Veridian E-Journal, Science and Technology Silpakorn University
Volume 4 Number 5 September – October 2017 ISSN 2408 - 1248

การวิเคราะห์หาปริมาณไนไตรท์และไนเตรทในเขม่าดินปืนบนอุปกรณ์แบบกระดาษ*

Determination of nitrites and nitrates in gunshot residues by a paper-based device

อรอุษา เตียวตระกูล (Onusa tiawtragul)**
ศิริรัตน์ ชูสกุลเกรียง (Sirirat choosakoonkriang)***
ศุภชัย ศุภลักษณ์นารี (Supachai supalaknari)***

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้สร้างอุปกรณ์แบบกระดาษและอาศัยปฏิกิริยา Griess reaction ในการตรวจวัดปริมาณไนไตรท์และไนเตรทในตัวอย่างเขม่าดินปืน ใช้โปรแกรม ImageJ ในการอ่านค่าสีของจุดที่ปรากฏบนอุปกรณ์ นำข้อมูลค่าสีและปริมาณของสารมาตรฐานไนไตรท์และของไนเตรทมาสร้างกราฟมาตรฐาน ในช่วงปริมาณของไนไตรท์เท่ากับ 0.15 - 1.80 nmol และของไนเตรทเท่ากับ 2.0 - 10.0 nmol เมื่อนำอุปกรณ์แบบกระดาษมาใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณไนไตรท์และไนเตรทในตัวอย่างเขม่าดินปืนที่เก็บตัวอย่างจากมือผู้ยิงและจากด้านในของปลอกกระสุนปืนที่ยิงแล้ว พบว่าปริมาณของไอออนไนไตรท์ที่วัดได้จากอุปกรณ์แบบกระดาษมีความสัมพันธ์กับปริมาณของไอออนไนไตรท์ที่วิเคราะห์ได้โดยใช้เทคนิคไอออนโครมาโทกราฟี โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.9264 ในขณะที่ปริมาณของไอออนไนเตรทที่วิเคราะห์ได้จากทั้งสองวิธีมีความสอดคล้องกัน ด้วยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.9606 วิธีการที่ใช้อุปกรณ์แบบกระดาษที่พัฒนาในงานวิจัยนี้ อาจนำไปใช้หาปริมาณไนไตรท์และไนเตรทในเขม่าดินปืน เพื่อวัตถุประสงค์ทางนิติวิทยาศาสตร์

คำสำคัญ : ไนไตรท์ ไนเตรท เขม่าดินปืน อุปกรณ์แบบกระดาษ

---

* บทความนี้เป็นการเผยแพร่ความรู้ทางนิติวิทยาศาสตร์ เรื่องการวิเคราะห์หาปริมาณไนไตรท์และไนเตรทในเขม่าดินปืนบนอุปกรณ์แบบกระดาษ

** สำเร็จการศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขานิติวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร E-mail: phueng_mathclub@hotmail.com (Forensic Science Program, Faculty of Science, Silpakorn University E-mail: phueng_mathclub@hotmail.com)

*** อาจารย์ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร (Department of Chemistry, Faculty of Science, Silpakorn University)

Abstract

In this study, a paper-based device based on Griess reaction was fabricated and was used to determine the amounts of nitrite and nitrate ions in gunshot residues. The ImageJ software was used to measure color values of the images of spots on the device. Calibration graphs were constructed for the color values and the amounts of standard nitrite and nitrate ions in the range of 0.15 - 1.80 nmol and 2.0 - 10.0 nmol respectively. The device was then used to analyse the nitrite and nitrate ions in gunshot residues collected from the hands of a shooter and from the inside of the fired cartridge cases. A correlation between the amounts of nitrite measured by using the paper-based device and those determined by an Ion chromatography technique was observed with a correlation coefficient of 0.9264 while the amounts of nitrate ions measured by the two methods were in good agreement with a correlation coefficient of 0.9606. The method of using the paper-based device developed in this work may be used to determine the amounts of nitrite and nitrate ions in gunshot residues for forensic purpose.

Keywords : Nitrite Nitrate Gunshot residues Paper-based device

บทนำ

ปัจจุบันประเทศไทยได้มีการนำเอาความรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมาพัฒนาใช้ในการพิสูจน์หลักฐานต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นการตรวจลายนิ้วมือ การตรวจรหัสพันธุกรรม (DNA) เอกสาร ยาเสพติด หรืออาวุธปืน รวมเข้ากับการบังคับใช้กฎหมาย โดยศาลได้ถือว่าพยานหลักฐานเหล่านี้เป็นพยานหลัก ฐานอย่างหนึ่งที่จะนำมาใช้ในการพิจารณาคดีหรือนำความรู้ที่ได้มาวินิจฉัยว่าจำเลยมีความผิดจริงหรือไม่ เนื่องจากสามารถใช้พิสูจน์ความผิดได้อย่างชัดเจนโดยมีข้อโต้แย้งน้อยกว่าพยานหลักฐานในลักษณะอื่น และมีความน่าเชื่อถือมาก

เขม่าดินปืน คือสิ่งที่เกิดขึ้นภายหลังจากการยิงปืน เป็นส่วนที่หลงเหลือจากการเผาไหม้ของชนวนท้ายกระสุนปืนและดินส่งกระสุนปืน ซึ่งจะปลิวไปเกาะอยู่ที่บริเวณมือ เสื้อผ้า เส้นผม หรือพื้นผิวอื่นๆที่อยู่บริเวณใกล้เคียง (Anamary and José, 2015:168-169) สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ Inorganic residues ซึ่งได้มาจาก Primer mixture ที่ถูกเผาไหม้เมื่อได้รับความร้อนในระหว่างการจุดระเบิดของชนวนท้ายกระสุนปืนและหลงเหลือเป็นเขม่าที่ประกอบไปด้วยอนุภาคของโลหะหนัก ได้แก่ ตะกั่ว (Pb) แอนติโมนี (Sb) และแบเรียม (Ba) สามารถตรวจพิสูจน์ได้ด้วยเทคนิค Inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) (Rayana et al., 2016), Atomic absorption spectrophotometer (AAS) (Marina et al., 2016) หรือ Scanning electron microscopy (SEM) /EDX (Zuzanna, 2009) และ Organic residues ที่ได้จากการเผาไหม้ของดินส่งกระสุนปืน สามารถตรวจได้จากปริมาณไอออนไนไตรท์และไนเตรท เนื่องจากไอออนทั้งสองชนิดนี้เป็นส่วนประกอบที่มีอยู่ในดินปืน วิธีที่ใช้หาปริมาณ ได้แก่ เทคนิคทดสอบสี (Color test) (Edwin, 1961), Ion chromatography (IC) (เบญจ, 2555, ยุทธพงศ์, 2557), UV-Visible spectroscopy (N. Petraco et al., 1981) เป็นต้น

Veridian E-Journal, Science and Technology Silpakorn University
Volume 4 Number 5 September – October 2017 ISSN 2408 - 1248

การวิเคราะห์ไนไตรท์และไนเตรท สามารถตรวจวัดปริมาณได้โดยอาศัยการเกิดสีของปฏิกิริยา Griess reaction โดย Sulfanilamide จะทำปฏิกิริยาไดอะโซไทเทชั่นกับไอออนไนไตรท์ในสารละลายกรด กลายเป็น Diazonium salt จากนั้นเกิดปฏิกิริยารวมตัวกับ N-(1-Naphthyl)-ethylenediamine.2HCl ได้สารประกอบ Azo dye สีแดงม่วง ส่วนไอออนไนเตรทจะต้องถูกรีดิวซ์ให้กลายเป็นไอออนไนไตรท์ก่อน โดยใช้ Zinc หรือ cadmium ก่อนเกิดปฏิกิริยาดังกล่าว โดยความเข้มสีของสารประกอบ Azo dye ที่เปลี่ยนแปลงไปจะแปรผันตรงกับปริมาณของไนไตรท์และไนเตรทที่มีอยู่ในตัวอย่าง (Manori et al. 2014:7275)

