

บทนำ

เมทแอมเฟตามีน (Methamphetamine) เป็นสารเสพติดที่มีสถิติการจับกุมมากที่สุดและมีสถิติการใช้เพิ่มมากขึ้นทุกปีเป็นสาเหตุของปัญหาสังคมและอาชญากรรมมากมาย สารเสพติดชนิดนี้ออกฤทธิ์กระตุ้นระบบประสาทส่วนกลางและมีการผลิตหลายรูปแบบ เช่น อยู่ในรูปผงของเกลือไฮโดรคลอไรด์ เรียกว่า Crank หรืออัดเป็นเม็ดคล้ายเม็ดยาหลอกสีส้ม เช่น สีส้มแดง สีเขียวอ่อน สีฟ้า เรียกว่า ยาบ้า หรือ หากอยู่ในรูปผลึกใส ไม่มีสี เรียกว่า ยาไอซ์

สารเสพติดเมทแอมเฟตามีนจัดเป็นยาเสพติดให้โทษประเภท 1 ตามพระราชบัญญัติยาเสพติดให้โทษ พุทธศักราช 2522 การผลิต ครอบครอง ซื้อมาขาย หรือเสพสารเสพติดชนิดนี้จึงมีความผิดทางกฎหมาย จึงมีการตรวจจับสารเสพติดชนิดนี้เป็นประจำ โดยส่วนใหญ่มักใช้ชุดทดสอบทางเคมีสำหรับตรวจสารเสพติดในสถานที่เกิดเหตุ ซึ่งอาศัยหลักการทำปฏิกิริยาของสารเสพติดกับน้ำยาเคมีเกิดผลิตภัณฑ์ที่มีสี หรือที่เรียกว่า Color test เช่น การทำปฏิกิริยาการเกิดสีของสารเมทแอมเฟตามีนกับน้ำยา Tetrabromophenolphthalein ethyl ester (TBPE) ให้ผลิตภัณฑ์เป็นสารเชิงซ้อนสีแดงม่วง (Sakai and Ohno, 1986) เป็นต้น วิธีนี้สามารถทราบเพียงว่า มีสารเสพติดหรือไม่ ถ้ามีเป็นสารเสพติดชนิดไหน แต่ไม่ทราบว่าปริมาณหรือความเข้มข้นของสารเสพติดเท่าไร เนื่องจากการวิเคราะห์สารเสพติดเชิงปริมาณจำเป็นต้องใช้เครื่องมือวิเคราะห์ เช่น การใช้สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ หรือการใช้เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีร่วมกับตัวตรวจวัดชนิดแมส สเปกโตรมิเตอร์ซึ่งต้องทำในห้องปฏิบัติการโดยผู้เชี่ยวชาญเท่านั้น

ปัจจุบันมีการประยุกต์ใช้การวิเคราะห์ภาพถ่ายดิจิทัลของผลิตภัณฑ์สีจากปฏิกิริยาเคมีของสารที่สนใจวิเคราะห์ (Digital image colorimetry: DIC) สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณสารมากขึ้น เช่น จากผลิตภัณฑ์ที่มีสีของปฏิกิริยาเคมีของไอออนของโลหะ เช่น เหล็ก (Kompany-Zareh, et al., 2002; Suzuki, et al., 2006; Maleki, et al., 2004) เหล็กในอัลลอย (Kompany-Zareh et al., 2002) ไททาเนียมในพลาสติก (Lopez-Molinero et al., 2010) การวิเคราะห์ยาเสพติดแอมเฟตามีน (Amphetamine) และเมทแอมเฟตามีน (Methamphetamine) (Choodum and Daeid, 2011a) อนุพันธ์ของฝิ่น (Opiates) (Choodum and Daeid, 2011b) และสารระเบิดไนโตรโทลูอีน (Choodum et al., 2012; Choodum et al., 2013) เป็นต้น ซึ่งพบว่าผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค DIC นี้มีความถูกต้องแม่นยำ ใกล้เคียงกับค่าที่วิเคราะห์โดยใช้วิธีมาตรฐาน ได้แก่ เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี แมสสเปกโตรมิเตอร์ (Choodum and Daeid, 2011a; b)

