็บตัวอย่างจากผู้ต้องสงสัยภายใน 6 ชั่วโมงแรกหลังจากยิงปืน [47]

การวิเคราะห์เขม่าปืนในปัจจุบัน

ความท้าทายของการวิเคราะห์เขม่าปืนในยุคปัจจุบันคืออาวุธปืนที่ทันสมัยขึ้นและกระสุนปืนปลอดสารพิษ กล่าวคือกระสุนชนิดไร้สารตะกั่ว (ไม่มีสารประกอบตะกั่ว (Pb) อยู่ในแก๊ปปืน) กระสุนปืนเหล่านี้ได้รับการพัฒนาเพื่อหลีกเลี่ยงความเป็นพิษจากตะกั่ว (Pb) ของผู้ยิง ในปี ค.ศ. 1980 บริษัท Dynamit Nobel AG (ก่อตั้งโดย Alfred Nobel นักเคมีชาวสวีเดนในปี ค.ศ. 1865) ได้พัฒนากระสุนปืนชนิดใหม่เพื่อลดระดับสารตะกั่วในอากาศที่เรียกว่า Sintox [48] ปัจจุบันมีการวิเคราะห์เขม่าปืนเชิงเปรียบเทียบระหว่างกระสุนปืนชนิดมีสารตะกั่วและไร้สารตะกั่วจากกระสุนปืนรุ่น Geco Sinoxid™ (มีสารตะกั่ว) รุ่น Geco Sintox™ และ Hirtenberger Lead Free™ (ไร้สารตะกั่ว) พบว่าองค์ประกอบที่สำคัญของเขม่าปืนจากกระสุนที่มีสารตะกั่วของรุ่น Geco Sinoxid™ คือ แบเรียม (Ba) แอนติโมนี (Sb) และตะกั่ว (Pb) ในขณะที่ส่วนประกอบหลักของเขม่าปืนจากกระสุนปืนที่ไม่มีสารตะกั่วคือแอนติโมนี (Sb) และแบเรียม (Ba) จากรุ่น Geco Sintox™ และสตรอนเชียม (Sr) จากรุ่น Hirtenberger

Lead Free™ ตามลำดับ กระสุนทั้งสามประเภทนี้ให้อนุภาคที่มีสัณฐานเฉพาะตัวหรือ Characteristic ตามนิยามของ Wolten [49] แต่ในปัจจุบันงานวิจัยเกี่ยวกับเขม่าปืนจากกระสุนปืนที่ไร้สารตะกั่วยังมีน้อยมากและจำกัดที่เขม่าปืนจากอาวุธปืนสั้นที่มีการอธิบายอนุภาคที่คล้ายคลึงกับเขม่าปืน (Consistent with GSR) ที่เกิดจากกระสุนไร้สารตะกั่ว [50] แต่ไม่พบงานวิจัยเกี่ยวกับเขม่าปืนไร้สารตะกั่วที่มาจากปืนยาว

Rayana A. Costa และคณะ ได้ศึกษาเขม่าปืนที่เกิดจากกระสุนไร้สารตะกั่วของปืนพกรีวอลเวอร์ขนาด 0.38 และปืนพกกึ่งอัตโนมัติขนาด 0.40 โดยเปรียบเทียบเทคนิคที่ใช้ในการทดสอบคือเทคนิค Colorimetric เทคนิค SEM-EDX และ ICP-MS เป็นฟังก์ชันของจำนวนนัด Costa รายงานว่า SEM แสดง "อนุภาคเขม่าปืน (Characteristic)" สำหรับเขม่าปืนจากกระสุนไร้สารตะกั่วเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ผ่านมา นอกจากนี้ผลของการวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุด้วยเทคนิค EDX ของอนุภาคที่เป็นเอกลักษณ์ (Unique particle) ได้ผลลัพธ์หลัก ๆ คือ อะลูมิเนียม (Al) คาร์บอน (C) คลอรีน (Cl) โครเมียม (Cr) ทองแดง (Cu) ออกซิเจน (O) เหล็ก (Fe) โพแทสเซียม (K) โมลิบดีนัม (Mo) กำมะถัน (S) ซิลิคอน (Si) สตรอนเชียม (Sr) ไทเทเนียม (Ti) และสังกะสี (Zn) Costa คาดว่าองค์ประกอบหลักที่ตรวจพบคือทองแดง (Cu) และสังกะสี (Zn) นั้นได้เกิดจากโลหะผสมระหว่างสองธาตุที่หลุดมาจากปลอกกระสุนปืน จากผลการวิจัยพบว่าเทคนิค ICP-MS เป็นเทคนิคที่มีความไวสูง รวดเร็วมีประสิทธิภาพ และสามารถจำแนกองค์ประกอบได้ สามารถใช้ในการตรวจหาปริมาณไอโซโทปของ Ba^{138} Sb^{121} และ Pb^{208} ได้ นอกจากนี้เทคนิค ICP-MS ให้ผลลัพธ์ที่เป็นบวกสำหรับแบเรียม (Ba) ตะกั่ว (Pb) และแอนติโมนี (Sb) โดยมีความเข้มข้นสูงสุด 10.9 μg/L 4.20 μg/L และ 0.119 μg/L ตามลำดับเช่นเดียวกับสังกะสี (Zn) ไทเทเนียม (Ti) สตรอนเชียม (Sr) โมลิบดีนัม (Mo) โครเมียม (Cr) ทองแดง (Cu) และอะลูมิเนียม (Al) [51]

