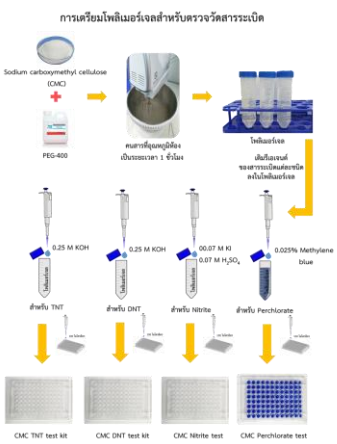
คู่มือองค์ความรู้

อุปกรณ์ตรวจวัดสารระเบิดหลายชนิดในเวลาเดียวกัน

Multi explosives analysis



โดย

รองศาสตราจารย์ ดร.วรากร ลิ่มบุตร และคณะ

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

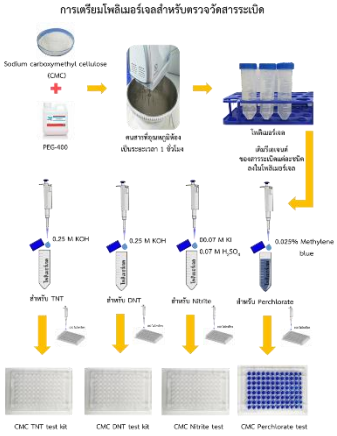
และศูนย์พิสูจน์หลักฐาน 9

ได้รับทุนอุดหนุนการจัดการความรู้การวิจัยเพื่อการใช้ประโยชน์ด้านความมั่นคง ภายใต้โครงการส่งเสริมและสนับสนุนการจัดการความรู้การวิจัยเพื่อการใช้ประโยชน์ ประจำปี 2563

คู่มือองค์ความรู้

อุปกรณ์ตรวจวัดสารระเบิดหลายชนิดในเวลาเดียวกัน

Multi explosives analysis



โดย

รองศาสตราจารย์ ดร.วรากร ลิ่มบุตร และคณะ

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

และศูนย์พิสูจน์หลักฐาน 9

ได้รับทุนอุดหนุนการจัดการความรู้การวิจัยเพื่อการใช้ประโยชน์ด้านความมั่นคง ภายใต้โครงการส่งเสริมและสนับสนุนการจัดการความรู้การวิจัยเพื่อการใช้ประโยชน์ ประจำปี 2563

คำนำ

คู่มือองค์ความรู้อุปกรณ์ตรวจวัดสารระเบิดหลายชนิดในเวลาเดียวกัน (Multi explosives analysis) ที่จัดทำขึ้นนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อถ่ายทอดองค์ความรู้ผลงานวิจัยเรื่องอุปกรณ์ตรวจวัดสารระเบิดหลายชนิดในเวลาเดียวกันเพื่อใช้ในการตรวจวัดสารระเบิด 2,4,6-ไตรไนโตรโทลูอีน, 2,4-ไดไนโตรโทลูอีน, ไนไตรท์, และเปอร์คลอเรต นอกจากนั้นยังสามารถนำไปใช้สำหรับเป็นสื่อการเรียนการสอนทางวิทยาศาสตร์ในรายวิชาเซนเซอร์ปริญญาตรี และระดับปริญญาโท-เอก โดย “อุปกรณ์ตรวจวัดสารระเบิดหลายชนิดในเวลาเดียวกัน” นี้เป็นส่วนหนึ่งที่ได้รับทุนจากจากสำนักงานสภาวิจัยแห่งชาติ ประจำปี 2563 ซึ่งเป็นโครงการการจัดการความรู้การวิจัยเพื่อการใช้ประโยชน์ด้านความมั่นคง ภายใต้โครงการส่งเสริมและสนับสนุนการจัดการความรู้การวิจัยเพื่อการใช้ประโยชน์ ประจำปี 2563

ทั้งนี้หวังเป็นอย่างยิ่งว่า คู่มือที่ได้จัดทำขึ้นเพื่อเผยแพร่นี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้อ่าน หรือผู้ที่สนใจ มีการนำองค์ความรู้ที่ได้จากจากคู่มือเล่มนี้ไปใช้ หรือมีการประยุกต์ใช้เพื่อให้เหมาะสม

วรากร ลิ่มบุตร

(รองศาสตราจารย์ ดร.วรากร ลิ่มบุตร)

หัวหน้าคณะจัดทำ

สารบัญเรื่อง

	หน้า
คำนำ	2
บทที่ 1 บทนำ	4
บทที่ 2 การเตรียมโพลิเมอร์เจลและรีเอเจนท์สำหรับตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงสีของการตรวจวัดสารระเบิดหลายชนิด	11
บทที่ 3 การเตรียมแถบสีมาตรฐานสำหรับสารระเบิดหลายชนิด	14
บทที่ 4 การประยุกต์ใช้งาน	17

