ปีที่ 10 ฉบับที่ 1 เดือน มกราคม - มิถุนายน 2567
Volume 10 Number 1: January - June 2024

การวิเคราะห์ปริมาณไนเตรทและไนไตรท์ในเขม่าดินปืนบนผ้าต่างชนิด โดยเทคนิคการดูดกลืนแสงของยูวี-วิซิเบิล สเปกโตรสโคปปี

Determination of Nitrate and Nitrite in Gunshot Residue on Fabric by UV-Visible Spectroscopy Method

ณิช วงศ์ส่องจ้า* วลัยพร ผ่อนผัน จาริณี ดิ่งกลาง และ ปวีณ์นุช ทองชัย
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

Nich Wongsongja, Walaiporn Phonphan, Jarinee Dingklang, and Paweenut Tongchai
Faculty of Science Technology, Suan Sunandha Rajabhat University

Received: January 8, 2024 | Revised: March 17, 2024 | Accepted: April 21, 2024

บทความวิจัย (Research Article)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปริมาณสารประกอบไนเตรทและไนไตรท์ในเขม่าดินปืนบนผ้าต่างชนิดและเปรียบเทียบปริมาณของสารประกอบไนเตรทและไนไตรท์ในเขม่าดินปืน โดยใช้เทคนิคการดูดกลืนแสงของยูวี-วิซิเบิล สเปกโตรสโคปปี (UV-Visible Spectroscopy) ซึ่งผู้วิจัยทำการศึกษาปริมาณไนเตรท และไนไตรท์ในเขม่าดินปืนที่ตกค้าง บนร่องรอยกระสุนปืนจากการยิงด้วยปืนพกรีวอลเวอร์ ยี่ห้อ สมิทธ์ แอนด์ เวสซัน (Smith & Wesson) กระสุนปืนขนาด .38 สเปเชียล (Special) ชนิดตะกั่วหุ้มทองแดงตลอดจนถึงปลายกระสุน (Full Metal Jacket) ยี่ห้อเอ็นอาร์ซี (NRC) ที่ระยะยิง 80 เซนติเมตร บนผ้า 3 ชนิด ได้แก่ ผ้าฝ้าย ผ้าร่ม และผ้าซาติน จากนั้นเก็บตัวอย่างในระยะเวลาที่ต่างกัน ได้แก่ 1 วัน, 1 สัปดาห์, 2 สัปดาห์ และ 1 เดือน ในสภาวะปิดและปกติ และนำมาวิเคราะห์เชิงปริมาณหาปริมาณสารประกอบในเขม่าดินปืน จำนวน 2 ชนิด ได้แก่ ไนเตรทและไนไตรท์ โดยใช้เทคนิคการดูดกลืนแสงของยูวี-วิซิเบิล สเปกโตรสโคปปี และผลการศึกษาเปรียบเทียบปริมาณไนเตรทและไนไตรท์ พบว่า ในสภาวะที่ต่างกันบนผ้าจะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ผ้าต่างชนิดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 และระยะเวลาที่ต่างกันจะมีปริมาณไนเตรทและไนไตรท์บนผ้าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

คำสำคัญ: ไนเตรท, ไนไตรท์, เขม่าดินปืน, ยูวี-วิซิเบิล

* ผู้ประพันธ์บรรณกิจ (Corresponding Autor), Email: nich.wo@ssru.ac.th

Abstract

The research aimed to investigate the nitrate and nitrite content in gunshot residue on various fabrics, comparing their concentrations. The researcher utilized UV-Visible Spectroscopy technique to analyze the residues left on different fabric types (cotton, rayon, and satin) after shooting with a Smith & Wesson revolver .38 Special, copper-clad lead type (Full Metal Jacket) fired at a distance of 80 centimeters. Sampling was conducted at different intervals: 1 day, 1 week, 2 weeks, and 1 month. Quantitative analysis of the gunshot residue revealed the concentrations of nitrate and nitrite, it was found that there was a statistically significant difference at the 0.05 level of different conditions on the fabric, fabrics, and the different time periods on the fabric was statistically significant at the 0.05 level.

Keywords: Nitrate, Nitrite, Gunshot Residue, UV-Visible

บทนำ

ตามที่พระราชบัญญัติอาวุธปืนเครื่องกระสุนปืน วัตถุระเบิด ดอกไม้เพลิง และสิ่งเทียมอาวุธปืน พ.ศ. 2490 ได้ระบุว่า อาวุธปืนเป็นศัตราวุธที่มีอานุภาพร้ายแรงที่สามารถทำอันตรายต่อชีวิตและร่างกายของผู้อื่นได้โดยง่าย หากอยู่ในมือของคนผิด กล่าวคือ อยู่ในความครอบครองของผู้กระทำผิดต่อกฎหมายหรืออาชญากรและได้นำไปใช้ในทางที่มิชอบแล้ว ย่อมก่อให้เกิดความเสียหายต่อบุคคลอื่นอาจทำให้ผู้อื่นได้รับอันตรายแก่ชีวิตและร่างกายได้อีกทั้งยังทำให้เกิดความกังวลใจแก่ประชาชนทั่วไป (Wiriyajaroenkit & Suraswadee, 2019)

จากสถิติการครอบครองปืน การใช้อาวุธปืนก่อเหตุ และจำนวนผู้เสียชีวิตจากอาวุธปืนในประเทศไทย องค์กรวิจัยในสวิตเซอร์แลนด์ Small Arms Survey (2560) ระบุว่า ประชาชนไทยครอบครองปืนอยู่ 10,342,000 กระบอก เฉลี่ย 15.1 กระบอก ต่อ 100 คน ทำให้ไทยครอบครองอาวุธปืนมากที่สุดเป็นอันดับ 1 ของอาเซียน และอยู่ที่อันดับ 13 ของโลก ซึ่งเป็นปืนที่มีทะเบียน 7 ล้านกระบอก และไม่มีทะเบียน 6 ล้านกระบอก สัดส่วนการครอบครองปืน คือ 100 ต่อ 15 หมายความว่า ประชาชน 100 คน มีปืน 15 คน ที่ใช้อาวุธปืนก่อเหตุในไทย และ World Population Review เผยแพร่ข้อมูลผลสำรวจประเทศที่มีกรณีการเสียชีวิตด้วยอาวุธปืนมากที่สุดในโลกประจำปี ค.ศ. 2022 พบว่า ประเทศไทยติดอันดับที่ 15 โดยมีจำนวนผู้เสียชีวิตด้วยอาวุธปืน จำนวน 2,804 คน และมีอัตราการเสียชีวิตที่เกี่ยวข้องกับอาวุธปืนเฉลี่ย 3.91 คนต่อประชากร 1 แสนคน (Khaosodonline, 2022)

การยิงปืนออกไปแล้วจะทำให้เกิดอันตรายได้ต่อเมื่อกระสุนพุ่งออกไปจากลำกล้องปืนโดยจำเป็นต้องอาศัยลูกกระสุน ซึ่งลูกกระสุนปืนประกอบด้วยหัวกระสุน ดินปืน ปลอกกระสุน และเชื้อปะทุ โดยภายหลังจากการยิงจะมีเขม่าดินปืนซึ่งเป็นอนุภาคกลุ่มไอ เกิดจากการเผาไหม้ของชนวนท้ายกระสุนปืน