ภาพถ่ายดิจิทัลได้จากการถ่ายภาพด้วยกล้องดิจิทัลซึ่งอาศัยหลักการของการใช้ตัวรับภาพ (Image sensor) เช่น Charge coupled device (CCD) (Epperson et al. 1988; Byrne et al., 2000; Maleki et al., 2004) หรือ Complementary metal oxide semiconductor (CMOS) ซึ่งสามารถทำหน้าที่เหมือนตัวตรวจวัดของการวิเคราะห์ได้ โดยให้ข้อมูลทางสเปกโทรสโกปีแบบคร่าว ๆ ได้ (Edward, 2000; Maleki et al., 2004) การตรวจวัดเกิดขึ้นได้เมื่อผลิตภัณฑ์สีจากปฏิกิริยาเคมีของสารที่สนใจวิเคราะห์กับน้ำยาเคมีได้รับแสงจากแหล่งกำเนิดแสง แสงส่วนหนึ่งจะถูกสะท้อน ในขณะที่แสงอีกส่วนถูกผลิตภัณฑ์สีดูดกลืนไว้ แสงส่วนที่สะท้อนจากผลิตภัณฑ์จะเข้าสู่กล้องดิจิทัลถึงแต่ละ

พิกเซลของตัวรับภาพ โดยผ่านตัวกรอง (Filter) ซึ่งทำหน้าที่กรองช่วงแสง เช่น Filter RGB จะกรองแสงสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน ซึ่ง Filter แต่ละตัวจะยอมให้แสงสีที่เหมือนตัวเองเท่านั้นผ่านไปยังตัวรับภาพซึ่งจะเปลี่ยนโฟตอนเป็นสัญญาณดิจิทัล บันทึกไว้ในรูปค่าความเข้มแสงบนแต่ละพิกเซลของตัวรับภาพ ค่าความเข้มแสงของแต่ละสี (สีแดง เขียวและน้ำเงิน เรียกว่าค่า RGB) มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 255 หน่วย (8 บิต) ความเข้มของสีจาก Filter แต่ละชนิดจะรวมกัน ปรากฏเป็นสีบนภาพดิจิทัล (Byrne et al., 2000; Maleki et al., 2004; Lopez-Moliner, et al., 2010; Choodum and Daeid, 2011) เมื่อใช้โปรแกรมวิเคราะห์ความเข้มสีจากภาพถ่ายดิจิทัล เช่น โปรแกรม MATLAB (Lopez-Moliner, et al., 2010; Goddijn and White, 2006) โปรแกรม Kylix version 3.0 (Gaiao et al., 2006; Silva et al., 2009) โปรแกรม Adobe Photoshop (Choodum and Daeid, 2011a, b) หรือโปรแกรมที่เขียนจาก Visual Basic version 6.0 (Suzuki et al., 2006; Maleki et al., 2004) จะได้ค่าความเข้มสีของแต่ละสี เช่น หากภาพดิจิทัลเป็นสีดำ จะให้ค่าความเข้มสีของสีแดง, เขียว, น้ำเงิน เป็น 0, 0, 0 ในขณะที่สีขาว ให้ค่าความเข้มสี 255, 255, 255 ค่าความเข้มสีเหล่านี้สามารถใช้เป็นข้อมูลทางการวิเคราะห์เพื่อใช้ในการวิเคราะห์สารเชิงปริมาณได้ (Byrne et al., 2000; Maleki et al., 2004; Lopez-Moliner, et al., 2010; Choodum and Daeid, 2011) เทคนิคนี้มีการจดสิทธิบัตรสำหรับการวิเคราะห์ตัวอย่างที่เป็นของเหลว (WO102008026803) และอุปกรณ์สำหรับตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงแบบพกพาซึ่งติดตั้งกล้องถ่ายรูปไว้ภายใน (US2011/0063433 A1) อย่างไรก็ตามวิธีการที่กล่าวมาข้างต้นยังมีความจำเป็นต้องใช้โปรแกรมวิเคราะห์สีเพื่อหาความเข้มสีจากภาพถ่ายดิจิทัลหรือภาพสแกน กล่าวคือต้องทำการถ่ายโอนภาพถ่ายดิจิทัลหรือภาพสแกนจากอุปกรณ์ถ่ายภาพสู่คอมพิวเตอร์ก่อนการวิเคราะห์ จึงใช้เวลานานและมีขั้นตอนยุ่งยากเพิ่มขึ้น