ตัวอย่างงานวิจัยภายในประเทศไทย ที่พัฒนาการตรวจพิสูจน์เขม่าปืน ได้แก่ กลุ่มนักวิจัยจากมหาวิทยาลัยศิลปากร อัษฎายุทธ ผลภาค และคณะ [52] เสนอการเปรียบเทียบลักษณะอนุภาคของเขม่าปืนชนิดไร้สารตะกั่วกับเขม่าจากอาชีพอื่น ๆ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการตรวจพิสูจน์เขม่าปืน และการกันผู้บริสุทธิ์ออกจากการตัดสินและลงโทษทางอาญาด้วยเทคนิค SEM-EDX การวิจัยพบว่าอนุภาคส่วนใหญ่มีซิลิกอน (Si) เป็นองค์ประกอบหลักและมีอลูมิเนียม (Al) เป็นธาตุองค์ประกอบรอง และพบได้ว่าอนุภาคที่ได้มาจากช่างติดตั้งและซ่อมกระจกรถยนต์ คนงานโรงงานผลิตภาชนะเซรามิค และช่างสีรถยนต์มีธาตุองค์ประกอบเหมือนกับเขม่าปืนชนิดไร้สารตะกั่ว แต่เมื่อวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานจุลโครงสร้างพบว่าอนุภาคที่ได้รับจากแหล่งกำเนิดในการประกอบอาชีพมีสัณฐานที่แตกต่างจากอนุภาคเขม่าปืนชนิดไร้สารตะกั่ว ในปีเดียวกัน ปรีชา หงษ์ศักดิ์ศิลป์ และ สันติ์ สุขวัจน์ [53] ได้เสนอผลการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของเขม่าปืนชนิดไร้สารตะกั่ว ผลการวิจัยพบว่ารูปแบบของอนุภาคเขม่าปืนชนิดไร้สารตะกั่ว มีธาตุอันเป็นองค์ประกอบของอนุภาคเขม่าปืนแตกต่างจากเดิม โดยจะมีธาตุ ซิลิกอน (Si) อะลูมิเนียม (Al) และโพแทสเซียม (K) เป็นหลัก และมีส่วนประกอบของธาตุสังกะสี (Zn) กับทองแดง (Cu) ปะปนอยู่บ้าง ซึ่งสามารถตรวจพบอนุภาคเขม่าปืนบนตัวเสื้อได้แม้เวลาจะผ่านไปแล้ว 7 ชั่วโมง ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของ Wolten และคณะ [28,29] ต่อมาในปี พ.ศ. 2560 พุทธิชาต มิ่งชะนิด และ ณรงค์ กุลนิเทศ [54] นักวิจัยจากมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา ได้เสนอผลการศึกษาระยะเวลาการคงอยู่ของเขม่าปืนพกกึ่งอัตโนมัติขนาด 9 มิลลิเมตร จากผู้ยิงที่จำแนกตามอาชีพพบว่าปริมาณสารสำคัญที่ตรวจวัดจาก ICP-MS มีค่าความแตกต่างกันในแต่ละอาชีพ และเมื่อเวลาผ่านไปปริมาณสารสำคัญลดลงอย่างรวดเร็วอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้เป็นประโยชน์มากต่องานตรวจพิสูจน์เขม่าปืน

