

การวิเคราะห์หาปริมาณไนไตรท์และไนเตรทในเขม่าปืนที่ติดบนผ้า  
โดยเทคนิค Ion chromatography\*

Determination of nitrites and nitrates in gunshot residues deposited on cloths  
by the technique of Ion chromatography

วรเทพ พรประเสริฐ\*\*  
ศิริรัตน์ ชูสกุลเกรียง\*\*\*

บทคัดย่อ

ตัวอย่างเขม่าปืนที่เก็บได้บนเสื้อผ้าของผู้ยิงปืนมาวิเคราะห์ เพื่อหาปริมาณไนไตรท์และไนเตรท โดยใช้เทคนิค Ion Chromatography (IC) ตัวอย่างผ้าที่ถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์หาเขม่าปืนคือ ผ้าฝ้าย ผ้ายีนส์ และผ้าใยสังเคราะห์ โดยนำผ้าชนิดต่างๆมาติดไว้บริเวณหน้าอกและแขนเสื้อทั้งสองข้างของผู้ยิงปืน โดยทำการทดลองยิงปืนในห้องปิด โดยใช้อาวุธปืนกึ่งอัตโนมัติ ขนาด 9 มม. ลูกซอง ยี่ห้อ Glock และลูกกระสุนปืนแบบทองแดงหัวตะกั่ว ยี่ห้อ Royal 9 มม. ลูกซอง ในการทำการทดลองแต่ละครั้งจะยิงปืน 3 นัดต่อเนื่องกันและเก็บตัวอย่าง เพื่อศึกษาการคงอยู่ของเขม่าปืนบนผ้าที่เก็บตัวอย่างทันที 6, 12 และ 24 ชั่วโมงภายหลังจากการยิงปืน ผลการทดลองพบว่าในทุกๆตัวอย่างตรวจพบปริมาณของไนไตรท์และไนเตรทภายหลังจากการยิงปืน 24 ชั่วโมง โดยปริมาณของไอออนทั้งสองที่เก็บได้จากบริเวณปลายแขนทั้งสองข้างมีปริมาณมากกว่าที่เก็บได้จากบริเวณหน้าอกของเสื้อที่ใส่ นอกจากนั้นพบว่าปริมาณไนไตรท์ในเขม่าปืนที่เก็บได้บนผ้ายีนส์มีปริมาณมากกว่าที่เก็บได้จากบนผ้าชนิดอื่นๆ จากการศึกษาแสดงให้เห็นประสิทธิภาพของการนำเทคนิค IC มาใช้ในการตรวจหาเขม่าปืนบนผ้าและผลการทดลองยังสามารถใช้ประโยชน์ในการสืบสวนสอบสวนทางนิติวิทยาศาสตร์ เพื่อระบุผู้ที่กระทำความผิดได้

Abstract

Gunshot residues (GSR) sampled from the shirt on the gun firer were analysed for the amounts of nitrites ( $\text{NO}_2^-$ ) and nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ) by the technique of ion chromatography (IC). Different types fabric namely, cotton, denim and polyester were selected for the study of GSR deposition. The cloths were attached to the chest area and the sleeves of the gun firer. The gun firing were carried out in a closed room with a Glock semiautomatic and Luger 9 mm cartridges. For each experiment, the gun was fired three times successively and the GSR samples of the shirt. In the GSR persistence study, samples were taken immediately and at 6,

\*

บทความนี้เป็นส่วนหนึ่งของวิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโทฉบับที่ ๑ เรื่องการหาปริมาณไนเตรทและไนไตรท์ในเขม่าปืนที่ติดบนผ้าโดยเทคนิคไอออนโครมาโตกราฟี โดยมี อ.ดร.ศุภชัย ศุภลักษณ์นารี เป็นที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

\*\*

จำสืบเอก สำเร็จการศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขานิติวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร E-mail: pormoo2004@gmail.com

\*\*\*

อาจารย์ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร

12 and 24 hours after firing. The amounts of nitrites and nitrates can be measured in all samples even in the samples collected at 24 hours after firing. The amounts of both ion in the samples collected from the sleeves were higher than in those taken from the chest area of the shirt. Moreover, it was found that the denim collected more GRS than other fabrics as indicated by the amounts of nitrites in the samples. This study demonstrated the potential of the IC technique for the detection of GSR on cloths and the results may assist the forensic investigation of firearm usage.

## บทนำ

สภาพสังคมในปัจจุบันนี้การใช้อาวุธปืนก่ออาชญากรรมมีมากขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากการอนุญาตครอบครองอาวุธปืนที่ถูกต้องตามกฎหมายประเทศไทยทำได้โดยง่าย อีกทั้งกฎหมายการลงโทษผู้ครอบครองอาวุธปืนโดยไม่ได้รับอนุญาตที่ไม่รุนแรงและเข้มงวดมากนัก ทำให้อาวุธปืนกลายเป็นอาวุธที่ประชาชนทั่วไปสามารถมีไว้ครอบครองได้โดยง่าย และมีประสิทธิภาพในการทำลายชีวิตและทรัพย์สินที่รุนแรง ดังนั้นจึงทำให้การก่ออาชญากรรมด้วยอาวุธปืนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง

ด้วยเหตุผลที่กล่าวมาข้างต้นการหาพยานหลักฐานเพื่อชี้ตัวผู้กระทำความผิดมาลงโทษตามกฎหมายจึงมีความสำคัญในการคลี่คลายคดีความต่างๆ พยานหลักฐานที่มาระบุตัวผู้กระทำความผิดจะต้องมีความถูกต้องและสามารถพิสูจน์ได้ หลักการทางนิติวิทยาศาสตร์จึงเข้ามามีบทบาทอย่างมากในการหาพยานหลักฐานที่ยืนยันตัวผู้กระทำความผิดที่แท้จริงได้ เพราะหลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์เป็นผลการวิเคราะห์ทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งสามารถพิสูจน์ข้อเท็จจริงในคดีความได้ ทำให้การสืบสวน สอบสวนเป็นไปอย่างถูกต้องและเชื่อถือได้ อีกทั้งทางกฎหมายยังยอมรับพยานหลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์เข้าสู่กระบวนการพิจารณาตัดสินคดีความในชั้นศาลได้เป็นอย่างดี

การตรวจพิสูจน์วัตถุพยานของคดีความที่เกี่ยวข้องกับอาวุธปืนนั้นมีหลายวิธี เช่น การตรวจระยะยิงจากร่องรอยต่างๆ การตรวจพิสูจน์รอยเกลียวลำกล้อง การตรวจเขม่าดินปืนภายในลำกล้อง บนมือ เส้นผมและเสื้อผ้าของผู้ยิงปืน เป็นต้น

การเกิดเขม่าปืน เป็นผลมาจากการทำงานของอาวุธปืนหลังการเหนียวไกปืน โดยเข็มแทงชนวนจะเคลื่อนที่ไปกระแทกชนวนที่อยู่บริเวณท้ายกระสุนปืน ทำให้ชนวนท้ายกระสุนปืนระเบิดเกิดเป็นเปลวไฟที่ใช้อยู่จุดดินส่งกระสุนปืนให้เกิดการลุกไหม้ภายในพื้นที่ที่จำกัดและในระยะเวลาอันสั้น ส่งผลให้อุณหภูมิและความดันเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว เกิดความร้อนและแก๊สจำนวนมาก เมื่อแก๊สจำนวนมากนั้นขยายตัว ทำให้ปลอกกระสุนที่ยึดอยู่กับลูกกระสุนคลายตัว แรงระเบิดความดันสูงจะขับให้ลูกกระสุนวิ่งออกจากลำกล้องปืน พร้อมกับไอเขม่าปืนที่ตกค้างภายหลังจากการเผาไหม้ฟุ้งกระจายออกมาด้วยกัน

เขม่าปืนนั้นสามารถแบ่งตามคุณสมบัติทางเคมีได้เป็น 2 ประเภท คือ ส่วนที่เป็นสารประกอบอนินทรีย์ (Inorganic Residue) ซึ่งมาจากการเผาไหม้ของ Primer Cap เรียกว่า เขม่าปืน สามารถทำการตรวจหาชนิดและปริมาณของธาตุแอนติโมนี (Sb) แบเรียม (Ba) และตะกั่ว (Pb) ได้ด้วยเทคนิค Atomic Absorption Spectrometry (AAS) Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS) Neutron Activation Analysis : NAA หรือ Scanning Electron Microscope Energy Dispersive X-ray

Spectroscopy (SEM-EDX) เพื่อระบุว่าบุคคลนั้นได้ยิงปืนมาหรือไม่ แล้วยังทราบชนิดของกระสุนที่ใช้ในการยิงได้ และส่วนที่เป็นสารประกอบอินทรีย์ (Organic Residue) ซึ่งมาจากการเผาไหม้ของดินส่กระสุนปืน (Gun Powder) สามารถทำการตรวจหาปริมาณไอออนไนโตรเจน ( $\text{NO}_2^-$ ) และไนเตรท ( $\text{NO}_3^-$ ) ได้ด้วยการทดสอบสี (Colour Test) เป็นการวิเคราะห์หัตถ์สมัยแรก ปัจจุบันนี้ใช้เทคนิค Ion chromatography (IC) เพื่อระบุว่าบริเวณที่ตรวจเขม่าดินปืนอยู่ห่างจากปากกระบอกปืนเป็นระยะเท่าใดและใช้ประเมินระยะเวลาหลังการยิงได้อีกด้วย

ในการตรวจสอบเขม่าดินปืนนั้นได้มีผู้วิจัยหลายกลุ่มทำการศึกษาและรายงานผลตัวอย่างผลงานวิจัยของแต่ละกลุ่มซึ่งคณะผู้วิจัยได้ทำการรายงานไว้ก่อนหน้าดังต่อไปนี้

จากงานวิจัยของศมนวรรณ หัสสินทร์ ในปี 2553 เป็นการตรวจวิเคราะห์หาปริมาณการคงอยู่ของไนเตรทในลากล่องปืนภายหลังจากการยิงปืน โดยเทคนิคไอออนโครมาโทกราฟีและเทคนิค สเปคโตรโฟโตมิเตอร์ ผลการทดลองพบว่าสามารถพบปริมาณของไนเตรทได้จนถึง 48 ชั่วโมง

ต่อมาในปี 2555 งานวิจัยของเบญจ พุฒินิล ได้ทำการทดลองตรวจพิสูจน์หาคราบเขม่าดินปืนบน ผ้าที่ใช้เป็นเป้ายิง บนเสื้อผ้าบริเวณหน้าอกของผู้ยิงปืน และประตูรถยนต์ที่ยิงปืนด้วยเทคนิคไอออนโครมาโทกราฟี (Ion Chromatography ; IC) เมื่อทำการทดลองยิงปืนไปบนผ้าที่เป็นเป้ายิง ผลการทดลองพบว่าปริมาณของไนเตรทและไนเตรทจะลดลงตามระยะการยิงที่เพิ่มขึ้นส่วนผลของเขม่าดินปืนบนเสื้อผ้าของผู้ยิงจะมีปริมาณลดลงตามระยะเวลาการเก็บที่เพิ่มขึ้นและสามารถตรวจพบปริมาณไนเตรทและไนเตรทบนพื้นผิวบริเวณประตูรถยนต์ได้