บทที่ 1 บทนำ

ปัจจุบันมีการก่อเหตุสร้างความไม่สงบโดยการระเบิดเกิดขึ้นโดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่สามจังหวัดชายแดนภาคใต้ (ยะลา ปัตตานี และนราธิวาส) รวมไปถึงจังหวัดสงขลา ทำให้เกิดความเสียหายแก่ชีวิตและทรัพย์สินของประชาชนเป็นจำนวนมาก ระเบิดที่ใช้ในการก่อเหตุในสามจังหวัดภาคใต้ส่วนมากเป็นระเบิดแสวงเครื่องที่มีรูปแบบไม่แน่นอน ดังนั้นการตรวจหาชนิดของสารวัตถุระเบิด ปริมาณของสารวัตถุระเบิด และส่วนประกอบของระเบิดจากเศษซากที่เกิดขึ้นหลังการระเบิด วัตถุต้องสงสัย และวัตถุพยานที่เป็นสารระเบิดจากผู้ต้องสงสัย หรือจากสถานที่ต้องสงสัยที่อาจเกี่ยวข้องกับการประกอบวัตถุระเบิดที่ใช้ในการก่อเหตุจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง เพื่อเป็นแนวทางในการเชื่อมโยงสืบสวนสอบสวน และขยายผลในการดำเนินการจับคุมผู้ต้องสงสัย

เครื่องที่ใช้ในการตรวจยืนยันสำหรับสารวัตถุระเบิดสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ การตรวจวิเคราะห์สารระเบิดประเภทสารอินทรีย์ ได้แก่ แก๊สโครมาโทกราฟี (Gas chromatography) ร่วมกับตัวตรวจวัดชนิดอื่นเช่น FID (Flame-ionization detector), MS (Mass spectrometer), NPD (Nitrogen-phosphorus detector), ECD (Electron capture detector) เป็นต้น (Walsh et al., 2001) โครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (High-performance liquid chromatography; HPLG) (Borch & Gerlach, 2004) และเครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์สารระเบิดอนินทรีย์ ได้แก่ ไอออนโครมาโทกราฟี (Ion chromatography; IC) (Hall & McCord, 1993) และคาปิลลารี อิเลค

โทรโฟไรซีส (Capillary electrophoresis; CE) (Sarazin et al., 2010) วิธีการเหล่านี้สามารถบอกระบุชนิดและปริมาณ ได้อย่างถูกต้องและเที่ยงสูง อย่างไรก็ตามวิธีเหล่านี้มีข้อจำกัดคือ เครื่องมือขนาดใหญ่ ราคาแพง มีค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์สูง การเตรียมตัวอย่างที่ซับซ้อน ต้องอาศัยผู้ชำนาญการในการวิเคราะห์ และมีความจำเป็นทำการทดลองในห้องปฏิบัติการ แต่ในปัจจุบันได้มีการนำกล้องดิจิทัล และโทรศัพท์มือถือ (Smartphone) มาเป็นเครื่องมือที่สามารถวิเคราะห์ผลเชิงปริมาณ โดยใช้หลักการของการถ่ายภาพร่วมกับหลักการวิเคราะห์สี ซึ่งเครื่องมือมีราคาถูก และไม่ต้องอาศัยผู้ชำนาญการในการวิเคราะห์ เช่นการพัฒนาวิธีการตรวจวัดเชิงปริมาณของสารระเบิด TNT และแอมโมเนียมไนเตรท โดยโปรแกรมสำเร็จรูปที่ติดตั้งไว้บนโทรศัพท์มือถือ (Choodum et al., 2013) (Choodum et al., 2015) ทำให้ได้วิธีวิเคราะห์ปริมาณของสารระเบิดที่ง่าย ทราบผลทันที ณ เวลาจริง (Real time) แต่พบว่าค่าความไววิเคราะห์ต่ำ อย่างไรก็ตามในการวิเคราะห์หนึ่งครั้งสามารถวิเคราะห์ได้ครั้งละหนึ่งตัวอย่าง กรณีที่มีจำนวนตัวอย่างเป็นจำนวนมากทำให้ต้องใช้เวลาวิเคราะห์นาน

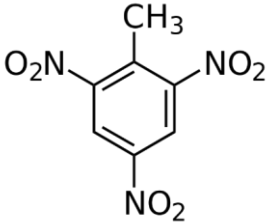
สำหรับการวิเคราะห์หลายตัวอย่างต่อการวิเคราะห์หนึ่งครั้ง ได้มีการใช้เครื่องไมโครเพลท รีดเดอร์ สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Microplate reader spectrophotometer) ร่วมกับถาดหลุมชนิด 96 หลุม (96 well microplate) มาประยุกต์ใช้สำหรับการตรวจวัดปริมาณสารฟลาโวนอยด์เอ็มในตัวอย่างใบดาวเรือง (Banavitayakij et al., 2013) วิเคราะห์หาปริมาณสารโพลิฟีนอล (Zhang et al., 2006) ตรวจวัดความสามารถในการย่อยสลายไขมันในลำไส้เล็ก (Mosgaard, Sassene, Mu, Rades, & Müllertz, 2017) และใช้ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพ

ของยา (Eichler et al., 2015) เป็นต้น แม้ว่าวิธีวิเคราะห์ดังกล่าวสามารถวิเคราะห์ได้ครั้งละหลายตัวอย่าง และมีความแม่นยำสูง แต่ต้องใช้เครื่องอ่านผลที่ขนาดใหญ่ และมีราคาแพง ใช้งานได้เฉพาะในห้องปฏิบัติการ ไม่สามารถใช้สำหรับภาคสนามหรือไม่สามารถใช้นอกห้องปฏิบัติการ ดังนั้นผู้วิจัยและคณะได้พัฒนานำเอาหลักการการตรวจวัดโดยใช้วิธีการเปลี่ยนแปลงสีโดยการเปรียบเทียบกับแถบสีมาตราฐานมาประยุกต์ใช้ร่วมกับถาดหลุมชนิด 96 หลุม สำหรับตรวจวัดสารระเบิดหลายชนิด และได้หลายตัวอย่างในเวลาเดียวกัน

โดยเราได้พัฒนาวิธีการตรวจวัดเชิงคุณภาพและกึ่งปริมาณของผลิตภัณฑ์สีของสารระเบิด 4 ชนิดพร้อมกันดังนี้ 2,4,6-ไตรไนโตรโทลูอีน (2,4,6-trinitrotoluene; TNT) 2,4-ไดไนโตรโทลูอีน (2,4-dinitrotoluene; DNT) ไนไตรท์ (nitrite) และเปอร์คลอเรต (perchlorate) เป็นโมเดลในการศึกษา เนื่องจากสารระเบิดทั้ง 4 ชนิดได้มีการนำมาใช้ในเหตุการณ์ความไม่สงบในพื้นที่ 3 จังหวัดชายแดนภาคใต้ของประเทศไทย

สารระเบิด 2,4,6-ไตรไนโตรโทลูอีน (2,4,6-Trinitrotoluene; TNT) มีสูตรทางเคมีคือ $C_6H_2(NO_2)_3CH_3$ มีสูตรโครงสร้างดังแสดงใน**รูปที่ 1.1** มีมวลโมเลกุลเท่ากับ 227.13 กรัม/โมล มีลักษณะเป็นผลึกสีเหลืองเรียวคล้ายเข็ม (Gibbs et al., 1980) ละลายในน้ำได้น้อยแต่จะละลายได้ดีในตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น อีเทอร์ (Ether) อะซิโตน (Acetone) อะซิโตไนไตรล์ (Acetonitrile) เบนซีน (Benzene) และไพริดีน (Pyridine) เป็นต้น ไตรไนโตรโทลูอีนเป็นสารวัตถุระเบิดแรงสูงที่สามารถใช้เป็นส่วนประกอบของดินขยายการระเบิด (Booster) และดินระเบิดหลัก (Main charge) ผลกระทบที่นอกเหนือจากการได้รับ

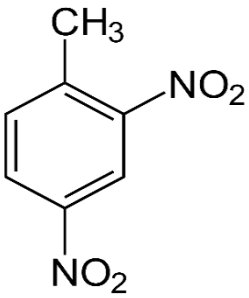
บาดเจ็บและเสียชีวิตเนื่องจากแรงระเบิดแล้ว ยังส่งผลต่อด้านสุขภาพ ทำให้เป็นโรคโลหิตจาง โรคไต โรคตับ ภูมิคุ้มกันโรคลดลง หากสูดดมกลิ่นทำให้มีอาการปวดหัว ก่อให้เกิดอาการเบื่ออาหาร และหากสัมผัสทำให้เกิดการระคายเคืองผิวหนัง และลดความสามารถในการสืบพันธุ์ของผู้ชาย (Lynch et al., 2002)



รูปที่ 1.1 สูตรโครงสร้างของ 2,4,6-ไตรไนโตรโทลูอีน

สารระเบิด 2,4-ไดไนโตรโทลูอีน (2,4-Dinitrotoluene; DNT) หรือไดไนโตร เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีสูตรทางเคมีคือ $C_7H_6N_2O_4$ มีสูตรโครงสร้างดังแสดงใน**รูปที่ 1.2** มีมวลโมเลกุลเท่ากับ 182.134 กรัม/โมล มีลักษณะเป็นผลึกสีเหลืองอ่อนหรือเกล็ดสีเหลือง เป็นที่รู้จักกันดีว่าเป็นสารตั้งต้นของไตรไนโตรโทลูอีน (Gibbs et al., 1980) และมีการใช้เป็นวัตถุระเบิดแรงดันสูง อีกทั้ง DNT เป็นผลิตภัณฑ์จากการสลายตัวของ TNT ภายหลังการระเบิด (Pinnaduwage et al., 2004) สามารถละลายในน้ำได้น้อยแต่จะละลายได้ดีในตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น อะซิโตน (Acetone) ไพริดีน (Pyridine) เอทานอล (Ethanol) อีเทอร์ (Ether) อะซิโตไนไตรล์ (Acetonitrile) เบนซีน (Benzene) และคลอโรฟอร์ม (Chloroform) เป็นต้น ยังไม่มีข้อมูลเกี่ยวกับการได้รับ 2,4-ไดไนโตรโทลูอีน อย่างเฉียบพลันในคน แต่ในกรณีที่ได้รับเรื้อรังทางการสูดดมในคน พบว่า

