

การศึกษาสมบัติเชิงแสงของฟีนโธเอซีนและอนุพันธ์

STUDY OF OPTICAL PROPERTIES
OF PHENOTHIAZINE AND ITS DERIVATIVES



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การดำเนินงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่หรือขึ้นด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหานี้ในเอกสารฉบับอื่นๆ ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
ปีการศึกษา 2561

STUDY OF OPTICAL PROPERTIES
OF PHENOTHIAZINE AND ITS DERIVATIVES



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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ **ACADEMIC YEAR 2018** ดินหน้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การศึกษาสมบัติเชิงแสงของฟีนโธเอซีนและอนุพันธ์
Study of optical properties of phenothiazine and its derivatives

ชื่อนักศึกษา นางสาวสุกัญญา คณะทอง รหัสนักศึกษา 58050556
นางสาวสุพัตรา হাসনাম รหัสนักศึกษา 58050562

ปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชา เคมี
ปีการศึกษา 2561
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.การุญย์ สาดอ่อน

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้ โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม) ปีการศึกษา 2561

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ดร.รฐวรรัตน์ แดงเงิน ประธานกรรมการ	
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณวสิทธิ์ โชติแสง กรรมการ	
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.การุญย์ สาดอ่อน กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับภายในเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่ไปยังหน่วยงานภายนอก
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การศึกษาสมบัติเชิงแสงของฟีนโธเอซีนและอนุพันธ์ Study of optical properties of phenothiazine and its derivatives
ชื่อนักศึกษา	นางสาวสุกัญญา คณะทอง รหัสนักศึกษา 58050556 นางสาวสุพัตรา หาสนาม รหัสนักศึกษา 58050562
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชา	เคมี
คณะ	วิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)
ปีการศึกษา	2561
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.การุณย์ สาดอ่อน

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้สนใจศึกษาคุณสมบัติเชิงแสงและ fluorescence quantum yield สัมพันธ์ของสารประกอบ ฟีนโธเอซีน (PTZ), ฟลูออรีน, และ ไพรีน รวมทั้งอนุพันธ์ ซึ่งได้แก่ 10-เมทิลฟีนโธเอซีน (Me-PTZ), ฟลูออรีน-ฟีนโธเอซีน (F-PTZ), และ ไพรีน-ฟีนโธเอซีน (P-PTZ) โดยพบว่า สารประกอบเหล่านี้แสดงค่าการดูดกลืนแสง UV-visible อยู่ในช่วง 245 – 425 nm และมีค่าการคายแสง fluorescence อยู่ในช่วง 314 – 524 nm ซึ่งสอดคล้องกับช่วงสีน้ำเงินถึงสีเขียวแกมน้ำเงิน และยังสัมพันธ์กับ energy gap ช่วง 3.09 – 4.04 eV อีกด้วย นอกจากนี้พบว่า สาร F-PTZ และ P-PTZ ซึ่งเตรียมได้จากปฏิกิริยาระหว่าง Me-PTZ กับ ฟลูออรีน และ ไพรีน แสดงค่าการคายแสงที่สูงกว่าสารตัวอื่น ๆ โดยมีค่า fluorescence quantum yield สัมพันธ์เท่ากับ 0.73 และ 2.17 เทียบกับ ฮาร์แมน (harmane) และเท่ากับ 0.34 และ 0.99 เทียบกับ ฮาร์มิน (harmine) ตามลำดับ ดังนั้น สาร F-PTZ และ P-PTZ ทั้งสองนี้น่าจะนำไปประยุกต์ใช้เป็นสารอินทรีย์เปล่งแสงชนิดใหม่สำหรับไดโอดเปล่งแสงอินทรีย์ได้

คำสำคัญ : ฟลูออรีน-ฟีนโธเอซีน, ไพรีน-ฟีนโธเอซีน, สมบัติเชิงแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	Study of optical properties of phenothiazine and its derivatives		
Student	Miss Sukanya Khanathong	Student ID	58050556
	Miss Supatra Hasanam	Student ID	58050562
Degree	Bachelor of Science (Industrial Chemistry)		
Department	Chemistry		
Faculty	Science		
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)		
Academic Year	2018		
Advisor	Asst. Prof. Dr. Karoon Sadorn		

Abstract

This special project focused on the study of optical properties and relative fluorescence quantum yields of phenothiazine (PTZ), fluorene, and pyrene as well as their derivatives, including 10-methyl phenothiazine (Me-PTZ), fluorene-phenothiazine (F-PTZ), and pyrene-phenothiazine (P-PTZ). It was found that all compounds showed UV-visible absorption wavelengths in the region of 245 – 425 nm and exhibited fluorescence maxima ranging from 314 to 524 nm, which corresponded to blue to bluish green region and also correlated to their energy gaps of 3.09 – 4.04 eV. Moreover, among them, F-PTZ and P-PTZ obtained from the coupling of Me-PTZ with fluorene and pyrene, respectively, showed higher fluorescence intensities with fluorescence quantum yield values of 0.73 and 2.17 relative to harmine and of 0.34 and 0.99 relative to harmine, respectively. Therefore, both F-PTZ and P-PTZ might be selected as candidates for new organic emitters in organic light-emitting diodes.

