

การถ่ายภาพพื้นผิวลูกกระสุนปืน แบบ 3 มิติ เพื่อตรวจเปรียบเทียบลูกกระสุนปืน ที่ยิงออกจากลำกล้องปืน แบบโพลีโกนอล*

Photography Surface of Bullet 3D for Comparison Individual Marks of Bullet Fired From Polygonal Rifling

สกลกฤษณ์ เอกจักรวาล (Sakolkrit Akejakrawan)^{**}

สฤณี สืบพงษ์ศิริ (Sarit Suebongsiri)^{***}

ธนศักดิ์ บุญมาก (Tanongsak Boonmak)^{****}

บทคัดย่อ

ปัจจุบันเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจเปรียบเทียบลูกกระสุนปืน คือ กล้องจุลทรรศน์เปรียบเทียบ (Comparison Microscope) แต่ด้วยนวัตกรรมการผลิตอาวุธปืน ได้มีการผลิตลำกล้องปืน แบบ Polygonal Rifling เพื่อลดแรงเสียดทานระหว่างลูกกระสุนปืนกับลำกล้องปืน เพิ่มประสิทธิภาพการยิงอาวุธปืนให้มีความแม่นยำ และทำลายเป้าหมายได้รุนแรงมากขึ้น ส่งผลกระทบในการตรวจเปรียบเทียบลูกกระสุนปืน เนื่องจากกล้องจุลทรรศน์เปรียบเทียบ มีกำลังขยายไม่เพียงพอ ที่จะให้ผู้ชำนาญเห็นลักษณะตำหนิพิเศษบนลูกกระสุนปืนได้ ส่งผลต่อความเชื่อมั่นของผู้ชำนาญในการออกรายงานผลตรวจ และการพิจารณาดีในกระบวนการยุติธรรม ดังนั้นผู้วิจัยจึงนำเสนอ กล้องจุลทรรศน์ แบบ 3D ที่มีเทคโนโลยีขั้นสูง มีการประมวลผลที่ละเอียด และมีความถูกต้องมากขึ้น ซึ่งผลการทดลองประสิทธิภาพของ กล้อง Super High Vertical Resolution Non-Contact 3D Surface Profiler เบื้องต้นพบว่า สามารถหาลักษณะตำหนิพิเศษบนลูกกระสุนปืน ที่ยิงออกจากลำกล้องปืน แบบ Polygonal Rifling และวัดสภาพพื้นผิวลูกกระสุนปืน ออกมาเป็นค่าตัวเลข 3 มิติ (แกน X , Y , Z) เพื่อช่วยเพิ่มความเชื่อมั่นให้กับผู้ชำนาญในการออกรายงานผลตรวจ และเป็นแนวทางการแก้ไขปัญหาการตรวจเปรียบเทียบลูกกระสุนปืน ที่ยิงออกจากลำกล้องปืน แบบ Polygonal Rifling ในอนาคต

คำสำคัญ : ตำหนิพิเศษบนพื้นผิวลูกกระสุนปืน ลำกล้องปืนแบบโพลีโกนอล อาวุธปืนกึ่งอัตโนมัติ

* บทความนี้เป็นส่วนหนึ่งของดุษฎีนิพนธ์ หลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิตกิตติมศักดิ์วิทยาศาสตรและงานยุติธรรม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

This article is part of a Ph.D. Thesis, Doctor of Philosophy Program in Forensic Science and Criminal Justice, Graduate School, Silpakorn University

^{**} นักศึกษา หลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิตกิตติมศักดิ์วิทยาศาสตรและงานยุติธรรม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

Ph.D. Candidate in Forensic Science and Criminal Justice, Graduate School, Silpakorn University

^{***} ผู้ช่วยศาสตราจารย์ พันตำรวจโท คณะนิติวิทยาศาสตร์ โรงเรียนนายร้อยตำรวจ สำนักงานตำรวจแห่งชาติ

Asst.Prof.Pol.Lt.Col.Dr., Faculty of Forensic Science, Royal Police Cadet Academy, Royal Thai Police

^{****} พันตำรวจโท กลุ่มงานตรวจอาวุธปืนและเครื่องกระสุน กองพิสูจน์หลักฐานกลาง สำนักงานตำรวจแห่งชาติ

Pol.Lt.Col., Firearms and ammunition Identification, Central Police Forensic Science Division, Royal

Thai Police

Abstract

Nowadays, fired bullet individual marks can be done by direct comparison with samples using a Comparison Microscope. However, a new innovation in gun manufacturing has led to Polygonal Rifling, helping reduce friction between the bullets and the barrel of the gun. This facilitates accurate firing, enabling more effective target destruction, but it also affects the results of bullet comparison for individual marks using a Comparison Microscope, as this new technology inhibits the abilities of professionals in individual marks flaws on the bullet. This leads to individual marks with decreased confidence, hindering prosecution. This research proposes the use of a 3D Comparison Microscope which, with improved technology, can observe details in evaluation more accurately. The test results for the Super High Vertical Resolution Non-Contact 3D Surface Profiler show improvements in detecting special marks from fired bullets using Polygonal Rifling. Moreover, it can measure the surface of the bullet in 3D, increasing the confidence of evaluation by gun professionals during individual marks, solving the problems developed by the introduction of Polygonal Rifling.

Key words : Individual marks on bullet , Polygonal rifling , Semi-automatic

บทนำ

ปัญหาด้านอาชญากรรมมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น และมีความรุนแรงขึ้นเรื่อยๆ จะเห็นได้จากการใช้อาวุธปืนในการก่อเหตุมากยิ่งขึ้น (ในช่วงเดือน ต.ค. 2556 - มี.ค. 2557) ในรอบ 6 เดือน ของปีงบประมาณ 2557 จับกุมอาชญากรรมโดยใช้อาวุธปืนในการก่อเหตุได้ จำนวน 19,760 ราย เป็นอาวุธปืนสงคราม 352 ราย, อาวุธปืนธรรมดา 19,408 ราย (กองสารนิเทศ สำนักงานตำรวจแห่งชาติ, 2557) เมื่อมีการใช้อาวุธปืนก่อเหตุอาชญากรรม เจ้าหน้าที่จะนำลูกกระสุนปืนจากสถานที่เกิดเหตุ, ผู้ได้รับบาดเจ็บหรือเสียชีวิต และอาวุธปืนต้องสงสัย มาตรวจเปรียบเทียบกับกล้องจุลทรรศน์เปรียบเทียบ (Comparison Microscope) ว่าลูกกระสุนปืนยังออกมาจากอาวุธปืนกระบอกเดียวกันหรือไม่ แต่ด้วยนวัตกรรมการผลิตอาวุธปืนในปัจจุบัน ได้มีการผลิตลำกล้องปืน แบบ Polygonal Rifling เพื่อลดแรงเสียดทานระหว่างพื้นผิวลูกกระสุนปืนกับลำกล้องปืน เพิ่มประสิทธิภาพการยิงอาวุธปืน ทำให้มีความแม่นยำ และทำลายเป้าหมายได้รุนแรงมากขึ้น การลดแรงเสียดทานดังกล่าวคือการลดพื้นที่ผิวสัมผัส ระหว่างลูกกระสุนปืนกับลำกล้องปืน ทำให้รอยที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวลูกกระสุนปืน ซึ่งเป็นบริเวณที่ต้องการเปรียบเทียบลักษณะตำหนิพิเศษนั้น มีพื้นที่เล็กลง และรอยครูดตื้นขึ้น ส่งผลกระทบในการตรวจเปรียบเทียบลูกกระสุนปืน ที่กล้องจุลทรรศน์เปรียบเทียบ (Comparison Microscope) มีกำลังขยายไม่เพียงพอ ที่จะทำให้ผู้ชำนาญเห็นลักษณะตำหนิพิเศษบนพื้นผิวลูกกระสุนปืนได้ ส่งผลต่อความเชื่อมั่นของผู้ชำนาญในการออกรายงานผลตรวจ และการพิจารณาคดีในกระบวนการยุติธรรม

