



การตรวจหาธาตุสำคัญในเขม่าดินปืนบนเสื้อผ้าที่ระยะเวลาต่างกัน โดยเทคนิคสเปกโทรสโกปีการดูดกลืนแสงของอะตอมแบบเปลวไฟ Detection of Key Elements in Gunshot Residue on Clothing at Different Times by Flame Atomic Absorption Spectroscopy (FAAS)

นิช วงศ์สงจำ*, วลัยพร ฟอนผัน, ณัฐพงษ์ มุลพันธ์ และธนกฤต พักไพโรจน์
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

Nich Wongsongja, Walaiporn Phonphan, Nattapong Moonphan and Thanakit Fagpairoj
Faculty of Science and Technology, Suan Sunandha Rajabhat University

Received: November 7, 2024 | Revised: April 3, 2025 | Accepted: May 12, 2025

บทความวิจัย (Research Article)

บทคัดย่อ

คดีอาชญากรรมที่เกิดขึ้นจำนวนมากใช้อาวุธปืนในการก่อเหตุ ซึ่งสถานที่เกิดเหตุอาจไม่พบพยานหลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์ หรืออาจพบได้เพียงเขม่าดินปืนที่ติดบนบริเวณเสื้อผ้าของผู้เสียชีวิตหรือเหยื่อ การวิเคราะห์หาเขม่าดินปืนที่ติดบนบริเวณเสื้อผ้าจึงมีความสำคัญในฐานะพยานหลักฐานประกอบคดีในกระบวนการยุติธรรม งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปริมาณและเปรียบเทียบของธาตุสำคัญในเขม่าดินปืนบนเสื้อผ้าต่างชนิดกันโดยใช้เทคนิคสเปกโทรสโกปีการดูดกลืนแสงของอะตอมแบบเปลวไฟ (FAAS) ในระยะเวลาที่ต่างกัน ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับธาตุสำคัญในเขม่าดินปืนที่ตกค้างบนร่องรอยกระสุนปืนจากการยิงด้วยอาวุธปืนลูกโม้ ขนาด .38 และกระสุนปืน .38 special ชนิดตะกั่ว ที่ระยะยิง 20 นิ้ว บนเสื้อผ้า 4 ชนิด ได้แก่ ผ้าฝ้าย ผ้าโพลีเอสเตอร์ ผ้าฝ้ายผสมโพลีเอสเตอร์ และผ้าฝ้ายเคลือบสารสะท้อนน้ำที่ระยะเวลาทันที, 6, 12 และ 24 ชั่วโมง โดยธาตุสำคัญที่นำมาวิเคราะห์ ได้แก่ แอนติโมนี (Sb) แบเรียม (Ba) และตะกั่ว (Pb) ด้วยเทคนิค FAAS ผลการวิจัย พบว่า ปริมาณของธาตุสำคัญในเขม่าดินปืนในทุกระยะเวลาไม่พบปริมาณแอนติโมนี (Sb) แต่สามารถตรวจพบแบเรียม (Ba) โดยจะพบปริมาณมากที่สุดบนผ้าประเภทผ้าฝ้ายผสมโพลีเอสเตอร์ และธาตุตะกั่ว (Pb) โดยจะพบปริมาณมากที่สุดบนผ้าประเภทผ้าฝ้าย เมื่อเปรียบเทียบปริมาณของธาตุสำคัญในเขม่าดินปืน พบว่า เสื้อผ้าต่างชนิดกันและระยะเวลาที่ต่างกันส่งผลต่อปริมาณของตะกั่ว (Pb) ในเขม่าดินปืนที่แตกต่างกัน และไม่ส่งผลต่อปริมาณแอนติโมนี (Sb) และแบเรียม (Ba) ซึ่งไม่แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

คำสำคัญ: เขม่าดินปืน, เส้นใย, เทคนิคสเปกโทรสโกปีการดูดกลืนแสงของอะตอมแบบเปลวไฟ (เอฟเอเอเอส)

* ผู้ประพันธ์บรรณกิจ(corresponding author), email: nich.wo@ssru.ac.th



Abstract

Most criminal cases involve the use of firearms. In instances, forensic evidence may not be found at crime scene, or only gunshot residue (GSR) on the victim's clothing. Therefore, the analysis of gunshot residue is conducted to serve as supporting evidence in the judicial process. This study aimed to determine and compare the amounts of key elements in GSR on different types of clothing using Flame Atomic Absorption Spectroscopy (FAAS) over different time intervals. The study focused on the elemental composition of GSR deposited around bullet impact marks from a .38 caliber revolver using .38 Special lead bullets fired from a distance of 20 inches onto four types of fabric: cotton, polyester, cotton-polyester blend, and water-repellent cotton. The samples were collected immediately and at 6, 12, and 24 hours after the shooting, and the concentrations of antimony (Sb), barium (Ba), and lead (Pb) were analyzed using FAAS. The results indicated that antimony (Sb) was not detected in any sample across all time intervals. Barium (Ba) was detected in all cases, with the highest concentration found on the cotton-polyester blend fabric, while lead (Pb) was found in the highest concentration on cotton fabric. A comparison of key element concentrations in GSR indicated that different fabric types and time intervals influenced the amount of lead (Pb) detected in GSR. However, they did not significantly affect the concentrations of antimony (Sb) and barium (Ba), with no statistically significant differences observed at a significant level of 0.05.

Keywords: gunshot residue, fabric, Flame Atomic Absorption Spectroscopy (FAAS) technique

บทนำ

ในปัจจุบันอาชญากรรมที่เกิดขึ้นจำนวนมากมีการใช้อาวุธปืนเป็นอาวุธในการก่อเหตุ ซึ่งสถานที่เกิดเหตุอาจจะพบพยานหลักฐานหรือไม่พบก็ได้ หรืออาจพบได้เพียงเขม่าดินปืนที่ติดบนบริเวณเสื้อผ้าของผู้เสียชีวิตหรือเหยื่อ จำเป็นต้องนำความรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์มาใช้ในการวิเคราะห์หาเขม่าดินปืนที่อยู่บนวัตถุพยานและนำผลการวิเคราะห์ที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ผลเพื่อประโยชน์ในกระบวนการยุติธรรมในการระบุตัวผู้กระทำความผิดและนำมาลงโทษตามกฎหมาย โดยการตรวจหาเขม่าดินปืนเป็นวิธีที่จะช่วยในการหาตัวผู้ต้องสงสัยที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการยิงปืนสามารถเชื่อมโยงผู้ต้องสงสัยกับอาวุธปืน เหยื่อ และสถานที่เกิดเหตุ เพื่อประกอบการพิจารณาว่าบุคคลนั้นเกี่ยวข้องกับการยิงปืนในสถานที่เกิดเหตุหรือไม่

คราบเขม่าดินปืนมาจากส่วนประกอบของกระสุนปืน 3 ส่วน ได้แก่ ดินปืน (gun powder) ลูกกระสุนปืน (bullet) และแก๊ปปืน (primer) ซึ่งส่วนของแก๊ปปืนจะประกอบด้วยธาตุสำคัญ ได้แก่ ธาตุแอนติโมนี (Sb) ธาตุตะกั่ว (Pb) และธาตุแบเรียม (Ba) โดยขณะเกิดการระเบิดเพื่อขับเคลื่อนหัวกระสุน



