

# การเปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพและปริมาณเขม่าดินปืนบนผ้าภายหลังการยิงด้วยเทคนิค SEM/EDX

## Comparison of the Physical Characteristics and Gunshot Residue in Fabrics after Firing with SEM/EDX Technique

พิชิตพล ราชคม\* และพัชรา สิ้นลอยมา

คณะนิติวิทยาศาสตร์ โรงเรียนนายร้อยตำรวจ

Pichitphon Ratchakhom\* and Patchara Sinloyma

Faculty of Forensic Science, Royal Police Cadet Academy

Received: February 23, 2021

Revised: March 19, 2021

Accepted: May 11, 2021

### บทคัดย่อ

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบอนุภาคของเขม่าดินปืนบนผ้าภายหลังการยิงที่ระยะยิงที่แตกต่างกัน ด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) และเปรียบเทียบปริมาณเขม่าดินปืนบนตัวอย่างผ้าภายหลังการยิงที่ระยะการยิงที่แตกต่างกัน ด้วยเทคนิคเอกซเรย์สเปกโทรสโกปีแบบกระจายพลังงาน (Energy Dispersive X-ray Spectroscopy, EDX) โดยเป็นการวิจัยเชิงทดลอง ใช้อาวุธปืนพกสั้นกึ่งอัตโนมัติ วอลเธอร์ ขนาด .380 นิ้ว ทำการยิงทั้งหมด 6 ระยะ ได้แก่ ระยะประชิด ระยะ 5 เมตร ระยะ 10 เมตร ระยะ 15 เมตร ระยะ 20 เมตร และ ระยะ 25 เมตร ทำซ้ำ 5 ครั้งต่อระยะ และวิเคราะห์ข้อมูลในเชิงพรรณนา (Descriptive Statistic) และรายงานเป็นค่าเฉลี่ย  $\pm$  S.D. ของปริมาณธาตุองค์ประกอบ ผลการศึกษา พบว่า ที่ระยะยิง 25 เมตร มีขนาดอนุภาคที่ใหญ่ที่สุด เท่ากับ 4.17 ไมครอน และที่ระยะประชิดมีขนาดอนุภาคเล็กที่สุด เท่ากับ 1.10 ไมครอน ปริมาณธาตุองค์ประกอบหลัก 3 ธาตุ ได้แก่ แอนติโมนี (Sb) แบเรียม (Ba) และตะกั่ว (Pb) ที่ระยะยิง 5 เมตร มีปริมาณแบเรียมมากที่สุด จึงพบปริมาณเขม่าดินปืนที่ระยะประชิดน้อย ที่ระยะ 5 เมตร พบเปอร์เซ็นต์ธาตุของเขม่าดินปืนมากที่สุด (รายงานเป็นค่าเฉลี่ย  $\pm$  ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน) คือ ธาตุแอนติโมนี (Sb) เท่ากับ  $7.37 \pm 3.08$  ธาตุแบเรียม (Ba) เท่ากับ  $110.25 \pm 4.81$  และธาตุตะกั่ว (Pb) เท่ากับ  $27.55 \pm 8.59$  และเมื่อศึกษาที่ระยะ 20 เมตร พบว่า ปริมาณเขม่าดินปืนลดลง งานวิจัยนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานด้านนิติวิทยาศาสตร์เพื่อเป็นประโยชน์ให้กับผู้ปฏิบัติงานและเจ้าหน้าที่ตรวจพิสูจน์ เนื่องจากเทคนิคนี้ไม่ทำลายวัตถุพยาน และใช้เวลาน้อยในการตรวจวิเคราะห์

**คำสำคัญ:** ลักษณะทางกายภาพ เขม่าดินปืน ระยะยิง

## Abstract

The objectives of this study were to compare gunshot residue in fabrics after firing at different shooting distances by Scanning Electron Microscopy (SEM) technique and to compare the amount of gunshot residue in fabrics after firing at different shooting distances by Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (EDX) technique. This study was an experimental research. The .380-inch Walther semi-automatic handgun was used to fire at six different distances: 5 m., 10 m., 15 m., 20 m. and 25 m. and the firing was repeated 5 times per distance. Descriptive statistic was used to analyze data which was reported as mean and S.D. of elemental contents. The results showed that at the firing distance of 25 m., the largest particle size was 4.17 microns and the smallest particle size was 1.10 microns at the close range. The three main elements were antimony (Sb), barium (Ba), and lead (Pb). At the firing distance of 5 m., there were the highest amount of barium and the low amount of gunshot residue at the close range. At the firing distance of 5 m., the highest percentage of gunshot residue elements was found as follows: (reported as mean  $\pm$  standard deviation) antimony (Sb) of  $7.37 \pm 3.08$ , barium (Ba) of  $110.25 \pm 4.81$  and lead (Pb) of  $27.55 \pm 8.59$ . At the firing distance of 20 m., the amount of gunshot residue decreased. This research can be applied in forensic science to benefit practitioners and verification officers because this technique did not destroy the witness material and took less time to analyze.

**Keywords:** Physical Characteristics, Gunshot Residue, Firing Range

## บทนำ

ปัจจุบันปัญหาอาชญากรรมมีแนวโน้มที่จะเพิ่มความรุนแรงมากขึ้น จากสถิติฐานความผิดคดีอาญา หน่วยงาน ตำรวจภูธรภาค 4 ในปี พ.ศ.2562 มีฐานความผิด ดังนี้ ความผิดเกี่ยวกับชีวิต ร่างกาย และเพศ ความผิดเกี่ยวกับทรัพย์ ความผิดพิเศษ และความผิดที่รัฐเป็นผู้เสียหาย รวมทั้งสิ้น 78,297 คดี (Royal Thai Police, 2019) เนื่องมาจากความเจริญก้าวหน้าทางวิทยาการและเทคโนโลยีที่ผู้กระทำความผิดใช้เป็นเครื่องมือในการก่ออาชญากรรม ซึ่งทำให้การนำตัวผู้กระทำความผิดมาลงโทษทำได้ยาก จึงมีการนำความรู้และทักษะทางด้านนิติวิทยาศาสตร์มาประยุกต์ใช้ในการตรวจพิสูจน์หลักฐานจากวัตถุพยานที่พบในสถานที่เกิดเหตุ (Mahacharoen, 2018)

นิติวิทยาศาสตร์ เป็นศาสตร์หนึ่งที่นำกระบวนการทางวิทยาศาสตร์มาพิสูจน์เพื่อหาข้อเท็จจริง โดยการนำวัตถุพยานที่ได้จากสถานที่เกิดเหตุ หรือจากตัวผู้ต้องสงสัยมาตรวจพิสูจน์ และใช้เป็นแนวทางในการสืบสวน สอบสวน (Chinaworn, 2004) ซึ่งพยานหลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์จึงมีบทบาทที่สำคัญในกระบวนการยุติธรรมมากขึ้น และในหลาย ๆ คดี มักมีอาวุธปืนเข้าไปเกี่ยวข้องในการก่อเหตุอาชญากรรม ดังนั้น การตรวจพิสูจน์ทางนิติวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับอาวุธปืนและเครื่องกระสุนปืนจึงเป็นงานที่มีความ

สำคัญ โดยเฉพาะการตรวจพิสูจน์หาคราบเขม่าที่เกิดจากการยิงปืน (Gunshot Residue, GSR) โดยสามารถจำแนกธาตุองค์ประกอบของเขม่าที่เกิดภายหลังจากการยิงปืน ได้ 3 ธาตุ ได้แก่ แอนติโมนี แบเรียม และตะกั่ว (Kunides, 2015)