จะถูกขับออกมาพร้อมกันกับกลุ่มแก๊สด้วยแรงดันที่เกิดจากการเผาไหม้ของดินส่งกระสุนปืนเกิดการกระจายตัวและตกค้างไปยังบุคคลหรือวัตถุต่าง ๆ ปริมาณของเขม่าดินปืนที่ตกค้างจะมีจำนวนมากน้อยแตกต่างกัน เนื่องจากปัจจัยหลายประการ เช่น สภาพแวดล้อมในบริเวณที่ยิงปืน ชนิดและสภาพของอาวุธปืน ชนิดของกระสุนปืน ขนาดลำกล้องปืน และสภาพพื้นผิวที่เขม่าดินปืนตกค้าง (Schwoeble & Exline, 2000) โดยอนุภาคที่ถูกเผาไหม้หลังจากการยิงปืน แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ถูกเผาไหม้และส่วนที่ไม่ถูกเผาไหม้ซึ่งในส่วนที่ไม่ถูกเผาไหม้ สามารถตรวจสอบได้โดยวิธี Griess I , Griess II และ modified Griess ซึ่งวิธี modified Griess เป็นวิธีที่คิดค้นขึ้นมาใหม่แทนการใช้วิธีเดิม วิธีดังกล่าวใช้ตรวจหาไนไตรท์ที่ติดอยู่กับเขม่าดินปืนที่เผาไหม้ไม่หมด และวิธี modified Griess สามารถบอกระยะการกระจายได้อย่างชัดเจน โดยสังเกตจากจุดสีส้ม (orange spot) และรอยยิง (tattooing) แต่อย่างไรก็ตามวิธี modified Griess มีข้อจำกัดในการตรวจพบไนไตรท์คือไม่สามารถระบุปริมาณที่แน่นอนของไนไตรท์ได้แต่สามารถระบุได้เพียงเบื้องต้นว่าตรวจพบหรือตรวจไม่พบเท่านั้น (Giroux, 2006)

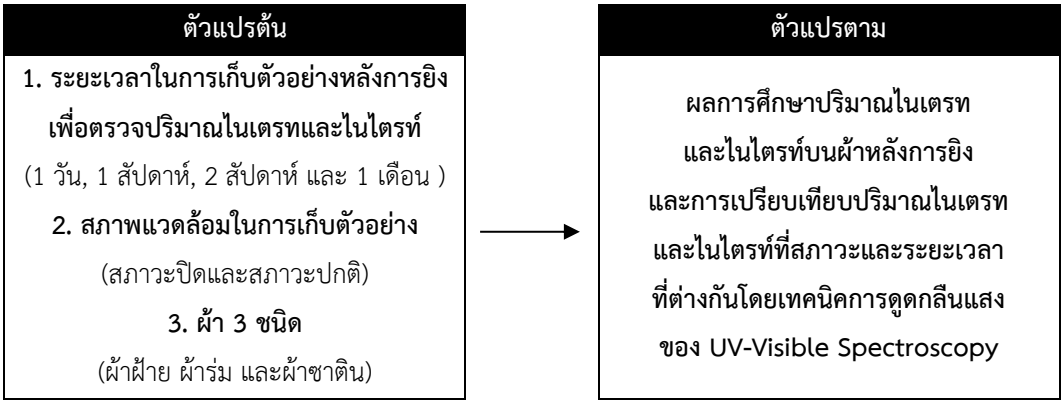
จากที่มาและความสำคัญของปัญหาข้างต้น ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาการหาปริมาณสารตกค้างของเขม่าดินปืนในส่วนที่เป็นสารประกอบไนเตรทและไนไตรท์ โดยใช้วัตถุที่ดูดซับสารตกค้างเป็นผ้าที่แตกต่างกัน คือ เส้นใยธรรมชาติและเส้นใยสังเคราะห์ ซึ่งมีลักษณะพื้นผิวการทอแตกต่างกัน โดยทำการเลือกใช้ผ้าที่คนนิยมสวมใส่ ได้แก่ ผ้าฝ้าย ผ้าร่ม และผ้าซาติน และเก็บผ้าทั้งสามชนิดในสภาวะและระยะที่แตกต่างกัน โดยใช้เทคนิคการดูดกลืนแสงUV-Visible Spectroscopy ซึ่งเป็นเทคนิคที่ใช้ในการตรวจสอบสารประกอบไนเตรทและไนไตรท์ ซึ่งทำการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบโดยใช้เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์คือ Spectrophotometer ที่สามารถตรวจวัดอนุภาคของไนเตรทและไนไตรท์ได้ค่าที่ได้มาจะเป็นค่าการดูดกลืนแสงและสามารถหาความเข้มข้นได้จากการสร้างกราฟมาตรฐาน (ศิวพันธุ์ ชูอินทร์, 2560) ดังนั้นผู้วิจัยจึงนำความรู้ด้านนิติวิทยาศาสตร์มาประยุกต์ใช้ในการตรวจหาสารประกอบอินทรีย์ประเภทไนเตรทและไนไตรท์เหล่านี้ภายหลังจากการยิงปืนและนำผลการวิเคราะห์ที่ได้จากการทดลองมาประยุกต์ใช้ในกระบวนการยุติธรรมเพื่อใช้ในการระบุตัวผู้ต้องสงสัยและแสดงข้อเท็จจริงที่เกิดขึ้นว่าวัตถุนั้นมีร่องรอยของเขม่าดินปืนหรือไม่ ร่องรอยคล้ายกระสุนที่ปรากฏบนวัตถุใช่ร่องรอยจากกระสุนปืนหรือไม่

วัตถุประสงค์

1) เพื่อศึกษาหาปริมาณไนเตรทและไนไตรท์ที่สภาวะและระยะเวลาที่ต่างกัน โดยเทคนิคการดูดกลืนแสงของ UV-Visible Spectroscopy บนผ้าแต่ละชนิด

2) เพื่อศึกษาเปรียบเทียบปริมาณไนเตรทและไนไตรท์ที่สภาวะและระยะเวลาที่ต่างกันโดยเทคนิคการดูดกลืนแสงของ UV-Visible Spectroscopy บนผ้าแต่ละชนิด

กรอบแนวคิดการวิจัย



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดการวิจัย

ทบทวนวรรณกรรม

1) ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1.1) เขม่าดินปืน (gunshot residue หรือ GSR)

เป็นอนุภาคขนาดเล็กที่เกิดจากการยิงปืนเมื่อทำการลั่นไกทำให้เข็มแทงชนวนตีเข้ากับแก๊ปปืนอย่างแรงกระตุ้นให้เกิดการระเบิดเพื่อส่งกระสุนปืนออกไป และเกิดกลุ่มแก๊สขึ้นจำนวนมาก โดยภายในรังเพลิงขณะที่แก๊ปปืนระเบิดทำให้เกิดความร้อน โดยมีอุณหภูมิอยู่ที่ประมาณ 1,500-2,000 องศาเซลเซียส และความดันเพิ่มสูงขึ้นประมาณ 1,400 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (Phermpornsagul, 2021) ซึ่งเขม่าดินปืนเกิดจากการเผาไหม้ของสสารมาจาก 3 ส่วน คือ การระเบิดของแก๊ปปืน (primer) การเผาไหม้ของดินขับกระสุนปืน (propellant) และมาจากส่วนอื่น ๆ เช่น ส่วนของดินปืนที่ยังไม่เผาไหม้หรือเผาไหม้ไม่หมด (Tiawtragul, Choosakoonkriang & Supalaknari, 2017)

