

การประยุกต์ใช้สารที่มีคุณสมบัติการวาวแสงในการตรวจหาวัตถุระเบิดทีเอ็นที Fluorescence Molecule Application for TNT Detection

พันเอก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เรืองศักดิ์ อยู่ชา^{1*}

Colonel Assistant Professor Ruangsak Yucha^{1*}

พันโทหญิง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พนมวรรณ ปานสีทา²

Lieutenant Colonel Assistant Professor Dr. Panomwan Panseeta²

พันตรีหญิง เพ็ญธนา สمانพันธุ์³

Major Phenthana Samanphan³

ศาสตราจารย์ ดร.มงคล สุขวัฒนสินธุ์⁴

Professor Dr.Mongkol Sukwattanasinitt⁴

^{1,2}ผู้ช่วยศาสตราจารย์ส่วนการศึกษา กองวิชาเคมี โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า

ต.พรหมณี อ.เมือง จ.นครนายก 26001

^{1,2}Assistant Professor, Department of Chemistry, Academic Division,

Chulachomklao Royal Military Academy

Prommanee Subdistrict, Mueang District, Nakhon Nayok Province, 26001, Thailand

³อาจารย์ส่วนการศึกษา กองวิชาเคมี โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า

ต.พรหมณี อ.เมือง จ.นครนายก 26001

³Instructor, Department of Chemistry, Academic Division,

Chulachomklao Royal Military Academy

Prommanee Subdistrict, Mueang District, Nakhon Nayok Province, 26001, Thailand

⁴ศาสตราจารย์ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ถนนพญาไท เขตปทุมวัน กรุงเทพมหานคร 10330

⁴Professor, Department of Chemistry, Faculty of Science, Chulalongkorn University

Phayathai Road, Pathumwan, Bangkok 10330

*Corresponding Author: lek5820@yahoo.com

(Received: October 12, 2018, Revised: January 18, 2019, Accepted: March 27, 2019)

บทคัดย่อ : งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเทคนิคการวาวแสง (Fluorescence) มาใช้ในการตรวจหาวัตถุระเบิดไตรไนโตรโทลูอีน (TNT) ด้วยตาเปล่าโดยใช้วิธีวัดการลดลงของการวาวแสง (Fluorescence Quenching) ของสารที่มีสมบัติการวาวแสง ที่สังเคราะห์ได้ภายในประเทศและผ่านการทดสอบคุณสมบัติในการลดการวาวแสงเมื่อสัมผัสกับวัตถุระเบิด TNT เบื้องต้นแล้ว 2 ชนิด ได้แก่ สารที่มีโครงสร้างประกอบด้วย Arylethynyl calix [4] arenes (ANC) และสารที่มีโครงสร้างประกอบด้วย Triphenylamine ต่อกับวง Polyaromatic pyrene (TAP) จากการทดสอบ

กับ TNT พบว่า ANC สามารถลดการวาวแสงได้ชัดเจนกว่า TAP จึงเลือกใช้ ANC ในการทดสอบกับ TNT ในภาคสนาม จากการศึกษาพบว่าเมื่อใช้สารละลาย ANC เข้มข้น 5 mM ปริมาตร 5 μ L เคลือบลงบนกระดาษทดสอบซึ่งเตรียมจาก กระดาษกรองที่ทำเป็นหลุมทดสอบที่เคลือบขอบหลุมทดสอบด้วยไข (Wax) สังเกตเห็นการวาวแสงด้วยตาอย่างชัดเจน ภายใต้หลอด Black light และเมื่อนำกระดาษดังกล่าวไปหยดสารละลาย TNT ในเอทานอล เข้มข้น 5 mM ปริมาตร 5 μ L ซึ่งคิดเป็นปริมาณ TNT 5.675 μ g พบว่ากระดาษดังกล่าวเกิดการลดลงของการวาวแสงเมื่อสังเกตด้วยตาอย่าง ชัดเจน แต่จะไม่พบการลดลงของการวาวแสงของกระดาษที่เคลือบ ANC หากเปลี่ยนจากสารละลาย TNT เป็นวัตถุระเบิด ตัวอื่น ได้แก่ PETN และ Ammonium nitrate หรือ สารประกอบที่ใช้เป็นส่วนประกอบในวัตถุระเบิด เช่น Potassium nitrate และ Urea หรือสารประกอบอื่นๆ เช่น Naphthalene และ การบูร เป็นต้น อย่างไรก็ตามการลดลงของการวาว แสงของกระดาษที่เคลือบ ANC จะเกิดขึ้นได้กับสารประกอบที่อยู่ในกลุ่ม Nitro aromatic ได้แก่ Picric acid, 2,6-DNT และ 4-Nitroaniline และพบว่ากระดาษที่เคลือบ ANC สามารถนำไปใช้ประยุกต์ตรวจหาไอของ TNT ได้ เมื่อนำกระดาษ ที่เคลือบ ANC ใส่ลงในภาชนะปิดขนาด 150 mL ที่มีเกล็ด TNT ปริมาณ 0.1 กรัม ตั้งไว้เป็นระยะเวลา 3 วัน กระดาษที่ เคลือบ ANC จะเกิดการลดลงของการวาวแสงจนสังเกตได้ด้วยตา นอกจากนี้กระดาษที่เคลือบ ANC สามารถนำไปใช้ใน การตรวจหา TNT จากมือและเสื้อผ้าของบุคคลที่ปฏิบัติงานเกี่ยวข้องกับวัตถุระเบิด TNT ได้ งานวิจัยนี้เป็นข้อมูลเบื้องต้น ในการนำเทคนิคการวาวแสงไปพัฒนาเป็นชุดอุปกรณ์ตรวจวัตถุระเบิด TNT แบบพกพาได้

คำสำคัญ : การวาวแสง การลดลงของการวาวแสง ไตรไนโตรโทลูอิน ANC

Abstract: This research is a feasibility study on the use of fluorescence technique for naked eye detection of trinitrotoluene (TNT) explosive based on the fluorescence quenching of the fluorescence compounds synthesized within the country and pre-evaluated for the fluorescence quenching property. Two types of fluorescence compounds used in this study were arylethynyl calix [4] arenes (ANC) and triphenylamine conjugated with pyrene rings (TAP). These fluorescence compounds were tested with TNT, and ANC was found to give a clearer fluorescence quenching results. ANC was selected for preparation of TNT test strips in further field study mimicking the situation in which TNT may be found. The ANC solution (5 mM, 5 μ L) was drop cast onto the holes generated on filter paper strips via wax printing. These test holes showed strong blue-green emission observable to naked eyes under black light. Upon contact with TNT solution the fluorescent spots were quenched with the minimal amount of 5.675 μ g of TNT (5 mM, 5 μ L TNT solution). With other explosive solutions such as PETN, ammonium nitrate or other non-explosive compounds such as naphthalene and camphor, no fluorescence quenching was observed. However, the fluorescence quenching was also observed when tested nitro aromatic compounds similar to TNT such as picric acid, 2,6-DNT and 4-nitroaniline. The fluorescence quenching was also easily observed with TNT vapor generated from 0.1 g TNT amount placed in a closed container for 3 days. In the field test, the ANC test strips were also able to detect TNT contamination on hands and clothes of personnel working directly with TNT. The test strips studied in this work are potentially useful as portable devices for convenient detection of TNT explosive.

