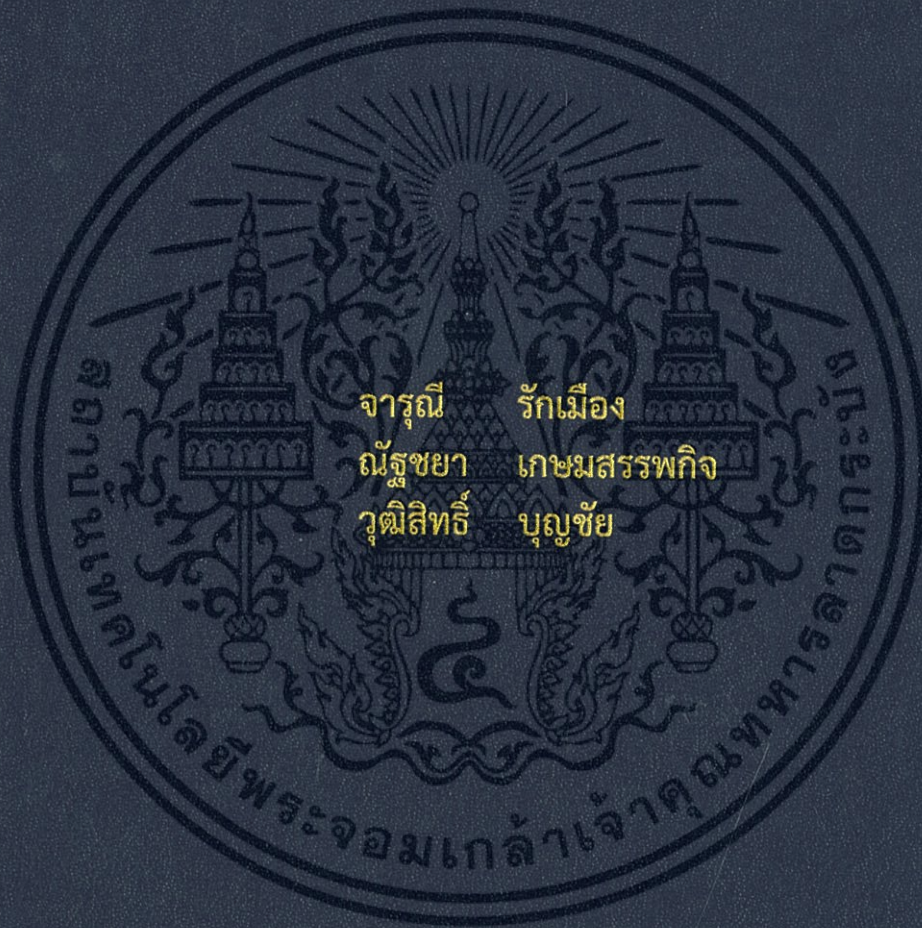


การสังเคราะห์และการศึกษาสมบัติทางความร้อนและทางแสง  
ของสารประกอบไพเร็น-ฟีโนไทเอซีน

SYNTHESIS AND STUDY OF THERMAL AND OPTICAL  
PROPERTIES OF PYRENE-PHENOTHIAZINE COMPOUND



จารุณี รักเมือง  
ณัฐชยา เกษมสรรพกิจ  
วุฒิสีทธิ์ บุญชัย

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)  
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2559

การสังเคราะห์และการศึกษาสมบัติทางความร้อนและทางแสง  
ของสารประกอบไพเร็น-ฟีนโธธาซีน

SYNTHESIS AND STUDY OF THERMAL AND OPTICAL  
PROPERTIES OF PYRENE-PHENOTHIAZINE COMPOUND



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)  
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SYNTHESIS AND STUDY OF THERMAL AND OPTICAL  
PROPERTIES OF PYRENE-PHENOTHIAZINE COMPOUND



JARUNEE RUKMUANG  
NATCHAYA KASAMSUPPAKIJ  
WUDTISIT BOONCHAI

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF  
THE REQUIREMENTS FOR  
THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE (INDUSTRIAL CHEMISTRY)  
DEPARTMENT OF CHEMISTRY FACULTY OF SCIENCE  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
ACADEMIC YEAR 2016

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การสังเคราะห์ และการศึกษาสมบัติทางความร้อน และทางแสง ของ สารประกอบไพรีน-ฟีนโธเอซีน

Synthesis and study of thermal and optical properties of pyrene-phenothiazine compound

ชื่อนักศึกษา นางสาวจารุณี รักเมือง รหัสนักศึกษา 56050456

นางสาวณัฐชยา เกษมสรรพกิจ รหัสนักศึกษา 56050484

นายวุฒิสิทธิ์ บุญชัย รหัสนักศึกษา 56050610


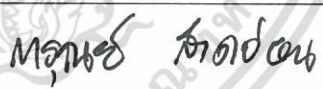
ปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)

ภาควิชา เคมี

ปีการศึกษา 2559

อาจารย์ที่ปรึกษา ดร. การุณย์ สาดอ่อน

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้  
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)  
ประจำปีการศึกษา 2559

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.เอกรัฐ เดชศรี ประธานกรรมการ	
ดร.ณัฐสิทธิ์ โชติแสง กรรมการ	
ดร.การุณย์ สาดอ่อน กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

T 149565

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การสังเคราะห์และการศึกษาสมบัติทางความร้อนและทางแสงของสารประกอบไพรีน-ฟิโนไทเฮซีน	
	Synthesis and study of thermal and optical properties of pyrene-phenothiazine compound	
ชื่อนักศึกษา	นางสาวจารุณี รักเมือง	รหัสนักศึกษา 56050456
	นางสาวณัฐชยา เกษมสรรพกิจ	รหัสนักศึกษา 56050484
	นายวุฒิสิทธิ์ บุญชัย	รหัสนักศึกษา 56050610
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)	
ภาควิชา	เคมี	
คณะ	วิทยาศาสตร์	
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)	
ปีการศึกษา	2559	
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.การุณย์ สาดอ่อน	

### บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้เป็นการออกแบบ และสังเคราะห์สารอินทรีย์เรืองแสงที่มีสารประกอบไพรีน-ฟิโนไทเฮซีน (P-PTZ) เป็นโครงสร้างหลักเพื่อนำไปประยุกต์ใช้เป็นวัสดุอินทรีย์ในไดโอดเปล่งแสงอินทรีย์โดยใช้ปฏิกิริยาที่สำคัญคือ ปฏิกิริยาคู่ควบซูซูกิ-มียาอูระ โดยสารประกอบ P-PTZ ที่สังเคราะห์ได้มีลักษณะเป็นของแข็งสีเหลือง จากนั้นทำการศึกษาสมบัติทางความร้อนด้วยเครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ พบว่ามีอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วที่ 70.3 องศาเซลเซียส และมีอุณหภูมิการหลอมเหลวที่ 177.8 องศาเซลเซียส นอกจากนี้จากการศึกษาสมบัติทางแสงด้วยเครื่องอัลตราไวโอเล็ต-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ และสเปกโทรฟลูออโรมิเตอร์ พบว่าสารประกอบนี้แสดงแถบการดูดกลืนแสงที่มีความยาวคลื่น 240-440 นาโนเมตร และแสดงแถบการคายแสงที่ 225-600 นาโนเมตร ซึ่งอยู่ในช่วงแสงสีเขียว และมีค่าช่องว่างระหว่างแถบพลังงาน 3.05 อิเล็กตรอนโวลต์ โดยสารประกอบ P-PTZ ที่สังเคราะห์ขึ้นมาได้นั้นอาจถูกนำไปใช้เป็นวัสดุอินทรีย์สำหรับไดโอดเปล่งแสงได้

**คำสำคัญ :** ไดโอดเปล่งแสงอินทรีย์ ปฏิกิริยาคู่ควบซูซูกิ-มียาอูระ ไพรีน-ฟิโนไทเฮซีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<b>Title</b>	Synthesis and study of thermal and optical properties of pyrene-phenothiazine compound	
<b>Student</b>	Miss Jarunee Rukmuang	Student ID 56050456
	Miss Natchaya Kasamsuppakij	Student ID 56050484
	Mr. Wudtisit Boonchai	Student ID 56050610
<b>Degree</b>	Bachelor of Science (Industrial Chemistry)	
<b>Department</b>	Chemistry	
<b>Faculty</b>	Science	
<b>University</b>	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)	
<b>Academic Year</b>	2016	
<b>Advisor</b>	Dr. Karoon Sadorn	

### Abstract

This special project focuses on the design and synthesis of pyrene-phenothiazine (P-PTZ) based luminescent organic molecules for the use as an organic material in organic light emitting diodes (OLEDs) by using Suzuki-Miyaura coupling reaction as the key step. Synthesis P-PTZ compound is obtain as a solid yellow. A thermal property is study using the differential scanning calorimeter (DSC) and it was found that glass transition temperature ( $T_g$ ) is at 70.3°C and melting temperature ( $T_m$ ) is at 177.8°C. The optical property is study by using UV-visible absorption spectrophotometer and spectrofluorometer that P-PTZ is showed an exhibited absorption bands in a range of 240-440 nm, while showing the emission bands ranging from 225-600 nm, corresponding to the green region. The optical band gap of P-PTZ was found to be 3.05 eV. That P-PTZ compound might be used is an organic material for OLEDs.

**Keywords:** Organic light emitting Diodes, Suzuki-Miyaura coupling reaction, Pyrene-phenothiazine

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ โดยได้รับความกรุณาจาก ดร.การุณย์ สาดอ่อนที่ให้โอกาสเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษนี้ โดยเป็นผู้ให้คำแนะนำช่วยเหลือ ให้ความรู้ สอนทักษะในการปฏิบัติงาน และแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ เป็นอย่างดีมาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.เอกรัฐ เดชศรี และดร.ฉวีสิทธิ์ โชติแสง คณะกรรมการโครงการพิเศษ ที่ให้คำปรึกษา คำแนะนำ ข้อเสนอแนะ ข้อบกพร่อง ตลอดจนแก้ไข ข้อผิดพลาดเพิ่มเติม ทำให้โครงการพิเศษฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณอาจารย์ภาควิชาเคมีอินทรีย์ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการเคมีอินทรีย์ และพี่ ๆ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดลทุกท่านที่ให้ความรู้ คำแนะนำ และอำนวยความสะดวกในการปฏิบัติงานต่าง ๆ

ขอขอบพระคุณอาจารย์ภาควิชาเคมี เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการเคมี และเจ้าหน้าที่ห้องธุรการภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่านที่อำนวยความสะดวกและให้ความช่วยเหลือ รวมทั้งให้คำแนะนำในการใช้เครื่องมือ

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยได้รับความช่วยเหลือ และกำลังใจจากคุณพ่อ คุณแม่ พี่น้อง และเพื่อน ๆ ตลอดจนบุคคลต่าง ๆ ที่ให้ความช่วยเหลือโดยที่ผู้วิจัยไม่สามารถกล่าวนามได้หมดในที่นี้ ผู้วิจัย รู้สึกซาบซึ้งในความกรุณา และความปรารถนาดีของทุกท่านเป็นอย่างยิ่ง จึงขอขอบพระคุณทุก ๆ ท่าน ไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

จารุณี รักเมือง

ณัฐชยา เกษมสรรพกิจ

วุฒิสิทธิ์ บุญชัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ซ
คำย่อ/สัญลักษณ์.....	ญ
<b>บทที่ 1 บทนำ.....</b>	<b>1</b>
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....</b>	<b>3</b>
2.1 ที่มาและความสำคัญของ OLEDs (Organic Light Emitting Diodes).....	3
2.1.1 Electroluminescence.....	4
2.1.2 โครงสร้างพื้นฐานของจอภาพ OLEDs.....	4
2.1.3 รูปแบบของจอภาพ OLEDs.....	5
2.1.4 หลักการทำงานของจอภาพ OLEDs.....	6
2.1.5 ข้อดีของ OLEDs.....	7
2.1.6 ข้อเสียของ OLEDs.....	7
2.2 สารประกอบอินทรีย์.....	8
2.2.1 Phenothiazine.....	8
2.2.2 Pyrene.....	9
2.3 เทคนิคการสกัด (Extraction).....	10
2.3.1 การสกัดด้วยตัวทำละลาย (Solvent extraction).....	10
2.4 เทคนิคการแยก (Separation).....	11
2.4.1 โครมาโทกราฟี (Chromatography).....	11
2.5 เทคนิคในการวัด.....	12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.5.1 สมบัติทางความร้อน (Thermal properties).....	12
2.5.2 สมบัติทางแสง (Optical properties).....	13
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	16
<b>บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....</b>	<b>23</b>
3.1 สารเคมี.....	23
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ.....	24
3.3 วิธีการดำเนินการทดลอง.....	25
3.3.1 การสังเคราะห์ 10-methyl phenothiazine โดยการทำปฏิกิริยา Methylation ของ phenothiazine (PTZ).....	25
3.3.2 การสังเคราะห์สารประกอบ 3-Bromo-10-methyl phenothiazine โดยการทำปฏิกิริยา Bromination ของ 10-methyl phenothiazine....	26
3.3.3 การสังเคราะห์สารประกอบ pyrene-phenothiazine (P-PTZ) โดยการทำปฏิกิริยา Suzuki-Miyaura coupling.....	27
3.4 วิธีการทดสอบสมบัติต่าง ๆ .....	29
3.4.1 การทดสอบสมบัติทางความร้อน .....	29
3.4.2 การทดสอบสมบัติทางแสง.....	29
<b>บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล.....</b>	<b>31</b>
4.1 การสังเคราะห์สารประกอบ Pyrene-phenothiazine (P-PTZ).....	31
4.2 การตรวจสอบสมบัติทางความร้อน.....	33
4.3 การตรวจสอบสมบัติทางแสง.....	35
4.3.1 การตรวจวัดด้วยเครื่อง UV-Visible Spectrophotometer.....	35
4.3.2 การตรวจวัดด้วยเครื่อง spectrofluorometer.....	35
<b>บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....</b>	<b>39</b>
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	39
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	39
เอกสารอ้างอิง .....	40
ภาคผนวก.....	43
ภาคผนวก ก การวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันและโครงสร้างของสาร.....	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก ข การศึกษาสมบัติทางความร้อน.....	47
ภาคผนวก ค การศึกษาสมบัติทางแสง.....	48
ภาคผนวก ง การคำนวณหาค่าแถบพลังงาน.....	51



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 ผลการตรวจวัดสมบัติทางความร้อนของ PTZ, pyrene และ P-PTZ.....	34
4.2 ผลการตรวจวัดสมบัติทางแสงของ PTZ, pyrene และ P-PTZ.....	37



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 องค์ประกอบพื้นฐานของจอภาพ OLEDs (แบบที่มีสารอินทรีย์ประกอบ 2 ชั้น).....	4
2.2 โครงสร้าง OLEDs แบบชั้นเดียว.....	5
2.3 โครงสร้าง OLEDs แบบชั้นสองชั้น.....	6
2.4 โครงสร้าง OLEDs แบบชั้นหลายชั้น.....	6
2.5 หลักการทำงานของจอภาพ OLEDs.....	6
2.6 Phenothiazine.....	8
2.7 Pyrene.....	9
2.8 ส่วนประกอบของเครื่อง DSC.....	13
2.9 ระดับพลังงานเมื่ออิเล็กตรอนที่อยู่ภายในโมเลกุลถูกกระตุ้น เมื่อได้รับพลังงานคลื่นแสงในช่วง UV-Visible.....	14
2.10 แสดงการเกิดการเปล่งแสงฟลูออเรสเซนส์ และฟอสฟอเรสเซนส์.....	15
2.11 โครงสร้างของสารประกอบ (2 <i>E</i> ,2' <i>E</i> )-3,3'-(5,5'-(10-octyl-10H-phenothiazine-3,7- diyl))bis(thiophene-5,2-diyl))bis(2-cyanoacrylic acid).....	16
2.12 โครงสร้างของสารประกอบ [Ir(dtbbpy)(ppy) <sub>2</sub> ][PF <sub>6</sub> ].....	17
2.13 โครงสร้างของสารประกอบ Poly(3,4-ethylene dioxythiophene).....	17
2.14 โครงสร้างของสารประกอบ PFCzOxd-co-PCzs.....	18
2.15 โครงสร้างของสารประกอบ PFCzOxd-co-PPTZs.....	19
2.16 โครงสร้างของสารประกอบ PFCzOxd-alt-PCz.....	19
2.17 โครงสร้างของสารประกอบ PFCzCzPCz-co-PFOxdOxdPCz.....	19
2.18 โครงสร้างของสารประกอบ F.....	20
2.19 โครงสร้างของสารประกอบ C.....	21
2.20 โครงสร้างของสารประกอบ P.....	21
2.21 โครงสร้างของสารประกอบ pyrene-phenothiazine.....	22
2.22 โครงสร้างของสารประกอบ pyrene-promazine.....	22
3.1 ปฏิกิริยา Methylation ของ phenothiazine.....	25
3.2 ปฏิกิริยา Bromination ของ 10-methyl phenothiazine.....	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.3 ปฏิกิริยา Suzuki-Miyaura coupling ระหว่าง 3-Bromo-10-methyl phenothiazine กับ pyrene boronic acid.....	27
4.1 แผนภาพการสังเคราะห์ย้อนกลับของสารประกอบ P-PTZ.....	31
4.2 แผนภาพการสังเคราะห์สารประกอบ P-PTZ.....	32
4.3 กราฟการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วของสารประกอบ P-PTZ.....	33
4.4 กราฟการเปลี่ยนสถานะการหลอมเหลวของสารประกอบ P-PTZ.....	33
4.5 กราฟการดูดกลืนแสงของสาร PTZ, pyrene และ P-PTZ จากการตรวจวัดด้วยเครื่อง UV-visible spectrophotometer.....	35
4.6 กราฟการคายแสงของสาร PTZ, pyrene และ P-PTZ จากการตรวจวัดด้วยเครื่อง spectrofluorometer.....	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## คำย่อ/สัญลักษณ์

คำย่อ/สัญลักษณ์	คำอธิบาย
PTZ	สารฟิโนโทเอซีน
P-PTZ	สารประกอบไพรีน-ฟิโนโทเอซีน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ไดโอดเปล่งแสงจากสารอินทรีย์ หรือ Organic light-emitting diodes (OLEDs) เป็นนวัตกรรมทางเทคโนโลยีที่สร้างขึ้นใหม่ เพื่อตอบสนองความต้องการของสังคมในปัจจุบัน การนำไปใช้ประโยชน์ส่วนใหญ่นั้นจะเป็นอุปกรณ์ในจอภาพแสดงผล ซึ่งมีข้อดีหลายอย่าง เช่น ให้ความสว่างได้มากกว่าจอปกติ มีความคมชัดกว่า ทำเป็นจอแบบโปร่งใสได้ สามารถเปล่งแสงได้ด้วยตนเอง ใช้พลังงานไฟฟ้าลดลง บาง เบา และมีความยืดหยุ่นสูง เป็นต้น นอกเหนือจากนั้นเราสามารถประกอบอุปกรณ์ OLEDs บนวัสดุที่พิมพ์ได้ เกิดเป็นเทคโนโลยีใหม่ที่เรียกว่า จอภาพแบบยืดหยุ่น ที่กำลังได้รับความสนใจในปัจจุบันเป็นอย่างมาก เนื่องจากข้อได้เปรียบต่าง ๆ ที่ได้กล่าวมาทำให้นักวิจัย และนักลงทุนคาดการณ์ว่า ในอนาคตอันใกล้นี้จอแสดงผลที่สร้างจาก OLEDs จะเข้ามามีบทบาทสำคัญแทนจอแสดงผลที่มีอยู่ในปัจจุบัน [1]

จากการที่นักวิจัยได้พยายามศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับเทคโนโลยีที่มีความล้ำสมัยอย่าง OLEDs ซึ่งมีความสำคัญอย่างยิ่งในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์จำนวนมาก โดยมีนักวิจัยหลาย ๆ ท่านได้ลงทุนและพัฒนา OLEDs ให้กลายเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ที่ติดตลาด และผลิตออกมา ถึงแม้ว่า OLEDs มีความเจริญเติบโตทางการตลาดที่รวดเร็ว และเป็นที่สนใจสำหรับนักวิจัยท่านอื่น ๆ แต่ทั้งนี้ OLEDs ก็ยังพบปัญหาหลักคือ ยังคงมีประสิทธิภาพที่ไม่มากพอ และสารอินทรีย์ที่ใช้เป็นตัวทำไดโอดเปล่งแสงนั้นมีอายุการใช้งานไม่เพียงพอสำหรับการดำเนินงานของอุปกรณ์ ซึ่งถือเป็นปัญหาที่สำคัญในการผลิตเทคโนโลยีจอภาพแสดงผลนี้ [2] ดังนั้นคณะผู้วิจัยสนใจที่จะออกแบบ และสังเคราะห์สารอินทรีย์เปล่งแสงชนิดใหม่ที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

โดยงานวิจัยนี้ได้เน้นการออกแบบและสังเคราะห์สารอินทรีย์เรืองแสงที่มีสารประกอบ pyrene-phenothiazine (P-PTZ) เป็นโครงสร้างหลัก รวมทั้งศึกษาสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ สมบัติทางความร้อน และสมบัติทางแสง เป็นต้น

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1.2.1 เพื่อออกแบบ และสังเคราะห์สารอินทรีย์เรืองแสง P-PTZ โดยใช้ปฏิกิริยาหลัก คือ ปฏิกิริยา Suzuki-Miyauracoupling
- 1.2.2 เพื่อทำการศึกษสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ สมบัติทางความร้อน และสมบัติทางแสงของ สารเรืองแสงที่สังเคราะห์ได้

## 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1.3.1 ปฏิกิริยา Methylation ของ phenothiazine
- 1.3.2 ปฏิกิริยา Bromination ของ 10-methyl phenothiazine
- 1.3.3 ปฏิกิริยา Suzuki-Miyaura coupling ระหว่างอนุพันธ์ของ phenothiazine และ อนุพันธ์ของ pyrene
- 1.3.4 การศึกษาสมบัติทางความร้อน และสมบัติทางแสงของสารประกอบ P-PTZ

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 มีความรู้ความเข้าใจในการสังเคราะห์สารประกอบ P-PTZ
- 1.4.2 สามารถวัดและวิเคราะห์สมบัติทางความร้อน ด้วยวิธีดีฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่ง แคลอริมิเตอร์ (Differential scanning calorimeter ; DSC)
- 1.4.3 สามารถวัดและวิเคราะห์สมบัติทางแสง ด้วยเทคนิคยูวี-วิสิเบิล แอปซอร์ปชัน สเปกโทรสโกปี (UV-Visible absorption spectroscopy) และเทคนิคฟลูออเรสเซนส์ สเปกโทรสโกปี (Fluorescence spectroscopy)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

# ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 ที่มาและความสำคัญของ OLEDs (Organic Light Emitting Diodes)

OLEDs (Organic light emitting diodes) คือ จอภาพที่มีลักษณะคล้ายแผ่นฟิล์ม ซึ่งมีส่วนประกอบเป็นสารอินทรีย์ที่สามารถเปล่งแสงเองได้เมื่อได้รับพลังงานไฟฟ้า เรียกว่า กระบวนการอิเล็กโทรลูมิเนสเซนส์ (Electroluminescence) โดยที่ไม่ต้องพึ่งพาแสง black light และไม่มีการเปล่งแสงในบริเวณที่เป็นภาพสีดำ ส่งผลให้สีดำนั้นดำสนิท อีกทั้งยังช่วยประหยัดพลังงานด้วย สำหรับสีของแสงที่ปรากฏออกมาจะขึ้นอยู่กับชนิดของโมเลกุลของสารอินทรีย์ในชั้น emissive layer ซึ่งในจอ full color OLEDs จะมีสารอินทรีย์ทั้งหมด 3 ชนิด ได้แก่ สารอินทรีย์ที่ให้แสงสีแดง เขียว และน้ำเงิน (RGB) โดยสารทั้ง 3 ชนิดนี้ถูกเคลือบอยู่บน OLEDs เพียงแผ่นเดียว เพื่อให้เกิดสีต่าง ๆ ส่วนความสว่างของแสงที่ปรากฏบนจอภาพจะขึ้นอยู่กับปริมาณของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน หากมีกระแสไฟฟ้ามากแสงก็มีความสว่างมากขึ้น ซึ่งปกติ OLEDs จะใช้กระแสไฟฟ้าที่ประมาณ 3-10 โวลต์ [3]

เทคโนโลยี OLEDs ได้ถูกคิดค้นขึ้นโดย Eastman Kodak ในช่วงต้นทศวรรษ 2520 จอภาพ OLEDs ชั้นแรกนั้นเป็นงานวิจัยของ Kodak ซึ่งประกอบด้วยด้านหน้าสุดเป็นกระจกที่เคลือบด้วย indium tin oxide (ITO) ทำหน้าที่เป็น anode ถัดมาเป็นชั้นของสาร organic ชั้นแรกที่ทำด้วย aromatic diamine ถัดมาเป็นชั้นของ organic ชั้นที่ 2 ที่เป็น metal chelate complex ซึ่งทำหน้าที่ปล่อยแสงออกมา ชั้นสุดท้ายเป็น cathode ที่ทำจาก magnesium และ silver สรุปแล้วจอทั้งหมดมีอยู่ 4 ชั้น มีความหนาเพียง 500 นาโนเมตรเท่านั้น เมื่อผ่านไฟฟ้าขนาด 10 โวลต์เข้าไป หน้าจอ OLEDs รุ่นแรกนี้จะมีแสงสว่างคงทนอยู่ได้แค่ 100 candela ซึ่งเป็นแสงสว่าง 2 เท่าของจอ LCD พร้อม black light แต่ข้อเสียคือความสว่างคงทนอยู่ได้แค่ 100 ชั่วโมง และจะหรี่ลงเหลือเพียงครึ่งเดียว นอกจากนั้นยังมีปัญหาในเรื่องการแสดงสีโดยเฉพาะสีน้ำเงิน และในปัจจุบัน OLEDs ได้มีการนำมาใช้กับอุปกรณ์ที่มีหน้าจอขนาดเล็ก เช่น โทรศัพท์เคลื่อนที่ PDA และกล้องดิจิทัล เป็นต้น ในเดือนมีนาคม 2546 บริษัทได้เปิดตัวกล้องดิจิทัลตัวแรกของโลกที่ใช้หน้าจอแบบ OLEDs ซึ่งในเดือนกันยายน 2547 บริษัท Sony ได้ประกาศเริ่มการผลิตหน้าจอ OLEDs อย่างจริงจังสำหรับผลิตภัณฑ์รุ่น CLIE PEF-VZ90 ของตัวเอง สำหรับอุปกรณ์สร้างความบันเทิงส่วนบุคคลแบบพกพาหลายบริษัทได้เริ่มสร้างต้นแบบจอมอนิเตอร์สำหรับคอมพิวเตอร์ และทีวีจอใหญ่ ในเดือนพฤษภาคม 2549 Samsung Electronics ได้ประกาศถึงการพัฒนาทีวีจอแบนพิเศษ ขนาด 40 นิ้วแบบ OLEDs ตัวแรก การวิจัย และพัฒนา OLEDs ได้เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว และอาจจะทำให้เห็นการนำมาใช้กับจอแสดงผลเหนือหัว (HUD) จอควบคุมในรถยนต์ จอแสดงผลโฆษณาบิลบอร์ด ไฟส่องสว่างตามบ้าน และในสำนักงาน รวมถึงหน้าจอแบบยืดหยุ่น OLEDs มีอัตราเร็วเร็วกว่า LCD ประมาณ 1,000 เท่า แม้ว่าอุปกรณ์ที่ใช้จอ OLEDs สามารถเปลี่ยน ข้อมูลที่แสดงได้ในเรียลไทม์ แต่การรับรู้การ

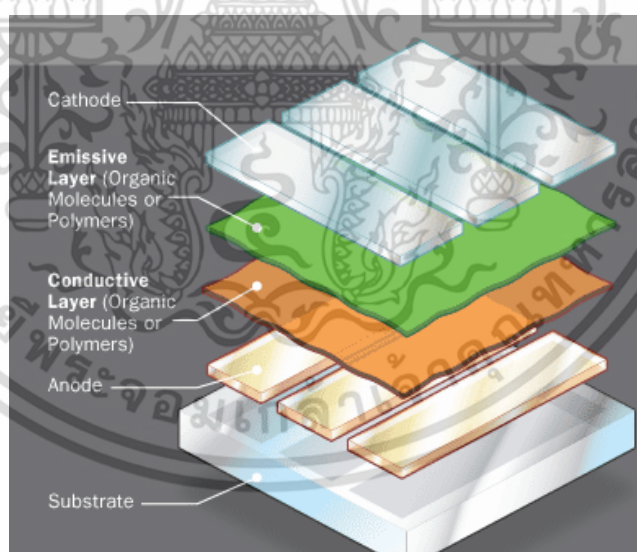
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปลี่ยนแปลงผ่านดวงตามนุษย์ก็ยิ่งรวดเร็วกว่าประมาณ 13 มิลลิวินาที อัตรารีเฟรชดังกล่าวจึงยังไม่ใช้ที่สุุดสำหรับผลิตภัณฑ์จอแสดงผล มอนิเตอร์ระดับไฮเอนด์หลายตัวในปัจจุบันได้ใช้ประโยชน์จากหลักการวิศวกรรมขั้นสูง ไม่ว่าจะเรื่องความละเอียดหรือการใช้อ็องค์ประกอบอื่น ๆ เพื่อให้ได้การแสดงผลภาพที่พึงพอใจแก่สายตามากยิ่งขึ้น [6]

### 2.1.1 Electroluminescence

Electroluminescent (EL) คือ ปรากฏการณ์ส่องสว่างด้วยการกระตุ้นทางไฟฟ้า เกิดขึ้นเมื่อมีการป้อนไฟฟ้ากระแสสลับเข้าไปยังเส้นลวดหรือแผ่นตัวนำที่เคลือบด้วยสารฟอสฟอรัส (Phosphor) ทำให้เกิดการกระตุ้นอิเล็กตรอนให้หลุดจากระดับพลังงานชั้นเดิมไปยังระดับพลังงานชั้นที่สูงกว่า เมื่ออิเล็กตรอนตกกลับมายังสถานะเดิมมันจะปล่อยโฟตอน (Photon) จำนวนมากออกมา ทำให้สารที่เคลือบอยู่เกิดการเรืองแสง กระแสไฟฟ้าที่ไหลกลับไปมาเป็นต้นเหตุที่ทำให้เกิดการส่องสว่างที่นาน และมากขึ้น แต่ถ้ากระตุ้นด้วยการจ่ายไฟตรง กระบวนการเกิดแสงจะเกิดเพียงทิศทางเดียว เป็นผลให้การขับแสงทำได้เพียงช่วงเวลาสั้น ๆ การเรืองแสงจึงเกิดขึ้นได้น้อยกว่าเมื่อเทียบกับการกระตุ้นด้วยไฟฟ้ากระแสสลับ

### 2.1.2 โครงสร้างพื้นฐานของจอภาพ OLEDs [6]



รูปที่ 2.1 องค์ประกอบพื้นฐานของจอภาพ OLEDs (แบบที่มีสารอินทรีย์ประกอบ 2 ชั้น) [6]

โครงสร้างพื้นฐานของจอภาพ OLEDs (แบบที่มีสารอินทรีย์ประกอบ 2 ชั้น) ประกอบด้วย

1. Substrate เป็นชั้นผิวหน้าของจอภาพ อาจทำจากกระจกพอลิโอสโลหะหรือพลาสติกใส ซึ่งหากทำจากพอลิโอสหรือพลาสติกใสจะทำให้ได้จอภาพที่มีความยืดหยุ่นสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. Anode (ขั้วบวก) ทำด้วยวัสดุโปร่งใส (Indium Tin Oxide; ITO) เป็นตัวทำหน้าที่ดึงกระแส อิเล็กตรอน

3. Organic layer ทำจากสารประกอบอินทรีย์หรือพอลิเมอร์ของสารอินทรีย์ โดยถูกแบ่ง ออกเป็น 2 ชั้นย่อย ๆ ได้แก่

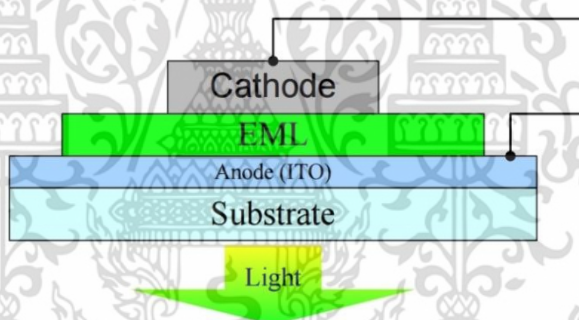
- Conducting Layer ทำจากโมเลกุลของสารอินทรีย์ที่เป็นสี ทำหน้าที่ส่งโฮล (Hole) ของ อิเล็กตรอนจาก anode

- Emissive Layer ทำจากโมเลกุลของสารอินทรีย์ที่เป็นสี ทำหน้าที่เคลื่อนย้ายอิเล็กตรอน จาก cathode โดยชั้นนี้เป็นชั้นที่ทำให้เกิดการเปล่งแสง

4. Cathode (ขั้วลบ) อาจทำด้วยวัสดุโปร่งใสหรือไม่ก็ได้ ขึ้นอยู่กับชนิดของ OLEDs เป็นตัวทำ หน้าที่ปล่อยกระแสอิเล็กตรอน [4]

### 2.1.3 รูปแบบของจอภาพ OLEDs [8]

2.1.3.1 OLEDs แบบชั้นเดียว (Single layer) ประกอบไปด้วยชั้นเปล่งแสง (Emitting layer; EML) เพียงชั้นเดียว

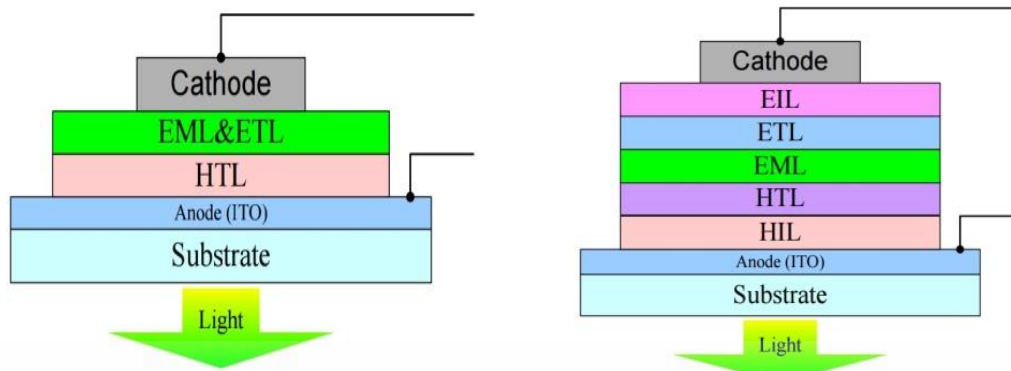


รูปที่ 2.2 โครงสร้าง OLEDs แบบชั้นเดียว [8]

2.1.3.2 OLEDs แบบหลายชั้น (Multi-layer) เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของ OLEDs ให้ สูงขึ้น โดยทำการเพิ่มชั้นต่าง ๆ เข้าไปคือ ชั้นฉีดโฮล (Hole injection layer; HIL) ชั้นส่งผ่านโฮล (Hole transport layer; HTL) ชั้นส่งผ่านอิเล็กตรอน (Electron transport layer; ETL) และชั้นฉีด อิเล็กตรอน (Electron injection layer; EIL) โดยการที่มีชั้นสารส่งผ่านโฮล จะทำให้ประสิทธิภาพ การเรืองแสงของไดโอดเรืองแสงดีกว่า OLEDs แบบชั้นเดียวเนื่องจาก OLEDs แบบหลายชั้นมีอัตรา การใส่ประจุลบ และบวกจากอิเล็กโทรดทั้งสองที่สมดุลกัน

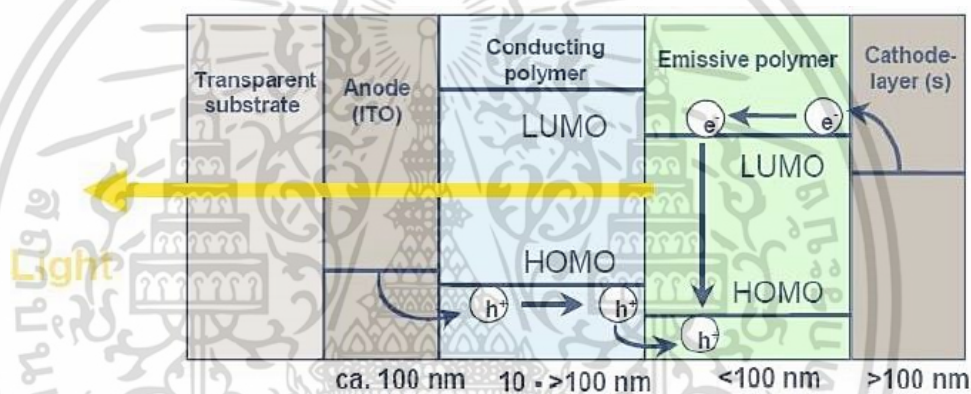
สารอินทรีย์ที่นำมาสร้างเป็น OLEDs มีด้วยกันสองชนิด คือ พอลิเมอร์ และโมเลกุลขนาดเล็ก (small molecule) โดยในที่นี่จะขอกกล่าวถึงเฉพาะ OLEDs ที่สร้างจากสารอินทรีย์แบบโมเลกุลขนาดเล็กเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 โครงสร้าง OLEDs แบบชั้นสองชั้น [8]    รูปที่ 2.4 โครงสร้าง OLEDs แบบชั้นหลายชั้น [8]

### 2.1.4 หลักการทำงานของจอภาพ OLEDs [9]



รูปที่ 2.5 หลักการทำงานของจอภาพ OLED [9]

OLEDs (Organic light emitting devices) เป็นอุปกรณ์ที่มีหลักการง่าย ๆ กล่าวคือ เมื่อนำวัสดุที่มีสมบัติเป็นสารเปล่งแสง (Emissive materials) ซึ่งเป็นโมเลกุลอินทรีย์ (Organic materials) มาวางไว้ระหว่างขั้วไฟฟ้าบวก และลบ วัสดุเปล่งแสงนี้มีสมบัติเป็นสารกึ่งตัวนำที่มีชั้นของพลังงานสองชนิด ได้แก่ ชั้นพลังงานที่มีอิเล็กตรอนบรรจุอยู่เต็ม และชั้นพลังงานว่างเปล่าที่ไม่มีอิเล็กตรอนบรรจุ ชั้นพลังงานสองชนิดนี้ไม่เชื่อมต่อกัน โดยชั้นพลังงานที่ว่างเปล่าจะอยู่สูงกว่าชั้นพลังงานที่มีอิเล็กตรอนบรรจุอยู่ ด้วยช่องว่างของพลังงาน (Energy gap) ซึ่งมีขนาดที่เหมาะสม ประจุบวกหรือโฮล (Hole) สามารถวิ่งจากขั้วบวกเข้าไปในชั้นพลังงานที่มีอิเล็กตรอนบรรจุอยู่นี้ได้ (การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนออกจากชั้น พลังงานนี้ไปสู่ขั้วไฟฟ้าบวกก็เปรียบเสมือนกับการเคลื่อนที่เข้ามาของประจุบวกหรือโฮล) ในขณะที่ประจุลบหรืออิเล็กตรอน จะชอบวิ่งจากขั้วลบเข้าไปยังชั้นพลังงานที่ว่างเปล่านี้ เมื่อผ่านสนามไฟฟ้าเข้าไปที่ขั้วทั้งสอง อิเล็กตรอนจากขั้วลบเข้าไปยังชั้นพลังงานที่ว่างเปล่า ในขณะที่โฮลจะวิ่งจากขั้วบวกเข้าไปยังชั้นพลังงานที่มีอิเล็กตรอนบรรจุอยู่ จากนั้นประจุลบจะวิ่งลงมาพบกับประจุบวกแล้วรวมตัวกันเกิดเป็นอนุภาคโฟตอนหรือแสงนั่นเอง โดยเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พลังงานของอนุภาคโฟตอนนั้นจะมีค่าเท่ากับ Energy gap ซึ่งจะเป็นตัวกำหนดสีของแสงที่เปล่งออกมา เช่น สีแดง ซึ่งมีพลังงานต่ำกว่าสีฟ้า เป็นต้น สีของแสงที่เปล่งออกมาขึ้นอยู่กับ Energy gap ซึ่งก็จะขึ้นอยู่กับสมบัติของวัสดุเปล่งแสงอีกที

### 2.1.5 ข้อดีของ OLEDs [6]

LCD เป็นตัวเลือกของหน้าจอปัจจุบันที่ใช้บนอุปกรณ์ขนาดเล็ก และยังมีนิยมนำมาใช้บนจอทีวีขนาดใหญ่ ขณะที่จอ LED ทั่วไปมักนำมาใช้แสดงผลตั้งแต่ตัวเลขบนนาฬิกาดิจิตอลไปจนถึงอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และจอทีวีในปัจจุบัน แต่ว่า OLEDs ได้ให้ประโยชน์ใช้สอยที่ครอบคลุมทั้ง LCD และ LED หรือมากกว่า อันได้แก่

1. ชั้นพลาสติกชีวภาพของ OLEDs บางกว่า เบากว่า และยืดหยุ่นมากกว่าชั้นผลึกแก้วทั้งใน LED และ LCD

2. เนื่องจากชั้นที่เปล่งแสงของ OLEDs เบากว่าตัวฐานตั้งต้นของ OLEDs จึงสามารถใช้วัสดุที่ยืดหยุ่นแทนวัสดุแข็งได้ ตัวฐานตั้งต้นของ OLEDs อาจเป็นพลาสติกได้มากกว่าที่จะเป็นกระจกที่ใช้กันใน LED และ LCD

3. OLEDs มีความสว่างมากกว่า LED เนื่องจากชั้นชีวภาพของ OLEDs บางกว่ามากเมื่อเทียบกับชั้นผลึกคริสตัลสังเคราะห์ของ LED ทำให้ชั้นตัวนำ และชั้นเปล่งแสงของ OLED สามารถซ้อนกันหลายชั้นได้ นอกจากนี้ทั้ง LED และ LCD ต่างต้องใช้แก้วเป็นฐานรองรับ รวมถึงแก้วก็ดูดซับแสงไว้บางส่วนอีกด้วย ขณะนี้ OLEDs ไม่จำเป็นต้องใช้แก้ว

4. OLEDs ไม่ต้องใช้ไฟส่องด้านหลังเหมือน LCD ซึ่ง LCD ทำงานด้วยการเลือกพื้นที่ป้องกันแสงส่องผ่านจากไฟส่องด้านหลังเพื่อแสดงภาพให้เห็น ขณะที่ OLEDs สร้างแสงขึ้นได้ด้วยตัวเอง เนื่องจาก OLEDs ไม่จำเป็นต้องใช้ไฟส่องด้านหลังนี้ จึงใช้พลังงานน้อยกว่า LCD มาก (พลังงานส่วนใหญ่ที่ LCD ใช้หมดไปกับไฟส่องสว่างด้านหลัง) ซึ่งสำคัญอย่างยิ่งโดยเฉพาะกับอุปกรณ์ที่ใช้แบตเตอรี่อย่างเช่น โทรศัพท์เคลื่อนที่ เป็นต้น

5. OLEDs ผลิตขึ้นมาได้ง่าย และสามารถทำให้มีขนาดใหญ่กว่าได้ โดยมีความปลอดภัยสูง เนื่องจากองค์ประกอบส่วนใหญ่ของ OLEDs เป็นพลาสติก จึงสามารถทำให้อยู่ในรูปแผ่นซีทบางขนาดใหญ่ได้ ขณะที่ในกรณีของคริสตัลเหลวจะทำได้ยากมาก

6. OLEDs ให้ความร้อนที่น้อยกว่า LCD ทำงานได้ด้วยการป้องกันแสงด้านหลังตลอดผ่าน จึงมีมุมมองที่แคบกว่าขณะที่ OLEDs สร้างแสงสว่างได้ด้วยตัวเอง จึงได้มุมมองที่กว้างกว่ามาก

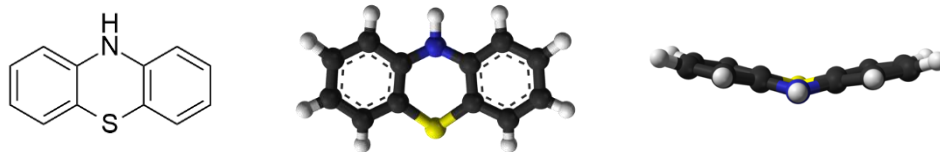
### 2.1.6 ข้อเสียของ OLEDs

1. กระบวนการผลิตในขณะนี้ยังค่อนข้างแพง
2. สารอินทรีย์ที่ใช้ทำ OLEDs จะเสียหายได้ง่ายเมื่อโดนน้ำหรือออกซิเจน [6]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2 สารประกอบอินทรีย์

### 2.2.1 Phenothiazine



รูปที่ 2.6 Phenothiazine [10,14]

Phenothiazine (PTZ) มีสูตรโมเลกุลคือ  $C_{12}H_9NS$  มวลโมเลกุล 199.271 g/mol เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่อยู่ในกลุ่ม thiazine-class ของพวกสารประกอบเฮเทอโรไซคลิก (Heterocyclic compounds) PTZ ถูกค้นพบในปี ค.ศ.1940 ซึ่งอยู่ในยุคปฏิวัติการรักษาด้านจิตเวช และโรคมะเร็ง [11]

PTZ เป็นสารประกอบที่มีอิเล็กตรอนเป็นจำนวนมาก (Electron-rich compound) จาก sulphur และ nitrogen heteroatoms อีกทั้งมีศักยภาพต่ำในการเกิดออกซิเดชัน และยังมีสมบัติในการเกิด electroluminescence ด้วยโครงสร้างของ PTZ ที่แตกต่างจากโครงสร้างของ pyrene ด้วยโครงสร้างลักษณะเช่นนี้เองทำให้สามารถป้องกันการซ้อนทับกันของโมเลกุลได้ [5,12,30]