เทคโนโลยีและคอมพิวเตอร์ในปัจจุบันมีความทันสมัย ได้รับการพัฒนาไปอย่างต่อเนื่อง มีความถูกต้องและแม่นยำมากขึ้น อีกทั้งมีความเป็นกลางในการตัดสินใจความต้องการ โดยกล้องจุลทรรศน์ แบบ 3 มิติ ปกติเป็นเครื่องมือที่ใช้ในงานด้านอุตสาหกรรม เช่น การวัดพื้นผิวของปลายเข็มเจาะ (Micro Drill Bits) มีกำลังขยายสูง สามารถวัดค่าพื้นผิววัตถุในรูปแบบ 3 มิติ ความกว้าง ความยาว ความลึก (แกน X , Y , Z) และวัดค่าออกมาเป็นตัวเลขได้อย่างถูกต้องแม่นยำ

ผู้วิจัยต้องการนำเสนอ กล้องจุลทรรศน์ แบบ 3D ที่มีเทคโนโลยีขั้นสูง มีการต่อเข้ากับซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ เพื่อการประมวลผลที่ละเอียด และมีความถูกต้องมากขึ้น ซึ่งผลการทดลองประสิทธิภาพของ กล้อง Super High Vertical Resolution Non-Contact 3D Surface Profiler ช่วยเพิ่มความเชื่อมั่นให้กับผู้ชำนาญในการออกรายงานผลตรวจ และเป็นแนวทางการแก้ไขปัญหาการตรวจเปรียบเทียบลูกกระสุนปืน ที่ยิงออกจากลำกล้องปืน แบบ Polygonal Rifling ในอนาคต

อาวุธปืนและเครื่องกระสุนปืน

อาวุธปืนลูกโม่ (Revolver)

กลไกการทำงานของอาวุธปืนลูกโม่ สามารถยิงได้ทั้งที่ขึ้นนกก่อน (single action) หรือไม่ขึ้นนก (double action) การขึ้นนกจะเป็นการหมุนลูกโม่ นำกระสุนลูกใหม่มาเตรียมพร้อมในรังเพลิง เมื่อเหยี่ยวไกนกจะสับลงมาที่แก๊ปปืน การยิงลักษณะนี้จะมีความแม่นยำกว่าการเหยี่ยวไกโดยไม่ขึ้นนก การเหยี่ยวไกโดยไม่ขึ้นนกก่อนนั้นจังหวะแรกของการเหยี่ยวไกจะเป็นการขึ้นนกและหมุนลูกโม่ จังหวะที่สองจึงจะเป็นการสับไก ส่วนลูกโม่ปืนจะหมุนตามหรือทวนเข็มนาฬิกา จะขึ้นอยู่กับการออกแบบของผู้ผลิต

ร่องรอยที่นกสับลงที่แก๊ปปืน จะมีลักษณะแตกต่างกันไปของปืนแต่ละกระบอก การตรวจรอยสับของนกปืนจึงอาจสามารถเปรียบเทียบหาอาวุธที่ใช้ยิงได้ (เลียง, 2550) บริเวณที่นกสับจะเกิดรอยยุบลงที่แก๊ปปืน ซึ่งก็คือ รอยของเข็มแทงชนวนในกลไกของอาวุธปืนลูกโม่

อาวุธปืนกึ่งอัตโนมัติ (Semi-automatic)

กลไกการทำงานของปืนพกกึ่งอัตโนมัติไม่มีลูกโม่ แต่กระสุนจะถูกจัดเรียงไว้ในตลับ (magazine) ซึ่งจะส่งลูกปืนเข้าสู่รังเพลิงหลังการยิง และปลดกระสุนปืนที่ยิงแล้ว ต้องถูกผลักดันออกไปออกรังเพลิงทุกครั้งหลังการยิง ซึ่งการคัดปลดกระสุนและส่งกระสุนปืนลูกต่อไปเข้าสู่รังเพลิงจะเป็นไปโดยอัตโนมัติ และสามารถยิงต่อไปได้โดยการเหยี่ยวไกอย่างต่อเนื่อง

ในการยิงกระสุนปืนนัดแรก ผู้ยิงต้องขึ้นลำโดยเลื่อนชุดครอบลำกล้องไปด้านหลังเพื่อให้กระสุนปืนลูกแรก เข้าไปอยู่ในรังเพลิงและเป็นการขึ้นนกไปด้วย เมื่อกระสุนอยู่ในรังเพลิงแล้วก็สามารถยิงและก็จะมีการคัดปลดกระสุน ส่งกระสุนเข้ารังเพลิงดังกล่าวได้กล่าวมาข้างต้น (เลียง, 2550)

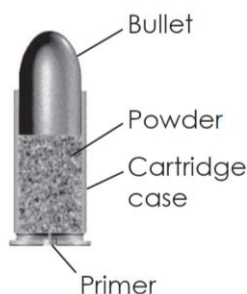
เกลียวภายในลำกล้องปืน แยกออกมาได้ 2 ประเภท

1.ประเภทที่มีเกลียวภายในลำกล้อง ประเภทนี้ใช้กับกระสุนปืนลูกโต เมื่อยิงปืนแรงอัดของแก๊สจะขับเคลื่อนให้ลูกกระสุนปืนวิ่งไปครูดไปในเกลียวภายในลำกล้องปืน แล้วหมุนออกไปจากปากลำกล้องปืน ทำให้สามารถวิ่งผ่านอากาศออกไปตรงตามทิศทางที่เล็ง

2.ประเภทที่ไม่มีเกลียวภายในลำกล้อง ประเภทนี้ใช้กับกระสุนลูกปราย ได้แก่ ปืนลูกซอง ซึ่งลำกล้องปืนภายในเรียบ ไม่มีร่องเกลียวภายในลำกล้อง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลำกล้องมีหลายขนาด (ศักดิ์ชัย, 2555)

ส่วนประกอบของกระสุนปืน

- 1.ปลอกกระสุนปืน (Cartridge case) ส่วนมากจะผลิตขึ้นจากโลหะทองเหลือง
- 2.ชนวนท้ายกระสุนหรือแก๊ปปืน (Primer) เมื่อถูกกระแทกด้วยปลายเข็มแทงชนวน จะเกิดเป็นประกายไฟ เพื่อเป็นเชื้อประทุในการจุดระเบิดเผาไหม้ดินส่กระสุน
- 3.ดินส่กระสุนปืนหรือดินปืน (Gun powder) บรรจุอยู่ในกระสุนปืน (ส่วนของปลอกกระสุนปืน) เมื่อเกิดการลุกไหม้จะให้แก๊สปริมาณมากในช่วงระยะเวลาอันสั้น ซึ่งแก๊สที่เกิดขึ้นนี้จะดันลูกกระสุนปืนให้วิ่งออกจากลำกล้องปืน
- 4.ลูกกระสุนปืน (Bullet) คือส่วนของกระสุนปืนที่จะวิ่งออกจากลำกล้องปืน ไปยังเป้าหมายเมื่อมีการยิง ลูกกระสุนปืนในปัจจุบันมีอยู่ด้วยกัน 2 แบบ คือ Lead Bullet ลูกกระสุนที่ทำมาจากตะกั่ว และ Jacketed Bullet เป็นลูกกระสุนปืนที่มีโลหะหุ้มแกนตะกั่วหรือแกนเหล็กไว้อีกชั้นหนึ่ง (ศักดิ์ชัย, 2555)