อนุภาคของเขม่าดินปืนที่เกิดจากการยิงปืน นอกจากจะฟุ้งกระจายติดที่มือของผู้ก่อเหตุแล้ว ตามร่างกายหรือเสื้อผ้าของผู้ก่อเหตุก็ติดเช่นกัน ซึ่งเขม่าดินปืนนี้เกิดจากการระเบิดและการเผาไหม้ของชนวนท้ายกระสุนปืน ซึ่งมีธาตุองค์ประกอบหลักอยู่ 3 ธาตุ ได้แก่ แอนติโมนี (Sb) แบเรียม (Ba) และตะกั่ว (Pb) (Mahacharoen, 2018) การตรวจวิเคราะห์เขม่าดินปืนด้วยเครื่องมือวิทยาศาสตร์ โดยเฉพาะเทคนิคหรือวิธีที่ให้ผลที่จำเพาะเจาะจง น่าเชื่อถือ และประหยัดค่าใช้จ่าย ย่อมเป็นผลดีต่อกระบวนการยุติธรรม เพราะใช้ยืนยันหรือปฏิเสธได้ว่าบุคคลนั้นผ่านการยิงปืนมาจริงหรือไม่ นำไปสู่การคลี่คลายในการสืบสวน สอบสวนคดีอาญาที่ใช้อาวุธปืนในการกระทำความผิดได้ (Wolten, 1979) ซึ่งในปัจจุบัน การตรวจวิเคราะห์อนุภาคเขม่าดินปืนได้นำเทคนิคของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy with Energy Dispersive X-ray Spectroscopy, SEM/EDX) มาตรวจวิเคราะห์หาชนิดและขนาดของอนุภาค รวมทั้งหาปริมาณของธาตุองค์ประกอบแม้จะมีปริมาณน้อยมากก็ตาม ดังนั้น เทคนิคนี้จึงนิยมนำมาใช้ตรวจวิเคราะห์เพื่อหาธาตุองค์ประกอบหลักทั้ง 3 ชนิด เพื่อใช้จำแนกผู้กระทำความผิดและผู้บริสุทธิ์

จากปัญหาการก่อเหตุอาชญากรรมที่เกี่ยวข้องกับการใช้อาวุธปืนในการกระทำความผิด ผู้วิจัยมุ่งประเด็นความสนใจไปที่กรณีผู้กระทำความผิดก่อเหตุอาชญากรรมโดยใช้อาวุธปืนพกสั้นกึ่งอัตโนมัติ ยี่ห้อ Walther PPK ขนาด .380 นิ้ว ซึ่งเป็นอาวุธขนาดเล็กที่ได้รับความนิยม (Ruomsuwan, 2015) และผู้วิจัยได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับระยะเวลาการยิงจำนวน 6 ระยะ จากงานวิจัยของ Ficek et al. (2019) ซึ่งงานวิจัยนี้สนใจศึกษาขนาดของอนุภาคและปริมาณธาตุองค์ประกอบหลัก 3 ชนิด ได้แก่ แอนติโมนี (Sb) แบเรียม (Ba) และตะกั่ว (Pb) ที่ระยะการยิงที่แตกต่างกัน ด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscope/ Energy Dispersive X-ray Spectroscopy เพื่อเปรียบเทียบขนาดของอนุภาค และปริมาณการคงอยู่ของธาตุองค์ประกอบภายหลังการยิงที่ระยะที่แตกต่างกัน เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างระยะการยิงและการคงอยู่ของปริมาณธาตุองค์ประกอบ และนำมาประยุกต์ใช้กับงานด้านนิติวิทยาศาสตร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

## วัตถุประสงค์

1. เพื่อเปรียบเทียบอนุภาคของเขม่าดินปืนบนผ้าฝ้ายภายหลังการยิงที่ระยะยิงที่แตกต่างกัน ด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM)
2. เพื่อเปรียบเทียบปริมาณเขม่าดินปืนบนตัวอย่างผ้าฝ้ายภายหลังการยิงที่ระยะการยิงที่แตกต่างกัน ด้วยเทคนิคเอกซเรย์สเปกโทรสโกปีแบบกระจายพลังงาน (Energy Dispersive X-ray Spectroscopy, EDX)

## แนวคิดทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและกรอบแนวคิด

ปัจจุบันการประกอบอาชญากรรมของคนร้ายมักใช้อาวุธปืนในการกระทำความผิด ดังนั้นการตรวจพิสูจน์ทางนิติวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับอาวุธปืน จึงเป็นงานที่มีความสำคัญมากอีกแขนงหนึ่งของงานพิสูจน์หลักฐานและนำไปสู่การสืบสวนสอบสวน เพื่อให้สามารถควบคุมและป้องกันอาชญากรรมที่จะเกิดขึ้นในสังคม

(Chinaworn, 2004)

การตรวจพิสูจน์อาวุธปืนของสำนักงานวิทยาการตำรวจในปัจจุบัน สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ การตรวจชนิดของอาวุธปืนและการตรวจเปรียบเทียบ เช่น การตรวจชนิด ขนาดชิ้นส่วนต่าง ๆ ของอาวุธปืน การตรวจเปรียบเทียบลูกกระสุนปืนและปลอกกระสุนปืน เป็นต้น และการตรวจทางชีปนวิธี เช่น การตรวจหาคราบเขม่าที่เกิดจากการยิงปืน การตรวจหาวิถีกระสุนปืน การตรวจวิเคราะห์คุณภาพของกระสุนปืนชนิดต่าง ๆ เป็นต้น

ในที่นี้ จะขอกล่าวเฉพาะการตรวจพิสูจน์หาคราบเขม่าที่เกิดจากการยิงปืน (Gunshot Residue, GSR) จากตัวบุคคล ซึ่ง GSR นับเป็นหลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์อย่างหนึ่ง ที่สามารถพิสูจน์ทราบได้ว่า บุคคลนั้น ๆ ได้ผ่านการยิงปืนหรือเกี่ยวข้องกับการยิงปืนมาหรือไม่ ซึ่งผลจากการตรวจพิสูจน์จะช่วยคลี่คลาย การสืบสวนสอบสวนในคดีอาชญากรรมต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการใช้อาวุธปืนได้ เช่น คดีฆาตกรรม คดีอัตวินิบาตกรรม หรืออุบัติเหตุ เป็นต้น ดังนั้นการตรวจพิสูจน์หาคราบเขม่าที่เกิดจากการยิงปืนนั้น หากทำการตรวจด้วยวิธีที่เชื่อถือได้ มีความจำเพาะเจาะจง และมีความแม่นยำสูงแล้ว จะก่อให้เกิดประโยชน์ต่อ กระบวนการยุติธรรม เนื่องจากเป็นหลักฐานทางวัตถุที่สำคัญนำไปสู่การจับกุมผู้กระทำความผิดมาลงโทษ และทำให้ผู้ที่ไม่ได้กระทำความผิดพ้นจากมลทินข้อสงสัยในคดีที่เกิดขึ้น และก่อให้เกิดความยุติธรรมในสังคมสืบไป

เขม่าดินปืน (Gunshot Residue, GSR) คือ สิ่งที่เกิดขึ้นภายหลังการยิงปืนอันเป็นผลมาจากส่วนที่เหลือ ตกค้างหลังการเผาไหม้ (Residues of Combustion) ของชนวนท้ายกระสุนปืนและดินส่งกระสุนปืน (Ansan, Poositthasak, & Thanoorad, 2013) ในอีกทางหนึ่ง เขม่าดินปืนหรือเขม่าที่เกิดจากการยิงปืน (GSR) ยังสามารถเป็นวัตถุพยานทางนิติวิทยาศาสตร์อย่างหนึ่งที่เกิดขึ้นภายหลังจากการยิงปืน โดยเขม่าปืนที่เกิดขึ้นนี้สามารถปลิวกระจายไปเกาะยังร่างกายของผู้ยิง เช่น มือ แขน ใบหน้า เสื้อผ้า และวัตถุแวดล้อมต่าง ๆ ที่อยู่ใกล้ตัวผู้ยิงปืนได้ ดังนั้นการตรวจพิสูจน์หาเขม่าที่เกิดจากการยิงปืน จึงสามารถยืนยันการยิงปืนของบุคคลต้องสงสัย เพื่อใช้เป็นหลักฐานประกอบคดีได้