ในปี 2011 Zuzanna Brozek-Mucha และคณะ ได้ศึกษาคราบเขม่าดินปืนที่มือและบนเสื้อผ้าของผู้ยิงปืนในระยะ 0-100 เซนติเมตรจากปากกระบอกปืนด้วยเทคนิค scanning electron microscopy and energy dispersive X-ray spectrometry (SEM/EDX) ผลการทดลองพบว่ามีปริมาณของอนุภาคเขม่าดินปืนมากที่ระยะ 10-30 เซนติเมตร

และในปี 2013 Sébastien Charles และคณะ ได้ศึกษาคราบเขม่าดินปืนบนผ้า 3 ชนิด คือ ผ้าฝ้าย ผ้าหนังและผ้าขนสัตว์ โดยเทคนิค SEM/EDX จากผลการทดลองพบว่า ปริมาณของเขม่าดินปืนที่ยังคงอยู่บนผ้าหนังน้อยกว่าผ้าฝ้าย 3 เท่า และผ้าขนสัตว์ 5 เท่า

ในปัจจุบันกองพิสูจน์หลักฐานได้ตรวจพิสูจน์หาคราบเขม่าดินปืนที่มือโดยเทคนิค AAS, ICP-MS, NNA หรือ SEM-EDX เป็นต้น ซึ่งเทคนิคเหล่านี้มีความน่าเชื่อถือ แต่มีข้อเสียคือการเตรียมตัวอย่างที่ยุ่งยาก ใช้เวลาวิเคราะห์นาน ราคาแพง ส่วนการตรวจเขม่าดินปืนจะใช้การทดสอบสี ซึ่งสามารถระบุได้เพียงว่าบุคคลนั้นผ่านการยิงปืนมาหรือไม่ ดังนั้นเทคนิค Ion Chromatography จึงเป็นวิธีทางเลือกที่ใช้ในการวิเคราะห์ไนเตรทและไนเตรทจากเขม่าดินปืน เพราะเป็นเทคนิคที่น่าเชื่อถือ เตรียมตัวอย่างง่าย ใช้เวลาวิเคราะห์น้อย รวดเร็วและราคาไม่แพง

หลักการของ Ion Chromatography (IC) คือ เป็นวิธีที่ใช้การแยกสารผสมในสถานะการแตกตัวเป็นไอออน โดยอาศัยหลักการแลกเปลี่ยนประจุภายในคอลัมน์ ในระบบจะประกอบด้วยตัวพาซึ่งเป็นเฟสเคลื่อนที่ในที่นี้เรียกว่า Eluent ส่วนมากจะเป็นสารละลายบัฟเฟอร์ ซึ่งเป็นตัวพาสารตัวอย่างเข้าสู่คอลัมน์ (เฟสคงที่) ไอออนที่อยู่ในเฟสเคลื่อนที่และไอออนในสารตัวอย่างจะแข่งขันกันเข้าแลกเปลี่ยนกับประจุที่อยู่ผิวของเฟสคงที่ โดยทั่วไปไอออนที่มีขนาดเล็กจะแยกออกมาก่อนและแปรผลออกมาในรูปของ Chromatogram

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยสนใจวิเคราะห์ไนเตรทและไนเตรทในเขม่าดินปืนบนเสื้อผ้า 4 ชนิด คือ ผ้าฝ้าย ผ้าร่ม ผ้ายีนส์ และผ้ายัด บริเวณส่วนหน้าอกและแขนทั้งสองข้างภายหลังจากการยิงปืนโดยทันที 6, 12, และ 24 ชั่วโมงภายหลังจากการยิงปืน เพื่อศึกษาการคงอยู่ของอนุภาคเขม่าดินปืนบนผ้าต่างชนิดกัน ด้วยเทคนิค IC ซึ่ง

กระบวนการดังกล่าวสามารถนำไปใช้เพื่อให้เกิดประโยชน์ในกระบวนการยุติธรรมทางนิติวิทยาศาสตร์ในการสืบหาตัวผู้กระทำความผิดได้

### วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาหาระยะเวลาและปริมาณของอนุภาคเขม่าป็นที่สะสมติดอยู่บนเสื้อผ้าทั้ง 4 ชนิดบริเวณหน้าอกและแขนทั้งสองข้างของผู้ยิงภายในห้องปิดหลังจากการยิงด้วยอาวุธปืน ขนาด 9 มม. โดยใช้เทคนิค Ion Chromatography