ภาพที่ 1 ส่วนประกอบของกระสุนปืน (American bar association section of science & technology law, 2007)

รอยบนลูกกระสุนปืน

ภายในของลำกล้องปืน (ยกเว้นลำกล้องปืนลูกซอง) จะมีเกลียวลำกล้องปืน เพื่อช่วยรักษาเสถียรภาพของวิถีกระสุนปืน ทำให้ลูกกระสุนปืนเกิดการหมุนรอบตัวเองเมื่อถูกยิงออกไป เกลียวลำกล้องปืนประกอบด้วยส่วนที่ต่ำเรียกว่า “ร่องเกลียว” และส่วนที่สูงเรียกว่า “สันเกลียว” โดยสันเกลียวจะบังคับลูกกระสุนปืนให้หมุนรอบตัวเอง เกิดเป็นรอยครูดบนพื้นผิวลูกกระสุนปืนที่ถูกยิงออกจากลำกล้องปืน The land engraved

areas (LEA) โดยจะเกิดรอยบนพื้นผิวลูกกระสุนปืนหลายรอย (LEAs) ซึ่งรอยเกลียวลำกล้องบนพื้นผิวลูกกระสุนปืนนั้น สามารถใช้เพื่อจำแนกประเภทหรือขอบเขตของอาวุธปืน แต่ไม่ใช้การหาลักษณะตำหนิพิเศษบนลูกกระสุนปืน (George et al., 2013)

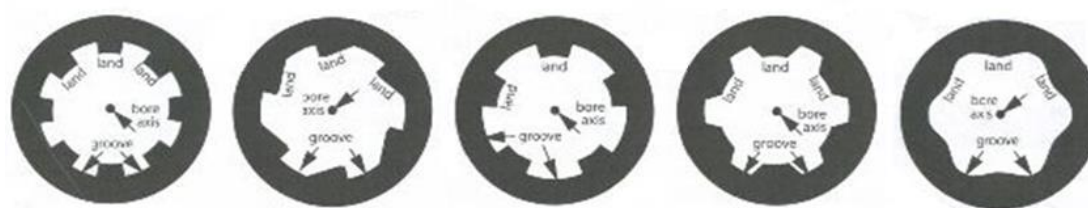


ภาพที่ 2 (A) ร่องเกลียวสันเกลียวภายในลำกล้องปืน, (B) รูปแบบของรอยตำหนิที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวลูกกระสุนปืน (American bar association section of science & technology law, 2007)

ซึ่งในงานวิจัยเรื่อง Automatic identification of bullet signatures based on consecutive matching striae (CMS) criteria กล่าวว่า การเกิดรอยจากเกลียวลำกล้องที่ครูดลงบนพื้นผิวลูกกระสุนปืน ไม่ได้เกิดทั้งหมดของพื้นผิวรอบลูกกระสุนปืน โดยบางพื้นที่ของรอยเกลียวลำกล้องบนลูกกระสุนปืนก็เกิดขึ้นไม่ชัดเจน ทำให้บริเวณนั้นไม่สามารถนำมาใช้ยืนยันลักษณะตำหนิพิเศษของเกลียวลำกล้องบนพื้นผิวลูกกระสุนปืนได้ (Wei et al., 2013) อยู่บนหลักการของความจริงที่ว่า ไม่มีอาวุธปืนกระบอกใด ที่ทำให้เกิดรอยตำหนิพิเศษบนพื้นผิวลูกกระสุนปืนมีความคล้ายคลึงกัน นอกจากการยิงผ่านลำกล้องปืนกระบอกนั้นๆ (Toni, 2008) การกัดกร่อนของสนิม สิ่งสกปรกและคราบเขม่า เมื่อระยะเวลาผ่านไปสามารถสร้างตำหนิชั่วคราวหรือถาวร ลงบนพื้นผิวลูกกระสุนปืน การเปลี่ยนแปลงเหล่านี้จะทำให้เป็นตำหนิพิเศษของปืนแต่ละกระบอกเพิ่มขึ้น ซึ่งจะตรวจเปรียบเทียบอาวุธปืนหลายๆ กระบอกได้ง่ายขึ้น แม้จะมาจากผู้ผลิตรายเดียวกัน (American bar association section of science & technology law, 2007)

วิวัฒนาการของลำกล้องปืน

ปัจจุบันอาวุธปืนมีหลายแบบ มีการพัฒนาการออกแบบอาวุธปืนอย่างต่อเนื่อง ทำให้ลูกกระสุนปืนที่ถูกยิงออกไปจากลำกล้องปืนนั้น เกิดการหมุนรอบตัวเอง ในการรักษาวิถีกระสุนให้เป็นแนวเส้นตรง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการยิงอาวุธปืน ให้มีความแม่นยำ ระยะหวังผลที่ไกลออกไป และทำลายเป้าหมายได้รุนแรงมากขึ้น จึงทำให้ลำกล้องปืน มีความหลากหลาย เช่น Conventional Rifling , Ratchet Rifling , Polygonal Rifling เป็นต้น



ภาพที่ 3 ร่องเกลียวและสันเกลียวภายในลำกล้องปืนแบบ Conventional Rifling , Ratchet Rifling , Enfield Rifling , Hybrid Rifling , Polygonal Rifling จากซ้ายไปขวาตามลำดับ (Brian, 2008)

ภายในลำกล้องปืนที่มีเกลียวลำกล้อง เป็นส่วนที่ทำให้ลูกกระสุนปืนเกิดการหมุนรอบตัวเอง ขณะเคลื่อนที่ออกจากลำกล้องปืน ส่งผลทำให้วิถีกระสุนมีความเสถียร จำนวนร่องเกลียวสันเกลียวของผู้ผลิตแต่ละราย จะมีความแตกต่างกัน เช่น รูปแบบลำกล้องปืน, เกลียวลำกล้องปืนวนซ้ายหรือวนขวา อ้างอิงตามรูปแบบเข็มนาฬิกา เมื่อมองจากห้องจุดระเบิดในอาวุธปืน (Peter, 2008) โดยร่องเกลียวสันเกลียวภายในลำกล้องปืน (ภาพที่ 3) มีลักษณะเป็นเหลี่ยมทุกแบบ ยกเว้นร่องเกลียวสันเกลียวภายในลำกล้องปืน แบบ Polygonal Rifling จะมีความโค้งมน ไม่เป็นเหลี่ยมเหมือนร่องเกลียวสันเกลียวภายในลำกล้องปืนแบบอื่นๆ ซึ่งเป็นนวัตกรรมการผลิตลำกล้องปืนที่ถูกพัฒนาขึ้นมาใหม่ โดยลดแรงเสียดทานระหว่างพื้นผิวลูกกระสุนปืนกับลำกล้องปืน เพื่อเพิ่มอนุภาพในการทำลายเป้าหมายให้มากขึ้น ซึ่งในหนังสือ The Forensic Laboratory Handbook ได้นิยามศัพท์ Polygonal Rifling ว่าเป็นเกลียวลำกล้องปืนที่มีความโค้งมน แทนเกลียวลำกล้องปืน ที่เป็นสี่เหลี่ยมแบบเดิม (Ashraf, Carla, 2006)

การตรวจพิสูจน์หลักฐาน

การตรวจเปรียบเทียบลูกกระสุนปืนและปลอกกระสุนปืน ว่ายังมาจากปืนกระบอกเดียวกันหรือไม่ เป็นการตรวจยืนยันเมื่อสามารถแสดงรอยตำหนิพิเศษ หรือตำหนิรอยลายเส้นที่ตรงกัน และเข้ากันได้ โดยใช้เครื่องมือ Comparison Microscope