ด้วยเหตุผลที่จำกัดต่าง ๆ จึงได้มีการพัฒนาวิธีการตรวจพิสูจน์หา GSR ที่มีความทันสมัย สะดวก แม่นยำมากขึ้น โดยการใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่มีชื่อว่า Scanning Electron Microscopy / Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (SEM/EDX) ซึ่งเป็นวิธีที่ได้รับการยอมรับว่าเป็นวิธีที่ทันสมัยและแม่นยำมากที่สุด กล่าวคือ เป็นวิธีที่มีความจำเพาะ (Specificity) มากกว่าวิธีอื่นใดทั้งหมด เนื่องจาก SEM/EDX เป็นวิธีที่สามารถมองเห็นภาพอนุภาคเขม่าที่มาจากกระสุนปืนได้ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน (SEM) ซึ่งแสดงผลเป็นภาพสามมิติ คือสามารถเห็นอนุภาคนั้น ๆ ทั้งความกว้าง ความยาว และความลึกได้อย่างชัดเจน อีกทั้งสามารถบอกขนาดของอนุภาคหรือตัวอย่างที่ต้องการทราบ รวมถึงชนิดของธาตุที่มีอยู่ในอนุภาคนั้นได้ด้วย X-ray (EDX) ซึ่งวิธีการใช้ SEM/EDX สามารถวิเคราะห์ธาตุต่าง ๆ ได้หลายธาตุในเวลาเดียวกัน โดยไม่จำเป็นต้องเป็นเฉพาะธาตุตะกั่ว แบเรียม หรือแอนติโมนี เท่านั้น นอกจากนี้ หากผู้ที่ทำการตรวจวิเคราะห์ มีความชำนาญมากพอก็จะสามารถแยกลักษณะภาพของอนุภาคที่เกิดจากการยิงปืนออกจากสิ่งปนเปื้อนอื่นที่มาจากสิ่งแวดล้อม หรือจากอาชีพการงานได้อย่างถูกต้อง แม่นยำ โดยอาศัยรูปร่างอนุภาคที่มีลักษณะเฉพาะตัวของคราบเขม่าที่มาจากกระสุนปืนและการหาชนิดของธาตุด้วย EDX ซึ่งเป็นสิ่งยืนยันในการตรวจพิสูจน์ ซึ่ง EDX มีจุดเด่น คือ มีความไวสูงมาก (Kiittidusadee, 1992)

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) เป็นกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน ซึ่งสร้างภาพโดยการตรวจวัดอิเล็กตรอนที่สะท้อนจากพื้นผิวหน้าของตัวอย่าง ที่ทำการสำรวจดังแสดงในรูปที่ 3 ซึ่งภาพที่ได้จากเครื่อง SEM นี้ จะเป็นภาพลักษณะของ 3 มิติ จึงถูกนำมาใช้ในการศึกษาสัณฐานและรายละเอียดของลักษณะพื้นผิวของตัวอย่าง นิยมนำมาตรวจสอบลักษณะผิวภายนอกของตัวอย่าง เพื่อตรวจสอบการเรียงตัวของผลึกด้วยระบบการรับสัญญาณเลี้ยวเบนของอิเล็กตรอนกระเจิงกลับ ตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงตัวอย่างจากการดองโดย Energy Dispersive Spectrometry (EDS) เครื่องตรวจวัดรังสีเอกซ์ใน SEM ทำให้สามารถทำการวิเคราะห์ธาตุต่าง ๆ ที่มีอยู่ในสารตัวอย่างได้เพิ่มเติม โดยตัวอย่างที่มักนำมาวิเคราะห์ อาทิ โลหะ เซรามิก พอลิเมอร์ เป็นต้น (Saegow, 2006)

การนำ SEM มาใช้ร่วมกันกับเทคนิคการวัดการกระจายพลังงานของรังสีเอกซ์ (Energy Dispersive X-ray Spectroscopy/ EDX) โดยมีหลักการทำงานอยู่ที่การกระตุ้นวัตถุตัวอย่างโดยอนุภาคพลังงานสูง ได้แก่ อนุภาคอิเล็กตรอน ซึ่งจะถูกลอยออกมาจากหลอดกำเนิดรังสีเอกซ์ (X-ray Tube) อนุภาคจะถูกเร่งให้เคลื่อนที่ มาอย่างรวดเร็วมีพลังงานสูง เมื่ออนุภาคนี้อำนาจเข้ามาในอะตอมของวัตถุตัวอย่าง บางส่วนก็จะมีโอกาสที่จะชนกับอิเล็กตรอนที่อยู่ในอะตอม ในการชนนี้ก็จะถ่ายเทพลังงานให้แก่อิเล็กตรอน ทำให้อิเล็กตรอนมีพลังงานสูงขึ้นและโดยทั่วไปมักจะสูงมากพอที่จะหลุดออกไปจากอะตอม เป็นอิเล็กตรอนอิสระทำให้เกิดที่ว่างขึ้นซึ่งอิเล็กตรอนที่อยู่ชั้นสูงกว่าก็จะตกลงมาอยู่แทนที่ ในการตกลงมาอยู่ชั้นต่ำกว่านี้ อิเล็กตรอนก็จะต้องปล่อยหรือคายพลังงานที่มีอยู่มากเกินระดับที่ต้องการออกไป พลังงานที่คายออกมาจะอยู่ในรูปของรังสีเอกซ์เฉพาะ (Characteristic X-ray) ซึ่งจะบอกได้ว่าวัตถุตัวอย่างมีองค์ประกอบของธาตุใดบ้าง เนื่องจากแต่ละธาตุมีรังสีเอกซ์เฉพาะที่ไม่เหมือนกัน (Prommakoon, 2017)

ข้อได้เปรียบในการใช้เทคนิค EDX คือ สามารถตรวจวิเคราะห์เชิงคุณภาพได้ในเวลาอันรวดเร็วและตรวจได้คราวละหลาย ๆ ธาตุพร้อมกัน นอกจากนี้ยังไม่ทำลายวัตถุตัวอย่างหรือทำให้วัตถุตัวอย่างสูญเสียสภาพเดิม และสามารถใช้วัตถุตัวอย่างในสภาพของแข็งได้ ดังนั้น เมื่อใช้กล้องจุลทรรศน์ SEM ร่วมกับเทคนิค EDX (SEM - EDX) ก็จะทำให้สามารถวิเคราะห์องค์ประกอบและการมีอยู่ของธาตุบนพื้นผิวชิ้นงานตัวอย่างได้ละเอียดและมีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น (Ingsiriwat, 1998)

จากการศึกษาวิจัยของ Chinaworn (2004) เรื่อง การวิเคราะห์เขม่าป็นด้วยเทคนิค SEM/EDX ที่มีวัตถุประสงค์เพื่อหาอนุภาคของเขม่าป็น โดยใช้เทคนิค SEM/EDX โดยไม่ต้องเคลือบผิวตัวอย่างด้วยคาร์บอนหรือทองคำ โดยสามารถศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาที่เป็นลักษณะของอนุภาคเขม่าป็น ตรวจสอบธาตุที่เป็นองค์ประกอบ ได้แก่ Pb, Ba และ Sb และตรวจหาระยะเวลาการคงอยู่ของเขม่าป็นเมื่อยิงปืน นอกจากนี้ยังใช้เครื่อง ICPS ในการตรวจวิเคราะห์หาองค์ประกอบธาตุในขบวนการทำยกระสุนปืน จากการเก็บตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ที่เวลาต่าง ๆ กัน พบว่า สามารถตรวจพบอนุภาคจากการยิงปืนได้ ซึ่งอนุภาคที่ตรวจพบมีรูปร่างค่อนข้างกลมและแวววาว มีอนุภาคทั้งประเภทที่แน่นอน (Unique Categories) เป็นอนุภาคที่มีธาตุ Pb, Sb และ Ba เป็นองค์ประกอบ และอนุภาคประเภทบ่งชี้ (Indicative Categories) มักพบอนุภาคที่มีธาตุ Pb และ Sb เป็นองค์ประกอบ แสดงให้เห็นว่า การเก็บตัวอย่างจากเสื้อผ้าผู้ยิงปืนเพื่อตรวจเขม่าป็น เป็นการยืดระยะเวลาในการเก็บตัวอย่างได้ถึง 24 ชั่วโมง นานกว่าการเก็บจากมือผู้ยิง และอนุภาคมีความจำเพาะ คือ อนุภาคค่อนข้างกลม (Spheroidal) และมีความแวววาว