1.2) ไนเตรทและไนไตรท์

(1) ไนเตรท (nitrate) พบได้ทั่วไปในธรรมชาติเป็นแหล่งสำคัญของไนโตรเจนในปุ๋ย มีสูตรเคมีคือ NO^{3-} ไนเตรทสามารถทำให้ส่วนผสมในดินปืนเกิดเปลวไฟหรือระเบิดได้ ตัวอย่างเช่น โพแทสเซียมไนเตรทเป็นตัวออกซิไดซ์ในดินปืน โดยการวิเคราะห์หาปริมาณความเข้มข้นของไนโตรเจนในรูปไนเตรทมี 4 วิธีคือ วิธียูวี (UV) วิธีไอออนโครมาโทกราฟี (Ion Chromatography: IC) วิธีแคดเมียมรีดักชัน (cadmium reduction) และวิธีบรูซีน (brucine) (Choo-in, 2017)

(2) ไนไตรท์ (nitrite) เป็นวัตถุเจือปนอาหาร ไนไตรท์จะถูกรีดิวซ์มาจากเกลือไนเตรท เช่น เกลือโซเดียมไนเตรทและโพแทสเซียมไนเตรท และเป็นเขม่าปืนชนิดอินทรีย์สารที่เกิดจากการเผาไหม้ของดินส่งกระสุนปืนชนิดดินควันน้อย โดยการวิเคราะห์ไนไตรท์ด้วยวิธี colorimetric เป็นวิธีที่ได้รับความนิยมแพร่หลายในการวิเคราะห์ สารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจน เนื่องจาก sensitivity สูง สะดวกและรวดเร็ว (Choo-in, 2017)

1.3) เทคนิค UV-Visible Spectrophotometer

เป็นเทคนิคสำหรับการวัดค่าการดูดกลืนแสงเหมาะสำหรับงานวิเคราะห์เชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ สำหรับการวิเคราะห์เชิงปริมาณจะอาศัยกฎของเบียร์ (Beer's law) โดยค่าความเข้มข้นสูงขึ้นค่าดูดกลืนแสงจะสูงขึ้น ซึ่งสามารถหาได้ในรูปแบบของการสร้างกราฟมาตรฐาน โดยอาศัยหลักการพื้นฐานคือ เมื่อโมเลกุลได้รับพลังงานแสงในช่วง UV-Visible อิเล็กตรอนที่อยู่ภายในโมเลกุลจะถูกกระตุ้นให้มีการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงาน การรับพลังงานแสงของธาตุหรือโมเลกุล แต่ละชนิดขึ้นอยู่กับชนิดของพันธะทำให้เทคนิคมีความจำเพาะเจาะจง (Science Innovation Facility, Faculty of science, Burapha University, 2022)

2) งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กุลยา วันจันทร์, ศิริรัตน์ ชูสกุลเกรียง, และศุภชัย ศุภลักษณ์นารี (2561) ได้ทำการวิเคราะห์หาปริมาณไนไตรท์และไนเตรทในเขม่าดินปืนที่ติดบนมือโดยเทคนิคไอออนโครมาโทกราฟี มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการประยุกต์เทคนิคไอออนโครมาโทกราฟีในการตรวจวิเคราะห์เขม่าดินปืน เพื่อหาปริมาณไนเตรทและไนไตรท์โดยใช้ปืนกึ่งอัตโนมัติขนาด 9 มม. ยี่ห้อ Glock ที่ใช้กับกระสุน 5 ยี่ห้อ และปืนรีวอลเวอร์ขนาด .38 ยี่ห้อ Smith & Wesson ที่ใช้กับกระสุน 6 ยี่ห้อโดยเก็บตัวอย่างที่ใช้ในการตรวจวิเคราะห์ฝ่ามือและส่วนหลังของมือทั้งสองมือของผู้ยิงปืน โดยเก็บตัวอย่างภายหลังจากยิงปืน 3 ครั้ง ติดต่อกันด้วยกระสุนในชุดเดียวกัน ผลการวิเคราะห์สามารถตรวจพบไนไตรท์และไนเตรทในทุกตัวอย่างโดยมีปริมาณอยู่ในช่วง 0.0538 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และ 1.210 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ

เชษฐ์สุดา จิตต์การุณย์ และวรธัช วิชชุวาณิชย์ (2564) ได้ทำการวิเคราะห์แนวโน้มงานตรวจพิสูจน์เขม่าดินปืนในประเทศไทย เพื่อศึกษาการตรวจวิเคราะห์เขม่าดินปืนในประเทศไทยรวมถึงความคิดเห็นผู้ตรวจวิเคราะห์เพื่อทราบแนวโน้มการตรวจวิเคราะห์เขม่าดินปืนของประเทศไทยในอนาคต โดยสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญกลุ่มงานตรวจอาวุธปืนและเครื่องกระสุนกองพิสูจน์หลักฐานกลาง สำนักงานตำรวจแห่งชาติ ส่วนใหญ่ใช้วิเคราะห์ด้วยวิธี color test เพื่อหาปริมาณไนเตรทและไนไตรท์ เนื่องจากสามารถระบุได้อย่างรวดเร็ว วิธีตรวจสอบการพบสารประกอบประเภทไนไตรท์ ซึ่งเกิดจากการเผาไหม้ของดินปืนไม่ว่าจะชนิดใดก็ตามหรืออาจเป็นหนึ่งในส่วนประกอบของกระสุนปืนหากผลเป็นบวกจะเปลี่ยนสีเป็นสีชมพูเข้ม

Rafae, Ali, Abdullah, & Chang (2019) ได้ทำการวิเคราะห์โดยการวัดสีของเขม่าดินปืนที่ตรวจพบโดยการสวมถุงมือขณะยิงปืนโดยใช้ Modified Griess Reagent (MGT) เพื่อเก็บเขม่าดินปืนบนถุงมือที่ทำจากวัสดุต่าง ๆ ที่สวมใส่โดยมือปืนระหว่างการฝึกยิงปืน ผลการทดลอง พบว่าทั้งฝ่ามือและหลังถุงมือสามารถตรวจจับเขม่าดินปืนโดย MGT ได้เหมือนกันและไม่พบความสัมพันธ์ที่มีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างประเภทของถุงมือ ประเภทของอาวุธปืนทั้งปืนพกลูกโม่หรือปืนพกกึ่งอัตโนมัตินั้นมีความเกี่ยวข้องอย่างมากกับการตรวจจับเขม่าดินปืนบนถุงมือ เมื่อทำการยิง ด้วยสองมือ ตัวอย่างถุงมือ

ที่สวมบนมือซ้ายและมือขวาให้ผลการทดสอบที่ใกล้เคียงกัน แสดงให้เห็นว่าการใช้ MGT การทดสอบอย่างง่ายสามารถช่วยในการตรวจสอบที่เกิดเหตุในการระบุ เขม่าดินปืนในกรณีที่ใช้ถุงมือ

