

THE ANALYSIS OF GUNSHOT RESIDUE IN BULLET TRACKS BY ATOMIC ABSORPTION SPECTROPHOTOMETRY (AAS)

การศึกษาเขม่าปืนในทางเดินกระสุนโดยวิธีอะตอมมิก แอพซอปชัน สเปกโตรโฟโตเมทรี

Pimchanok Sae-wong, B.Sc.*, Wichai Wongchanapai, M.D., Ph.D*., Somboon Thamtakerngkit, M.D.*

* *Department of Forensic Medicine, Faculty of medicine, Siriraj Hospital, Mahidol University, Bangkok 10700, Thailand.*

พิมพ์ชนก แซ่ว่อง, วท.บ.†, วิชัย วงศ์ชนะภัย, พ.บ., ปร.ด.†, สมบูรณ์ ธรรมเด็งกิจ, พ.บ.†

† *ภาควิชานิติเวชศาสตร์ คณะแพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาล มหาวิทยาลัยมหิดล กรุงเทพฯ 10700 ประเทศไทย*

Abstract

Objective: The aim of this study was to prove the authenticity of bullet holes and to study the factors that influence the transference of gunshot residue (GSR) from the bullet to inside the medium that it passes through.

Materials and Methods: The test firings were set in four series according to these factors: firing distance (0.5 m and 1 m), medium (paper and mattress) and type of firearm and ammunition (revolver with .38 SPL and semiautomatic with .45 AUTO). Each test had five shots. The quantity determination of three elements of GSR including lead (Pb), antimony (Sb) and barium (Ba) were carried out by atomic absorption spectrophotometry (AAS). The relationship was calculated by independent samples t-test ($p \leq 0.05$).

Results: Three elements of GSR in experimental samples were significantly higher in amount than those in control samples. When considering the factor of firing distances, the statistical test showed the amounts of the three elements deposited along the bullet track fired from both firing distances were not significantly different. When firing at the targets which had different properties, it was indicated that, in a denser medium such as paper, the quantity of all three elements along the bullet track were significantly higher than those quantities in the medium which had a lower density, such as the mattress. When firing at the target with the different firearms, lead content deposited along the bullet track fired from both firearms decreased significantly. The lead amount of the final stage of the bullet track fired from revolver and semiautomatic were 20 times and 5 times lower than that of the initial stage. Furthermore, lead found along the bullet track fired from the revolver was significantly higher in quantity than that found along the bullet track fired from the semiautomatic at only 4 cm from the

entrance site. On the contrary, the amount of antimony found along the bullet track fired from the revolver was lower than that found along the bullet track fired from the semiautomatic. Moreover, the quantity of antimony of the final stage of the bullet track fired from the revolver and semiautomatic were 8 times and 3 times lower than that of the initial stage, and only the decrement of antimony content along the bullet track fired from the revolver was found to be significant. However, the amount of barium deposited along the bullet tracks fired from both firearms was not significantly different.

Conclusion: all three elements of GSR could be detected along the bullet track and the difference in quantity depended on the density of the medium and type of firearm

Keywords: Gunshot residue, Bullet track, AAS (Atomic absorption spectrophotometry)

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์: เพื่อพิสูจน์ว่าผู้ที่ต้องสงสัยนั้นเป็นรุกรกระสุนปืนจริง และศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการแลกเปลี่ยนเขม่าปืน (Gunshot residue) ระหว่างหัวกระสุนกับภายในตัวกลางที่กระสุนเคลื่อนที่ผ่าน

วัสดุและวิธีการศึกษา: การทดสอบยิงได้แบ่งออกเป็น 4 ชุด เพื่อให้สอดคล้องกับปัจจัยที่ต้องการศึกษาคือ ระยะยิง (0.5 เมตร และ 1 เมตร), ชนิดของตัวกลาง (กระต๊าก และ ฟองน้ำ) และ ชนิดของอาวุธปืนและกระสุนปืน (ปืนลูกม่พร้อมกระสุน .38S&P และปืนออโตเมติกพร้อมกระสุน .45 AUTO) แต่ละชุดมีการยิงซ้ำ 5 นัด การตรวจหาปริมาณของธาตุที่เป็นองค์ประกอบของเขม่าปืนซึ่งประกอบด้วย ตะกั่ว, แอนติโมนี และ แบเรียม ทำโดยวิธีอะตอมมิค แอพซอลชัน สเปกโตรโฟโตเมทรี การหาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่าง ๆ คำนวณด้วย independent samples t-test ที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$)

ผลการศึกษา: ธาตุองค์ประกอบของเขม่าปืนจากตัวอย่างทดลองมีปริมาณมากกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการแลกเปลี่ยนเขม่าปืน ค่าทางสถิติแสดงให้เห็นปริมาณธาตุทั้งสามที่พบในทางเดินกระสุนของระยะยิงทั้งสองมีปริมาณไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) เมื่อยิงตัวกลางที่มีคุณสมบัติต่างชนิดกันพบว่าวัสดุที่มีความหนาแน่นมากเช่นกระต๊าก พบปริมาณโลหะทั้งสามในทางเดินกระสุนมากกว่าวัสดุที่มีความหนาแน่นน้อยเช่นฟองน้ำอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เมื่อยิงตัวกลางด้วยอาวุธปืนที่ต่างชนิดกัน ปริมาณตะกั่วในทางเดินกระสุนที่ยิงมาจากปืนทั้ง 2 ชนิดลดลงอย่างมีนัยสำคัญ โดยเมื่อเปรียบเทียบปริมาณตะกั่วที่พบในตอนต้นและตอนปลายของทางเดินกระสุนที่ยิงจากปืนลูกม่และปืนออโตเมติกพบว่าลดลง 20 เท่า และ 5 เท่าตามลำดับ และปริมาณที่พบในทางเดินกระสุนของปืนลูกม่มีมากกว่าในทางเดินกระสุนปืนออโตเมติกอย่างมีนัยสำคัญเฉพาะระยะ 4 ซม แรกของทางเดินกระสุน ในทางตรงกันข้าม ปริมาณแอนติโมนีที่พบในทางเดินกระสุนปืนลูกม่ น้อยกว่าปริมาณที่พบในทางเดินกระสุนปืนออโตเมติก เมื่อเปรียบเทียบปริมาณแอนติโมนีที่พบในตอนต้นและตอนปลายของทางเดินกระสุนที่ยิงจากปืนลูกม่และปืนออโตเมติกพบว่าลดลง 8 เท่า และ 3 เท่า ตามลำดับ นอกจากนี้เฉพาะปริมาณแอนติโมนีที่พบในทางเดินกระสุนปืนลูกม่ที่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ แต่อย่างไรก็ตามปริมาณของแบเรียมซึ่งถูกขับออกมาจากปืนทั้งสองชนิดและไปติดอยู่ในทางเดินกระสุนไม่พบความแตกต่างกัน

สรุป: ธาตุองค์ประกอบของเขม่าปืน (Pb, Sb และ Ba) สามารถตรวจพบได้ในทางเดินกระสุนและปริมาณของธาตุดังกล่าวที่ตรวจพบจะมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของตัวกลางและชนิดของอาวุธปืนและกระสุนปืน

คำสำคัญ: เขม่าปืน, ทางเดินกระสุน, การตรวจด้วยเครื่องเอเอเอส (อะตอมมิกแอบซอร์บชันสเปคโตรโฟโตเมทรี)

บทนำ

การตรวจสอบรูกระสุนมีความสำคัญต่อการตรวจและประมวลเหตุการณ์เพื่อเชื่อมโยงอาชญากรรมที่เกี่ยวข้องกับอาวุธปืน ซึ่งสามารถทำได้ง่ายหากพบหัวกระสุน แต่หากไม่พบก็สามารถที่จะอาศัยหลักการของ Locard's Exchange มาช่วยได้ โดยปกติแล้ววัตถุพยานที่ใช้ในการเชื่อมโยงคดีอาชญากรรมที่เกี่ยวข้องกับอาวุธปืนนั้นคือ เขม่าปืน (gunshot residue) ซึ่งเป็นสารที่มีลักษณะเฉพาะตัวคือประกอบด้วยสารประกอบของโลหะ 3 ชนิดได้แก่ ตะกั่ว แอนติโมนี และแบเรียม เมื่อมีการยิงปืนเกิดขึ้นเขม่าปืนที่เกิดภายหลังการยิงปืนสามารถติดอยู่บนบริเวณผิวหนังของหัวกระสุน และเมื่อหัวกระสุนชนเข้ากับวัตถุหรือทะลุผ่านเข้าไปในตัวกลาง เขม่าปืนจากหัวกระสุนก็สามารถที่จะไปปรากฏอยู่ในตัวกลางที่กระสุนนั้นทะลุผ่านได้ แต่ทั้งนี้ยังไม่ปรากฏข้อมูลว่ามีการศึกษาเขม่าปืนในทางเดินกระสุนมาก่อน ดังนั้นการทดลองนี้จึงศึกษาเขม่าปืนในทางเดินกระสุนเพื่อช่วยในการตรวจสอบว่าเป็นรูกระสุนหรือไม่และศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณเขม่าปืนในทางเดินกระสุนเหล่านั้น