Keyword : Fluorene-phenothiazine, Pyrene-phenothiazine, Optical properties

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร. การุณย์ สาดอ่อน ที่ให้โอกาสเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษนี้ โดยเป็นผู้ให้คำแนะนำ คำปรึกษา ชี้แนวทางการแก้ไขในส่วนที่มีความบกพร่อง ผิดพลาด และสอนทักษะต่าง ๆ ในการปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการเคมี อย่างดีมาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณ ดร.รฐวรธรณ์ แดงเงิน และ ผศ.ดร. ณวสิทธิ์ โชติแสง คณะกรรมการสอบโครงการพิเศษ ที่ช่วยชี้แนะข้อมูลเพิ่มเติม ในส่วนที่เกิดความบกพร่อง ให้ความช่วยเหลือ ให้คำปรึกษา คำแนะนำ จนทำให้โครงการพิเศษเล่มนี้สมบูรณ์ขึ้น

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์ภาควิชาเคมี เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการเคมี เจ้าหน้าที่ห้องธุรการ คณะวิทยาศาสตร์ ภาควิชาเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้คำปรึกษา แนะนำ ในการใช้เครื่องมือให้ถูกต้อง และอำนวยความสะดวกให้แก่ผู้วิจัย

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยได้รับกำลังใจจากคุณพ่อ คุณแม่ พี่น้องและบุคคลอื่น ๆ ที่ให้ความช่วยเหลือ และให้คำปรึกษา ผู้วิจัยมีความรู้สึกยินดี ซาบซึ้งในความกรุณาและความปรารถนาดีเป็นอย่างยิ่ง จึงขอขอบพระคุณทุกท่านไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

สุกัญญา คณะทอง
สุพัศตรา หาสนาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูป.....	ช
คำย่อ/สัญลักษณ์.....	ซ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขต.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 ที่มาและความสำคัญของ Organic Light Emitting Diodes (OLEDs).....	3
2.1.1 โครงสร้างพื้นฐานของจอภาพ OLEDs.....	4
2.1.2 หลักการทำงานของจอภาพ OLEDs.....	5
2.1.3 ประเภทของจอ OLEDs.....	5
2.1.4 ข้อดีของ OLEDs.....	7
2.1.5 ข้อเสียของ OLEDs.....	7
2.2 สารประกอบอินทรีย์.....	8
2.2.1 ฟีนโธเอซีน (Phenothiazine).....	8
2.2.2 ฟลูออรีน (Fluorene).....	9
2.2.3 ไพรีน (Pyrene).....	10
2.3 เทคนิคการวัด.....	11
2.3.1 การวิเคราะห์โดยใช้ UV-Visible spectrophotometer.....	11
2.3.2 การวิเคราะห์โดยใช้ Spectrofluorometer.....	12
2.4 ค่าประสิทธิภาพเชิงควอนตัมทางฟลูออเรสเซนซ์.....	13
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	15
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	20
3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....	20
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ.....	20
3.3 วิธีการดำเนินการทดลอง.....	21
3.3.1 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน.....	21
3.3.1.1 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน harmine.....	21
3.3.1.2 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน harmone.....	21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการเตรียมสารละลายมาตรฐาน harmine.....
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่เอกสารนี้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากทางมหาวิทยาลัยราชภัฏวชิรวิทยาดอนเมือง