Keywords : Fluorescence, Fluorescence quenching, Trinitrotoluene (TNT), ANC

1. บทนำ

ปัจจุบันการตรวจสอบวัตถุระเบิดมีหลากหลายวิธีขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุระเบิดและวัตถุประสงค์ของการตรวจสอบ การพิสูจน์ทราบวัตถุระเบิดเบื้องต้นอาจใช้ปฏิกิริยาทางเคมีตรวจสอบการเกิดสี (Colorimetric Method) [1-3] หรือในปัจจุบันนิยมใช้เครื่องมือขั้นสูงที่มีลักษณะเป็นเครื่องตรวจจับไอ (Vapor Detector) เช่น Ion Mobility Spectrometer (IMS) ซึ่งทำงานโดยอาศัยหลักการการเคลื่อนที่ของไอออนในสนามไฟฟ้า หรือเครื่อง Fido ซึ่งทำงานโดยอาศัยหลักการการวาวแสงเครื่องมือดังกล่าวเป็นเครื่องมือที่มีราคาแพงและต้องสั่งซื้อจากต่างประเทศ หลักการการวาวแสงที่ถูกนำมาใช้ในการตรวจหาวัตถุระเบิดของเครื่อง Fido ทำงานโดยใช้คุณสมบัติในการวาวแสงของพอลิเมอร์ที่ใช้ชื่อว่า Amplifying Fluorescent Polymer (AFP) เมื่อถูกกระตุ้นด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และความเข้มแสงของการวาวแสงของสาร AFP จะลดลง (Fluorescence Quenching) เมื่อสาร AFP จับกับสารวัตถุระเบิด TNT [4] สำหรับในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเปรียบเทียบสมบัติการวาวแสงและการลดลงของการวาวแสงของกระดาษทดสอบที่เคลือบด้วยสาร 2 ชนิด ได้แก่ ANC และ TAP หลังจากสัมผัสสาร TNT โดยสาร 2 ชนิดที่นำมาศึกษาเป็นสารที่สังเคราะห์ขึ้นโดยนักวิจัยในภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โครงสร้างโมเลกุลของสารประกอบด้วย Arylethynyl calix[4]arenes (ANC) และที่มีโครงสร้างโมเลกุลประกอบด้วย Triphenylamine ต่อกับวง Polyaromaticpyrene (TAP) โดยจะทำการศึกษาในห้องปฏิบัติการเพื่อเลือกสารที่มีคุณสมบัติในการวาวแสงที่เหมาะสมที่สุดนำไปทดสอบความเฉพาะเจาะจงในการลดลงของการวาวแสงเมื่อสารดังกล่าวสัมผัสกับ TNT และสารเคมีชนิดอื่น และนำสารที่มีคุณสมบัติในการวาวแสงที่เหมาะสมที่สุดไปทดสอบการตรวจหา TNT จากมือและเสื้อผ้าของบุคคลที่ปฏิบัติงานเกี่ยวข้องกับวัตถุระเบิด TNT ในภาคสนาม

2. วัตถุประสงค์

2.1 เพื่อศึกษาการวาวแสงของโมเลกุลที่มีคุณสมบัติในการวาวแสง 2 ชนิด ได้แก่ ANC และ TAP และการลดลงของการวาวแสงของโมเลกุลทั้ง 2 ชนิดเมื่อทำปฏิกิริยากับ TNT เพื่อเลือกโมเลกุลที่มีคุณสมบัติที่เหมาะสมที่สุดไปใช้ในการตรวจหา TNT ในภาคสนาม

2.2 เพื่อศึกษาความเฉพาะเจาะจงในการลดลงของการวาวแสงของโมเลกุลที่มีคุณสมบัติในการวาวแสงที่เลือกในข้อ 2.1 เมื่อสัมผัสกับ TNT และสารเคมีชนิดอื่น

2.3 เพื่อหาปริมาณ TNT ต่ำสุด (ขีดจำกัดการตรวจวัด TNT) ที่ทำให้สามารถสังเกตเห็นการลดลงของการวาวแสงของโมเลกุลที่มีคุณสมบัติการวาวแสงที่เลือกในข้อ 2.1 ได้ด้วยตาเปล่า)

2.4 เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำโมเลกุลที่มีคุณสมบัติในการวาวแสงที่เลือกในข้อ 2.1 ไปประยุกต์ใช้ในการตรวจหาไอของ TNT

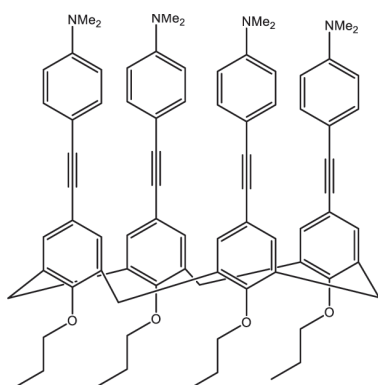
2.5 เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำโมเลกุลสารวาวแสงที่เลือกในข้อ 2.1 ไปใช้ในการตรวจหาการตกค้างของ วัตถุระเบิด TNT จากมือและเสื้อผ้าของบุคคลที่เกี่ยวข้องกับวัตถุระเบิด TNT ในภาคสนาม

3. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวาวแสงของโมเลกุล (Molecular Fluorescence) เป็นการเปล่งแสงของโมเลกุลสารเคมีเมื่อได้รับการกระตุ้นด้วยแสง (Photoluminescence) โดยโมเลกุลจะทำการดูดกลืนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าหรือโฟตอนแล้วเปลี่ยนจากสถานะพื้นไปสู่สถานะกระตุ้นซึ่งไม่เสถียรพร้อมกับปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นต่ำเดิมเรียกว่า เรโซแนนซ์ฟลูออเรสเซนซ์ (Resonance Fluorescence) ออกมา หรือปล่อยคลื่นแสงที่มีความยาวคลื่นมากกว่าความยาวคลื่นที่ดูดกลืนเรียกว่า นอร์มอลฟลูออเรสเซนซ์ (Normal Fluorescence) ในปัจจุบันเทคนิคการวาวแสงได้ถูกนำมาใช้สำหรับงานทางด้านปริมาณวิเคราะห์และคุณภาพวิเคราะห์สารอินทรีย์

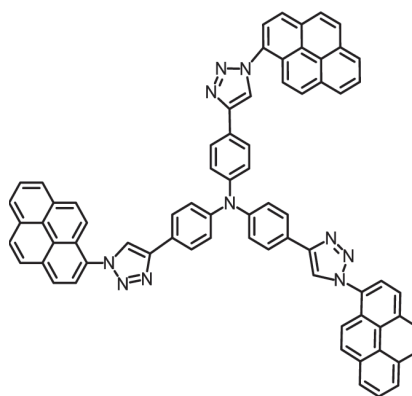
และสารอินทรีย์ได้อย่างดี โดยเฉพาะการวิเคราะห์สารที่มีปริมาณน้อย เนื่องจากเป็นวิธีวิเคราะห์ที่จำเพาะสำหรับสารแต่ละชนิด และจัดได้ว่าเป็นวิธีวิเคราะห์ที่มีสภาพไวสูง มีความเที่ยงและความแม่นยำดี สำหรับการวิเคราะห์โดยใช้เทคนิคการวาวแสงอาจทำได้โดยการวัดการวาวแสงโดยตรง (Direct Method) ของสารที่ต้องการวิเคราะห์ หรือการวัดโดยวิธีทางอ้อม (Indirect Method) โดยวิธีทางอ้อมนิยมใช้วิเคราะห์สารตัวอย่างที่ไม่เกิดการวาวแสง แต่สารตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์สามารถทำอันตรกิริยากับสารที่เกิดการวาวแสงได้ จนมีผลทำให้ความเข้มของการวาวแสงลดลง ซึ่งเรียกว่าการเกิด Fluorescence Quenching ความเข้มของการวาวแสงที่ลดลงขึ้นอยู่กับปริมาณของสารที่ต้องการวิเคราะห์ [5]