#### สมบัติทางกายภาพ [11]

1. สีเหลืองแกมเขียว
2. มีลักษณะเป็น rhombic leaflets หรือรูปร่างคล้ายเพชร (diamond-shape plates)
3. ความสามารถในการละลายในตัวทำละลายอื่น ๆ ได้แก่ benzene, ether, petroleum ether, chloroform, hot acetic acid, ethanol, mineral oil (Slightly)

#### สมบัติทางเคมี [11]

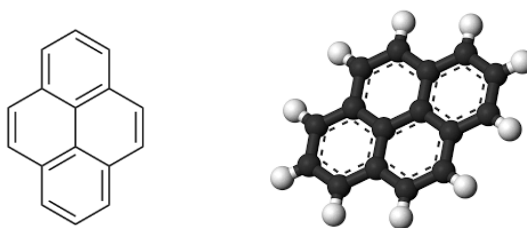
1. จุดหลอมเหลว  $185^{\circ}C$
2. จุดเดือด  $371^{\circ}C$

#### การใช้ประโยชน์ [11]

1. Phenothiazine ถูกใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตสารเคมี โดยใช้เป็นตัว stabilizer มีการนำมาใช้ในช่วงกลางศตวรรษที่ 20 ซึ่งใช้เป็นยาฆ่าแมลง และยาฆ่าหรือขับพยาธิ สำหรับปศุสัตว์ และมนุษย์
2. ในการผลิตโมโนเมอร์มีการใช้ phenothiazine เป็นตัวเพิ่มเสถียรภาพหรือตัวยับยั้งเพื่อยืดอายุการเก็บรักษา และอายุของผลิตภัณฑ์ เช่น acryloyl chloride เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2.2 Pyrene



รูปที่ 2.7 Pyrene [13,29]

Pyrene เป็นสารประกอบ polycyclic-aromatic hydrocarbon; PAH ที่มีวงเบนซินเชื่อมติดกัน 4 วง มีลักษณะแบนราบ มีสูตรโมเลกุลคือ  $C_{16}H_{10}$  และมีมวลโมเลกุลเท่ากับ 202.25 g/mol ซึ่งเป็นสารประกอบอินทรีย์ pyrene นั้นถูกค้นพบครั้งแรกในน้ำมันดิบที่อยู่ในถ่านหินโดยพบได้ถึง 2% และเกิดจากการเผาไหม้อย่างไม่สมบูรณ์ของสารประกอบอินทรีย์ โดย pyrene สามารถเกิดปฏิกิริยา oxidation กับสารประกอบ dichromate compound และ 1,4,5,8-tetracarboxylic acid โดยผ่านปฏิกิริยา hydrogenation และมีความไวต่อปฏิกิริยาการเติมของ Diels-Alder และปฏิกิริยา nitration ที่มีความจำเพาะที่แตกต่างกัน [13]

### สมบัติทางกายภาพ[13]

1. ไม่มีสีหรืออาจเป็นสีเหลืองถ้าพบในปริมาณน้อย
2. มีลักษณะเป็นของแข็ง
3. สามารถละลายได้ในน้ำ

### สมบัติทางเคมี [13]

1. ความหนาแน่น 1.271 g/mol
2. จุดหลอมเหลว 145-148°C
3. จุดเดือด 404°C

### การใช้ประโยชน์ [13]

1. Pyrene และอนุพันธ์มีการใช้ในการผลิตสีย้อมเชิงพาณิชย์ เช่น pyranine เป็นต้น
2. อนุพันธ์ของ pyrene ยังเป็นโมเลกุลที่ใช้สำหรับเป็นโพรบเรืองแสงในกล้อง fluorescence spectroscopy ซึ่งมีอายุการใช้งานที่นาน
3. การปล่อยสเปกตรัมมีความไวสูงต่อตัวทำละลายมีขั้ว ดังนั้นไพรีนถูกนำมาใช้เป็นโพรบเพื่อตรวจสอบสภาพแวดล้อมที่มีตัวทำละลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.3 เทคนิคการสกัด [15]

### 2.3.1 การสกัดด้วยตัวทำละลาย (Solvent extraction)

การสกัดด้วยตัวทำละลาย เป็นวิธีการแยกสารทางพื้นฐาน เพื่อนำไปสู่การแยกสารทางเทคนิคโครมาโทกราฟี (Chromatography) เพราะอาศัยหลักเดียวกัน คือ การกระจาย (Distribution) ของตัวถูกละลายในระหว่างวัฏภาค (Phase) ของตัวทำละลายที่มีความสามารถในการละลายเข้ากันได้ ถ้านำตัวถูกละลายมาเขย่าในตัวทำละลายสองชนิดที่มีความสามารถในการละลายเข้ากันได้ ตัวถูกละลายจะละลายในตัวทำละลายทั้งสองชนิดมากน้อยต่างกัน ขึ้นอยู่กับความสามารถของการละลายในตัวทำละลายนั้น เมื่อปล่อยทิ้งไว้จนเกิดภาวะสมดุล ตัวทำละลายทั้งสองจะแยกเป็นสองชั้น เมื่อนำชั้นของตัวละลายทั้งสองมาหาความเข้มข้นของตัวถูกละลาย จะพบว่าไม่ว่าปริมาณเริ่มแรกของตัวถูกละลายจะเป็นเท่าไรก็ตาม อัตราส่วนของความเข้มข้นของตัวถูกละลายในตัวทำละลายทั้งสองชนิดนั้นจะมีค่าคงที่เสมอ ถ้าอุณหภูมิในการทดลองคงที่ตลอด

#### หลักพื้นฐานโดยทั่ว ๆ ไป

สารอินทรีย์ที่เป็นของเหลว ส่วนมากจะไม่ละลายเป็นเนื้อเดียวกันกับน้ำ เมื่อสารอินทรีย์ที่เป็นของเหลวถูกเติมลงไปลงในน้ำ จะเกิดการแยกเป็นสองชั้น ส่วนสารอินทรีย์ที่เป็นของเหลวอาจอยู่ตอนบนหรือตอนล่างของน้ำ ขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของสารอินทรีย์ที่เป็นของเหลวว่าจะมีค่ามากกว่าหรือน้อยกว่าความหนาแน่นของน้ำ

สมมติว่าสารละลายมีตัวถูกละลาย A และ B ละลายอยู่ นำไปเขย่ากับสารอินทรีย์ที่เป็นของเหลว ซึ่งไม่ละลายเป็นเนื้อเดียวกันกับสารละลาย จากนั้นตั้งของผสมดังกล่าวให้นิ่ง จนกระทั่งตัวทำละลายสองชนิดแยกออกเป็นสองชั้น ถ้าสารละลายอินทรีย์มีความสามารถที่จะละลายตัวถูกละลายตัวหนึ่งได้มากกว่าน้ำ แสดงว่าตัวถูกละลายจะผ่านจากวัฏภาคของน้ำไปยังวัฏภาคของสารอินทรีย์ กล่าวคือ ตัวถูกละลายถูกสกัด ส่วนตัวถูกละลายที่ละลายอยู่ในวัฏภาคของน้ำมากกว่าวัฏภาคของสารอินทรีย์ เรากล่าวว่าตัวถูกละลายไม่ถูกสกัด การสกัดสารด้วยตัวทำละลายจะทำในกรวยแยก (Separatory funnel or separating funnel) ของเหลวที่อยู่ตอนล่างของกรวยแยกสามารถไขออกมาได้ จากนั้นตัวถูกละลายสองชนิด A และ B ก็จะนำมาแยกทางกายภาพต่อไป ถ้าเราต้องการทำให้บริสุทธิ์เราควรจะนำสารที่ได้ไปแยกตัวทำละลายออกมาก่อน อาจจะไประเหย หรือนำไปกลั่นต่อไป

## 2.4 เทคนิคการแยก (Separation) [16]

### 2.4.1 โครมาโทกราฟี (Chromatography)

เทคนิคทางโครมาโทกราฟี ที่สามารถทำได้ในห้องปฏิบัติการโดยไม่ต้องอาศัยเครื่องมือราคาแพง และยังมีการใช้งานกันทั่วไป ได้แก่ คอลัมน์โครมาโทกราฟี (Column chromatography) และโครมาโทกราฟีแบบแผ่นบาง (Thin-layer chromatography)

#### 2.4.1.1 โครมาโทกราฟีแบบแผ่นบาง (Thin Layer Chromatography; TLC)

โครมาโทกราฟีแบบแผ่นบาง (TLC) เป็นเทคนิคการวิเคราะห์ห้องปฏิบัติการที่รวดเร็ว สะดวก และราคาไม่แพง นิยมใช้ในการตรวจการดำเนินไปของปฏิกิริยาเคมี ตรวจสอบความบริสุทธิ์ของสารระหว่างกระบวนการแยกสารในขั้นตอนต่าง ๆ ใช้ในการยืนยันชนิดของสาร และสามารถตรวจหาจำนวนองค์ประกอบในของผสม

หลักการของ TLC นั้น คล้ายคลึงกับคอลัมน์โครมาโทกราฟี จะต่างกันก็เพียงแต่ในกรณีของ TLC วัสดุภาคนิ่งจะถูกเคลือบติดไว้ที่แผ่นกระดาษ แผ่นอลูมิเนียม หรือแผ่นพลาสติกบาง ๆ สารจะถูกเติมไว้ที่ใกล้ ๆ ปลายด้านหนึ่งของแผ่นโดยใช้หลอดแคปิลลารี จากนั้นจึงนำแผ่นดังกล่าวไปวางลงในภาชนะที่ใส่วัสดุภาคนิ่งที่ไว้ตั้ง ๆ เมื่อตัวทำละลายถูกดูดซึมขึ้นไปตามตัวดูดซับด้วย capillary action ก็จะทำให้สารตัวอย่างขึ้นไปด้วย จึงเกิดการแยกของสารเกิดขึ้นด้วยหลักการเดียวกับคอลัมน์โครมาโทกราฟี ตัวอย่างเช่น หากใช้ซิลิกาเป็นวัสดุภาคนิ่ง และใช้ตัวทำละลายที่มีขั้วต่ำเป็นวัสดุภาคนิ่งที่ สารที่มีขั้วน้อยจะละลายได้ดีในวัสดุภาคนิ่งที่ แต่ถูกดูดซับด้วยวัสดุภาคนิ่งได้น้อย จึงเคลื่อนที่ได้ดีด้วยระยะที่มากกว่าสารที่มีขั้วสูง ซึ่งละลายในวัสดุภาคนิ่งที่ได้น้อยแต่ดูดซับบนวัสดุภาคนิ่งได้ดี เป็นต้น

#### 2.4.1.2 คอลัมน์โครมาโทกราฟี (Column chromatography)

คอลัมน์โครมาโทกราฟี เป็นเทคนิคที่นิยมใช้แยกสารต่าง ๆ มากมายหลายชนิด อาทิ การแยกองค์ประกอบต่าง ๆ ในผลิตภัณฑ์ธรรมชาติ การแยกสารผลิตภัณฑ์ออกจากปฏิกิริยา เทคนิคนี้สามารถปรับขนาดคอลัมน์ให้เหมาะกับปริมาณสารที่ต้องการแยกได้ โดยมีวัสดุภาคนิ่งที่เป็นของแข็ง เช่น ซิลิกาเจล ( $\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) บรรจุอยู่ในคอลัมน์ยาว จากนั้นจึงเติมสารผสมที่ต้องการแยกลงไปด้านบนของคอลัมน์ก่อนที่จะผ่านตัวทำละลายที่เป็นวัสดุภาคนิ่งที่ลงไปเพื่อทำให้เกิดการแยก วัสดุภาคนิ่งจะมีแรงดึงดูดกับสารชนิดต่าง ๆ กันด้วยความแรงต่างกัน ซิลิกาเจลมีความมีขั้วสูงจึงมีแรงดึงดูดกับสารที่มีขั้วมากได้แข็งแรงกว่าสารไม่มีขั้ว ดังนั้นตัวทำละลายหรือวัสดุภาคนิ่งที่จึงจะสารต่างชนิดออกมาไม่พร้อมกัน สารที่ถูกดูดซับไว้ได้ดี (สารมีขั้วสูง) จะออกมาจากคอลัมน์ที่บรรจุซิลิกาได้ช้ากว่าสารที่ถูกดูดซับได้ไม่ดี (สารมีขั้วต่ำ)

ปัจจัยที่เป็นตัวกำหนดว่าสารตัวอย่างจะออกมาเร็วหรือช้าหรือการแยกจะเป็นไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ คือ แรงดึงดูดระหว่างสารตัวอย่างกับวัสดุภาคนิ่ง และการละลายของสารตัวอย่างในวัสดุภาคนิ่ง ดังนั้นความมีขั้วของสารที่จะแยก และความมีขั้วของตัวทำละลายที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลือกใช้ (วิถุภาคเคลื่อนที่) จึงมีผลต่อการแยกมาก โดยทั่วไปแล้วพอจะเรียงลำดับความมีขั้วของสาร ได้ ดังนี้ alkanes < alkenes < dienes < aromatic hydrocarbons < ethers < esters < ketones < aldehydes < amines < phenols < alcohols และ organic acids ตามปกติสารไม่มีขั้วจะเคลื่อนที่ลงมาอย่างรวดเร็ว อย่างไรก็ตามมวลโมเลกุลก็มีผลด้วยเช่นกัน กล่าวคือ ถ้าสารไม่มีขั้วซึ่งมีมวลโมเลกุลมากจะเคลื่อนที่ได้ช้ากว่าสารที่ไม่มีขั้วที่มีมวลโมเลกุลน้อยกว่า

ตัวทำละลายที่นิยมใช้ในการแยกด้วยคอลัมน์โครมาโทกราฟี เรียงตามลำดับจากมีขั้วน้อยไปขั้วมาก ได้แก่ petroleum ether หรือ hexane < cyclohexane < chloroform < carbon disulfide < diethyl ether < dichloromethane < ethyl acetate < acetone < 2-propanol < ethanol < methanol < acetic acid

ความสามารถในการชะ (Eluent strength) จะมีความสัมพันธ์กับสภาพขั้ว โดยลำดับนี้เปลี่ยนแปลงได้ขึ้นกับชนิดของตัวดูดซับ (วิถุภาคนิ่ง) ตัวทำละลายที่มีขั้วมากจะมีความสามารถในการชะสูงกว่าตัวทำละลายที่มีขั้วน้อย เมื่อตัวดูดซับเป็นสารมีขั้ว เช่น ซิลิกาเจล เป็นต้น แต่จะมีความสามารถในการชะต่ำ กว่าตัวทำละลายที่มีขั้วน้อยเมื่อตัวดูดซับเป็นสารไม่มีขั้ว เช่น ถ่านกัมมันต์ หรือซิลิกาเจลที่ถูกเคลือบผิวด้วยหมู่ไฮโดรคาร์บอนหรือหมู่ไซเลน เป็นต้น

## 2.5 เทคนิคในการวัด

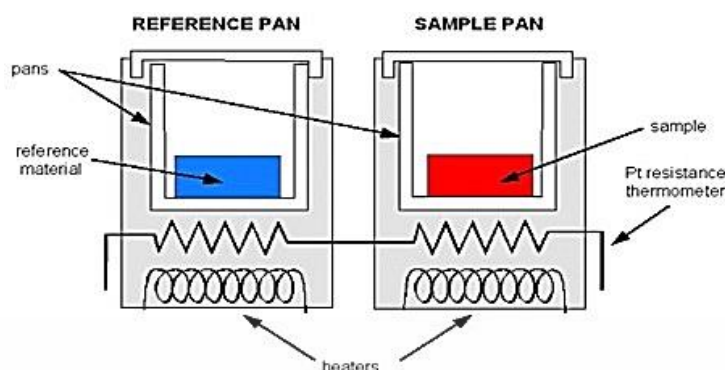
ตรวจวัดสมบัติทางความร้อน และสมบัติทางแสง

### 2.5.1 สมบัติทางความร้อน (Thermal properties) [17]

ดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ (Differential scanning calorimeter) หรือที่เรียกย่อว่าเครื่อง DSC ซึ่งใช้วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทางความร้อน (Thermal transition) ของสาร ตัวอย่าง ที่ใช้วัดการเปลี่ยนแปลงพลังงาน (การดูดหรือคายพลังงาน) ของสารตัวอย่างเมื่อถูกเพิ่ม (หรือลด) อุณหภูมิ ในบรรยากาศที่ถูกควบคุม

หลักพื้นฐานของ DSC คือ นำถาดมา 2 ถาด ถาดแรกเป็นถาดที่บรรจุสารตัวอย่าง (Sample pan) และถาดอ้างอิง (Reference pan) เป็นถาดที่สอง ซึ่งเป็นถาดเปล่าวางอยู่ข้างกันไปวางอยู่บนอุปกรณ์ให้ความร้อน (Heater) ชนิดเดียวกัน เมื่อเริ่มการทดลองอุปกรณ์ให้ความร้อน จะเริ่มให้ความร้อนแก่ถาดทั้งสอง โดยเครื่อง DSC จะควบคุมอัตราการเพิ่มอุณหภูมิให้คงที่ (เช่น 10 องศาเซลเซียส ต่อ 1 นาที) โดยจะควบคุมให้ความร้อนถาดทั้งสองที่วางแยกกัน ด้วยอัตราการเพิ่มความร้อนที่เท่ากันตลอดทั้งการทดลอง หลังการให้ความร้อนอุณหภูมิของถาดทั้งสองจะเพิ่มด้วยอัตราที่ไม่เท่ากัน เนื่องจาก sample pan มีตัวอย่างอยู่ข้างใน แต่ reference pan ไม่มีการมีสารตัวอย่างอยู่ข้างในทำให้ sample pan มีสารในปริมาณที่มากกว่า reference pan นั้นหมายความว่า furnace ต้องให้ความร้อน sample pan มากกว่าที่ให้ reference pan เพื่อที่จะคงอัตราการเพิ่มอุณหภูมิให้เท่ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 ส่วนประกอบของเครื่อง DSC [17]

ดังนั้น furnace ที่อยู่ใต้ sample pan จะต้องทำงานหนักกว่า furnace ที่อยู่ใต้ reference pan คือต้องให้ความร้อนมากกว่า และการวัดความแตกต่างของปริมาณความร้อนจาก furnace ทั้งสองนี้ คือหน้าที่หลักของเครื่อง DSC และเพื่อให้เห็นภาพได้ง่าย เราจะสร้างกราฟ โดยมี แกน X เป็นค่าของอุณหภูมิ และแกน Y เป็นค่าของความแตกต่างของปริมาณความร้อนของ furnace ทั้งสอง ณ อุณหภูมิใดอุณหภูมิหนึ่ง

DSC เป็นเครื่องมือวิเคราะห์ที่ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายตั้งแต่ในอุตสาหกรรมเคมี พลาสติก อิเล็กทรอนิกส์ ยานยนต์ อากาศยาน ไปจนถึงอาหาร และยา โดยถูกนำไปประยุกต์ใช้ สำหรับการวิเคราะห์คุณภาพผลิตภัณฑ์ และสำหรับงานวิจัย ตัวอย่างของข้อมูลที่สามารถวัดได้จากการใช้เครื่อง DSC เช่น จุดหลอมเหลว (Melting point;  $T_m$ ) อุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (glass transition temperature;  $T_g$ ) ความเสถียรต่อปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation stability) จลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยา (reaction kinetics) หรือ ความบริสุทธิ์ (purity) เป็นต้น

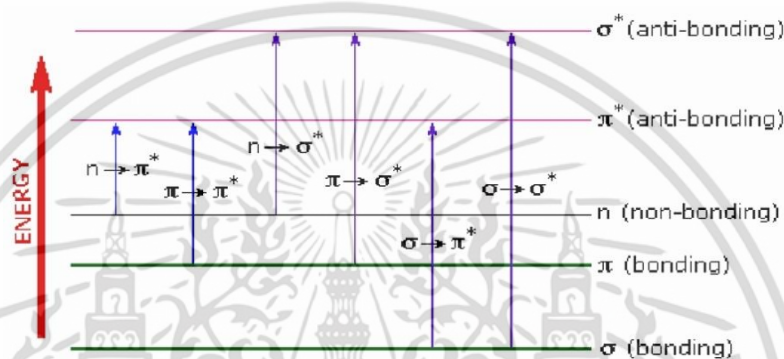
## 2.5.2 สมบัติทางแสง (Optical properties)

2.5.2.1 การวิเคราะห์โดยใช้ UV-Visible spectrophotometer โดยหลักการแล้ว โมเลกุลของสารอินทรีย์ซึ่งมีโครโมฟอร์ (Chromophore) สามารถให้สเปกตรัมที่เกิดจากการดูดกลืนแสงในช่วง UV-Visible ได้ สเปกตรัมนี้แสดงสมบัติโดยเฉพาะของสารนั้น ๆ อาจนำไปใช้ในการวิเคราะห์สารที่บริสุทธิ์ได้โดยการเปรียบเทียบ  $\lambda_{max}$  และ  $\epsilon_{max}$  อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์โดยศึกษาจาก UV-Visible spectrum ค่อนข้างจะจำกัด เพราะลักษณะของสเปกตรัมที่ได้นั้นกว้างขวางมาก และขาดรายละเอียด จึงทำให้สามารถวิเคราะห์ได้แต่เพียงคร่าว ๆ เท่านั้น ควรจะต้องใช้เทคนิคการวิเคราะห์อื่นเข้าช่วยด้วย เช่น IR, NMR หรือ mass spectrometry เป็นต้น จะทำให้การวิเคราะห์นั้นถูกต้องขึ้น แต่จะต้องไม่ลืมว่าสารเจือปนที่มีความสามารถในการดูดกลืนแสง อาจทำให้การวิเคราะห์ผิดพลาดได้ [18]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารที่นำมาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง UV-Visible spectrophotometer ต้องมีสมบัติดูดกลืนแสงได้ เช่น สารประกอบอินทรีย์ สารประกอบเชิงซ้อน และสารอนินทรีย์ ซึ่งสารประกอบดังกล่าวมักเป็นสารที่มีส่วนของโครงสร้างที่เรียกว่า “Chromophores” เช่น สารประกอบไฮโดรคาร์บอนชนิดไม่อิ่มตัวคือ มีหมู่  $C=C$ ,  $C\equiv C$ ,  $C=O$ ,  $N=O$ ,  $C-X$  ( $X = Br, I$ ), benzene ring และมี lone pair electron เป็นต้น [18]

การวิเคราะห์โดยใช้ UV-Visible spectrophotometer จะอาศัยหลักการพื้นฐาน คือเมื่อโมเลกุลได้รับพลังงานคลื่นแสงในช่วง UV-Visible อิเล็กตรอนที่อยู่ภายในโมเลกุล จะถูกกระตุ้นให้มีระดับพลังงานที่สูงขึ้น [19]



รูปที่ 2.9 ระดับพลังงานเมื่ออิเล็กตรอนที่อยู่ภายในโมเลกุลถูกกระตุ้น เมื่อได้รับพลังงานคลื่นแสงในช่วง UV-Visible [19]

เมื่อโมเลกุลของสารตัวอย่างได้รับพลังงานในช่วงคลื่นแสงที่เหมาะสมกับ electronic transition ของอิเล็กตรอนภายในโมเลกุล พลังงานจะถูกดูดกลืน และอิเล็กตรอนที่อยู่ภายในโมเลกุล จะมีระดับพลังงานสูง เครื่อง spectrophotometer จะบันทึกความยาวคลื่นที่เกิดการดูดกลืนแสง และปริมาณการดูดกลืนแสงในแต่ละความยาวคลื่น [19]