### วิธีการวิจัย

1. อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง
  - 1.1 เครื่อง Ion Chromatography (IC) รุ่น DIONEX MODEL ICS-1000
  - 1.2 เครื่อง Ultrasonic water bath ยี่ห้อ Cavitator
  - 1.3 อาวุธปืนพกสั้นกึ่งอัตโนมัติ ยี่ห้อ Glock ขนาด 9 mm.
  - 1.4 ลูกกระสุนปืนแบบทองแดงหัวตะกั่วยี่ห้อ Royal ขนาด 9 มม. ลูกเกอร์
  - 1.5 ขวดเก็บตัวอย่าง (Vial)
  - 1.6 ผ้าตัวอย่าง 4 ชนิด คือ ผ้าฝ้าย ผ้าร่ม ผ้ายีนส์ และผ้ายัด
  - 1.7 ถุงซิปลงตัวอย่างขนาด 9x12 ซม.
  - 1.8 ถุงมือยางชนิดไม่มีแบ่งยี่ห้อ SemperGuard
  - 1.9 Volumetric pipette ขนาด 1,3,5 และ 10 ml.
  - 1.10 Beaker ขนาด 100 ml.
  - 1.11 Volumetric flask ขนาด 100 ml.
  - 1.12 กระบอกฉีดยา (Syringe) ปริมาตร 3 cc/ml.
  - 1.13 Nylon membrane filter ขนาดรูพรุน 0.45  $\mu\text{m}$
  - 1.14 กรรไกร
  - 1.15 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง คือ Sodium Nitrites และ Sodium Nitrates

2. วิธีทดลอง การเก็บตัวอย่าง และสภาวะที่ใช้ในการทดลอง

- 2.1 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน

เตรียมสารละลายมาตรฐานผสมไนไตรท์ และไนเตรทเข้มข้น 1, 3, 5, 10, 15, 20 และ 25 ppm แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค ion chromatography เพื่อใช้ในการสร้างกราฟมาตรฐานในการวิเคราะห์เชิงปริมาณต่อไป

- 2.2 การหาค่า LOD และ LOQ

ใช้สารละลายมาตรฐานไนไตรท์และไนเตรทเข้มข้น 0.05 ppm โดยวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Ion chromatography ทำการทดลองซ้ำ 10 ครั้ง จากการทดลองหาค่าขีดจำกัดการวัดได้ของเครื่องมือ (LOD) และขีดจำกัดการตรวจสอบและรายงานผลได้ของเครื่องมือสามารถตรวจสอบ (LOQ) โดย  $LOD = \bar{X} + 3 \text{ S.D.}$  และ  $LOQ = \bar{X} + 10 \text{ S.D.}$

### 2.3 การทดลองเก็บตัวอย่างเขม่าป็นจากเสื้อผ้าผู้ยิงปืน

นำผ้าที่ตัดเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมขนาด  $1.5 \times 12$  เซนติเมตร ตัดไว้ที่หน้าอก แขนข้างขวา และ แขนข้างซ้ายทั้งด้านในและด้านนอกของผู้ยิงปืน ระยะที่ปากกระบอกปืนห่างจากบริเวณที่เก็บเป็น 12, 12 และ 28 นิ้ว ตามลำดับ ยิงปืนจำนวน 3 นัด ทดลองภายในห้องยิงปืนที่ปิดมิดชิดและไม่มีการพัด แล้วเก็บตัวอย่างทันที และ 6, 12, 24 ชั่วโมง ภายหลังการยิงปืน จากนั้นนำผ้าตัวอย่างใส่ในซองพลาสติกใสแบบมีซิปล และนำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค ion chromatography ต่อไป

### 3. การเตรียมตัวอย่าง

3.1 นำตัวอย่างผ้าแช่ด้วย Deionized water ในขวด vial ปริมาตร 5 ml ปิดฝาขวด แล้วนำขวดตัวอย่างใส่ใน Ultrasonic water bath เพื่อสกัดเขม่าป็นเป็นเวลา 30 นาที

3.2 นำมากรองผ่าน membrane ขนาดรูพรุน  $0.45 \mu\text{m}$

3.3 นำมาวิเคราะห์โดยใช้เครื่องไอออนโครมาโทกราฟี ซึ่งมีสภาวะในการทดลอง คือ

Program : Dionex CM Dongle Chromeleon 680 SPI build 2238

Reagent-free controller : RFC-30 Dionex

Guard column : Ion pac AG18 Guard column (4x50mm)

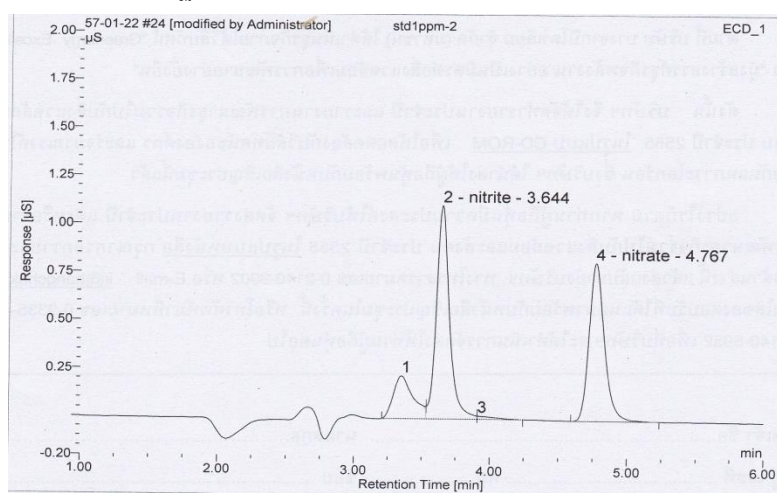
Analytical column : Ion pac AS18 Analytical column (4x250mm)