Kanokthorn Boonkitpatarakul และคณะ ได้ทำการสังเคราะห์สารที่มีโครงสร้างประกอบด้วย Arylethynyl calix[4]arenes (ANC) ดังแสดงโครงสร้างในภาพที่ 1 ซึ่งสาร ANC วาวแสงภายใต้การกระตุ้นด้วย Black light และพบว่าสาร ANC มีความเฉพาะเจาะจง และมีความไวในการเกิดอันตรกิริยากับ TNT แล้วทำให้คุณสมบัติในการวาวแสงของ ANC ลดลง นอกจากนี้ยังพบว่าสามารถใช้ ANC ตรวจหา TNT ในห้องปฏิบัติการได้ในระดับนาโนกรัม [6]



ภาพที่ 1 สูตรโครงสร้างของสาร ANC

Nakorn Niamnont และคณะ ได้ทำการสังเคราะห์สารที่มีโครงสร้างประกอบด้วย Triphenylamine กับวง Polyaromatic pyrene (TAP) ดังแสดงโครงสร้างในภาพที่ 2 โดยสาร TAP วาวแสงได้ภายใต้การกระตุ้นด้วย Black light และสาร TAP มีคุณสมบัติการวาวแสงลดลงเมื่อสัมผัสกับ TNT ในห้องปฏิบัติการในระดับนาโนกรัม [7]



ภาพที่ 2 สูตรโครงสร้างของสาร TAP

4. วิธีดำเนินการศึกษา

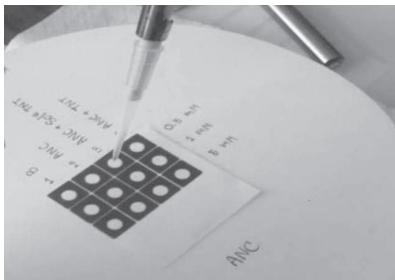
งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเปรียบเทียบสมบัติการวาวแสงและการลดลงของการวาวแสงของสารเมื่อสัมผัสกับวัตถุระเบิด TNT ของสาร ANC และ TAP โดยจะเริ่มจากการศึกษาในห้องปฏิบัติการเพื่อเลือกสารที่แสดงการวาวแสงและการลดลงของการวาวแสงเมื่อสัมผัสกับ TNT ได้ชัดเจนที่สุด เพื่อนำไปทดสอบความเฉพาะเจาะจงในการลดลงของการวาวแสงกับ TNT เทียบกับสารเคมีชนิดอื่น ต่อจากนั้นจะนำสารที่เลือกไปประยุกต์ใช้ในการตรวจหาไอของ TNT และทดสอบการตรวจหา TNT จากมือและเสื้อผ้าของบุคคลที่ปฏิบัติงานเกี่ยวข้องกับวัตถุระเบิด TNT ในภาคสนาม โดยมีวิธีการดำเนินงานวิจัยดังนี้

4.1 การศึกษาเปรียบเทียบสมบัติการวาวแสงของกระดาษทดสอบที่เคลือบสาร ANC หรือ TAP และการลดลงของการวาวแสงของกระดาษทดสอบที่เคลือบสาร ANC หรือ TAP เมื่อสัมผัสกับวัตถุระเบิด TNT ในห้องปฏิบัติการ

4.1.1 เตรียมกระดาษเคลือบสารละลาย ANC หรือ TAP โดยหยดสารละลายของสารวาวแสง ANC หรือ TAP ลงบนกระดาษที่ทำเป็นหลุมทดสอบที่เคลือบขอบหลุมด้วยไข (Wax) ด้วยเครื่องพิมพ์ไข (Wax Printer) เพื่อกักให้สารวาวแสงจำกัอยู่ในบริเวณทดสอบ โดยศึกษาความเข้มข้นของสารละลายสารวาวแสงที่ใช้ในการเคลือบ 3 ความเข้มข้น ได้แก่ 0.5, 1.0 และ 5.0 mM โดยสารวาวแสงละลายในตัวทำละลายเตตระไฮโดรฟูแรน และปริมาตรที่ใช้ในการเคลือบ แต่ละความเข้มข้นคือ 5 μ L ตัวอย่างการเคลือบสารละลายสารวาวแสงลงบนกระดาษทดสอบแสดงดังภาพที่ 3

4.1.2 เปรียบเทียบการวาวแสงภายใต้หลอด Black light ของกระดาษทดสอบที่เตรียมได้จากข้อ 4.1.1 เปรียบเทียบกับกระดาษที่ไม่ได้เคลือบสารวาวแสง

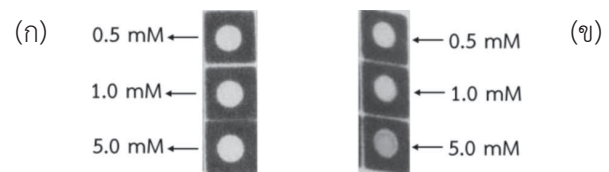
4.1.3 หยดสารละลาย TNT ในเอทานอลเข้มข้น 50 mM ลงบนกระดาษทดสอบ หลังจากนั้นนำกระดาษทดสอบไปทดสอบการวาวแสงภายใต้ Black light



ภาพที่ 3 แสดงวิธีการเคลือบสารละลายสารวาวแสง (ANC หรือ TAP) ลงบนกระดาษทดสอบ

จากการศึกษาเปรียบเทียบสมบัติการวาวแสงของกระดาษที่เคลือบสาร ANC หรือ TAP และการลดลงของการวาวแสงของกระดาษเมื่อสัมผัสกับวัตถุระเบิด TNT ในห้องปฏิบัติการพบว่ากระดาษที่เคลือบสารวาวแสง ANC ความเข้มข้น 5 mM จะสังเกตเห็นการวาวแสงด้วยตาเปล่าได้อย่างชัดเจน ทำให้เมื่อกระดาษดังกล่าวสัมผัสกับ TNT

จึงสังเกตเห็นการลดลงของการวาวแสงได้อย่างชัดเจนด้วย สำหรับกระดาษทดสอบที่เคลือบสารละลาย ANC ที่มีความเข้มข้นลดลงจะสังเกตเห็นการวาวแสงด้วยตาชัดเจนน้อยลง ทำให้เมื่อกระดาษดังกล่าวสัมผัสกับ TNT จึงสังเกตเห็นการลดลงของการวาวแสงได้ชัดเจนน้อยลงด้วย ในขณะที่กระดาษที่เคลือบสารวาวแสง TAP นั้นพบว่า เมื่อทิ้งกระดาษไว้นานทั้งกระดาษจะกลายเป็นสีน้ำตาล โดยเฉพาะกระดาษที่เคลือบสารละลาย TAP ที่มีความเข้มข้นมากขึ้น สีของกระดาษทดสอบจะเข้มมากขึ้น ทำให้ยากต่อการสังเกตการเกิดการวาวแสงของกระดาษทดสอบ และการลดลงของการวาวแสงของกระดาษทดสอบเมื่อสัมผัสกับ TNT โดยสีของกระดาษทดสอบที่ทำการเคลือบด้วยสารละลาย ANC และ TAP ที่ความเข้มข้นต่างๆ แสดงดังภาพที่ 4 จากผลการทดลองนี้จึงสรุปได้ว่ากระดาษทดสอบที่เหมาะสมในการสังเกตการวาวแสงและการลดลงของการวาวแสงเมื่อสัมผัสกับ TNT คือกระดาษทดสอบที่เคลือบสารละลาย ANC 5.0 mM ดังนั้นในการทดลองต่อไปในงานวิจัยนี้จะทดลองโดยใช้กระดาษทดสอบที่เคลือบด้วยสารละลาย ANC 5.0 mM