#### หลักการทำงานของเครื่อง UV-Visible spectrophotometer [20]

UV-Visible spectrophotometer เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์สาร โดยอาศัยหลักการดูดกลืนแสงของสารที่อยู่ในช่วง Ultra Violet (UV) และ Visible (Vis) ความยาวคลื่นประมาณ 200-800 นาโนเมตร โดยที่ความยาวคลื่นแสงจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณ และชนิดของสารที่อยู่ในตัวอย่าง เมื่อทำการวัดปริมาณของแสงที่ผ่านหรือสะท้อนมาจากตัวอย่างเทียบกับแสงจากแหล่งกำเนิดที่มีความยาวคลื่นค่าต่าง ๆ ตามกฎของ Beer-Lambert ค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) ของสารจะแปรผันกับจำนวนโมเลกุลที่มีการดูดกลืนแสง ดังนั้นจึงสามารถใช้เทคนิคนี้ในระบุชนิด และปริมาณของสารต่าง ๆ ที่มีอยู่ในตัวอย่างได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

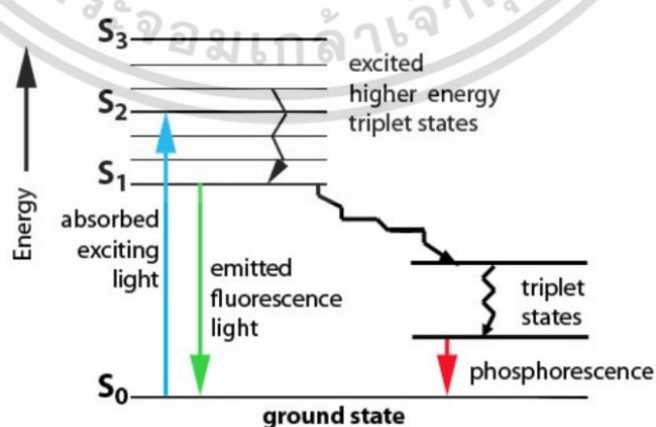
### การประยุกต์ใช้งาน [20]

ส่วนใหญ่จะใช้วิเคราะห์สารอินทรีย์ สารประกอบเชิงซ้อน หรือสารอนินทรีย์ ทั้งที่มีสี และไม่มีสี สารแต่ละชนิดจะดูดกลืนรังสีในช่วงความยาวคลื่นที่แตกต่างกัน และปริมาณการดูดกลืนรังสีก็ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารนั้น การดูดกลืนแสงของสารต่าง ๆ เป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของสาร จึงสามารถวิเคราะห์ได้ในเชิงคุณภาพ และปริมาณ เป็นเทคนิคที่ให้สภาพไวที่ดี และใช้กันอย่างแพร่หลาย

**ลักษณะตัวอย่างที่ทำการทดสอบ:** ตัวอย่างเป็นของเหลวใส ทั้งที่มีสี และไม่มีสี [20]

#### 2.5.2.2 การวิเคราะห์โดยใช้ spectrofluorometer [21]

เทคนิคนี้จะวัดการคายแสงที่เรียกว่า ฟลูออเรสเซนส์ของสาร ซึ่งมีความจำเพาะเจาะจง (Selectivity) ต่อโมเลกุลที่จะวิเคราะห์ ดังนั้นเทคนิคฟลูออเรสเซนส์ จะเหมาะต่อการวิเคราะห์โมเลกุลบางประเภทเท่านั้น แต่จะมีความจำเพาะต่อโมเลกุลที่จะวิเคราะห์มาก เพราะเทคนิคนี้ต้องมีการเลือกทั้งความยาวคลื่น ( $\lambda_{max}$ ) สำหรับการกระตุ้นอิเล็กตรอน และเลือกวัดฟลูออเรสเซนส์ที่ออกมาอีกที่ความยาวคลื่นหนึ่ง ( $\lambda_{max}$ ) ของแต่ละโมเลกุลให้เหมาะสม ดังนั้นโมเลกุลอื่นที่ถูกรบกวน และเกิดฟลูออเรสเซนส์ที่คนละความยาวคลื่นก็จะไม่รบกวน โดยกระบวนการเปล่งแสงที่เกิดจากอะตอมหรือโมเลกุลถูกกระตุ้นโดยการดูดกลืนรังสีแม่เหล็กไฟฟ้า แล้วกลับสู่สถานะพื้นโดยปล่อยพลังงานส่วนเกินในรูปของโฟตอน ถ้ากระบวนการเปล่งแสงเกิดขึ้นเกือบทันทีใช้เวลา  $10^{-5}$  วินาที หรือน้อยกว่าเรียกว่า การเรืองแสงหรือฟลูออเรสเซนส์ (Fluorescence) และถ้ากระบวนการเปล่งแสงใช้เวลาในการเกิดมากเป็นนาที่หรือชั่วโมงเรียกว่า การเรืองแสงหรือฟอสฟอเรสเซนส์ (Phosphorescence) กระบวนการกระตุ้น (Excitation) เมื่อโมเลกุลดูดกลืนรังสีจากการแผ่รังสีแม่เหล็กไฟฟ้าขึ้นไปอยู่ที่สถานะกระตุ้น (Excitation state) และจะมีกลไกที่จะต้องลดพลังงานที่มากเกินไปลงมาสู่สถานะพื้น (Ground state) กระบวนการเกิดการกระตุ้นเนื่องจากดูดกลืนพลังงานและกระบวนการแผ่รังสี อธิบายโดยใช้แผนภาพแสดงระดับพลังงานดังรูปที่ 2.10

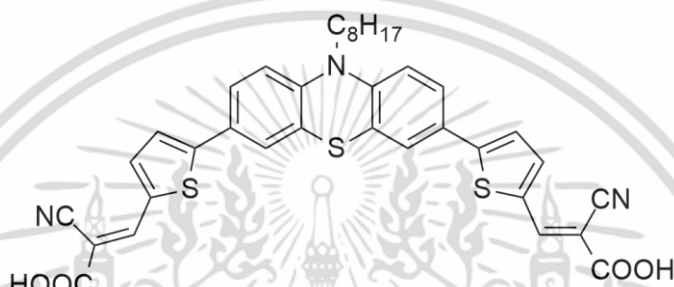


รูปที่ 2.10 แสดงการเกิดการเปล่งแสงฟลูออเรสเซนส์ และฟอสฟอเรสเซนส์ [21]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

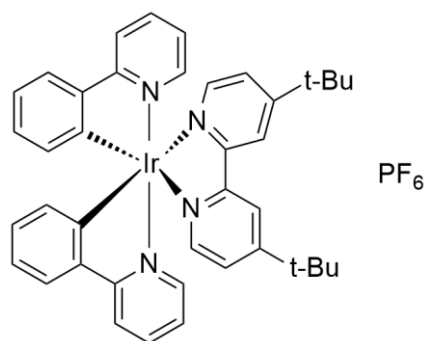
## 2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

**2.6.1 Yan, H. และคณะ** ได้ศึกษาการสังเคราะห์วัสดุเปล่งแสงตัวใหม่ โดยสังเคราะห์จากสารประกอบฟีนโธเอซีนผ่านปฏิกิริยา Methylation, Bromination, Suzuki cross coupling, การเติมหมู่คาร์บอกซาลดีไฮด์ และ Knevenagel ให้ได้เป็นสารประกอบ (2*E*,2'*E*)-3,3'-(5,5'-(octyl-10H-phenothiazine-3,7-diyl))bis(thiophene-5,2-dinyl))bis(2-cyanoacrylic acid) นำสารประกอบที่ได้ไปทดสอบสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ สมบัติเชิงแสง สมบัติเชิงไฟฟ้า และสมบัติเชิงความร้อน เพื่อนำไปประยุกต์ใช้กับไดโอดเปล่งแสงจากสารอินทรีย์ (Organic light-emitting diodes; OLEDs) [22]



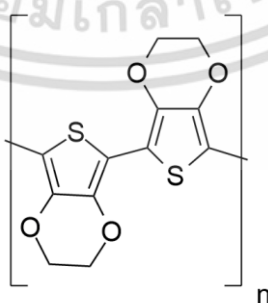
รูปที่ 2.11 โครงสร้างของสารประกอบ (2*E*,2'*E*)-3,3'-(5,5'-(10-octyl-10H-phenothiazine-3,7-diyl))bis(thiophene-5,2-dinyl))bis(2-cyanoacrylic acid) [22]

**2.6.2 Zhang, F. และคณะ** ทำการศึกษาสมบัติทางแสงและทางไฟฟ้าเคมีในสารละลายอะซิโตนไนไตรล์ (Acetonitrile, CH<sub>3</sub>CN) ของสารประกอบโครงสร้างผลึกแคโทดไอออนิก ที่ถูกเตรียมขึ้นมาจากโลหะอิริเดียม (Iridium metal) และมีลิแกนด์เป็น pyridine ที่มีสูตรโมเลกุลคือ Ir(dfmpy)<sub>2</sub>(pzpy)(PF<sub>6</sub>) เมื่อนำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเทคนิค UV-Visible spectroscopy แล้วพบว่าสารประกอบนี้มีค่าการดูดกลืนแสงเท่ากับ 451 นาโนเมตร เป็นสารเรืองแสงที่ให้แสงสีน้ำเงิน โดยสมบัติทางแสงนั้นจะแสดงอยู่ในรูปของ photoluminescence และได้ทำการวัดสมบัติทางไฟฟ้าด้วยเทคนิค cyclic voltammetry ซึ่งเกิดจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนภายในลิแกนด์ นอกเหนือจากนี้แล้วตัวไดโอดเปล่งแสงจากอินทรีย์ที่ทำมาจาก Ir(dfmpy)<sub>2</sub>(pzpy)(PF<sub>6</sub>) ยังใช้พลังงานที่น้อยแต่มีประสิทธิภาพที่สูง [23]



รูปที่ 2.12 โครงสร้างของสารประกอบ  $[\text{Ir}(\text{dtbbpy})(\text{ppy})_2][\text{PF}_6]_2$  [23]

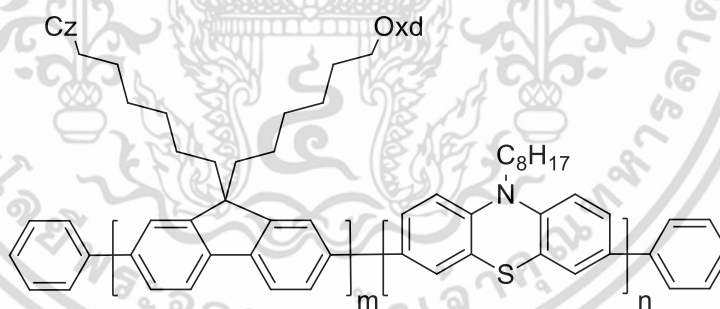
**2.6.3 Benor, A. และคณะ** ได้ศึกษาการปรับปรุงประสิทธิภาพของไดโอดเปล่งแสงจากสารอินทรีย์ (OLEDs) ประสบผลสำเร็จโดยการปรับฟังก์ชันทำงานของ Hole-injection (HIL) โดยใช้ poly(3,4-ethylene-dioxythiophene):poly(styrene sulfonate) หรือ PEDOT:PSS โดยใช้วิธีการฉายแสง UV-ozone plasma โดยใช้สารสองสารที่เปล่งแสงสีเขียว โดยสารตัวที่หนึ่ง tris(8-quinolinolato) aluminum ( $\text{Alq}_3$ ) เป็นตัวจ่ายแสง และสารตัวที่สอง นำ  $\text{Alq}_3$  เจือจางกับ 2,3,6,7-tetrahydro-1,1,7,7-tetramethyl-1H,5H,11H-10-(2-benzothiazolyl)quinolizino[9,9a,1gh]-coumarin จึงทำการศึกษาประสิทธิภาพของ OLEDs นั้นขึ้นอยู่กับชนิดของสารองค์ประกอบ และการฉายแสงของ UV-ozone เป็นเวลาสั้น โดยเวลาที่ที่ดีที่สุดของการฉายแสงคือ ช่วง 4 นาที และ 8 นาที สารนั้นจะให้ประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นจาก 1.05 lm/W (ไม่เสถียร) ไปยัง 2.70 lm/W จนกระทั่งสารตัวที่สองถูกเจือจางเพื่อเพิ่มการจ่ายแสงจาก 4.0 lm/W ไปยัง 8.24 lm/W ดังนั้นสารตัวที่หนึ่งและสองได้รับการเพิ่มประสิทธิภาพ 100% โดยการปรับปรุงประสิทธิภาพของสารมีสาเหตุมาจากประสิทธิภาพและความสมดุล [24]



รูปที่ 2.13 โครงสร้างของสารประกอบ Poly(3,4-ethylenedioxythiophene) [24]

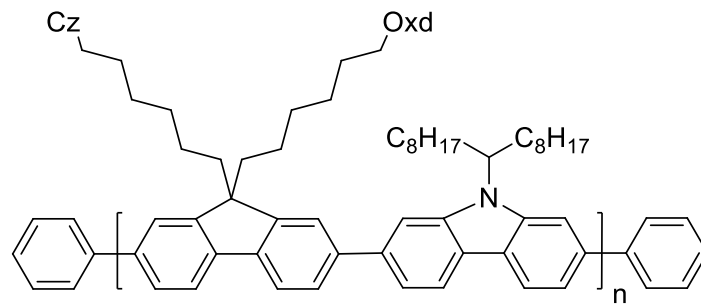
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2.6.4 Yamada, s. และคณะ** ได้รายงานการสังเคราะห์ และการแสดงคุณลักษณะของ fluorene ที่เป็นพอลิเมอร์ในรูปแบบใหม่ โดยใช้ carbazole และมีสายโซ่ของ oxadiazole ที่ใช้สำหรับการสร้างแสงสีขาวที่เปล่งออกจากอุปกรณ์ส่องสว่าง (EL device) ในโครงสร้างหลักของ fluorine จะมีหน่วยที่ส่งผ่านประจุบวก (Hole) เช่น carbazole หรือ phenothiazine ซึ่งถูกนำมา รวมเข้าด้วยกันเพื่อปรับปรุงการส่องสว่าง และเพิ่มประสิทธิภาพของแสงที่เปล่งออกมา PFCzOxd-co-PCzs และ PFCzOxd-co-PPTZs ในสเปกตรของการเปล่งแสง (EL spectra) แสดงให้เห็นถึงพีคสูงสุดที่ประมาณ 430 นาโนเมตร และพีคอื่น ๆ ซึ่งมีขนาดใหญ่คือ 530 และ 500 นาโนเมตร ตามลำดับ ในกรณีของ PFCzOxd-alt-PCz และ PFCzCzPCz-co-PFOxdOxdPCz สเปกตรการเปล่งแสงของพอลิเมอร์ แสดงให้เห็นถึง 2 พีคที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน โดยมีพีคสูงสุดอยู่ที่ 427 นาโนเมตร ซึ่งสัมพันธ์กับสเปกตรการเปล่งแสงของโครงสร้างหลักที่เกิดการคอนจูเกตกัน (Conjugated backbone) และยังปรากฏพีคกว้าง (Broad peak) อื่น ๆ อีกที่ประมาณ 540 นาโนเมตร และ 530 นาโนเมตร ตามลำดับ อุปกรณ์ที่สร้างจาก PFCzOxd-alt-PCz และ PFCzCzPCz-co-PFOxdOxdPCz มีค่ามาตรฐานการส่องสว่างของ CIE อยู่ในระดับเดียวกัน โดยมีค่า อยู่ที่ (0.28,0.33) และ (0.25,0.32) ตามลำดับ ซึ่งเข้าใกล้ค่ามาตรฐานของแสงขาวตามที่ คณะกรรมการกำหนดมาตรฐานระบบโทรทัศน์ (NTSC) คือ (0.33,0.33) [25]

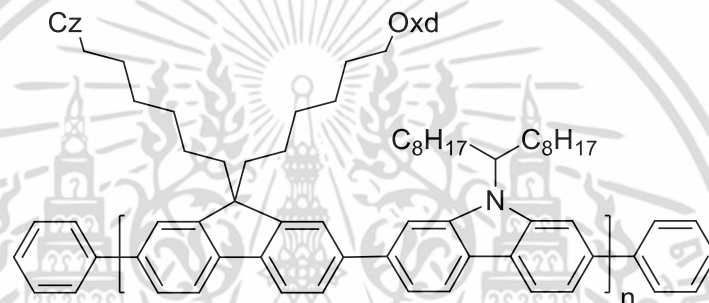


รูปที่ 2.14 โครงสร้างของสารประกอบ PFCzOxd-co-PCzs [25]

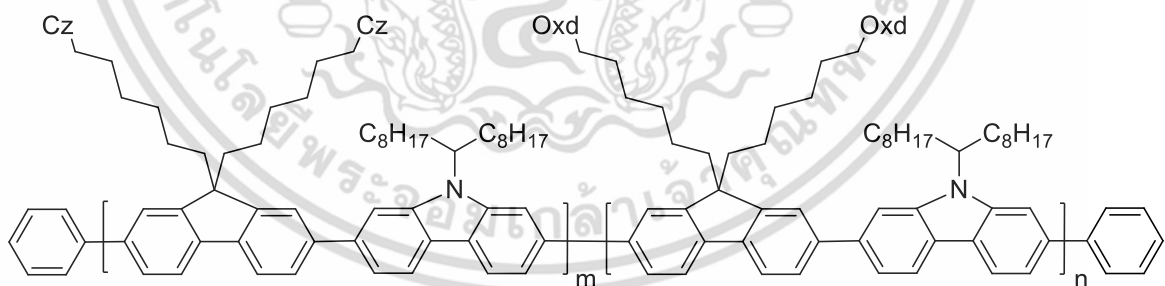
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.15 โครงสร้างของสารประกอบ PFCzOxd-co-PPTZs [25]



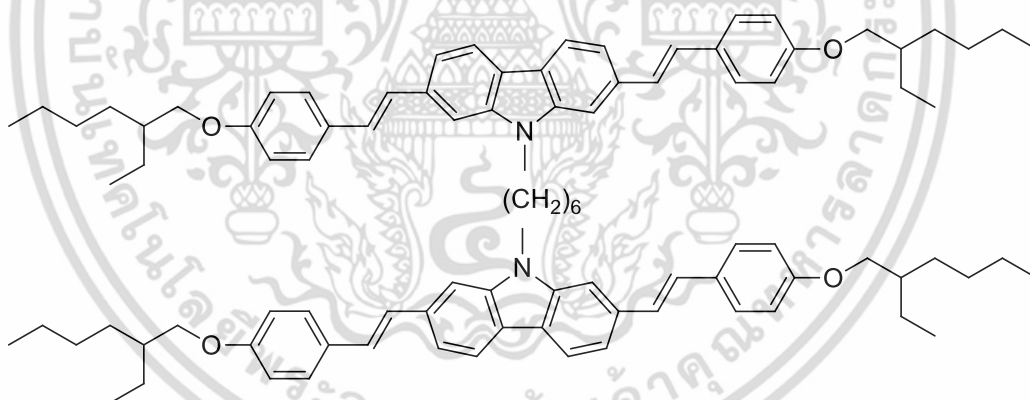
รูปที่ 2.16 โครงสร้างของสารประกอบ PFCzOxd-alt-PCz [25]



รูปที่ 2.17 โครงสร้างของสารประกอบ PFCzCzPCz-co-PFOxdOxdPCz [25]

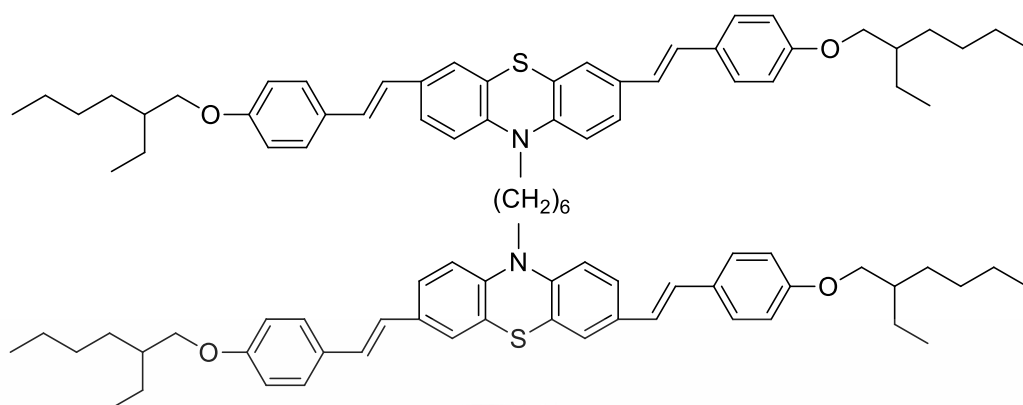
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.5 Barberis, P.V. และคณะ ได้ทำการศึกษาสารโมเลกุลเรืองแสงสีน้ำเงินที่โครงสร้างประกอบของ fluorene, carbazole และ phenothiazine โดยที่สารโมเลกุลสามชนิดใหม่คือ F, C, และ P มีความคล้ายคลึงกัน โดยถูกเชื่อมด้วยสะพานสายโซ่ของ hexamethylene และมีองค์ประกอบของหน่วยย่อย fluorene, carbazole และ phenothiazine จะทำการสังเคราะห์โดยใช้ปฏิกิริยาเฮก (Heck coupling) จากการศึกษาโมเลกุลทั้งสามที่สังเคราะห์ได้นี้พบว่ามีความสามารถในการละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ และมีเสถียรภาพทางความร้อนสูง นอกจากนี้ยังมีค่าอุณหภูมิของการเปลี่ยนสถานะต่ำ ( $T_g$ ) ทั้งสามโมเลกุลนี้มีค่าการดูดกลืนแสงอยู่ที่ 302-373 นาโนเมตร และมีช่องว่างพลังงานเชิงแสงอยู่ที่ 2.72-3.01 อิเล็กตรอนโวลต์ โดยพบว่าสารโมเลกุล F และ C จะมีการปล่อยพลังงานแสงสีน้ำเงินที่ความยาวคลื่น 428-449 นาโนเมตร ทั้งในรูปของสารละลาย และแผ่นฟิล์มบาง ขณะที่สารโมเลกุล P จะมีการปล่อยพลังงานแสงสีน้ำเงิน-เขียว ที่ความยาวคลื่น 489-503 นาโนเมตร F (0.60) ภายใต้ตัวทำละลายที่ใช้คือ THF เมื่อเทียบกับแผ่นฟิล์มบางแล้วจะพบว่าการเคลื่อนสเปกตรัมของค่าพลังงานความเข้มแสงไปในทิศทางความยาวคลื่นที่สูงขึ้นเล็กน้อย ซึ่งจะเห็นว่าสารโมเลกุลทั้งสามชนิดนี้มีความคล้ายคลึงกัน [26]