จากการศึกษางานวิจัยของ Kunides (2015) เรื่อง การวิเคราะห์เขม่าดินปืนบนเสื้อผ้าแต่ละชนิด โดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิเคราะห์เขม่าดินปืนบนเสื้อผ้าหลังการยิงว่ามีความคงอยู่ของเขม่าดินปืนมากน้อยเพียงใดได้ทำการศึกษาการวิเคราะห์เขม่าดินปืนบนเสื้อผ้าแต่ละชนิด โดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด เพื่อศึกษาความคงอยู่ของเขม่าดินปืนบนเสื้อผ้าภายหลังการยิง โดยใช้ เอ็ม 16 เอ 1 และกระสุนปืน ขนาด 5.56 มม. ทำการยิง 15 นัด กลุ่มตัวอย่างเสื้อผ้าที่ใช้ในงานวิจัยนี้ คือ เสื้อโปโล เสื้อแจ็คเก็ต เสื้อเชิ้ต และเสื้อยืด ศึกษาทั้งก่อนและหลังการซัก เพื่อวัดปริมาณร้อยละของแบบเรียบ ตะกั่ว และพลวง พบว่า เขม่าดินปืนบนผ้าก่อนและหลังการซักมีลักษณะโครงสร้างของเสื้อแจ็คเก็ตพบเขม่าดินปืนหลังซักมากที่สุด และโครงสร้างของเสื้อยืดพบเขม่าดินปืนหลังซักน้อยที่สุด ปริมาณร้อยละการลดลงของแบบเรียบ ตะกั่ว และพลวงภายหลังการซัก พบว่า ปริมาณร้อยละของเขม่าดินปืนที่คงอยู่หลังซักมากที่สุด คือ เสื้อแจ็คเก็ต คงอยู่ร้อยละ 80.23 และ น้อยที่สุด คือ เสื้อเชิ้ต คงอยู่ร้อยละ 18.15

จากการศึกษางานวิจัยของ Ficek et al. (2019) เรื่อง Influence of The Shooting Distance on The Depth of Penetration of The Bullet into The Replacement Material for Air Gun Weapons ได้ทำการศึกษาเพื่อหาคำตอบว่าอาวุธปืนเหล่านี้อันตรายจริงหรือไม่และผลกระทบของระยะยิงต่อความลึกของการยิง โดยใช้ปืนอาวุธในการทดลองเพื่อประเมินเชิงคุณภาพ การทดลองยิงขึ้นอยู่กับแบบจำลองซิปนาวุธ 20% จากปืนลมที่มีลำกล้อง 4.5 มม. ที่ระยะ 5, 10, 15, 20 และ 25 เมตร ความเร็วในการกระแทกแบบโพเรเจกไทล์ถูกวัดโดยใช้กล้องความเร็วสูง จากนั้นวัดความลึกของภาพโดยใช้คาลิเปอร์และกำหนดขนาดสูงสุดและรูปร่างของช่องว่างชั่วคราวของภาพโดยใช้การบันทึกด้วยแสงจากกล้องความเร็วสูง พบว่า ความลึกของการยิงจะลดลงตามระยะการยิงที่เพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับปริมาตรสูงสุดของช่องว่างชั่วคราว แนวโน้มเหล่านี้เกือบจะเป็นเส้นตรงและมีความเกี่ยวข้องกับการลดลงของความเร็วในการกระแทกของกระสุนปืนที่ชนเป้าหมาย ทดสอบ การทดลองครั้งนี้ใช้สำหรับการตรวจสอบเบื้องต้นของระยะยิงต่อความลึกของการยิงในอาวุธปืนลม และให้ข้อมูลที่จำเป็นสำหรับการตรวจสอบในเชิงลึกเพิ่มเติม

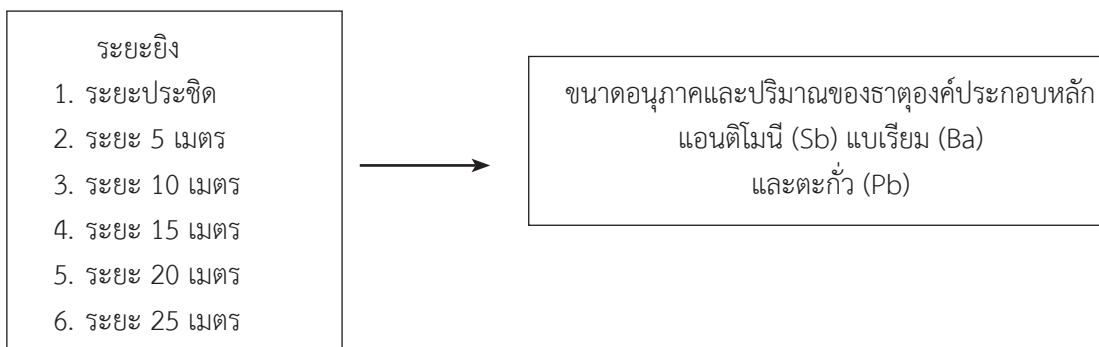
จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการศึกษา และการตรวจวิเคราะห์ลักษณะและปริมาณของเขม่าดินปืน ด้วยเทคนิค SEM/EDX ทำให้สามารถบอกได้ว่าระยะเวลา ระยะการยิง และตำแหน่งที่ตรวจวิเคราะห์ ส่งผลให้ปริมาณธาตุองค์ประกอบหลักในเขม่าดินปืนเปลี่ยนแปลงไปจากการยิงเพียง 1 นัด ดังนั้นงานวิจัยนี้ จึงมุ่งศึกษาปริมาณเขม่าดินปืนที่เปลี่ยนแปลงไปภายหลังการยิงที่ระยะต่าง ๆ เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ในงานด้านนิติวิทยาศาสตร์ สำหรับการตรวจวิเคราะห์เขม่าดินปืนและการคงอยู่ของเขม่าดินปืน

## กรอบแนวทางการวิจัย

การกำหนดกรอบแนวคิดในครั้งนี้มุ่งไปยังการเปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพและปริมาณเขม่าดินปืนภายหลังการยิง ด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscope /Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (SEM/EDX) ซึ่งจะทำให้การศึกษาระยะยิงทั้ง 6 ระยะ มีขนาดอนุภาคและปริมาณเขม่าดินปืนที่แตกต่างกัน

## ตัวแปรต้น

## ตัวแปรตาม



ภาพที่ 1 กรอบแนวทางการวิจัย

## ระเบียบวิธีวิจัย

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ทำการศึกษขนาดอนุภาคของเขม่าดินปืนบนผ้าฝ้ายที่นำมาใช้เป็นเป้ายิง ซึ่งผู้วิจัยเลือกผ้าฝ้ายมาเป็นเป้ายิงเนื่องจากเป็นเส้นใยที่นิยมนำมาใช้ผลิต เสื้อ กระโปรง ผ้าปูที่นอน ผ้าห่ม ผ้าเช็ดตัว ผ้าเช็ดหน้า หรือผ้าผืนมากที่สุดในตลาดและหาซื้อได้ง่าย (จารุวรรณ อัมพฤกษ์, 2555) และเปรียบเทียบปริมาณธาตุองค์ประกอบหลัก 3 ชนิด ได้แก่ แอนติโมนี (Sb) แบเรียม (Ba) และตะกั่ว (Pb) ภายหลังจากยิง เครื่องมือและอุปกรณ์ในการวิจัย

1. อาวุธปืนพกสั้นกึ่งอัตโนมัติ ยี่ห้อ Walther ขนาด .380 นิ้ว โดยใช้กระสุนปืน ขนาด .380 นิ้ว
2. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope/ Energy Dispersive X-ray Spectroscopy, SEM/ EDX)

### ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

การทดลองนี้เป็นการทดลองแบบจำลองสถานการณ์ เพื่อตรวจหาลักษณะทางกายภาพ และปริมาณของเขม่าดินปืนที่คงอยู่ในระยะการยิงต่าง ๆ โดยมีขั้นตอนการทดลองดังต่อไปนี้