วัสดุและวิธีการศึกษา

การเก็บตัวอย่าง

ในการทดสอบยิง วัสดุที่นำมาทำเป็นเป้ายิงเพื่อให้เกิดทางเดินกระสุนมี 2 ชนิด คือ กระดาษและฟองน้ำ ซึ่งนำมาตัดให้มีขนาด 25×25 ซม. และนำมาซ้อนกันให้มีความหนา 10 ซม. โดยเป้ายิงกระดาษใช้กระดาษทั้งสิ้น 35 แผ่น และเป้ายิงฟองน้ำใช้ฟองน้ำทั้งสิ้น 8 แผ่น ตัวกลางทั้งสองถูกทดสอบยิงด้วยอาวุธปืนและกระสุนปืนที่ระยะยิงต่างกัน ดังตารางที่ 1

Test series	Distance	Firearm and ammunition	Material of target	Number of test shoot
Series 1	0.5m	Revolver / .38SPL	Paperboard	5
Series 2	1m	Revolver / .38SPL	Paperboard	5
Series 3	0.5m	Revolver / .38SPL	Mattress	5
Series 4	0.5m	Pistol / .45AUTO	Mattress	5

ตารางที่ 1 แสดงการทดสอบยิงแต่ละชุดที่มีความแตกต่างกันที่ ระยะยิง อาวุธปืนและกระสุนปืนที่ใช้ และวัสดุที่ใช้เป็นเป้ายิง

การทดสอบยิงในแต่ละชุดจะยิงซ้ำ 5 นัด โดยเจ้าหน้าที่จากกองพิสูจน์หลักฐานและกระทำในห้องปิดที่ไม่มีกรรมการรบกวนของกระแสดม

การเตรียมตัวอย่าง

วัสดุที่ผ่านการทดสอบยิงจะถูกนำมาแยกเป็นแผ่นเหมือนเดิมและตัดบริเวณรอบรูกระสุนให้มีขนาด 2×2 ซม. ในตัวอย่างกระดาศ และขนาด 1.5×1.5 ซม. ในตัวอย่างฟองน้ำ และตัวอย่างกระดาศที่ควบคุมได้ทำการสุ่มมาจากกระดาศที่ไม่ผ่านการทดสอบยิงจำนวน 10 ตัวอย่างมาตัดให้มีขนาดเช่นเดียวกับตัวอย่างกระดาศที่ได้จากการทดสอบยิง ตัวอย่างทั้งหมดที่ได้นำไปสกัดด้วยของผสมระหว่างกรดไนตริกเข้มข้นผสมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในอัตราส่วน 7:3 ปริมาตร 10 ml ที่ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 คืน รุ่งขึ้นนำสารละลายตัวอย่างมากรองแยกกากและปรับปริมาตรให้เป็น 10 ml

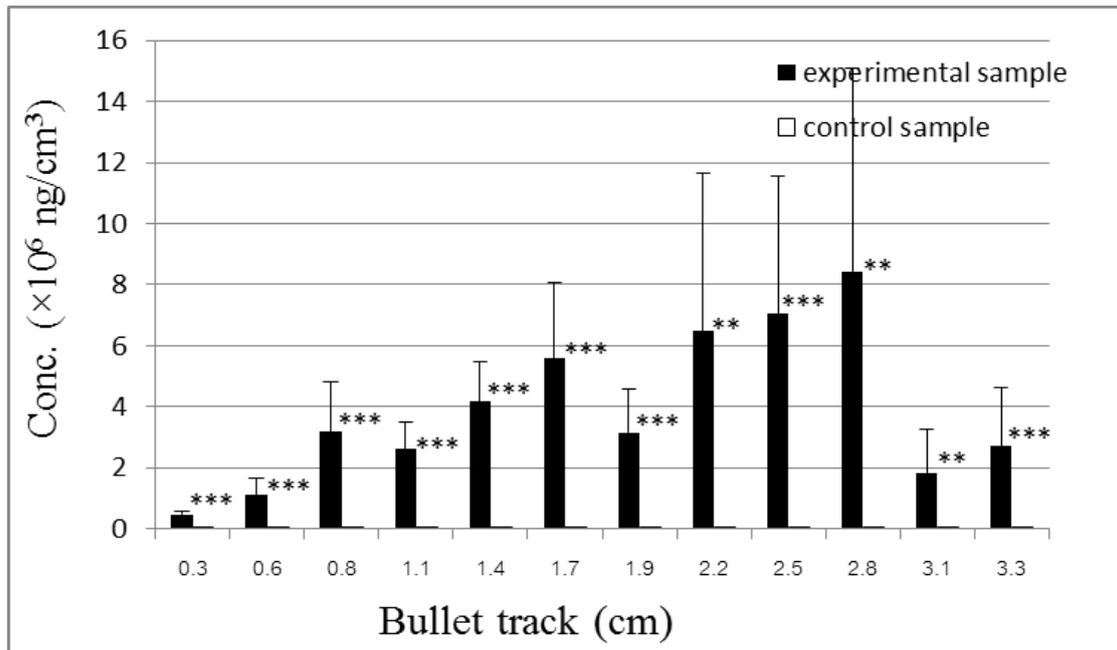
การตรวจวิเคราะห์

นำสารละลายตัวอย่างที่ได้มาตรวจหาปริมาณโลหะซึ่งเป็นองค์ประกอบของเขม่าปืนด้วยเทคนิค graphite furnace atomic absorption spectrophotometry (GF-AAS) โดย calibration curve ที่ได้จากการสารละลายมาตรฐานมีค่า $R^2 > 0.995$ ความเข้มข้นของสารละลายโลหะวัดในหน่วย ppb และการเปรียบเทียบทางสถิติคำนวณด้วย independent samples t-test ที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

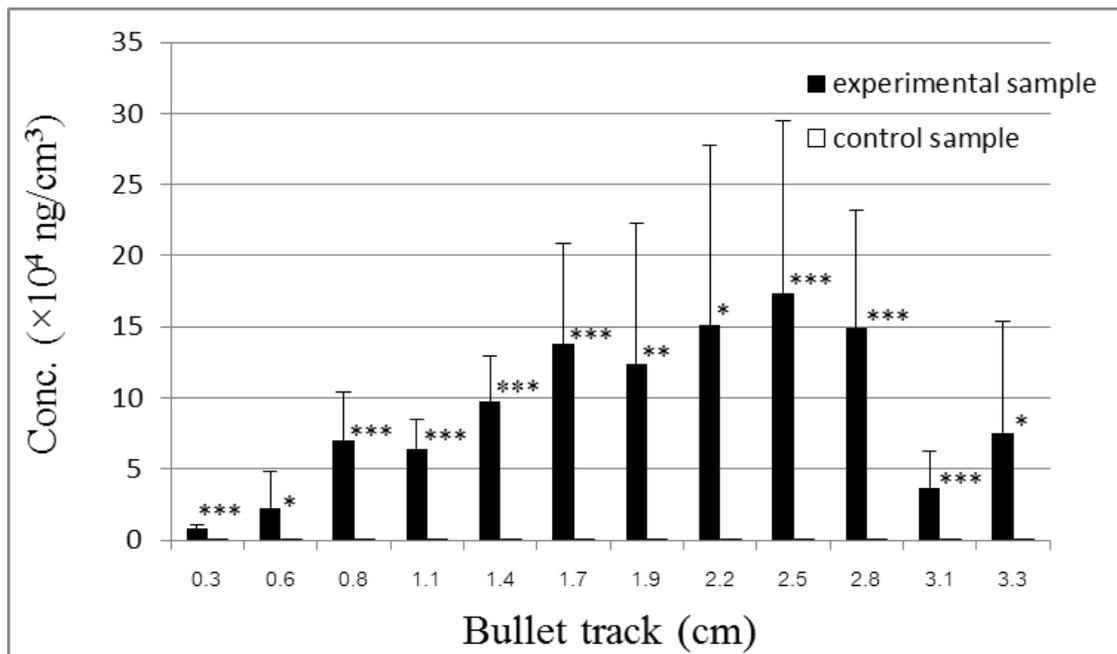
ผลการศึกษา

การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของปริมาณโลหะที่ตรวจพบในตัวอย่างทดลองกับตัวอย่างควบคุม