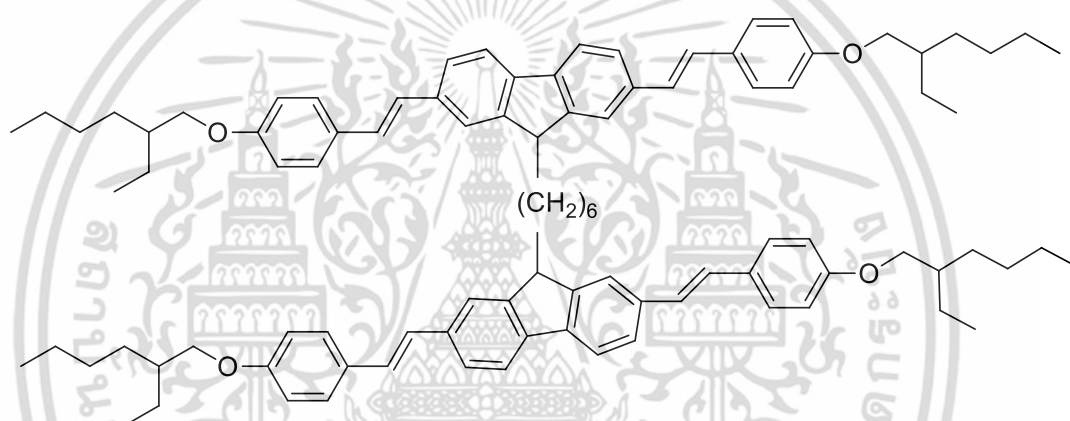


รูปที่ 2.18 โครงสร้างของสารประกอบ C [26]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



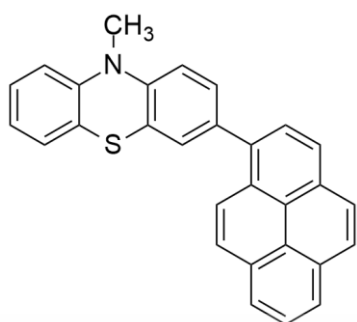
รูปที่ 2.19 โครงสร้างของสารประกอบ P [26]



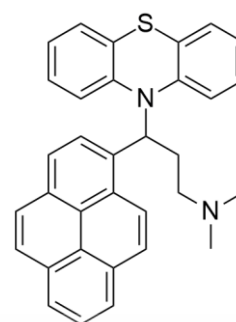
รูปที่ 2.20 โครงสร้างของสารประกอบ F [26]

2.6.6 Guloglu, P. และ Acar, N. ได้ทำการศึกษสมบัติทางแสง และการถ่ายเทพลังงานของ ไดโอดเปล่งแสงที่ทำจากสารอินทรีย์ที่ซึ่งส่วนใหญ่เป็นสารประกอบอะโรมาติกเนื่องจากมีความไว ต่อแสงยูวี โดยสารประกอบที่ได้ทำศึกษานั้นเป็นปฏิกิริยาระหว่างโมเลกุลของ pyrene (เป็นตัวรับ อิเล็กตรอน) และ phenothiazine promazine (เป็นตัวให้อิเล็กตรอน) ได้ทำการวิเคราะห์พลังงานที่ อิเล็กตรอนอยู่ในสถานะของทั้ง pyrene และ phenothiazine แล้วนำมาเปรียบเทียบกันเพื่อ สังเคราะห์แถบพลังงาน (Band gap energy) ให้แคบลงกว่าเดิม เนื่องจากยิ่งแถบพลังงานมีความ แคบมากเท่าไรพลังงานในการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนก็ยิ่งมากขึ้นเท่านั้น เนื่องจากสารประกอบ ไพรีนเป็นสารอินทรีย์ที่สามารถเปล่งแสงและนำมาสังเคราะห์เป็นไดโอดเปล่งแสงได้ หากสามารถ ปรับปรุงแถบพลังงานของไพรีนให้แคบลงได้ก็สามารถทำให้ไพรีนในไดโอดเปล่งแสงนั้นมีประสิทธิภาพ ที่มากขึ้น และให้พลังงานที่มากขึ้นอีกด้วย [27]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.21 โครงสร้างของสารประกอบ  
pyrene-phenothiazine [27]



รูปที่ 2.22 โครงสร้างของสารประกอบ  
pyrene-promazine [27]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินงานวิจัย

#### 3.1 สารเคมี

- 3.1.1 Acetone จากบริษัท RCI Labscan; analytical grade
- 3.1.2 Dichloromethane ( $\text{CH}_2\text{Cl}_2$ ) จากบริษัท RCI Labscan; reagent grade
- 3.1.3 Dimethyl Sulfoxide (DMSO) จากบริษัท Fisher; reagent grade
- 3.1.4 Distilled water ( $\text{H}_2\text{O}$ ) จากมหาวิทยาลัยมหิดล
- 3.1.5 Ethanol (EtOH) จากบริษัท RCI Labscan; analytical grade
- 3.1.6 Hexane จากบริษัท V.S.CHEM HOUSE; reagent grade
- 3.1.7 Methyl iodide ( $\text{CH}_3\text{I}$ ) จากบริษัท Merck KGaA; analytical grade
- 3.1.8 *N*-bromosuccinimide (NBS) จากบริษัท SIGMA-ALDRICH; reagent grade
- 3.1.9 Phenothiazine (PTZ) จากบริษัท TCI; analytical grade
- 3.1.10 Potassium carbonate ( $\text{K}_2\text{CO}_3$ ) จากบริษัท Fisher; analytical grade
- 3.1.11 Potassium hydroxide (KOH) จากบริษัท Lab-scan; analytical grade
- 3.1.12 Pyrene boronic acid
- 3.1.13 Silica gel ( $\text{SiO}_2$ ) จากบริษัท Merck KGaA; column chromatography grade
- 3.1.14 Sodium sulfate anhydrous จากบริษัท Loba Chemic; analytical grade
- 3.1.15 Tetrakis(triphenylphosphine)palladium ( $\text{Pd}(\text{PPh}_3)_4$ ) จากบริษัท SIGMA-ALDRICH; analytical grade
- 3.1.16 Toluene จากบริษัท RCI Labscan; analytical grade

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

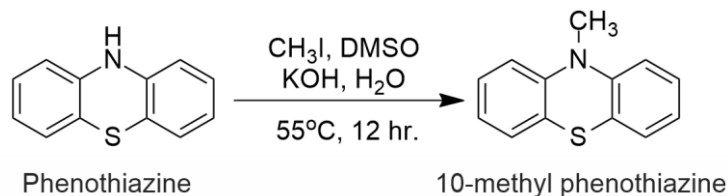
## 3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

- 3.2.1 กรวยบุชเนอร์ (Buchner funnel)
- 3.2.2 กรวยแยก (Separatory funnel)
- 3.2.3 กระบอกตวง (Cylinder)
- 3.2.4 แก๊สอินเลท (Gas inlet)
- 3.2.5 ขวดก้นกลม (Round bottom flask)
- 3.2.6 ขวดแก้วเล็ก (Vial)
- 3.2.7 ขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask)
- 3.2.8 ขวดลดความดัน (Suction flask)
- 3.2.9 คอนเดนเซอร์ (Condenser)
- 3.2.10 คอลัมน์ (Column)
- 3.2.11 เครื่องกวนสารละลายพร้อมเตาให้ความร้อน (Hotplate and Magnetic Stirrer); Heidolph รุ่น MR 3001
- 3.2.12 เครื่องกลั่นระเหยสารแบบหมุน (Rotary Evaporator); BÜCHI รุ่น B-490 และ R-200
- 3.2.13 เครื่องชั่งแบบดิจิทัล ความละเอียด 4 ตำแหน่ง
- 3.2.14 เครื่องวัดการดูดกลืนแสงของสารในช่วงความยาวคลื่นอัลตราไวโอเล็ต และช่วงคลื่นแสงที่มองเห็นได้ (UV-vis spectrophotometer); Shimadzu รุ่น UV-1800
- 3.2.15 เครื่องวัดการคายแสง (Spectrofluorometer); Jasco รุ่น FP-6300
- 3.2.16 เครื่องหาโครงสร้างของสารอินทรีย์ (Nuclear magnetic resonance spectrometer; NMR)
- 3.2.17 เครื่องมือสำหรับวิเคราะห์หาชนิดหมู่ฟังก์ชัน (Fourier Transform Infrared Spectrophotometer; FTIR); Shimadzu รุ่น IRtracer-100
- 3.2.18 เครื่องมือวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทางความร้อนของสาร (Differential Scanning Calorimetry; DSC); Netzsch รุ่น DSC 204F1 Phoenix
- 3.2.19 เดซิเคเตอร์ (Desiccator)
- 3.2.20 ตะแกรงใส่หลอดทดลอง (Test tube rack)
- 3.2.21 ปีกเกอร์ (Beaker)
- 3.2.22 แผ่นทินเลเยอร์
- 3.2.23 หลอดคาพิลลารี (Capillary tube)
- 3.2.24 หลอดทดลอง (Test tube)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 วิธีการดำเนินการทดลอง

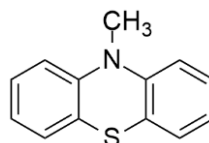
3.3.1 การสังเคราะห์ 10-methyl phenothiazine โดยการทำปฏิกิริยา Methylation ของ phenothiazine (PTZ) ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ปฏิกิริยา Methylation ของ PTZ

ชั่ง PTZ 4.0110 กรัม (20.0733 มิลลิโมล) ใส่ในขวดก้นกลมขนาด 50 มิลลิลิตร แล้วละลายด้วย dimethyl sulfoxide (DMSO) 24 มิลลิลิตร จากนั้นเติม methyl iodide ( $\text{CH}_3\text{I}$ ) 13 มิลลิลิตร และค่อย ๆ หยดสารละลาย potassium hydroxide (KOH) 2.0713 กรัม (40.1466 มิลลิโมล) ที่ละลายด้วยน้ำกลั่น 4 มิลลิลิตร ปั่นกวนสาร (stirrer) ต่อเนื่องเป็นเวลา 12 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ  $55^{\circ}\text{C}$  จะได้สารละลายสีแดงเข้ม จากนั้นนำสารละลายที่ได้เทลงในกรวยแยกขนาด 300 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 60 มิลลิลิตร แล้วสกัดด้วย dichloromethane ( $\text{CH}_2\text{Cl}_2$ ) 3 ครั้ง ครั้งละ 60 มิลลิลิตร นำสารละลายในชั้น  $\text{CH}_2\text{Cl}_2$  ที่สกัดได้ทั้ง 3 ครั้งรวมกัน แล้วเติม sodium sulfate anhydrous จนแน่ใจว่าไม่มีน้ำเหลืออยู่ในสารละลาย ทำการกรอง sodium sulfate anhydrous ออกจากสารละลาย นำสารละลายที่ผ่านการกรองแล้วมาทำการระเหย (Evaporated) ด้วยเครื่องระเหยสารแบบหมุน (Rotary vapor) จากนั้นนำสารละลายส่วนที่เหลือจากการระเหยมาทำการแยกโดยใช้เทคนิคโครมาโทกราฟีแบบคอลัมน์ (Column chromatography) ที่บรรจุด้วย silica gel เป็นวัฏภาคคงที่ (Stationary phase) จากนั้นชะสารผลิตภัณฑ์ด้วย hexane ที่ใช้เป็นวัฏภาคเคลื่อนที่ (Mobile phase) เก็บสารผลิตภัณฑ์ที่แยกได้จากคอลัมน์ โดยทำการตรวจเช็คสารผลิตภัณฑ์ได้จากจุดที่สารเคลื่อนที่บนโครมาโทกราฟีแบบแผ่นบาง (Thin Layer Chromatography; TLC) นำสารละลายที่ได้มาทำการระเหยตัวทำละลายออกจะได้จะได้ 10-methyl phenothiazine ซึ่งเป็นของแข็งสีขาว (4.0349 กรัม, 94%)

สารประกอบ: 10-methyl phenothiazine

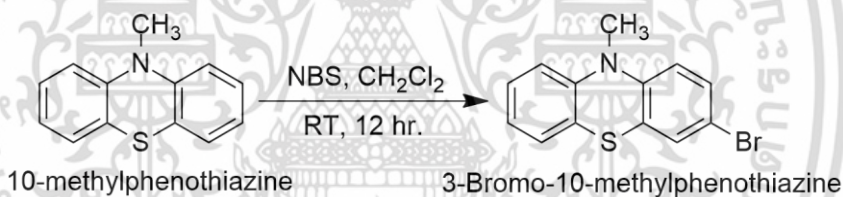


ของแข็งสีขาว (4.0349 กรัม, 94%),  $^1\text{H}$  NMR (Acetone- $d_6$ , 400 MHz,  $\delta$ /ppm): 3.37 (s, 3H), 6.94 (d,  $J = 6.54$  Hz, 2H), 6.95 (t,  $J = 6.44$  Hz, 2H), 7.13 (t,  $J = 6.36$  Hz, 2H), 7.20 (d,  $J = 1.6$  Hz, 2H)

IR [ATR(Dia/ZnSe)]:

$$\sqrt{\nu_{\max}} = 3055, 2880, 2349, 1591, 1258, 747 \text{ cm}^{-1}$$

3.3.2 การสังเคราะห์สารประกอบ 3-Bromo-10-methyl phenothiazine โดยการทำปฏิกิริยา Bromination ของ 10-methyl phenothiazine ดังรูปที่ 3.2



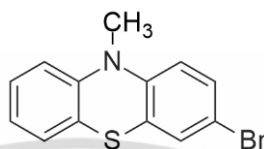
รูปที่ 3.2 ปฏิกิริยา Bromination ของ 10-methyl phenothiazine

ซึ่ง *N*-Bromosuccinimide (NBS) 0.9179 กรัม (5.1571 มิลลิโมล) ใส่ลงในขวดก้นกลมขนาด 250 มิลลิลิตร ที่ห่อด้วยกระดาษฟอยล์ แล้วเติม  $\text{CH}_2\text{Cl}_2$  เกรดวิเคราะห์ (Analysis grade) 120 มิลลิลิตร จากนั้นค่อย ๆ เติมสารละลาย 10-methyl phenothiazine 1.0003 กรัม (4.6883 มิลลิโมล) ใน  $\text{CH}_2\text{Cl}_2$  8 มิลลิลิตร ลงในสารละลาย NBS ที่เตรียมไว้ข้างต้น สารละลายจะค่อย ๆ เปลี่ยนจากสีเหลืองใสเป็นสีม่วงแดง ปั่นกวนสารต่อเนื่องเป็นเวลา 12 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง เมื่อครบเวลาที่กำหนดให้เติมน้ำกลั่น 60 มิลลิลิตร แล้วนำมาทำการสกัดในกรวยแยกขนาด 300 มิลลิลิตร ด้วยตัวทำละลาย  $\text{CH}_2\text{Cl}_2$  3 ครั้ง ครั้งละ 60 มิลลิลิตร นำสารละลายที่สกัดได้ในชั้น  $\text{CH}_2\text{Cl}_2$  มาทำการกำจัดความชื้นโดยเติม sodium sulfate anhydrous ลงไปพอให้ดูตื้น้ำออกจากสารละลายจนหมด กรองสารละลายออกจาก sodium sulfate anhydrous แล้วนำไประเหยตัวทำละลายบางส่วนด้วยเครื่องระเหยสารแบบหมุน ก่อนนำมาทำการแยกบริสุทธิ์โดยใช้เทคนิคโครมาโทกราฟีแบบคอลัมน์ที่

บรรจุด้วย silica gel และใช้ hexane เป็นตัวชะสารละลายผลิตภัณฑ์ เก็บสารละลายผลิตภัณฑ์ที่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แยกได้จากคอลัมน์ โดยทำการตรวจเช็คสารผลิตภัณฑ์ได้จากจุดที่สารเคลื่อนที่บนแผ่น TLC นำสารละลายที่ได้มาทำการระเหยตัวทำละลายออกจะได้ 3-bromo-10-methyl phenothiazine ที่มีลักษณะเป็นของแข็งสีขาว (1.3469 กรัม, 98%)

สารประกอบ: 3-bromo-10-methyl phenothiazine

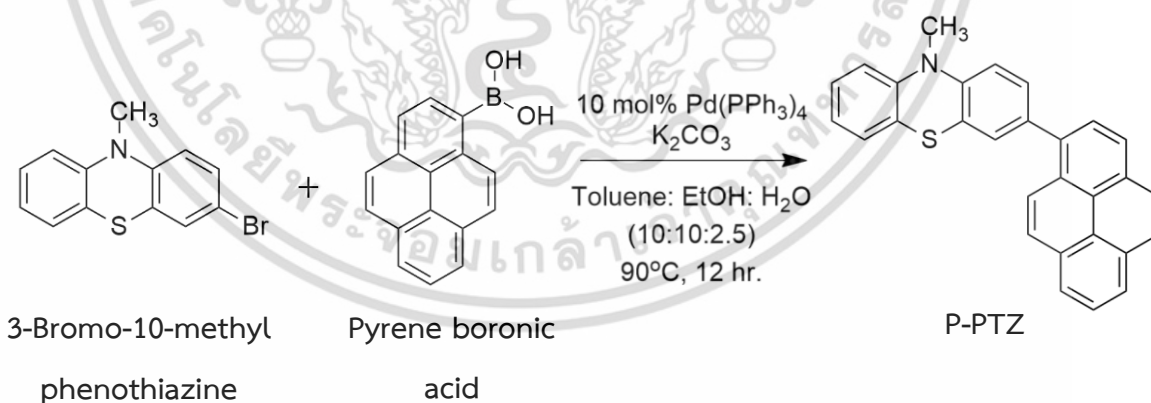


ของแข็งสีขาว (1.3469 กรัม, 98%),  $^1\text{H}$  NMR (Acetone- $d_6$ , 400 MHz,  $\delta$ /ppm): 3.35 (s, 3H), 6.85 (d,  $J$  = 8.59 Hz, 2H), 6.95 (t,  $J$  = 7.86 Hz, 2H), 7.13 (t,  $J$  = 7.5 Hz, 1H), 7.21 (d,  $J$  = 7.83 Hz, 2H)

IR [ATR(Dia/ZnSe)]:

$$\nu_{\text{max}} = 3055, 2880, 2349, 1591, 1258, 747 \text{ cm}^{-1}$$

3.3.3 การสังเคราะห์สารประกอบ pyrene-phenothiazine (P-PTZ) โดยการทำปฏิกิริยา Suzuki-Miyaura coupling ดังรูปที่ 3.3

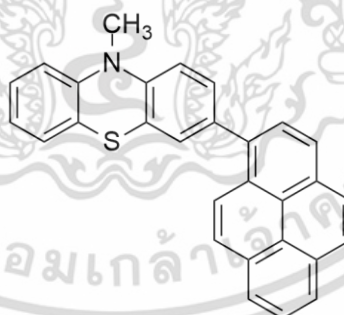


รูปที่ 3.3 ปฏิกิริยา Suzuki-Miyaura coupling ระหว่าง 3-Bromo-10-methyl phenothiazine กับ pyrene boronic acid

ทำการชั่ง 3-bromo-10-methyl phenothiazine 0.2257 กรัม (0.6845 มิลลิโมล), pyrene boronic acid 0.2222 กรัม (0.8214 มิลลิโมล), potassium carbonate ( $\text{K}_2\text{CO}_3$ ) 0.2917 กรัม (0.2114 มิลลิโมล) ในหลอดปฏิกิริยาที่บรรจุด้วย Toluene, EtOH และ  $\text{H}_2\text{O}$  ในอัตราส่วน 10:10:2.5 โดยทำการเขย่าที่อุณหภูมิ 90°C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง และทำการสกัดด้วย  $\text{CH}_2\text{Cl}_2$  และทำการระเหยตัวทำละลายออกจะได้ P-PTZ ที่มีลักษณะเป็นของแข็งสีขาว (0.1567 กรัม, 69%)

กรัม (2.0535 มิลลิโมล) และ tetrakis(triphenylphosphine)palladium ( $\text{Pd}(\text{PPh}_3)_4$ ) 0.1047 กรัม (0.0863 มิลลิโมล) ใส่ลงในขวดก้นกลม 2 คอขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วเติมตัวทำละลายผสมของ toluene, ethanol และน้ำ ด้วยอัตราส่วน 10:10:2.5 มิลลิลิตร จากนั้นปั่นกวนต่อเนื่องเป็นเวลา 12 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ  $90^\circ\text{C}$  สารละลายจะเปลี่ยนสีจากสีเหลืองเป็นสารละลายที่มีตะกอนสีดำปนเขียว นำสารละลายที่ได้เทลงในกรวยแยกขนาด 300 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 60 มิลลิลิตร แล้วสกัดด้วย  $\text{CH}_2\text{Cl}_2$  3 ครั้ง ครั้งละ 60 มิลลิลิตร นำสารละลายในชั้น  $\text{CH}_2\text{Cl}_2$  ที่สกัดได้ทั้ง 3 ครั้งรวมกันแล้วเติม sodium sulfate anhydrous จนแน่ใจว่าไม่มีน้ำเหลืออยู่ในสารละลาย ทำการกรอง sodium sulfate anhydrous ออกจากสารละลาย นำสารละลายที่ผ่านการกรองแล้วมาทำการระเหยด้วยเครื่องระเหยสารแบบหมุน จากนั้นนำสารละลายส่วนที่เหลือจากการระเหยมาทำการแยกโดยใช้เทคนิคโครมาโทกราฟีแบบคอลัมน์ ที่บรรจุด้วย silica gel และชะสารผลิตภัณฑ์ด้วยสารละลายผสมของ  $\text{CH}_2\text{Cl}_2$  กับ hexane ที่เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้น (ปริมาตร/ปริมาตร) คือ 3, 5, 10, 15 และ 20% ของ  $\text{CH}_2\text{Cl}_2$  โดยค่อย ๆ เพิ่มความเข้มข้นตามลำดับ เก็บสารผลิตภัณฑ์จากคอลัมน์นี้โดยสามารถตรวจเช็คได้จากจุดที่สารเคลื่อนที่บนแผ่น TLC จะได้สารละลายผลิตภัณฑ์ที่มีสีเหลืองอ่อน นำสารละลายที่ได้มาทำการระเหยตัวทำละลายออกด้วยเครื่องระเหยสารแบบหมุน จะได้ P-PTZ ที่มีลักษณะเป็นของแข็งสีเหลือง (0.1679 กรัม, 53%)

**สารประกอบ:** Pyrene-phenothiazine (P-PTZ)



ของแข็งสีเหลือง (0.1679 กรัม, 53%),  $^1\text{H}$  NMR (Acetone- $d_6$ , 400 MHz,  $\delta$ /ppm): 3.53 (s, 3H), 7.02 (d,  $J$  = 7.49 Hz, 1H), 7.06 (t,  $J$  = 8.19 Hz, 2H), 7.20 (t,  $J$  = 7.5 Hz, 1H), 7.27 (d,  $J$  = 7.77 Hz, 2H), 7.70 (d,  $J$  = 8.35 Hz, 1H), 8.01 (d,  $J$  = 7.86 Hz, 1H), 8.09 (d,  $J$  = 7.6 Hz, 2H), 8.15 (d,  $J$  = 9.22 Hz, 2H), 8.26-8.34 (m, 3H)

IR [ATR(Dia/ZnSe)]:

$$\sqrt{\nu_{\max}} = 3038, 2922, 1599, 1258, 721 \text{ cm}^{-1}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4 วิธีการทดสอบสมบัติต่าง ๆ