ส่งผลต่อระบบประสาทส่วนกลาง (Central nervous system; CNS) และระบบเลือด อีกทั้งส่งผลต่อจำนวนอสุจิและลักษณะทางสัณฐานวิทยาของตัวอสุจิมีความผิดปกติ

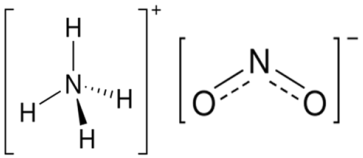


รูปที่ 1.2 สูตรโครงสร้างของ 2,4-ไดไนโตรโทลูอีน

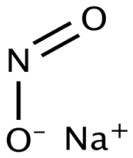
สารระเบิดไนไตรท์ (Nitrite) เป็นสารประกอบอนินทรีย์มักอยู่ในรูปของเกลือ เช่น แอมโมเนียมไนไตรท์ (Ammonium nitrite; NH_4NO_2) และโซเดียมไนไตรท์ (Sodium nitrite; $NaNO_2$) มีมวลโมเลกุลเท่ากับ 64.06 กรัม/โมล และ 69.00 กรัม/โมล ตามลำดับ มีสูตรโครงสร้างดังแสดงใน**รูปที่ 1.3** มีลักษณะเป็นเม็ดสีขาวหรือสีเหลืองอ่อน สามารถละลายในน้ำ เมทานอล (Methanol) เอทานอล (Ethanol) และแอมโมเนีย (Ammonia) ได้ดี ไนไตรท์นิยมใช้เป็นส่วนผสมของดินดำซึ่งเป็นวัตถุระเบิดแรงดันต่ำ ไนไตรท์สามารถก่อให้เกิดภาวะอาการขาดออกซิเจนได้ เนื่องจากไนไตรต์จะจับตัวกับฮีโมโกลบิน (Haemoglobin) เกิดเป็นเมทฮีโมโกลบิน

(Methaemoglobin) ทำให้ฮีโมโกลบินไม่สามารถจับตัวกับออกซิเจน ซึ่งมีความอันตรายอย่างมาก ก่อให้เกิดอาการตัวเขียว เล็บเขียว หอบเหนื่อย หัวใจเต้นแรง และอาจเสียชีวิตได้ หรือมีอาหารท้องเสียอย่างรุนแรง และพบว่าไนไตรท์สามารถผลิตสารไนโตรซามีน (Nitrosamine) ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็งได้ (Azad et al., 2014; Yadav et al., 2016)

ก



ข

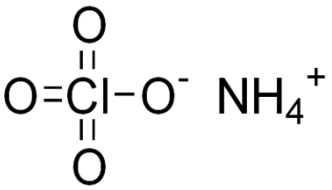


รูปที่ 1.3 สูตรโครงสร้างของแอมโมเนียมไนไตรท์ (ก) และโซเดียมไนไตรท์ (ข)

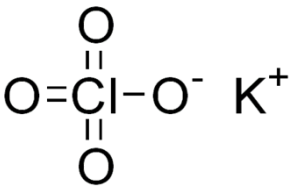
สารระเบิดเปอร์คลอเรต (Perchlorate) เป็นสารประกอบ อนินทรีย์มักอยู่ในรูปของเกลือ เช่น แอมโมเนียมเปอร์คลอเรต (Ammonium perchlorate; NH_4ClO_4) และโพแทสเซียมเปอร์คลอเรต (Potassium perchlorate; $KClO_4$) มีมวลโมเลกุลเท่ากับ 117.49 กรัม/โมล และ 138.55 กรัม/โมล ตามลำดับ มีสูตรโครงสร้างดังแสดงใน**รูปที่ 1.4** มีลักษณะเป็นผงผลึกสีขาว สามารถละลายในน้ำ อะซิโตน (Acetone) เมทานอล (Methanol) และเอทานอล (Ethanol) ได้ดี แอมโมเนียมเปอร์คลอเรตและโพแทสเซียมเปอร์คลอเรตเป็นตัว

ออกซิไดซ์ที่แรงมาก (Strong oxidizer) หากได้รับโดยการสัมผัสจะเกิดผื่นแดง หากสูดดมจะมีอาการไอ เจ็บคอ หากได้รับทางตาจะทำให้เกิดตาแดงและเกิดความเจ็บปวด และหากได้รับโดยการกินจะรู้สึกแสบร้อนทางเดินอาหาร คลื่นไส้อาเจียน และท้องร่วงได้ เปอร์คลอเรตถูกนำมาใช้เป็นสารที่ผสมกับสารระเบิดชนิดต่าง ๆ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการระเบิด เนื่องจากมีองค์ประกอบของออกซิเจนอยู่มาก (Nuntawong et al., 2013; Walsh et al., 2013)