อุปกรณ์ตรวจวัดแบบกระดาษ (Paper based device) ถูกริเริ่มโดย Whitesides และคณะ เป็นแนวทางการปฏิวัติสำหรับการวิเคราะห์ที่มีราคาถูกและรวดเร็ว (Manori et al. 2014:7274) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วิเคราะห์รูปแบบใหม่ที่กำลังเป็นที่นิยมมากในการวินิจฉัยทางการแพทย์ เนื่องจากเป็นอุปกรณ์ที่มีต้นทุนในการผลิตต่ำ ประดิษฐ์ใช้งานได้ง่าย อีกทั้งกระดาษยังเป็นวัสดุที่หาซื้อได้ทั่วไป นอกจากนี้การวิเคราะห์บนอุปกรณ์กระดาษยังไม่จำเป็นที่จะต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญในการวิเคราะห์ พกพาไปใช้ในภาคสนามได้ อุปกรณ์กำจัดทิ้งได้โดยการเผา ใช้ปริมาณสารตัวอย่างและรีเอเจนต์น้อยในการวิเคราะห์ สามารถสร้างลวดลายบนกระดาษได้ตามต้องการ เหมาะสำหรับใช้ในประเทศกำลังพัฒนาที่อยู่ห่างไกลจากโรงพยาบาลหรือสถานพยาบาล และสถานที่เกิดภัยพิบัติทางธรรมชาติ (Rebekah et al., 2013:107) โดยเมื่อหยดสารละลายลงบนกระดาษ ซึ่งเป็นวัสดุที่ชอบน้ำ (hydrophilic) สารที่หยดลงไปก็จะซึมและเคลื่อนที่ไปยังบริเวณตรวจวัด โดยสามารถควบคุมทิศทางการไหลของสารได้โดยการสร้างบางส่วนของกระดาษให้ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) เพื่อเป็นช่องทางการไหลของสารลงบนกระดาษ (Andres et al. 2007:1318) เทคนิคการสร้างส่วนที่ไม่ชอบน้ำ ได้แก่ การพิมพ์ด้วยน้ำหมึก (Manori et al. 2014) การพิมพ์ด้วยขี้ผึ้ง (Samir et al. 2014) เป็นต้น

ซึ่งได้มีงานวิจัยเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณไนไตรท์และไนเตรทดังนี้ โดยปี พ.ศ. 2555 ร้อยตำรวจเอก ปิยะชัย มั่นคง (ปิยะชัย, 2555) ได้ศึกษาการวิเคราะห์หาปริมาณไนไตรท์และไนเตรทบนมือของผู้ยิงปืน โดยทำการเก็บตัวอย่างบริเวณหลังมือขวาและบริเวณหลังมือซ้าย และตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Ion Chromatography พบว่าปริมาณไนไตรท์ที่พบจากการยิงปืนนั้นเกิดจากการยิงอาวุธปืน เพราะหากมือนั้นไม่ได้ผ่านการยิงปืนมาก่อนจะพบจำนวนไนไตรท์ที่ค่อนข้างต่ำ จากผลการศึกษาหาระยะเวลาการคงอยู่ปริมาณไนไตรท์และไนเตรทภายหลังการยิงปืนจำนวน 3 นัด/ครั้ง ในแต่ละชนิดของปืน โดยทำการเก็บ 2 ครั้ง คือ เก็บทันทีหลังการยิงและเก็บภายใน 6 ชั่วโมง หลังจากยิงปืน พบว่าปืนรีวอลเวอร์จะมีค่าเฉลี่ยไนไตรท์และไนเตรทระหว่างหลังมือขวาและซ้ายในปริมาณใกล้เคียงกัน ส่วนอาวุธปืนกึ่งอัตโนมัติจะมีค่าเฉลี่ยปริมาณไนไตรท์และไนเตรทข้างขวามากกว่าข้างซ้ายอย่างชัดเจน และปริมาณไนไตรท์และไนเตรทจะลดลงตามระยะเวลาที่เพิ่มมากขึ้น ปี พ.ศ. 2556 นายนเรศ โกฏทอง (นเรศ, 2556) ศึกษาหาระยะเวลาการคงอยู่ของอนุภาคเขม่าปืนที่สะสมติดอยู่บริเวณเส้นผมของผู้ยิงและเส้นผมที่ติดอยู่บนเป้ายิง (เสมือนเป็นเส้นผมของผู้ถูกยิง) ภายในห้องปิดทำการยิงด้วยอาวุธปืนกึ่งอัตโนมัติ จากนั้นทำการวิเคราะห์หาปริมาณไนเตรทและไนไตรท์โดยอาศัยปฏิกิริยา Griess reaction การวิเคราะห์หาปริมาณไนเตรทในงานวิจัยนี้จะใช้วิธี cadmium reduction ซึ่งจะทำการเปลี่ยนรูปไนเตรทไปอยู่ในรูปของไนไตรท์ด้วยการถูกรีดิวซ์เมื่อผ่านคอลัมน์ที่มีแคดเมียมเป็นตัวกลาง ก่อนจะทำปฏิกิริยากับ Griess reagent จึงจะสามารถทราบปริมาณไนเตรทที่อยู่ในรูปไนไตรท์ได้ สำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณไนไตรท์จะทำปฏิกิริยากับ Griess reagent ได้โดยตรงเลย หลังจากนั้นจึงทำการตรวจวัดด้วยเทคนิค UV-Visible Spectroscopy ปี ค.ศ. 2011 Peter S. Ellis และคณะ (Peter et al. 2011) ได้ทำการตรวจวัดแบบภาคสนามเพื่อหาปริมาณไนเตรทในน้ำทะเลและน้ำกร่อยด้วยระบบการไหลแบบ on-line zinc reduction โดยใช้ Zinc reduction column เพื่อเปลี่ยนให้ไนเตรทอยู่ในรูปของไนไตรท์ ก่อนจะทำปฏิกิริยากับ Griess reagent และหาปริมาณด้วยเทคนิค Spectrophotometry ที่ดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 520 nm ปี ค.ศ. 2014 Samir A. Bhakta และคณะ (Samir et al. 2014) ได้ใช้อุปกรณ์ตรวจวัดของไหลจุลภาคแบบกระดาษหาปริมาณไนไตรท์ในน้ำลายด้วยวิธี Griess assay ตรวจวัดโดยใช้เครื่องสแกนเนอร์ และนำไปประมวลผลด้วย