#### 3.4.1 การทดสอบสมบัติทางความร้อน

การตรวจวัดด้วยเครื่อง Differential scanning calorimeter (DSC) เป็นเทคนิคที่ใช้วิเคราะห์สาร โดยการวัดค่าพลังงานความร้อน และอุณหภูมิของสารตัวอย่างเปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพหรือการเปลี่ยนแปลงทางเคมี เช่น การหลอมเหลว การเปลี่ยนสถานะ และการเปลี่ยนรูปร่างทางผลึก เป็นต้น โดยพื้นที่ใต้กราฟที่เกิดขึ้นมีความสัมพันธ์โดยตรงกับการเปลี่ยนแปลงความร้อนของสารตัวอย่าง ในการวิเคราะห์ สารตัวอย่างถูกวางบนจานอะลูมิเนียมที่อยู่ภายในเตาควบคุมอุณหภูมิ โดยภายในเตามีสารอ้างอิง ซึ่งเป็นจานอะลูมิเนียมเปล่า เพื่อใช้เป็นตัวเปรียบเทียบกับสารตัวอย่างภายใต้สภาวะเดียวกัน ความสามารถในการวิเคราะห์ของ DSC ได้แก่ จุดหลอมเหลว (Melting point) จุดเปลี่ยนสถานะ (Phase transition point) และสภาพการเป็นผลึก (Crystallinity) เป็นต้น

การศึกษาสมบัติทางความร้อน และการเปลี่ยนแปลงทางความร้อนของ P-PTZ ทำได้โดยชั่ง P-PTZ ประมาณ 7.87 มิลลิกรัม ใส่ในภาตอลูมิเนียมโดยใช้อุณหภูมิ 25–250°C ที่อัตราการให้ความร้อน 10°C/min ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน ( $N_2$ ) ซึ่งเป็นสภาวะการทดสอบ

#### 3.4.2 การทดสอบสมบัติทางแสง

##### 3.4.2.1 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน

ตอนที่ 1 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน PTZ ที่ความเข้มข้น  $1 \times 10^{-3}$  โมลาร์

ชั่ง PTZ 0.0051 กรัม ละลายด้วย  $CH_2Cl_2$  เล็กน้อยในขวดแก้วเล็ก กวนสารให้ละลายแล้วถ่ายสารละลายผ่านกรวยกรองลงในขวดวัดปริมาตร ขนาด 25 มิลลิลิตร ฉีด  $CH_2Cl_2$  ล้างขวดแก้วเล็ก และกรวยกรองลงในขวดแล้วเจือจางสารละลายด้วย  $CH_2Cl_2$  ให้ถึงขีดบอกริมาตร

ตอนที่ 2 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน pyrene ที่ความเข้มข้น  $1 \times 10^{-3}$  โมลาร์

ชั่ง Pyrene 0.0054 กรัม แล้วเตรียมเป็นสารละลายปริมาตร 25 มิลลิลิตร ตามวิธีทำในข้อที่ 1.1

ตอนที่ 3 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน P-PTZ ที่ความเข้มข้น  $1 \times 10^{-3}$  โมลาร์

ชั่ง P-PTZ 0.0103 กรัม แล้วเตรียมเป็นสารละลายปริมาตร 25 มิลลิลิตร ตามวิธีทำในข้อที่ 1.1

##### 3.4.2.2 การตรวจวัดด้วยเครื่อง UV-visible spectrophotometer

ปิเปตสารละลายมาตรฐาน PTZ, pyrene และ P-PTZ เข้มข้น  $1 \times 10^{-3}$  โมลาร์ ปริมาตร 4.5, 0.5 และ 0.5 มิลลิลิตร ตามลำดับใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร ปรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาตรด้วย  $\text{CH}_2\text{Cl}_2$  จนถึงขีดบอกปริมาตรได้สารละลายที่มีความเข้มข้นเท่ากับ  $9 \times 10^{-5}$ ,  $1 \times 10^{-5}$  และ  $1 \times 10^{-5}$  โมลาร์ ตามลำดับนำสารละลายตรวจวัดด้วยเครื่อง UV-Visible spectrophotometer โดยสแกนหาค่าความยาวคลื่น แล้วบันทึกค่าการดูดกลืนแสง จากนั้นนำค่าความยาวคลื่นเริ่มต้นที่ได้มาคำนวณหาค่าแถบพลังงาน (Energy gap;  $E_g$ ) โดยใช้สมการ

$$E_g = \frac{1240}{\lambda_{\text{onset}}} (eV)$$

เมื่อ  $E_g$  คือ ค่าแถบพลังงาน (Energy gap)

$\lambda_{\text{onset}}$  คือ ค่าการดูดกลืนแสงเริ่มต้น (nm)

eV คือ หน่วยการวัดพลังงานมีค่าเท่ากับ  $1.6 \times 10^{-19}$  จูล (J)

### 3.4.2.3 การตรวจวัดด้วยเครื่อง spectrofluorometer

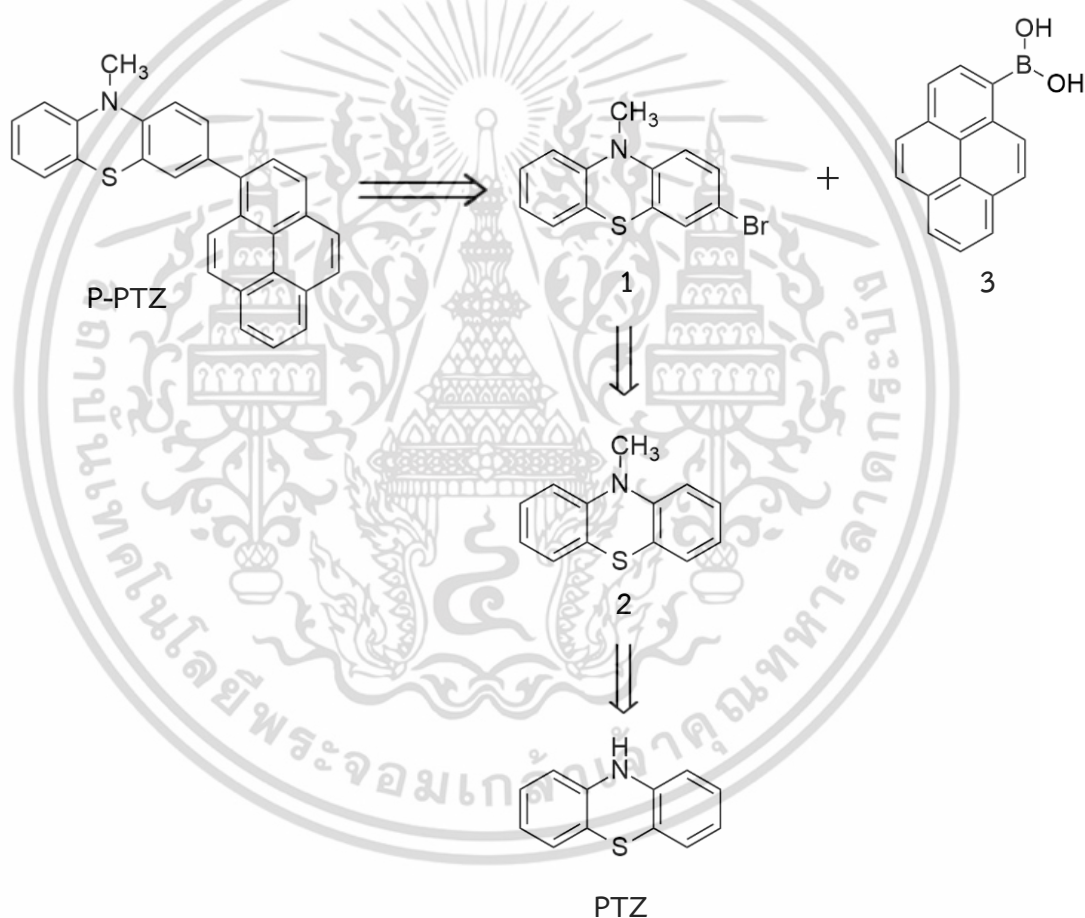
ปีเปตสารละลาย PTZ, pyrene และ P-PTZ เข้มข้น  $9 \times 10^{-5}$ ,  $1 \times 10^{-5}$ ,  $1 \times 10^{-5}$  โมลาร์ ปริมาณ 0.6, 5 และ 5 มิลลิลิตร ตามลำดับ ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วย  $\text{CH}_2\text{Cl}_2$  จนถึงขีดบอกปริมาตร ได้สารละลายที่มีความเข้มข้น เท่ากับ  $1 \times 10^{-6}$  โมลาร์ นำสารละลายตรวจวัดด้วยเครื่อง spectrofluorometer แล้วบันทึกค่าการคายพลังงาน

## บทที่ 4

### ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

#### 4.1 การสังเคราะห์สารประกอบ Pyrene-phenothiazine (P-PTZ)

โมเลกุลเป้าหมายของงานวิจัยนี้คือ สารประกอบ pyrene-phenothiazine (P-PTZ) ซึ่งเกิดจากการสร้างพันธะคาร์บอน-คาร์บอน ระหว่างอนุพันธ์ของ phenothiazine (1) และอนุพันธ์ของ pyrene (3) โดยเกิดผ่านปฏิกิริยา Suzuki-miyaura coupling ดังแสดงในแผนภาพที่ 4.1 นอกจากนี้พบว่าอนุพันธ์ phenothiazine (1) สามารถเตรียมได้จากปฏิกิริยา Methylation และปฏิกิริยา Bromination ของ phenothiazine (PTZ) ตามลำดับ

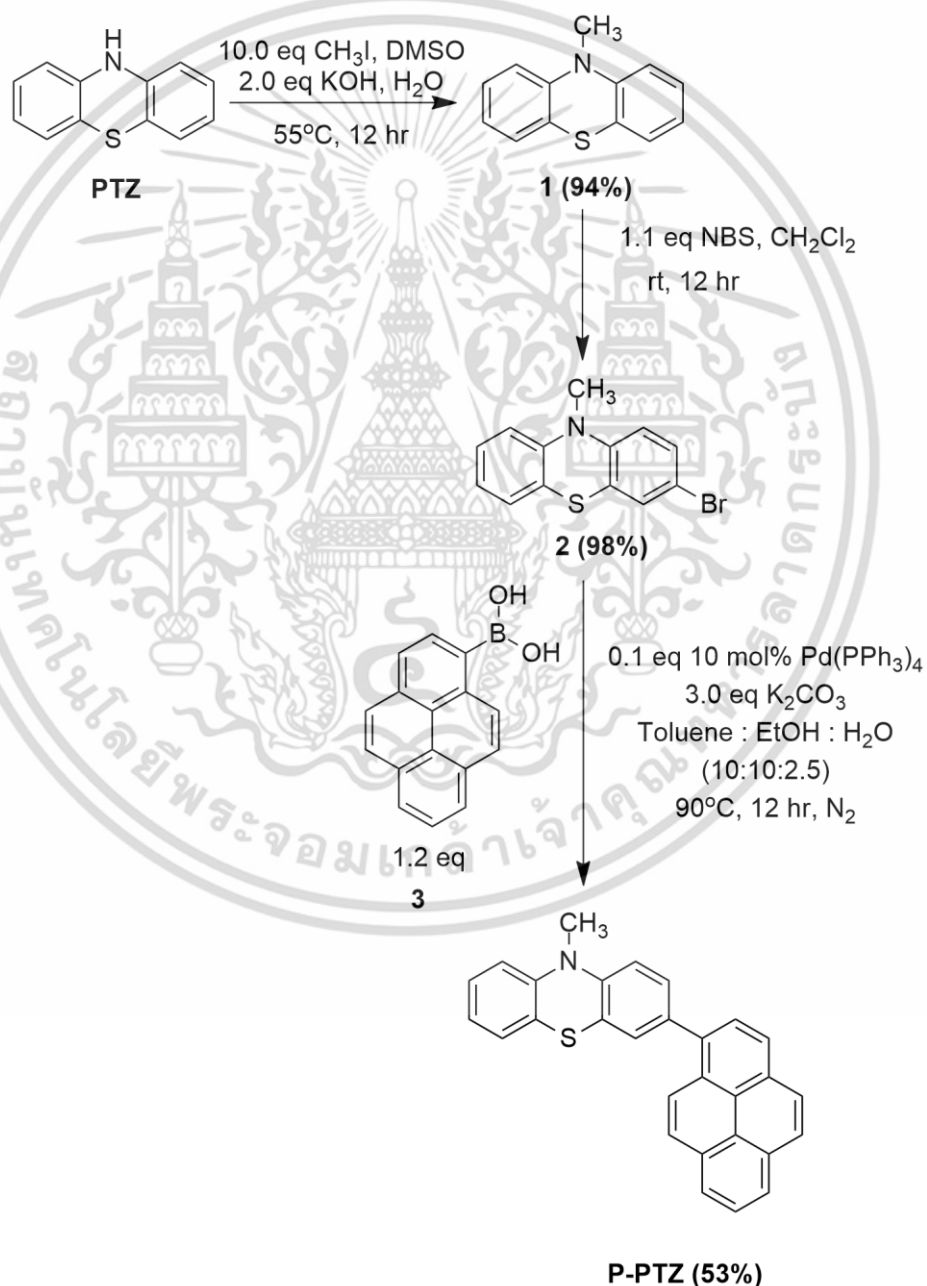


รูปที่ 4.1 แผนภาพการสังเคราะห์ย้อนกลับของสารประกอบ P-PTZ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในลำดับต่อไปจะเป็นการวิเคราะห์ตามแนวทางที่วางแผนไว้ ดังแสดงในแผนภาพที่ 4.2 นี้

PTZ ทำปฏิกิริยากับ methyl iodide ภายใต้สภาวะเบสที่  $55^{\circ}\text{C}$  จะได้ 10-methyl phenothiazine (2) 94%yield จากนั้นนำสาร (2) มาทำปฏิกิริยา Bromination โดยใช้ *N*-bromosuccinimide ใน dichloromethane ที่อุณหภูมิห้อง จะได้ 3-bromo-10-methyl phenothiazine (1) 98%yield และในขั้นตอนสุดท้าย ทำปฏิกิริยา Suzuki-miyaura coupling ระหว่าง 3-bromo-10-methyl phenothiazine (1) กับ pyrene boronic acid (3) โดยใช้ tetrakis(triphenylphosphine)palladium ( $\text{Pd}(\text{PPh}_3)_4$ ) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ที่อุณหภูมิ  $90^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ภายใต้บรรยากาศแก๊สไนโตรเจน ซึ่งจะได้ P-PTZ 53%yield

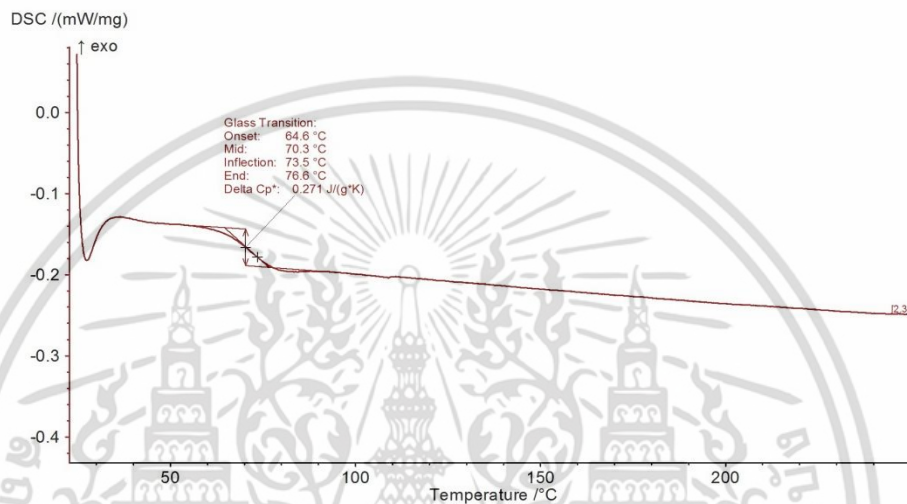


รูปที่ 4.2 แผนภาพการสังเคราะห์สารประกอบ P-PTZ

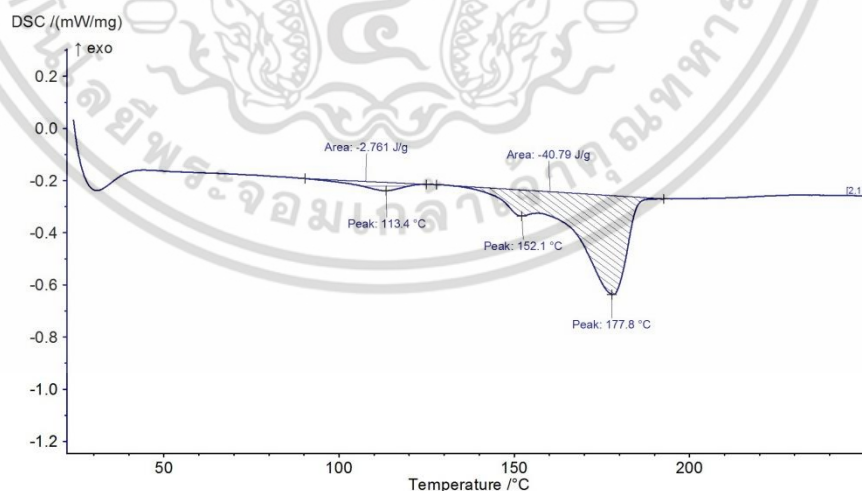
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2 การตรวจสอบสมบัติทางความร้อน

การตรวจวัดด้วยเครื่อง Differential scanning calorimeter (DSC) ใช้ตรวจสอบอุณหภูมิการหลอมเหลว (Melting temperature;  $T_m$ ) อุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Glass transition temperature;  $T_g$ ) และอุณหภูมิการเกิดผลึก (Crystallization temperature;  $T_c$ ) ของ P-PTZ โดยใช้สภาวะที่อุณหภูมิ 25–250 องศาเซลเซียส ที่อัตราการให้ความร้อน 10 °C/min ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน ( $N_2$ ) ซึ่งให้ผลการทดลองดังนี้



รูปที่ 4.3 กราฟการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วของสารประกอบ P-PTZ



รูปที่ 4.4 กราฟการเปลี่ยนสถานะการหลอมเหลวของสารประกอบ P-PTZ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ผลการตรวจวัดสมบัติทางความร้อนของ PTZ, pyrene และ P-PTZ

สารตัวอย่าง	$T_g$ (°C)	$T_m$ (°C)
PTZ	-	185.1 [28]
10-methyl phenothiazine	-	100-103 [29]
pyrene	-	151.2 [30]
P-PTZ	70.3	177.8

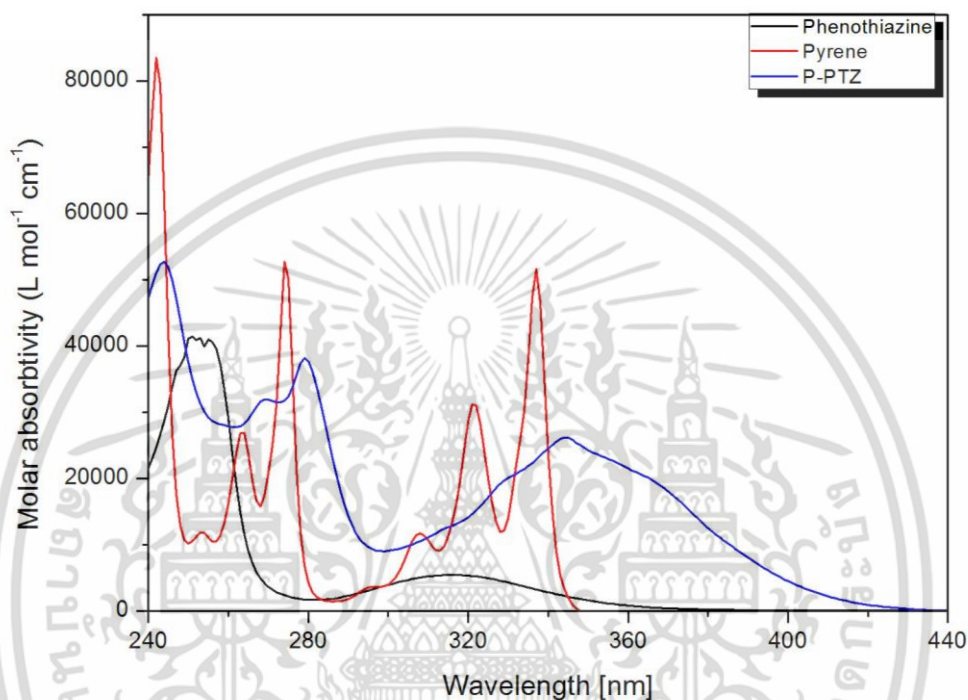
จากรูปที่ 4.3, 4.4 และตารางที่ 4.1 พบว่า PTZ มีอุณหภูมิการหลอมเหลวที่ 185°C เมื่อทำการสังเคราะห์เป็น 10-methyl phenothiazine ทำให้มีอุณหภูมิการหลอมเหลวลดลงอยู่ในช่วง 99-101°C ส่วน pyrene มีอุณหภูมิการหลอมเหลวอยู่ในช่วง 145-148°C โดยที่ P-PTZ มีอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วที่ 70.3°C และอุณหภูมิการหลอมเหลว 177.8°C

นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาอุณหภูมิในการหลอมเหลวของ P-PTZ ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่มาจากโครงสร้างของ pyrene และ 10-methyl phenothiazine พบว่ามีจุดหลอมเหลวที่สูงขึ้นกว่าสารตั้งต้นทั้ง 2 ตัว เนื่องจาก P-PTZ เป็นของแข็งที่มีขนาดของโมเลกุลที่ใหญ่กว่า และมีมวลโมเลกุลที่มากกว่าจึงต้องใช้ความร้อนที่สูงกว่า เพื่อให้โมเลกุลมีพลังงานในตัวเองสูงขึ้นจนถึงระดับที่สามารถเอาชนะแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลได้ จึงแปรสถานะจากของแข็งเป็นของเหลวได้

### 4.3 การตรวจสอบสมบัติทางแสง

#### 4.3.1 การตรวจวัดด้วยเครื่อง UV-visible Spectrophotometer

การดูดกลืนแสงของสาร PTZ, pyrene และ P-PTZ ที่เจือจางในสารละลาย dichloromethane ที่มีความเข้มข้นเท่ากับ  $9 \times 10^{-5}$ ,  $1 \times 10^{-5}$  และ  $1 \times 10^{-5}$  โมลาร์ ตามลำดับ พบการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นที่ 240-440 นาโนเมตร ดังแสดงในรูปที่ 4.4