ภาพที่ 4 แสดงกระดาษทดสอบที่เคลือบด้วยสารละลายวาวแสงความเข้มข้น 0.5, 1.0 และ 5.0 mM

(ก) กระดาษทดสอบที่เคลือบสารละลาย ANC

(ข) กระดาษทดสอบที่เคลือบสารละลาย TAP

4.2 การหาความเฉพาะเจาะจงในการลดลงของการวาวแสงของกระดาษทดสอบที่เคลือบสาร ANC

การทดสอบความเฉพาะเจาะจงในการลดลงของการวาวแสงของกระดาษทดสอบที่เคลือบด้วยสารละลาย ANC 5.0 mM จะทำการศึกษาโดยให้กระดาษทดสอบ

สัมผัส กับ TNT และสารเคมีที่มีโครงสร้างทางเคมี คล้าย TNT ได้แก่ Picric Acid, 2,6-Dinitrotoluene (2,6 – DNT), 4-Nitroaniline สารวัตถุระเบิด ได้แก่ Pentaerythritol tetranitrate (PETN), Ammonium nitrate (NH_4NO_3) สารที่ถูกใช้เป็นส่วนประกอบใน วัตถุระเบิด ได้แก่ Potassium nitrate (KNO_3), Urea และสารประกอบอื่น ได้แก่ Naphthalene และการบูร โดยสารละลายทุกตัวที่ใช้ทดสอบเป็นสารละลายที่มีความเข้มข้น 50 mM เท่ากัน โดยมีขั้นตอนดังนี้

4.2.1 เตรียมสารละลาย ANC ที่ความเข้มข้น 5.0 mM ในตัวทำละลายเตตระไฮโดรฟูแรนเคลือบบน กระดาษทดสอบ

4.2.2 เตรียมสารละลายสำหรับใช้สัมผัสกับ กระดาษทดสอบเพื่อศึกษาความเฉพาะเจาะจงในการลด ลงของการวาวแสงของกระดาษทดสอบ ได้แก่สารละลาย TNT, Picric Acid, 2,6-DNT, 4-Nitroaniline, PETN, Naphthalene และการบูร โดยเตรียมในตัวทำละลาย เอทานอล และสารละลาย NH_4NO_3 , KNO_3 และ Urea เตรียมในตัวทำละลายน้ำ โดยสารละลายที่ใช้สัมผัสกับ กระดาษทดสอบทุกชนิดมีความเข้มข้น 50 mM

4.2.3 หยดสารละลายที่ต้องการทดสอบความ เฉพาะเจาะจงในการลดลงของการวาวแสงของกระดาษ ทดสอบที่เคลือบ ANC หลังจากนั้นสังเกตการลดลงของ การวาวแสงภายใต้หลอด Black light

4.3 การหาขีดจำกัดของการตรวจวัด (Detection Limit) TNT ด้วยกระดาษทดสอบที่เคลือบ ANC

หยดสารละลาย TNT ความเข้มข้น 0.1, 0.2, 0.5 และ 5.0 mM ปริมาตร 5 μL ลงบนกระดาษหุ่มทดสอบ ที่เคลือบด้วยสารละลาย ANC ที่ความเข้มข้น 5.0 mM แต่ละหุ่มทดสอบ จากนั้นสังเกตการลดลงของการวาว แสงภายใต้หลอด Black light

4.4 การทดสอบการลดลงของการวาวแสงของ กระดาษที่เคลือบ ANC เมื่อสัมผัสกับไอของ TNT ใน ภาชนะปิด

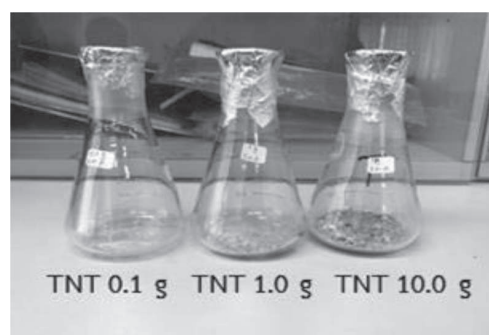
ทำการทดสอบโดยใช้กระดาษทดสอบที่เคลือบ ด้วยสารละลาย ANC ที่ความเข้มข้น 5.0 mM ติดลงบน กระดาษอะลูมิเนียมฟอยล์ที่ปิดอยู่บนปากขวดรูปชมพู่ ปริมาตร 150 mL ที่บรรจุเกล็ด TNT น้ำหนักต่างๆ ดังนี้

ขวดใบที่ 1 เกล็ด TNT 0.1 กรัม

ขวดใบที่ 2 เกล็ด TNT 1.0 กรัม

ขวดใบที่ 3 เกล็ด TNT 10.0 กรัม

ขวดรูปชมพู่ที่บรรจุเกล็ด TNT แสดงในภาพที่ 5 หลังจากนั้นสังเกตการลดลงของการวาวแสงภายใต้หลอด Black light เมื่อเวลาผ่านไป 1, 2 และ 3 วัน

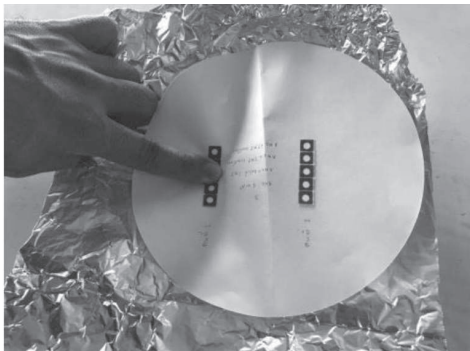


ภาพที่ 5 เกล็ด TNT ในขวดรูปชมพู่ที่มีกระดาษทดสอบเคลือบ ANC ติดบนอะลูมิเนียมฟอยล์ที่ปิดอยู่

4.5 การตรวจสอบหา TNT จากมือและเสื้อผ้าของ ผู้ที่ประกอบวัตถุระเบิด TNT

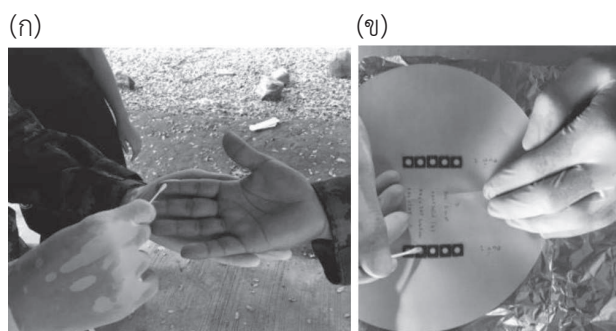
การตรวจสอบหาสาร TNT จากมือและเสื้อผ้า ของผู้ที่ประกอบวัตถุระเบิด TNT ทำการเก็บตัวอย่าง จากอาจารย์ของส่วนวิชาทหาร โรงเรียนนายร้อยพระ จุลจอมเกล้า ที่ทำการประกอบวัตถุระเบิด TNT เพื่อ ทำการสาธิตการจุดระเบิด TNT จำนวน 3 นาย ทำการ ทดลองซ้ำนายละ 2 ครั้ง โดยการทดสอบใช้กระดาษ ทดสอบที่เคลือบด้วยสารละลาย ANC เข้มข้น 5.0 mM ทดสอบด้วยวิธีต่าง ๆ ดังนี้