การตรวจเปรียบเทียบลูกกระสุนปืนและปลอกกระสุนปืนกับคดีอื่นๆ ที่เกิดขึ้นและเก็บประวัติไว้ในระบบฐานข้อมูลของกลุ่มงานตรวจอาวุธปืนและเครื่องกระสุนปืน เป็นการตรวจเปรียบเทียบโดยใช้เครื่อง Integrated Ballistics Identification System (IBIS) ซึ่งเป็นเครื่องมือที่สามารถเก็บข้อมูลรอยรอยตำหนิพิเศษต่างๆ ของลูกกระสุนและปลอกกระสุนไว้ และนำออกมาเปรียบเทียบและประมวลผลให้โดยอัตโนมัติ สามารถทำงานได้รวดเร็วขึ้น (ศักดิ์ชัย, 2555)

การวิเคราะห์พยานวัตถุ

กระทำได้โดยศึกษาคุณลักษณะ 2 ประการ คือ คุณลักษณะทั่วไป (Class Characteristics) และคุณลักษณะเฉพาะ (Individual Characteristics) คุณลักษณะทั่วไปนั้น ใช้สำหรับบอกชนิดหรือประเภทของสิ่งนั้นๆ ส่วนความเป็นเอกลักษณ์เฉพาะ ใช้สำหรับบอกความเป็นเอกลักษณ์ (Identity) ของวัตถุสิ่งนั้น ตัวอย่างเช่น

ขนาดลูกกระสุนปืน จำนวนร่องเกลียวสันเกลียว จะบอกให้ทราบว่ายิงมาจากชนิดใด ขนาดใด ส่วนลายเส้นที่ร่องเกลียวสันเกลียวถ่ายทอดมาจากลักษณะเฉพาะของลำกล้องปืน จะเป็นเครื่องชี้ชัดว่า ลูกกระสุนปืนยิงมาจากอาวุธปืนกระบอกใด (กองบัญชาการการศึกษา สำนักงานตำรวจแห่งชาติ, 2558)

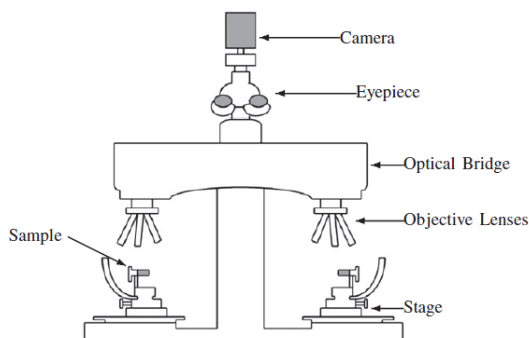
ขั้นตอนการตรวจเปรียบเทียบลูกกระสุนปืน

การตรวจเปรียบเทียบลูกกระสุนปืนและปลอกกระสุนปืน จากอาวุธปืนต้องสงสัยที่ใช้ในการก่อเหตุอาชญากรรมนั้น เมื่อเจ้าหน้าที่ตำรวจได้วัตถุพยานที่เป็นลูกกระสุนปืนจากสถานที่เกิดเหตุ, ในร่างกายผู้ได้รับบาดเจ็บหรือเสียชีวิต ต้องทำการสืบสวนสอบสวนหาอาวุธปืนต้องสงสัยที่ใช้ในการก่อเหตุ เพื่อนำมาตรวจเปรียบเทียบรอยเกลียวลำกล้องปืน โดยนำอาวุธปืนต้องสงสัย บรรจุกระสุนชนิดเดียวกันกับวัตถุพยาน (หากเจ้าหน้าที่ตำรวจไปตรวจค้นอาวุธปืนต้องสงสัย แล้วพบกระสุนปืนที่ถูกเก็บไว้ให้นำส่งกระสุนปืนดังกล่าว เพื่อมาเปรียบเทียบลูกกระสุนปืนด้วย) ยิงลงแทงก์น้ำ (Ballistic bullet recovery water tank) เพื่อรักษาสภาพของลูกกระสุน แล้วนำมาตรวจเปรียบเทียบกับลูกกระสุนที่พบในสถานที่เกิดเหตุ, ในร่างกายผู้ได้รับบาดเจ็บหรือเสียชีวิต ด้วยกล้องจุลทรรศน์เปรียบเทียบ (Comparison Microscope) ซึ่งเปรียบเทียบรอยที่เกิดจากเกลียวลำกล้องปืน 2 ภาพ ในแบบ 2 มิติ คือ แนวแกน X และแกน Y เพื่อหารอยเกลียวลำกล้อง ซึ่งเป็นลักษณะจำเพาะพิเศษที่คล้ายกันของอาวุธปืนแต่ละกระบอก (George et al., 2013)

การตรวจเปรียบเทียบลูกกระสุนปืน แบบ 2D

ผู้ชำนาญจะอาศัยความรู้ ความสามารถ ทักษะและความชำนาญ จากประสบการณ์ที่สะสมของแต่ละคน พิจารณาลูกกระสุนปืน และปลอกกระสุนปืนของกลาง ที่ได้มาจากสถานที่เกิดเหตุ, จากบาดแผลของผู้ได้รับบาดเจ็บ หรือเสียชีวิต ว่ายิงมาจากอาวุธปืนชนิดใด และขนาดเท่าไร ซึ่งในบางครั้งอาจจะสามารถยืนยันถึงยี่ห้อของอาวุธปืนที่ใช้ในการก่อเหตุได้ ทำให้พนักงานสืบสวนสอบสวนสามารถทำงานในวงที่แคบลง และรวดเร็วขึ้น ในการตามหาตัวผู้กระทำความผิด โดยเครื่องมือที่ผู้ชำนาญใช้ในการตรวจสอบว่าลูกกระสุนปืน และปลอกกระสุนปืน ถูกยิงมาจากอาวุธปืนกระบอกเดียวกันหรือไม่ หรือยิงมาจากอาวุธปืนต้องสงสัยหรือไม่ นั่น คือ กล้องจุลทรรศน์เปรียบเทียบ (Comparison Microscope) (แสง, 2556) ในระหว่างการตรวจเปรียบเทียบจำเพาะพิเศษบนพื้นผิวลูกกระสุนปืน โดยใช้กล้องจุลทรรศน์เปรียบเทียบ (Comparison Microscope) ผู้ชำนาญจะต้องทำการหมุนลูกกระสุนปืนตัวอย่าง (Control) และลูกกระสุนปืนสำหรับการตรวจเปรียบเทียบ เพื่อตรวจหารอยเกลียวลำกล้องบนพื้นผิวลูกกระสุนปืนที่เข้ากันได้ (Wei et al., 2013)

กล้องจุลทรรศน์เปรียบเทียบ (Comparison Microscope) เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการเปรียบเทียบรอยจำเพาะพิเศษ บนลูกกระสุนปืน หรือปลอกกระสุนปืน ด้วยภาพ 2 ภาพ ในแบบ 2 มิติ คือ แนวแกน X, แกน Y



ภาพที่ 4 กล้องจุลทรรศน์เปรียบเทียบ Comparison Microscope (George et al., 2013)