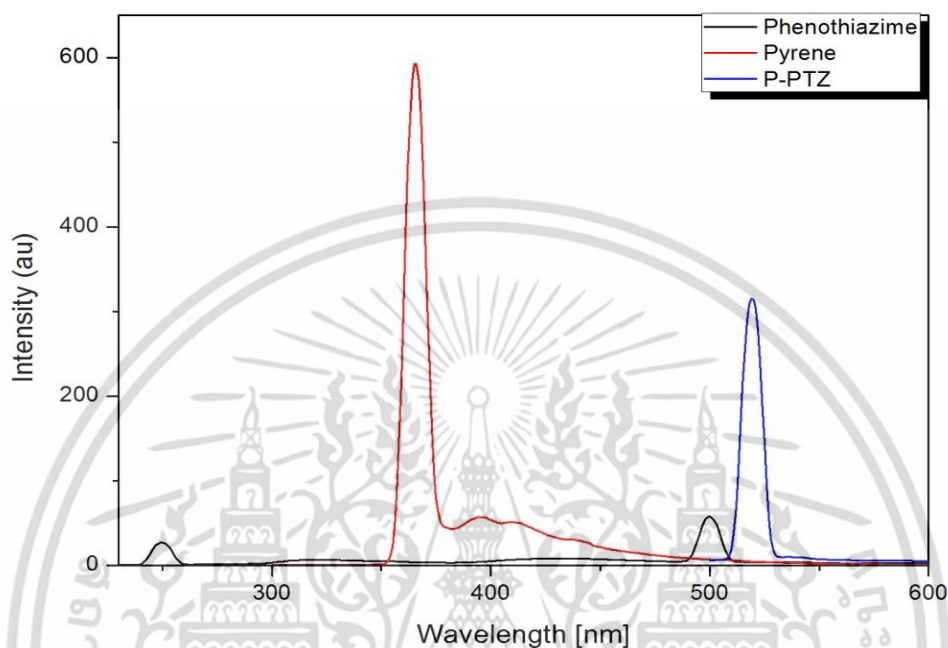


รูปที่ 4.5 กราฟการดูดกลืนแสงของสาร PTZ, pyrene และ P-PTZ จากการตรวจวัดด้วยเครื่อง UV-visible spectrophotometer

จากรูปที่ 4.5 ค่าการดูดกลืนแสงที่ได้จากการตรวจวัดด้วยเครื่อง UV-visible spectrophotometer โดยใช้ dichloromethane เป็นตัวทำละลาย พบว่าสารละลาย PTZ ที่ความเข้มข้น  $9 \times 10^{-5}$  โมลาร์ มีค่าความยาวคลื่นที่ 248, 253, 255, 257 และ 315 นาโนเมตร ในขณะที่มีค่าการดูดกลืนแสงเริ่มต้นที่ 363 นาโนเมตร สารละลาย pyrene ที่ความเข้มข้น  $1 \times 10^{-5}$  โมลาร์ มีค่าความยาวคลื่นที่ 242, 252, 263, 276, 295, 308, 322 และ 337 นาโนเมตร ในขณะที่มีค่าการดูดกลืนแสงเริ่มต้นที่ 340 นาโนเมตร ส่วนสารละลาย P-PTZ ที่ความเข้มข้น  $1 \times 10^{-5}$  โมลาร์ มีค่าความยาวคลื่นที่ 244, 271, 281, 314, 328, 345 และ 370 นาโนเมตร ในขณะที่มีค่าการดูดกลืนแสงเริ่มต้นที่ 407 นาโนเมตร

### 4.3.2 การตรวจวัดด้วยเครื่อง spectrofluorometer

การคายแสงของสาร PTZ, pyrene และ P-PTZ ที่เจือจางด้วยสารละลาย dichloromethane ที่ความเข้มข้นเท่ากับ  $1 \times 10^{-6}$  โมลาร์ พบว่าการคายแสงในช่วงความยาวคลื่นที่ 225-600 นาโนเมตร ดังแสดงในรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 กราฟการคายแสงของสาร PTZ, pyrene และ P-PTZ จากการตรวจวัดด้วยเครื่อง spectrofluorometer

จากรูปที่ 4.6 การคายแสงที่ได้จากการตรวจวัดด้วยเครื่อง spectrofluorometer ที่ความเข้มข้นเดียวกัน พบว่าสารละลาย PTZ มีการคายแสงที่ความยาวคลื่น 250 และ 500 นาโนเมตร สารละลาย pyrene มีการคายแสงที่ความยาวคลื่น 365, 395 และ 407 นาโนเมตร ส่วนสารละลาย P-PTZ มีการคายแสงที่ความยาวคลื่น 520 นาโนเมตร

ตารางที่ 4.2 ผลการตรวจวัดสมบัติทางแสงของ PTZ, pyrene และ P-PTZ

สารละลาย	ค่าความยาวคลื่นของการดูดกลืนแสง / นาโนเมตร ( $\log \epsilon$ )	ค่าความยาวคลื่นของการดูดกลืนแสงเริ่มต้น (นาโนเมตร)	ค่าความยาวคลื่นของการคายแสง (นาโนเมตร)	ค่าแถบพลังงาน (eV)
PTZ	248 (4.57), 253 (4.62), 255 (4.61), 257 (4.60), 315 (3.72)	363	250, 500	3.42
Pyrene	242 (4.92), 252 (4.05), 263 (4.43), 276 (4.56), 295 (3.54), 308 (4.07), 322 (4.49), 337 (4.71)	340	365, 395, 407	3.65
P-PTZ	244 (4.72), 271 (4.50), 281 (4.56), 314 (4.09), 328 (4.28), 345 (4.42), 370 (4.26)	407	520	3.05

จากรูปที่ 4.5 และตารางที่ 4.2 เมื่อทำการวิเคราะห์สมบัติทางแสงด้วยเครื่อง UV-visible spectrophotometer พบว่าสารสามารถดูดกลืนแสงอยู่ในช่วงแสงสีเขียวก และเมื่อนำมาคำนวณหา ค่าแถบพลังงานของสาร PTZ, pyrene และ P-PTZ มีค่าเท่ากับ 3.42, 3.65 และ 3.05 อิเล็กตรอน โวลต์ ตามลำดับแสดงให้เห็นว่าสาร P-PTZ มีค่าแถบพลังงานที่น้อยกว่า PTZ และ pyrene เนื่องจาก โครงสร้างของสาร P-PTZ มีการเกิด conjugation ของพันธะคู่มากกว่าสารทั้งสองตัว โดยทั่วไปแล้ว สารที่สามารถเกิด conjugation มากขึ้น ก็จะยิ่งช่วยลดช่องว่างระหว่างแถบพลังงาน (Energy gap;  $E_g$ ) ได้มากขึ้น และยังส่งผลให้สเปกตรัมของ P-PTZ มีการดูดกลืนแสงเลื่อนไปทางความยาวคลื่นที่ยาวขึ้นอีกด้วย ( $\lambda_{max}$  เพิ่ม) จากรูปที่ 4.6 และตารางที่ 4.2 เมื่อทำการวิเคราะห์สมบัติทางแสงด้วย เครื่อง spectrofluorometer พบว่าที่ความเข้มข้นเดียวกัน PTZ มีการคายพลังงานต่ำมาก pyrene มีการคายพลังงานที่สูงขึ้นมาก แต่เมื่อนำสารทั้งสองตัวมาทำการสังเคราะห์ได้เป็น P-PTZ ปรากฏว่ามีการคายพลังงานที่สูงขึ้นกว่า PTZ แต่ต่ำกว่า pyrene พบว่าที่ความเข้มข้นเดียวกัน P-PTZ มีความเข้มแสงอยู่ระหว่าง PTZ และ pyrene ซึ่งแสดงว่า pyrene สามารถเพิ่มความสามารถในการคายแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของ PTZ ได้ดีขึ้น นอกจากนี้พบว่าสารประกอบ P-PTZ จะคายแสงในช่วงความยาวคลื่น 500-550 นาโนเมตร ซึ่งอยู่ในช่วงแสงสีเขียว โดยแสงที่คายออกมานี้จะมีความยาวคลื่นที่ยาวกว่า PTZ และ pyrene ทั้งนี้เนื่องจาก P-PTZ สามารถเกิด conjugation ได้มากกว่า PTZ และ pyrene ซึ่งผลการทดลองนี้จะสอดคล้องถึงแถบพลังงานของ P-PTZ ที่มีช่องว่างระหว่างแถบพลังงาน (Energy gap;  $E_g$ ) แคบกว่า PTZ และ pyrene ดังที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการการสังเคราะห์ และการศึกษาสมบัติทางความร้อน และทางแสงของ สารประกอบ pyrene-phenothiazine (P-PTZ) ซึ่งสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้ เริ่มจากการสังเคราะห์ สารประกอบ P-PTZ พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะเป็นของแข็งสีเหลือง จากนั้นทำการศึกษาสมบัติ ทางความร้อนของ P-PTZ พบว่ามีอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วที่  $70.3^{\circ}\text{C}$  และอุณหภูมิการ หลอมเหลวที่  $177.8^{\circ}\text{C}$  นอกจากนี้จากการศึกษาสมบัติทางแสงด้วยเครื่องอัลตราไวโอเล็ต และ วิสibileสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ และฟลูออเรส-เซนส์สเปกโทรสโกปี พบว่าสารละลาย P-PTZ ที่ความ เข้มข้น  $1 \times 10^{-5}$  โมลาร์ แสดงแถบการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 240-440 นาโนเมตร และที่ความ เข้มข้น  $1 \times 10^{-6}$  โมลาร์ แสดงแถบการคายแสงที่ 225-600 นาโนเมตร ซึ่งอยู่ในช่วงแสงสีเขียว

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. การศึกษาการสังเคราะห์สารประกอบอินทรีย์ควรระวังไม่ให้เกิดสารปนเปื้อนกับสารอื่น เพื่อให้ สารประกอบอินทรีย์มีความบริสุทธิ์
2. ศึกษาการปรับปรุงสมบัติของ PTZ จากสารอะโรมาติกอื่น ๆ เช่น สารแอนทราซีน (Anthracene)

## เอกสารอ้างอิง

- [1] Sirintip.k. 2009. **เทคโนโลยี OLED**. [Online]. Available : <http://www.vcharkarn.com/blog/40953>.
- [2] Tang, C.W. and Slyke, S.V. 2016. **OLED TV คืออะไรเทียบกับ LED TV อย่างไหนดีกว่ากัน**. [Online]. Available : [http://www.lcdtvthailand.com/topic\\_detail.php?id=773](http://www.lcdtvthailand.com/topic_detail.php?id=773)
- [3] LG Electronics. 2014. **กว่าจะมาเป็น OLED**. [Online]. Available : <http://www.lgblogger.com/evolution-of-oled-tv/>.
- [4] คณะนักวิจัยสำนักวิชาวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. 2557. **การพัฒนาโมเลกุลสารอินทรีย์สำหรับอุปกรณ์ไดโอดเรืองแสงอินทรีย์**. [Online]. Available : [http://www.trf.or.th/index.php?option=com\\_content&view=article&id=6699%3A2015-07-24-11-53-41&catid=333&Itemid=433](http://www.trf.or.th/index.php?option=com_content&view=article&id=6699%3A2015-07-24-11-53-41&catid=333&Itemid=433).
- [5] สถาบันนวัตกรรมและพัฒนาระบบการเรียนรู้อ มหาวิทยาลัยมหิดล. 2560. **การดูกลืนแสงของสารประกอบอินทรีย์**. [Online]. Available : [http://www.il.mahidol.ac.th/e-media/color-light/page3\\_3.html](http://www.il.mahidol.ac.th/e-media/color-light/page3_3.html).
- [6] Thaitv48ch. 2557. **ทีวี OLED**. [Online]. Available : <http://www.thaitv48ch.com/ทีวีoled-สุดยอดเทคโนโลยี/>.
- [7] นวพร เหล่าวิฒนธรรม. 2010. **EL wire**. [Online]. Available : <http://www.Tpemagazine.com/2009-07-03-11-21-48/170--46-november-2014/908-el-wire-.html>.
- [8] นิรนาม. 2560. **ไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์**. [Online]. Available : [file:///C:/Users/Administrator/Downloads/Fulltext%234\\_68140.pdf](file:///C:/Users/Administrator/Downloads/Fulltext%234_68140.pdf).
- [9] ชีรเกียรติ์ เกิดเจริญ. 2559. **จอ OLED**. [Online]. Available : <http://www.rmutphysics.com/charud/invention/invention2/nanodisplay/nanodisplay5.htm>.
- [10] Sigmaaldrich. 2560. **Phenothiazine**. [Online]. Available : <http://www.sigmaaldrich.com/catalog/product/aldrich/p14831?lang=en&region=TH>.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [11] Wikipedia. 2559. **Phenothiazine**. [Online]. Available : <https://en.wikipedia.org/wiki/Phenothiazine#Synthesis>.
- [12] Qiu, X. Lu, R. Zhou, H. Zhang, X. Xu, T. Liu, X. and Zhao, Y. 2007. “Synthesis of linear monodisperse vinylene-linked phenothiazine oligomers.” *Tetrahedron Letters*. 48 : 7582–7585.
- [13] National Center for Biotechnology Information, U.S. National Library of Medicine. 2017. **PYRENE**. [Online]. Available : <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/31423#section=Top>
- [14] Wikipedia. **Phenothiazine**. [Online]. Available : <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/52/Phenothiazine-McDowell-3D-balls.png>
- [15] คณิตา ตั้งคณานุรักษ์.ม.ป.ป. **เทคนิคการแยกสารทางเคมี**. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [16] Chemistry.sc.chula. 2560. **โครมาโตกราฟี**. [Online]. Available : [http://www.chemistry.sc.chula.ac.th/course\\_info/2302275/chapter9.pdf](http://www.chemistry.sc.chula.ac.th/course_info/2302275/chapter9.pdf).
- [17] เกศินี เหมวิเชียร และพิริยาธร สุวรรณมาลา. 2560. **Differential scanning calorimeter**. [Online]. Available : <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/2606/differential-scanning-calorimeter-ดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์>.
- [18] Env.eng.chula. 2560. **UV-Vis spectrophotometer**. [Online]. Available : <http://www.env.eng.chula.ac.th/?q=content/uv-%E2%80%93visspectrophotometer>.
- [19] E-book.ram.edu. 2560. **การตรวจสอบคุณสมบัติในการการดูดกลืนแสงของ**. [Online]. Available : [http://e-book.ram.edu/e-book/f/FY473\(51\)/FY473-8.pdf](http://e-book.ram.edu/e-book/f/FY473(51)/FY473-8.pdf).
- [20] ศูนย์นวัตกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2555. **UV-VISIBLE SPECTROPHOTOMETER**. [Online]. Available : [http://www.mic.eng.ku.ac.th/facilities-detail.php?id\\_sub=41&id=46](http://www.mic.eng.ku.ac.th/facilities-detail.php?id_sub=41&id=46).
- [21] นිරนาม. 2560. **Fluorescence spectrophotometer**. [Online]. Available : [file:///C:/Users/Administrator/Downloads/Fulltext%234\\_183577%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Administrator/Downloads/Fulltext%234_183577%20(1).pdf).
- [22] Yan H., et al. 2015. “Synthesis of a novel D-A type photoelectrical material based on phenothiazine.” *Mechanical Engineering Science*. 589-592

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [23] Zhang, F., Li, W., Wei, D., Dong, X., Li, S., Li, Z., Zhang, F., Wei, X., Wei, B., Cao, G. and Zhai, B. 2016. "Solution-processed organic light-emitting diodes based on a blue-emitting cationic iridium(III) complex using 2-(1H-pyrazol-1-yl)pyridine as ancillary ligand." *Inorganica Chimica Acta*. 453 (2016) 115–121.
- [24] Benor, A., Takizawa, S., Pérez-Bolívar, C., and Anzenbacher Jr, P. "Efficiency improvement of fluorescent OLEDs by tuning the working function of PEDOT:PSS using UV–ozone exposure." *Organic Electronics*. 11 (2010) 938–945.
- [25] Yamada, S., Park, S., Song, S., Heo, M., Shim, J. Y., Jin, Y., Kim, I., Lee, H., Lee, K., Yoshinaga, K., Kim, J. Y. and Suh, H. 2010. "Synthesis and characterization of fluorene-carbazole and fluorene-phenothiazine copolymers with carbazole and oxadiazole pendants for organic light emitting diodes." *Polymer*. 51 : 6174-6181
- [26] Barberis, P. V. and Mikroyannidis, J. A. 2006. "Novel blue luminescent twin molecules containing fluorene, carbazole or phenothiazine units." *Synthetic Metals*. 156 (2006) 1408-1414.
- [27] Guloglu, P. and Acar, N. 2016. "Photophysical and computational investigation of the intermolecular interactions of pyrene with phenothiazine and promazine." *Chemical Physics*. 478 (2016) 150–158.
- [28] Sciencelab.com. 2013. **Material Safety Data Sheet Phenothiazine MSDS**. [Online]. Available : <http://www.sciencelab.com/msds.php?msdsId=9926483>.
- [29] ChemSpider. 2015. **n-methylphenothiazine**. [Online]. Available : <http://www.chemspider.com/Chemical-Structure.64175.html>.
- [30] Sciencelab.com. 2013. **Material Safety Data Sheet Pyrene MSDS**. [Online]. Available : <http://www.sciencelab.com/msds.php?msdsId=9924760>.

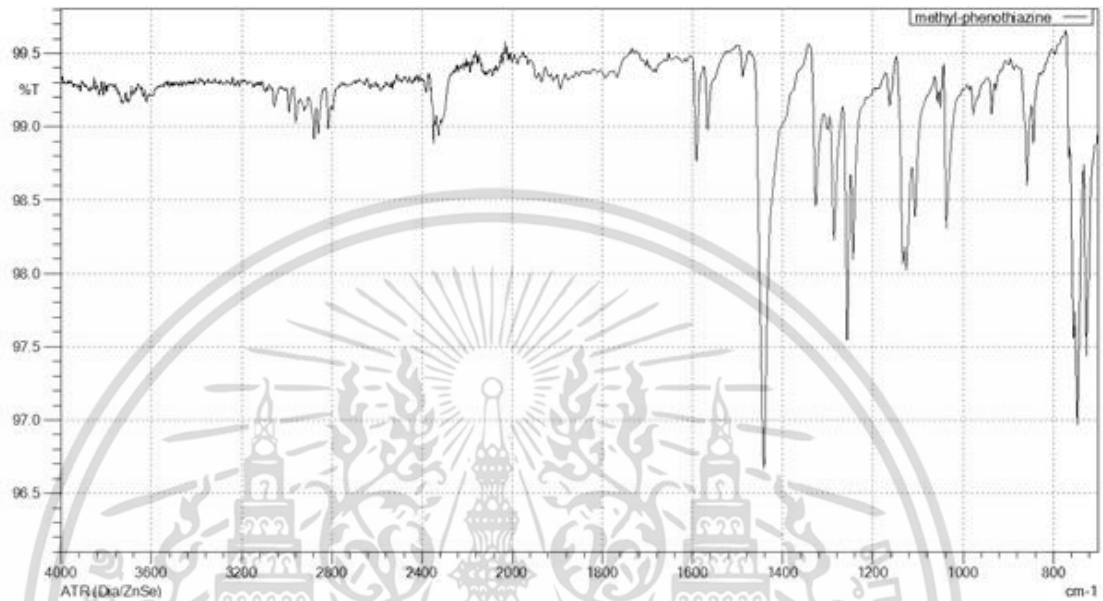


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

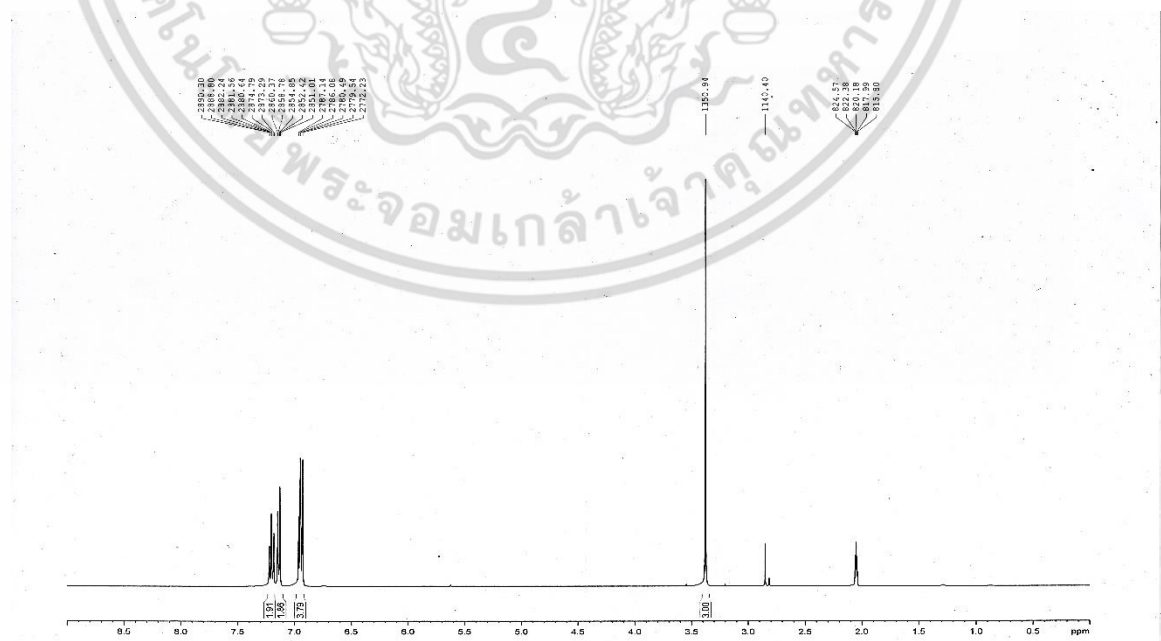
## ภาคผนวก ก

การวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันและโครงสร้างของสาร

(ก) Infrared spectrum ของ 10-methyl phenothiazine

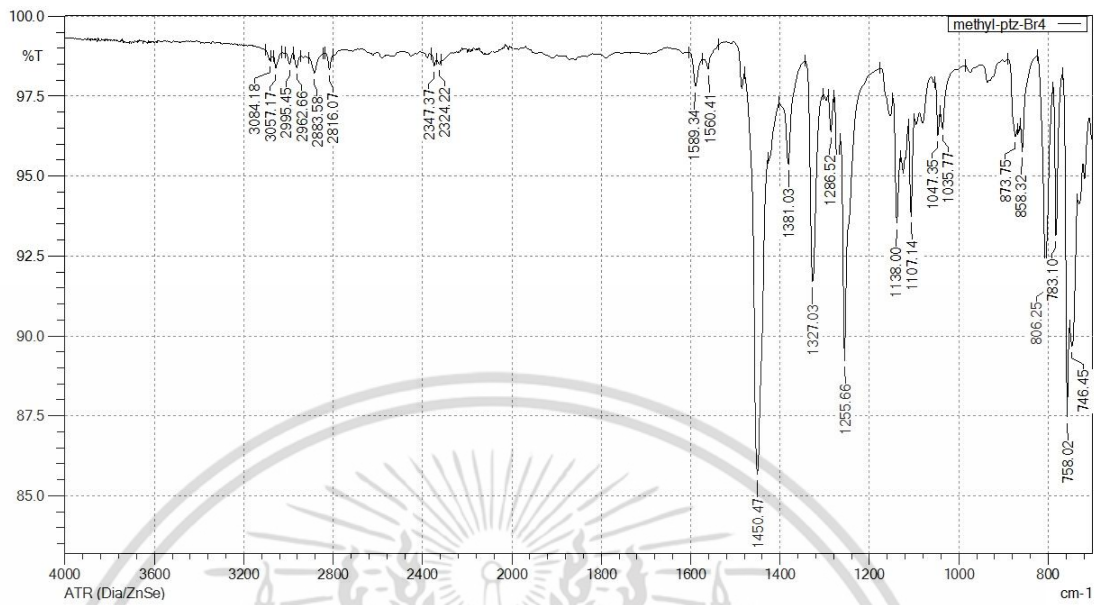
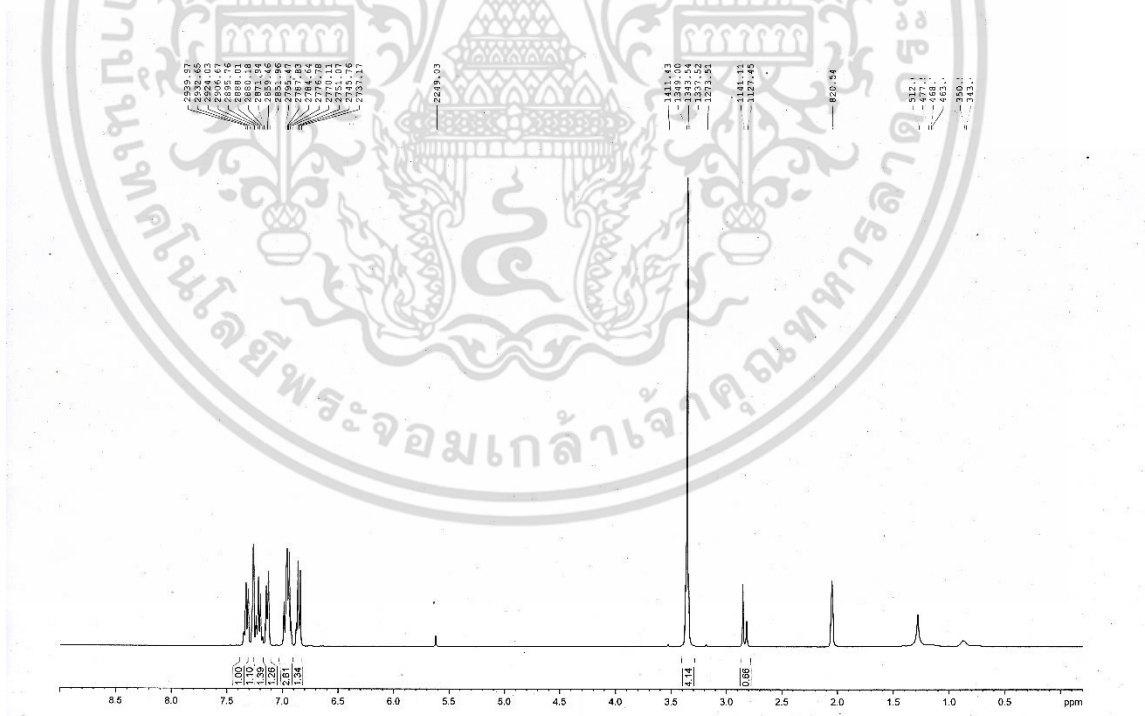