ให้พ้นจากปากถ้ำล่องไปนั้น ปริมาณความร้อนที่สูงมากจะทำให้เกิดการแตกตัวของธาตุสำคัญดังกล่าวจากหัวกระสุนปืน และทำให้เกิดคราบเขม่าดินปืนฟุ้งกระจายไปติด ณ จุดต่าง ๆ มีความแตกต่างกัน(Wongkaew & Uthipan, 2007)

ปัจจุบันการตรวจวิเคราะห์เขม่าดินปืนด้วยเครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ โดยเฉพาะเทคนิคหรือวิธีที่ให้ผลที่มีความจำเพาะ เจาะจง น่าเชื่อถือ แม่นยำ สามารถทำได้หลายเทคนิค เช่น เทคนิคอาบนิวตรอน (NAA), เทคนิคสเปกโทรสโกปีการดูดกลืนแสงของอะตอมแบบเปลวไฟ (FAAS), เทคนิควิเคราะห์หาปริมาณธาตุโดยไอออนพลาสมา (ICP) และเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและเอ็กซ์เรย์สเปกโทรสโกปีแบบกระจายพลังงาน (SEM/EDX) เป็นต้น (Ahphon, 2020) โดยเทคนิค FAAS เป็นวิธีหนึ่งที่น่าสนใจในการตรวจหาธาตุสำคัญที่มาจากกระสุนปืนของผู้ต้องสงสัย ผู้ต้องหาหรือผู้ที่เกี่ยวข้องกับเหตุการณ์ โดยจะสามารถชี้ชัดได้ว่าบุคคลได้ผ่านการยิงปืนมาแล้วหรือไม่อย่างไร หรือเกี่ยวข้องกับกระสุนปืนมาแล้วหรือไม่อย่างไร

ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะทำการศึกษาปริมาณการคงอยู่ของธาตุสำคัญในเขม่าดินปืนที่ตกค้างบนเสื้อผ้า โดยทำการวิเคราะห์เชิงปริมาณด้วยเทคนิค FAAS บนเสื้อผ้า 4 ชนิดที่มีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน และปัจจุบันคนส่วนใหญ่นิยมสวมใส่ เพื่อสามารถนำผลการวิจัยมาอ้างอิงในการเชื่อมโยงเกี่ยวกับคดีที่เกี่ยวข้องและทราบถึงปริมาณเขม่าดินปืนเพื่อนำมาใช้ในการพิสูจน์หลักฐานเพื่อหาตัวผู้กระทำความผิดได้

วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อศึกษาปริมาณของธาตุสำคัญในเขม่าดินปืนบนเสื้อผ้าต่างชนิดกันโดยเทคนิคสเปกโทรสโกปีการดูดกลืนแสงของอะตอมแบบเปลวไฟ (FAAS)
- 2) เพื่อศึกษาเปรียบเทียบปริมาณของธาตุสำคัญในเขม่าดินปืนบนเสื้อผ้าต่างชนิดและระยะเวลาการเก็บที่ต่างกันโดยใช้เทคนิคสเปกโทรสโกปีการดูดกลืนแสงของอะตอมแบบเปลวไฟ

กรอบแนวคิดการวิจัย



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดการวิจัย



ทบทวนวรรณกรรม

1) ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1.1 เขม่าปืน เมื่อมีการยิงปืนจะเกิดเขม่าปืนกระจายออกมาบริเวณรอบอาวุธปืน โดยอนุภาคที่เกิดขึ้น เรียกว่า เขม่าที่เกิดจากการยิงปืน (Gunshot Residue: GSR) ธาตุโลหะสำคัญ คือ ธาตุแอนติโมนี (Sb) ธาตุตะกั่ว (Pb) และธาตุแบเรียม (Ba) เมื่ออุณหภูมิลดลง ไอหรือเขม่าปืนที่กระจายอยู่จะแข็งตัวเป็นอนุภาค (Kaewbuth & Sukhawat, 2014)

1.2 แหล่งกำเนิดเขม่าดินปืน แหล่งที่มาหรือส่วนใด ๆ ที่ทำให้เกิดเขม่าดินปืนหรืออนุภาคตกค้างที่เกิดจากการยิงปืนมาจากส่วนประกอบของเครื่องกระสุนปืน ไม่ว่าจะเป็นชนวนท้ายกระสุนปืน ดินส่งกระสุนปืน ปลอกกระสุนปืน รวมทั้งลูกกระสุนปืน โดยพบว่ามีส่วนประกอบทั้งที่เป็นอนุภาคอินทรีย์ และอนุภาคอนินทรีย์ ได้แก่ ชนวนท้ายกระสุนปืน (primer) ดินส่งกระสุนปืน (propellant) ปลอกกระสุนปืน (cartridge case) ลูกกระสุนปืน (bullet หรือ projectile) ลำกล้องปืน (barrel) และถ้วยสำหรับบรรจุชนวนท้ายกระสุนปืน (percussion cup) (Polnpak, 2011)

1.3 ประเภทของเขม่าดินปืน ได้แก่ สารอินทรีย์ในเขม่าดินปืนที่ได้จากการเผาไหม้ของดินส่งกระสุนปืนและสารอนินทรีย์ในเขม่าดินปืนที่มาจากชนวนและกระสุนปืน เป็นเขม่าปืนที่เกิดจากการเผาไหม้ของดินส่งกระสุนปืน (propellant) โดยเดิมใช้การตรวจหาไนเตรทและไนโตรทที่เกิดจากการเผาไหม้ของดินส่งกระสุนปืน แต่ในปัจจุบันนิยมใช้ดินส่งกระสุนปืนชนิดดินควันน้อย จะพบเขม่าในรูปของสารประกอบอินทรีย์จำพวกไนโตรเจนอยู่ 23 ชนิด (Ahphon, 2020)

1.4 เกณฑ์การวิเคราะห์เขม่าดินปืนของกองพิสูจน์หลักฐานตำรวจ (Mingchanid & Kulnides, 2017) เมื่อทำการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุสำคัญในเขม่าดินปืนแล้ว นำผลการวิเคราะห์มาแปลผลตามเกณฑ์ดังกล่าว โดยมีเงื่อนไขปริมาณของธาตุที่ตรวจพบต้องพบธาตุแอนติโมนี (Sb) ตั้งแต่ 20 ไมโครกรัมต่อลิตร (ppb), ธาตุแบเรียม (Ba) ตั้งแต่ 200 ไมโครกรัมต่อลิตร (ppb) และธาตุตะกั่ว (Pb) ตั้งแต่ 300 ไมโครกรัมต่อลิตร (ppb)

1.5 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับผ้าและเส้นใย เส้นใยสิ่งทอทำให้เกิดความหลากหลายตามความต้องการของผู้ใช้ ซึ่งสามารถแบ่งประเภทของเส้นใย คือ

(1) เส้นใยธรรมชาติ (natural fiber) เส้นใยที่มีแหล่งกำเนิดมาจากธรรมชาติเป็นที่นิยมเนื่องจากคุณสมบัติเฉพาะตัวที่ให้ความสบายในการสวมใส่และย้อมสีได้ง่าย เช่น ผ้าฝ้าย (cotton) เป็นเส้นใยธรรมชาติที่ถูกทอขึ้นใช้ในชีวิตประจำวันมากที่สุดมีคุณสมบัติดูดความชื้นได้ดี นุ่ม โปร่งสบาย ระบายความร้อนได้ (Phuttachot, 2017)