Bildik & Bas (2022) ได้ทำการสำรวจระดับการปนเปื้อนของสารไนเตรท ไนไตรท์และปริมาณสารอินทรีย์น้ำบ่อบาดาลที่ Aydin ของตุรกี เพื่อหาปริมาณไนเตรทและไนไตรท์ในน้ำบาดาล โดยการวิเคราะห์ไนเตรทและไนไตรท์ในน้ำด้วยวิธีการสร้างสี คือ วิธีบรูซีนตรวจหาไนเตรทที่ความยาวคลื่น 410 นาโนเมตร และใช้วิธีสร้างสีเพื่อตรวจหาไนไตรท์ใช้ความยาวคลื่นที่ 543 นาโนเมตร ผลลัพธ์ที่ได้ คือ ตรวจพบปริมาณไนเตรทและไนไตรท์ในตัวอย่างน้ำ แต่ไนเตรทและไนไตรท์มีปริมาณต่ำกว่าขีดจำกัดที่กำหนดแต่สูงกว่าขีดจำกัดของน้ำบาดาล ถือว่าการปนเปื้อนอาจเกิดจากมลพิษในครัวเรือน

ระเบียบวิธีวิจัย

การศึกษาวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) โดยทำการศึกษาปริมาณไนเตรทและไนไตรท์จากระยะการเก็บผ้าต่างชนิดกันจำนวน 3 ชนิด ศึกษาระยะยิง คือ ระยะไกล (80 เซนติเมตร) หลังจากนั้น ทำการเก็บตัวอย่างใส่ถุงซิปล็อคสีชาชั่วคราวเพื่อป้องกันแสงก่อนนำมาเก็บไว้ตามสภาวะที่ศึกษา ได้แก่ สภาวะปิด (เก็บตัวอย่างใส่ถุงซิปล็อคเก็บในห้องปิด) และสภาวะปกติ (ตากผ้าตัวอย่างไว้ในที่ร่มและแสงแดดส่องถึง) มีการวัดอุณหภูมิของห้องที่ใช้เก็บตัวอย่าง โดยเก็บตัวอย่างผ้าไว้ในระยะเวลาต่างกันมีทั้งหมด 4 ระยะเวลา ได้แก่ 1 วัน, 1 สัปดาห์, 2 สัปดาห์ และ 1 เดือน ซึ่งงานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ

1) วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่

(1) ผ้า 3 ชนิด คือ ผ้าฝ้าย ผ้าร่ม และผ้าซาติน สีขาว ขนาด 20x20 เซนติเมตร ชนิดละ 24 ผืน

(2) ถุงซิปล็อกสีชาสำหรับการเก็บตัวอย่าง

(3) หลอดปั่นเหวี่ยง ขนาด 50 มิลลิลิตร

(4) อะลูมิเนียมฟอยล์สำหรับห่อหุ้มหลอดปั่นเหวี่ยง

2) สารเคมีที่ใช้ในการวิจัย

2.1) สารเคมีในการวิเคราะห์หาปริมาณไนเตรทโดยวิธีบรูซีน ได้แก่

(1) สารละลายโซเดียมอาร์ซีไนต์

(2) สารละลายบรูซีน-กรดซัลฟานิลิก

(3) กรดไฮโดรคลอริก

(4) สารละลายกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 4:1

(5) สารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 5.14 โมลาร์

(6) สารละลายมาตรฐานไนเตรทความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร

(7) สารละลายมาตรฐานไนเตรทความเข้มข้น 40 ไมโครกรัมต่อลิตร

2.2) สารเคมีในการวิเคราะห์หาปริมาณไนไตรท์โดยวิธีการสร้างสี ได้แก่

(1) สารละลายซัลฟานิลามายด์ ความเข้มข้น 0.06 โมลาร์

(2) กรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 5.29 โมลาร์

(3) สารละลายเอ็นอีดีไดไฮโดรคลอไรด์ความเข้มข้น 0.004 โมลาร์

(4) สารละลายมาตรฐานไนไตรท์ความเข้มข้น 5 มิลลิกรัมต่อลิตร

(5) สารละลายมาตรฐานไนไตรท์ความเข้มข้น 25 ไมโครกรัมต่อลิตร

3) เครื่องมือที่ใช้ในการทำวิจัย

3.1) ปืนพกรีวอลเวอร์ ยี่ห้อ Smith & Wesson

3.2) กระสุนปืนขนาด .38 Special ยี่ห้อ NRC ชนิด Full Metal Jacket

3.3) เครื่องแยกสารความถี่สูง (Ultrasonic Bath)

3.4) เครื่อง UV-Visible Spectrophotometer รุ่น 5P-UV 500DB ยี่ห้อ Spectrum

4) ขั้นตอนการวิจัย

4.1) ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างและเก็บตัวอย่าง เตรียมผ้าทั้งสามชนิดที่ได้มาจากร้านขายผ้าแบบยกม้วนโดยตัดผ้า ขนาด 20x20 เซนติเมตร เท่ากัน ก่อนทำการยิงนำผ้าใส่ถุงพลาสติกเก็บไว้ในห้องปฏิบัติการที่ปราศจากเขม่าดินปืน และทำการยิงในระยะ 80 เซนติเมตร ในสภาวะเปิด (สนามโล่งแจ้ง) ใช้คนยิงคนเดียวตลอดการวิจัย หลังการยิงทำการเก็บผ้าตัวอย่างสภาวะต่าง ๆ ตามระยะเวลาที่ศึกษาและนำตัวอย่างจาก 2 สภาวะคือ สภาวะปิดและสภาวะปกติ ที่ระยะเวลา 4 ระยะเวลา คือ 1 วัน, 1 สัปดาห์, 2 สัปดาห์ และ 1 เดือน (โดยทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำในแต่ละซ้ำทำการวิเคราะห์ 2 ครั้ง) เตรียมโดยการนำตัวอย่างมาใส่ในขวดปั่นเหวี่ยงขนาด 50 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นปริมาตร 50 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปเข้ากระบวนการแยกสารในเครื่องแยกสารความถี่สูง) เป็นเวลา 30 นาที

4.2) ขั้นตอนการเตรียมสาร

4.2.1) ขั้นตอนการเตรียมสารไนเตรท โดยชั่งสารโซเดียมอาร์ซีไนต์ ($NaAsO_2$) 5 กรัม ละลายในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรเป็น 1,000 มิลลิลิตร ในขวดปรับปริมาตร ชั่งสารบรูซีน 1 กรัม และกรดซัลฟานิลิก 0.1 กรัม ละลายในน้ำกลั่นต้มร้อนปริมาตร 70 มิลลิลิตร เติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นปริมาตร 3 มิลลิลิตร ทิ้งให้เย็น จากนั้นเติมน้ำกลั่นให้มีปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ในขวดปรับปริมาตร นำกรดซัลฟิวริกเข้มข้นปริมาตร 800 มิลลิลิตร เทลงในน้ำกลั่นปริมาตร 200 มิลลิลิตร ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง ชั่งสารโซเดียมคลอไรด์ 300 กรัม ในน้ำกลั่นปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร ในขวดปรับปริมาตร ชั่งสารโพแทสเซียมไนเตรท (KNO_3) 1.02 กรัม ละลายในน้ำกลั่นปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร ในขวดปรับปริมาตรและเจือจางสารละลายไนเตรทความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตรปริมาตร 1 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 250 มิลลิลิตร ในขวดปรับปริมาตร (เตรียมใหม่ทุกครั้งในการวิเคราะห์)