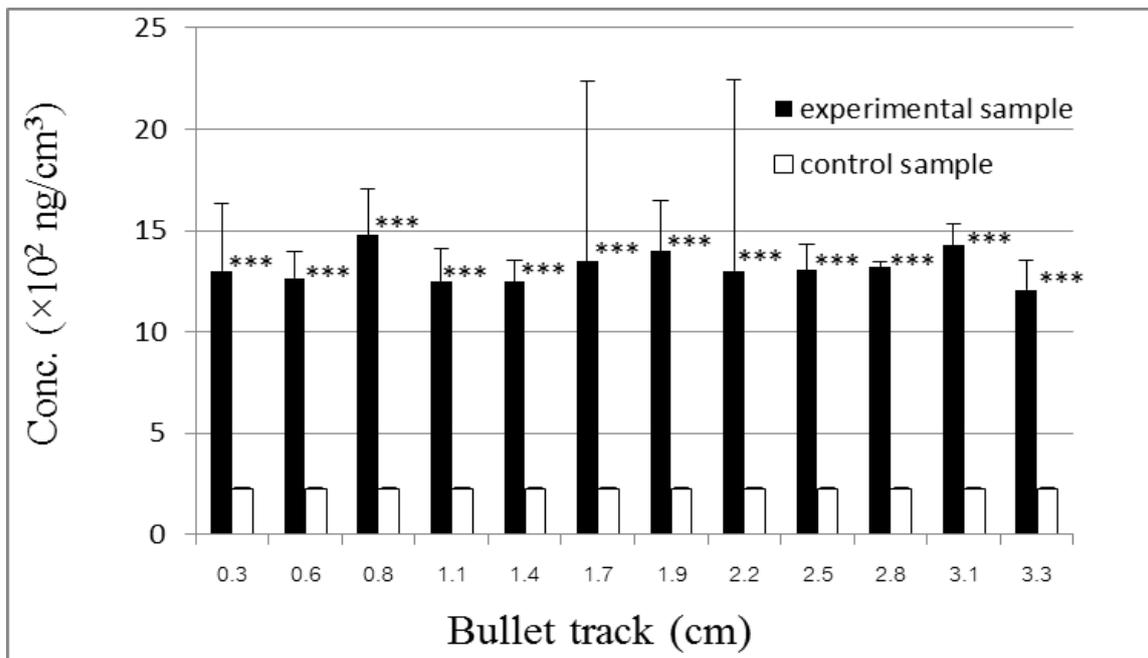
ค่าเฉลี่ยของปริมาณตะกั่วในตัวอย่างทดลองที่ระยะต่างๆในทางเดินกระสุนมีปริมาณที่สูงมาก (10^6 ng/cm^3) ในขณะที่ปริมาณของแอดิโมนี (10^4 ng/cm^3) และแบเรียม (10^2 ng/cm^3) น้อยลงตามลำดับ ดังแสดงในแผนภาพที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ สำหรับค่าเฉลี่ยของโลหะในตัวอย่างกระดาศควบคุมได้แก่ตะกั่ว แอนติโมนี และแบเรียม มีค่าเท่ากับ $167.51 \pm 45.82 \text{ ng/cm}^3$, $12.87 \pm 2.92 \text{ ng/cm}^3$ and $227.54 \pm 8.40 \text{ ng/cm}^3$ ตามลำดับ จากการศึกษาพบว่าโลหะทั้งสามชนิดในตัวอย่างทดลองมีปริมาณมากกว่าในตัวอย่างกระดาศที่ควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ดังนั้นค่าเฉลี่ยของปริมาณโลหะที่ตรวจพบทั้งสามชนิดดังกล่าวข้างต้นจึงสามารถใช้เป็นค่าอ้างอิงสำหรับการพิสูจน์ว่ารูที่ต่อส่งสัยเป็นรูกระสุนปืนจริงหรือไม่ได้



แผนภาพที่ 1 แสดงค่าเฉลี่ยของตะกั่วระหว่างตัวอย่างทดลองที่ระยะทางเดินกระสุนต่างๆกับตัวอย่างควบคุม (*= $p < 0.05$, **= $p \leq 0.01$ และ ***= $p \leq 0.000$)



แผนภาพที่ 2 แสดงค่าเฉลี่ยของแอนโดไมโมระหว่างตัวอย่างทดลองที่ระยะทางเดินกระสุนต่างๆกับตัวอย่างควบคุม (*= $p < 0.05$, **= $p \leq 0.01$ และ ***= $p \leq 0.000$)

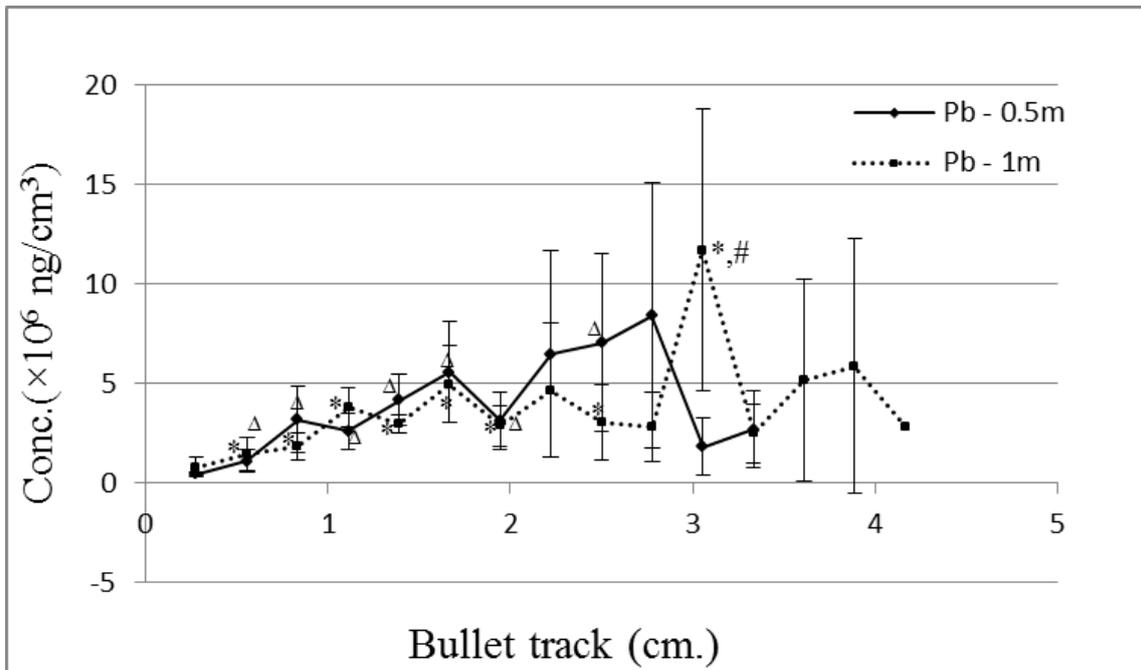


แผนภาพที่ 3 แสดงค่าเฉลี่ยของแบเรียมระหว่างตัวอย่างทดลองที่ระยะทางเดินกระสุนต่างๆกับตัวอย่างควบคุม (*= $p < 0.05$, **= $p \leq 0.01$ และ ***= $p \leq 0.000$)

การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของปริมาณโลหะในทางเดินกระสุนระหว่างปัจจัยต่างๆ

1. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของปริมาณโลหะในทางเดินกระสุนระหว่าง 2 ระยะยิง

เมื่อยิงตัวกลางที่เป็นกระดาดด้วยอาวุธปืนลูกไม่ ขนาดกระสุน .38S&P ที่ระยะยิง 0.5 เมตร และ 1 เมตร พบว่าปริมาณของตะกั่วที่ยิงมาจากกระยะ 0.5 เมตร และ 1 เมตร มีปริมาณใกล้เคียงกัน (10^6 ng/cm³) และไม่มี ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างระยะยิงทั้งสอง ดังแสดงในแผนภาพที่ 4 สำหรับแอนติโมนี พบว่า ค่าเฉลี่ยของปริมาณที่ตรวจพบมีน้อยกว่าตะกั่ว (10^4 ng/cm³) และปริมาณของแอนติโมนีที่ยิงมาจากกระยะ 0.5 เมตร และ 1 เมตร มีปริมาณใกล้เคียงกัน และไม่มี ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างระยะยิงทั้งสอง เช่นกัน ดังแสดงในแผนภาพที่ 5 สำหรับแบเรียม พบว่าค่าเฉลี่ยของปริมาณที่ตรวจพบมีน้อยกว่าตะกั่วและ แอนติโมนี (10^2 ng/cm³) และปริมาณของแบเรียมที่ยิงมาจากกระยะ 0.5 เมตร และ 1 เมตร ไม่มีความแตกต่าง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นเดียวกัน ดังแสดงในแผนภาพที่ 6 จากการศึกษาปริมาณของโลหะทั้งสามตัวตาม ทางเดินกระสุนพบว่า ตะกั่วและแอนติโมนีที่ยิงมาจากกระยะยิงทั้งสองมีปริมาณเพิ่มขึ้นไปตามทางเดินกระสุนที่มี ความลึกเพิ่มขึ้น และพบการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณเริ่มต้น แต่ปริมาณ ของแบเรียมในตัวกลางที่ยิงมาจากกระยะยิงทั้งสองมีปริมาณค่อนข้างคงที่ตลอดทางเดินกระสุนและไม่พบการ เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณเริ่มต้น