ลูกกระสุนปืนตัวอย่าง (Control) จากสถานที่เกิดเหตุ, จากบาดแผลของผู้ได้รับบาดเจ็บหรือเสียชีวิต จะถูกวางภายใต้กล้องจุลทรรศน์เปรียบเทียบ พร้อมกับลูกกระสุนที่ถูกยิงในห้องปฏิบัติการ จากอาวุธปืนต้องสงสัยที่ใช้ในการก่อเหตุอาชญากรรม เพื่อที่จะเปรียบเทียบลูกกระสุนปืนทางนิติวิทยาศาสตร์ โดยผู้ชำนาญจะมองหาคุณสมบัติหลายประการ ในการเปรียบเทียบลักษณะตำแหน่งพิเศษบนลูกกระสุนปืน จากระอยเกลียวลำกล้องปืน ที่มีลักษณะเป็นแนวยาวตามลูกกระสุนปืน การตรวจเปรียบเทียบจะประสบความสำเร็จได้นั้น ต้องแสดงความเชื่อมโยงระหว่างลูกกระสุนปืน หรือปลอกกระสุนปืน ที่ถูกยิงจากอาวุธปืนต้องสงสัยกับอาชญากรรม (Chris, 2008)

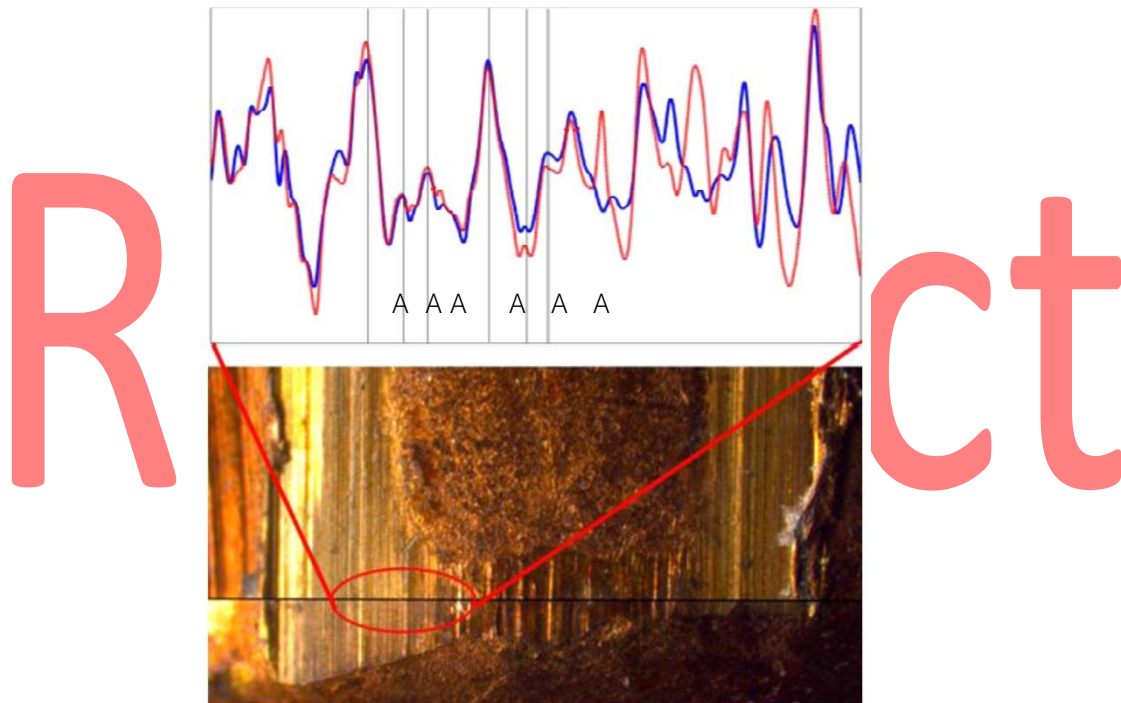
ปัญหาในการพิสูจน์หลักฐาน

ปัญหาหนึ่งในการตรวจทางนิติวิทยาศาสตร์ ด้านอาวุธปืนและเครื่องกระสุนของประเทศไทยนั้น คือ การตรวจเปรียบเทียบลูกกระสุนปืน ที่ยิงออกจากลำกล้องปืน แบบ Polygonal Rifling ซึ่งมีความโค้งมน จึงทำให้มีความแตกต่างจากลำกล้องปืนแบบอื่นๆ คือ พื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างลูกกระสุนปืนกับเกลียวลำกล้องปืนมีพื้นที่น้อยลง ทำให้การเกิดตำแหน่งพิเศษบนลูกกระสุนปืน มีพื้นที่ขนาดเล็กและรอยครูดตื้นขึ้น โดยเครื่องมือสำหรับการตรวจเปรียบเทียบลูกกระสุนปืนของประเทศไทยที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน ซึ่งเป็นกล้องจุลทรรศน์เปรียบเทียบ (Comparison Microscope) นั้น มีกำลังขยายไม่เพียงพอ ที่จะทำให้ผู้ชำนาญสามารถเห็นลักษณะตำแหน่งพิเศษที่เกิดจากเกลียวลำกล้องปืนบนลูกกระสุนปืน ที่ยิงออกจากลำกล้องปืน แบบ Polygonal Rifling ได้อย่างชัดเจน ส่งผลถึงความมั่นใจของผู้ชำนาญในการออกรายงานการตรวจเปรียบเทียบลูกกระสุนปืน ซึ่งอาจมีผลถึงการพิจารณาคดีในกระบวนการยุติธรรม

เทคโนโลยีของเครื่องมือในการตรวจเปรียบเทียบลูกกระสุนปืน แบบ 3D

ตั้งแต่ช่วงต้น ค.ศ. 1990 มีแนวความคิดเกี่ยวกับการเปรียบเทียบหลักฐานจากอาวุธปืนด้วยระบบคอมพิวเตอร์ ได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก เหตุผลคือ เพื่อให้ผู้ตรวจสอบอาวุธปืนใช้ประโยชน์จากการพัฒนาระบบของคอมพิวเตอร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Benjamin, 2002) เลเซอร์ถูกนำมาใช้จำนวนมาก โดยมุ่งความสนใจไปที่การสร้างข้อมูลพื้นผิววัตถุให้มีรายละเอียดสูง และสามารถวัดความลึก (z-depth) ของพื้นผิวได้ เลเซอร์

จึงถูกนำมาใช้ในกล้องจุลทรรศน์ confocal เพื่อตรวจสอบพื้นผิวลูกกระสุนปืนและปลอกกระสุนปืนทางนิติวิทยาศาสตร์ ให้มีความละเอียดสูงขึ้น โดยกล้องจุลทรรศน์แบบเลเซอร์ (Laser confocal microscopy) ใช้เลเซอร์แทนแหล่งกำเนิดแสง ส่องไปที่พื้นผิววัตถุ และสร้างพื้นผิว ในรูปแบบ 3 มิติ (George et al., 2013) การที่จะตรวจสอบพื้นผิวลูกกระสุน แบบ 3D นั้น การเลือกใช้เทคโนโลยีของเซ็นเซอร์เป็นสิ่งสำคัญ สำหรับเซ็นเซอร์ประเภท Confocal มีคุณสมบัติที่สำคัญ คือ มุมแสงตกกระทบ และมุมการสะท้อนของแสงเลเซอร์ เพื่อให้การวัดมีทิศทางที่ตั้งฉากกับพื้นผิวลูกกระสุนปืน ซึ่งเซ็นเซอร์ Confocal ทำงานโดยการฉายแสงเลเซอร์ผ่านเลนส์ ลงบนพื้นผิวลูกกระสุนปืนที่ต้องการวัดและตรวจสอบ การสะท้อนของแสงเลเซอร์จะอยู่ในเลนส์เดียวกัน แสงเลเซอร์นั้นจะฉายผ่านเลนส์อย่างต่อเนื่อง เพื่อรักษาการสะท้อนของแสงเลเซอร์ที่ตกกระทบพื้นผิวลูกกระสุนปืนในแนวระนาบ ซึ่งเลนส์จะตรวจสอบจุดโฟกัสพื้นผิวลูกกระสุนปืน (Benjamin, 2002)