ก



ข



รูปที่ 1.4 สูตรโครงสร้างของแอมโมเนียมเปอร์คลอเรต (ก) และโพแทสเซียมเปอร์คลอเรต (ข)

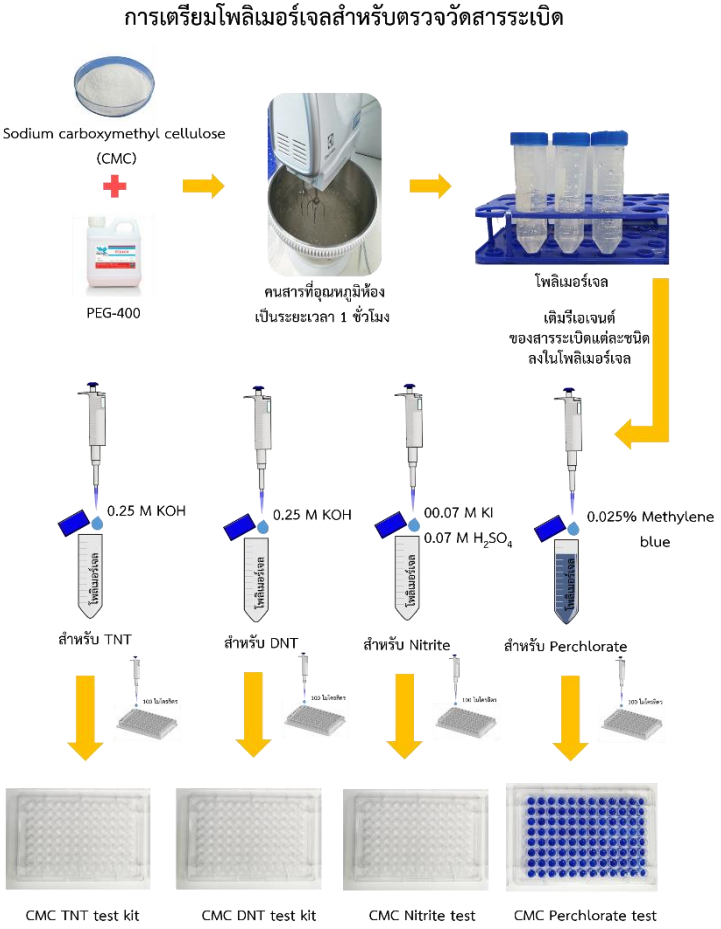
บทที่ 2 การเตรียมโพลิเมอร์เจลและรีเอเจนท์สำหรับตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงสีของการตรวจวัดสารระเบิดหลายชนิด

การเตรียมโพลิเมอร์เจลและรีเอเจนต์สำหรับตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงสีของการตรวจวัดสารระเบิดหลายชนิด เตรียมโดยการละลายคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (Carboxymethyl cellulose, CMC) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 2.5 โดยมวลต่อปริมาตรในน้ำกลั่น แล้วเติมโพลิเอทิลีน ไกลคอล 400 (Poly ethylene glycol, PEG 400) ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ทำให้โพลิเมอร์เกิดเป็นเจลได้ง่าย คนสารที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง หลักจากที่เติมรีเอเจนต์ของสารระเบิดแต่ละชนิดที่ความเข้มข้นต่างๆ ที่ปริมาตร 50 มิลลิลิตร แล้วนำสารละลายที่เตรียมได้ปริมาตร 100 ไมโครลิตรบรรจุลงใน 96 ไมโครเพลท โดยน้ำยาเคมีโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (0.25 โมลาร์) ใช้ทดสอบสารระเบิด 2,4,6-ไตรไนโตรโทลูอีน จะเรียกว่า **CMC TNT test kit** และ 2,4-ไดไนโตรโทลูอีน จะเรียกว่า **CMC DNT test kit** น้ำยาเคมีโพแทสเซียมไอโอไดด์ (0.07 โมลาร์) กับกรดซัลฟิวริก (0.07 โมลาร์) ใช้ทดสอบโซเดียมไนไตรท์ จะเรียกว่า **CMC Nitrite test kit** และน้ำยาเคมีเมทิลีน บลู (ร้อยละ 0.025 โดยมวลต่อปริมาตร) ใช้ทดสอบสารระเบิดกลุ่มเปอร์คลอเรต จะเรียกว่า **CMC Perchlorate test kit** (รูปที่ 2.1) ซึ่งโพลิเมอร์เจลที่มีการผสมกับรีเอเจนต์ของ **CMC TNT test kit**, **CMC DNT**

test kit และ **CMC Nitrite test kit** จะมีลักษณะใส ไม่มีสี แต่สำหรับโพลิเมอร์เจลที่มีการผสมกับรีเอเจนต์ของเมทิลีน บลู จะทำให้เจลที่ได้มีสีน้ำเงินใส (**CMC Perchlorate test kit**) ดังแสดงใน **ตารางที่ 2.2 และรูปที่ 2.1**