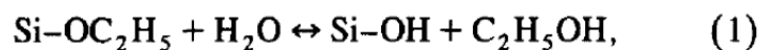
โครงการวิจัยนี้จึงได้ประยุกต์ใช้การวิเคราะห์ภาพดิจิทัลเพื่อหาความเข้มสีของผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาเคมีเพื่อหาปริมาณของเมทแอมเฟตามีนเพื่อทดแทนการใช้สเปกโตรโฟโตมิเตอร์หรือวิธีมาตรฐานอื่นๆ โดยประยุกต์ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป (Application: app) ซึ่งสามารถดาวน์โหลดและติดตั้งไว้ในโทรศัพท์เคลื่อนที่สมรรถนะสูง (Smart phone) เพื่อหาความเข้มสีของภาพดิจิทัลของผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาเคมีโดยตรง โดยไม่จำเป็นต้องมีการถ่ายภาพหรือประยุกต์ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์อื่นๆ ทำให้สามารถทราบผลการวิเคราะห์ ณ เวลาที่เมทแอมเฟตามีนทำปฏิกิริยากับน้ำยาเคมีได้ทันที (Real-time detection) บนโทรศัพท์เคลื่อนที่ (On-mobile) จึงลดความยุ่งยากลงได้ และไม่ต้องใช้เครื่องมือที่มีราคาแพง โครงการวิจัยนี้ยังได้พัฒนาเซนเซอร์แบบตรวจวัดสีชนิดโซล-เจลสำหรับตรวจปริมาณเมทแอมเฟตามีนโดยกัก (Entrapment) น้ำยาเคมีที่จำเป็นต้องใช้ในการทำปฏิกิริยาการเกิดสีไว้ภายในโครงข่ายของพอลิเมอร์ชนิดโซล-เจล จึงช่วยลดความเสี่ยงต่อการพกพาสารเคมีอันตราย และเพิ่มความสะดวกต่อการนำไปใช้ในงานภาคสนาม (On-site) อีกด้วย

ปัจจุบันได้มีการนำพอลิเมอร์หลายชนิดมาใช้เป็นเซนเซอร์แบบตรวจวัดสี (Colorimetric sensors) แต่การพัฒนาเซนเซอร์ชนิดนี้สำหรับตรวจวัดเมทแอมเฟตามีนยังมีจำกัด เช่น การใช้ Polyvinyl chloride (PVC) กักน้ำยาเคมีที่มีสมบัติไม่มีขั้ว (Nonpolar) เช่น สารประกอบกลุ่ม Bisazo dye (4-[4-(4-trifluoroacetylphenylazo)-1-naphthylazo]-N,N-dioctylaniline) ซึ่งเตรียมโดย

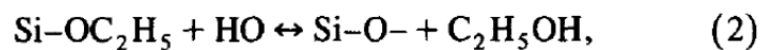
กระบวนการ Diazotization เป็นเวลากว่า 5 ชั่วโมง เมื่อนำไปตรวจวัดเมทแอมเฟตามีน เซนเซอร์ที่ได้จะเปลี่ยนสีจากน้ำเงินเป็นแดง (Mohr *et al.*, 2002; Mohr, 2003) และมีรายงานการสังเคราะห์เซนเซอร์แบบเปล่งแสง (Fluorescence chemosensor) โดยใช้สารประกอบกลุ่มฟลูออรีนซึ่งสังเคราะห์ด้วยปฏิกิริยา Suzuki-Miyaura เป็นเวลากว่า 72 ชั่วโมง พอลิเมอร์ที่ได้ยังต้องทำให้บริสุทธิ์ต่ออีก 2 วัน จึงได้ Poly[(9,9-dioctylfluorenyl-2,7-diyl)-alt(2,1,3-benzothiadiazole-4,7-diyl)] ร้อยละ 33 ถึง 85 ที่สามารถนำไปใช้ในการตรวจวัดไอของเมทแอมเฟตามีนได้ (Fu *et al.*, 2013; Wen *et al.*, 2012)