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3.2 การเตรียมสารละลายตัวอย่าง.....	21
3.3.2.1 การเตรียมสารละลายตัวอย่าง phenothiazine.....	21
3.3.2.2 การเตรียมสารละลายตัวอย่าง 10-methyl phenothiazine.....	22
3.3.2.3 การเตรียมสารละลายตัวอย่าง fluorene.....	22
3.3.2.4 การเตรียมสารละลายตัวอย่าง pyrene.....	22
3.3.2.5 การเตรียมสารละลายตัวอย่าง fluorene-phenothiazine.....	23
3.3.2.6 การเตรียมสารละลายตัวอย่าง pyrene-phenothiazine.....	23
3.3.3 การทดสอบการดูดกลืนแสงของสารด้วยเครื่อง UV-Visible spectrophotometer.....	24
3.3.4 การทดสอบการคายแสงของสารด้วยเครื่อง spectrofluorometer.....	24
3.3.5 การคำนวณค่า relative fluorescence quantum yield.....	24
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล.....	26
4.1 สมบัติการดูดกลืนแสงของสารประกอบโดยใช้เทคนิค UV-Visible spectrophotometry.....	27
4.2 สมบัติการคายแสงของสารประกอบโดยใช้เทคนิค Fluorescence spectrophotometry.....	29
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	33
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	33
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	33
เอกสารอ้างอิง.....	34
ภาคผนวก.....	37
(1) การศึกษาสมบัติทางแสงของสารมาตรฐาน harmane.....	38
(2) การศึกษาสมบัติทางแสงของสารมาตรฐาน harmine.....	39
(3) การคำนวณค่า fluorescence quantum yield ของ phenothiazine.....	40
(4) การคำนวณค่า fluorescence quantum yield ของ 10-methyl phenothiazine.....	43
(5) การคำนวณค่า fluorescence quantum yield ของ fluorene.....	46
(6) การคำนวณค่า fluorescence quantum yield ของ pyrene.....	49
(7) การคำนวณค่า fluorescence quantum yield ของ fluorene-phenothiazine (F-PTZ).....	52
(8) การคำนวณค่า fluorescence quantum yield ของ pyrene-phenothiazine (F-PTZ).....	55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 แสดงข้อมูลสมบัติทางแสงของ PTZ, Me-PTZ, fluorene, pyrene, F-PTZ และ P-PTZ	28



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 รายละเอียดของโครงสร้าง OLED (แบบที่มีสารอินทรีย์ประกอบ 2 ชั้น)	4
2.2 หลักการทำงานของจอภาพ OLED	5
2.3 Passive Matrix OLED (PMOLED)	6
2.4 Active Matrix OLED (AMOLED)	6
2.5 ฟิโนโรเอซีน	8
2.6 ฟลูออรีน	9
2.7 ไพรีน	10
2.8 การเปลี่ยนระดับพลังงานของอิเล็กตรอน เมื่อได้รับพลังงานในช่วง UV-Visible	11
2.9 ปฏิกิริยาการคายแสงของ fluorescence และ phosphorescence	12
4.1 โครงสร้างสารประกอบที่ใช้ในการคำนวณหา fluorescence quantum yield	26
4.2 โครงสร้างของ harmene และ harmine	26
4.3 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของ PTZ, Me-PTZ, fluorene, pyrene, F-PTZ และ P-PTZ	27
4.4 สเปกตรัมการคายแสงของ PTZ, Me-PTZ, fluorene, pyrene, F-PTZ และ P-PTZ	30
การเรืองแสงของสารตั้งต้น Me-PTZ (ซ้าย) และ PTZ (ขวา).....	31
4.6 การเรืองแสงของสารตั้งต้น pyrene (ซ้าย) และ fluorene (ขวา).....	31
4.7 การเรืองแสงของสารผลิตภัณฑ์ P-PTZ (ซ้าย) และ F-PTZ (ขวา).....	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำย่อ/สัญลักษณ์

คำย่อ/สัญลักษณ์	คำอธิบาย
PTZ	ฟีนโธเอซีน Phenothiazine
Me-PTZ	10-เมทิลฟีนโธเอซีน 10-methyl phenothiazine
F-PTZ	สารประกอบฟลูออรีน-ฟีนโธเอซีน Fluorene-phenothiazine
P-PTZ	สารประกอบไพรีน-ฟีนโธเอซีน Pyrene-phenothiazine