โปรแกรม Adobe Photoshop CS6 และหาปริมาณไนไตรท์ได้จากการอ่านค่าความเข้มสีจากสีม่วงแดงในโปรแกรม (เมื่อตั้งค่าเป็นรูปแบบ CMYK) ปี ค.ศ. 2014 Nuria Lopez-Ruiz และคณะ (Nuria et al. 2014) ใช้กล้องจากโทรศัพท์มือถือในการถ่ายภาพเพื่อตรวจ วัด pH และไนไตรท์พร้อมๆกันบนอุปกรณ์ตรวจวัดของไหลจุลภาคแบบกระดาษ และประมวลผลโดยแอปพลิเคชันจากระบบปฏิบัติการ Android ที่ติดตั้งลงบนโทรศัพท์มือถือ เพื่อหาค่า pH และปริมาณของไนไตรท์ที่เกิดขึ้น ปี พ.ศ. 2558 วิมล แสงนาค (วิมล, 2558) ทำการสร้างอุปกรณ์แบบกระดาษเพื่อวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในอาหารและผลิตภัณฑ์จากธรรมชาติ โดยการตัดกระดาษกรอง แล้วเคลือบด้วยพลาสติกเคลือบบัตรที่มีการเจาะรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 cm.ไว้สำหรับในการวิเคราะห์สาร ข้อดีของอุปกรณ์นี้ได้แก่ บริเวณที่วิเคราะห์มีลักษณะเป็นแบบหลุมทำให้สามารถกั้นไม่ให้สารละลายออกนอกพื้นที่ตรวจวัดได้ มีราคาถูก วิเคราะห์ได้พร้อมๆกันทีละหลายตัวอย่าง อุปกรณ์มีขนาดเล็กและน้ำหนักเบาสามารถพกพาไปตรวจวัดภาคสนามได้ ปี ค.ศ. 2014 Manori B. Jayawardane และคณะ (Manori et al. 2014) ทำการวิเคราะห์หาไนไตรท์และไนเตรท โดยอาศัยปฏิกิริยา Griess reaction ในตัวอย่างน้ำธรรมชาติและน้ำที่ผ่านการสังเคราะห์มาแล้ว บนอุปกรณ์ตรวจวัดแบบกระดาษ จากนั้นนำไปอ่านค่าความเข้มสีของสีเขียวโดยใช้โปรแกรม ImageJ พบว่าความเข้มสีที่อ่านได้สามารถหาปริมาณของไนไตรท์และไนเตรทได้ใกล้เคียงกับค่าที่หาจากเครื่องโครมาโทกราฟี และถ้าเก็บอุปกรณ์ใส่ในถุงซิปไว้ในตู้เย็นอุณหภูมิ ≤ 4 °C จะมีความเสถียรสามารถเก็บไว้ใช้งานได้นานกว่าเมื่อเก็บที่อุณหภูมิห้อง

จากความสำคัญในข้างต้น งานวิจัยนี้จึงได้สร้างอุปกรณ์ตรวจวัดแบบกระดาษเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณไนไตรท์และไนเตรทในเขม่าดินปืน โดยอาศัยปฏิกิริยา Griess reaction และใช้ Zinc ในการรีดิวซ์ไอออนไนเตรทให้กลายเป็นไอออนไนไตรท์ก่อนจะทำปฏิกิริยาดังกล่าว และหาปริมาณไนไตรท์และไนเตรทบนอุปกรณ์ตรวจวัดแบบกระดาษได้โดยการอ่านค่าความเข้มสีที่เกิดขึ้นโดยใช้โปรแกรม ImageJ เปรียบ เทียบกับปริมาณไนไตรท์และไนเตรทในเขม่าดินปืนที่หาได้ด้วยเทคนิคไอออนโครมาโทกราฟี

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อประดิษฐ์อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์บนกระดาษที่สามารถตรวจวัดไนไตรท์และไนเตรทในตัวอย่างเขม่าดินปืนเชิงปริมาณได้
2. เพื่อสามารถนำอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์บนกระดาษไปใช้ในการตรวจวัดในภาคสนามได้
3. เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการตรวจวัดไนไตรท์และไนเตรทในตัวอย่างเขม่าดินปืนบนอุปกรณ์แบบกระดาษกับวิธีมาตรฐาน

วิธีการวิจัย

เครื่องมือและอุปกรณ์

เครื่อง Ion chromatography (IC) รุ่น DIONEX MODEL ICS-1000 บริษัท อาร์มีก้า อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด เครื่อง Ultrasonic water bath ยี่ห้อ CREST โทรศัพท์มือถือ ยี่ห้อ iPhone รุ่น 5 ที่เจาะกระดาษขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 mm ยี่ห้อ TENWIN และ 5 mm ยี่ห้อ TOTO กระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1

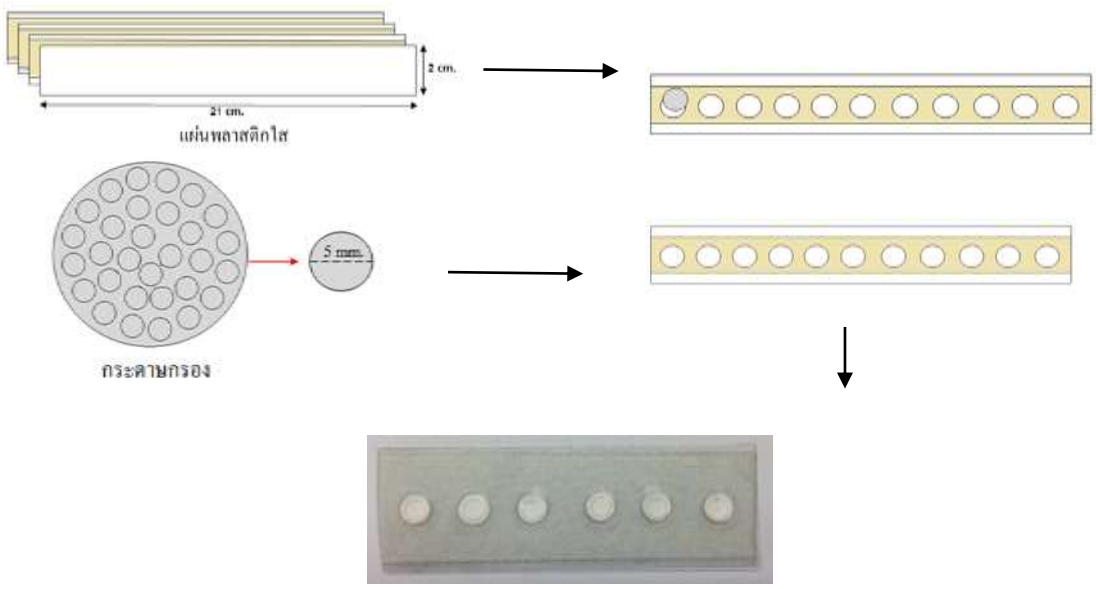
Veridian E-Journal, Science and Technology Silpakorn University
Volume 4 Number 5 September – October 2017 ISSN 2408 - 1248

สารเคมี

Griess reagent ประกอบด้วย Sulfanilamide เข้มข้น 50 mM (Carlo) ใน Citric acid เข้มข้น 330 mM (Carlo) และ N-(1-Naphthyl)-ethylenediamine.2HCl (NED) เข้มข้น 10 mM (ACROS), Zn suspension เข้มข้น 0.1 g/mL เตรียมโดยผสมผง Zinc 0.05 g (10 µm, Aldrich) ใน deionized water 0.5 mL, 10 mM ของ Sodium nitrite (Carlo) และ Potassium nitrate (Carlo) โดยเตรียมสารละลายได้ตามวิธีที่มีรายงานไว้ (Manori et al. 2014)

วิธีสร้างอุปกรณ์ตรวจวัดแบบกระดาษ

การสร้างอุปกรณ์ตรวจวัดแบบกระดาษจะสร้างบริเวณส่วนกั้นที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic barrier) ด้วยการนำแผ่นพลาสติกใสกว้าง 2 cm ยาว 21 cm มาซ้อนทับกัน 4 ชั้น โดยใช้เทปเยื่อกาวสองหน้าเป็นตัวยึด จากนั้นนำมาเจาะเป็นช่องให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 mm แต่ละช่องห่างกันประมาณ 5 mm จะได้ช่องทั้งหมด 20 ช่องต่อ 1 ชิ้นงาน ส่วนที่ชอบน้ำเตรียมโดยเจาะกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 ให้มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 mm จากนั้นวางลงในช่องว่าง โดยด้านหลังของอุปกรณ์แบบกระดาษจะถูกปิดทับด้วยเทปใส ส่วนด้านบนถูกปิดด้วยสติ๊กเกอร์ใสที่เจาะช่องไว้สำหรับหยดตัวอย่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 mm จะได้อุปกรณ์ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ขั้นตอนการสร้างอุปกรณ์ตรวจวัดแบบกระดาษ