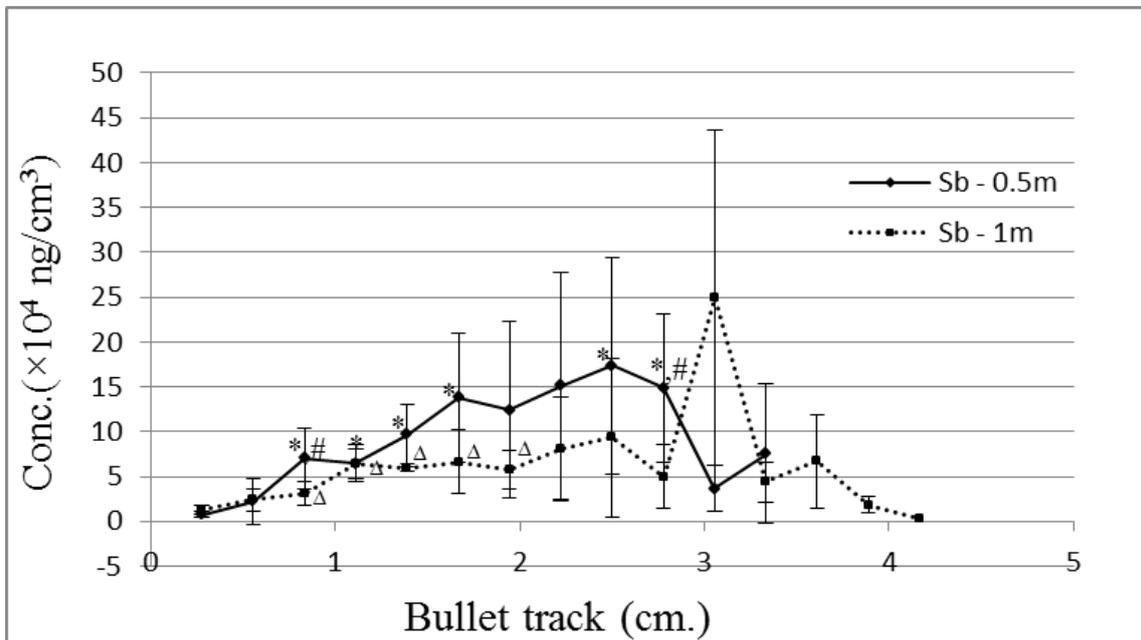


แผนภาพที่ 4 แสดงค่าเฉลี่ยของตะกั่วในทางเดินกระสุนระหว่างระยะยิง 0.5 เมตร และ 1 เมตร,

^Δ ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณเริ่มต้นที่ระยะยิง 0.5 เมตร ($p \leq 0.05$),

* ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณเริ่มต้นที่ระยะยิง 1 เมตร ($p \leq 0.05$),

ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณที่พบในทางเดินกระสุนที่ยิงมาจากระยะทั้งสอง ($p \leq 0.05$)

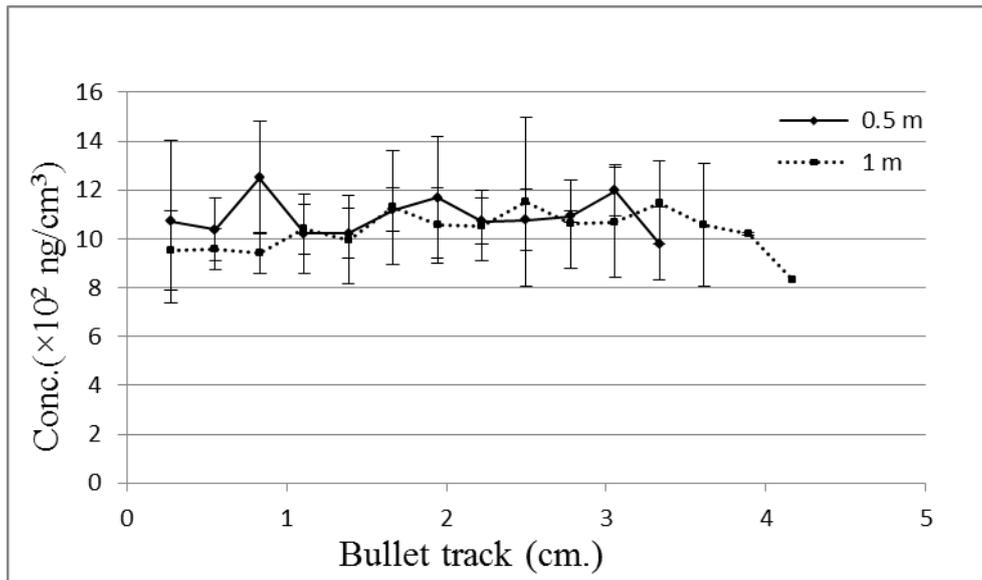


แผนภาพที่ 5 แสดงค่าเฉลี่ยของแอนติโมนีในทางเดินกระสุนระหว่างระยะยิง 0.5 เมตร และ 1 เมตร,

* ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณเริ่มต้นที่ระยะยิง 0.5 เมตร ($p \leq 0.05$),

^Δ ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณเริ่มต้นที่ระยะยิง 1 เมตร ($p \leq 0.05$),

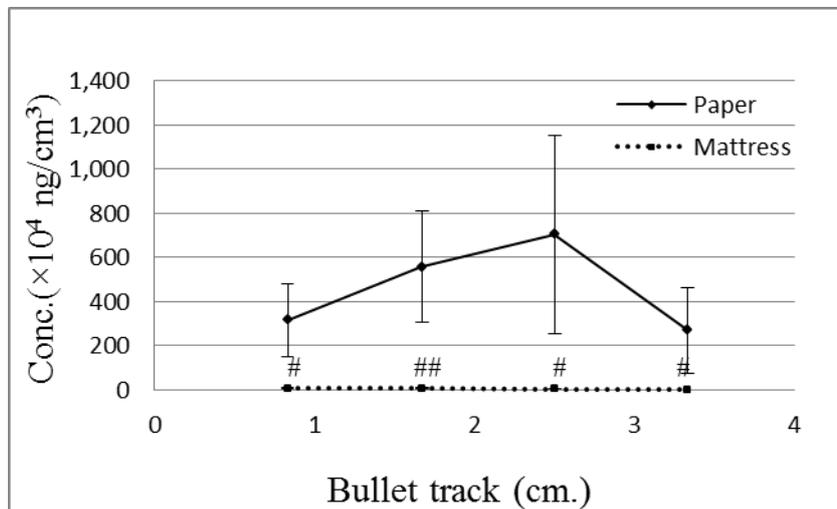
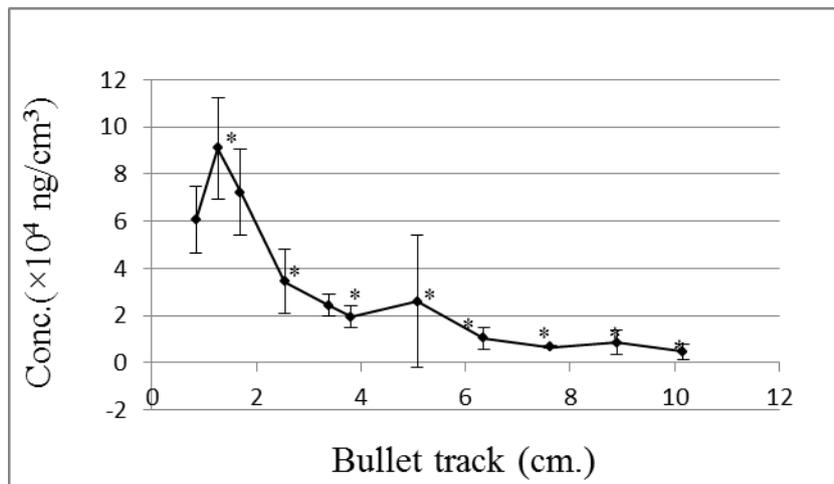
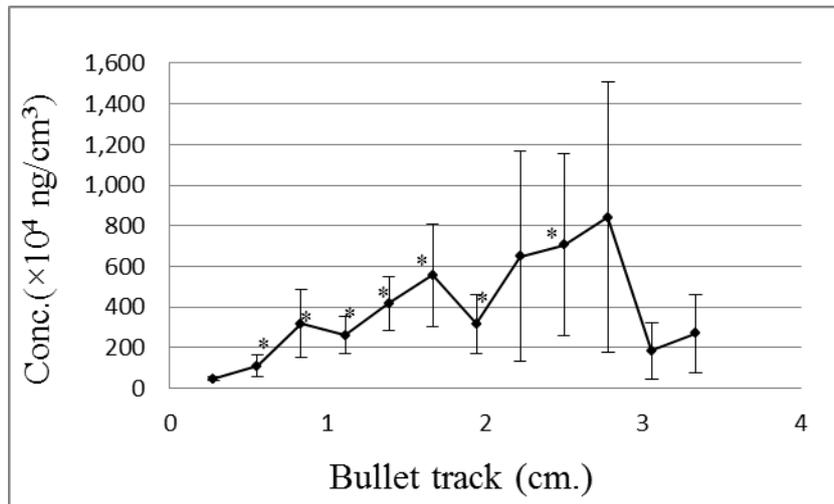
ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณที่พบในทางเดินกระสุนที่ยิงมาจากระยะทั้งสอง ($p \leq 0.05$)