คุณิตา อ่อนละออ และคณะ [55] จากมหาวิทยาลัยขอนแก่น ได้รายงานผลการศึกษาเปรียบเทียบปริมาณโลหะในเขม่าปืนที่ได้จากการเก็บตัวอย่างด้วยก้านสำลีชนิดก้านพลาสติกขนาดใหญ่และขนาดเล็ก และก้านสำลีชนิดก้านไม้ โดยวิเคราะห์ปริมาณโลหะด้วยเทคนิค GFAAS พบว่าก้านสำลีชนิดก้านไม้มีแนวโน้มพบเขม่าปืน

ปริมาณเฉลี่ยมากที่สุด แต่ผลการทดลองพบว่าปริมาณสารสำคัญจากก้านสำลีแต่ละประเภทที่ตรวจพบไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ผลการศึกษาครั้งนี้สอดคล้องกับ สรัลนุช ชูกลิ่น ที่รายงานผลการศึกษาเปรียบเทียบปริมาณโลหะในเขม่าปืนโดยใช้เทคนิค ICP-MS ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2554 [56] ต่อมา พลอยไพลิน แก้วบุญเรือง และคณะ [57] รายงานผลการศึกษารูปแบบการกระจายตัวของเขม่าปืนชนิดอินทรีย์สารที่เกิดหลังจากการยิงในแต่ละบริเวณของมือ โดยเก็บเขม่าปืนจากบนมือของอาสาสมัคร 3 คน ด้วยวิธี Swab โดยใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลาย ซึ่งยิงด้วยกระสุนปืนขนาด .38 Special จำนวน 1 นัด แล้ววิเคราะห์ด้วยเทคนิค High performance liquid chromatography (HPLC) พบการกระจายที่บริเวณหลังมือและมีส่วนน้อยที่พบที่ฝ่ามือ จากข้อมูลที่ได้สามารถบ่งชี้รูปแบบการกระจายตัวของเขม่าปืนชนิดอินทรีย์สารในเบื้องต้นได้ อย่างไรก็ตามการเพิ่มจำนวนนัดของกระสุนในการยิงจะให้รูปแบบการกระจายตัวอย่างที่ชัดเจนยิ่งขึ้น

ในปี พ.ศ. 2563 วัฒนชัย อาพร [58] ได้เสนอผลการวิจัยเรื่อง “การตรวจหาเขม่าปืนในโพรงจมูกด้วยเทคนิค ICP-MS” เพื่อแก้ปัญหาการคงอยู่ของเขม่าปืน (บริเวณมือของผู้ยิง) ซึ่งวัฒนชัยตั้งสมมติฐานว่าเขม่าปืนที่อยู่ในโพรงจมูกจะมีการคงอยู่ได้นานกว่าที่อื่น ๆ ผลการวิจัยยืนยันได้ว่าสามารถตรวจพบธาตุหลัก แอนติโมนี (Sb) ตะกั่ว (Pb) และแบเรียม (Ba) ในปริมาณต่ำ วัฒนชัยจึงเสนอว่าธาตุอื่น ๆ ที่ตรวจพบจากการยิงปืนสามารถนำมาใช้ประกอบการพิจารณาเป็นตัวชี้วัดได้ว่าบุคคลต้องสงสัยจากเหตุอาชญากรรมเกี่ยวข้องกับการยิงปืนได้โดยอาศัยหลักการของการตรวจหาเขม่าปืนและธาตุต่าง ๆ ที่สามารถพบได้ในเครื่องกระสุนปืน เช่น ธาตุเหล็ก (Fe) แคลเซียม (Ca) นิกเกิล (Ni) และทองแดง (Cu) แต่ปริมาณธาตุสำคัญจากการยิงปืนที่พบบริเวณมือมีค่ามากกว่าที่พบในโพรงจมูก โดยสัดส่วนที่มากกว่านั้นสามารถหาอัตราส่วนที่แน่นอนได้แต่ไม่พบความแตกต่างของปริมาณเขม่าปืนบนมือข้างซ้ายและขวาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