(2) เส้นใยประดิษฐ์ (man-made fiber) เป็นเส้นใยที่เกิดจากการคิดค้นและพัฒนาของมนุษย์ เพื่อใช้ทดแทนเส้นใยจากธรรมชาติและเพื่อตอบสนองความต้องการเฉพาะด้าน ได้แก่ ผ้าโพลีเอสเตอร์ มีความเหนียว ทนทาน เนื้อผ้ามีความยืดหยุ่น ไม่ยับง่าย สามารถคงรูปทรงได้เป็นอย่างดี ทนต่อความร้อนได้สูงมาก ไม่ละลายได้ง่าย น้ำหนักเบา เพราะผ้าถูกทอด้วยเส้นละเอียดมาก (Phuttachot, 2017) นอกจากนี้ผ้าที่ผลิตจากเส้นใยธรรมชาติ และเส้นใยประดิษฐ์แล้วยังมีเนื้อผ้าที่เกิดจากผสมผสานกันระหว่างผ้าที่ผลิตจากเส้น



ใยธรรมชาติ และเส้นใยประดิษฐ์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้งานนั้นคือผ้าที่ซี (ฝ้าย 35% โพลีเอสเตอร์ 65%) ซึ่งมีคุณสมบัติในการซับน้ำได้น้อยกว่า และผ้าฝ้ายเคลือบสารสะท้อนน้ำที่มีคุณสมบัติทางกายภาพทำให้ป้องกันคราบเปื้อนบนเนื้อผ้า สารเคลือบผ้าจะทำให้ผ้ามีลักษณะของน้ำกลิ้งบนใบบัว จึงถูกนำไปใช้เคลือบผ้า ซึ่งจะพบมากกับผ้าเตนท์ เสื้อผ้า ถุงผ้า เป็นต้น

1.6 เทคนิคสเปกโทรสโกปีการดูดกลืนแสงของอะตอมแบบเปลวไฟ (FAAS)

การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีการดูดกลืนแสงของอะตอม สามารถทำได้ทั้งการวิเคราะห์เชิงคุณภาพและการวิเคราะห์เชิงปริมาณ เทคนิคนี้สามารถใช้วิเคราะห์ธาตุต่าง ๆ ได้มากกว่า 67 ธาตุ โดยมีสภาพไว (sensitivity) ในการตรวจวัดสูงตั้งแต่หนึ่งในล้านส่วน (ไมโครกรัมต่อลิตร) ถึงหนึ่งในพันล้านส่วน (ppb) โดยหลักการอะตอมมิคแอบซอร์พชันเป็นกระบวนการดูดกลืนแสงโดยอะตอมอิสระ (free atom) อะตอมอิสระของธาตุแต่ละชนิดดูดกลืนแสงที่มีความยาวคลื่นจำเพาะอะตอมโซเดียมดูดกลืนแสงที่มีความยาวคลื่น 589 นาโนเมตร เพราะเกิดการเปลี่ยนสถานะจากการสถานะพื้นไปสู่สถานะกระตุ้นใช้พลังงานตรงกับความยาวคลื่นนี้ ถ้าเกิดการทรานซิชันไปที่สถานะกระตุ้นอื่นจะใช้พลังงานต่างจากค่านี้ อะตอมของธาตุต่างชนิดกันจะดูดกลืนแสงที่มีความยาวคลื่นต่างกัน สเปกตรัมของอะตอมที่ได้จะมีลักษณะเป็นเส้น (spectrum line) ต่างจากสเปกตรัมของโมเลกุล (spectrum band) เนื่องจากเปลี่ยนระดับพลังงานในอะตอมมีเฉพาะการเปลี่ยนระดับพลังงานของอิเล็กตรอนร่วมกับระดับพลังงานการสั่นการที่จะทำให้อะตอมของธาตุในสารประกอบเกิดเป็นอะตอมอิสระได้นั้นต้องมีการดูดกลืนพลังงานเข้าไป ซึ่งอาจจะอยู่ในรูปต่าง ๆ กัน เช่น พลังงานความร้อนจากเปลวไฟหรือความร้อนจากไฟฟ้า เป็นต้น เมื่ออะตอมของธาตุที่ต้องการวิเคราะห์ดูดกลืนพลังงานและเปลี่ยนเป็นอะตอมอิสระที่อยู่ในสถานะแก๊สหรือไอ ซึ่งจะดูดกลืนแสงจากแหล่งกำเนิดเปลี่ยนจากสถานะพื้นไปสู่สถานะกระตุ้น ทำให้ปริมาณแสงที่ออกจากแหล่งกำเนิดตกกระทบเครื่องวัดแสง (detector) (Jaruwarakun, 2005)

2) งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Ratchakhom & Sinloyma (2021) ได้ศึกษาเปรียบเทียบอนุภาคของเขม่าดินปืนบนผ้าภายหลังการยิงที่ระยะยิงที่แตกต่างกันด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และเปรียบเทียบปริมาณเขม่าดินปืนบนตัวอย่างผ้าภายหลังการยิงที่ระยะการยิงต่างกันด้วยเทคนิค EDX ด้วยอาวุธปืนพกสั้นกึ่งอัตโนมัติวอลเวอร์ ขนาด .38 ยิง 6 ระยะ ได้แก่ ประชิด, 5, 10, 15, 20 และ 25 เมตร ทำซ้ำ 5 ครั้ง และวิเคราะห์ข้อมูลเป็นค่าเฉลี่ย \pm S.D. ของปริมาณธาตุองค์ประกอบ พบว่า ที่ระยะยิง 25 เมตร ขนาดอนุภาคใหญ่ที่สุดเท่ากับ 4.17 ไมครอน และที่ระยะประชิด ขนาดอนุภาคเล็กที่สุด 1.10 ไมครอน ปริมาณธาตุองค์ประกอบ 3 ธาตุ ได้แก่ แอนติโมนี แบเรียม และตะกั่ว ที่ระยะยิง 5 เมตร มีปริมาณแบเรียม มากที่สุด

Phempornsagul (2021) ศึกษาเทคนิคและวิธีการตรวจวิเคราะห์เขม่าดินปืนเพื่อสร้างความเชื่อมั่นในกระบวนการยุติธรรม : อดีต ปัจจุบัน และทิศทางในอนาคต ได้ศึกษาเทคนิคและวิธีการตรวจวิเคราะห์เขม่าดินปืน โดยเริ่มจากการใช้วิธีทดสอบสีและใช้เครื่อง AAS พบว่า ธาตุสตรอนเชียม (Sr) ธาตุสังกะสี (Zn) ธาตุทองแดง (Cu) ธาตุแอนติโมนี (Sb) ธาตุตะกั่ว (Pb) ธาตุโพแทสเซียม (K) ธาตุนิเกิล (Ni) ธาตุแบเรียม (Ba) และธาตุ



เหล็ก (Fe) ได้มาจากการแต้มน้ำที่ปลายกระสุนเพื่อตรวจสอบติดตาม และธาตุดีบุก (Sn) เกิดจากหัวกระสุน ปลอกกระสุน และแก๊บบิน ผลลัพธ์ที่ได้นี้ช่วยระบุกระสุนที่ใช้ได้

Kara & Yalcinkaya (2017) ศึกษาเกี่ยวกับธาตุแอนติโมนี (Sb) ธาตุตะกั่ว (Pb) และธาตุแบเรียม (Ba) ในเขม่าปืนที่เก็บจากมือทันที เสื้อผ้าของผู้ยิง และลากล้องของปืน ซึ่งใช้เทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี เพื่อดูระยะเวลาคงอยู่ของเขม่าพบเขม่าปืนมากที่สุดในตัวอย่างที่เก็บรวบรวมจากมือของผู้ยิงปืน พบว่า การคงอยู่ของ GSR บนมือของผู้ยิงปืนนั้นยาวนานกว่าบนกระบอกปืนเนื่องจากบริเวณนี้ไม่ได้รับผลกระทบจากสภาพแวดล้อม