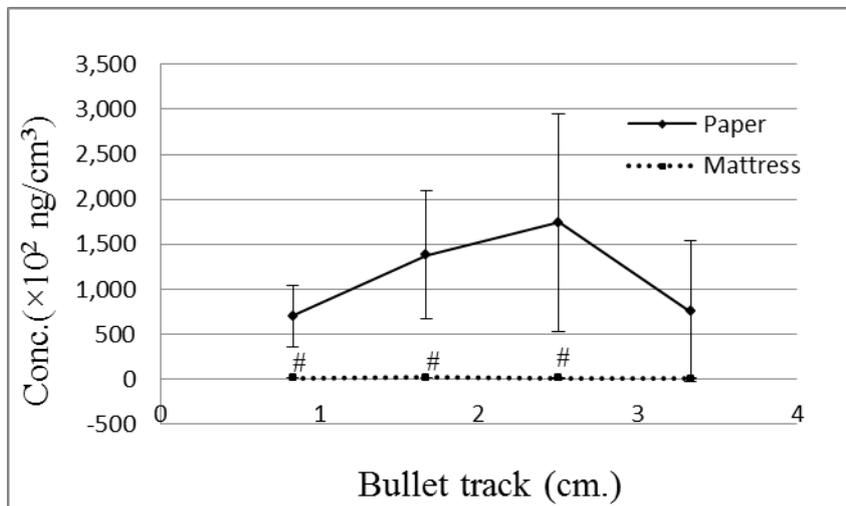
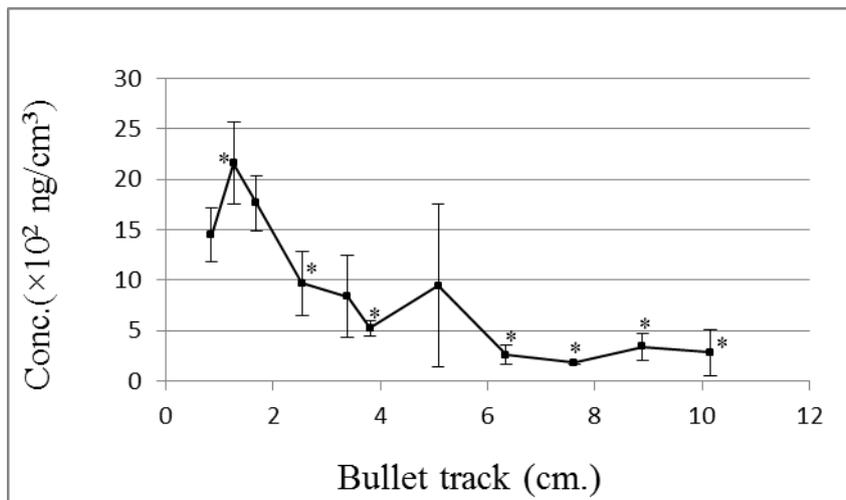
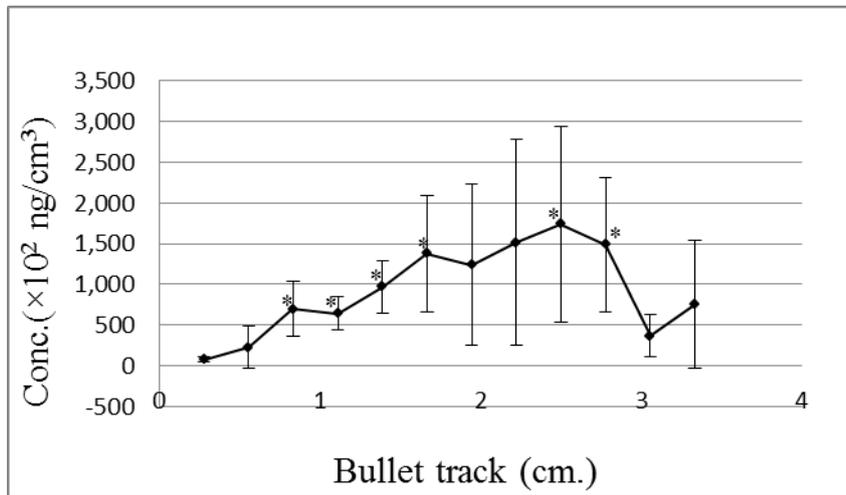
แผนภาพที่ 6 แสดงค่าเฉลี่ยของแบเรียมในทางเดินกระสุนระหว่างระยะยิง 0.5 เมตร และ 1 เมตร

2. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของปริมาณโลหะในทางเดินกระสุนระหว่างตัวกลาง 2 ชนิด