Phermpornsagul และคณะ [27] ได้เสนอผลการศึกษาวิจัยเชิงเปรียบเทียบระหว่างเทคนิค ICP และ SEM-EDX โดยเก็บตัวอย่างเขม่าปืนของปืนเล็กกล M16 และ AK-47 จากอาสาสมัคร Phermpornsagul และคณะ ได้ข้อสรุปว่าสามารถตรวจพบอนุภาคที่เป็นเอกลักษณ์ (Unique particle) จากปืนเล็กกล M16 และ AK-47 ได้เช่นกัน ปริมาณความเข้มข้นของธาตุหลักเพิ่มขึ้นตามจำนวนนัดที่ยิงและมีปริมาณลดลงเมื่อเวลาเก็บตัวอย่างผ่านไป (ดังรูปที่ 2) การวิเคราะห์เชิงปริมาณด้วยเทคนิค ICP ให้ผลได้แม่นยำและวิเคราะห์ได้หลายปริมาณธาตุ แต่การเตรียมตัวอย่างค่อนข้างยุ่งยาก สิ้นเปลืองสารเคมีและไม่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ในขณะที่เทคนิค SEM-EDX เป็นเทคนิคการวิเคราะห์เชิงคุณภาพ ขั้นตอนการเก็บและเตรียมตัวอย่างไม่ยุ่งยากแต่ใช้เวลาในการตรวจหา Unique particle ค่อนข้างนาน แต่ให้ผลแม่นยำเช่นกันซึ่งต้องใช้ความเชี่ยวชาญของบุคลากรเป็นพิเศษ

สรุป ข้อคิดเห็น และข้อเสนอแนะ

จากการรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับเขม่าปืนพบว่าแต่ละวิธีการมีข้อดีและข้อด้อยแตกต่างกันสำหรับประเทศไทยเริ่มมีรายงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเขม่าปืนมากขึ้น ทั้งนี้อาจจะเป็นเพราะเป็นเรื่องเฉพาะของอาชีพและเกี่ยวข้องกับการบังคับใช้กฎหมาย ตารางที่ 3 แสดงการรวบรวมเปรียบเทียบข้อดีและข้อด้อยของแต่ละเทคนิค รวมทั้งที่ใช้อยู่ในประเทศไทย

ตารางที่ 3 แสดงการเปรียบเทียบข้อดี/ข้อด้อย ของเทคนิคการวิเคราะห์ตัวอย่างเขม่าปืน

เทคนิควิธีการวิเคราะห์	ข้อดี	ข้อด้อย
Dermal nitrate (Color test)	- เก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ได้รวดเร็ว - สังเกตผลได้ง่าย	- เกิด False positive ได้บ่อย - เหมาะกับการทดสอบเบื้องต้น
NAA	- สามารถวิเคราะห์ธาตุได้หลายชนิดและหลายตัวอย่างพร้อมกัน - เก็บตัวอย่างด้วยเทคนิค Swab	- ไม่สามารถวิเคราะห์ธาตุตะกั่วได้ - ใช้เวลาวิเคราะห์ค่อนข้างนาน - อาศัยความเชี่ยวชาญของบุคลากรสูง - มีราคาแพง
AAS	- สามารถตรวจวัด ตะกั่ว (Pb) - แก้ปัญหาของเทคนิค NAA - เก็บตัวอย่างด้วยเทคนิค Swab - วิเคราะห์เชิงปริมาณ	- การวิเคราะห์ แอนติโมนี (Sb) และแบเรียม (Ba) ไม่แม่นยำ - มีการใช้สารสกัดตัวอย่าง (ตัวทำละลาย)
FGAAS	- เพิ่มประสิทธิภาพการวิเคราะห์ของแอนติโมนี (Sb) และ แบเรียม (Ba) - แสดงผลการวิเคราะห์ได้ทีละธาตุ - วิเคราะห์เชิงปริมาณ	- ค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์ต่อครั้งสูง - ค่าใช้จ่าย (ลงทุน) เครื่องมือสูงมาก
ICP-AES, ICP-MS	- วิเคราะห์เชิงปริมาณที่มีความแม่นยำสูง และวิเคราะห์ความเข้มข้นได้ในช่วงกว้าง - มีความไวมากกว่า AAS - สามารถวิเคราะห์ไอโซโทปของ ตะกั่ว (Pb) ได้	- ค่าใช้จ่าย (ลงทุน) เครื่องมือสูงมาก - ใช้สารสกัดตัวอย่าง (ตัวทำละลาย) - สิ้นเปลืองสารเคมีและไม่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม
SEM-EDX	- วิเคราะห์เชิงคุณภาพ - ยืนยันได้ทันทีว่าเป็นเขม่าปืนถ้าตรวจพบ “Unique particle” - ยืนยันด้วยองค์ประกอบธาตุ ตะกั่ว (Pb) แอนติโมนี (Sb) และ แบเรียม (Ba) - มีแนวทางในการควบคุมคุณภาพชัดเจนจากการมีตัวอย่างมาตรฐานเพื่อการทวนสอบผลการวิเคราะห์ - ใช้สารเคมีน้อย	- ต้องอาศัยความเชี่ยวชาญในการค้นหา “Unique particle” - การลงทุนเครื่องมือและโปรแกรมค้นหาอนุภาค Unique particle แบบอัตโนมัติค่อนข้างสูง (ใกล้เคียงกับ ICP-MS)