การวิเคราะห์สารมาตรฐานไนไตรท์และไนเตรทด้วยอุปกรณ์ตรวจวัดแบบกระดาษ

ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ไนไตรท์และไนเตรทด้วยอุปกรณ์แบบกระดาษที่ได้สร้างขึ้น ได้แก่ ปริมาตรของ Griess reagent และสารตัวอย่าง ความเข้มข้นของ Zinc suspension และเวลาในการถ่ายภาพ

ทำการศึกษาวิธีวิเคราะห์สารมาตรฐานไนไตรท์ ทำโดยวางกระดาษกรอง 2 แผ่นมาซ้อนทับกันลงในช่องที่เจาะบนอุปกรณ์ แล้วหยดสารละลาย Sulfanilamide เข้มข้น 50 mM 10 µL ลงไป ใช้ไดร์เป่าผมเป่าให้แห้ง จากนั้นหยดสารละลาย NED เข้มข้น 10 mM 10 µL ใช้ไดร์เป่าผมเป่าให้แห้ง วางกระดาษกรองอีก 1 แผ่นปิดทับลงไป จากนั้นหยดสารมาตรฐานไนไตรท์ที่ความเข้มข้นต่างๆ (15 - 180 µM) ปริมาตรความเข้มข้นละ 10 µL ปล่อยให้เกิดปฏิกิริยาเป็นเวลา 5 นาที ทำการถ่ายรูปและอ่านค่าสีที่ได้ด้วยโปรแกรมประมวลผลภาพ และสร้างกราฟมาตรฐานที่ทำการพลอตระหว่างค่าความเข้มสีที่อ่านได้กับปริมาณของสารมาตรฐานไนไตรท์ที่ความเข้มข้นต่างๆ

สำหรับสารมาตรฐานไนเตรท จะวางกระดาษกรอง 1 แผ่น ลงในช่องที่เจาะบนอุปกรณ์ แล้วหยดสารละลายตามข้างต้นลงไป จากนั้นวางกระดาษกรองอีก 1 แผ่น หยด Zinc suspension เข้มข้น 0.1 g/mL 10 µL ลงไป ใช้ไดร์เป่าผมเป่าให้แห้ง วางกระดาษกรองอีก 1 แผ่นปิดทับลงไป แล้วหยดสารมาตรฐานไนเตรทที่ความเข้มข้น 200 - 1000 µM ความเข้มข้นละ 10 µL ลงไป ทิ้งไว้ 5 นาที ถ่ายรูปแล้วนำเข้าโปรแกรมวิเคราะห์ความเข้มสี และสร้างกราฟมาตรฐานที่ทำการพลอตระหว่างค่าความเข้มสีที่อ่านได้กับปริมาณของสารมาตรฐานไนเตรทที่ความเข้มข้นต่างๆ

ศึกษาความสามารถในการทำซ้ำของการวิเคราะห์สารมาตรฐานไนไตรท์และไนเตรท โดยศึกษาที่ความเข้มข้นที่อยู่บนช่วงกราฟมาตรฐาน ทำการถ่ายภาพ แล้วนำค่าความเข้มสีที่อ่านได้ไปคำนวณค่าร้อยละส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (Percentage of relative standard deviation, %RSD)

ศึกษาค่าขีดจำกัดการตรวจวัด (Limit of detection, LOD) โดยใช้สารมาตรฐานไนไตรท์และไนเตรทที่ความเข้มข้น 0 µM ทำการถ่ายภาพพร้อมกับกราฟมาตรฐาน จากนั้นนำไปหาค่าความเข้มสีเพื่อหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)

ศึกษาความเสถียรของอุปกรณ์การตรวจวิเคราะห์แบบกระดาษ (Stability) โดยนำอุปกรณ์ตรวจวัดไนไตรท์และไนเตรทแบบกระดาษที่หยด reagent แล้ว มาเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง (ไม่สัมผัสแสงและใส่ถุงซิป) และเก็บในตู้เย็น อุณหภูมิ ≤ 4 °C (ไม่สัมผัสแสงและใส่ถุงซิป) แล้วทดสอบด้วยสารละลายมาตรฐานไนไตรท์ 60 µM และสารละลายมาตรฐานไนเตรท 600 µM ทำการวิเคราะห์ความเข้มสีเป็นระยะเวลาต่อเนื่องนาน 30 วัน

เก็บตัวอย่างเขม่าดินปืนจากมือผู้ยิง ผู้ยิงจับปืนด้วยมือทั้งสองข้างยิงในลักษณะท่ายืนโดยอาวุธปืนขนานกับพื้นด้วยอาวุธปืนรีวอลเวอร์ ยี่ห้อ Smith & Wesson ขนาด .38 special กับกระสุนปืน ยี่ห้อ AP ยิงจำนวน 4 นัด นำก้านสำลีชุบ deionize water เช็ดบริเวณหน้ามือและหลังมือ บริเวณละ 1 ก้าน โดยเก็บทั้งมือซ้ายและมือขวา แล้วใส่ในขวดเก็บตัวอย่าง (Vial) ทั้ง 2 ขวด คือมือซ้าย 1 ขวด และมือขวา 1 ขวด

เก็บตัวอย่างปลอกกระสุนปืน ผู้ยิงจับปืนตามแบบข้างต้นด้วยอาวุธปืนพกรีวอลเวอร์ ยี่ห้อ Smith & Wesson ขนาด .38 และอาวุธปืนพกกึ่งอัตโนมัติ ยี่ห้อ Glock ขนาด 9 มม. กับกระสุนปืนยี่ห้อต่างๆ ยิงครั้งละ 3 นัด แล้วทำการเก็บตัวอย่างปลอกกระสุนปืนใส่ซองพลาสติกใสแบบมีซิป

เตรียมตัวอย่าง โดยนำตัวอย่างสำลีที่อยู่ในขวดเก็บตัวอย่าง (Vial) มาใส่น้ำ deionize water ลงไป 1.00 mL แล้วปิดฝาขวด และนำตัวอย่างปลอกกระสุนปืนวางในแนวตั้งฉากลงในบีกเกอร์ขนาด 50 mL ใส่น้ำ deionize water ลงในปลอกกระสุน โดยตัวอย่างปลอกกระสุนปืนขนาด 9 มม ใส่น้ำ 0.9 mL และปลอกกระสุน

Veridian E-Journal, Science and Technology Silpakorn University
Volume 4 Number 5 September – October 2017 ISSN 2408 - 1248

ปืนขนาด .38 ใส่น้ำ 1.5 mL นำตัวอย่างทั้งหมดไป Sonicate เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำสารละลายที่ได้จากการสกัดเขม่ามากรองผ่าน membrane filtered ขนาดรูพรุน 0.45 µm