4.5.1 การทดสอบวิธีที่ 1 นำนิ้วของผู้ที่ประกอบวัตถุระเบิด TNT ป้ายลงบนกระดาษทดสอบที่เคลือบ ANC โดยตรง ดังภาพที่ 6 จากนั้นสังเกตการลดลงของการวาวแสงภายใต้หลอด Black light



ภาพที่ 6 การใช้นิ้วของผู้ที่สัมผัสวัตถุระเบิด TNT ป้ายลงบนกระดาษทดสอบที่เคลือบ ANC โดยตรง

4.5.2 การทดสอบวิธีที่ 2 ทำการเช็ด (Swab) มือของผู้ที่ประกอบวัตถุระเบิด TNT ด้วยก้านสำลี (Cotton bud) ชุบตัวทำลายเอทานอล จากนั้นนำก้านสำลีแตะลงบนกระดาษทดสอบที่เคลือบ ANC ดังภาพที่ 7 สังเกตการลดลงของการวาวแสงภายใต้หลอด Black light



ภาพที่ 7 การตรวจหา TNT จากมือของผู้ที่ประกอบวัตถุระเบิด

(ก) แสดงการเช็ดมือของผู้ที่ประกอบวัตถุระเบิด TNT ด้วยก้านสำลีชุบเอทานอล สาร ANC

(ข) แสดงการป้ายก้านสำลีลงบนกระดาษทดสอบที่เคลือบ

4.5.3 การทดสอบวิธีที่ 3 ทำการเช็ดเสื้อผ้าของผู้ที่ประกอบวัตถุระเบิด TNT ด้วยก้านสำลีชุบตัวทำลายเอทานอล จากนั้นนำก้านสำลีแตะลงบนกระดาษทดสอบที่เคลือบ ANC ดังภาพที่ 8 สังเกตการลดลงของการวาวแสงภายใต้หลอด Black light

(ก)



(ข)



ภาพที่ 8 การตรวจหา TNT จากเสื้อผ้าของผู้ที่ประกอบวัตถุระเบิด

(ก) แสดงการเช็ดเสื้อผ้าของผู้ประกอบวัตถุระเบิด TNT ด้วยก้านสำลีชุบเอทานอล

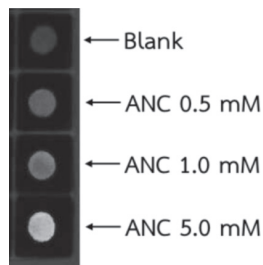
(ข) แสดงการป้ายก้านสำลีลงบนกระดาษทดสอบที่เคลือบสาร ANC

5. ผลการศึกษา

5.1 ผลการศึกษาเปรียบเทียบสมบัติการวาวแสงของกระดาษทดสอบที่เคลือบสาร ANC หรือ TAP และการลดลงของการวาวแสงของกระดาษทดสอบที่เคลือบสาร ANC หรือ TAP เมื่อสัมผัสกับวัตถุระเบิด TNT ในห้องปฏิบัติการได้ผลดังนี้

5.1.1 ผลการศึกษาสมบัติการวาวแสงของกระดาษทดสอบที่เคลือบสาร ANC และการลดลงของการวาวแสงของกระดาษทดสอบที่เคลือบสาร ANC เมื่อสัมผัสกับวัตถุระเบิด TNT พบว่ากระดาษทดสอบที่เคลือบสารละลาย ANC เข้มข้น 5.0 mM สามารถสังเกตเห็นการวาวแสงได้ชัดเจนกว่ากระดาษทดสอบที่เคลือบสารละลาย ANC ที่ความเข้มข้น 1.0 และ 0.5 mM ตามลำดับ และเมื่อหยดสารละลาย TNT เข้มข้น 50.0 mM ลงบนกระดาษทดสอบที่เคลือบสารละลาย ANC เข้มข้น 5.0 mM จะสามารถสังเกตการลดลงของการวาวแสงได้ชัดเจนกว่า

การหดยสารละลาย TNT ลงบนกระดาษทดสอบที่เคลือบสารละลาย ANC 1.0 และ 0.5 mM ตามลำดับการวาวแสงของกระดาษทดสอบที่เคลือบสารละลาย ANC ความเข้มข้นต่างๆ แสดงดังภาพที่ 9



ภาพที่ 9 แสดงการวาวแสงของกระดาษทดสอบที่เคลือบสารละลาย ANC ที่ความเข้มข้น 0.5 mM, 1.0 mM และ 5.0 mM

5.1.2 ผลการศึกษาสมบัติการวาวแสงของกระดาษทดสอบที่เคลือบสาร TAP และการลดลงของการวาวแสงของกระดาษทดสอบที่เคลือบสาร TAP เมื่อสัมผัสกับวัตถุระเบิด TNT พบว่ากระดาษทดสอบที่เคลือบสารละลาย TAP เข้มข้น 0.5 mM สามารถสังเกตเห็นการวาวแสงได้ชัดเจนกว่ากระดาษทดสอบที่เคลือบสารละลาย TAP ที่ความเข้มข้น 1.0 และ 5.0 mM ตามลำดับ และเมื่อหดยสารละลาย TNT เข้มข้น 50.0 mM ลงบนกระดาษทดสอบที่เคลือบสารละลาย TAP เข้มข้น 0.5 mM จะสามารถสังเกตเห็นการลดลงของการวาวแสงได้ชัดเจนกว่าการหดยสารละลาย TNT ลงบนกระดาษทดสอบที่เคลือบสารละลาย TAP 1.0 และ 5.0 mM ตามลำดับ สาเหตุที่กระดาษที่เคลือบ TAP ที่ความเข้มข้น 0.5 mM เกิดการวาวแสงที่สามารถสังเกตเห็นได้ชัดเจนกว่ากระดาษที่เคลือบ TAP ที่ความเข้มข้น 1.0 และ 5.0 mM เนื่องมาจาก

สารละลาย TAP ที่มีความเข้มข้นสูงขึ้น สารละลายจะเริ่มมีสีเข้มชัดเจนขึ้นทำให้เมื่อเคลือบลงบนกระดาษกรองจะทำให้กระดาษทดสอบมีสีน้ำตาลทำให้สังเกตการวาวแสงด้วยตาได้ไม่ชัดเจน ส่งผลให้เมื่อกระดาษดังกล่าวสัมผัสกับ TNT จะสังเกตเห็นการลดลงของการวาวแสงด้วยตาได้ไม่ชัดเจนเช่นกัน

5.1.3 ผลการศึกษาเปรียบเทียบการสังเกตการวาวแสงของกระดาษทดสอบที่เคลือบสาร ANC หรือสาร TAP และการลดลงของการวาวแสงของกระดาษทดสอบที่เคลือบสาร ANC หรือสาร TAP เมื่อสัมผัสกับวัตถุระเบิด TNT ดังแสดงในตารางที่ 1 พบว่ากระดาษทดสอบที่เคลือบสารละลาย ANC 5.0 mM สามารถสังเกตการวาวแสง และการลดลงของการวาวแสงเมื่อกระดาษทดสอบสัมผัสกับวัตถุระเบิด TNT ได้ชัดเจนที่สุดเมื่อเทียบกับกระดาษทดสอบที่เคลือบด้วยสารละลาย ANC ที่ความเข้มข้นต่ำกว่า สำหรับกระดาษทดสอบที่เคลือบด้วยสาร TAP จะสังเกตเห็นการวาวแสงได้ชัดเจนน้อยกว่ากระดาษทดสอบที่เคลือบสาร ANC ที่ความเข้มข้นเท่ากัน เนื่องจากกระดาษที่เคลือบสารละลาย TAP จะมีสีน้ำตาล ทำให้รบกวนการสังเกตเห็นการวาวแสง และการลดลงของการวาวแสงของกระดาษทดสอบ ดังนั้นในการทดลองต่อไปในงานวิจัยนี้จะเลือกใช้กระดาษทดสอบที่เคลือบด้วยสารละลาย ANC 5.0 mM เนื่องจากเป็นกระดาษทดสอบที่มองเห็นการวาวแสงได้ชัดเจนที่สุด และเมื่อนำกระดาษทดสอบที่เคลือบสารละลาย ANC 5.0 mM ไปสัมผัสกับวัตถุระเบิด TNT สามารถสังเกตเห็นการลดลงของการวาวแสงได้ชัดเจนที่สุดเช่นเดียวกัน ซึ่งผลการวาวแสงของกระดาษทดสอบที่เคลือบสารละลาย ANC ความเข้มข้นต่างๆ เทียบกับการวาวแสงของกระดาษทดสอบที่เคลือบสารละลาย TAP ความเข้มข้นต่างๆ แสดงผลดังตารางที่ 1 และภาพที่ 10