(ข) NMR spectrum ของ 10-methyl phenothiazine (400 MHz, acetone- $d_6$ )



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ค) Infrared spectrum ของ 3-bromo-10-methyl phenothiazine

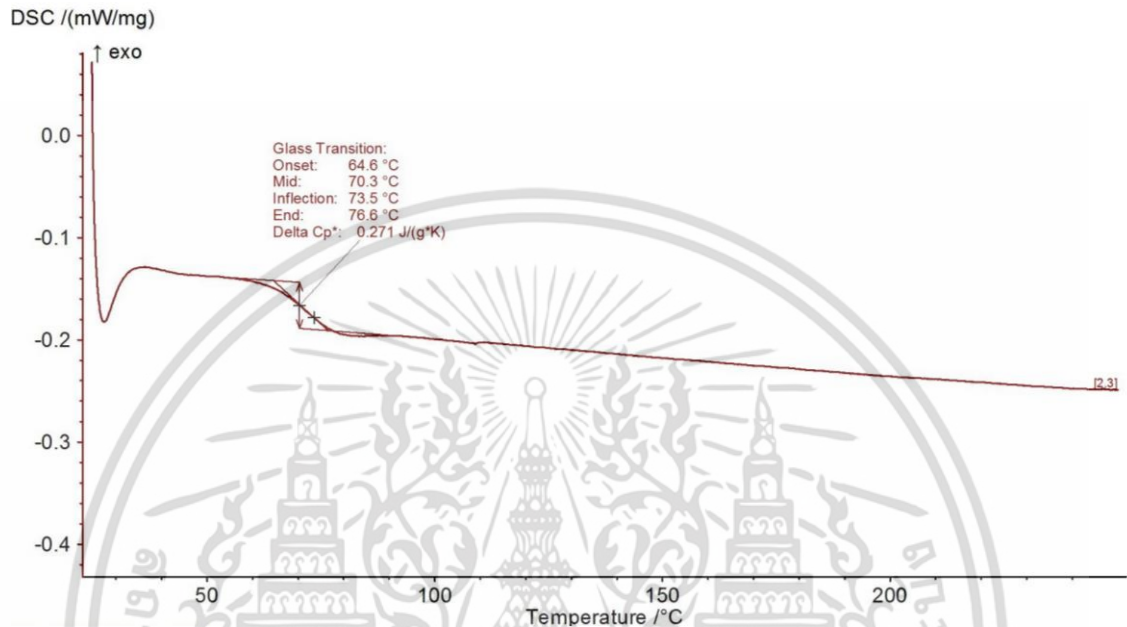
(ง) NMR spectrum ของ 3-bromo-10-methyl phenothiazine (400 MHz, acetone-*d*<sub>6</sub>)



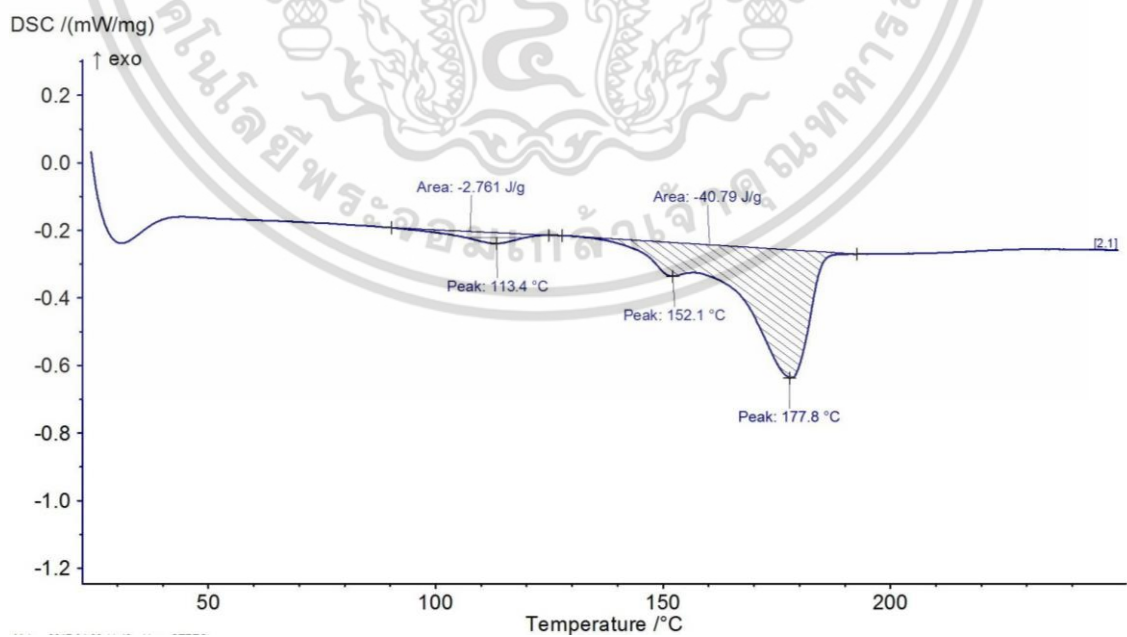
## ภาคผนวก ข

การศึกษาสมบัติทางความร้อน

(ก) การคายความร้อนของ pyrene-phenothiazine



(ข) การดูดความร้อนของ pyrene-phenothiazine

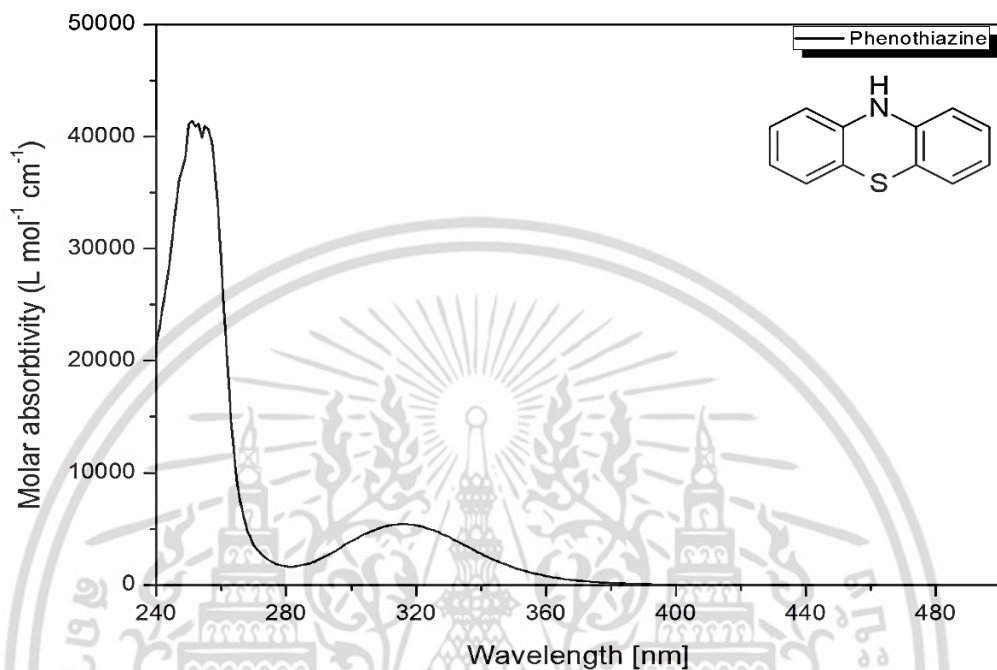


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

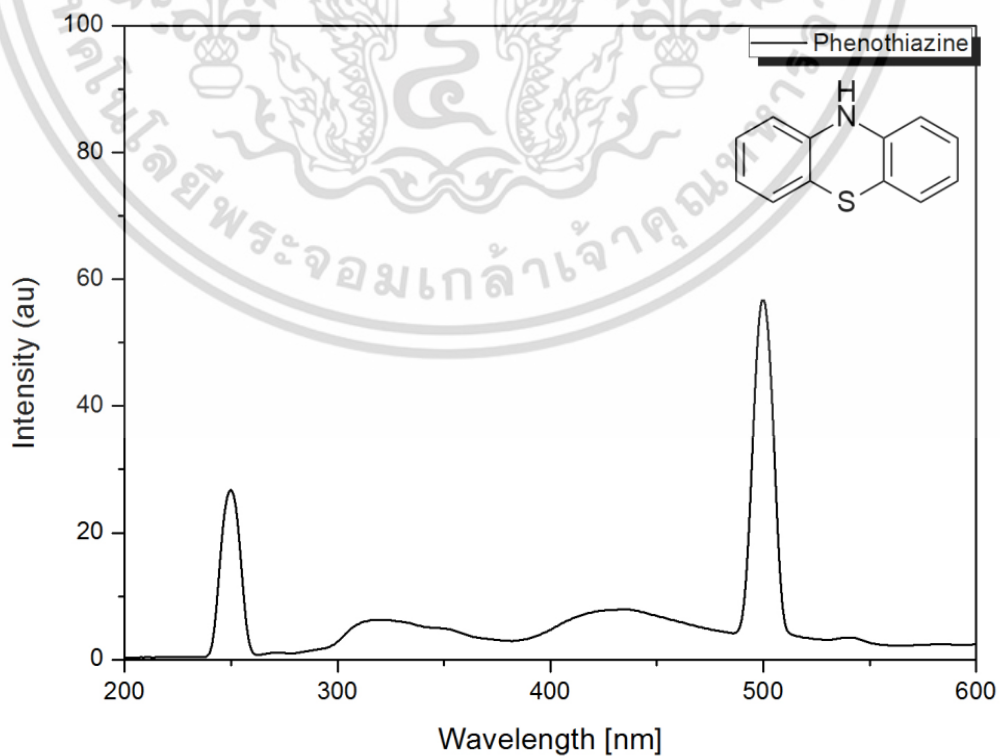
## ภาคผนวก ค

### การศึกษาสมบัติทางแสง

(ก) การดูดกลืนแสง UV-visible ของ phenothiazine

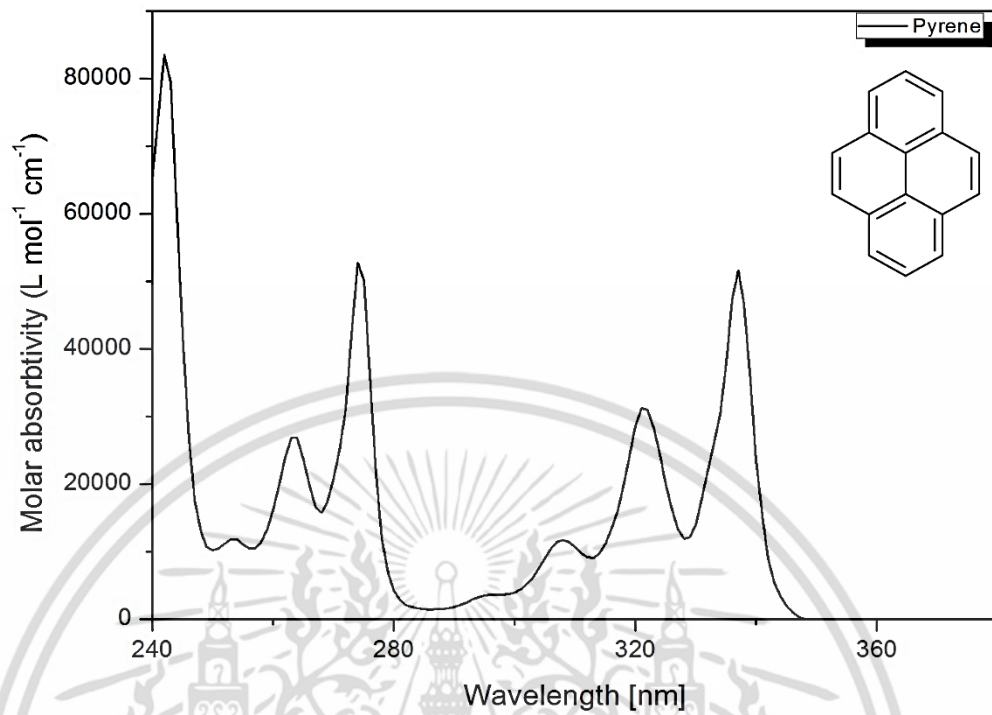


(ข) การคายแสง fluorescence ของ phenothiazine

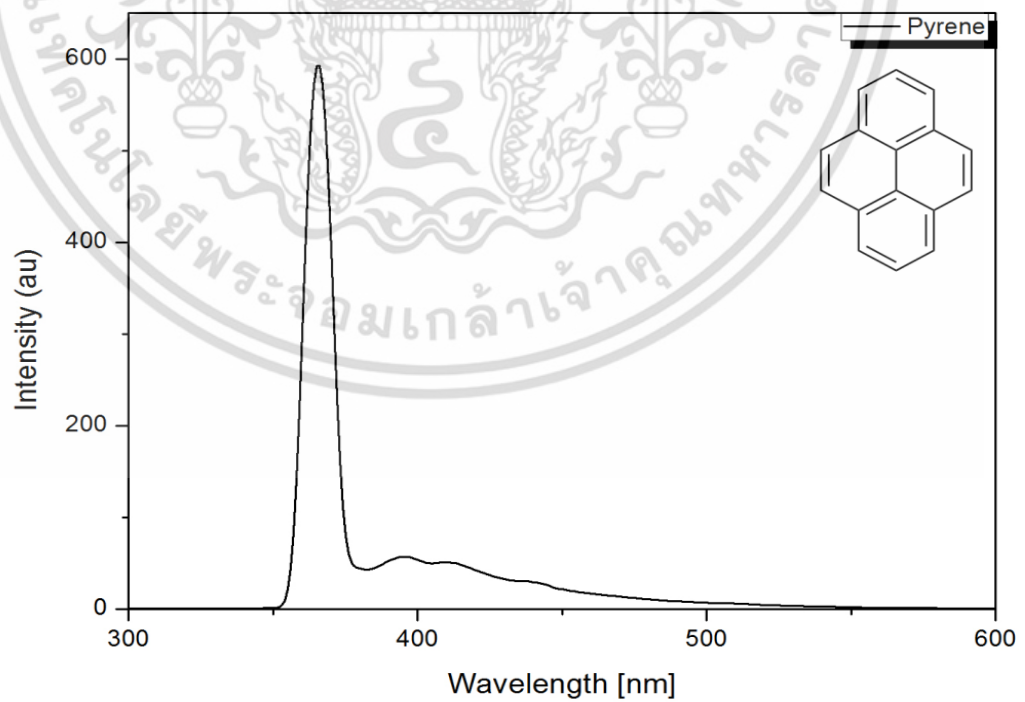


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ค) การดูดกลืนแสง UV-visible ของ pyrene

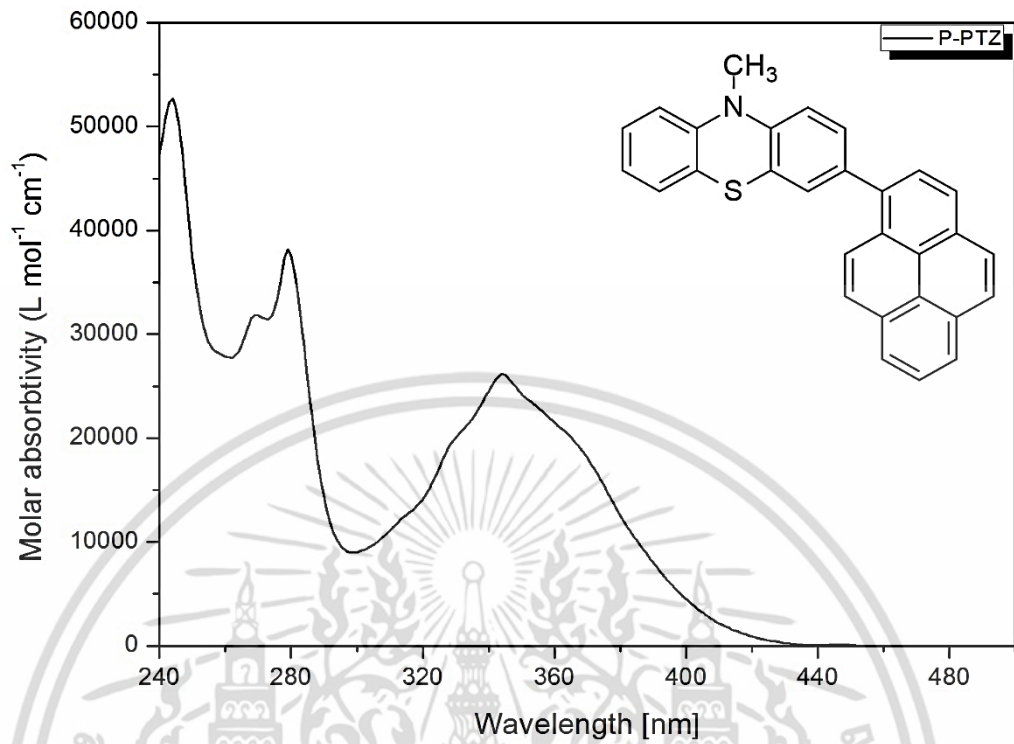


(ง) การคายแสง fluorescence ของ pyrene

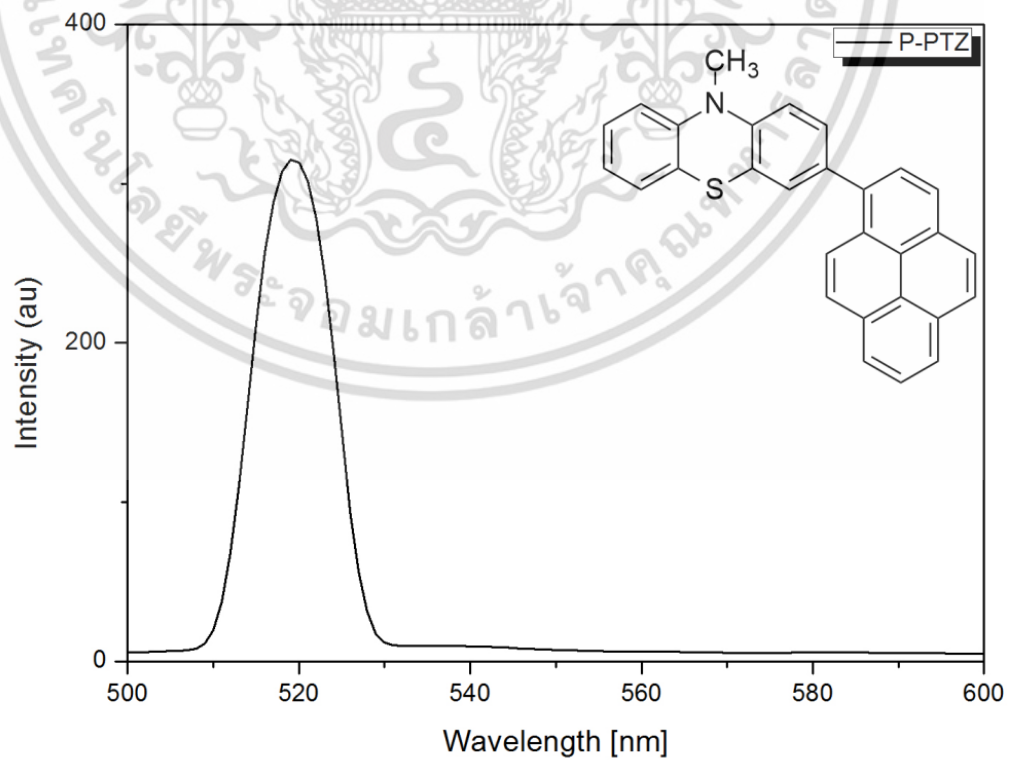


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(จ) การดูดกลืนแสง UV-visible ของ pyrene-phenothiazine



(ง) การคายแสง fluorescence ของ pyrene-phenothiazine



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ง

การคำนวณหาค่าแถบพลังงาน

จากสูตร  $E_g = \frac{1240}{\lambda_{onset}} (eV)$

(ก) การคำนวณหาค่าแถบพลังงานของ phenothiazine

จาก  $E_g = \frac{1240}{\lambda_{onset}} (eV)$

$$E_g = \frac{1240}{363} (eV)$$

$$E_g = 3.42 (eV)$$

(ข) การคำนวณหาค่าแถบพลังงานของ pyrene

จาก  $E_g = \frac{1240}{\lambda_{onset}} (eV)$

$$E_g = \frac{1240}{340} (eV)$$

$$E_g = 3.65 (eV)$$

(ค) การคำนวณหาค่าแถบพลังงานของ pyrene-phenothiazine

จาก  $E_g = \frac{1240}{\lambda_{onset}} (eV)$

$$E_g = \frac{1240}{385} (eV)$$

$$E_g = 3.22 (eV)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้