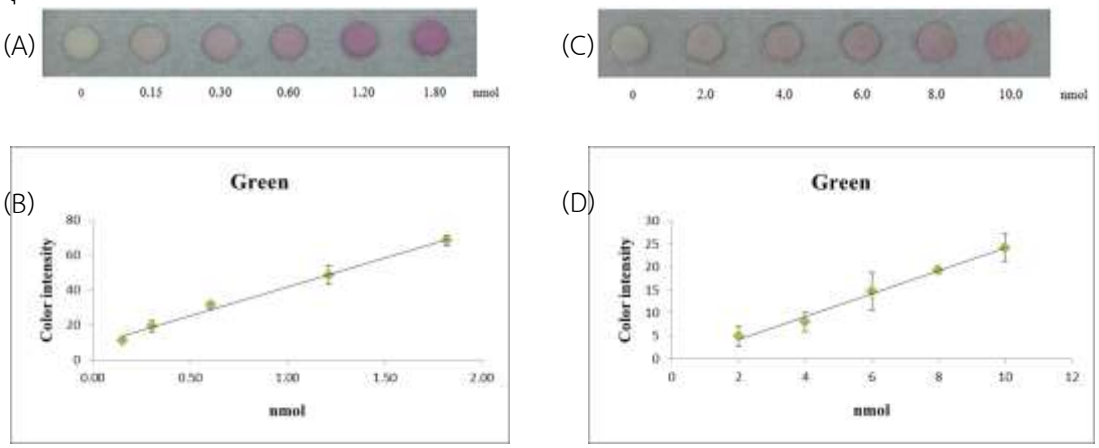
นำสารละลายตัวอย่างที่สกัดได้จากมือผู้ยิงปืนและในปลอกกระสุนปืนในข้างต้นหยดลงบนอุปกรณ์ตรวจวัดแบบกระดาษหลุมละ 10 µL (n=6) ทิ้งไว้ 5 นาที ทำการถ่ายภาพพร้อมกับกราฟมาตรฐานไนไตรท์และไนเตรท ด้วยกล้องโทรศัพท์มือถือยี่ห้อ iPhone รุ่น 5 ภายใต้หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ที่ตำแหน่งเดียวกันทุกครั้ง ให้ระยะห่างระหว่างอุปกรณ์กับกล้องเท่ากับ 20 เซนติเมตร นำรูปภาพที่ได้เข้าโปรแกรม ImageJ เพื่อวิเคราะห์ความเข้มสี จากนั้นนำตัวอย่างที่เหลือมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Ion chromatography (IC) ด้วย

ผลการวิจัย

ผลการวิเคราะห์สารมาตรฐานไนไตรท์และไนเตรทด้วยอุปกรณ์ที่ได้สร้างขึ้น

จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ไนไตรท์และไนเตรทด้วยอุปกรณ์แบบกระดาษที่ได้สร้างขึ้น โดยทำการศึกษาปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ปริมาตรของ Griess reagent และสารตัวอย่าง ความเข้มข้นของ Zinc suspension รวมไปถึงเวลาในการถ่ายภาพ ซึ่งในการทดลองนี้ได้เลือกใช้ปริมาตรของ Griess reagent และสารตัวอย่างที่ปริมาตร 10 µL ซึ่งเป็นปริมาตรที่เหมาะสมสำหรับอุปกรณ์นี้ และเลือกใช้ Zinc suspension ที่ความเข้มข้น 0.1 g/mL ปริมาตร 10 µL เนื่องจากมีค่าความเข้มสีไม่แตกต่างกันกับความเข้มข้นที่ 0.075 และ 0.125 g/mL ที่ทำการศึกษา หากมีปริมาณผง Zinc ที่มากเกินไป สีดำของผง Zinc อาจรบกวนต่อการตรวจวัดได้ เมื่อทำการทดสอบระยะเวลาที่เหมาะสมสำหรับการถ่ายภาพ พบว่าเมื่อทดสอบกับสารมาตรฐานไนเตรทที่ระยะเวลา 3-60 นาที ค่าความเข้มสีที่อ่านได้ในระยะเวลา 3–20 นาที มีค่าใกล้เคียงกัน เมื่อเวลาเพิ่มมากขึ้น ค่าสีที่อ่านได้จะมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นจึงได้เลือกใช้เวลาในการถ่ายภาพเพื่อหาปริมาณที่ 5 นาที เพื่อความรวดเร็วในการวิเคราะห์

ทำการสร้างกราฟมาตรฐานของไนไตรท์และไนเตรท โดยทำการทดลองดังสภาวะข้างต้น ได้ภาพถ่ายอุปกรณ์ตรวจวัดแบบกระดาษที่หยดสารมาตรฐานไนไตรท์ในช่วงปริมาณ 0.15-1.80 nmol ดังภาพที่ 2(A) กราฟมาตรฐานของไนไตรท์ดังภาพที่ 2(B) ภาพถ่ายอุปกรณ์ตรวจวัดแบบกระดาษที่หยดสารมาตรฐานไนเตรทในช่วงปริมาณ 2.0-10.0 nmol ดังภาพที่ 2(C) และกราฟมาตรฐานของไนเตรทดังภาพที่ 2(D) จากนั้นได้ทำการศึกษาค่าทางการวิเคราะห์ต่างๆ ได้แก่ ความสามารถในการทำซ้ำ ขีดจำกัดการตรวจวัด และความเสถียรของอุปกรณ์แบบกระดาษ พบว่าให้ค่าความสามารถในการทำซ้ำ (%RSD) ขีดจำกัดการตรวจวัด (nmol) และความเสถียรของอุปกรณ์แบบกระดาษ (วัน) ดังแสดงในตารางที่ 1



ภาพที่ 2 (A) ภาพถ่ายอุปกรณ์ตรวจวัดแบบกระดาษเมื่อทำการหยดสารมาตรฐานไนไตรท์ที่ปริมาณ 0.15, 0.30, 0.60, 1.20 และ 1.80 nmol ลงไป (B) กราฟพลอตระหว่างค่าความเข้มสีกับปริมาณของสารมาตรฐานไนไตรท์

(n=3) (C) ภาพถ่ายอุปกรณ์ตรวจวัดแบบกระดาษเมื่อทำการหยดสารมาตรฐานไนเตรทที่ปริมาณ 2.0, 4.0, 6.0, 8.0 และ 10.0 nmol ลงไป (D) กราฟพลอตระหว่างค่าความเข้มสีกับปริมาณของสารมาตรฐานไนเตรท (n=3)

ตารางที่ 1 ค่าทางการวิเคราะห์ (analytical features) จากการวิเคราะห์สารมาตรฐานไนไตรท์และไนเตรทด้วยอุปกรณ์ตรวจวัดแบบกระดาษ

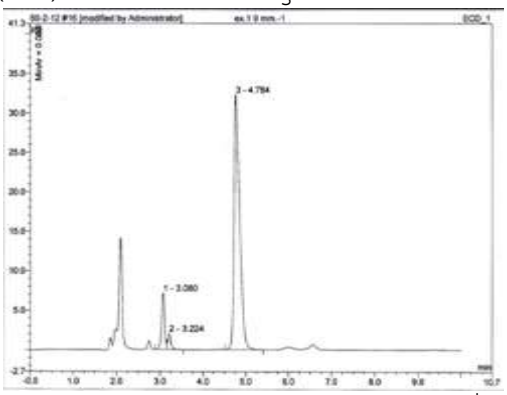
ค่าทางการวิเคราะห์	ผลการทดลองที่ได้	
	ไนไตรท์	ไนเตรท
ช่วงปริมาณที่ศึกษา (nmol)	0.15 - 1.80	2.0 - 10.0
สมการเส้นตรง	y = 33.164x + 8.6521	y = 2.4941x - 0.7368
ความเป็นเส้นตรง (R^2)	0.9936	0.9906
ค่าทางการวิเคราะห์	ผลการทดลองที่ได้	
	ไนไตรท์	ไนเตรท
ความสามารถในการทำซ้ำ (%RSD)	ที่ปริมาณ 0.15, 0.60 และ 1.80 nmol มีค่าเท่ากับ 3.67, 2.79 และ 6.99 (n=11) ตามลำดับ	ที่ปริมาณ 2.0, 6.0 และ 10.0 nmol มีค่าเท่ากับ 3.10, 3.79 และ 4.76 (n=14) ตามลำดับ
ขีดจำกัดการตรวจวัด (nmol)	0.063	0.840
ความเสถียรของอุปกรณ์แบบกระดาษ (วัน)	ค่าสีที่อ่านได้จะลดลงเมื่อเก็บไว้นานกว่า 6 วัน ที่อุณหภูมิห้อง และ 11 วัน ในตู้เย็น	เมื่อเก็บไว้นาน 2 วัน ที่อุณหภูมิห้อง และ 5 วัน ในตู้เย็น ค่าสีที่อ่านได้มีค่าใกล้เคียงกัน แต่หากเก็บไว้นานกว่านั้นจะปรากฏสีน้ำตาลขึ้นบนกระดาษก่อนทำการหยดสารมาตรฐาน