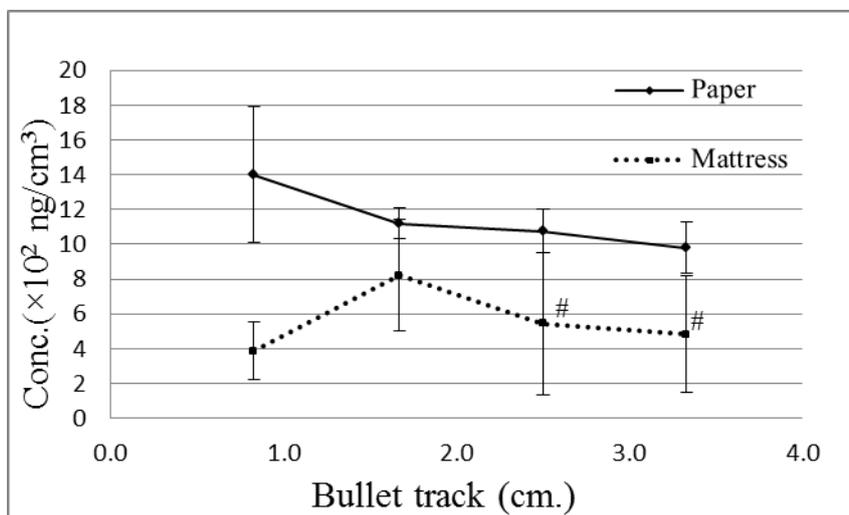
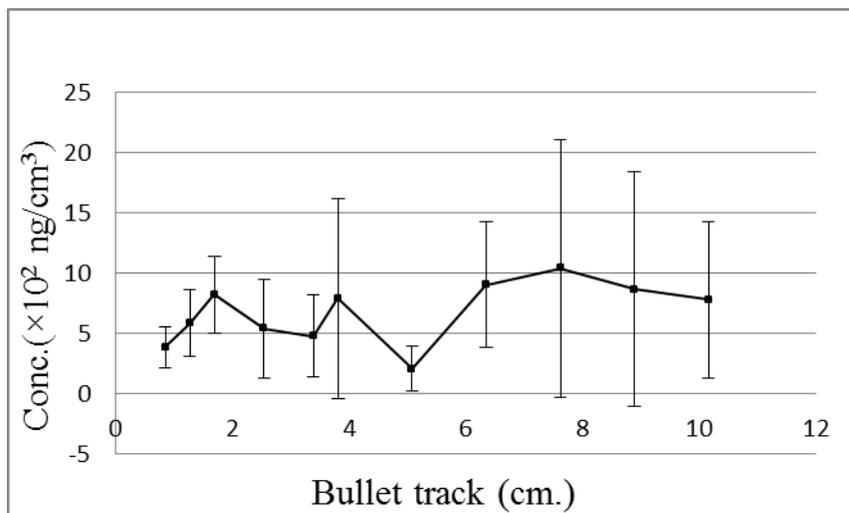
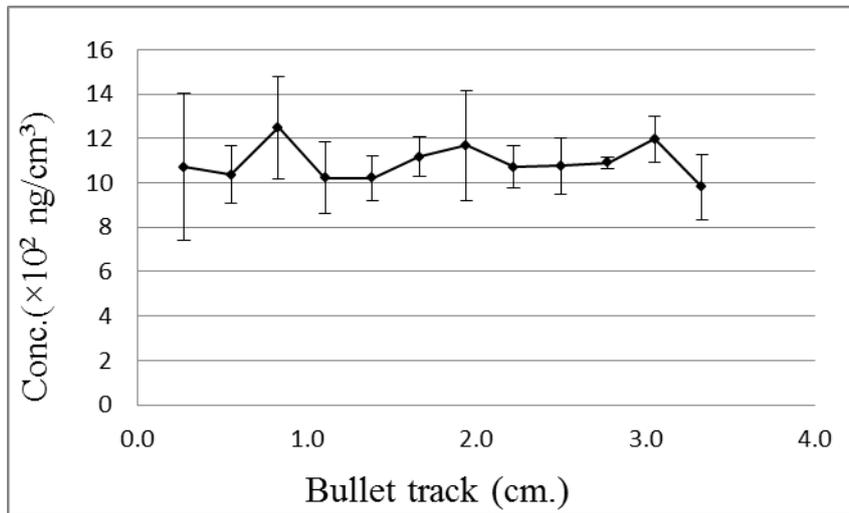
ตัวกลางกระดาศและฟองน้ำถูกยิงด้วยอาวุธปืนลูกไม่ ขนาดกระสุน .38 SPL จากระยะยิง 0.5 เมตร พบว่า ปริมาณของตะกั่วที่พบในทางเดินกระสุนของตัวกลางกระดาศ (10^6ng/cm^3) มีปริมาณมากกว่าในตัวกลางฟองน้ำ (10^4ng/cm^3) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และในตัวกลางกระดาศปริมาณของตะกั่วเพิ่มขึ้นไปตามระยะทางที่ กระสุนเคลื่อนที่เข้าไปลึกเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับปริมาณเริ่มต้น แต่ในตัวกลางฟองน้ำ ปริมาณของตะกั่วกลับลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติไปตามระยะทางที่กระสุนเคลื่อนที่ลึกเข้าไป ดังแสดงใน แผนภาพที่ 7 สำหรับโลหะแอนติโมนี ปริมาณที่พบในทางเดินกระสุนของตัวกลางกระดาศ (10^4ng/cm^3) มี ปริมาณมากกว่าในตัวกลางฟองน้ำ (10^2ng/cm^3) และ ปริมาณของแอนติโมนีในทางเดินกระสุนของตัวกลาง กระดาศก็เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญและในฟองน้ำก็ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับปริมาณเริ่มต้นเช่น เดียวกับตะกั่ว ดังแสดงในแผนภาพที่ 8 ส่วนแบเรียม ปริมาณของแบเรียมที่พบในทางเดินกระสุนของตัวกลาง กระดาศมีปริมาณมากกว่าในตัวกลางฟองน้ำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เฉพาะที่ความลึกของฟองน้ำเพียง 2 ตำแหน่งเท่านั้น (ระยะ 2.50 ซม. และ 3.33 ซม.) สำหรับการเปลี่ยนแปลงในทางเดินกระสุนพบว่า ปริมาณของ แบเรียมในทางเดินกระสุนของตัวกลางทั้งสองชนิดไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับ ปริมาณเริ่มต้น ดังแสดงในแผนภาพที่ 9



แผนภาพที่ 7 แสดงค่าเฉลี่ยของตะกั่วในทางเดินกระสุนระหว่าง (a) กระดากับ (b) ฟองน้ำ, (c) เปรียบเทียบปริมาณตะกั่วในตัวกลางทั้งสองชนิด ($p \leq 0.05$), * ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณเริ่มต้น ($p \leq 0.05$), # ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณที่พบในทางเดินกระสุนของตัวกลางทั้งสองชนิด ($p \leq 0.05$)



แผนภาพที่ 8 แสดงค่าเฉลี่ยของแอนดิโมนีในทางเดินกระสุนระหว่าง (a) กระดากับ (b) ฟองน้ำ, (c) เปรียบเทียบปริมาณแอนดิโมนีในตัวกลางทั้งสองชนิด ($p \leq 0.05$), * ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณเริ่มต้น ($p \leq 0.05$), # ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณที่พบในทางเดินกระสุนของตัวกลางทั้งสองชนิด ($p \leq 0.05$)

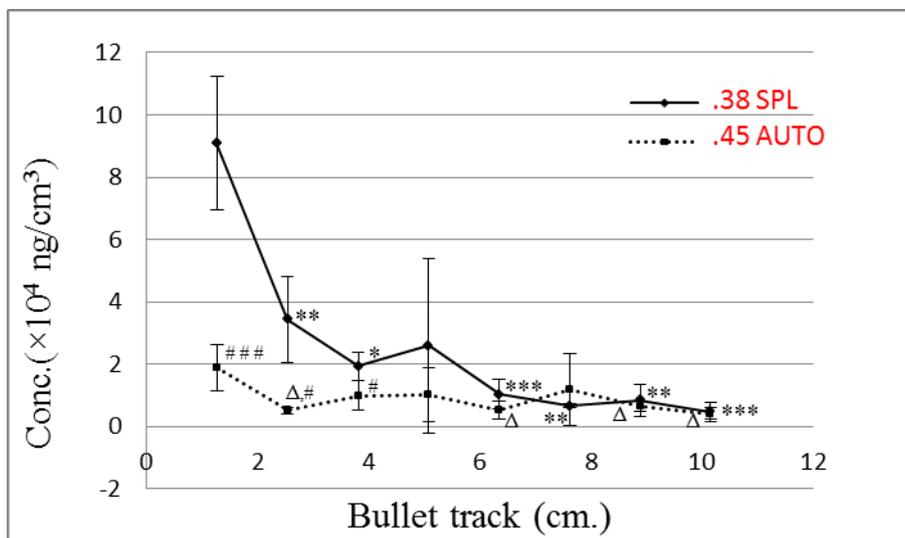


แผนภาพที่ 9 แสดงค่าเฉลี่ยของแบคทีเรียในทางเดินกระสุนระหว่าง (a) กระดาษกับ (b) ฟองน้ำ, (c) เปรียบเทียบปริมาณแบคทีเรียในตัวกลางทั้งสองชนิด,

ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณที่พบในทางเดินกระสุนของตัวกลางทั้งสองชนิด ($p \leq 0.05$)

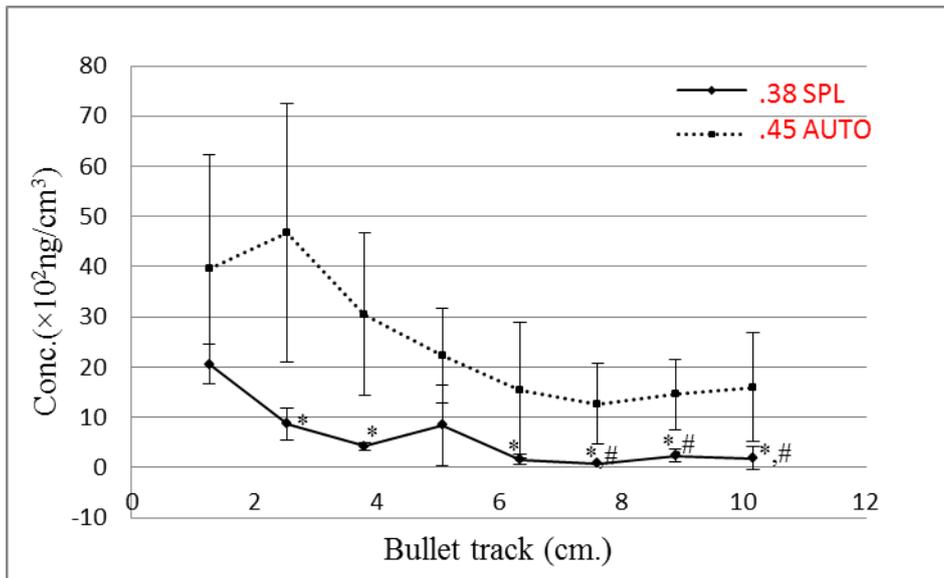
3. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของปริมาณโลหะในทางเดินกระสุนระหว่างอาวุธปืนและกระสุนปืน 2 ชนิด