Eluent: Potassium Hydroxide

Detector: Conductivity

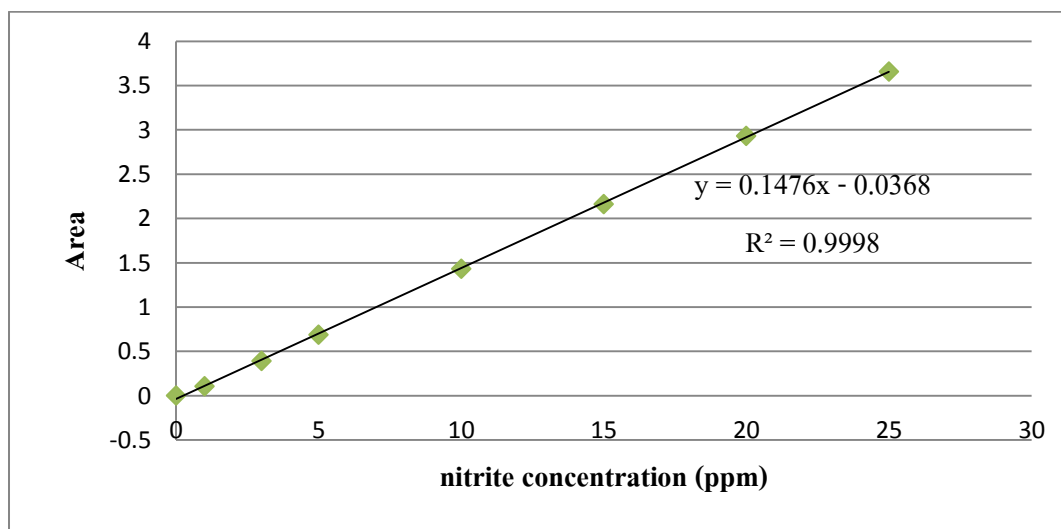
### ผลการวิจัยและอภิปรายผลการทดลอง

จากผลการศึกษารวบรวมมาตรฐานของไนเตรทและไนไตรท์ด้วยเครื่อง Ion Chromatography (IC) เมื่อนำสารละลายมาตรฐานผสมไนไตรท์และไนเตรทที่มีความเข้มข้น 1, 3, 5, 10, 15, 20 และ 25 ppm. พบว่าได้โครมาโทแกรมของสารละลายมาตรฐานผสม ดังภาพที่ 1

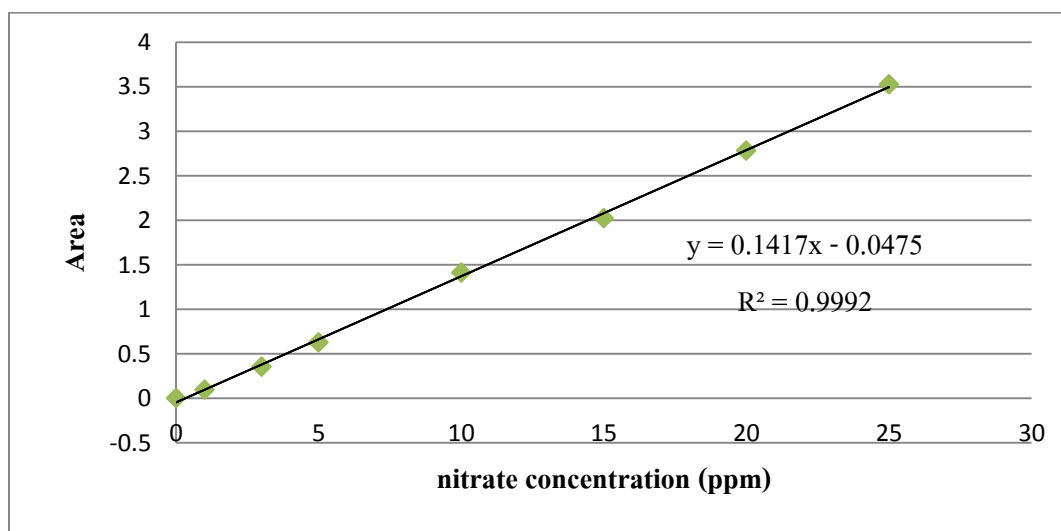


ภาพที่ 1 chromatogram ตัวอย่างของสารละลายมาตรฐานผสมไนไตรท์และไนเตรทที่มีความเข้มข้น 1 ppm จากโครมาโทแกรมตัวอย่างพบว่าพีคของไนไตรท์และไนเตรทอยู่ที่ Retention time ที่ 3.644 min 4.767 นาที ตามลำดับ และพีคทั้งสองสามารถแยกกันได้อย่างชัดเจน มีค่า Resolution (R) มากกว่า 1.5

เมื่อนำข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างค่าพื้นที่ใต้พีคเนลล์กับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานไนไตรท์และไนเตรท (mg/L) มาพล็อตกราฟ พบว่าได้ความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง มีสมการแสดงความสัมพันธ์คือ  $y = 0.1476x - 0.0368$  และ  $y = 0.1417x - 0.0475$  ตามลำดับ และค่า Correlation coefficient ( $R^2$ ) เท่ากับ 0.9998 และ 0.9992 ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 2 และ 3



ภาพที่ 2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ใต้พีคกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานไนไตรท์ 1, 3, 5, 10, 15, 20 และ 25 ppm



ภาพที่ 3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ใต้พีคกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานไนเตรท 1, 3, 5, 10, 15, 20 และ 25 ppm

### การศึกษาหาค่า LOD และ LOQ

การคำนวณได้ค่า LOD = 0.0337 ppm และ LOQ = 0.0443 ppm สำหรับไนไตรท์ และ LOD = 0.1318 ppm และ LOQ = 0.1622 ppm สำหรับไนเตรท