1. ตัดผ้าฝ้าย ขนาด 13 x 17 ซม. เพื่อนำไปใช้เป็นเป้ายิง
2. ทำการยิงด้วยอาวุธปืนพกสั้นกึ่งอัตโนมัติ ยี่ห้อ Walther ขนาด .380 นิ้ว โดยใช้สนามยิงปืน ศูนย์ฝึกตำรวจ โรงเรียนนายร้อยตำรวจ ทำการยิงทั้งหมด 6 ระยะ ได้แก่ ระยะประชิด, ระยะ 5, 10, 15, 20 และ 25 เมตร
3. ทำการยิงเป้าละ 1 นัด ดังนั้น 1 ระยะจะมีทั้งหมด 5 เป้ายิง รวมการทดลองยิงปืนทั้งหมด 30 ครั้ง แล้วเก็บผ้าตัวอย่างที่เป็นเป้ายิงใส่ในถุงพลาสติกซิปล็อค เพื่อนำไปตรวจวิเคราะห์ต่อไป
4. ทำการเตรียมตัวอย่างผ้า ติดลงบน Carbon Tab ที่อยู่บน Aluminium Stub ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 52 มม. แล้วทำการตรวจวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด Scanning Electron Microscope/ Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (SEM /EDX) รุ่น SU 1000 โดยไม่ต้องทำการเคลือบผิวตัวอย่างด้วยคาร์บอนหรือทองคำก่อนการวิเคราะห์ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยทำการวิเคราะห์ข้อมูลในเชิงพรรณนา (Descriptive Statistic) โดยบรรยายผลการทดลองในรูปแบบของตัวหนังสือ ตัวเลข

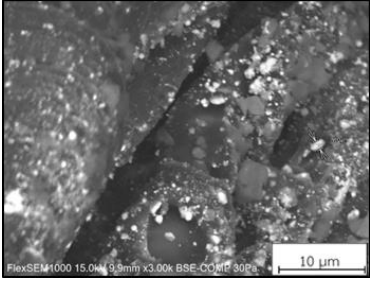
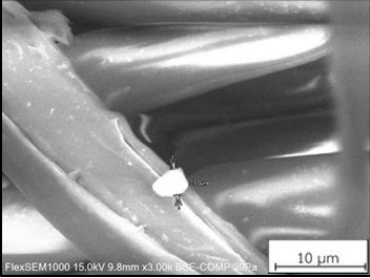
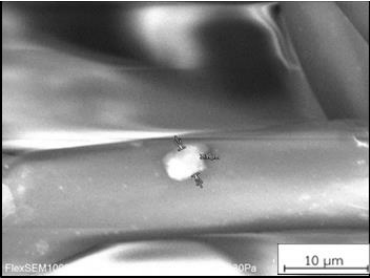
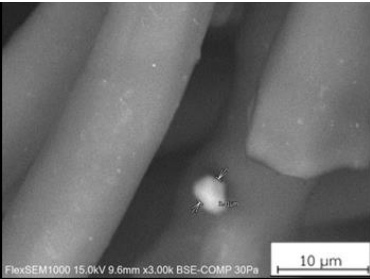
ตาราง กราฟ และแผนภาพ เพื่อนำเสนอข้อค้นพบจากผลการทดลอง คือ ขนาดของอนุภาคเขม่าดินปืนบนตัวอย่างผ้าฝ้ายที่ระยะการยิงต่าง ๆ และปริมาณของธาตุองค์ประกอบหลักของเขม่าดินปืนทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ แอนติโมนี (Sb) แบเรียม (Ba) และตะกั่ว (Pb) ที่ระยะการยิงต่าง ๆ ที่แสดงภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope/ Energy Dispersive X-ray Spectroscopy, SEM / EDX)

วิธีการดำเนินการวิจัยมีการเก็บข้อมูลรูปภาพของกลุ่มตัวอย่างในการทดลองโดยนำผ้าฝ้ายที่ผ่านการยิงที่ระยะต่าง ๆ มาตรวจขนาดของอนุภาคเขม่าดินปืน ด้วยเทคนิค SEM และศึกษาธาตุองค์ประกอบหลักของเขม่าดินปืน ได้แก่ แอนติโมนี (Sb) แบเรียม (Ba) และตะกั่ว (Pb) ที่ระยะยิงแตกต่างกัน ด้วยเทคนิค EDX โดยสามารถอธิบายขนาดอนุภาคและปริมาณธาตุองค์ประกอบหลักที่ระยะยิงแตกต่างกันได้ 6 ระยะ โดยทำการศึกษาจากงานวิจัยของ Ficek et al. (2019) คือ (1) ระยะประชิด (2) ระยะ 5 เมตร (3) ระยะ 10 เมตร (4) ระยะ 15 เมตร (5) ระยะ 20 เมตร และ (6) ระยะ 25 เมตร หลังจากนั้นนำผลที่ได้มาแปรผลโดยทำการวิเคราะห์ข้อมูลในเชิงพรรณนา (Descriptive Statistic) โดยบรรยายผลการทดลอง คือ ค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย (Mean) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ของปริมาณของธาตุที่เป็นองค์ประกอบของเขม่าดินปืน และกราฟเส้นตรง เพื่อแสดงความสัมพันธ์ของปริมาณเปอร์เซ็นต์ธาตุของเขม่าดินปืน ทั้ง 3 ธาตุ (Sb, Ba, Pb) กับระยะการยิง

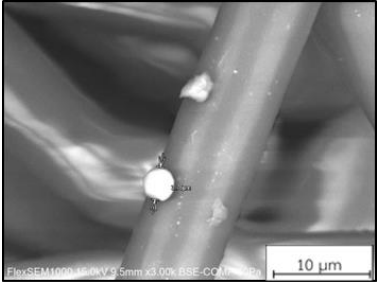
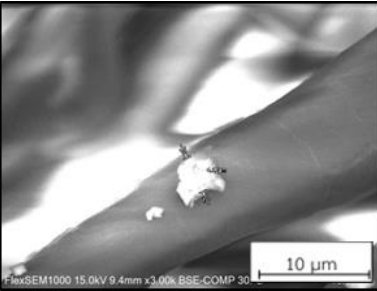
## ผลการศึกษา

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษานาอนุภาคของเขม่าดินปืนบนผ้าฝ้ายและธาตุองค์ประกอบของเขม่าดินปืนทั้ง 3 ชนิด โดยใช้อาวุธปืนพกสั้นกึ่งอัตโนมัติ ยี่ห้อ Walther ขนาด .380 นิ้ว กระบอกเดียวกันตลอดการวิจัย ซึ่งอาวุธปืนและกระสุนปืนที่ใช้เป็นชนิดที่สามารถหาซื้อได้ง่ายหรือเป็นที่นิยมใช้โดยทั่วไปสำหรับผู้ที่มีอาวุธปืนไว้ในครอบครอง และตัวอย่างผ้าที่นำมาใช้เป็นเป้ายิง เป็นผ้าฝ้ายชนิดเดียวกันตลอดการวิจัย ผ้าฝ้ายนิยมนำมาทำเป็นเสื้อผ้าและหาซื้อได้ง่าย การตรวจวิเคราะห์เปรียบเทียบปริมาณเขม่าดินปืนบนผ้าภายหลังการยิง ด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscope/Energy Dispersive X-ray Spectroscopy, SEM/EDX ได้ทำการศึกษาโดยทดลองยิงเป้ายิงละ 1 นัด เนื่องจากเป็นจำนวนนัดที่น้อยที่สุดที่จะเกิดขึ้นในคดีอาชญากรรม และทำการตรวจปริมาณธาตุองค์ประกอบหลักของเขม่าดินปืน ได้แก่ แอนติโมนี (Sb) แบเรียม (Ba) และตะกั่ว (Pb) ที่ระยะการยิงที่แตกต่างกัน 6 ระยะ ด้วยเทคนิค SEM/EDX ซึ่งการเก็บข้อมูลและบันทึกผลการทดลองจะบันทึกในรูปแบบของข้อมูลในเชิงพรรณนา (Descriptive Statistic)

**ตารางที่ 1** การเปรียบเทียบขนาดอนุภาคของเขม่าดินปืนบนผ้าฝ้ายภายหลังการยิงที่ระยะยิงที่แตกต่างกัน ด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM)

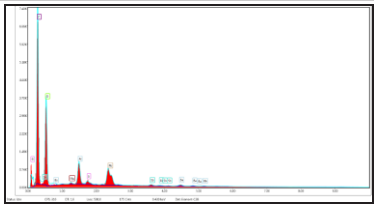
| ระยะการยิง<br>(เมตร) | ภาพประกอบ                                                                           | ขนาดอนุภาค<br>( $\mu\text{m}$ ) |
|----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|
| ระยะประชิด           |    | 1.10                            |
| 5                    |    | 3.10                            |
| 10                   |   | 3.39                            |
| 15                   |  | 3.41                            |