ในอนาคตอันใกล้นี้ ผู้เขียนเชื่อมั่นว่า พัฒนาการด้านการตรวจพิสูจน์เขม่าปืนจะเป็นไปในทิศทางที่เป็นประโยชน์ต่อกระบวนการยุติธรรมมากขึ้น โดยมีการนำ SEM-EDX มาใช้เพื่อยืนยันการมีอยู่ของเขม่าปืนจากตัวอย่าง จากนั้นถ้าหากจำเป็นต้องทราบถึงปริมาณขององค์ประกอบธาตุที่สำคัญ แอนติโมนี (Sb) ตะกั่ว (Pb) และ แบเรียม (Ba) ก็สามารถเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์เพิ่มเติมได้ในภายหลัง สิ่งที่สำคัญไม่น้อยไปกว่าผลการทดสอบคือการควบคุมคุณภาพของการทดสอบในห้องปฏิบัติการ ซึ่งห้องปฏิบัติการควรจะดำเนินการตามแนวทางของห้องปฏิบัติการคุณภาพตามมาตรฐาน ISO/IEC 17025 ทั้งนี้เพื่อยืนยันความสามารถและความน่าเชื่อถือของผลการทดสอบนั่นเอง

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณผู้บังคับบัญชาศูนย์พิสูจน์หลักฐาน 2 (จังหวัดชลบุรี) ทุกระดับชั้นที่ให้โอกาสผู้เขียนในการศึกษาวิจัยด้านเขม่าปืน ขอบคุณผู้ร่วมงานทุกท่านที่ช่วยเหลือเก็บวิเคราะห์ข้อมูล ขอขอบคุณ พ.ต.ท.ศุภฤกษ์ อาภรรัตน์ ข้าราชการบำนาญ สถาบันนิติวิทยาศาสตร์ ที่กรุณาให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ และขอบคุณ ผศ.ดร. ปัญญา แขน้ำแก้ว คณะวิทยาศาสตร์ ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ช่วยเหลือตรวจทานและปรับแก้ต้นฉบับ

เอกสารอ้างอิง

[1] C. Wotton, “Thailand has a higher rate of gun-related deaths than the us”, Elite+ magazine, from http://www.eliteplusmagazine.com/home/content/177/8. Access on March 16th, 2021.

[2] “Directory listing of files/crimes”, Central Information Technology Center, Royal Thai Police (CITC, 2021), from http://pitc.police.go.th/dirlist/dirlist.php?dir=/crimes. Access on January 3rd, 2021.

[3] G. H. Michael and G. H. Lucien, “Shooting incident reconstruction”, 2nd edition, Academic Press (2011).

[4] B. J. Heard, “Handbook of firearm and ballistics: Examining and interpreting forensic evidence”, Antony Rowe Ltd., England (1997).

[5] H. H. Meng and B. Caddy, “Gunshot residue analysis: A review”, Journal of Forensic Sciences, 42, 553-570 (1997).

[6] F. Nunziata and M. Morin, “On the formation and on the surface of inorganic lead, barium and antimony based gunshot residues: A thermodynamic approach”, Journal of Forensic Science & Criminology, 5, 303 (2017).

[7] Wrongful Convictions Blog, “Gunshot residue evidence: What it really takes”, from https://images.app.goo.gl/S4zwqoBeGYL26EaC6. Access on March 16th, 2021.

[8] The Writer's Guide to Weapons, “How much can a gunshot injury say about the gun used?”, from https://images.app.goo.gl/BA5no9yZJGtREhLz5. Access on March 16th, 2021.