จากตารางที่ 1 เมื่อทำการสร้างกราฟมาตรฐานของไนไตรท์และไนเตรทในช่วงปริมาณ 0.15 - 1.80 และ 2.0 - 10.0 nmol ตามลำดับ พบว่ามีค่า R^2 > 0.9906 ซึ่งถือว่ามีความเป็นเส้นตรงสูง มีความสามารถในการทำซ้ำของการวิเคราะห์ไนไตรท์และไนเตรทที่มีค่าร้อยละส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์อยู่ในช่วง 2.79 - 6.99 มีขีดจำกัดการตรวจวัดที่ต่ำ และสามารถเก็บอุปกรณ์ตรวจวัดไนไตรท์แบบกระดาษ โดยเก็บที่อุณหภูมิห้องไว้ใช้งานได้นาน 6 วันและในตู้เย็นนาน 11 วัน หลังจากนั้นค่าสีที่อ่านได้จะลดลงเมื่อมีระยะเวลาการเก็บที่ยาวนานขึ้น ส่วนอุปกรณ์ตรวจวัดไนเตรทแบบกระดาษเมื่อเก็บไว้นาน 2 วันที่อุณหภูมิ ห้อง และ 5 วัน ในตู้เย็น ค่าสีที่อ่านได้มีค่าใกล้เคียงกัน แต่เมื่อเก็บไว้นานกว่านั้นพบว่ามีสีน้ำตาลปรากฏขึ้นบนกระดาษก่อนทำการหยดสารมาตรฐาน ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากการเสื่อมสภาพของรีเอเจนต์ได้

หาปริมาณไนไตรท์และไนเตรทจากตัวอย่างจริงที่ได้จากมือผู้ยิงปืนและในปลอกกระสุนปืนด้วยอุปกรณ์ตรวจวัดไนไตรท์และไนเตรทแบบกระดาษ โดยทำการถ่ายภาพอุปกรณ์ตรวจวัดแบบกระดาษที่ได้ทำการหยดสารละลายตัวอย่างแล้ว จากนั้นนำไปอ่านค่าความเข้มสีของสีเขียวด้วยโปรแกรม ImageJ จะได้ค่า Mean intensity ออกมา นำค่า Mean ที่ได้มาหักลบกับสัญญาณที่ได้จากแบลงค์ แล้วนำไปเทียบกับกราฟมาตรฐานของไนไตรท์และไนเตรท และคำนวณหาปริมาณไนไตรท์และไนเตรทที่มีอยู่ในตัวอย่าง

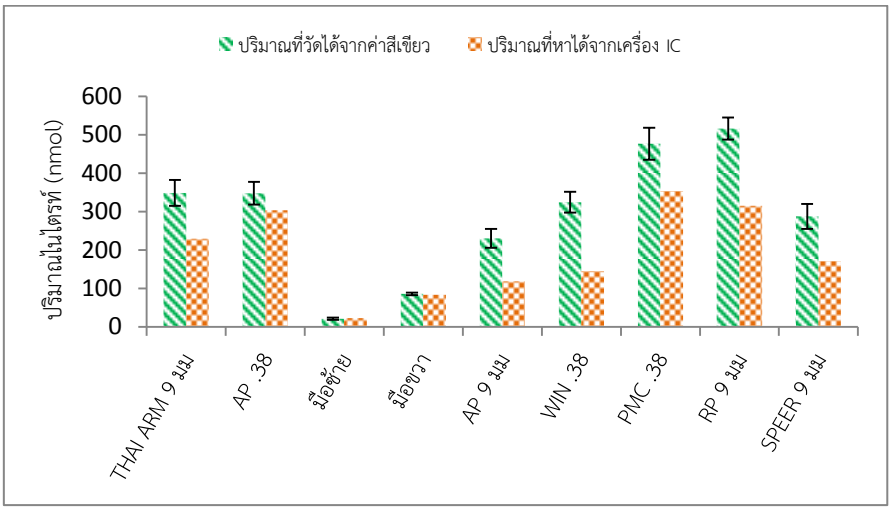
Veridian E-Journal, Science and Technology Silpakorn University
Volume 4 Number 5 September – October 2017 ISSN 2408 - 1248

นำตัวอย่างเขม่าดินปืนในปลอกกระสุนปืนยี่ห้อ THAI ARM ขนาด 9 มม ที่ทำการสกัดและกรองแล้วมาฉีดเข้าเครื่องโครมาโทกราฟี (n=2) พบว่าได้ chromatogram ดังภาพที่ 3

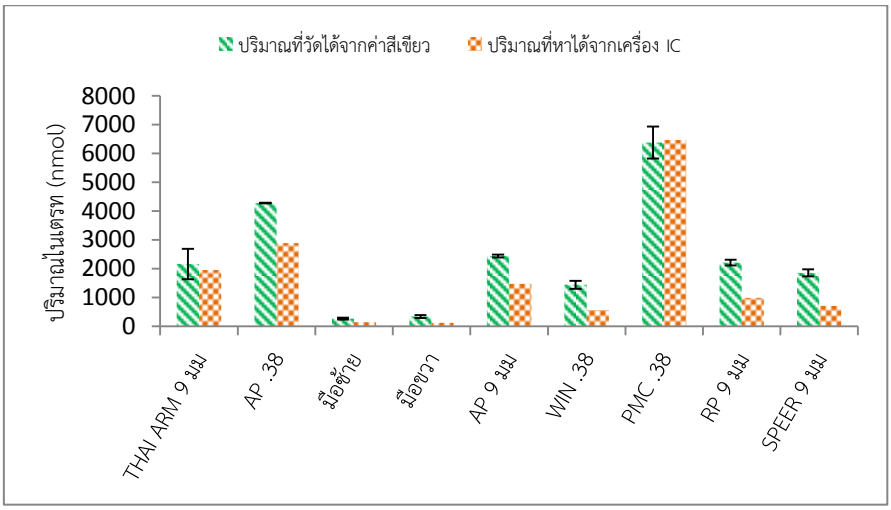


ภาพที่ 3 Chromatogram ของตัวอย่างเขม่าดินปืนในปลอกกระสุนปืนยี่ห้อ THAI ARM ขนาด 9 มม

จากภาพที่ 3 เมื่อนำ chromatogram ของตัวอย่าง ไปเปรียบเทียบกับของสารมาตรฐาน จะได้ว่าตัวอย่างมี Retention time ของไนไตรท์ เท่ากับ 3.08 min และ Retention time ของไนเตรท เท่ากับ 4.76 min จากนั้นนำตัวอย่างที่เหลือมาวิเคราะห์ต่อ จะได้ค่าพื้นที่ใต้พีคมาคำนวณหาปริมาณของไนไตรท์และไนเตรทโดยนำมาแทนค่า y ในกราฟมาตรฐาน ซึ่งพลอตระหว่างค่าพื้นที่ใต้พีคกับปริมาณของไนไตรท์และไนเตรทในช่วงปริมาณที่ 0.38 – 24.00 nmol มีสมการเส้นตรงคือ $y = 0.3651x + 0.0896$ ค่า R^2 เท่ากับ 0.9984 สำหรับไนไตรท์ และ $y = 0.4513x - 0.0865$ ค่า R^2 เท่ากับ 0.9999 สำหรับไนเตรท จากนั้นนำปริมาณของไนไตรท์และไนเตรทที่หาได้จากอุปกรณ์ตรวจวัดไนไตรท์และไนเตรทแบบกระดาษเปรียบเทียบกับเทคนิค Ion chromatography ได้ผลการทดลองดังภาพที่ 4 และ 5