ตารางที่ 2.1 แสดงสีของเจลภายหลังเติมน้ำยาเคมีทดสอบแต่ละชนิด

CMC multi-ex test kit	CMC TNT test kit	CMC DNT test kit	CMC Nitrite test kit	CMC Perchlorate test kit
สีของเจลแต่ละชนิด				



รูปที่ 2.1 แสดงขั้นตอนการเตรียมโพลิเมอร์เจลและรีเอเจนต์สำหรับตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงสีของการตรวจวัดสารระเบิด 4ชนิด

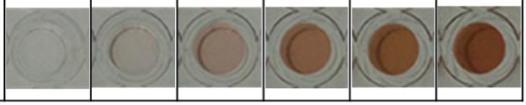
บทที่ 3 การเตรียมแถบสีมาตรฐานสำหรับสารระเบิดหลายชนิด

แถบสีมาตรฐานของสารระเบิดทั้ง 4 ชนิดเตรียมโดยนำสารมาตรฐานระเบิดใส่ลงใน CMC multi-ex test kit ที่มีน้ำยาเคมีบรรจุอยู่ในไมโครเพลท โดย CMC TNT test kit ใช้ทดสอบสารระเบิด 2,4,6-ไตรไนโตรโทลูอีน, CMC DNT test kit ใช้ทดสอบสารระเบิด 2,4-ไดไนโตรโทลูอีน, CMC Nitrite test kit ใช้ทดสอบโซเดียมไนไตรท์, และ CMC Perchlorate test kit ใช้ทดสอบสารระเบิดกลุ่มเปอร์คลอเรต ทำปฏิกิริยาเป็นระยะเวลา 5 นาที ในอัตราส่วน 1 ต่อ 1 ซึ่งสารละลายมาตรฐาน 2,4,6-ไตรไนโตรโทลูอีนทำปฏิกิริยากับ CMC TNT test kit เกิดผลิตภัณฑ์สีแดงอมน้ำตาลจากสารละลายไม่มีสี ดังแสดงใน**ตารางที่ 3.1** จะเห็นได้ว่าสีของผลิตภัณฑ์เข้มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของ 2,4,6-ไตรไนโตรโทลูอีนเพิ่มขึ้น สำหรับสารละลายมาตรฐาน 2,4-ไดไนโตรโทลูอีนทำปฏิกิริยากับ CMC DNT test kit เกิดผลิตภัณฑ์สีน้ำเงินจากสารละลายไม่มีสีพบว่าสีของผลิตภัณฑ์เข้มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของ 2,4-ไดไนโตรโทลูอีนเพิ่มขึ้น แสดงดัง**ตารางที่ 3.2**

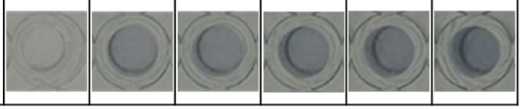
สารละลายมาตรฐานโซเดียมไนไตรท์ทำปฏิกิริยากับ CMC Nitrite test kit เกิดผลิตภัณฑ์สีเหลืองจากสารละลายไม่มีสี ดังแสดงใน**ตารางที่ 3.3** พบว่าเมื่อความเข้มข้นของโซเดียมไนไตรท์เพิ่มขึ้นสีของผลิตภัณฑ์ก็เข้มเพิ่มขึ้นเช่นกัน และสำหรับสารละลายมาตรฐานเปอร์คลอเรตทำปฏิกิริยากับ CMC Perchlorate test kit เกิด

ผลิตภัณฑ์ตะกอนสีม่วงจากสารละลายใสสีน้ำเงินโดยเมื่อความเข้มข้นของสารละลายเปอร์คลอเรตเพิ่มขึ้น สีของผลิตภัณฑ์จะเกิดตะกอนสีม่วงเพิ่มขึ้น แต่สีน้ำเงินซึ่งเป็นสีของเมทิลีน บลูจางลง ดังแสดงใน **ตารางที่ 3.4**

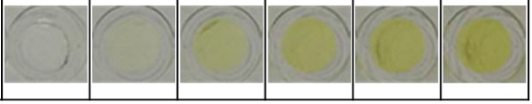
ตารางที่ 3.1 แถบสีมาตรฐานของ 2,4,6-ไตรไนโตรโทลูอีนที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ทำปฏิกิริยากับโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ใน CMC TNT test kit

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน 2,4,6-ไตรไนโตรโทลูอีน ($mg\ L^{-1}$)	แบลงค์	10	20	40	60	80
สีของผลิตภัณฑ์						

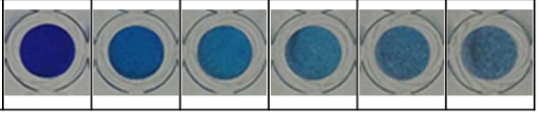
ตารางที่ 3.2 แถบสีมาตรฐานของ 2,4-ไดไนโตรโทลูอีนที่ความเข้มข้นต่างๆ ทำปฏิกิริยากับโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ใน CMC DNT test kit