[9] Keith Borer Consultants, “Firearms Residues”, from https://images.app.goo.gl/pSuYJXDbGmbewNS19. Access on March 16th, 2021.

[10] The New Daily, “The AR-15 rifle's bloody history in the USA”, from https://images.app.goo.gl/kvjK1UBPy2YuwWbU8. Access on March 16th, 2021.

[11] ASTM International, “ASTM E1588-10e1: Standard guide for gunshot residue analysis by scanning electron microscopy/ energy dispersive X-ray spectrometry”, from https://doi.org/10.1520/E1588-10E01.

[12] F. S. Romolo and P. Margot, "Identification of gunshot residue: A critical review", Forensic Science International, 119, 195-211 (2001).
[13] H. Tugcu, C. Yorulmaz, Y. Karslioglu, H. B. Uner, S. Koc, C. Ozdemir, A. Ozaslan, B. Celasun, "Image analysis as an adjunct to sodium rhodizonate test in the evaluation of gunshot residues: An experimental study", The American Journal of Forensic Medicine and Pathology, 27, 296-299 (2006).
[14] A. Martiny, A. P. Campos, M. S. Sader, A. L. Pinto, "SEM/EDS analysis and characterization of gunshot residues from Brazilian lead-free ammunition", Forensic Science International, 177, 9-17 (2008).
[15] A. J. Schowoeble and D. L. Exline, "Current methods in forensic gunshot residue analysis", CRC Press, 1-21 (2000).
[16] K. K. S. Pillay, W. A. Jester, H. A. Fox, "New method for the collection and analysis of gunshot residues as forensic evidence", Journal of Forensic Sciences, 19, 768-783 (1974).
[17] S. S. Krishnan, "Detection of gunshot residue on the hands by neutron activation analysis and atomic absorption analysis", Journal of Forensic Sciences, 19, 789-797 (1974).
[18] E. Rudzitis and M. Wahlgren, "Firearm residue detection by instrumental neutron activation analysis", Journal of Forensic Sciences, 20, 119-124 (1975).
[19] S. S. Krishnan, "Firing distance determination by neutron activation analysis", Journal of Forensic Sciences, 12, 471-483 (1967).
[20] J. W. Kilty, "Activity after shooting and its effects on the retention of primer residue", Journal of Forensic Sciences, 20, 219-30 (1975).
[21] S. S. Krishnan, "Firing distance determination by atomic absorption spectrophotometry", Journal of Forensic Sciences, 19, 351-356 (1974).
[22] M. Ravreby, "Analysis of long-range bullet entrance holes by atomic absorption spectrophotometry and scanning electron microscopy", Journal of Forensic Sciences, 27, 92-112 (1982).
[23] R. Cooper, J. M. Guileyardo, I. C. Stone, V. Hall and L. Fletcher, "Primer residue deposited by handguns", The American Journal of Forensic Medicine and Pathology, 15, 325-327 (1994).
[24] R. D. Koons, D. G. Havekost and C. A. Peters, "Analysis of gunshot primer residue collection swabs using flameless atomic-absorption spectrophotometry: A reexamination of extraction and instrument procedures", Journal of Forensic Sciences, 32, 846-865 (1987).
[25] R. D. Koons, "Analysis of gunshot primer residue collection swabs by inductively coupled plasma-mass spectrometry", Journal of Forensic Sciences, 43, 748-754 (1998).
[26] A. Zeichner, S. Ehrlich, E. Shoshani and L. Halicz, "Application of lead isotope analysis in shooting incident investigations", Forensic Science International, 158, 52-64 (2006).
[27] Y. Phermpornsagul, S. Arepornrat, W. Palkawong Na Ayuthaya and P. Khaenamkaew, "A comparative study of SEM-EDX and ICP-MS detection based on gunshot residue originated from AK-47 and M16 rifles", American Journal of Applied Sciences, 17, 69-82 (2020).
[28] G. M. Wolten, R. S. Nesbitt, A. R. Calloway and P. F. Loper, "Particle analysis for the detection of gunshot residue: II. Occupational and environmental particles", Journal of Forensic Sciences, 24, 423-430 (1979).