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ไดโอดเปล่งแสงอินทรีย์ (Organic light emitting diodes) หรือ OLEDs ทำให้เกิดงานวิจัยที่โดดเด่นมากมายเนื่องจาก OLEDs มีประสิทธิภาพในการเปล่งแสงที่สูง ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่มีความเสถียรทางด้านความร้อนและทางแสงที่ดี โดยเทคโนโลยี OLEDs นี้ได้แสดงถึงข้อดีมากมายเมื่อเทียบกับเทคโนโลยีการแสดงผลอื่น ๆ โดยจอภาพมีมุมมองที่กว้างมากขึ้น มีการใช้พลังงานที่ค่อนข้างต่ำ มีการตอบสนองที่รวดเร็ว รวมถึงตัวอุปกรณ์มีความบาง ยืดหยุ่น จอแสดงผลและเซ็นเซอร์นั้นมีน้ำหนักเบาสามารถพกพาได้อย่างสะดวก ส่วนใหญ่จึงนิยมนำมาประยุกต์ใช้ในหน้าจอของสมาร์ทโฟน, จอโทรทัศน์ หรือแม้แต่แท็บเล็ต เป็นต้น สำหรับการประยุกต์ใช้ประโยชน์ OLEDs ในเชิงพาณิชย์ยังคงเป็นความท้าทายอย่างมาก เช่น การทำให้เกิดการปลดปล่อยพลังงานที่บริสุทธิ์ออกมาโดยใช้พลังงานให้น้อยที่สุด รวมถึงประสิทธิภาพของอุปกรณ์และการเปลี่ยนสีหลังจากการใช้งาน แม้จะมีปัญหาดังกล่าวข้างต้นแต่ก็ยังคงมีความต้องการที่จะทำการพัฒนาวัสดุเปล่งแสงที่มีประสิทธิภาพออกมา โดยจะต้องมีสารเรืองแสงสีแดง, สีเขียว และสีน้ำเงิน สำหรับสร้าง OLEDs เพื่อให้เกิดการแสดงผลที่เต็มรูปแบบ [1]

การพัฒนาโมเลกุลของสารอินทรีย์เรืองแสงที่มีชั้นสารแผ่นฟิล์มบางซึ่งเป็นองค์ประกอบของ OLEDs ได้รับความสนใจในทางการค้าและทางวิชาการ โดยประสิทธิภาพของสารอินทรีย์เรืองแสงนั้นมีผลต่อการแสดงผลของจอภาพ OLEDs ซึ่งสารเหล่านี้มีคุณสมบัติพื้นฐานที่คล้ายคลึงกัน นั่นคือสามารถดูดกลืนแสงอุลตราไวโอเล็ตหรือแสงสัญญาณฟลูออเรสเซนต์เมื่อเกิดการกระตุ้นด้วยแสงที่มีความยาวคลื่นที่เหมาะสม โดยเราสามารถทราบได้ว่าสารนั้นมีประสิทธิภาพการเปล่งแสงมากน้อยเพียงใดด้วยการคำนวณหาค่า relative fluorescence quantum yield หากค่าที่กล่าวมาข้างต้นมีค่าสูง นั้นแสดงให้เห็นว่าสารอินทรีย์นั้นให้ฟลูออเรสเซนต์ได้ดี ซึ่งมีประโยชน์ต่อการนำไปพัฒนาใช้ในอุปกรณ์ภาคสนามต่อไป [2]

จากผลการศึกษาของเราก่อนหน้านี้ ได้มีการสังเคราะห์สารอินทรีย์เปล่งแสงอนุพันธ์ของ phenothiazine (PTZ) เพื่อนำมาประยุกต์ใช้เป็นสารอินทรีย์เปล่งแสงชนิดใหม่ อย่างไรก็ตามยังไม่มีการศึกษาสมบัติเชิงแสงของสารอินทรีย์กลุ่มดังกล่าวในเชิงลึก ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการศึกษาสมบัติเชิงแสงของฟีนโธเอซีนและอนุพันธ์ดังกล่าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1) เพื่อศึกษาสมบัติเชิงแสงของฟีนโธเอซิน, 10-เมทิลฟีนโธเอซิน, ฟลูออรีน, ไพรีน, ฟลูออรีน-ฟีนโธเอซิน และ ไพรีน-ฟีนโธเอซิน
- 2) เพื่อคำนวณหาค่า relative fluorescence quantum yield ของฟีนโธเอซิน, 10-เมทิลฟีนโธเอซิน, ฟลูออรีน, ไพรีน, ฟลูออรีน-ฟีนโธเอซิน และ ไพรีน-ฟีนโธเอซิน

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1) ศึกษาสมบัติเชิงแสงของสารอินทรีย์เปล่งแสงมาตรฐาน ได้แก่ ฮาร์เมน และ ฮาร์มีน
- 2) ศึกษาสมบัติเชิงแสงของฟีนโธเอซิน, 10-เมทิลฟีนโธเอซิน, ฟลูออรีน, ไพรีน, ฟลูออรีน-ฟีนโธเอซิน และ ไพรีน-ฟีนโธเอซิน
- 3) คำนวณหาค่า relative fluorescence quantum yield ของสารดังกล่าวโดยเทียบกับสารมาตรฐาน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) มีความรู้ความเข้าใจในสมบัติเชิงแสงของฟีนโธเอซินและอนุพันธ์โดยใช้เทคนิค UV-Vis spectrophotometer และ Spectrofluorometer
- 2) สามารถคำนวณหาค่า relative fluorescence quantum yield ของฟีนโธเอซินอนุพันธ์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