### การศึกษาวิเคราะห์ปริมาณไนไตรท์และไนเตรทในเขม่าดินปืนบนเสื้อผ้า

จากการวิเคราะห์หาปริมาณไนไตรท์และไนเตรทในเขม่าดินปืนบนเสื้อผ้า 4 ชนิด คือ ผ้าฝ้าย ผ้าร่ม ผ้ายีนส์ และผ้ายัด บริเวณส่วนหน้าอกและแขนทั้งสองข้างภายหลังจากการยิงปืนโดยทันที 6, 12, และ 24 ชั่วโมงภายหลังจากการยิงปืน แสดงผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ยผลการวิเคราะห์หาปริมาณไนไตรท์และไนเตรทในเขม่าดินปืนบนเสื้อผ้าทั้ง 4 ชนิด

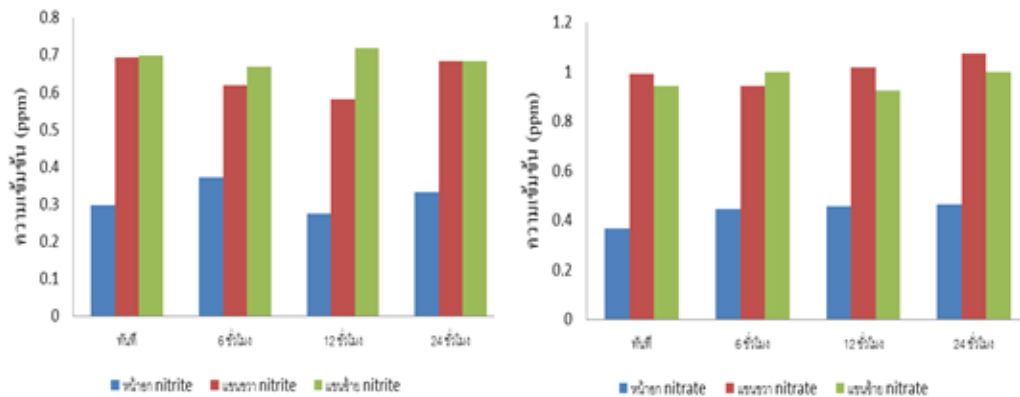
| ชนิดของผ้า | บริเวณที่เก็บตัวอย่าง | ไนไตรท์ (ppm) |        |         |         | ไนเตรท (ppm) |        |         |         |
|------------|-----------------------|---------------|--------|---------|---------|--------------|--------|---------|---------|
|            |                       | ทันที         | 6 ช.ม. | 12 ช.ม. | 24 ช.ม. | ทันที        | 6 ช.ม. | 12 ช.ม. | 24 ช.ม. |
| ผ้าฝ้าย    | หน้าอก                | 0.298         | 0.371  | 0.274   | 0.331   | 0.367        | 0.446  | 0.457   | 0.466   |
|            | ขวา                   | 0.693         | 0.618  | 0.58    | 0.683   | 0.992        | 0.941  | 1.019   | 1.074   |
|            | ซ้าย                  | 0.697         | 0.669  | 0.718   | 0.683   | 0.942        | 0.998  | 0.924   | 0.997   |
| ผ้าร่ม     | หน้าอก                | 0.297         | 0.288  | 0.281   | 0.280   | 0.535        | 0.498  | 0.611   | 0.609   |
|            | ขวา                   | 0.619         | 0.647  | 1.346   | 0.614   | 1.162        | 1.453  | 2.735   | 1.311   |
|            | ซ้าย                  | 0.645         | 0.616  | 1.32    | 0.632   | 1.099        | 1.185  | 2.983   | 1.234   |
| ผ้ายีนส์   | หน้าอก                | 1.073         | 1.009  | 1.185   | 0.689   | 0.416        | 0.692  | 0.508   | 0.440   |
|            | ขวา                   | 1.579         | 2.643  | 2.735   | 2.69    | 0.922        | 1.01   | 0.935   | 1.009   |
|            | ซ้าย                  | 2.71          | 2.692  | 2.983   | 2.525   | 0.992        | 1.072  | 0.838   | 1.092   |
| ผ้ายัด     | หน้าอก                | 0.316         | 0.364  | 0.309   | 0.288   | 0.593        | 0.501  | 0.420   | 0.479   |
|            | ขวา                   | 0.766         | 0.622  | 0.631   | 0.62    | 0.802        | 0.988  | 1.52    | 1.49    |
|            | ซ้าย                  | 0.737         | 0.841  | 0.655   | 0.749   | 0.832        | 1.366  | 1.431   | 1.166   |

จากผลการทดลองการศึกษาระยะเวลาการคงอยู่ของเขม่าดินปืนบนเสื้อผ้าทั้ง 4 ชนิด คือ ผ้าฝ้าย ผ้าร่ม ผ้ายีนส์ และผ้ายัดที่บริเวณส่วนหน้าอก แขนขวา และแขนซ้ายภายหลังจากการยิงปืนทันที และ 6, 12, 24 ชั่วโมง พบว่า ในทุกๆบริเวณที่เก็บตัวอย่างสามารถตรวจพบปริมาณของเขม่าดินปืนภายหลังจากการยิงปืนของเสื้อผ้าทั้ง 4 ชนิด จนถึงระยะเวลา 24 ชั่วโมงก็ยังคงมีการคงอยู่ของปริมาณไนไตรท์และไนเตรท