[29] G. M. Wolten, R. S. Nesbitt, A. R. Calloway, G. L. Loper and P. F. Jones, "Particle analysis for the detection of gunshot residue, I: Scanning electron microscopy/energy dispersive X-ray characterization of hand deposits from firing", Journal of Forensic Sciences, 24, 409-422 (1979).
[30] L. Garofano, M. Capra, F. Ferrari, G. P. Bizzaro, D. Di Tullio, M. Dell'Olio and A. Ghitti, "Gunshot residue: Further studies on particles of environmental and occupational origin", Forensic Science International, 103, 1-21 (1999).
[31] A. Zeichner and N. Levin, "More on the uniqueness of gunshot residue (GSR) particles", Journal of Forensic Sciences, 42, 1027-1028 (1997).
[32] I. Aleksandar, "Is there a way to precisely identify that the suspect fired from the firearm?", Forensic Science International, 136, 158-159 (2003).
[33] L. Niewoehner, H. W. Wenz, J. Andrasko, R. Beijer and L. Gunaratnam, "ENFSI proficiency test program on identification of GSR by SEM/EDX", Journal of Forensic Sciences, 48, 786-793 (2003).
[34] S. I. Elad, T. Tsadok and N. Levin, "Optimizing FEG-SEM combined with an SDD EDX system for automated GSR analysis", X-Ray Spectrometry, 43, 29-37 (2013).
[35] J. S. Wallace and R. H. Keeley, "A method for preparing firearm residue samples for scanning electron microscopy", Scanning Electron Microscopy, 179-184 (1979).
[36] R. White and A. Owens, "Automation of gunshot residue detection and analysis by scanning electron microscopy/energy dispersive x-ray analysis (SEM/EDX)", Journal of Forensic Sciences, 32, 1595-1603 (1987).
[37] G. M. Wolten, R. S. Nesbitt, A. R. Calloway, G. L. Loper and P. F. Jones, "Equipment systems improvement program: Final report on particle analysis for gunshot residue detection", Aerospace Report No. ATR-77 (7915)-3, Law Enforcement Development Group: The Aerospace Corporation, Washington, D. C. (1977).
[38] R. V. Taudte, C. Roux, L. Blanes, M. Horder, K. P. Kirkbride and A. Beavis, "The development and comparison of collection techniques for inorganic and organic gunshot residues", Analytical and Bioanalytical Chemistry, 12, 1-10 (2016).
[39] S. Steffen, M. Otto, L. Niewoehner, M. Barth, Z. Brożek-Mucha, J. Biegstraaten and R. Horváth, "Chemometric classification of gunshot residues based on energy dispersive X-ray microanalysis and inductively coupled plasma analysis with mass-spectrometric detection", Spectrochimica Acta Part B, 62, 1028-1036 (2007).
[40] R. D. Koons, D. G. Havekost and C. A. Peters, "Determination of barium in gunshot residue collection swabs using inductively coupled plasma-atomic emission-spectrometry", Journal of Forensic Sciences, 33, 35-41 (1988).
[41] A. Zeichner and N. Levin, "Collection efficiency of gunshot residue (GSR) particles from hair using double-side adhesive tape", Journal of Forensic Sciences, 38, 571-584 (1993).
[42] D. K. Shaffer and K. Yi, "A comparison of particle transfer efficiencies of two collection methods for the identification of gunshot residue on fabric surfaces using scanning electron microscopy-energy dispersive spectrometry", Scanning, 21, 99-100 (1999).
[43] A. Zeichner and B. Eldar, "A novel method for extraction and analysis of gunpowder residues on double-side adhesive coated stubs", Journal of Forensic Sciences, 49, 1-13 (2004).
[44] J. Andrasko and S. Pettersson, "A simple method for collection of gunshot residues from clothing", Science & Justice, 31, 321-330 (1991).