ตัวกลางฟองน้ำถูกยิงมาจากระยะยิง 0.5 เมตร จากอาวุธปืนลูกม่ด้วยกระสุน .38 SPL และปืนออโตเมติกด้วยกระสุน .45 AUTO พบว่าปริมาณของโลหะตะกั่วในทางเดินกระสุนที่ยิงมาจากปืนลูกม่ (10^4ng/cm^3) มีปริมาณมากกว่าในทางเดินกระสุนที่ยิงมาจากปืนออโตเมติก (10^3ng/cm^3) อย่างมีนัยสำคัญเฉพาะในช่วงต้นของทางเดินกระสุนหลังจากนั้นปริมาณจะลดลงอย่างมีนัยสำคัญไปตามระยะทางที่กระสุนเคลื่อนที่ลึกเข้าไปในตัวกลาง จนถึงระยะ 4 ซม. หลังจากนั้นจะไม่พบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของปริมาณตะกั่วในตัวกลางที่ยิงมาจากปืนทั้ง 2 ชนิด ดังแสดงในแผนภาพที่ 10 สำหรับโลหะแอนติโมนี ปริมาณแอนติโมนีที่ตรวจพบในทางเดินกระสุนที่ยิงมาจากปืนลูกม่ (10^2ng/cm^3) มีปริมาณน้อยกว่าในทางเดินกระสุนที่ยิงมาจากปืนออโตเมติก (10^2ng/cm^3) อย่างมีนัยสำคัญเฉพาะในช่วงท้ายของทางเดินกระสุน และปริมาณแอนติโมนีในทางเดินกระสุนที่ยิงมาจากปืนทั้งสองชนิดมีปริมาณลดลงไปตามระยะทางที่กระสุนเคลื่อนที่เข้าไปลึกเพิ่มขึ้นในตัวกลาง แต่ปริมาณแอนติโมนีที่มีการลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติพบเฉพาะในตัวกลางที่ยิงมาจากปืนลูกม่เท่านั้น ดังแสดงในแผนภาพที่ 11 ปริมาณแบเรียมที่พบในทางเดินกระสุนของตัวกลางที่ยิงมาจากปืนและกระสุนทั้ง 2 ชนิดพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเพียงตำแหน่งเดียว และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณแบเรียมที่พบในระยะทางเดินกระสุนต่างๆ กับปริมาณเริ่มต้น ก็ไม่พบการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทางเดินกระสุนที่ยิงมาจากปืนและกระสุนทั้ง 2 ชนิด ดังแสดงในแผนภาพที่ 12

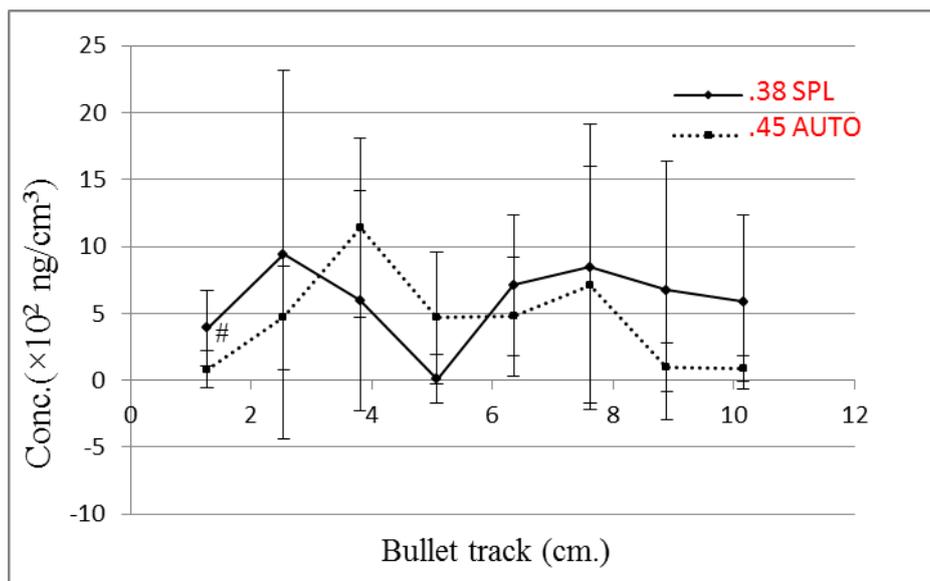


แผนภาพที่ 10 แสดงค่าเฉลี่ยของตะกั่วในทางเดินกระสุนที่ยิงมาจากปืนและกระสุน 2 ชนิด,

- * ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณเริ่มต้นที่ยิงมาจากปืนลูกม่ ($p \leq 0.05$),
- Δ ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณเริ่มต้นที่ยิงมาจากปืนออโตเมติก ($p \leq 0.05$),
- # ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของตะกั่วที่ยิงมาจากปืนและกระสุนทั้ง 2 ชนิด ($p \leq 0.05$)



แผนภาพที่ 11 แสดงค่าเฉลี่ยของแอนติโมเนียในทางเดินกระสุนที่ยิงมาจากปืนและกระสุน 2 ชนิด,
 * ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณเริ่มต้นที่ยิงมาจากปืนลูกไม่
 # ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของแอนติโมเนียที่ยิงมาจากปืนและกระสุนทั้ง 2 ชนิด ($p \leq 0.05$)



แผนภาพที่ 12 แสดงค่าเฉลี่ยของแบเรียมในทางเดินกระสุนที่ยิงมาจากปืนและกระสุน 2 ชนิด,
 # ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของแบเรียมที่ยิงมาจากปืนและกระสุนทั้ง 2 ชนิด ($p \leq 0.05$)

อภิปรายผลการศึกษา

การตรวจสอบว่าเป็นรูกระสุนปืนใช้หรือไม่นั้นเป็นขั้นตอนอันดับแรกที่มีความสำคัญต่อการตรวจสอบสถานที่เกิดเหตุเพราะหากการแปลผลในขั้นตอนนี้ผิดพลาดก็อาจส่งผลกระทบต่อสอบสวนในขั้นตอนต่อไปได้ โดยปกติแล้ววัตถุพยานที่มีความสำคัญต่อการตรวจพิสูจน์สถานที่เกิดเหตุที่เกี่ยวข้องกับปืนก็คือเขม่าปืนซึ่งเป็นสารที่มีลักษณะเฉพาะตัวคือประกอบไปด้วยสารประกอบของโลหะตะกั่ว แอนติโมนี และแบเรียม เมื่อมีการยิงปืนเกิดขึ้น เขม่าปืนจะถูกขับออกมาพร้อมกับหัวกระสุนและสามารถติดอยู่บริเวณผิวหน้าของหัวกระสุนได้เมื่อกระสุน

เข้าชนตัวกลาง ทำให้เขม่าป็นดังกล่าวจากกระสุนสามารถปรากฏอยู่ที่ตัวกลางได้ตามหลักการแลกเปลี่ยนของ Locard¹ แต่เนื่องจากปริมาณของเขม่าป็นในทางเดินกระสุนยังไม่มีการศึกษามาก่อน ดังนั้นจึงได้ทำการศึกษาขึ้น

จากการศึกษาพบว่าสามารถตรวจพบโลหะทั้งสามที่เป็นองค์ประกอบของเขม่าป็นได้จริงในทางเดินกระสุน ซึ่งสอดคล้องกับหลักการแลกเปลี่ยนของ Locard เมื่อศึกษาถึงปัจจัยของระยะยิงต่อปริมาณโลหะองค์ประกอบของเขม่าป็นในทางเดินกระสุนพบว่า ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของปริมาณของโลหะทั้งสามในทางเดินกระสุนที่ยิงมาจากระยะ 0.5 เมตร และ 1 เมตร จากแนวโน้มของกราฟพบว่า ปริมาณของตะกั่วเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญไปตามความลึกของทางเดินกระสุน ซึ่งปกติแล้วน่าจะลดลงเนื่องจากการเซ็ดของตัวกลางที่กระสุนเคลื่อนที่ผ่าน ปรากฏการณ์นี้สามารถอธิบายได้จากผลของโมเมนตัมระหว่างหัวกระสุนตะกั่วซึ่งเป็นโลหะที่มีความอ่อนกับตัวกลางกระดาษาที่มีความหนาแน่นมาก เมื่อเกิดการชนกระสุนจะเสีรูปร่างทำให้เกิดพื้นที่ผิวสัมผัสกับตัวกลางเพิ่มมากขึ้น จึงเกิดการแลกเปลี่ยนระหว่างอนุภาคของหัวกระสุนกับตัวกลางเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งการเสีรูปร่างนี้เพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความลึกของระยะทางที่กระสุนเคลื่อนที่ผ่านเข้าไปในตัวกลางสังเกตได้จากความผันแปรของปริมาณตะกั่วที่พบในตอนท้ายของทางเดินกระสุน สำหรับแอนติโมนีซึ่งมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามความลึกของทางเดินกระสุน อธิบายได้จากผลของโมเมนตัมของหัวกระสุนต่อตัวกลางกระดาษาเช่นเดียวกัน ทั้งนี้เนื่องจากการผลิตหัวกระสุนตะกั่วจะผสมโลหะแอนติโมนีเข้าไปเพื่อเพิ่มความแข็งของหัวกระสุน เพราะตะกั่วเป็นโลหะที่มีความอ่อน ซึ่งโดยทั่วไปแล้วปริมาณโลหะแอนติโมนีที่เติมลงไปจะอยู่ที่ 0-12%² จะเห็นได้ว่าปริมาณดังกล่าวสอดคล้องกับปริมาณแอนติโมนีที่พบในทางเดินกระสุนว่ามีปริมาณน้อยกว่าตะกั่วประมาณ 50 เท่าและความผันแปรของปริมาณในช่วงท้ายของทางเดินกระสุน จึงอาจสรุปได้ว่าทั้งหมดนี้เป็นผลมาจากโมเมนตัมของหัวกระสุนต่อตัวกลางกระดาษาเช่นเดียวกับตะกั่ว แต่สำหรับแบเรียมกราฟปริมาณของแบเรียมมีแนวโน้มต่างออกไปจากของตะกั่วและแอนติโมนี กล่าวคือปริมาณของแบเรียมมีการกระจายเท่าๆกันตลอดระยะทางเดินกระสุน จากการทดลองของ Dalby³ ไม่พบว่ามีโลหะแบเรียมเป็นองค์ประกอบของหัวกระสุนป็น ดังนั้นโลหะแบเรียมที่พบมาจากเขม่าป็นที่ติดมากับหัวกระสุน ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Bergman⁴ ที่อธิบายว่า อุณหภูมิและความดันที่สูงภายในป็นขณะยิงทำให้อนุภาคเขม่าป็นหลอมและติดแน่นอยู่บริเวณท้ายของหัวกระสุนและถูกถ่ายโอนไปในตัวกลางที่กระสุนนั้นเคลื่อนที่ผ่าน