**ตารางที่ 1** การเปรียบเทียบขนาดอนุภาคของเขม่าดินปืนบนผ้าฝ้ายภายหลังการยิงที่ระยะยิงที่ต่างกัน ด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) (ต่อ)

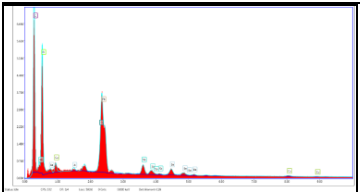
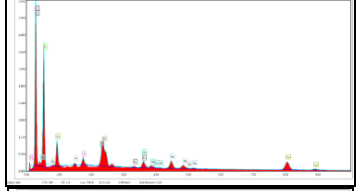
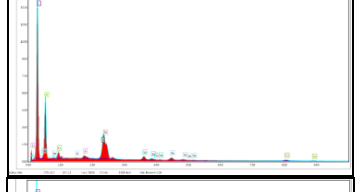
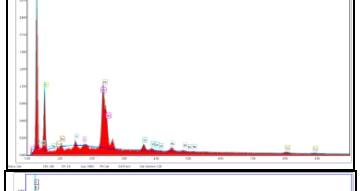
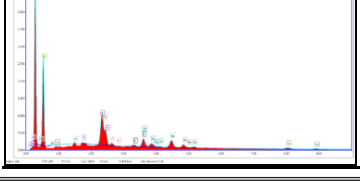
| ระยะการยิง<br>(เมตร) | ภาพประกอบ                                                                         | ขนาดอนุภาค<br>( $\mu\text{m}$ ) |
|----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|
| 20                   |  | 3.76                            |
| 25                   |  | 4.17                            |

จากตารางที่ 1 ผลการเปรียบเทียบขนาดอนุภาคของเขม่าดินปืนบนผ้าฝ้ายภายหลังการยิงที่ระยะยิงแตกต่างกัน ด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) โดยทำการยิงระยะละ 5 นัด รวมการทดลองยิงปืนทั้งหมด 30 ครั้ง ผู้วิจัยได้นำผลการทดลองยิงมาแยกระยะยิง เพื่อตรวจวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของเขม่าดินปืนจะเห็นว่าอนุภาคของเขม่าดินปืนมีรูปร่างเป็นวงค่อนข้างกลม ที่ระยะประชิดมีขนาดอนุภาคเล็กที่สุด และที่ระยะ 25 เมตร มีขนาดอนุภาคใหญ่ที่สุด

**ตารางที่ 2** ผลการเปรียบเทียบปริมาณเขม่าดินปืนบนผ้าฝ้ายภายหลังการยิงที่ระยะการยิงที่ต่างกัน ด้วยเทคนิคเอกซเรย์สเปกโทรสโกปีแบบกระจายพลังงาน (Energy Dispersive X-ray Spectroscopy, EDX)

| ระยะการยิง<br>(เมตร) | สเปกตรัมของธาตุองค์ประกอบ                                                           | ปริมาณองค์ประกอบทางเคมี<br>(Mean $\pm$ S.D.) |                   |                  |
|----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|-------------------|------------------|
|                      |                                                                                     | Sb                                           | Ba                | Pb               |
| ระยะประชิด           |  | 4.95 $\pm$ 4.13                              | 10.95 $\pm$ 11.75 | 13.36 $\pm$ 9.18 |

**ตารางที่ 2** ผลการเปรียบเทียบปริมาณเขม่าดินปืนบนผ้าฝ้ายภายหลังการยิงที่ระยะการยิงที่แตกต่างกัน ด้วยเทคนิคเอกซเรย์สเปกโทรสโกปีแบบกระจายพลังงาน (Energy Dispersive X-ray Spectroscopy, EDX) (ต่อ)

| ระยะการยิง<br>(เมตร) | สเปกตรัมของธาตุองค์ประกอบ                                                           | ปริมาณองค์ประกอบทางเคมี<br>(Mean $\pm$ S.D.) |                  |                   |
|----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|------------------|-------------------|
|                      |                                                                                     | Sb                                           | Ba               | Pb                |
| 5                    |    | 7.37 $\pm$ 3.08                              | 10.25 $\pm$ 4.81 | 27.55 $\pm$ 8.59  |
| 10                   |    | 8.45 $\pm$ 4.04                              | 8.30 $\pm$ 2.47  | 27.78 $\pm$ 11.39 |
| 15                   |   | 5.62 $\pm$ 4.19                              | 10.65 $\pm$ 6.60 | 25.70 $\pm$ 7.11  |
| 20                   |  | 3.33 $\pm$ 2.35                              | 3.55 $\pm$ 2.92  | 13.74 $\pm$ 9.73  |
| 25                   |  | 5.94 $\pm$ 2.70                              | 11.89 $\pm$ 5.95 | 16.88 $\pm$ 11.74 |

จากตารางที่ 2 ผลการเปรียบเทียบปริมาณเขม่าดินปืนบนผ้าฝ้ายภายหลังการยิงที่ระยะการยิงที่แตกต่างกัน ด้วยเทคนิคเอกซเรย์สเปกโทรสโกปีแบบกระจายพลังงาน (Energy Dispersive X-ray Spectroscopy, EDX) ค่าปริมาณธาตุองค์ประกอบที่แสดงดังตารางที่ 2 เกิดจากการทำซ้ำ จำนวน 5 ครั้ง และคำนวณค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ทำให้ทราบว่าระยะที่มีปริมาณเปอร์เซ็นต์ธาตุองค์ประกอบแอนติโมนี (Sb) แบเรียม (Ba) และตะกั่ว (Pb) มากที่สุด คือ ระยะ 5 เมตร

## อภิปรายผล

จากการศึกษาขนาดอนุภาคของเขม่าดินปืน ด้วยเทคนิค SEM พบว่า อนุภาคของเขม่าดินปืนมีลักษณะค่อนข้างกลม และบางจุดมีลักษณะเป็นวงรี สอดคล้องกับงานวิจัยของ Chinaworn (2004) ที่กล่าวถึงรูปร่างของอนุภาคว่ามีรูปร่างค่อนข้างกลม แฉกยาว มีอนุภาคทั้งแน่นอน (Unique Categories) ซึ่งเป็นอนุภาคที่มีธาตุ Pb, Sb และ Ba เป็นองค์ประกอบ จึงทำให้สามารถแยกอนุภาคของเขม่าดินปืนจากสิ่งปนเปื้อนได้ เมื่อทำการศึกษขนาดอนุภาค พบว่า ที่ระยะการยิง 25 เมตร มีขนาดอนุภาคใหญ่ที่สุด เท่ากับ  $4.17\text{ }\mu\text{m}$  และเล็กที่สุด คือ ระยะประชิด มีขนาดเท่ากับ  $1.10\text{ }\mu\text{m}$  เนื่องจากที่ระยะไกลเกิดความฟุ้งกระจายน้อยกว่าระยะประชิด ทำให้ความฟุ้งพบมากในระยะนี้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Vongsakul & Sukhavachana (2014) ที่กล่าวถึงขนาดของอนุภาคว่า ส่วนใหญ่มีลักษณะกลม มีขนาดตั้งแต่ 0.1 ถึง 30 ไมครอน ซึ่งจากการทดลองในงานวิจัยนี้ ทำให้ทราบว่า สามารถพบอนุภาคเขม่าดินปืนที่มีขนาดใหญ่ ( $>5$  ไมครอน) ได้ทุกตำแหน่ง แต่ต่างกันที่ปริมาณของอนุภาคที่จะสามารถพบในระยะใกล้มากกว่า ทำให้ค่าเฉลี่ยของขนาดอนุภาคที่ระยะใกล้มีขนาดเล็กกว่าระยะไกล เนื่องจาก อนุภาคเขม่าดินปืนที่มีขนาดใหญ่มีมวลมากกว่า ทำให้การเคลื่อนที่ฟุ้งไปข้างหน้าและไปได้ไกลกว่าอนุภาคเขม่าดินปืนขนาดเล็ก ซึ่งมีมวลน้อย เมื่ออนุภาคเขม่าดินปืนขนาดเล็กจึงฟุ้งไปได้ไม่ไกล แต่จะฟุ้งอยู่บริเวณใกล้ ๆ เป็นผลทำให้ปริมาณเขม่าดินปืนขนาดเล็กพบได้มากที่ระยะใกล้