ภาพที่ 5 การเปรียบเทียบข้อมูลภาพจากกล้องจุลทรรศน์เปรียบเทียบ (Comparison Microscope) (ภาพล่าง) ที่ผู้ชำนาญต้องเปรียบเทียบรอยบนพื้นผิวลูกกระสุนปืน ที่คล้ายคลึงกันด้วยตาเปล่า กับข้อมูลกราฟเส้น แสดงลักษณะพื้นผิวลูกกระสุนปืน จากวิธี Consecutive Matching Striae (CMS) (ภาพบน) ซึ่งพบการจับคู่รอยบนพื้นผิวลูกกระสุนปืนที่คล้ายคลึงกัน 6 จุด (เส้น A ลากผ่านในแนวตั้ง) (Wei et al., 2013)

เทคโนโลยีและคอมพิวเตอร์ในปัจจุบันมีความทันสมัย ได้รับการพัฒนาไปอย่างต่อเนื่อง มีความถูกต้องและแม่นยำมากขึ้น อีกทั้งมีความเป็นกลางในการตัดสินใจความต้องการ เป็นที่ยอมรับในระดับสากล จะเห็นได้ว่าเทคโนโลยีถูกใช้ในงานนิติวิทยาศาสตร์มากขึ้น เช่น การเปรียบเทียบรอยลายนิ้วมือ การเปรียบเทียบหลักฐานทางชีววิทยา (DNA) และการเปรียบเทียบด้านอาวุธปืน ด้วยเหตุผลต่างๆ ที่กล่าวมาข้างต้น ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะนำเทคโนโลยีที่มีความทันสมัย มาช่วยในการตรวจเปรียบเทียบลูกกระสุนปืน ที่ยิงออกจากลำกล้องปืน แบบ

Polygonal Rifling ซึ่งผู้วิจัยพบว่า กล้อง Super High Vertical Resolution Non-Contact 3D Surface Profiler มีคุณสมบัติหลายอย่างที่น่าสนใจ เช่น มีกำลังขยายสูง สามารถวัดค่าพื้นผิววัตถุในรูปแบบ 3 มิติ ความกว้าง ความยาว ความลึก (แกน X , Y , Z) และวัดค่าออกมาเป็นตัวเลขได้

กล้อง Super High Vertical Resolution Non-Contact 3D Surface Profiler

กล้อง Super High Vertical Resolution Non-Contact 3D Surface Profiler ปกติใช้ในงานด้านอุตสาหกรรม เช่น การวัดพื้นผิวของปลายเข็มเจาะ (Micro Drill Bits) ที่ผลิตขึ้นเพื่อใช้บันทึกข้อมูลต่างๆ ลงในแผ่น CD , DVD มีคุณสมบัติที่น่าสนใจ คือ ใช้หลักการของคลื่นแสงวัดสภาพพื้นผิวของวัตถุ มีกำลังขยายสูง สามารถวัดค่าพื้นผิววัตถุในรูปแบบ 3 มิติ ความกว้าง ความยาว ความลึก (แกน X , Y , Z) และวัดค่าออกมาเป็นตัวเลขได้ พร้อมทั้งมีซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ปรับสี แทนความตื้นลึกของพื้นผิววัตถุ ทำให้แยกแยะความแตกต่างในแง่ของความสูงได้อย่างชัดเจน ด้วยกล้องดิจิทัลที่มีความเร็วในการถ่ายภาพถึง 2,000 เฟรมต่อวินาที และวิธีคำนวณที่เป็นสิทธิบัตรเฉพาะของบริษัท Nikon ทำให้ค่า Height Resolution มีความละเอียดถึง 0.001 nm. หรือ 1 pm. (Nikon Corporation, 2014)

วิธีการวิจัย

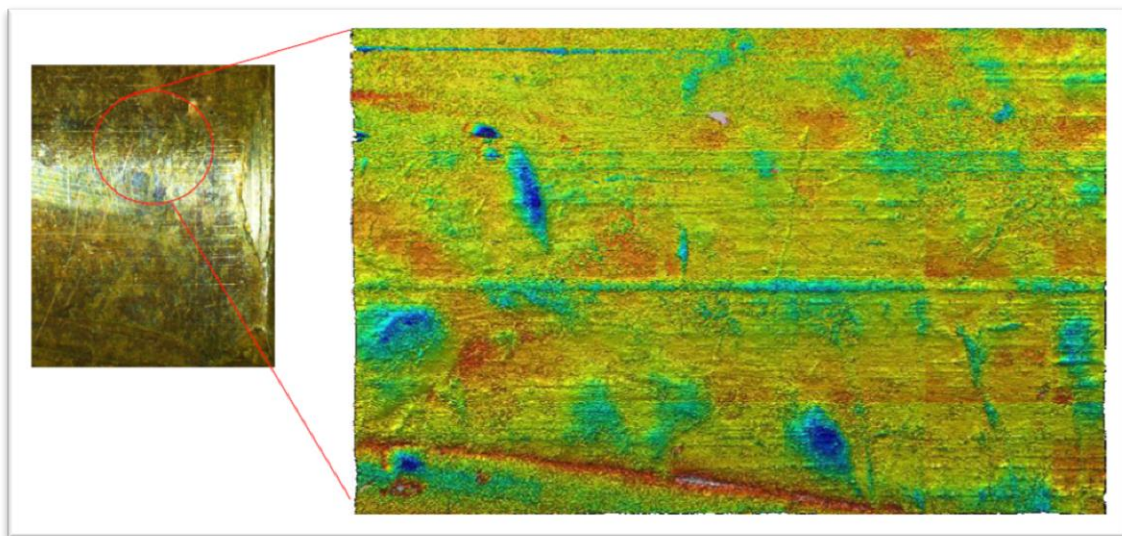
ขั้นตอนการทดลองเบื้องต้น

การวิจัยเรื่อง การถ่ายภาพพื้นผิวลูกกระสุนปืน แบบ 3 มิติ เพื่อตรวจสอบเปรียบเทียบลูกกระสุนปืน ที่ยิงออกจากลำกล้องปืน แบบโพลีโกนอล เป็นการวิจัยเพื่อศึกษาประสิทธิภาพของ กล้อง Super High Vertical Resolution Non-Contact 3D Surface Profiler ในการตรวจสอบเปรียบเทียบตำแหน่งพิเศษบนลูกกระสุนปืน ที่ยิงออกจากลำกล้องปืน แบบ Polygonal Rifling เบื้องต้น