Sahu, Kennao, Gupta, Saran & Waghmare (2018) ได้ทำการศึกษาวิเคราะห์อนุภาคเขม่าดินปืน บนผ้าฝ้ายภายหลังจากการยิงในห้องทดลองทางนิติวิทยาศาสตร์โดยทำการยิงปืนพกกึ่งอัตโนมัติ ขนาด 9 มม. ในระยะที่ต่างกัน ได้แก่ 5 และ 10 ซม. และทำการวิเคราะห์ผลโดยใช้เครื่อง AAS เพื่อตรวจธาตุ แอนติโมนี (Sb) ธาตุแบเรียม (Ba) ธาตุทองแดง (Cu) ธาตุตะกั่ว (Pb) และธาตุนิกเกิล (Ni) ในระดับไมโครกรัม ต่อลิตร ผลการศึกษา พบว่า สามารถตรวจพบปริมาณของธาตุแอนติโมนี (Sb) ธาตุตะกั่ว (Pb) และธาตุนิกเกิล (Ni) เท่านั้น

Ketherine, Galyn & Amanda (2019) ศึกษาการระบุลักษณะร่องเกลียวของปืนไรเฟิลในร่องรอยกระสุน ที่ตกค้างอยู่บนผ้า การศึกษาครั้งนี้ตรวจสอบลักษณะการเกิดร่องและสันเกลียวของปืนไรเฟิลในร่องรอยกระสุน ที่ตกค้างอยู่บนผ้าสิ่งทอ ประกอบด้วย เส้นใยสังเคราะห์ธรรมชาติ กึ่งสังเคราะห์ และเส้นใยที่ได้รับ ความเสียหายใช้กระสุนปืน 2 ประเภท คือ Winchester Winclean 115 ขนาด 9 มม. BEB และ Speer 115 ขนาด 9 มม. Luger TMI ที่ระยะ 6 ฟุต จากเป้าหมายตรวจสอบรูกระสุนด้วยกล้องจุลทรรศน์สเตอริโอ เพื่อแสดงสารตกค้างจากทองแดงและตะกั่ว ผลการทดสอบทางเคมีเบื้องต้น พบว่า ลักษณะร่องและสันเกลียว ของปืนไรเฟิลสามารถก่อให้เกิดสารตกค้างไว้บนผ้า ปัจจัยที่มีผลในการตรวจจับลักษณะของปืนไรเฟิล คือองค์ประกอบของเนื้อผ้า ความสะอาดของพื้นผิวด้านในของกระบอกปืนและประเภทกระสุน

ระเบียบวิธีวิจัย

การศึกษานี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง ทำการศึกษาปริมาณการคงอยู่ของธาตุสำคัญในเขม่าดินปืน ที่ตกค้างบนร่องรอยกระสุนปืนจากการยิงที่ระยะยิง 20 นิ้ว บนเสื้อผ้า 4 ชนิด ได้แก่ ผ้าฝ้าย ผ้าโพลีเอสเตอร์ ผ้าฝ้าย ผสมโพลีเอสเตอร์ และผ้าฝ้ายเคลือบสารสะท้อนน้ำ จากนั้นเก็บตัวอย่างในระยะเวลาที่ต่างกัน ได้แก่ 6, 12 และ 24 ชั่วโมง โดยทำการวิเคราะห์เชิงปริมาณด้วยเทคนิค FAAS

1) วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

- (1) ผ้าฝ้าย ผ้าโพลีเอสเตอร์ ผ้าฝ้ายผสมโพลีเอสเตอร์ และผ้าฝ้ายเคลือบสารสะท้อนน้ำ ขนาด 20x20 เซนติเมตร จำนวนผ้าละ 12 ชิ้น รวมทั้งหมด จำนวน 48 ชิ้น
- (2) ก้านสำลี ซองซิปปลาสติก และซองกระดาษขนาด A4 สำหรับเก็บเขม่าดินปืน
- (3) ไมโครปิเปต ขนาด 1-5 มิลลิลิตร และขนาด 200-1,000 ไมโครลิตร
- (4) แผ่นพาราฟิล์ม



2) สารเคมีที่ใช้ในการวิจัย

- (1) สารละลายกรดไนตริกความเข้มข้น 5%
- (2) สารละลายมาตรฐานแอนติโมนี 1,000 ไมโครกรัมต่อลิตร (ppb)
- (3) สารละลายมาตรฐานแบเรียม 1,000 ไมโครกรัมต่อลิตร (ppb)
- (4) สารละลายมาตรฐานตะกั่ว 1,000 ไมโครกรัมต่อลิตร (ppb)

3) เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

- (1) อาวุธปืนพกวีลเวอร์ ยี่ห้อ Smith & Wesson ขนาด .38 และกระสุนปืนหัวตะกั่ว ขนาด .38 special ชนิดตะกั่ว ยี่ห้อ Thai Arms จำนวน 48 นัด
- (2) เครื่องสเปกโทรสโกปีการดูดกลืนแสงของอะตอมแบบเปลวไฟ (FAAS) ยี่ห้อ GBC Scientific Equipment Ltd. รุ่น Avanta Sigma

4) ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

4.1) ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างและการเก็บตัวอย่าง นำผ้าแต่ละชนิด ได้แก่ ผ้าฝ้าย ผ้าโพลีเอสเตอร์ ผ้าฝ้ายผสมผ้าโพลีเอสเตอร์ และผ้าฝ้ายเคลือบสารสะท้อนน้ำ มาตัดให้เป็นขนาด 20x20 ซม. จากนั้น นำผ้าตัวอย่างที่เตรียมไว้ไปตั้งไว้กับแท่นพร้อมทำการยิงด้วยอาวุธปืนพกวีลเวอร์ ยี่ห้อ Smith & Wesson ขนาด .38 พร้อมบรรจุกระสุน ทั้งหมด 48 นัด หลังจากทำการยิงผ่านตัวอย่าง และเก็บเขม่าดินปืนที่ระยะเวลาต่าง ๆ โดยใช้สารละลายกรดไนตริกความเข้มข้น 5% หยดลงไปที่ก้านสำลีแล้ว ทำการเก็บเขม่าดินปืนที่ติดอยู่โดยนำก้านสำลีมาเช็คครอบรอยกระสุนปืนเป็นวงกลม จำนวน 5 รอบ บนผ้าที่ทำการทดสอบ และนำก้านสำลีที่เก็บตัวอย่างใส่ซองซิปลาสติก เพื่อรอการตรวจสอบปริมาณเขม่าดินปืนด้วยเครื่อง FAAS ต่อไป

4.2) ขั้นตอนการเตรียมสารละลาย

4.2.1) ขั้นตอนการเตรียมกรดไนตริก (HNO_3) ความเข้มข้น 5% เตรียมสารละลายมาตรฐานความเข้มข้น 70% ด้วยไมโครปิเปต ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 500 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น จนครบ 500 มิลลิลิตร