ตารางที่ 1 ผลจากการสังเกตการวาวแสงและการลดลงของการวาวแสงของกระดาษทดสอบที่เคลือบสารละลาย ANC หรือ TAP ก่อนและหลังสัมผัสกับวัตถุระเบิด TNT

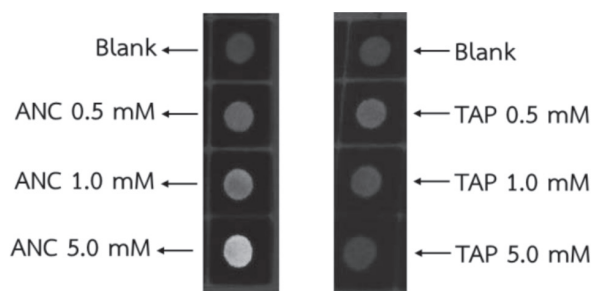
สารที่ใช้เคลือบกระดาษทดสอบ	การเกิดการวาวแสง (Fluorescence)	การลดลงของการวาวแสง (Fluorescence Quenching) หลังสัมผัสกับ TNT
กระดาษไม่เคลือบสาร (Blank)	NF	-
สารละลาย ANC 0.5 mM	F	Q+
สารละลาย ANC 1.0 mM	F+	Q+
สารละลาย ANC 5.0 mM	F++	Q++
สารละลาย TAP 0.5 mM	F+	Q+
สารละลาย TAP 1.0 mM	F	Q
สารละลาย TAP 5.0 mM	F	Q

F หมายถึง เกิดการวาวแสง

NF หมายถึง ไม่เกิดการวาวแสง

Q หมายถึง เกิดการลดลงของการวาวแสง

+ หมายถึง ความชัดเจนในการสังเกต



ภาพที่ 10 แสดงการวาวแสงของกระดาษทดสอบที่เคลือบสารละลาย ANC ความเข้มข้นต่างๆ เทียบกับการวาวแสงของกระดาษทดสอบที่เคลือบสารละลาย TAP ความเข้มข้นต่างๆ

5.2 ผลการทดสอบความเฉพาะเจาะจงในการลดลงของการวาวแสงของกระดาษทดสอบที่เคลือบสาร ANC

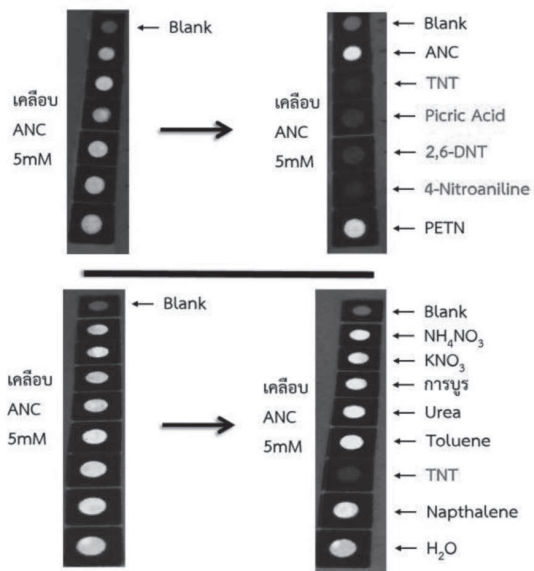
จากผลการสังเกตการลดลงของการวาวแสงของกระดาษที่เคลือบสารละลาย ANC เมื่อสัมผัสกับวัตถุระเบิด TNT และสารชนิดอื่น ดังแสดงในตารางที่ 2 และภาพที่ 11 พบว่านอกจากวัตถุระเบิด TNT ที่สามารถเกิดอันตรกิริยากับกระดาษทดสอบที่เคลือบสารละลาย ANC แล้ว มีสารอีก 3 ชนิด ที่สามารถสังเกตเห็นการลดลงของการวาวแสงของกระดาษทดสอบได้อย่างชัดเจน ได้แก่ Picric acid, 2,6-DNT และ 4-Nitroaniline ขณะที่สารที่เป็นวัตถุระเบิดหรือสารที่เกี่ยวข้องกับวัตถุระเบิดชนิดอื่นๆ ไม่สามารถทำให้เกิดการลดลงของการวาวแสงของกระดาษทดสอบได้ ซึ่งจากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าสารทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ TNT, Picric acid, 2,6-DNT และ 4-Nitroaniline ที่สามารถทำให้กระดาษทดสอบมีการวาวแสงลดลงเป็นสารที่โครงสร้างเป็น Nitro aromatic เท่านั้น

ตารางที่ 2 ผลการสังเกตการลดลงของการวาวแสงของกระดาษที่เคลือบสารละลาย ANC เมื่อสัมผัสกับวัตถุระเบิด TNT และสารชนิดอื่น

สารตัวอย่างที่ใช้สัมผัสกับกระดาษทดสอบเคลือบ ANC	ผลการลดลงของการวาวแสงหลังสัมผัสกับสารตัวอย่าง
1. สารวัตถุระเบิดและสารที่ใช้เป็นส่วนประกอบในวัตถุระเบิด	
1.1 TNT	Q
1.2 PETN	NQ
1.3 NH_4NO_3	NQ
1.4 KNO_3	NQ
1.5 Urea	NQ
1.6 Picric acid	Q
1.7 2,6-DNT	Q
2. สารประกอบอื่นๆ	
2.1 4-Nitroaniline	Q
2.2 Naphthalene	NQ
2.3 Camphor (การบูร)	NQ

Q หมายถึง เกิดการลดลงของการวาวแสง

NQ หมายถึง ไม่เกิดการลดลงของการวาวแสง

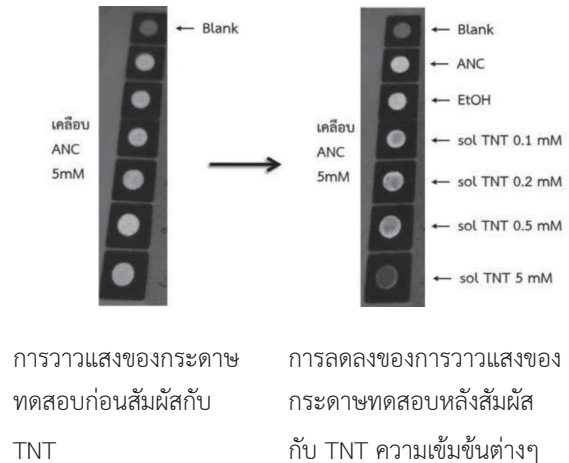


การวาวแสงของกระดาศ การลดลงของการวาวแสงของ
ทดสอบก่อนสัมผัส กระดาศทดสอบหลังสัมผัส

ภาพที่ 11 ผลการทดสอบการลดลงของการวาวแสงของกระดาศ
ที่เคลือบสารละลาย ANC เมื่อสัมผัสกับวัตถุระเบิด
TNT และสารชนิดอื่น