โซล-เจลเป็นพอลิเมอร์อีกชนิดที่สามารถนำมาใช้ในการกักเก็บสารเคมีที่มีขั้วได้ พอลิเมอร์ชนิดนี้มีความเสถียรสูงในสภาวะแวดล้อมต่างและมีความสมบัติที่โปร่งแสงเหมาะแก่การนำมาใช้เป็นเซนเซอร์ตรวจวัดสี สามารถสังเคราะห์ได้ด้วยปฏิกิริยา Hydrolysis และ Condensation ที่อุณหภูมิห้อง (แสดงดังรูปที่ 1) หากมีการเติมน้ำยาเคมีเข้าไประหว่างกระบวนการเกิดเจล น้ำยาเคมีจะถูกกักเก็บไว้ในโครงข่ายของพอลิเมอร์ซึ่งมีความเป็นรูพรุนสูง (Bunkoed *et al.*, 2010) พอลิเมอร์ชนิดนี้ยังสามารถบรรจุในภาชนะได้หลากหลายรูปแบบเนื่องจากมีลักษณะเป็นของเหลวในขณะเตรียมแต่จะมีลักษณะเป็นเจลเมื่อเตรียมเสร็จแล้ว

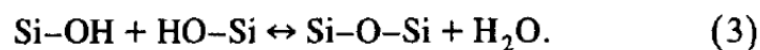
(i) hydrolysis



(ii) alcohol condensation

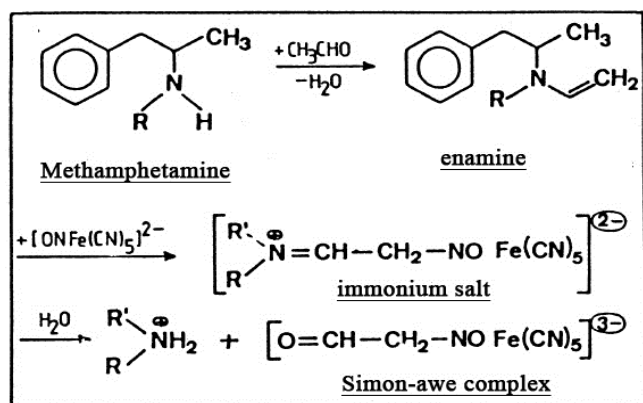


(iii) water condensation



รูปที่ 1 กระบวนการเกิดโซล-เจลโดยใช้สาร Tetraethylorthosilicate (TEOS) (McDonagh *et al.*, 1996)

ในงานวิจัยนี้เซนเซอร์โซล-เจลจะถูกสังเคราะห์ขึ้นโดยการกักเก็บน้ำยาเคมีชนิดไซมอน (Simon's reagent) ซึ่งประกอบด้วยสารเคมีชนิด Sodium nitroprusside, Sodium carbonate และ Acetaldehyde ไว้ภายในโครงสร้างรูพรุนของพอลิเมอร์ โดยสารเหล่านี้สามารถทำปฏิกิริยากับสารเมทแอมเฟตามีนให้ผลิตภัณฑ์สีน้ำเงิน กลไกการเกิดปฏิกิริยาแสดงดังรูปที่ 2

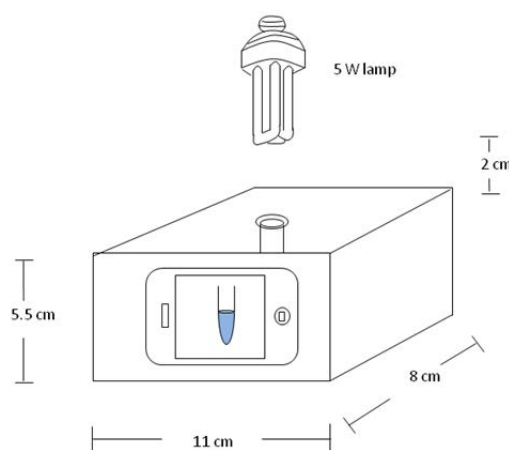


รูปที่ 2 กลไกการเกิดปฏิกิริยาของสารเมทแอมเฟตามีนใน Simon test (Kovar and
 Laudszun, 1989)