4.2.2) ขั้นตอนการเตรียมสารไนไตรท์ นำกรดไฮโดรคลอริกปริมาตร 50 มิลลิลิตร ใส่ลงในน้ำกลั่นจนมีปริมาตร 300 มิลลิลิตร ชั่งสารซัลฟานิลามายด์ 5 กรัม ละลายในกรดไฮโดรคลอริกที่เตรียม

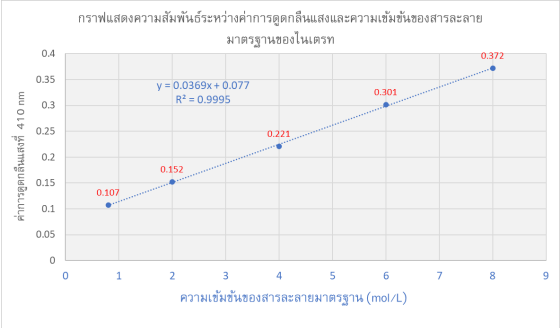
แล้ว จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นในขวดปรับปริมาตรขนาด 500 มิลลิลิตรเตรียมโดยการชั่งสารเอ็นอีดีไดไฮโดรคลอไรด์ 0.5 กรัม ในน้ำกลั่นปรับปริมาตรเป็น 500 มิลลิลิตร ในขวดปรับปริมาตร ชั่งสารโซเดียมไนไตรท์ $NaNO_2$ (ที่ผ่านการอบที่ 110 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง) 0.345 กรัม ละลายในน้ำกลั่นเติมคลอโรฟอร์มปริมาตร 1 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรเป็น 1,000 มิลลิลิตร ในขวดปรับปริมาตร และเจือจางสารละลายมาตรฐานไนไตรท์ความเข้มข้น 5 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยนำมาปริมาตร 5 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรเป็น 1,000 มิลลิลิตร ในขวดปรับปริมาตร

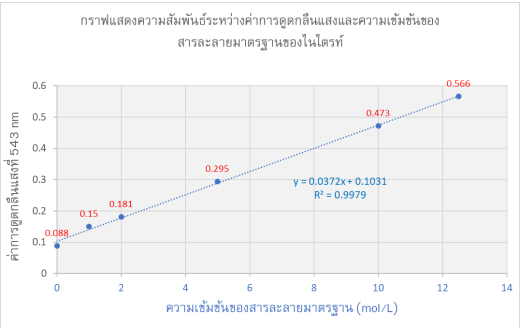
4.3) ขั้นตอนการวิเคราะห์ปริมาณโดยเทคนิค UV-Visible Spectroscopy

4.3.1) ขั้นตอนการวิเคราะห์ปริมาณไนเตรท เตรียมสารละลายมาตรฐานไนเตรทที่ความเข้มข้นต่าง ๆ จากสารละลายมาตรฐานไนเตรทใช้งานที่มีความเข้มข้น 40 มิลลิกรัมต่อลิตร ปิเปตต์สารละลายมาตรฐานความเข้มข้นต่าง ๆ ปริมาตร 10 มิลลิลิตรใส่ในหลอดทดลอง พร้อมเตรียมสารละลายไร้สิ่งตัวอย่าง (blank) โดยใช้น้ำกลั่น เติมกรดซัลฟิวริกที่มีความเข้มข้นปริมาตร 10 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน เติมสารละลายโซเดียมคลอไรด์ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน เมื่อหลอดทดลองเย็น ทำการเติมสารละลายบรูซีน-กรดซัลฟานิลิก ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน และนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 410 นาโนเมตร จากนั้นนำค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานไปเขียนกราฟความสัมพันธ์ โดยให้แกน x เป็นค่าความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานในหน่วยไมโครกรัมของไนโตรเจนในรูปแบบไนเตรทต่อลิตร และแกน y เป็นค่าการดูดกลืนแสง และทำการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำโดยใช้น้ำตัวอย่างที่ทำการกรองแล้ว เช่นเดียวกับการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐาน

4.3.2) ขั้นตอนการวิเคราะห์ปริมาณไนไตรท์ ปิเปตต์น้ำตัวอย่างน้ำปริมาตร 10 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลอง เติมสารละลายซัลฟานิลามายด์ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ 5 นาที เติมสารละลายเอ็นอีดีไดไฮโดรคลอไรด์ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้อย่างน้อย 10 นาที เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาที่สมบูรณ์ (แต่ไม่เกิน 2 ชั่วโมง) จากนั้นนำไปวัดการดูดกลืนคลื่นแสงที่ความยาวคลื่น 543 นาโนเมตร โดยใช้ Spectrophotometer (ทั้งนี้ต้องเปิดเครื่องให้มีคลื่นแสงคงที่ก่อนทำการวัดอย่างน้อย 30 นาที) เตรียมสารละลายไร้สิ่งตัวอย่าง (blank) โดยใช้น้ำกลั่น ดำเนินการเช่นเดียวกับตัวอย่าง จากนั้นนำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้นำไปเขียนความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกับค่าการดูดกลืนแสง และหาความเข้มข้นของสารไนไตรท์ในน้ำตัวอย่างโดยใช้ค่าการดูดกลืนแสงและกราฟมาตรฐาน ทำการวิเคราะห์ 2 ครั้ง เพื่อหาค่าความแม่นยำ (%RPD)

4.4) การควบคุมคุณภาพการทดสอบ ใช้สารละลายไร้สิ่งตัวอย่าง (blank) เพื่อตรวจสอบผลของสารเคมีและขั้นตอนการทดสอบต่าง ๆ ที่อาจทำให้ผลการทดลองผิดพลาด และคำนวณ % RPD หรือ Relative Percent Difference คือ การทดสอบตัวอย่าง 2 ซ้ำ ซึ่งมีเกณฑ์ในการยอมรับคือ ≤ 10