เมื่อศึกษาปัจจัยของตัวกลางที่ทำให้เกิดทางเดินกระสุนพบว่าปริมาณของโลหะทั้งสามตัวที่พบในทางเดินกระสุนของกระดาษาที่มีปริมาณมากกว่าในทางเดินกระสุนของฟองน้ำ ในการศึกษาข้างต้นพบว่าปริมาณโลหะตะกั่วและแอนติโมนีที่พบในทางเดินกระสุนของกระดาษาที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะทางที่กระสุนเคลื่อนที่ลึกเข้าไปในตัวกลาง แต่สำหรับตัวกลางที่ทำมาจากฟองน้ำปริมาณโลหะทั้งสองที่พบกลับลดลงตามระยะทางเดินกระสุน ทั้งนี้เนื่องมาจากฟองน้ำเป็นวัสดุที่มีความหนาแน่นน้อยแต่มีความยืดหยุ่นมาก ผลของโมเมนตัมระหว่างหัวกระสุนและตัวกลางฟองน้ำจึงมีน้อยมากเมื่อเทียบกับตัวกลางกระดาษา ทำให้ผลของการเซ็ดอนุภาคเขม่าป็นของตัวกลางที่กระสุนเคลื่อนที่ผ่านมีผลมากกว่า ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Wallace⁵ ที่พบว่าสัดส่วนของอนุภาคเขม่าป็นชนิดชี้แนะ (indicative) ซึ่งประกอบด้วยโลหะ Pb-Sb, Pb-Ba, Pb ต่ออนุภาคเขม่าป็นชนิดชี้เฉพาะ (unique) ซึ่ง

ประกอบด้วยโลหะ Pb-Sb-Ba และ Sb-Ba เป็น 35:1 ดังนั้นปริมาณโลหะที่ตรวจพบจึงเป็นผลมาจากการขีดอนุภาคเขม่าปืนที่ติดมากับหัวกระสุนของตัวกลางที่กระสุนนั้นเคลื่อนที่ผ่าน สำหรับกราฟของแบเรียมพบว่ามีแนวโน้มเท่ากับตลอดทางเดินกระสุนซึ่งก็เป็นผลมาจากการถ่ายโอนอนุภาคเขม่าปืนที่ติดแน่นอยู่บริเวณท้ายของหัวกระสุนสอดคล้องกับการทดลองของ Bergman ตามที่ได้อธิบายไปแล้ว

เมื่อศึกษาปัจจัยของชนิดอาวุธปืนและกระสุนปืน ผลการทดลองพบว่าปริมาณของตะกั่วที่ยิงมาจากปืนลูกม่่มากกว่าปริมาณตะกั่วที่ยิงมาจากปืนออตโตเมติกเฉพาะที่ระยะ 4 เซนติเมตรแรกของทางเดินกระสุน ซึ่งเป็นผลมาจากการคัดปลอกกระสุนปืน การทดลองของ Fojtasek⁶ เป็นการหาปริมาณของเขม่าปืนที่ยิงมาจากปืนออตโตเมติกที่มีการคัดปลอกไปทางขวาพบว่า ปริมาณเขม่าปืนส่วนใหญ่มีการกระจายด้านหน้าเฉียงไปทางขวา 45 องศา และปืนออตโตเมติกที่ใช้ในการทดลองก็มีการคัดปลอกไปทางขวาเช่นเดียวกัน ดังนั้นเขม่าปืนส่วนใหญ่จึงกระจายไปในบริเวณด้านหน้าเฉียงไปทางขวา ทำให้เหลือปริมาณเขม่าปืนที่ติดไปกับกระสุนและปลิวไปยังตัวกลางได้น้อยกว่าเขม่าปืนที่ยิงมาจากปืนลูกม่ซึ่งมีการกระจายไปทางด้านหน้าในแนวตรง แต่สำหรับปริมาณแอนติโมนีที่ยิงมาจากปืนทั้งสองชนิดพบว่าปริมาณแอนติโมนีที่ยิงมาจากปืนออตโตเมติกกลับมีปริมาณมากกว่าที่ยิงมาจากปืนลูกม่ ส่วนหนึ่งเป็นผลมาจากกระสุนปืนที่ใช้เป็นคนละชนิดและผลิตมาจากบริษัทต่างกันทำให้ปริมาณแอนติโมนีที่เป็นองค์ประกอบในหัวกระสุนปืนแตกต่างกันและขนาดของกระสุนที่ยิงมาจากปืนออตโตเมติก (11 mm หรือ .45 AUTO) มีขนาดใหญ่กว่ากระสุนของปืนลูกม่ (.38 SPL) ดังนั้นชนวนท้ายกระสุนของกระสุน 11 mm หรือ .45 AUTO มีขนาดใหญ่กว่าของ .38 SPL ซึ่งจากการทดลองของวิวัฒน์⁷ ที่ศึกษาหาปริมาณโลหะองค์ประกอบของชนวนท้ายกระสุนปืน พบว่าสำหรับกระสุนปืนที่มาจากบริษัทเดียวกัน กระสุนที่มีขนาดใหญ่กว่าจะมีปริมาณโลหะองค์ประกอบของชนวนท้ายกระสุนปืนมากกว่า ดังนั้นปริมาณแอนติโมนีที่ยิงมาจากปืนออตโตเมติกจึงมีปริมาณมากกว่าที่ยิงมาจากปืนลูกม่ สำหรับปริมาณของแบเรียมในทางเดินกระสุนที่ยิงมาจากปืนทั้งสองชนิดพบว่าไม่แตกต่างกันและแนวโน้มของกราฟทั้งสองก็เท่ากันตลอดทางเดินกระสุน

สรุป

ธาตุองค์ประกอบของเขม่าปืน (Pb, Sb และ Ba) สามารถตรวจพบได้ในทางเดินกระสุนและปริมาณของธาตุดังกล่าวที่ตรวจพบจะมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของตัวกลางและชนิดของอาวุธปืนและกระสุนปืน

เอกสารอ้างอิง

1. Hu S, Shen H, Wang S. Trajectory Reconstruction Through Analysis of Trace Evidence in Bullet-Intermediate Target Interaction by SEM/EDX. J Forensic Sci 2009;54(6):1349-52
2. Randich E, Grant PM. Proper Assessment of the JFK Assassination Bullet Lead Evidence from Metallurgical and Statistical Perspectives. 2006.
3. Delby O, Butler D, Birkett JW. Analysis of Gunshot Residue and Associated Materials-A Review. J Forensic Sci 2010;55(4):924-43
4. Bergman P, Enzel P, Springer E. The detection of gunshot residue (GSR) particles on the bottom of discharged bullets. J Forensic Sci 1988;(33)4:960-8
5. Wallace JS. Discharge residue particles from blank cartridges. Assoc. Firearm Tool Mark Examiners J. (1986) 33-39

6. Fojtasek L, Vacinova J, Kolar P. Distribution of GSR particles in the surroundings of shooting pistol. *Forensic Science International* 2003;132(2):99-105
7. วิวัฒน์ ชินวร. การวิเคราะห์เขม่าปืนด้วยเทคนิค SEM/EDX. *วิทยานพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขานิติวิทยาศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร*; 2547 : 85-102