4.2.2) ขั้นตอนการเตรียมสารละลายมาตรฐานแอนติโมนี (Sb) เตรียมสารละลายมาตรฐานจาก stock solution ที่ความเข้มข้น 1,000 ไมโครกรัมต่อลิตร (ppb) ปิเปตจาก stock solution 1,000 ไมโครกรัมต่อลิตร (ppb) ในปริมาณ 1, 2 และ 3 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น จนมีปริมาตร 100 มิลลิลิตร ในขวดวัดปริมาตร 100 มิลลิลิตร จะได้สารละลายที่มีความเข้มข้น 10, 20 และ 30 ไมโครกรัมต่อลิตร (ppb)

4.2.3) ขั้นตอนการเตรียมสารละลายมาตรฐานแบเรียม (Ba) เตรียมสารละลายมาตรฐานจาก stock solution ที่ความเข้มข้น 1,000 ไมโครกรัมต่อลิตร (ppb) ปิเปตจาก stock solution 1,000 ไมโครกรัมต่อลิตร (ppb) ในปริมาณ 0.8, 1.6 และ 2.4 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น จนมีปริมาตร 100 มิลลิลิตร ในขวดวัดปริมาตร 100 มิลลิลิตร จะได้สารละลายที่มีความเข้มข้น 8, 16 และ 24 ไมโครกรัมต่อลิตร (ppb)



4.2.4) ขั้นตอนการเตรียมสารละลายมาตรฐานตะกั่ว (Pb) เตรียมสารละลายมาตรฐานจาก stock solution ที่ความเข้มข้น 1,000 ไมโครกรัมต่อลิตร (ppb) ปิเปตโดยใช้ไมโครปิเปต จาก stock solution 1,000 ไมโครกรัมต่อลิตร (ppb) ในปริมาณ 0.1, 0.3 และ 0.5 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น จนมีปริมาตร 100 มิลลิลิตร ในขวดวัดปริมาตร 100 มิลลิลิตร จะได้สารละลายที่มีความเข้มข้น 1, 3 และ 5 ไมโครกรัมต่อลิตร (ppb)

4.3) ขั้นตอนการวิเคราะห์ด้วยเครื่องสเปกโทรสโกปีการดูดกลืนแสงของอะตอมแบบเปลวไฟ

4.3.1) ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่าง นำซองพลาสติกชนิดรูดชิปที่บรรจุกันสำลีตัวอย่างมาทำการตัดมุมซองเพื่อนำก้านสำลีออกมาโดยไม่เปิดซอง ทำการแช่ก้านสำลีตัวอย่างลงในหลอดทดลองโดยหยดกรดไนตริก 5% จำนวน 10 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลอง ปิดปากหลอดทดลองด้วยแผ่นพาราฟิล์ม แช่ทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง

4.3.2) ขั้นตอนการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีการดูดกลืนแสงของอะตอมแบบเปลวไฟ นำตัวอย่างที่ผ่านการแช่ทิ้งไว้ 1 ชั่วโมงมาวิเคราะห์หาธาตุสำคัญ โดยกำหนดความยาวคลื่นแสง ช่วงการวัดที่เหมาะสม และค่าขีดจำกัดของการตรวจวัด (LOD) ได้แก่

ธาตุแอนติโมนี (Sb) ความยาวคลื่นแสง 217.6 นาโนเมตร ช่วงการวัด 10-30 ไมโครกรัมต่อลิตร (ppb) และค่าขีดจำกัดของการตรวจวัด (LOD) อยู่ที่ 0.58 ไมโครกรัมต่อลิตร (ppb)

ธาตุแบเรียม (Ba) ความยาวคลื่นแสง 553.6 นาโนเมตร และช่วงการวัด 8-24 ไมโครกรัมต่อลิตร (ppb) และค่าขีดจำกัดของการตรวจวัด (LOD) อยู่ที่ 0.40 ไมโครกรัมต่อลิตร (ppb)

ธาตุตะกั่ว (Pb) ความยาวคลื่นแสง 283.3 นาโนเมตร และช่วงการวัด 1-5 ไมโครกรัมต่อลิตร (ppb) และค่าขีดจำกัดของการตรวจวัด (LOD) อยู่ที่ 0.41 ไมโครกรัมต่อลิตร (ppb)

5) การวิเคราะห์ข้อมูล นำผลการวิเคราะห์ธาตุต่าง ๆ ที่ได้ในเชิงปริมาณมาทำวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติการวิเคราะห์ความแปรปรวนหลายทาง (Two-way ANOVA) สำหรับทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ย (ที่ได้จากกลุ่มตัวอย่างตั้งแต่ 3 กลุ่มขึ้นไป) เพื่อทดสอบสมมติฐานในความแตกต่างของปริมาณธาตุสำคัญของเขม่าดินปืนบนเสื้อผ้าที่ต่างชนิดกันภายหลังการยิงแล้วเก็บตัวอย่างตามระยะเวลาต่าง ๆ

ผลการวิจัย

1. ผลการศึกษาปริมาณของธาตุสำคัญในเขม่าดินปืนบนเสื้อผ้าโดยเทคนิคสเปกโทรสโกปีการดูดกลืนแสงของอะตอมแบบเปลวไฟ

ตารางที่ 1 ผลการศึกษาปริมาณของธาตุสำคัญในเขม่าดินปืนบนเสื้อผ้าโดยเทคนิคสเปกโทรสโกปีการดูดกลืนแสงของอะตอมแบบเปลวไฟ

ปริมาณของธาตุแอนติโมนี (Sb) ในเขม่าดินปืน (หน่วย : ไมโครกรัมต่อลิตร (ppb))																
ระยะเวลา	ประเภทผ้า															
	ผ้าฝ้าย				ผ้าโพลีเอสเตอร์				ผ้าฝ้ายผสมโพลีเอสเตอร์				ผ้าฝ้ายเคลือบสารสะท้อนน้ำ			
	(1)	(2)	(3)	\bar{x}	(1)	(2)	(3)	\bar{x}	(1)	(2)	(3)	\bar{x}	(1)	(2)	(3)	\bar{x}
ทันที	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
แปลผล	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
6 ชั่วโมง	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
แปลผล	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ



ปริมาณของธาตุแอนติโมนี (Sb) ในเขม่าดินปืน (หน่วย : ไมโครกรัมต่อลิตร (ppb))																
ระยะเวลา	ประเภทผ้า															
	ผ้าฝ้าย				ผ้าโพลีเอสเตอร์				ผ้าฝ้ายผสมโพลีเอสเตอร์				ผ้าฝ้ายเคลือบสารสะท้อนน้ำ			
	(1)	(2)	(3)	\bar{x}	(1)	(2)	(3)	\bar{x}	(1)	(2)	(3)	\bar{x}	(1)	(2)	(3)	\bar{x}
12 ชั่วโมง	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
แปลผล	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
24 ชั่วโมง	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
แปลผล	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	พบ	พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
ปริมาณของธาตุแบเรียม (Ba) ในเขม่าดินปืน (หน่วย : ไมโครกรัมต่อลิตร (ppb))																
ทันที	530	615	262	469	442	251	262	318.3	623	136	114	291	334	338	338	353.3
แปลผล	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ
6 ชั่วโมง	414	N	54	234	219	245	319	261	343	400	364	369	194	616	447	419
แปลผล	พบ	ไม่พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ
12 ชั่วโมง	631	76	N	353.5	335	704	649	562.7	328	597	469	464.7	224	383	683	430
แปลผล	พบ	พบ	ไม่พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ
24 ชั่วโมง	N	216	513	227	637	157	450	414.6	669	539	614	607.3	265	130	518	304.3
แปลผล	ไม่พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ
ปริมาณของธาตุตะกั่ว (Pb) ในเขม่าดินปืน (หน่วย : ไมโครกรัมต่อลิตร (ppb))																
ทันที	75	69	53	65.7	52	46	56	51.3	77	85	69	77	54	64	65	61
แปลผล	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ
6 ชั่วโมง	51	108	91	83.3	45	63	54	54	56	29	66	47	62	73	62	65.70
แปลผล	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ
12 ชั่วโมง	60	80	72	70.8	31	56	34	40.3	72	80	61	71	34	33	47	38
แปลผล	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ
24 ชั่วโมง	68	55	43	55.3	74	69	64	69	58	56	49	54.3	30	30	69	43
แปลผล	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ	พบ