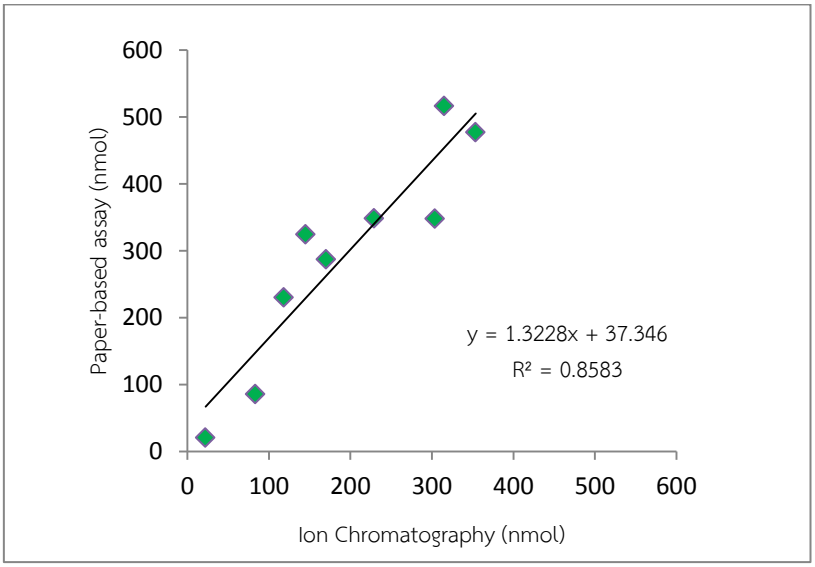


ภาพที่ 4 แผนภูมิแท่งแสดงปริมาณไนไตรท์ ในหน่วย nmol ของการวิเคราะห์ตัวอย่างเขม่าดินปืน ด้วยอุปกรณ์ตรวจวัดแบบกระดาษและเทคนิคไอออนโครมาโทกราฟี



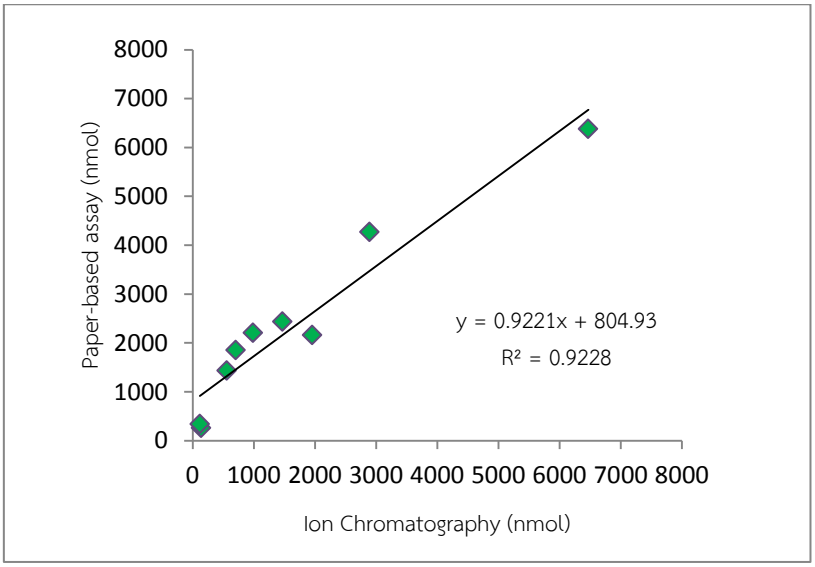
ภาพที่ 5 แผนภูมิแท่งแสดงปริมาณไนเตรท ในหน่วย nmol ของการวิเคราะห์ตัวอย่างเขม่าดินปืน ด้วยอุปกรณ์ตรวจวัดแบบกระดาษและเทคนิคไอออนโครมาโทกราฟี

จากแผนภูมิแท่งในภาพที่ 4 และ 5 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณของไนไตรท์และไนเตรทที่ตรวจวิเคราะห์ได้จากอุปกรณ์ตรวจวัดแบบกระดาษและจากเครื่องโครมาโทกราฟี พบว่าค่าส่วนใหญ่ที่หาได้จากการอ่านค่าความเข้มสีของสีเขียวบนอุปกรณ์ตรวจวัดแบบกระดาษ และค่าที่หาได้จากเครื่องโครมา โทกราฟีมีค่าใกล้เคียงกัน และเมื่อนำปริมาณของไนไตรท์และไนเตรทที่หาได้จากทั้งสองวิธีมาทำการพลอตกราฟ correlation เพื่อเปรียบเทียบกัน ได้ผลการทดลองดังภาพที่ 6 และ 7



ภาพที่ 6 กราฟแสดงปริมาณของไนไตรท์ที่ได้จากอุปกรณ์ตรวจวัดแบบกระดาษ กับค่าจากเทคนิคไอออนโครมาโทกราฟี

Veridian E-Journal, Science and Technology Silpakorn University
Volume 4 Number 5 September – October 2017 ISSN 2408 - 1248



ภาพที่ 7 กราฟแสดงปริมาณของไนเตรทที่ได้จากอุปกรณ์ตรวจวัดแบบกระดาษ กับค่าจากเทคนิคไอออนโครมาโทกราฟี

จากภาพที่ 6 และ 7 พบว่าความชันของกราฟและค่า R^2 มีค่าใกล้เคียงเท่ากับหนึ่งแสดงให้เห็นว่าปริมาณของไนไตรท์และไนเตรทที่วิเคราะห์ได้ระหว่างบนอุปกรณ์แบบกระดาษกับเทคนิคไอออนโครมาโท กราฟีมีค่าไปในทิศทางเดียวกัน เป็นการยืนยันว่าวิธีตรวจวัดบนอุปกรณ์แบบกระดาษสามารถวิเคราะห์หาปริมาณของไนไตรท์และไนเตรทได้แม่นยำเทียบเท่ากับเทคนิคไอออนโครมาโทกราฟี

สรุปผล

ในงานวิจัยนี้ได้ประดิษฐ์อุปกรณ์ตรวจวัดแบบกระดาษเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณไนไตรท์และไนไตรท โดยอาศัยปฏิกิริยา Griess reaction ในการตรวจวัด ทำการถ่ายรูป และอ่านค่าความเข้มสีของสีเขียวโดยใช้โปรแกรม ImageJ เพื่อคำนวณหาปริมาณไนไตรท์และไนไตรท ด้วยการทดลองที่ใช้สภาวะที่เหมาะสมที่ได้ทำการศึกษา พบว่าสามารถวิเคราะห์หาไนไตรท์และไนไตรทได้ที่ความเข้มข้นระดับไมโครโมลาร์ กราฟมาตรฐานของไนไตรท์และไนไตรทมีความเป็นเส้นตรงสูงมีค่า R^2 > 0.9906 มีความสามารถในการทำซ้ำที่ดี คือมีค่าร้อยละส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์น้อยกว่า 6.99 มีขีดจำกัดการตรวจวัดที่ต่ำ และสามารถเก็บอุปกรณ์ตรวจวัดไนไตรท์และไนไตรทแบบกระดาษไว้ใช้งานได้นาน เมื่อเก็บไว้ในตู้เย็น

จากผลการทดลองข้างต้นจะเห็นได้ว่าสอดคล้องกับผลการวิจัยของ Manori B. Jayawardane และคณะ (Manori et al. 2014) ที่ทำการวิเคราะห์หาไนไตรท์และไนเตรท โดยอาศัยปฏิกิริยา Griess reaction ในตัวอย่างน้ำธรรมชาติและน้ำที่ผ่านการสังเคราะห์มาแล้ว บนอุปกรณ์ตรวจวัดแบบกระดาษ จากนั้นนำไปอ่านค่าความเข้มสีของสีเขียวโดยใช้โปรแกรม ImageJ พบว่าความเข้มสีที่อ่านได้สามารถหาปริมาณของไนไตรท์และไนเตรทได้ใกล้เคียงกับค่าที่หาจากเทคนิคไอออนโครมาโทกราฟี และถ้าเก็บอุปกรณ์ใส่ในถุงซิปไว้ในตู้เย็นจะมีความเสถียร สามารถเก็บไว้ใช้งานได้นานกว่าเมื่อเก็บที่อุณหภูมิห้อง นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Samir A. Bhakta และคณะ (Samir et al. 2014) และ Nuria Lopez-Ruiz และคณะ (Nuria et al. 2014) ที่ทำการหาปริมาณไนไตรท์ ด้วยวิธี Griess assay บนอุปกรณ์ตรวจวัดแบบกระดาษ และนำความเข้มสีที่ได้มาอ่านค่า พบว่าสามารถหาปริมาณของไนไตรท์ได้