วิธีวิจัย

การศึกษาความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป (app)

1. ศึกษาความเสถียรของผลิตภัณฑ์สีที่ได้จากปฏิกิริยาเคมีของเมทแอมเฟตามีนกับน้ำยาเคมีไซมอนโดยใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์
2. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการจับ (Capture) ภาพดิจิทัล ของผลิตภัณฑ์สีด้วยโทรศัพท์สมรรถนะสูง เช่น ระยะห่างระหว่างกล้องดิจิทัลกับตัวอย่างทดลอง ผลกระทบจากแสงจากภายนอก เป็นต้น และการทำปฏิกิริยาทางเคมีของเมทแอมเฟตามีน เช่น ปริมาตรที่เหมาะสมของรีเอเจนต์ ความเข้มข้นที่เหมาะสมของรีเอเจนต์ เป็นต้น โดยใช้ระบบจับภาพดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ระบบตรวจวัดความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์สีที่ได้จากปฏิกิริยาของเมทแอมเฟตามีนและน้ำยาไซมอน

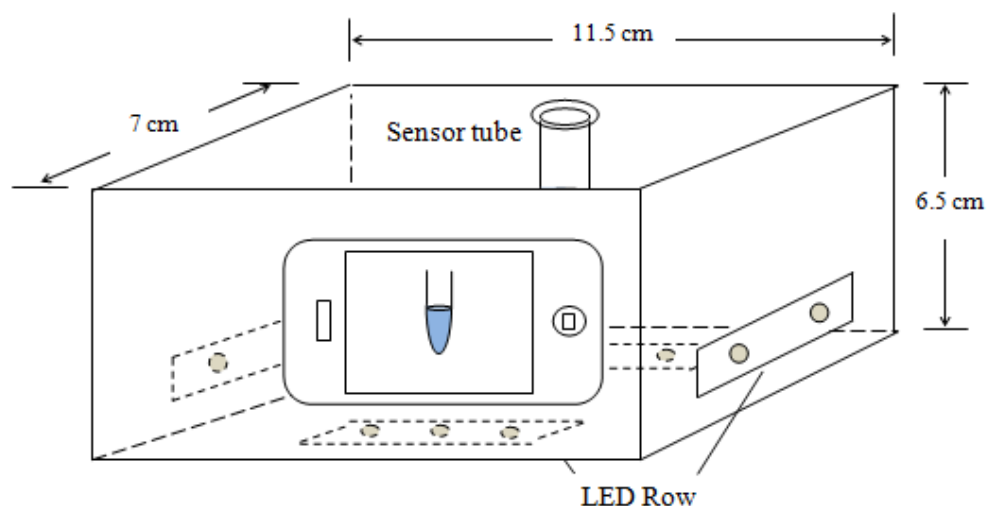
3. สร้างกราฟมาตรฐานเพื่อหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเมทแอมเฟตามีนและค่าความเข้มแสง (Intensity) หรือ ค่าการดูดกลืน (Absorbance) ที่ได้จากการวิเคราะห์ภาพดิจิทัลของผลิตภัณฑ์สี
4. ศึกษาสมรรถนะของวิธีตรวจวัดที่พัฒนาขึ้น เช่น ศึกษาช่วงความเข้มข้นที่ให้ความสัมพันธ์แบบเส้นตรงกับค่าการตอบสนอง (ช่วงความเป็นเส้นตรง: Linear range) ศึกษาความเข้มข้นต่ำสุดของเมทแอมเฟตามีนที่ให้ผลิตภัณฑ์สีที่สามารถตรวจสอบได้ด้วยวิธีที่พัฒนาขึ้น (หรือเรียกว่า ขีดจำกัดการตรวจวัด: Limit of detection) และความไวในการวิเคราะห์ (Sensitivity) เป็นต้น
5. ตรวจสอบการใช้ได้ของวิธีที่พัฒนาขึ้น (Method validation) เช่น ศึกษาความถูกต้องหรือแม่นยำ (Accuracy) โดยการวิเคราะห์สารมาตรฐานที่ทราบความเข้มข้นแน่นอน (Control