หมายเหตุ : N คือ Not detected (ตรวจไม่พบธาตุ)



ภาพที่ 1 ตัวอย่างร่องรอยกระสุนปืนที่อยู่บนเสื้อผ้าประเภทต่าง ๆ

จากตารางที่ 1 ผลการศึกษาปริมาณของธาตุสำคัญในเขม่าดินปืนบนเสื้อผ้าโดยเทคนิคสเปกโทรสโกปีการดูดกลืนแสงของอะตอมแบบเปลวไฟ พบว่า

- ผลการศึกษาปริมาณของธาตุแอนติโมนี (Sb) บนเสื้อผ้าชนิดต่าง ๆ ไม่พบปริมาณของธาตุแอนติโมนี (Sb) ทุกระยะเวลา
- ผลการศึกษาปริมาณของธาตุแบเรียม (Ba) บนเสื้อผ้าชนิดต่าง ๆ พบปริมาณของธาตุแบเรียม (Ba) ทุกระยะเวลาโดยจะพบปริมาณของธาตุแบเรียม (Ba) มากที่สุดบนผ้าประเภทผ้าฝ้ายผสมโพลีเอสเตอร์ รองลงมาคือ ผ้าโพลีเอสเตอร์ ผ้าฝ้ายเคลือบสารสะท้อนน้ำ และผ้าฝ้าย ตามลำดับ



- ผลการศึกษาปริมาณของธาตุตะกั่ว (Pb) บนเสื้อผ้าชนิดต่าง ๆ พบปริมาณของธาตุตะกั่ว (Pb) ทุกระยะเวลา โดยจะพบปริมาณของธาตุตะกั่ว (Pb) มากที่สุดบนผ้าประเภทผ้าฝ้าย รองลงมาคือ ผ้าฝ้ายผสมโพลีเอสเตอร์ ผ้าโพลีเอสเตอร์ และผ้าฝ้ายเคลือบสารสะท้อนน้ำ

2. ผลการศึกษาเปรียบเทียบปริมาณของธาตุสำคัญในเขม่าดินปืนบนเสื้อผ้าต่างชนิดและระยะเวลาการเก็บที่แตกต่างกัน

จากการศึกษาปริมาณของธาตุแอนติโมนี (Sb) ในเขม่าดินปืนบนเสื้อผ้าต่างชนิดและระยะเวลาการเก็บที่แตกต่างกัน จากนั้นนำผลที่ได้มาทดสอบสมมติฐานด้วยการทดสอบความแตกต่างของคะแนนเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่าง ด้วยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ 2 ทาง (Two-way ANOVA) โดยกำหนดสมมติฐาน ดังนี้

สมมติฐานที่ 1
 H_0 = เสื้อผ้าต่างชนิดกันและระยะเวลาการเก็บเขม่าดินปืนต่างกันไม่มีปฏิสัมพันธ์ร่วมที่ส่งผลต่อปริมาณของธาตุสำคัญในเขม่าดินปืนบนเสื้อผ้า

H_1 = เสื้อผ้าต่างชนิดกันและระยะเวลาการเก็บเขม่าดินปืนต่างกันมีปฏิสัมพันธ์ร่วมที่ส่งผลต่อปริมาณของธาตุสำคัญในเขม่าดินปืนบนเสื้อผ้า

ตารางที่ 2 ผลการศึกษาเปรียบเทียบปริมาณของธาตุสำคัญในเขม่าดินปืนบนเสื้อผ้าต่างชนิดและระยะเวลาการเก็บเขม่าดินปืน

ธาตุสำคัญในเขม่าดินปืน	แหล่งความแปรปรวน	Type III		df	Mean Square	F	p
		Sum of Squares					
ธาตุแอนติโมนี (Sb)	ปฏิสัมพันธ์ (เสื้อผ้า*ระยะเวลา)	127293.688		9	14143.743	1.880	0.092
	ความคลาดเคลื่อน	240712.667		32	7522.271		
	รวม	846733.000		48			
ธาตุแบเรียม (Ba)	ปฏิสัมพันธ์ (เสื้อผ้า*ระยะเวลา)	543917.083		9	60435.231	1.197	0.331
	ความคลาดเคลื่อน	1615987.333		32	50499.604		
	รวม	8556638.000		48			
ธาตุตะกั่ว (Pb)	ปฏิสัมพันธ์ (เสื้อผ้า*ระยะเวลา)	4758.083		9	528.676	3.076	0.009*
	ความคลาดเคลื่อน	5500.000		32	171.875		
	รวม	182598.000		48			

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

จากตารางที่ 2 ผลการศึกษาเปรียบเทียบปริมาณของธาตุสำคัญในเขม่าดินปืนบนเสื้อผ้าต่างชนิดและระยะเวลาการเก็บเขม่าดินปืน พบว่า ปฏิสัมพันธ์ร่วมของเสื้อผ้าต่างชนิดกันและระยะเวลาการเก็บเขม่าดินปืนต่างกัน พบว่า ธาตุแอนติโมนี (Sb) ค่า F = 1.880 และ ค่า p = 0.092 และธาตุแบเรียม (Ba) ค่า F = 1.197 และ ค่า p = 0.331 ดังนั้น จากสมมติฐานยอมรับ H_0 ปฏิเสธ H_1 แสดงว่า เสื้อผ้าต่างชนิดกันและระยะเวลาการเก็บเขม่าดินปืนต่างกันไม่มีปฏิสัมพันธ์ร่วมที่ส่งผลต่อปริมาณของธาตุแอนติโมนี (Sb) และธาตุแบเรียม (Ba) ในเขม่าดินปืนบนเสื้อผ้า และธาตุตะกั่ว (Pb) ค่า F = 3.076 และ ค่า p = 0.009* ดังนั้น จากสมมติฐานปฏิเสธ H_0 ยอมรับ H_1 แสดงว่า เสื้อผ้าต่างชนิดกันและระยะเวลาการเก็บเขม่าดินปืนต่างกันมีปฏิสัมพันธ์ร่วมที่ส่งผลต่อปริมาณของธาตุตะกั่ว (Pb) ในเขม่าดินปืนบนเสื้อผ้า



ตารางที่ 3 สรุปผลการทดสอบสมมติฐานผลการศึกษาเปรียบเทียบปริมาณของธาตุในเขม่าดินปืนบนเสื้อผ้าต่างชนิดและระยะเวลาการเก็บที่แตกต่างกันโดยใช้เทคนิคสเปกโทรสโกปีการดูดกลืนแสงของอะตอมแบบเปลวไฟ (FAAS)

สมมติฐาน	ปริมาณของธาตุในเขม่าดินปืนบนเสื้อผ้า		
	แอนติโมนี (Sb)	แบเรียม (Ba)	ตะกั่ว (Pb)
เสื้อผ้าต่างชนิดและระยะเวลาต่างกัน	0.092	0.331	0.009*
ผลการทดสอบสมมติฐาน	×	×	✓