5.3 ผลการทดสอบการหาขีดจำกัดของการตรวจวัด
(Detection Limit) TNT ของกระดาศทดสอบที่เคลือบ
ANC โดยเมื่อนำกระดาศทดสอบที่เคลือบสาร ANC มา
ทำการหยดสารละลาย TNT ความเข้มข้น 0.1, 0.2, 0.5
และ 5.0 mM ปริมาตร 5 μ L ลงบนกระดาศทดสอบ
และสังเกตการลดลงของการวาวแสงของกระดาศทดสอบ
เทียบกับการวาวแสงของกระดาศทดสอบก่อนสัมผัสกับ
TNT พบว่าเมื่อหยดสารละลาย TNT 0.1 mM ลงบน
กระดาศทดสอบ จะสามารถสังเกตเห็นการลดลงของการ
วาวแสงได้เพียงเล็กน้อยและไม่ชัดเจน แต่เมื่อเพิ่มความ
เข้มข้นของสารละลาย TNT ที่หยดลงบนกระดาศทดสอบ
เป็น 0.2 และ 0.5 mM จะเริ่มสังเกตเห็นการลดลงของการ
วาวแสงของกระดาศทดสอบได้ชัดเจนขึ้น และเมื่อเทียบกับ
ผลการหยดสารละลาย TNT เข้มข้น 5.0 mM ลดลง
บนกระดาศทดสอบ จะสามารถเห็นการลดลงของการวาว

แสงได้อย่างชัดเจนที่สุด ดังภาพที่ 12 ดังนั้นเมื่อนำคำนวณ
ปริมาณ TNT น้อยที่สุด จากการหยดสารละลาย TNT เข้ม
ข้น 5.0 mM ปริมาตร 5 μ L ลงบนกระดาศทดสอบแล้ว
ทำให้สังเกตเห็นการลดลงของการวาวแสงด้วยตาชัดเจน
ที่สุด คือ ปริมาณ TNT 5.675 μ g

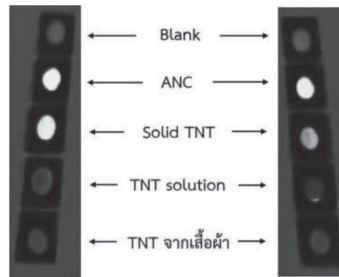


การวาวแสงของกระดาศ การลดลงของการวาวแสงของ
ทดสอบก่อนสัมผัสกับ กระดาศทดสอบหลังสัมผัส
TNT กับ TNT ความเข้มข้นต่างๆ

ภาพที่ 12 ผลการทดสอบการหาขีดจำกัดการตรวจวัด TNT ด้วย
กระดาศทดสอบที่เคลือบ ANC

5.4 ผลการทดสอบการลดลงของการวาวแสงของ
กระดาศที่เคลือบ ANC เมื่อสัมผัสกับไอของ TNT ใน
ภาชนะปิดพบว่ากระดาศทดสอบที่เคลือบสาร ANC ที่ติด
อยู่บนกระดาศอะลูมิเนียมฟอยล์และปิดอยู่บนปากขวด
รูปชมพู่ขนาด 150 mL ที่บรรจุเกล็ด TNT น้ำหนัก 0.1,
1.0 และ 10.0 กรัม พบว่ากระดาศทดสอบที่อยู่ในขวดที่
มีไอของ TNT น้ำหนัก 10.0 กรัม จะสังเกตเห็นการลดลง
ของการวาวแสงของกระดาศทดสอบได้เมื่อเวลาผ่านไป
1 วัน ส่วนกระดาศทดสอบที่อยู่ในขวดที่มีไอของ TNT
น้ำหนัก 1.0 กรัม และ 0.1 กรัม จะสังเกตเห็นการลดลง
ของการวาวแสงของกระดาศทดสอบได้เมื่อเวลาผ่านไป
2 วัน และ 3 วัน ตามลำดับ จากผลการทดลองจึงสรุป
กระดาศทดสอบที่เคลือบสาร ANC สามารถลดการวาว
แสงได้เมื่อกระดาศทดสอบสัมผัสกับไอของ TNT ปริมาณ
มากพอ

5.5 ผลการตรวจสอบหาสารตกค้างของ TNT จากมือและเสื้อผ้าของผู้ที่ปฏิบัติงานเกี่ยวข้องกับวัตถุระเบิด TNT โดยการสังเกตการวาวแสงของกระดาศทดสอบที่เคลือบสารละลาย ANC 5.0 mM ได้ผลการทดสอบ แสดงดังภาพที่ 13



ผู้ประกอบ TNT คนที่ 1

ผู้ประกอบ TNT คนที่ 2

ภาพที่ 13 ผลการตรวจสอบหา TNT จากมือและเสื้อผ้าของผู้ที่ปฏิบัติงานเกี่ยวข้องกับวัตถุระเบิด TNT

กระดาศทดสอบแถวที่ 1 เป็นกระดาศที่ไม่เคลือบสารละลาย ANC ซึ่งจะไม่เห็นการวาวแสงของกระดาศภายใต้ Black light

กระดาศทดสอบแถวที่ 2 เป็นกระดาศที่เคลือบสารละลาย ANC 5.0 mM สังเกตเห็นการวาวแสงของกระดาศด้วยตาได้อย่างชัดเจน

กระดาศทดสอบแถวที่ 3 เป็นกระดาศที่เคลือบสารละลาย ANC 5.0 mM หลังจากนั้นนำนิ้วของผู้ที่ประกอบวัตถุระเบิด TNT ป้ายลงบนกระดาศทดสอบที่เคลือบ ANC โดยตรง จะสังเกตเห็นการลดลงของการวาวแสงด้วยตาไม่ชัดเจน

กระดาศทดสอบแถวที่ 4 เป็นกระดาศที่เคลือบสารละลาย ANC 5.0 mM หลังจากนั้นนำก้อนสำลีชุบเอทานอลที่ผ่านการเช็ดมือของผู้ที่ประกอบวัตถุระเบิด TNT ป้ายลงบนกระดาศทดสอบที่เคลือบ ANC โดยตรง จะสังเกตเห็นการลดลงของการวาวแสงด้วยตาชัดเจน

กระดาศทดสอบแถวที่ 5 เป็นกระดาศที่เคลือบสารละลาย ANC 5.0 mM หลังจากนั้นนำก้อนสำลีชุบเอทานอลที่ผ่านการเช็ดเสื้อผ้าของผู้ที่ประกอบวัตถุระเบิด TNT ป้ายลงบนกระดาศทดสอบที่เคลือบ ANC โดยตรง จะสังเกตเห็นการลดลงของการวาวแสงด้วยตาชัดเจน