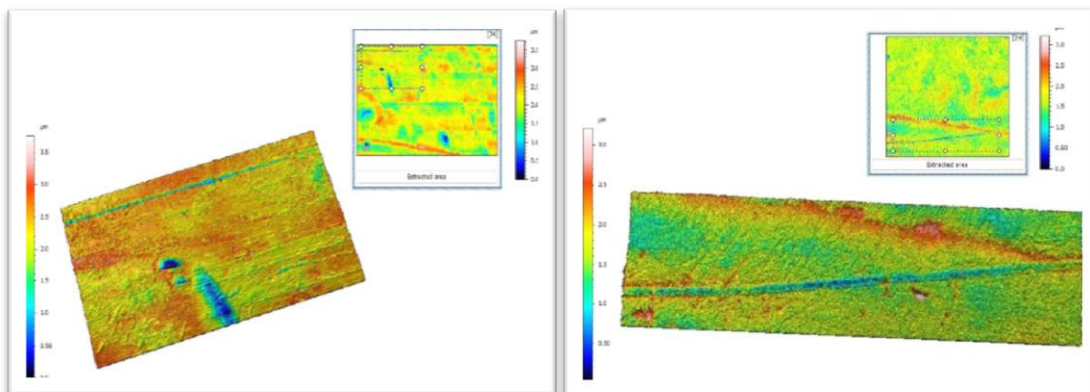
ผู้วิจัยทำการยิงอาวุธปืนกึ่งอัตโนมัติ (Semi-Automatic) ยี่ห้อ กล็อก (Glock) ที่มีลำกล้องปืน แบบ Polygonal Rifling ขนาด 9 มิลลิเมตร จำนวน 2 กระบอก ด้วยกระสุนปืน ยี่ห้อ Winchester ขนาด 9 มิลลิเมตร ชนิดทองแดงหุ้มตะกั่ว (Full Metal Jacket) จำนวน 4 นัด/กระบอก รวมทั้งหมด จำนวน 8 นัด ลงในแทงก์น้ำ (Ballistic bullet recovery water tank) เพื่อให้ความหนาแน่นของน้ำต้านความเร็วลูกกระสุนปืน และรักษาสภาพของลูกกระสุนให้อยู่ในสภาพที่สมบูรณ์ ไม่บิดเบี้ยวผิดรูป ณ ห้องยิงเก็บลูกกระสุนปืน (Bullet recovery room) กองพิสูจน์หลักฐานกลาง สำนักงานตำรวจแห่งชาติ ใช้ลูกกระสุนปืนตัวอย่าง (Control) จำนวน 1 นัด และลูกกระสุนปืน จำนวน 3 นัด เป็นลูกกระสุนปืนสำหรับการตรวจสอบเปรียบเทียบ จากนั้นนำลูกกระสุนปืนไปทดสอบประสิทธิภาพของ กล้อง Super High Vertical Resolution Non-Contact 3D Surface Profiler โดยการถ่ายภาพพื้นผิวข้างลูกกระสุนปืน บริเวณทรงกระบอก แล้วนำภาพทั้งหมดมาต่อกัน (Panorama) ด้วยซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ให้เป็นภาพขนาดใหญ่ เพื่อให้เห็นรอยลักษณะตำแหน่งพิเศษบนพื้นผิวลูกกระสุนปืนได้ชัดเจนขึ้น และครอบคลุม และทำการวัดรอยที่พบบนพื้นผิวลูกกระสุนปืน เป็นค่า 3 มิติ คือค่าความกว้าง ความยาว ความลึก (แกน X , Y , Z) พร้อมทั้งปรับสีแทนความตื้นลึกของพื้นผิววัตถุ เพื่อให้แยกแยะความแตกต่างในแง่ของความสูงได้อย่างชัดเจน

ผลการวิจัย

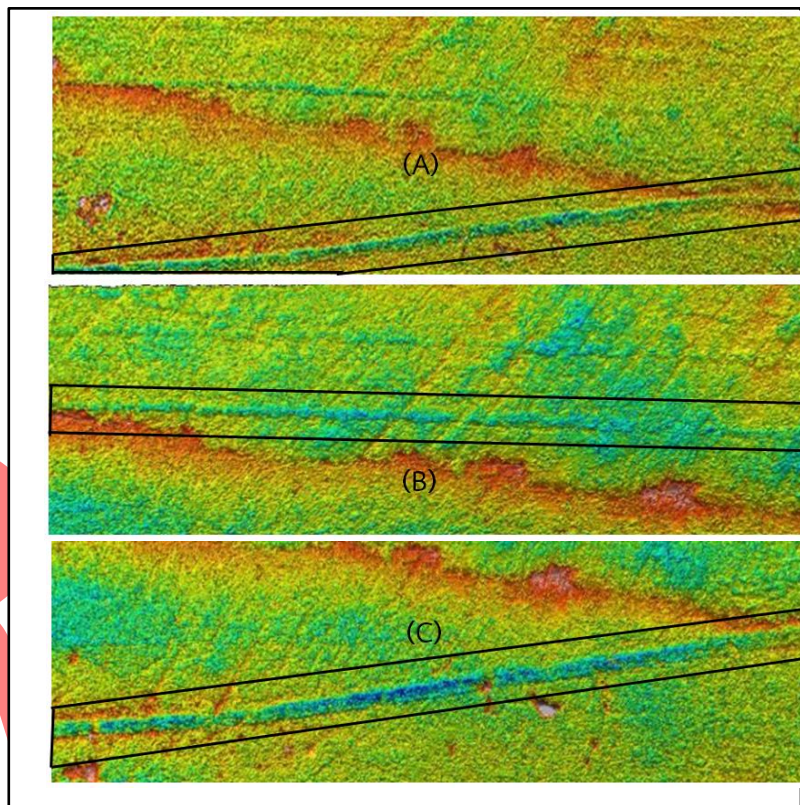
ผู้วิจัยได้ทดลองประสิทธิภาพของ กล้อง Super High Vertical Resolution Non-Contact 3D Surface Profiler เบื้องต้น โดยการยิงอาวุธปืนกึ่งอัตโนมัติ (Semi-Automatic) ยี่ห้อ Glock (Glock) ที่มีลำกล้องปืนแบบ Polygonal Rifling ขนาด 9 มิลลิเมตร จำนวน 2 กระบอก ด้วยกระสุนปืน ยี่ห้อ Winchester ขนาด 9 มิลลิเมตร ชนิดทองแดงหุ้มตะกั่ว (Full Metal Jacket) จำนวน 4 นัด/กระบอก รวมทั้งหมด จำนวน 8 นัด ในการหาตำแหน่งพิเศษบนพื้นผิวลูกกระสุนปืน ที่ยิงออกมาจากลำกล้องปืน แบบ Polygonal Rifling มีรายละเอียดดังต่อไปนี้



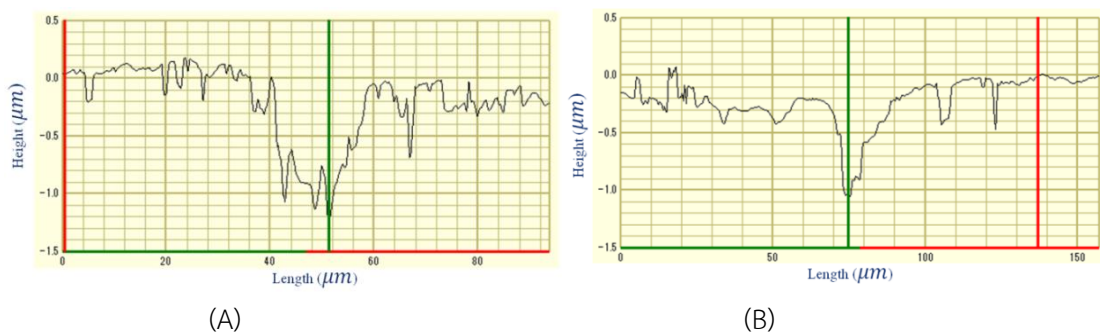
ภาพที่ 6 ภาพพื้นผิวลูกกระสุนปืนปกติ และภาพพื้นผิวลูกกระสุนปืนที่ได้จากการถ่ายด้วย กล้อง Super High Vertical Resolution Non-Contact 3D Surface Profiler ซึ่งจะแสดงให้เห็นถึงลักษณะทางกายภาพของพื้นผิว 3 มิติ บนลูกกระสุนปืน พร้อมมีซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ปรับสีแทนความตื้นลึกของพื้นผิววัตถุ ทำให้แยกแยะความแตกต่างในแง่ของความสูงได้อย่างชัดเจน