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

- หมายเหตุ : ✓ หมายถึง มีความแตกต่างกันหรือมีปฏิสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05
 × หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันหรือไม่มีปฏิสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

อภิปรายผล

จากผลการศึกษาปริมาณการคงอยู่ของธาตุในเขม่าดินปืนบนเสื้อผ้าที่ต่างชนิดและเก็บตัวอย่างที่ระยะเวลาต่าง ๆ โดยทำการยิงด้วยปืนริวอลเวอร์ ยี่ห้อ Smith & Wesson ด้วยกระสุนขนาด .38 special และกำหนดระยะยิงเป็นระยะใกล้ (ระยะ 20 นิ้ว) ผู้วิจัยได้ทำการเก็บตัวอย่างตามหลักมาตรฐานของการเก็บเขม่าดินปืน และวิเคราะห์ปริมาณธาตุองค์ประกอบหลักสำคัญในเขม่าดินปืน ซึ่งจากผลการทดลองครั้งนี้พบว่า พบปริมาณของธาตุแบเรียม (Ba) และธาตุตะกั่ว (Pb) และไม่พบปริมาณของธาตุแอนติโมนี (Sb) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Mahacharoen (2018) ที่กล่าวว่า วัตถุประสงค์ในการผลิตอาวุธปืนหรือกระสุนปืนมีจุดมุ่งหมายต่อประสิทธิภาพและประสิทธิภาพที่แตกต่างกัน ซึ่งธาตุองค์ประกอบของเขม่าดินปืนทั้ง 3 ชนิดนี้เป็นส่วนประกอบหลักสำคัญที่ใช้จุดดินส่งกระสุนปืน โดยตะกั่ว (Pb) ทำหน้าที่เป็นเชื้อปะทุและเป็นสารระเบิดเกิดประกายไฟจากการกระแทก แบเรียม (Ba) เป็นตัวออกซิไดซ์ให้ออกซิเจนช่วยเพิ่มความร้อนในการเผาไหม้ และแอนติโมนี (Sb) เป็นเชื้อเพลิงที่เผาไหม้รวดเร็วและให้เปลวไฟ จึงทำให้แอนติโมนี (Sb) ได้รับความร้อนรวดเร็วและเผาไหม้ก่อนที่อุณหภูมิลดลง และไอของธาตุจะแข็งตัวกลายเป็นอนุภาคกระจายไปติดกับตัวอย่างที่เข้ายิงได้ และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Ratchakhom & Sinloyma (2021) ที่เปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพและปริมาณเขม่าดินปืนบนผ้าภายหลังจากการยิงในระยะต่าง ๆ พบว่า ตะกั่ว (Pb) และแบเรียม (Ba) มีปริมาณที่ลดลงตามระยะการยิง และพบแอนติโมนี (Sb) ระยะการยิงจากระยะประชิด ซึ่งผลของการวิจัยดังกล่าวได้สอดคล้องกับผลการทดลองในครั้งนี้ที่ได้ทำการยิงที่ระยะยิง 20 นิ้ว (0.5 เมตร) เพียงระยะเดียว จึงทำให้ตรวจไม่พบแอนติโมนี (Sb) เนื่องจากแอนติโมนี (Sb) ได้รับความร้อนอย่างรวดเร็วและถูกเผาไหม้หมดก่อนอุณหภูมิจะลดลงทำให้ไม่สามารถกลายเป็นอนุภาคเพื่อไปติดบนเสื้อผ้าได้

การยิงด้วยปืนริวอลเวอร์ (ปืนลูกม่) ทำให้เขม่าดินปืนที่ยังออกมาจากปากกระบอกปืนมีช่องว่างระหว่างผิวหน้าของรังเพลิงและส่วนท้ายของลำกล้อง จึงทำให้มีการรั่วของแก๊ส เมื่อมีการยิงทำให้ปริมาณธาตุต่าง ๆ ที่ทำการวิเคราะห์ ซึ่งอาจจะพบปริมาณเขม่าดินปืนของธาตุแบเรียม (Ba) ธาตุตะกั่ว (Pb) และธาตุแอนติโมนี (Sb) ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดของ Ratchakhom & Sinloyma



(2021) ที่กล่าวว่าเมื่ออุณหภูมิลดลงไอหรือเขม่าป็นที่กระจายอยู่รอบ ๆ ของแต่ธาตุจะแข็งตัวเป็นอนุภาคในกรณีป็นพกริวอลเวอร์ (ป็นลูกโม) จะมีการรั่วของแก๊สจากช่องว่างระหว่างผิวหน้าของรังเพลิงและส่วนท้ายของลำกล้อง ไม่เช่นนั้นลูกโมป็นจะหมุนไม่สะดวก และสอดคล้องกับแนวคิดของ Polnpak (2011) ที่กล่าวว่าแรงระเบิดของกระสุนป็นขับเคลื่อนจากแก๊สที่เกิดจากการเผาไหม้ และอนุภาคของดินป็นที่เผาไหม้ไม่สมบูรณ์ผ่านออกมาทางปากลำกล้องป็น แต่เมื่อความดัน และปริมาณไอที่เพิ่มขึ้นในขณะที่อุณหภูมิลดลงอย่างรวดเร็วจึงเกิดการควบแน่นกลับสู่สถานะของเหลวทำให้ไอที่กลายเป็นของเหลวเย็นตัวและเกิดการแข็งตัวอย่างรวดเร็วทันทีและตกค้างเป็นคราบเขม่าดินป็น และแรงระเบิดยังขับเคลื่อนเขม่าดินป็นหรือส่วนที่หลงเหลืออยู่หลังจากการเผาไหม้ออกมาพร้อมกันด้วย ซึ่งอาจส่งผลให้ธาตุแอนติโมนี (Sb) ที่มีจุดหลอมเหลวต่ำที่สุด ได้มีการสลายไปก่อนจะถึงเป้าหมาย และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Mingchanid & Kulnides (2017) ที่พบว่า เมื่อทำการเก็บเขม่าดินป็นจากหลังมือขวาและหลังมือซ้ายมีค่าปริมาณเขม่าดินป็นของธาตุแอนติโมนี (Sb) น้อย เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Zhang, Dong & Xu (2016) ที่ได้ทำการศึกษาวิเคราะห์ปริมาณธาตุในเขม่าดินป็นที่อยู่บนผ้าเช็ดมือหลังจากการยิง พบว่า ปริมาณของธาตุแอนติโมนี (Sb) น้อยกว่าปริมาณของธาตุแบเรียม (Ba) และตะกั่ว (Pb) เช่นกัน

ผู้วิจัยได้กำหนดระยะเวลาในการเก็บตัวอย่างที่เป็นเขม่าดินป็นบนเสื้อผ้า ได้แก่ 6, 12 และ 24 ชั่วโมง โดยสอดคล้องกับงานวิจัยของ Poruprasert (2013) ที่ได้ทำการวิเคราะห์หาเขม่าป็นที่ติดอยู่บนผ้าโดยใช้เทคนิคไอออนโครมาโทกราฟีที่ระยะเวลาทันที, 6, 12 และ 24 ชั่วโมง พบว่า ในทุกตัวอย่างตรวจพบปริมาณของเขม่าดินป็นภายหลังจากการยิงป็น 24 ชั่วโมง โดยปริมาณเขม่าดินป็นจากบริเวณปลายแขนมีปริมาณมากกว่าบริเวณหน้าอก และบนผ้ายีนส์มีปริมาณมากกว่าที่เก็บได้จากบนผ้าชนิดอื่น ๆ ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยนี้ ที่ยังพบปริมาณของธาตุแบเรียม (Ba) และธาตุตะกั่ว (Pb) บนเสื้อผ้าทุกประเภท ได้แก่ ผ้าฝ้าย ผ้าโพลีเอสเตอร์ ผ้าฝ้ายผสมโพลีเอสเตอร์ และฝ้ายเคลือบสารสะท้อนน้ำ ในทุกระยะเวลา