และจากการศึกษาปริมาณธาตุองค์ประกอบหลักของเขม่าดินปืน ทั้ง 3 ธาตุ ได้แก่ แอนติโมนี (Sb) แบเรียม (Ba) และตะกั่ว (Pb) พบว่า มีปริมาณตะกั่วมากที่สุด เนื่องจากผู้ผลิตกระสุนปืนต้องการประสิทธิภาพและประสิทธิผลในการใช้งาน ซึ่งตะกั่วทำหน้าที่เป็นเชื้อปะทุให้เริ่มการเผาไหม้ เป็นสารที่สามารถระเบิดเป็นประกายไฟได้ด้วยการถูกกระแทก ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Mahacharoen (2018) ที่กล่าวถึงปริมาณธาตุองค์ประกอบหลักที่พบในปลอกกระสุนปืนพกกึ่งอัตโนมัติแต่ละยี่ห้อ

เมื่อทำการศึกษาระยะการยิงที่แตกต่างกัน 6 ระยะ ได้แก่ ระยะประชิดระยะ 5, 10, 15, 20 และ 25 เมตร ทำให้เปอร์เซ็นต์ปริมาณธาตุองค์ประกอบของเขม่าดินปืนแตกต่างกัน พบว่า ที่ระยะ 5 เมตร พบเปอร์เซ็นต์ธาตุของเขม่าดินปืนมากที่สุด โดยรายงานปริมาณธาตุองค์ประกอบเป็นค่าเฉลี่ย  $\pm$  ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน คือ มีธาตุแอนติโมนี (Sb) เท่ากับ  $7.37 \pm 3.08$  มีปริมาณธาตุแบเรียม (Ba) เท่ากับ  $10.25 \pm 4.81$  และมีปริมาณธาตุตะกั่ว (Pb) เท่ากับ  $27.55 \pm 8.59$  (ดูจากปริมาณเฉลี่ยของ Ba) เนื่องจากการกระจายตัวของเขม่าดินปืน ไม่กระจุกตัวที่ปากกระบอกปืน จึงพบปริมาณเขม่าดินปืนที่ระยะประชิดน้อยกว่าระยะ 5 เมตร และเมื่อศึกษาที่ระยะไกลออกไป พบว่า ที่ระยะ 20 เมตร เริ่มพบปริมาณเขม่าดินปืนที่ลดลงและในบางจุดไม่พบปริมาณธาตุองค์ประกอบหลักบางชนิด ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Mingchanid & Kulnides (2017) ที่กล่าวถึงการตรวจเขม่าดินปืนในระยะเวลานานกว่า 6 ชั่วโมง ไม่สามารถตรวจหาธาตุแอนติโมนี แบเรียมและตะกั่วได้ ซึ่งจากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเปอร์เซ็นต์ของธาตุองค์ประกอบหลักเขม่าดินปืน (Wt%) และระยะการยิง พบว่า ปริมาณเปอร์เซ็นต์ของธาตุไม่มีความสัมพันธ์กับระยะการยิง ทั้งนี้อาจมีสาเหตุมาจาก สถานที่ที่ทดสอบการยิง ซึ่งเป็นพื้นที่โล่งแจ้ง จึงอาจมีธาตุอื่น ๆ ปนเปื้อนขณะทำการทดลองหรือปนเปื้อนขณะเก็บตัวอย่างเพื่อรอส่งวิเคราะห์ SEM/EDX

ซึ่งผลการศึกษาลักษณะทางกายภาพของเขม่าดินปืนด้วย SEM พบว่า มีอนุภาคทั้งทรงกลมและอนุภาคอื่นปะปนอยู่ จึงทำให้สามารถสันนิษฐานในเบื้องต้นได้ว่ามีธาตุอื่นปะปนอยู่ ผลการวิจัยดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า

เทคนิค Scanning Electron Microscope/Energy Dispersive X-ray Spectroscopy, SEM/EDX นี้สามารถบอกขนาดอนุภาคของเขม่าดินปืน และตรวจหาธาตุแอนติโมนี (Sb) แบเรียม (Ba) และตะกั่ว (Pb) ที่เป็นธาตุองค์ประกอบหลักของเขม่าดินปืนได้ในระยะการยิงที่สนใจ คือ ระยะประชิด ระยะ 5, 10, 15, 20 และ 25 เมตร ดังนั้น การศึกษานี้จึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานด้านนิติวิทยาศาสตร์ในการยืนยันระยะการยิงที่สามารถตรวจพบได้ อีกทั้งยังเป็นประโยชน์ให้กับผู้ปฏิบัติงานและเจ้าหน้าที่ตรวจพิสูจน์ได้ทราบหากมีการใช้อาวุธปืนประเภทนี้จะใช้ระยะการตรวจไหนที่ดีที่สุด นอกจากนี้ การเก็บตัวอย่างในบริเวณที่อาจมีการยิงปืนมาตรวจวิเคราะห์ ก็สามารถนำมาใช้ยืนยันจุดเกิดเหตุได้ ซึ่งสิ่งที่ได้มาล้วนมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการเชื่อมโยงการกระทำความผิด ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของงานด้านนิติวิทยาศาสตร์

## ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะที่ได้จากการวิจัย

1. ในการทดสอบการยิงในระยะต่าง ๆ ผู้วิจัยพบว่าขนาดอนุภาคของเขม่าดินปืนที่ระยะไกลมีขนาดใหญ่กว่าระยะใกล้ ดังนั้นผู้ปฏิบัติสามารถใช้ประโยชน์จากขนาดอนุภาคนี้กำหนดระยะในการตรวจสอบว่าเขม่าที่พบเป็นเขม่าดินปืนจริง
2. ในการทดสอบหาปริมาณเขม่าดินปืนที่ระยะที่แตกต่างกัน ทำให้ทราบว่าที่ระยะ 5 เมตร มีปริมาณเขม่าดินปืนมากที่สุด เนื่องจากการกระจายตัวของเขม่าดินปืน ไม่กระจุกตัวที่ปากกระบอกปืน จึงพบปริมาณเขม่าดินปืนที่ระยะประชิดน้อยกว่าระยะ 5 เมตร และเมื่อศึกษาที่ระยะ 20 เมตร เริ่มมีปริมาณเขม่าดินปืนลดลง และในบางจุดไม่พบปริมาณธาตุองค์ประกอบหลักบางชนิด ผู้ปฏิบัติสามารถนำผลไปใช้ในการกำหนดระยะการตรวจหาเขม่าดินปืนได้

ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยครั้งต่อไป

1. การศึกษาเปรียบเทียบความคงอยู่ของปริมาณเขม่าดินปืนบนผ้า ควรเพิ่มชนิดของผ้าที่นำมาใช้เป็นเป้ายิงให้มีความหลากหลาย เช่น ผ้ายีนส์ ผ้าร่ม เป็นต้น
2. ควรเพิ่มชนิดของอาวุธปืนพกสั้นที่ใช้ยิงทดสอบให้มีประเภทที่หลากหลายขึ้น เช่น CZ75, Glock19, Colt 1911A1 เป็นต้น เพื่อให้งานวิจัยมีความครอบคลุมและเกิดประโยชน์ต่อการสืบสวนสอบสวนคดีที่เกี่ยวข้องกับอาวุธ และเกิดประโยชน์ต่องานด้านนิติวิทยาศาสตร์ต่อไป

## เอกสารอ้างอิง

- ณรงค์ กุณิเทศ. (2558). การวิเคราะห์เขม่าดินปืนบนเสื้อผ้าแต่ละชนิดโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด. วารสารวิชาการอาชีวศึกษาและนิติวิทยาศาสตร์ โรงเรียนนายร้อยตำรวจ, 1(1): 23-30.
- อิติ มหาเจริญ. (2561). การตรวจลักษณะธาตุองค์ประกอบในปลอกกระสุนปืนพกกึ่งอัตโนมัติ โดยวิธี Scanning Electron Microscope/Energy Dispersive X-ray Spectroscopy เพื่อประยุกต์ใช้ในงานนิติวิทยาศาสตร์. วารสารวิชาการอาชีวศึกษาและนิติวิทยาศาสตร์ โรงเรียนนายร้อยตำรวจ, 4(1): 26-41.