ภาพที่ 2 กราฟมาตรฐานไนเตรทและไนไตรท์

การวิเคราะห์ข้อมูล

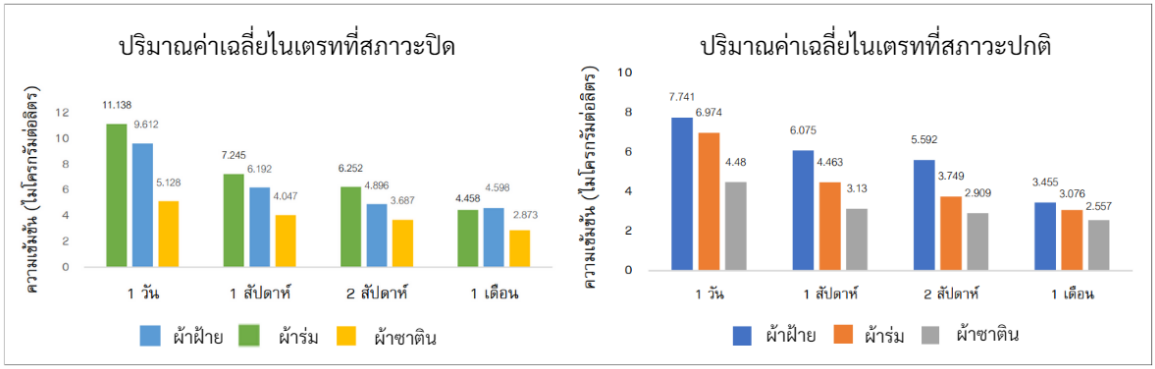
ผู้วิจัยนำข้อมูลของการวิเคราะห์ปริมาณไนเตรทและไนไตรท์จากค่าการดูดกลืนแสงที่ได้จากการทดลอง นำมาวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ (SPSS) เพื่อวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติการวิเคราะห์การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างตัวแปร 2 ตัวที่เป็นอิสระต่อกัน (Independent samples t-test) และวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-way ANOVA) โดยมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 ใช้ทดสอบความแตกต่างระหว่างสภาวะและระยะเวลาของผ้าแต่ละชนิดเพื่อทดสอบสมมติฐานความแตกต่างของปริมาณไนเตรทและปริมาณไนไตรท์ที่เกิดจากการยิง

ผลการวิจัย

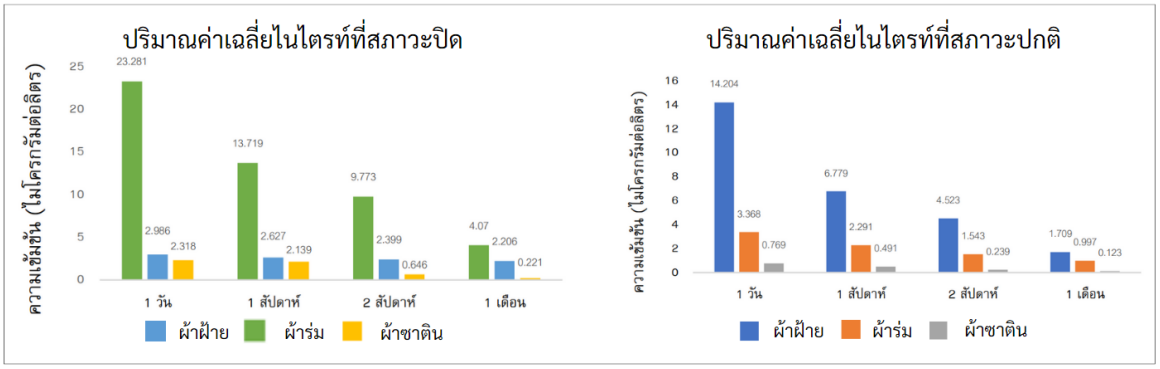
1. ผลการศึกษาการหาปริมาณไนเตรทและไนไตรท์ของผ้า สภาวะ และระยะเวลาที่ต่างกัน โดยเทคนิคการดูดกลืนแสงของ UV-Visible Spectroscopy

ตารางที่ 1 ผลการศึกษาการหาปริมาณไนเตรทและไนไตรท์ของผ้า สภาวะ และระยะเวลาที่ต่างกัน โดยเทคนิคการดูดกลืนแสงของ UV-Visible Spectroscopy

สารประกอบเขม่าดินปืน	ผ้า	สภาวะ	ปริมาณสารประกอบเขม่าดินปืน (ไมโครกรัมต่อลิตร)							
			1 วัน		1 สัปดาห์		2 สัปดาห์		1 เดือน	
			ปริมาณ	%RPD	ปริมาณ	%RPD	ปริมาณ	%RPD	ปริมาณ	%RPD
ไนเตรท	ฝ้าย	ปิด	11.138	1.277	7.245	0.496	6.161	0.878	4.458	1.788
		ปกติ	7.741	2.771	6.075	1.918	5.592	0.978	3.455	0.760
	ผ้าร่ม	ปิด	9.612	2.484	6.192	0.738	4.896	1.099	4.598	1.179
		ปกติ	6.974	1.269	4.463	1.211	3.749	0.958	3.076	0.882
	ซาติน	ปิด	5.248	1.393	4.047	1.332	3.686	1.965	2.873	1.252
		ปกติ	4.480	1.210	3.130	2.060	2.909	1.546	2.557	1.407
ไนไตรท์	ฝ้าย	ปิด	23.281	0.663	13.719	0.925	9.773	1.742	4.070	1.085
		ปกติ	14.204	0.561	6.779	0.661	4.523	1.980	1.709	2.069
	ผ้าร่ม	ปิด	2.986	1.517	2.627	3.075	2.399	2.250	2.206	2.833
		ปกติ	2.368	1.378	2.291	1.574	1.543	1.747	0.997	2.272
	ซาติน	ปิด	2.318	1.580	2.139	0.830	0.646	2.350	0.221	1.212
		ปกติ	0.769	2.347	0.491	0.373	0.239	0.335	0.123	0.000



ภาพที่ 3 แผนภูมิปริมาณไนเตรทของผ้าที่สภาวะปกติและระยะเวลาที่ต่างกัน



ภาพที่ 4 แผนภูมิปริมาณไนไตรท์ของผ้าที่สภาวะปกติและระยะเวลาที่ต่างกัน

2. ผลการศึกษาเปรียบเทียบปริมาณไนเตรทของผ้าที่สภาวะและระยะเวลาที่ต่างกันโดยเทคนิคการดูดกลืนแสงของ UV-Visible Spectroscopy

จากการศึกษาเปรียบเทียบปริมาณไนเตรทและไนไตรท์ของผ้า สภาวะ และระยะเวลาที่ต่างกัน โดยเทคนิคการดูดกลืนแสงของ UV-Visible Spectroscopy จากนั้นนำผลที่ได้มาทดสอบสมมติฐาน ด้วยการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างตัวแปร 2 ตัวที่เป็นอิสระต่อกัน (Independent sample t-test) และวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (One-way ANOVA) โดยกำหนดสมมติฐาน ดังนี้

สมมติฐานที่ 1 ผลการศึกษาเปรียบเทียบปริมาณไนเตรทและไนไตรทของผ้าในสภาวะที่แตกต่างกันจะมีปริมาณไนเตรทและไนไตรท์ที่แตกต่างกัน

H_0 = สภาวะที่แตกต่างกันจะมีปริมาณไนเตรทและไนไตรท์ไม่แตกต่างกัน

H_1 = สภาวะที่แตกต่างกันจะมีปริมาณไนเตรทและไนไตรท์แตกต่างกัน

ตารางที่ 2 ผลการศึกษาเปรียบเทียบปริมาณไนเตรทของผ้าที่สภาวะต่างกันโดยเทคนิคการดูดกลืนแสงของ UV-Visible Spectroscopy

ธาตุ	สภาวะ	N	Mean	S.D	t	Sig.
ไนเตรท	สภาวะปิด	72	5.846	2.393	3.874	0.019*
	สภาวะปกติ	72	4.517	1.659		