บทสรุป

ผลการศึกษาปริมาณของธาตุสำคัญในเขม่าดินป็นบนเสื้อผ้า พบว่าตรวจไม่พบธาตุแอนติโมนี (Sb) ทุกระยะเวลา แต่สามารถพบธาตุแบเรียม (Ba) ทุกระยะเวลา โดยพบมากที่สุดบนผ้าประเภทฝ้ายผสมโพลีเอสเตอร์ รองลงมาคือ ผ้าโพลีเอสเตอร์ ผ้าฝ้ายเคลือบสารสะท้อนน้ำ และผ้าฝ้าย ตามลำดับ และพบธาตุตะกั่ว (Pb) ทุกระยะเวลา โดยพบมากที่สุดบนผ้าประเภทผ้าฝ้าย รองลงมาคือ ผ้าฝ้ายผสมโพลีเอสเตอร์ ผ้าโพลีเอสเตอร์ และผ้าฝ้ายเคลือบสารสะท้อนน้ำ ตามลำดับ และพบว่า เสื้อผ้าที่ต่างชนิดกันและระยะเวลาที่ต่างกันส่งผลต่อปริมาณของธาตุตะกั่ว (Pb) ในเขม่าดินป็นซึ่งแตกต่างกัน แต่จะไม่ส่งผลต่อปริมาณธาตุแอนติโมนี (Sb) และธาตุแบเรียม (Ba)

ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งนี้



1.1 ระยะยิงในงานวิจัยครั้งนี้ได้ทำการยิงในระยะใกล้ คือ ที่ระยะ 20 นิ้ว เพียงระยะเดียวเท่านั้น ดังนั้นจึงควรศึกษาการยิงที่ระยะอื่น ๆ ด้วย เช่น ระยะไกล คือ มากกว่าระยะ 20 นิ้ว ขึ้นไป

1.2 ในงานวิจัยครั้งนี้ในขั้นตอนการเก็บตัวอย่างได้ทำการเก็บตัวอย่างที่ระยะเวลาต่าง ๆ ได้แก่ 6, 12 และ 24 ชั่วโมง ดังนั้น ควรศึกษาระยะเวลาการเก็บตัวอย่างที่นานขึ้นเพื่อหาการคงอยู่ของปริมาณธาตุต่าง ๆ ของเขม่าดินปืนได้

2. ข้อเสนอแนะเพื่อการวิจัยต่อไป

2.1 ศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับเส้นใยผ้าชนิดอื่น ๆ ที่มีคุณสมบัติของเส้นใยต่างจากผ้าที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้

2.2 ควรใช้อาวุธปืน และลูกกระสุนปืนประเภทอื่น ๆ ที่ใช้ในขั้นตอนการทดลอง เช่น ปืนอโตเมติก ขนาด 9 มม. หรือหัวกระสุนชนิดทองแดงมาใช้ในการทำการทดลองเพื่อให้ได้ผลที่หลากหลายมากยิ่งขึ้น

2.3 ควรศึกษาเทคนิคเบื้องต้นอื่น ๆ ในการตรวจวิเคราะห์เชิงคุณภาพของเขม่าดินปืน เช่น การใช้วิธีการวิเคราะห์หาการกระจายตัวของเขม่าดินปืนด้วยเทคนิคต่าง ๆ แล้วจึงนำมาตรวจวิเคราะห์เชิงปริมาณเพื่อหาปริมาณธาตุต่าง ๆ ต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- Ahphon, W. (2020). *Manual for the Collection of Gunshot Residue in the Nasal Cavity*. Central Institute of Forensic Science, Ministry of Commerce. <https://www.cifs.go.th/Files/news//file/034a2311-e3dd-4c12-a436-42955d83b373.pdf>
- Jaruwarakun, T. (2005). *Principles and solutions of atomic absorption spectrometers*. Department of Primary Industries and Mines. <http://www1.dpim.go.th/dt/pper/000001124857266.pdf>
- Kaewbuth, O. & Sukhawat, S. (2014). Distribution of GSR particle in Car of shooting by Atomic Absorption Spectrophotometry. *Veridian E-Journal Science and Technology Silpakorn University*. 1(2). 95-115.
- Kara, L., & Yalcinkaya, O. (2017). Evaluation of persistence of gunshot residue (GSR) using graphite furnace atomic absorption spectrometry (GFAAS) method. *Journal of Bulgarian chemical communications*, 49(1), 101-108.
- Katherine, A. R., Galyn, F., & Amanda, R. D. (2019). Identification of polygonal barrel rifling characteristics in bullet wipe residue deposited on textiles. *International Journal of Legal Medicine*, 134(2), 1-10.
- Mahacharoen, T. (2018). The determination of atomic compositions on bullet cases by Scanning Electron Microscope/Energy Dispersive X-ray Spectroscopy for forensic application. *Journal of Criminology and Forensic Science*. 4(1). 26-41.



- Mingchanid, P. & Kulnides, N. (2017). Study on Persistence of Gunshot Residue After Shooting From 9 mm Pistol on Back of Hands and Palms with Different Persistent. *KKU Research Journal*, 17(3), 8-18.
- Phempornsagul, Y. (2021). Techniques and Methods for Gunshot Residue Analysis to Enhance Confidence in the Justice Process: From the Past to Present and Future Direction. *Thai Journal of Physics*, 38(1), 22-38.
- Phuttachot, B. (2017). *High performance fibers to reform the textile and clothing industry*. The Office of Industrial Economics. https://www.oie.go.th/assets/portals/1/fileups/2/files/ArticlesAnalysis/high_performance_fibers.pdf
- Polnpak, A. (2011). A comparative examination of elements from gunshot residue and other sources. [Master's thesis, Silpakorn University].
- Poruprasert, W. (2013). Determination of nitrates and nitrites in gunshot residues deposited on cloths by the technique of Ion-chromatography. [Master's thesis, Silpakorn University].
- Ratchakhom, P & Sinloyma, P. (2021). Comparison of the Physical Characteristics and Gunshot Residue in Fabrics after Firing with SEM/EDX Technique. *Suan Dusit Graduate School Academic Journal*, 17(3), 113-128.
- Sahu, K., Kennao, P., Gupta, A.K., Saran, V. & Waghmare, N.P. (2018). Study of 9mm Improvised Pistol Pattern & Gunshot Residue with respect to Different Range. *International Journal of Computer Sciences and Engineering*. 6(5). 155-160.
- Wongkaew, P. & Uthipan, C. (2007). *Analysis of Antimony Lead and Barium in Gunshot Residue by Voltammetry Technique*. Rajabhat Maha Sarakham University. <https://fulltext.rmu.ac.th/fulltext/2550/79748/79748.pdf>
- Zhang, J., Dong, Y., & Xu, Z. (2016). A simple method for the simultaneous determination of trace cadmium and silver in soil samples by dynamic reaction cell inductively coupled plasma mass spectrometry. *Atomic spectroscopy*, 37(4). 131-170.
<https://doi: 10.46770/AS.2016.04.001>