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน 2,4-ไดไนโตรโทลูอีน ($mg\ L^{-1}$)	แบลงค์	400	500	600	700	800
สีของผลิตภัณฑ์						

ตารางที่ 3.3 แถบสีมาตรฐานของโซเดียมไนไตรท์ที่ความเข้มข้นต่างๆ ทำปฏิกิริยากับกรดซัลฟิวริกและโพแทสเซียมไอโอไดด์ใน CMC Nitrite test kit

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไนไตรท์ ($mg\ L^{-1}$)	แบลงค์	2.5	5	10	20	40
สีของผลิตภัณฑ์						

ตารางที่ 3.4 แถบสีมาตรฐานของเปอร์คลอเรตที่ความเข้มข้นต่างๆ เมื่อทำปฏิกิริยากับเมทิลีน บลู ใน CMC Perchlorate test kit

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเปอร์คลอเรต ($mg\ L^{-1}$)	แบลงค์	500	600	700	800	900
สีของผลิตภัณฑ์						

บทที่ 4 การประยุกต์ใช้งาน

ทดสอบสารระเบิดทั้งในกรณีแยกแต่ละสารระเบิด และผสมสารระเบิดดังนี้

- 2,4,6-ไตรไนโตรโทลูอีน
- 2,4-ไดไนโตรโทลูอีน
- ไนไตรท์
- เปอร์คลอเรต
- 2,4,6-ไตรไนโตรโทลูอีน + 2,4-ไดไนโตรโทลูอีน
- 2,4,6-ไตรไนโตรโทลูอีน + ไนไตรท์
- 2,4,6-ไตรไนโตรโทลูอีน + เปอร์คลอเรต
- 2,4-ไดไนโตรโทลูอีน + ไนไตรท์
- 2,4-ไดไนโตรโทลูอีน + เปอร์คลอเรต
- ไนไตรท์ + เปอร์คลอเรต
- 2,4,6-ไตรไนโตรโทลูอีน + 2,4-ไดไนโตรโทลูอีน + ไนไตรท์
- 2,4,6-ไตรไนโตรโทลูอีน + 2,4-ไดไนโตรโทลูอีน + เปอร์คลอเรต
- 2,4,6-ไตรไนโตรโทลูอีน + ไนไตรท์ + เปอร์คลอเรต
- 2,4-ไดไนโตรโทลูอีน + ไนไตรท์ + เปอร์คลอเรต
- 2,4,6-ไตรไนโตรโทลูอีน + 2,4-ไดไนโตรโทลูอีน + ไนไตรท์ + เปอร์คลอเรต

โดยนำสารระเบิดเหล่านี้มาทดสอบกับ CMC TNT test kit, CMC DNT test kit, CMC Nitrite test kit, และ CMC Perchlorate test kit ตามลำดับ ดังแสดงใน**ตารางที่ 4.1** จากผลการศึกษาพบว่าสามารถใช้ในการทดสอบเชิงคุณภาพในการบอกข้อมูลเบื้องต้นว่าสารระเบิดผสมน่าจะมีสารระเบิดชนิดใดบ้าง แต่อย่างไรก็ตามในกรณีไนไตรท์ หรือสารระเบิดผสมที่มีไนไตรท์ ทำปฏิกิริยากับ CMC Nitrite test kit เกิดสีเหลืองอ่อน ทำให้สังเกตสีได้ยากเมื่อผสมกับสารระเบิดชนิดอื่น

ตารางที่ 4.1 ทดสอบสารระเบิดต่อน้ำยาเคมีใน CMC multi-ex test kit (CMC TNT test kit, CMC DNT test kit, CMC Nitrite test kit, และ CMC Perchlorate test kit)

หมายเหตุ: A คือ 2,4,6-ไตรไนโตรโทลูอีน, B คือ 2,4-ไดไนโตรโทลูอีน, C คือ ไนไตรท์, D คือ เปอร์คลอเรต, + คือ ให้ผลบวกกับน้ำยาเคมี และ – คือ ให้ผลลบกับน้ำยาเคมี

สารระเบิด	**CMC multi-ex test kit**			
	CMC TNT test kit	**CMC DNT test kit**	**CMC Nitrite test kit**	**CMC Perchlorate test kit**
A	+	-	-	-
B	-	+	-	-
C	-	-	+	-

สารระเบิด	CMC multi-ex test kit			
	CMC TNT test kit	CMC DNT test kit	CMC Nitrite test kit	CMC Perchlorate test kit
D	-	-	-	+
A+B	ม่วง (สีผสม)	ม่วง (สีผสม)	-	-
A+C	+	-	-	-
A+D	+	-	-	+
B+C	-	+	-	-
B+D	-	+	-	+
C+D	-	-	+	+
A+B+C	ม่วง (สีผสม)	ม่วง (สีผสม)	-	-
A+B+D	ม่วง (สีผสม)	ม่วง (สีผสม)	-	+
A+C+D	+	-	-	+
B+C+D	-	+	-	+
A+B+C+D	ม่วง (สีผสม)	ม่วง (สีผสม)	-	+