- ธีระศักดิ์ ว่องสกุล และสันดี สุขวัฒน์. (2557). การศึกษาเปรียบเทียบลักษณะการกระจายตัวและคุณสมบัติของอนุภาคเขม่าป็น ที่เกิดจากการยิงปืนสั้นรีวอลเวอร์ ขนาด .38 นิ้ว ที่มีความยาวลำกล้องแตกต่างกัน. วารสารวิชาการ Veridian E-Journal, 6(2): 12-23.
- พุทธิชาติ มิ่งชนะนิต และณรงค์ กุลนิเทศ. (2560). การศึกษาความสัมพันธ์ของปริมาณเขม่าป็นภายหลังการยิงปืนบนหลังมือและฝ่ามือจำแนกตามอาชีพ ช่วงเวลาหลังยิงปืนตามขนาดอาวุธปืนและลูกกระสุนปืน. การนำเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ เครือข่ายบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏภาคเหนือ ครั้งที่ 17, 2579-2592. พิษณุโลก: มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม.
- พุทธิชาติ มิ่งชนะนิต และณรงค์ กุลนิเทศ. (2560). การศึกษาระยะเวลาการคงอยู่ของปริมาณเขม่าป็นภายหลังการยิงปืน 9 มม. บนหลังมือและฝ่ามือจำแนกตามช่วงเวลาหลังยิงปืนและลูกกระสุนปืน. วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยขอนแก่น (ฉบับบัณฑิตศึกษา), 17(3): 8-18.
- ไพจิตร อังศิริวัฒน์. (2541). รวมสูตรเคลือบเซรามิกส์. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.
- ภิญญา อ้นสนั่น, สุภา ภูสิทธิศักดิ์ และจิรวรรณ ธนรัตน์. (2556). การหาปริมาณไนเตรทในเขม่าดินปืนภายในลำกล้องปืนโดยเทคนิคสเปกโตรโฟโตเมตรี. วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยขอนแก่น (ฉบับบัณฑิตศึกษา), 13(4): 46-57.
- รัชนารถ กิตติสุขภู. (2535). การตรวจคราบเขม่าจากการยิงปืนที่มีมือ โดยวิธี SEM/EDX. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล.
- วิฑูรย์ แซ่โจ้ว. (2549). หลักการพื้นฐานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, (SEM). เอกสารประกอบการบรรยาย คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- วิรุฬห์ พรหมมากุล. (2560). การวัดความหนาของฟิล์มบางนาโนด้วยเทคนิคเอกซเรย์สเปกโตรสโคปีแบบกระจายพลังงาน. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา.
- วิวัฒน์ ชินวร. (2547). การวิเคราะห์เขม่าป็นด้วยเทคนิค SEM/EDX. วิทยานิพนธ์ปริญญา มหาบัณฑิต สาขานิติวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- สำนักงานตำรวจแห่งชาติ. (2562). สถิติฐานความผิดคดีอาญา (คดี 4 กลุ่ม) หน่วยงานตำรวจภูธรภาค 4. [Online]. Available: <https://images.app.goo.gl/fPDzGEMDLJYaWrzS9> [2563, พฤศจิกายน 15].
- อาคม รวมสุวรรณ . (2558). จี๊วแจ๊วจอมโหด ส่องปืนจี๊ว 5 กระบอก เล็กพริกชี้หมูมาดุกกัน., จาก <https://www.thairath.co.th/content/509454>. สืบค้น 26 ธันวาคม 2563
- จารุวรรณ อัมพฤกษ์. (2555). การวิเคราะห์เส้นใยธรรมชาติ และเส้นใยสังเคราะห์ในงานทางนิติวิทยาศาสตร์ โดย Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR). การค้นคว้าอิสระปริญญา มหาบัณฑิต สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร.

## References

- Ficek, M., Malánik, Z., Mikuličová, M. & Gracla, M. (2019). **Influence of the Shooting Distance on the Depth of Penetration of the Bullet Into the Replacement Material for Air Gun Weapons.** 30<sup>th</sup> Daaam International Symposium on Intelligent Manufacturing and Automation. 0663-0672.
- Wolten, GM., Calloway, AR., Loper, GL., & Nesbitt, RS. (1979). Particle Analysis for the Detection of Gunshot Residue II: Occupational and Environmental Particles. **Journal of Forensic Science**, 24(2): 533–545.

## Translated Thai References

- Ansanan, P., Poosittisak, S., & Thanoorad, J. (2013). Spectrophotometric Determination of Nitrate in Gunshot Residues Obtained from the Gun Barrel. **KKU Research Journal (Graduate Studies)**, 13(4): 46-57. (in Thai)
- Ampruk, J. (2012). **Forensic analyses natural and synthetic fibers using FT-IR spectroscopy.** Independent Study Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree Master of Science Program of Forensic Science Silpakorn University. (in Thai)
- Chinaworn, W. (2004). **Gunshot Residue Analysis by SEM/EDX.** A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree Master of Science Department of Chemistry Silpakorn University. (in Thai)
- Ingsiriwat, P. (1998). **Ceramic Clay.** Bangkok: The Odient Store Press. (in Thai)
- Kunides, N. (2015). Gunshot Residue Analysis on different clothes by Scanning Electron Microscope/Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (SEM/EDS). **Journal of Criminology and Forensic Science**, 1(1): 23-30. (in Thai)
- Kiittidusadee, R. (1992). **Detection of Gunshot Residues on Hands by Scanning Electron Microscope/Energy Dispersive X-ray spectroscopy (SEM/EDX).** Thesis Supervisory Committee Master of Science (Forensic Science) Mahidol University. (in Thai)
- 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. (in Thai)
- Mingchanid, P. & Kulnides, N. (2017). Study on Persistence of Gunshort Residue After Shooting From 9 mm Pistol on Back of Hands and Palms with Different Persistent. **KKU Research Journal (Graduate Studies)**. 17(3): 8-18. (in Thai)

- Mingchanid, P. & Kulnides, N. (2017). **The Correlation between the Gunshot Residue on Back of the Hands and Palms and the Occupations with Different Persistent Durations, Gun Sizes, and Bullet Types**. The 17<sup>th</sup> Graduate Studies of Northern Rajabhat University Network Conference. (in Thai)
- Prommakoon, W. (2017). **Thickness Measurement of Nano Thin Film by Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy Technique**. Master of Science thesis of Physics Faculty of Science Burapha University. (in Thai)
- Royal Thai Police. (2019). **Statistics on the Base of Criminal Cases (4 Groups of Cases), Provincial Police Department, Region 4**. Retrieved 15 November 2020, from <https://images.app.goo.gl/fPDzGEMDLJYaWrzS9>. (in Thai)
- Ruomsuwan, A. (2015). **Tiny Jaeew, Brutal, Light Gun, 5 Miniature Dolls, Proxy**. Retrieved 26 December 2020, from <https://www.thairath.co.th/content/509454>. (in Thai)
- Saegow, W. (2006). **Basic Principles of Scanning Electron Microscope (SEM)**. Faculty of Science Silpakorn University. (in Thai)
- Vongsakul, T. & Sukhavachana, S. (2014). The Study of Comparison Between Distribution and Properties of Gunshot Residue by Shooting the Revolvers Size .38 With Difference of Caliber. **Veridian E-Journal Science and Technology Silpakorn University**, 6(2): 12-23. (in Thai)

## คณะผู้เขียน

### ร้อยตำรวจเอกพิชิตพล ราชคม

คณะนิติวิทยาศาสตร์ โรงเรียนนายร้อยตำรวจ

เลขที่ 90 หมู่ 7 ตำบลสามพราน อำเภอสามพราน จังหวัดนครปฐม 73110

e-mail: phichitphon\_bess@hotmail.com

### ศาสตราจารย์ พลตำรวจตรีหญิง ดร. พัชรา สิ้นลอยมา

คณะนิติวิทยาศาสตร์ โรงเรียนนายร้อยตำรวจ

เลขที่ 90 หมู่ 7 ตำบลสามพราน อำเภอสามพราน จังหวัดนครปฐม 73110

e-mail: sinloyma@gmail.com