sample) หรือตัวอย่างที่มีการเติมสารมาตรฐานที่ความเข้มข้นที่แน่นอน (Spiked sample) ศึกษาความเที่ยงตรง (Precision) เป็นต้น

6. ประยุกต์ใช้วิธีที่พัฒนาขึ้นกับการวิเคราะห์ตัวอย่างจริง ได้แก่ ของกลางยาบ้าซึ่งได้รับความอนุเคราะห์จากกองควบคุมยาเสพติด สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา ตามหนังสืออนุญาตครอบครองเลขที่ 1003.2/790 และเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับการวิเคราะห์โดยใช้แก๊สโครมาโทกราฟี

การพัฒนาเซนเซอร์แบบตรวจวัดสี

1. ศึกษาผลของปริมาณสารเคมีที่ใช้ในการสังเคราะห์เซนเซอร์ต่อคุณลักษณะของเซนเซอร์ที่ได้ และหาสภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์ (เช่น ปริมาณสารละลาย Sol-gel ปริมาณน้ำยาเคมีไซมอนหรืออัตราส่วนระหว่างปริมาณสารละลาย Sol-gel และปริมาณน้ำยาเคมี เป็นต้น)
2. พัฒนาระบบจับภาพให้เป็นระบบปิดเพื่อให้เหมาะสมสำหรับการตรวจภาคสนามมากขึ้นดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ระบบตรวจวัดความเข้มสีของผลิตภัณฑ์สีที่ได้จากการใช้เซนเซอร์ที่พัฒนาขึ้น

3. ศึกษาความเสถียรของสีผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาโดยใช้เซนเซอร์ชนิดโซล-เจลและตรวจวัดโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปบนโทรศัพท์เคลื่อนที่สมรรถนะสูง
4. ศึกษาความเสถียรของเซนเซอร์ที่พัฒนาขึ้นเป็นเวลา 3 เดือน
5. สร้างกราฟมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณเมทแอมเฟตามีนโดยใช้เซนเซอร์ที่พัฒนาขึ้นร่วมกับโปรแกรมสำเร็จรูปบนโทรศัพท์เคลื่อนที่สมรรถนะสูง
6. ศึกษาสมรรถนะของเซนเซอร์ที่พัฒนาขึ้น เช่น ศึกษาช่วงความเป็นเส้นตรง ขีดจำกัดการตรวจวัด และความไวในการวิเคราะห์ เป็นต้น
7. ตรวจสอบการใช้ได้ของวิธีที่พัฒนาขึ้น เช่น ศึกษาความแม่นยำ โดยการวิเคราะห์สารมาตรฐานที่ทราบความเข้มข้นแน่นอน หรือตัวอย่างที่มีการเติมสารมาตรฐานที่ความเข้มข้นที่แน่นอน ศึกษาความเที่ยงตรง เป็นต้น

8. ตรวจสอบผลของสารที่สามารถรบกวนการวิเคราะห์ (Interference) ได้ เช่น แอมเฟตามีน และซูโดเอเฟดรีน (Pseudoephedrine) เป็นต้น
9. ประยุกต์ใช้เซนเซอร์ที่พัฒนาขึ้นในการตรวจวัดสารเมทแอมเฟตามีนในตัวอย่างยาบ้าและπίσσω และเปรียบเทียบผลที่ได้จากการใช้เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีในการตรวจวัด
10. คำนวณต้นทุนการผลิตและออกแบบบรรจุภัณฑ์ต้นแบบสำหรับเซนเซอร์ที่พัฒนาขึ้นเพื่อประโยชน์ในเชิงพาณิชย์ต่อไป