จากการศึกษาเปรียบเทียบปริมาณไนไตรท์และไนเตรทของตัวอย่างที่เก็บบริเวณส่วนหน้าอก แขนขวา และแขนซ้ายบนผ้าทั้ง 4 ชนิด พบว่า จากตัวอย่างที่เก็บบริเวณแขนซ้ายและแขนขวาจะมีปริมาณไนไตรท์และไนเตรทมากกว่าตัวอย่างที่เก็บบริเวณหน้าอก เนื่องจากระยะห่างจากปากกระบอกปืนและผ้าตัวอย่างที่บริเวณหน้าอก คือ 28 นิ้ว ส่วนระยะจากปากกระบอกปืนและผ้าตัวอย่างที่บริเวณแขนทั้งสองข้าง คือ 12 นิ้ว

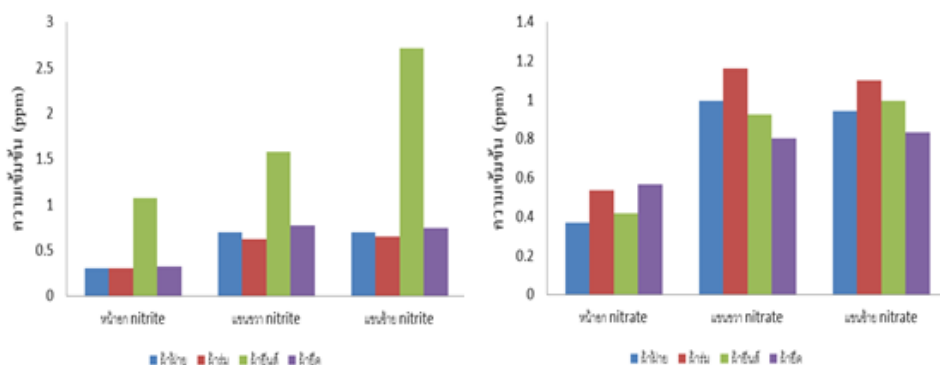


ด้วยระยะห่างจากปากกระบอกปืนถึงบริเวณแขนขาและซ้ายที่ใกล้กว่าบริเวณหน้าอก จึงทำให้พบปริมาณของไนโตรต์และไนเตรทที่มากกว่า และนอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณไนโตรต์และไนเตรทของแขนขาและแขนซ้ายมีปริมาณที่ใกล้เคียงกัน เนื่องจากระยะห่างของปากกระบอกปืนถึงผ้าตัวอย่างที่บริเวณแขนขาและแขนซ้ายมีระยะที่ใกล้เคียงกัน จึงพบปริมาณไนโตรต์และไนเตรทที่ใกล้เคียงกัน ดังภาพที่ 4 ซึ่งผลการทดลองข้างต้นจะมีปริมาณใกล้เคียงกันกับทุกๆตัวอย่างที่เก็บภายหลังการยิงปืน



ภาพที่ 4 แผนภูมิเปรียบเทียบปริมาณไนโตรต์และไนเตรทของบริเวณที่เก็บตัวอย่างภายหลังจากการยิงปืนตามระยะเวลาที่กำหนดบนผ้าฝ้าย

จากการศึกษาเปรียบเทียบปริมาณไนโตรต์และไนเตรทบนเสื้อผ้าทั้ง 4 ชนิด ที่เก็บตัวอย่างบริเวณส่วนหน้าอก แขนขาและแขนซ้ายภายหลังจากการยิงปืนทันที 6, 12 และ 24 ชั่วโมง พบว่า ปริมาณไนโตรต์บนผ้าฝ้ายจะสูงกว่าผ้าชนิดอื่นๆอย่างเห็นได้ชัด แต่ปริมาณไนโตรต์บนผ้าฝ้าย ผ้าร่มและผ้ายัดจะมีปริมาณที่ใกล้เคียงกัน เนื่องจากผ้าฝ้ายมีขนาดของรูพรุนที่กว้างกว่าผ้าชนิดอื่นๆ จึงทำให้ปริมาณไนโตรต์บนผ้าฝ้ายสูงกว่าผ้าฝ้าย ผ้าร่ม และผ้ายัด ส่วนปริมาณไนเตรทบนผ้าทั้ง 4 ชนิดจะมีปริมาณที่ใกล้เคียงกัน เนื่องจากไนเตรทสามารถพบได้ทั่วไป คือไนเตรทที่วิเคราะห์ได้อาจจะไม่ได้มาจากเขม่าดินปืนเพียงอย่างเดียว อาจมาจากการปนเปื้อนจากปัจจัยอื่นๆ ทำให้พบปริมาณไนเตรทบนผ้าทั้ง 4 ชนิดในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน ดังภาพที่ 5 ซึ่งผลการทดลองข้างต้นจะมีปริมาณใกล้เคียงกันกับทุกๆตัวอย่างที่เก็บภายหลังการยิงปืน



ภาพที่ 5 แผนภูมิเปรียบเทียบปริมาณไนโตรต์และไนเตรทบนผ้าทั้ง 4 ชนิด บริเวณที่เก็บตัวอย่างส่วนหน้าอก แขนขาและแขนซ้าย ภายหลังจากการยิงปืนทันที



### สรุปผลการทดลอง

จากข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างค่าพื้นที่ใต้พีคกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานไนโตรทและไนไตรท์ ความเข้มข้น 1, 3, 5, 10, 15, 20, และ 25 ppm มาสร้างกราฟมาตรฐาน (calibration curve) พบว่า สารละลายมาตรฐานไนโตรทและไนไตรท์ได้ความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง ซึ่งยืนยันได้ด้วยค่า Correlation coefficient ( $R^2$ ) เท่ากับ 0.9998, 0.9992 ตามลำดับ