ไนไตรท์	สภาวะปิด	72	5.532	6.587	2.807	0.000*
	สภาวะปกติ	72	3.001	3.891		

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

จากตารางที่ 2 การศึกษาเปรียบเทียบปริมาณไนเตรทและไนไตรท์ของผ้าที่สภาวะต่างกัน โดยเทคนิคการดูดกลืนแสงของ UV-Visible Spectroscopy พบว่า ค่า Sig เท่ากับ 0.019 และ 0.000 ซึ่งมีนัยสำคัญทางสถิติน้อยกว่า 0.05 ดังนั้นจึงปฏิเสธ H_0 ยอมรับ H_1 แสดงว่า สภาวะที่ต่างกันบนผ้าฝ้าย ผ้าร่ม และผ้าซาติน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

สมมติฐานที่ 2 ผลการศึกษาเปรียบเทียบปริมาณไนเตรทและไนไตรท์ของผ้าต่างชนิดกันจะมีปริมาณไนเตรทและไนไตรท์ที่แตกต่างกัน

H_0 = ผ้าต่างชนิดกันจะมีปริมาณไนเตรทและไนไตรท์ไม่แตกต่างกัน

H_1 = ผ้าต่างชนิดกันจะมีปริมาณไนเตรทและไนไตรท์แตกต่างกัน

ตารางที่ 3 ผลการศึกษาเปรียบเทียบปริมาณไนไตรท์และไนไตรท์บนผ้าต่างชนิดกันโดยเทคนิคการดูดกลืนแสง ของ UV-Visible Spectroscopy

ธาตุ	ชนิดของผ้า	Mean	S.D	t	Sig.
ไนเตรท	ผ้าฝ้าย	6.483	2.220	30.77	0.000*
	ผ้าร่ม	5.445	2.032		
	ผ้าซาติน	3.616	0.894		
ไนไตรท์	ผ้าฝ้าย	9.757	6.725	71.700	0.000*
	ผ้าร่ม	2.175	0.607		
	ผ้าซาติน	0.868	0.823		

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

จากตารางที่ 3 การศึกษาเปรียบเทียบปริมาณไนเตรทและไนไตรท์ของผ้าต่างชนิดโดยเทคนิคการดูดกลืนแสงของ UV-Visible Spectroscopy พบว่า พบว่า ค่า Sig เท่ากับ 0.000 และ 0.000 ซึ่งมีนัยสำคัญทางสถิติน้อยกว่า 0.05 ดังนั้น จึงปฏิเสธ H_0 ยอมรับ H_1 แสดงว่า ผ้าต่างชนิดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

สมมติฐานที่ 3 ผลการศึกษาเปรียบเทียบปริมาณไนเตรทและไนไตรท์ของผ้าที่ระยะเวลาต่างกันจะมีปริมาณไนเตรทที่แตกต่างกัน

H_0 = ระยะเวลาต่างกันจะมีปริมาณไนเตรทและไนไตรท์ที่ไม่แตกต่างกัน

H_1 = ระยะเวลาต่างกันจะมีปริมาณไนเตรทและไนไตรท์ที่แตกต่างกัน

ตารางที่ 4 ผลการศึกษาเปรียบเทียบปริมาณไนเตรทและไนไตรท์ที่ระยะเวลาต่างกันโดยเทคนิคการดูดกลืนแสง ของ UV-Visible Spectroscopy

ธาตุ	ระยะเวลา	Mean	S.D	t	Sig.
ไนเตรท	1 วัน	7.532	2.416	42.478	0.000*
	1 สัปดาห์	5.192	1.460		
	2 สัปดาห์	4.499	1.165		
	1 เดือน	3.503	0.794		
ไนไตรท์	1 วัน	7.654	8.430	9.266	0.000*
	1 สัปดาห์	4.674	4.543		
	2 สัปดาห์	3.187	3.311		
	1 เดือน	1.551	1.372		

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

จากตารางที่ 4 การศึกษาเปรียบเทียบปริมาณไนเตรทและไนไตรท์บนผ้าที่ระยะเวลาต่างกันโดยเทคนิคการดูดกลืนแสงของ UV-Visible Spectroscopy พบว่า า Sig เท่ากับ 0.000 และ 0.000 ซึ่งมีนัยสำคัญทางสถิติน้อยกว่า 0.05 ดังนั้น จึงปฏิเสธ H_0 ยอมรับ H_1 แสดงว่า ระยะเวลาที่ต่างกันจะมีปริมาณไนเตรทและไนไตรท์บนผ้าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

อภิปรายผล

ขั้นตอนการวิเคราะห์ปริมาณไนเตรทและไนไตรท์ ผู้วิจัยใช้เทคนิค UV-Visible Spectroscopy แต่อนุภาคของเขม่าดินปืนมีลักษณะเป็นอนุภาคของแข็ง จึงต้องทำการเตรียมตัวอย่างให้อยู่ในรูปของเหลว (น้ำ) ซึ่งจะสอดคล้องกับ Bildik & Bas (2022) ที่ใช้วิธีการตรวจหาปริมาณไนเตรทและ ไนไตรท์โดยนำตัวอย่างไป sonicate ด้วยเครื่องแยกสารความถี่สูง เพื่อให้อนุภาคเขม่าดินปืน หลุดออกมา จากนั้นนำไปตรวจวิเคราะห์ด้วยวิธี Colormetric และนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 410 นาโนเมตร (ตรวจวิเคราะห์ปริมาณไนเตรท) และ 543 นาโนเมตร (ตรวจวิเคราะห์ปริมาณไนไตรท์)

จากผลการทดลอง ตัวอย่างผ้าทั้ง 3 ชนิด พบว่า ผ้าฝ้ายสามารถดูดซับสารประกอบไนเตรทและไนไตรท์ได้มากกว่าผ้าร่มและผ้าซาตินทั้งสภาวะปิดและสภาวะปกติ เนื่องจากลักษณะของเส้นใย ของผ้าฝ้ายมีคุณสมบัติดูดความชื้นได้ดี มีช่องระหว่างเส้นใยซับเหงื่อ ผ้าร่มเป็นผ้าที่ดูดซับสารประกอบรองมาจากผ้าฝ้ายแต่ดูดซับได้มากกว่าผ้าซาติน เนื่องจากเส้นใยไนลอนที่ผลิตจะมีความมันเงา มีช่องว่างระหว่างเส้นใย ดูดความชื้นได้น้อย กันน้ำได้และป้องกันน้ำซึมผ่านได้ดี ผ้าซาตินเป็นผ้าที่ดูดซับสารประกอบได้น้อยที่สุด เนื่องมาจากลักษณะการทอของเส้นใยค่อนข้างแน่นและไม่มีช่องว่างระหว่างเส้นใย จึงทำให้ผ้าที่ทอด้วยวิธีการซาตินจะคงรูปได้ดีและไม่ดูดซับสิ่งสกปรก

จากผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบปริมาณไนเตรทและไนไตรท์พบว่า ผ้าทั้ง 3 ชนิด ตรวจพบปริมาณไนไตรท์มากกว่าไนเตรท แสดงให้เห็นว่าส่วนประกอบของดินปืนแตกตัวเป็นไอออนของไนไตรท์