[45] O. Dalby, D. Butler and J. W. Birkett, “Analysis of gunshot residue and associated materials-A review”, Journal of Forensic Sciences, 55, 924-943 (2010).
[46] D. K. Molina, M. Martinez, J. Garcia and V. J. DiMaio, “Gunshot residue testing in suicides: Part I: Analysis by scanning electron microscopy with energy dispersive X-ray”, The American Journal of Forensic Medicine and Pathology, 28, 187-190 (2007).
[47] L. S. Blakey, G. P. Sharples, K. Chana and J. W. Birkett, “Fate and behavior of gunshot residue-A review”, Journal of Forensic Sciences, 63, 9-19 (2018).
[48] Z. Brozek-Mucha, G. Zadora and F. Dane, “A comparative study of gunshot residue originating from 9 mm Luger ammunition from various producers”, Science & Justice, 43, 229-235 (2003).
[49] L. Niewoehner and H. W. Wenz, “Application of focused ion beam systems in gunshot residue investigation”, Journal of Forensic Sciences, 44, 105-109 (1999).
[50] Z. Abrego, N. Grijalba, N. Unceta, M. Maguregui, A. Sanchez, A. Fernández-Isla, M. A. Goicolea and R. J. Barrio, “A novel method for the identification of inorganic and organic gunshot residue particles of lead-free ammunitions from the hands of shooters using scanning laser ablation-ICPMS and Raman micro-spectroscopy”, Analyst, 23, 6232-6241 (2014).
[51] R. A. Costa, L. C. Motta, C. A. Destefani, R. R. T. Rodrigues, K. S. do E. Santo, G. M. F. V. Aquije, R. Boldrini, G. P. B. Athayde, M. T. W. D. Carneiro and W. Romão, “Gunshot residues (GSR) analysis of clean range ammunition using SEM/EDX, colorimetric test and ICP-MS: A comparative approach between the analytical techniques”, Microchemical Journal, 129, 339-347 (2016).
[52] อัษฎายุทธ ผลภาค, นรงค์ ฉิมพาลี และ โกสินทร์ หินเธาว์ “เปรียบเทียบอนุภาคของเขม่าที่ได้รับจากการประกอบอาชีพ และเขม่าปืนชนิด Lead-free” วารสารวิจัย มข. (ฉบับบัณฑิตศึกษา), 12, 34-45 (2555).
[53] ปรีชา หงษ์ศักดิ์ศิลป์ และ สันติ์ สุขวัจน์ “การวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของเขม่าปืนในกระสุนปืนชนิดที่ชนวนท้ายไม่มีองค์ประกอบเป็นธาตุโลหะหนัก (ตะกั่ว) และทดสอบระยะความคงอยู่ของเขม่าปืนโดยใช้ SEM/EDS” วารสารวิทยาศาสตร์ แห่งมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี, 9, 21-31 (2555).
[54] พุทธิชาต มิ่งชะนิด และ ณรงค์ กุลนิเทศ “การศึกษาความสัมพันธ์ของปริมาณเขม่าปืนภายหลังการยิงปืนบนหลังมือและฝ่ามือ จำแนกตามอาชีพ ช่วงเวลาหลังยิงปืนตามขนาดอาวุธปืนและลูกกระสุนปืน”, การนำเสนอผลงานวิจัยระดับชาติเครือข่ายบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏภาคเหนือ ครั้งที่ 17 (บูรณาการงานวิจัยสู่การพัฒนาท้องถิ่นที่ยั่งยืน), มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม (2560).
[55] คุณิตา อ่อนลออ, จิรวัชร ธนูรัตน์ และ วรรณา ศิริแสงตระกูล “การทดสอบประสิทธิภาพของสำลีก้านในการเก็บตัวอย่างเขม่าปืนชนิดอนินทรีย์”, การประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยบัณฑิตศึกษา ระดับชาติและนานาชาติ ณ อาคารพจน์ สารสิน มหาวิทยาลัยขอนแก่น (2559).
[56] สรัลนุช ชูกลิ่น “การประเมินประสิทธิภาพของก้านสำลีที่ใช้เก็บตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์เขม่าปืนสำหรับเทคนิค ICP-MS”, วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร (2554).
[57] พลอยไพลิน แก้วบุญเรือง, สุภาวดี ดาวดี, จิรวัชร ธนูรัตน์ และ วรรณา ศิริแสงตระกูล “รูปแบบการกระจายตัวของเขม่าปืนชนิดอินทรีย์บนมือภายหลังการยิงปืน”, การประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยบัณฑิตศึกษา ระดับชาติและนานาชาติ ณ อาคารพจน์ สารสิน มหาวิทยาลัยขอนแก่น (2559).
[58] วัฒนชัย อาพร “การตรวจหาเขม่าปืนในโพรงจมูกด้วยเทคนิค ICP-MS”, รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ สถาบันนิติวิทยาศาสตร์ กระทรวงยุติธรรม (2563).