จากการศึกษาสารละลายมาตรฐานไนโตรทและไนไตรท์ความเข้มข้น 0.05 ppm นำมาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Ion chromatography ผลการคำนวณได้ค่า LOD = 0.3115 ppm และ LOQ = 0.3120 ppm สำหรับไนโตรท LOD = 0.3677 ppm และ LOQ = 0.3690 ppm ซึ่งค่าที่วิเคราะห์มีค่ามากกว่า LOD และ LOQ ทำให้มีความเชื่อมั่นสูง

จากผลการทดลองการศึกษาระยะเวลาการคงอยู่ของเขม่าดินปืนบนเสื้อผ้าทั้ง 4 ชนิด คือ ผ้าฝ้าย ผ้าร่ม ผ้ายีนส์ และผ้ายัดที่บริเวณส่วนหน้าอก แขนขวา และแขนซ้ายภายหลังจากการยิงปืนทันที และ 6, 12, 24 ชั่วโมง พบว่า ในทุกๆบริเวณที่เก็บตัวอย่างสามารถตรวจพบปริมาณของเขม่าดินปืนภายหลังจากการยิงปืนของเสื้อผ้าทั้ง 4 ชนิด จนถึงระยะเวลา 24 ชั่วโมงก็ยังคงมีการคงอยู่ของปริมาณไนโตรทและไนไตรท์ เมื่อเปรียบเทียบปริมาณไนโตรทและไนไตรท์ของตัวอย่างที่เก็บบริเวณส่วนหน้าอก แขนขวา และแขนซ้ายบนเสื้อผ้าทั้ง 4 ชนิด พบว่า จากตัวอย่างที่เก็บบริเวณแขนซ้ายและแขนขวาจะมีปริมาณไนโตรทและไนไตรท์มากกว่าตัวอย่างที่เก็บบริเวณส่วนหน้าอก นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณไนโตรทและไนไตรท์ของแขนขวาและแขนซ้ายมีปริมาณที่ใกล้เคียงกัน และพบว่า ปริมาณไนโตรทบนผ้ายีนส์จะสูงกว่าผ้าชนิดอื่นๆอย่างเห็นได้ชัด แต่ปริมาณไนโตรทบนผ้าฝ้าย ผ้าร่มและผ้ายัดจะมีปริมาณที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งผลการทดลองข้างต้นจะมีปริมาณใกล้เคียงกันในทุกๆตัวอย่างที่เก็บภายหลังจากการยิงปืน

### ข้อเสนอแนะ

1. ศึกษาการคงอยู่ของเขม่าปืนที่ระยะเวลานานกว่า 24 ชั่วโมง
2. ศึกษาในกระสุนปืนชนิด ขนาด ยี่ห้อต่างๆ เพื่อจะได้ทราบถึงปริมาณของเขม่าดินปืนในแต่ละชนิด ขนาดและยี่ห้อของกระสุนปืน
3. ควรทำการศึกษาในสภาพแวดล้อมอื่นๆ เช่น ในระบบเปิด เนื่องจากความเป็นจริงแล้วการก่อเหตุเกี่ยวกับอาวุธปืนเกิดขึ้นได้ทั้งในระบบเปิดและระบบปิด
4. ศึกษาและเก็บตัวอย่างจากคดีอาชญากรรมที่เกิดขึ้นจริง

### เอกสารอ้างอิง

#### ภาษาไทย

- ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. (2555). “เครื่องวิเคราะห์สารผสมในรูปของไอออน (Ion Chromatography, IC).” การวิเคราะห์ทางเคมีและชีวเคมี. เข้าถึงเมื่อ 12 เมษายน 2557 เข้าถึงได้จาก <http://cste.sut.ac.th/lisu>
- อัษฎายุทธ ผลภาค. (2551). “เขม่าปืน-หลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์.” สัมมนาพนธ์ปริญญา มหาบัณฑิต สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร.

- อัมพร จารุจินดา. (2542). “การตรวจพิสูจน์อาวุธปืนและเครื่องกระสุนปืน.” เอกสารความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับอาวุธปืนและกระสุนปืนสำหรับผู้เข้าอบรม กองพิสูจน์หลักฐาน สำนักงานวิทยาการตำรวจ.
- วิจิตรา คุณมา. (2556). “การหาปริมาณไนไตรท์และไนเตรทบนเส้นผมของผู้ยิงปืนโดยเทคนิคไอออนโครมาโทกราฟี.” วารสารวิชาการ Veridian E-Journal ปีที่ 6, ฉบับที่ 2 (พฤษภาคม-สิงหาคม) : 937-952.
- เบญจ พุฒินิล. (2555). “การวิเคราะห์หาปริมาณไนไตรท์และไนเตรทในเขม่าดินปืนด้วย ไอออนโครมาโทกราฟี.” วารสารวิชาการ Veridian E-Journal ปีที่ 5, ฉบับที่ 2 (พฤษภาคม-สิงหาคม) : 730-741.

#### ภาษาต่างประเทศ

- Lucien C Haag. Shooting incident reconstruction. Academic press. (2006) : 45-56. Morison and Boyd. Laboratories of Gunshot residue.” 4<sup>th</sup> edition. (2007).
- Bexar county criminal investigation laboratory standard operating procedures-trace evidence section. (May, 31 2007).
- Brian J. Handbook of Firearms and Ballistics. John Wiley & Sons Ltd, (1997): 167-169.