มากกว่าไอออนของไนเตรท (Tiawtragul, Choosakoonkriang & Supalaknari, 2017) ซึ่งจากการหาความเข้มข้นของสารประกอบสามารถสรุปแนวโน้มการดูดซับสารประกอบไนเตรทและไนไตรท์ตามลำดับจากมากไปน้อย ได้แก่ ผ้าฝ้าย ผ้าร่ม และผ้าซาติน ตามลำดับ และปริมาณไนเตรทบนผ้าทั้ง 3 ชนิด มีค่าลดลงเพียงเล็กน้อย เนื่องมาจากสารประกอบไนเตรทสามารถพบทั่วไปในธรรมชาติ สารประกอบไนเตรทที่ตรวจพบอาจมาจากการปนเปื้อนจากปัจจัยอื่น ๆ (Poruprasert & Choosakoonkriang, 2014) ปริมาณสารประกอบไนเตรทและไนไตรท์ในสภาวะปิดและสภาวะปกติไปในทิศทางเดียวกันกับระยะเวลาการเก็บตัวอย่าง (แปรผันตรง) จะพบปริมาณสารประกอบไนเตรทและไนไตรท์ที่ระยะเวลามากที่สุดคือ 1 วัน (24 ชั่วโมง) แต่เมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นสารประกอบไนเตรทจะมีปริมาณลดลงตามลำดับ (Kodthong, 2013) และปริมาณของสารประกอบไนไตรท์ของผ้าร่มในสภาวะปกติ ตรวจวิเคราะห์ปริมาณแล้วพบว่ามีปริมาณไนไตรท์มากกว่าสภาวะปิดเนื่องมาจากสภาวะปกติมีปัจจัยรบกวนทำให้แก๊สไนโตรเจนถูกออกซิไดซ์ด้วยแก๊สออกซิเจนจนเกิดสารประกอบไนไตรท์ได้ (Ansanan, Poosittisak & Thanoorad, 2013)

บทสรุป

การศึกษาตัวอย่างผ้าทั้ง 3 ชนิด พบว่าผ้าฝ้ายสามารถดูดซับสารประกอบไนเตรท และไนไตรท์ได้มากกว่าผ้าร่มและผ้าซาตินทั้งสภาวะปิดและสภาวะปกติ เนื่องจากลักษณะของเส้นใย ของผ้าฝ้ายมีคุณสมบัติดูดความชื้นได้ดี มีช่องระหว่างเส้นใยซับเหงื่อ ผ้าร่มเป็นผ้าที่ดูดซับสารประกอบรองมาจากผ้าฝ้ายแต่ดูดซับได้มากกว่าผ้าซาติน เนื่องจากเส้นใยไนลอนที่ผลิตจะมีความมันเงา มีช่องว่างระหว่างเส้นใยดูดความชื้นได้น้อย กันน้ำได้และป้องกันน้ำซึมผ่านได้ดี ผ้าซาตินเป็นผ้าที่ดูดซับสารประกอบได้น้อยที่สุด เนื่องมาจากลักษณะการทอของเส้นใยค่อนข้างแน่นและไม่มีช่องว่างระหว่างเส้นใย จึงทำให้ผ้าที่ทอด้วยวิธีการซาตินจะคงรูปได้ดีและไม่ดูดซับสิ่งสกปรก

ข้อเสนอแนะ

1. ควรทำการศึกษาในอาวุธปืนชนิดต่าง ๆ ขนาดต่าง ๆ เพื่อทราบถึงรูปแบบของการคงอยู่และปริมาณของเขม่าปืน

2. ควรทำการศึกษาการคงอยู่ของเขม่าดินปืนที่ผ้าชนิดอื่น หรือวัตถุชนิดอื่น ๆ

3. ควรทำการศึกษาที่ระยะเวลาที่ยาวนานขึ้นเพื่อดูจนระยะเวลาที่เขม่าดินปืนจะหมดไป

4. ควรศึกษาการหาปริมาณไนเตรทและไนไตรท์ในเขม่าดินปืนด้วยเครื่องมือวิเคราะห์ทางวิทยาศาสตร์อื่น ๆ ที่สามารถใช้วิเคราะห์ได้ เช่น ไอออนโครมาโทกราฟ (Ion Chromatograph: IC) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope: SEM) เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

Ansanan, P., Poosittisak, S., & Thanoorad, J. (2013). Spectrophotometic Determination of Nitrate in Gunshot Residues Obtained from the Gun Barrel. *KKU Research Journal. 13*(4). 46-57.

Bildik, A., & Bas, L. (2022). Investigation of nitrate, nitrite pollution levels and organic matter amounts of artesian waters of Aydın region. Animal Health Production and Hygiene, 11(2), 9-14.

Choo-in, S. (2017). *Pollutant Analytical Chemistry.* Bangkok: Chulalongkorn University Press.

Giroux, B. N. (2006). Non-destructive techniques for the visualization of gunshot residues. AFTE Journal, 38(4), 327-338.

Jithkaroon, C., & Vichuwanich, W. (2021). Trend of Gunshot Residue Examination in Thailand. *Research Journal Rajamangala University of Technology Thanyaburi, 20*(1). 9-20.

Khaosodonline. (2022). *Revealing the statistics of gun possession and gun crime in Thailand ranked among the highest in the world.* https://www.khaosod.co.th/special-stories/news_7305086.

Kodthong, N. (2013). Detection of Gunshot Residues on Head Hair by UV-Visible Spectroscopy. [Master's thesis, Silpakorn University]. http://www.thapra.lib.su.ac.th/objects/thesis/fulltext/snamcn/Nares_Kodthong/fulltext.pdf

Phermpornsagul, Y. (2021). Techniques and Methods for Gunshot Residue Analysis to Enhance Confidence in the Justice Process: From the Past to Present and Future Direction. *Thai Journal of Physics, 38*(1). 22-38.

Poruprasert, W., & Choosakoonkriang, S. (2014). Determination of nitrates and nitrites in gunshot residues deposited on cloths by the technique of Ion-chromatography. *Veridian E-Journal, Science and Technology Silpakorn University*. *1*(3). 43-52.

Rafael, A. A. M., Ali, S. F. M., Abdullah, A. F. L., & Chang, K. H. (2019). Colourimetric based detection of gunshot residue on gloves worn during shooting. Malaysian Journal of Analytical Sciences, 23(2), 229-236.

Schwoeble, A. J., & Exline, D. L. (2000). Current methods in forensic gunshot residue analysis. doi:10.1201/9781420042573

Science Innovation Facility, Faculty of science, Burapha University. (2022). *Spectroscopy Instrumentation*. https://science.buu.ac.th/sifbuu/index.php?option=com_content &view=article &id=7&Itemid=122

Tiawtragul, O., Choosakoonkriang, S., & Supalaknari, S. (2017). Determination of nitrites and nitrates in gunshot residues by a paper-based device. *Veridian E-Journal, Science and Technology Silpakorn University*. *4*(5). 104-116.

Wanchan,K., Choosakoonkriang, S., & Supalaknari, S. (2018). Determination of Nitrites and Nitrates in Gunshot Residues Deposited on Hands by the Techniques of Ion Chromatography. *Veridian E-Journal, Science and Technology Silpakorn University*. *5*(3). 64-78.

Wiriyajaroenkit, C., & Suraswadee, S. (2019). Gun Control Measures in Thailand: Problems and Solutions. *Journal of Liberal Arts and Management Science Kasetsart University, 6*(2). 91-108.