เมื่อนำปริมาณของไนไตรท์และไนเตรทในตัวอย่างเขม่าดินปืน 9 ตัวอย่าง (ได้จากมือผู้ยิงและในปลอกกระสุนปืนยี่ห้อต่างๆ) ที่ตรวจวัดบนอุปกรณ์แบบกระดาษมาพลอตกราฟ correlation เทียบกับปริมาณที่หาได้จากเทคนิคไอออนโครมาโทกราฟี พบว่าที่ปริมาณของไนไตรท์ มีค่า R^2 เท่ากับ 0.8583 และที่ปริมาณของไนเตรท มีค่า R^2 เท่ากับ 0.9228 ซึ่งค่าที่ได้มีค่าใกล้เคียงเท่ากับ 1 แสดงว่าอุปกรณ์ตรวจวัดแบบกระดาษที่สร้างขึ้นสามารถหาปริมาณของไนไตรท์และไนเตรทได้อย่างแม่นยำ และถูกต้อง สามารถนำไปใช้งานเพื่อหาปริมาณไนไตรท์และไนเตรทในตัวอย่างเขม่าดินปืน ซึ่งเป็นพยานหลักฐานที่สำคัญที่ใช้บ่งบอกถึงผู้ที่กระทำความผิดที่เกี่ยวข้องกับอาวุธปืนได้ โดยอุปกรณ์ที่ประดิษฐ์ขึ้นมีคุณสมบัติ ได้แก่ วัสดุที่ใช้ในการประดิษฐ์หาซื้อได้ทั่วไป ราคาไม่แพง ใช้สารตัวอย่างและรีเอเจนต์ในปริมาณน้อย ใช้เวลาในการวิเคราะห์รวดเร็ว ใช้เครื่องมือการตรวจวัดสัญญาณที่ไม่แพง และสามารถพกพาไปใช้ในภาคสนามได้

ข้อเสนอแนะ

1. งานวิจัยนี้ได้วิเคราะห์เขม่าดินปืนบนมือและในปลอกกระสุนปืน จึงควรทำการทดลองเขม่าดินปืนจากแหล่งอื่นบ้าง

2. ศึกษาผลของตัวรบกวน (Interferences) ที่อาจมีผลต่อการวิเคราะห์ไนไตรท์และไนเตรทบนอุปกรณ์ตรวจวัดแบบกระดาษเพิ่มเติม

เอกสารอ้างอิง

ภาษาไทย

นายนเรศ โกฏทอง. (2556) “การตรวจพิสูจน์เขม่าปืนบนเส้นผมโดยเทคนิค UV-Visible Spectroscopy.” วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร

เบญจ์ พุฒินิล และศุภชัย ศุภลักษณ์นารี. (2555). “การวิเคราะห์หาปริมาณไนไตรท์และไนเตรทในเขม่าดินปืนด้วยไอออนโครมาโทกราฟ.” Veridian E-Journal 5, 2 (พฤษภาคม – สิงหาคม) :730-741.

ร้อยตำรวจเอกปิยะชัย มั่นคง. (2555) “การหาปริมาณไนไตรท์และไนเตรทบนมือของผู้ยิงปืนโดยเทคนิคไอออนมาโทกราฟี.” วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยศิลปากร

ยุทธพงศ์ เศรษฐีสมบัติ และศิริรัตน์ ชูสกุลเกรียง. (2557). “การหาปริมาณไนเตรทและไนไตรท์ในเขม่าปืนที่ติดบนผิวรถยนต์ โดยเทคนิคไอออนโครมาโตกราฟี.” Veridian E-Journal 1, 2 (มีนาคม – เมษายน) :64-75.

วิมล แสงนาค. (2558) “การพัฒนาวิธีดีพีพีเอชบนอุปกรณ์แบบกระดาษเพื่อการวิเคราะห์แบบรู้ผลรวดเร็วของฤทธิ์ต้านนอนุมูลอิสระในอาหารและผลิตภัณฑ์จากธรรมชาติ.” วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมีศึกษา มหาวิทยาลัยบูรพา

ภาษาต่างประเทศ

Anamary Tarifa, José R. Almirall**.** (2015). “Fast detection and characterization of organic and inorganic gunshot residues on the hands of suspects by CMV-GC–MS and LIBS.” **Science and Justice** 55:168–175

Andres W. Martinez, Scott T. Phillips, Manish J. Butte, and George M. Whitesides. (2007)**.** “Patterned paper as a platform for inexpensive, low-volume, portable bioassays.” **Angew. Chem. Int. Ed** 46:1318-1320

Edwin C. Conrad. (1961). “Evidential implications of the dermal nitrate test for gunpowder residues.” **Marquette Law Review** 44:500-517

Manori B. Jayawardane, Shen Wei, Ian D. McKelvie, and Spas D. Kolev. (2014). “Microfluidic paper-based analytical device for the determination of nitrite and nitrate.” **Analytical Chemistry** 86:7274-7279

Marina Aliste, Luis Guillermo Chavez. (2016). “Analysis of gunshot residues as trace in nasal mucus by GFAAS.” **Forensic Science International** 261:14–18

N. Petraco, M. Yander and J. Sardone. (1981). “A method for the quantitative determination of Nitrites in gunshot residue cases.” **Forensic Science International** 18:85-92

Nuria Lopez-Ruiz, Vincenzo F. Curto, Miguel M. Erenas, Fernando Benito-Lopez, Dermot Diamond, Alberto J. Palma, and Luis F. Capitan-Vallvey. (2014). “Smartphone-based simultaneous pH and nitrite colorimetric determination for paper microfluidic devices.” **Analytical Chemistry** 86:9554-9562

Peter S. Ellis , Ali Mohammad Haji Shabani, Brady S. Gentle, Ian D. McKelvie. (2011). “Field measurement of nitrate in marine and estuarine waters with a flow analysis system utilizing on-line zinc reduction.” **Talanta** 84:98-103

Rayana A. Costa, Larissa C. Motta, Caline A. Destefani, Rayza R.T. Rodrigues, Kamila S. do Espírito Santo, Gloria M.F.V. Aquije, Ricardo Boldrini, Geisamanda P.B. Athayde, Maria Tereza W.D. Carneiro, Wanderson Romão. (2016). “Gunshot residues (GSR) analysis of clean range ammunition using SEM/EDX, colorimetric test and ICP-MS: A comparative approach between the analytical techniques.” **Microchemical Journal** 129:339–347

, Stefi Weisburd, Raymond Sleeper, Andres Martinez, Dorota Rozkiewicz, George M. Whitesides, and Kathryn A. Hollar. (2014). “Using paper-based diagnostics with high school students to model forensic investigation and colorimetric analysis.” **Journal of chemical education** 91:107-111.

Samir A. Bhakta, Rubiane Borba, Mario Taba Jr, Carlos D. Garcia, Emanuel Carrilho. (2014). “Determination of nitrite in saliva using microfluidic paper-based analytical devices.” **Analytica Chimica Acta** 809:117-122

Zuzanna Brozek-Mucha. (2009). “Distribution and properties of gunshot residue originating from a Luger 9 mm ammunition in the vicinity of the shooting gun.” **Forensic Science International** 183:33–44