6. สรุปและอภิปรายผล

6.1 จากผลการวิจัยพบว่าสารละลายของสารวาวแสง ANC เป็นสารละลายใสไม่มีสี ทำให้เมื่อนำสารละลาย ANC ไปเคลือบบนกระดาศทดสอบ สามารถสังเกตเห็นการวาวแสงของกระดาศทดสอบ และการลดลงของการวาวแสงของกระดาศทดสอบเมื่อสัมผัสกับ TNT ได้อย่างชัดเจน โดยเฉพาะเมื่อใช้สารละลาย ANC เข้มข้น 5.0 mM ปริมาตร 5 μ L เคลือบลงบนกระดาศทดสอบจะสามารถสังเกตเห็นการวาวแสงของกระดาศทดสอบ และการลดลงของการวาวแสงเมื่อกระดาศทดสอบสัมผัสกับ TNT ได้ชัดเจนที่สุด ในขณะที่สีของสารละลายของสารวาวแสง TAP มีสีค่อนข้างไปทางสีส้ม ทำให้เมื่อนำสารละลาย TAP ไปเคลือบบนกระดาศทดสอบจึงเกิดเป็นสีน้ำตาลทำให้ไม่สามารถสังเกตเห็นการวาวแสงของกระดาศทดสอบ และการลดลงของการวาวแสงของกระดาศทดสอบเมื่อสัมผัสกับ TNT ได้อย่างชัดเจน จึงได้ข้อสรุปว่าสารวาวแสง ANC มีความเหมาะสมกว่าสารวาวแสง TAP ในการใช้เคลือบลงบนกระดาศทดสอบเพื่อใช้ในการตรวจหาวัตถุระเบิด TNT ในภาคสนาม โดยเฉพาะเมื่อใช้สารละลาย ANC เข้มข้น 5.0 mM เคลือบลงบนกระดาศทดสอบ

6.2 เมื่อนำสารละลาย ANC ในเตตระไฮโดรฟูแรน 5.0 mM เคลือบลงบนกระดาศกรองที่ทำเป็นกระดาศหลุมทดสอบที่เคลือบขอบหลุมทดสอบด้วยไข (Wax) สังเกตเห็นการวาวแสงของกระดาศทดสอบด้วยตาอย่างชัดเจนภายใต้หลอด Black light และเมื่อนำกระดาศทดสอบดังกล่าวไปหยดสารละลาย TNT พบว่าสังเกตเห็นการลดลงของการวาวแสงของกระดาศทดสอบด้วยตาเปล่าอย่างชัดเจน แต่จะไม่สามารถสังเกตเห็นการลด

ลงของการวาวแสงของกระดาษทดสอบหากเปลี่ยนจากสารละลาย TNT เป็นวัตถุระเบิดตัวอื่น ได้แก่ PETN และ Ammonium nitrate หรือสารประกอบชนิดอื่นที่ใช้เป็นส่วนประกอบในวัตถุระเบิด เช่น Potassium nitrate และ Urea หรือสารประกอบอื่นๆ เช่น Naphthalene และการบูร เป็นต้น อย่างไรก็ตามพบว่านอกจาก TNT แล้วสารที่สามารถทำให้กระดาษทดสอบที่เคลือบสาร ANC ลดการวาวแสงได้ คือ Picric acid, 2,6-Dinitrotoluene (DNT) และ 4-Nitroaniline ซึ่งสารประกอบที่สามารถลดการวาวแสงของกระดาษทดสอบได้ทั้งหมดเป็นสารประกอบประเภท Nitro aromatic และจากการหาขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัด (Detection Limit) วัตถุระเบิด TNT เมื่อใช้กระดาษทดสอบที่เคลือบด้วยสารละลาย ANC เข้มข้น 5.0 mM พบว่าสารละลาย TNT ในเอทานอลเข้มข้น 5 mM ปริมาตร 5 μ L ซึ่งคิดเป็นปริมาณ TNT 5.675 μ g ทำให้กระดาษทดสอบเกิดการลดลงของการวาวแสงจนสามารถสังเกตด้วยตาอย่างชัดเจน

6.3 กระดาษทดสอบที่เคลือบสารละลาย ANC เข้มข้น 5.0 mM สามารถตรวจหาไอของ TNT ได้ โดยไม่จำเป็นต้องให้ TNT สัมผัสกับกระดาษทดสอบโดยตรง ซึ่งจากการทดลองพบว่าเมื่อนำกระดาษทดสอบที่เคลือบสารละลาย ANC ติดด้านในกระดาษอะลูมิเนียมฟอยล์และปิดอยู่บนปากขวดรูปชมพู่ขนาด 150 mL ที่บรรจุเกล็ด TNT น้ำหนัก 0.1, 1.0 และ 10.0 กรัม พบว่ากระดาษทดสอบที่อยู่ในขวดที่มีไอของผง TNT น้ำหนัก 10.0 กรัม 1.0 กรัม และ 0.1 กรัมจะสังเกตเห็นการลดลงของการวาวแสงของกระดาษทดสอบได้ด้วยตาอย่างชัดเจนเมื่อเวลาผ่านไป 1 วัน 2 วัน และ 3 วัน ตามลำดับ

6.4 สามารถประยุกต์ใช้กระดาษทดสอบที่เคลือบสารละลาย ANC 5.0 mM ตรวจหา TNT จากมือและเสื้อผ้าของบุคคลที่ปฏิบัติงานเกี่ยวข้องกับวัตถุระเบิด TNT ได้ ซึ่งจากการทดสอบในภาคสนามพบว่าเมื่อนำสำลีชุบเอทานอลเช็ดบริเวณมือและเสื้อผ้าของผู้ที่ปฏิบัติงานเกี่ยวข้องกับวัตถุระเบิด TNT ป้ายลงบนกระดาษทดสอบ

กระดาษดังกล่าวเกิดการลดลงของการวาวแสงจนสามารถสังเกตได้ด้วยตาอย่างชัดเจนมากกว่าการนำมือของผู้ที่สัมผัสวัตถุระเบิด TNT มาป้ายลงบนกระดาษทดสอบที่เคลือบสารละลาย ANC โดยตรง

7. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณกรมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีกลาโหมสำหรับเงินทุนสนับสนุนงานวิจัย ขอขอบคุณกองวิชาเคมี ส่วนการศึกษา และส่วนวิชาทหารโรงเรียนนายร้อย พระจุลจอมเกล้า ที่ได้ให้การสนับสนุนงานวิจัยในห้องปฏิบัติการและภาคสนาม และขอขอบคุณภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่สนับสนุนสารวาวแสงตลอดจนเครื่องมือสำหรับใช้ในงานวิจัย

8. บรรณานุกรม

- (1) Choodum, A., et al., 2012. Rapid Quantitative Colorimetric Tests for Trinitrotoluene (TNT) in Soil. Forensic Science International, Vol. 222, p.340-345.
- (2) Department of the Army Technical Manual, 1984. TM 9-1300-214 Military Explosives, Washington D.C.: US Army, p.13-1-13-11.
- (3) นนร.พิเชษฐ์ เทือกภูเขียว และคณะ, 2559. การพิสูจน์ทราบชนิดของวัตถุระเบิดด้วยวิธีทางเคมี. รายงานโครงการวิจัย สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กองวิชาเคมี ส่วนการศึกษา โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า.
- (4) Fido explosive detectors technical overview. (From <http://www.x-raycenter.ir/index.php/phocadl?download=74%3A-fido-xt>).
- (5) แม้น อมรสิทธิ์ และคณะ, 2552. หลักการและเทคนิคการวิเคราะห์เชิงเครื่องมือ. กรุงเทพฯ: ชวนพิมพ์ 50 จำกัด หน้า 210-259.
- (6) Boonkitpatarakul, K., et al. , 2015. Fluorescent Phenylethynylene Calix(4)arenes for Sensing TNT in Aqueous Media and Vapor Phase. RSC. Advances, Vol. 5, p.33306-33311.
- (7) Niamnont, N., et al., 2013. Tunable Star-shaped Triphenylamine Fluorophores for Fluorescence Quenching Detection and Identification of Nitro-Aromatic Explosives. Chem. Commun, Vol. 49, p.780-782.