ภาพที่ 7 การต่อภาพ (Panorama) ด้วยซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ ให้เป็นภาพขนาดใหญ่เพื่อให้เห็นรอยลักษณะตำหนิพิเศษบนลูกกระสุนปืนได้ครอบคลุม (ภาพเล็ก) และสามารถขยายภาพในส่วนที่ต้องการดูรายละเอียดของลักษณะตำหนิพิเศษที่เกิดขึ้นจากเกลียวลำกล้องปืน บนพื้นผิวของลูกกระสุนปืนที่ยังออกจากลำกล้องปืน แบบ Polygonal Rifling (ภาพใหญ่) ได้ชัดเจนขึ้น



ภาพที่ 8 ลักษณะตำหนิพิเศษที่เกิดขึ้นจากเกลียวลำกล้องปืน บนพื้นผิวของลูกกระสุนปืน ที่ยังออกจากลำกล้องปืน แบบ Polygonal Rifling ซึ่งเกิดจากการที่พื้นผิวของลูกกระสุนปืนครูดกับสันเกลียวภายในลำกล้องปืน ขณะเคลื่อนที่ออกจากลำกล้องปืนด้วยความเร็ว จึงทำให้เกิดลักษณะตำหนิพิเศษบนลูกกระสุนปืน เป็นแนวยาวตามที่ปรากฏในภาพ



ภาพที่ 9 แสดงลักษณะทางกายภาพ ความลึกของพื้นผิวลูกกระสุนปืน ที่เป็นร่องตำหนิพิเศษบนลูกกระสุนปืน ในรูปของเส้นกราฟ และยังสามารถวัดความกว้าง ความลึก ของร่องที่เป็นตำหนิพิเศษดังกล่าวได้ โดยมีตารางบอกขนาดปรากฏอยู่ในภาพ และเส้นตรงสีเขียวในแนวดิ่ง เป็นเส้นที่กำหนดจุดวัดความลึกของร่องที่เป็นตำหนิพิเศษดังกล่าว ซึ่งร่องในภาพ (A) มีความลึกเท่ากับ $1.285 \mu m$ ($H = 1.285 \mu m$) และร่องในภาพ (B) มีความลึกเท่ากับ $1.032 \mu m$ ($H = 1.032 \mu m$) ตามลำดับ

สรุปและอภิปรายผล

จากปัญหาการตรวจเปรียบเทียบลูกกระสุนปืน ที่ยิงออกจากลำกล้องปืน แบบ Polygonal Rifling ที่กล้องจุลทรรศน์เปรียบเทียบ (Comparison Microscope) มีกำลังขยายไม่เพียงพอ ที่จะทำให้ผู้ชำนาญเห็นลักษณะตำหนิพิเศษบนลูกกระสุนปืนได้นั้น ผู้วิจัยได้ทำการศึกษากล้องจุลทรรศน์ แบบ 3D ที่มีเทคโนโลยีขั้นสูงเพื่อการประมวลผลที่ละเอียด และมีความถูกต้องมากขึ้น ซึ่งผลการทดลองประสิทธิภาพของ กล้อง Super High Vertical Resolution Non-Contact 3D Surface Profiler เบื้องต้นพบว่า มีประสิทธิภาพในการหาตำหนิพิเศษที่เกิดจากเกลียวลำกล้องบนลูกกระสุนปืน ที่ยิงออกจากลำกล้องปืน แบบ Polygonal Rifling ได้ ซึ่งมีประสิทธิภาพดีกว่า กล้องจุลทรรศน์เปรียบเทียบ (Comparison Microscope) แบบ 2D เพราะสามารถวัดค่าความกว้าง ความยาว ความลึก ของตำหนิพิเศษที่เกิดจากเกลียวลำกล้องบนลูกกระสุนปืนด้วยหลักการทางวิทยาศาสตร์ มีการแสดงผลเป็นตัวเลข พร้อมทั้งมีซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ สามารถปรับสเกลความถี่ของพื้นผิววัตถุ ทำให้แยกแยะความแตกต่างในแง่ของความสูงได้อย่างชัดเจน ไม่ใช่เพียงสายตาของผู้ชำนาญ เหมือนการตรวจด้วยกล้องจุลทรรศน์เปรียบเทียบแบบเดิม ซึ่งจะช่วยให้ผู้ชำนาญมีความมั่นใจในการออกรายงานผลตรวจเปรียบเทียบลูกกระสุนปืน ที่ยิงออกมาจากลำกล้องปืน แบบ Polygonal Rifling

จากคุณสมบัติและเหตุผลที่ได้กล่าวมาข้างต้น กล้อง Super High Vertical Resolution Non-Contact 3D Surface Profiler จึงสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการตรวจเปรียบเทียบลูกกระสุนปืน ที่ยิงออกมาจากลำกล้องปืน แบบ Polygonal Rifling ได้ในอนาคต ตลอดจนมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในงานด้านนิติวิทยาศาสตร์ เนื่องจากมีมูลค่าที่ไม่สูงมาก เมื่อเทียบกับการตรวจสอบทางนิติวิทยาศาสตร์ที่ถูกต้องชัดเจน สามารถเชื่อมโยงการกระทำความผิดกับอาชญากรรมได้ และเพื่อสร้างความเสมอภาคในกระบวนการยุติธรรม

เอกสารอ้างอิง

ภาษาไทย

กองสารนิเทศ สำนักงานตำรวจแห่งชาติ. (2557) **ข่าวตำรวจ** ฉบับที่ 113.

กองบัญชาการศึกษา สำนักงานตำรวจแห่งชาติ. (2558) **คู่มือตำรวจ ฉบับปรับปรุง เล่มที่ 33** หลักสูตรนักเรียน

นายสิบตำรวจ

เลียง หุยประเสริฐ, พล.ต.ต. (2550) **นิติเวชศาสตร์สำหรับพนักงานสืบสวนสอบสวน**, สุตรไพศาล.

ศักดิ์ชัย อัครวินอนันท์. (2555) **คู่มือการใช้พยานหลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์ สำหรับพนักงานอัยการ**

สำนักงานคดีแรงงานภาค 9 สำนักงานอัยการสูงสุด

แสวง บุญเฉลิมวิภาส. (2556) **นิติเวชศาสตร์และกฎหมายการแพทย์** พิมพ์ครั้งที่ 2 สำนักพิมพ์วิญญูชน.

ภาษาต่างประเทศ

Ashraf Mozayani, Carla Noziglia. (2006) **The Forensic Laboratory Handbook**. Totowa.
New Jersey. Humana Press Inc.

American bar association section of science & technology law. (2007). **science for lawyers
eric york drogin**. Printed in the United States of America.

Brian J. Heard. (2008) **Handbook of Firearms and Ballistics**. John Wiley & Sons Ltd.

Benjamin Bachrach. (2002) **Development 3D based Automated Firearms Evidence
Comparison System**. Forensic Sci., 2002

Chris Cooper. (2008) **Eyewitness Forensic Science**. First published in United States. Dorling
Kindersley Limited.

George Gerules, Sanjiv K. Bhatia, Daniel E. Jackson. (2013) **Review A survey of image
processing techniques and statistics for ballistic specimens in forensic science**.
Science and Justice.

Nikon Corporation. (2014) **Super High Vertical Resolution Non-Contact 3D Surface
Profiler BW-S500/ BW-D500 Series**. Printed in Japan (1403-03)

Peter White. (2008) **Crime scene to court : the essentials of forensic science**. Cambridge.
Royal Society of Chemistry.

Toni B. Brinck. (2008) **Comparing the Performance of IBIS and BulletTRAX-3D
Technology Using Bullets Fired Through 10 Consecutively Rifled Barrels**.
J Forensic Sci.

Wei Chu, Robert M. Thompson, John Song, Theodore V. Vorburger. (2013) **Automatic
identification of bullet signatures based on consecutive matching striae
(CMS) criteria**. Forensic Science International 231