ตัวอย่างการประยุกต์ใช้สำหรับการตรวจวัดสารระเบิดหลายชนิดในเวลาเดียวกัน

สำหรับการประยุกต์ใช้ในการตรวจวัดสารระเบิดหลายชนิดในเวลาเดียวกัน ได้ดำเนินการโดยการเก็บตัวอย่างจากวัสดุต่างๆ จำนวน 13 ตัวอย่าง โดยตัวอย่างที่ 1-3 เป็นตัวอย่างเศษไม้ ตัวอย่างที่ 4-8 เป็นตัวอย่างเศษกระจก และตัวอย่างที่ 9-13 เป็นเศษพลาสติก โดยจะมีการเก็บตัวอย่างด้วยวิธีการใช้ไม้พันสำลี (Swab) จากนั้นนำไปสกัดด้วยตัวทำละลายปริมาตร 10 มิลลิลิตรของสารระเบิดแต่ละชนิด โดย 2,4,6-ไตรไนโตรโทลูอีน และ 2,4-ไดไนโตรโทลูอีน สกัดด้วยอะซิโตน : น้ำ (อัตราส่วน 50 : 50) ไนไตรท์และเปอร์คลอเรตสกัดด้วยน้ำกลั่น และนำสารละลายตัวอย่างที่สกัดได้ไปทำการทดสอบกับ CMC TNT test kit สำหรับสารระเบิด 2,4,6-ไตรไนโตรโทลูอีน, CMC DNT test kit สำหรับสารระเบิด 2,4-ไดไนโตรโทลูอีน, CMC Nitrite test kit สำหรับโซเดียมไนไตรท์, และ CMC Perchlorate test kit สำหรับสารระเบิดกลุ่มเปอร์คลอเรต โดยมีผลการทดลองดังแสดงใน**ตารางที่ 4.2** จากผลการทดสอบพบว่าตัวอย่างที่ 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, และ 11 ไม่สามารถตรวจพบเจอสารระเบิดทั้ง 4 ชนิดด้วยวิธีที่พัฒนาขึ้นนี้ ซึ่งมีความเป็นไปได้ว่าในตัวอย่างที่ 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, และ 11 มีความเข้มข้นที่ต่ำกว่าขีดจำกัดของการตรวจวัดด้วยวิธีที่พัฒนาขึ้นนี้ ส่วนตัวอย่างที่ 7, 9, และ 13 พบว่ามีสารระเบิดกลุ่มเปอร์คลอเรต โดยเมื่อเปรียบเทียบกับแถบสีมาตรฐาน พบว่าในตัวอย่างที่ 7, 9, และ 13 มีเปอร์คลอเรตอยู่ในช่วง 500 ถึง 700 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนตัวอย่างที่ 10 พบว่ามีสารระเบิด 2,4,6-ไตรไนโตรโทลูอีน โดยเมื่อเปรียบเทียบกับแถบสีมาตรฐาน พบว่าในตัวอย่างที่ 10 มีสารระเบิด 2,4,6-ไตรไนโตร

โทลูอีน 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ในกรณีตัวอย่างที่ 12 พบว่ามีสารระเบิดไนไตรท์ โดยเมื่อเปรียบเทียบกับแถบสีมาตรฐาน พบว่าในตัวอย่างที่ 12 มีสารระเบิดไนไตรท์ 2.5 มิลลิกรัมต่อลิตร

ตารางที่ 4.2 ผลการการตรวจวัดสารระเบิดหลายชนิดในเวลาเดียวกันในตัวอย่าง 13 ตัวอย่าง

ตัวอย่าง	CMC multi-ex test kit			
	CMC TNT test kit	CMC DNT test kit	CMC Nitrite test kit	CMC Perchlorate test kit
1	-	-	-	-
2	-	-	-	-
3	-	-	-	-
4	-	-	-	-
5	-	-	-	-
6	-	-	-	-
7	-	-	-	+
8	-	-	-	-
9	-	-	-	+
10	+	-	-	-
11	-	-	-	-
12	-	-	+	-
13	-	-	-	+

ผู้ที่สนใจสามารถติดต่อสอบถามข้อมูลเพิ่มเติมที่

รองศาสตราจารย์ ดร.วรากร ลิ่มบุตร (หัวหน้าโครงการ)

สาขาวิทยาศาสตร์สุขภาพและวิทยาศาสตร์ประยุกต์

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

วิทยาเขตหาดใหญ่

อำเภอหาดใหญ่ จังหวังสงขลา 90110

โทร 074-288563 โทรสาร 074-446681

มือถือ 0910487319

E-mail : LWARAKORN@YAHOO.COM หรือ

WARAKORN.L@PSU.AC.TH