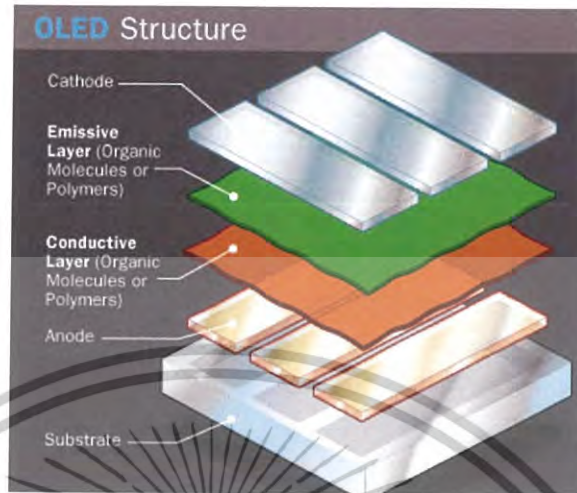
2.1 ที่มาและความสำคัญของ Organic light emitting diodes (OLEDs)

ไดโอดเปล่งแสงอินทรีย์ (Organic light emitting diodes) หรือเรียกอย่างย่อว่า OLEDs คือ จอภาพที่มีลักษณะคล้ายเป็นแผ่นฟิล์มบาง มีส่วนประกอบเป็นสารอินทรีย์ที่สามารถเปล่งแสงได้เอง เมื่อได้รับพลังงานไฟฟ้า เรียกกระบวนการแบบนี้ว่ากระบวนการอิเล็กโทรลูมิเนสเซนส์ (Electroluminescence) เมื่อนำมาใช้เป็นจอภาพจึงไม่จำเป็นต้องมี Backlight ที่คอยฉายแสงไปทั่วทั้งจอภาพอย่างที่นิยมทำกันในจอ LCD (Liquid crystal display) หรือ plasma ซึ่งทำให้จุดสีดำในภาพมีสีที่ดำสนิทเพราะไม่มีแสงสว่างออกมาเลยนั่นเอง คุณสมบัติที่โดดเด่นเช่นนี้เองจึงทำให้จอภาพแบบ OLEDs สามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้มากขึ้น [3]

เทคโนโลยี OLEDs ได้ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อทดแทนเทคโนโลยี LCD ซึ่งเป็นผลงานของบริษัท Eastman Kodak ซึ่งในปี 1980 ดร. Ching Tang และ Steven Van Slyke ได้ประดิษฐ์ไดโอดที่เรียกว่า OLEDs โดยมีโครงสร้าง 2 ชั้นได้แก่ ชั้นที่ว่างเปล่าที่ไม่มีอิเล็กตรอนบรรจุอยู่ (Hole transporting) และชั้นที่บรรจุด้วยอิเล็กตรอน (Electron transporting) ชั้นพลังงานทั้งสองชนิดนี้มีลักษณะไม่เชื่อมต่อกัน โดยอิเล็กตรอนสามารถวิ่งผ่านและเกิดการรวมตัวกันเพื่อทำให้เกิดแสง ซึ่งทำให้ใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยลง เทคโนโลยี OLEDs มีความแตกต่างจากจอภาพแบบ LCD ตรงที่มีส่วนประกอบของ organic และ light emitting โดยในส่วนของ organic ได้มีการวิจัยเกี่ยวกับการนำสารอินทรีย์ตัวอย่างเช่น polymer, oligomer หรือสารผสมระหว่าง organic และ inorganic มาใช้ด้วยเช่นเดียวกันเพราะสารเหล่านี้มีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน เช่น มีความทนต่อช่วงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่กว้างหรือมีความยืดหยุ่นที่สูงมากซึ่งมีความเป็นไปได้ว่าจะมาแทนที่สารอนินทรีย์ในอนาคต ส่วนที่เป็น Light emitting หรือความสามารถในการเรืองแสงได้ด้วยตนเอง หมายถึง อุปกรณ์ที่ทำด้วยสาร organic ล้วน ๆ ซึ่งมีคุณสมบัติในการเรืองแสงได้เมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไป จอภาพ OLEDs ชิ้นแรกนั้นเป็นรายงานวิจัยของ Kodak ซึ่งประกอบด้วยด้านหน้าสุดเป็นกระจกที่เคลือบด้วย Indium tin oxide ทำหน้าที่เป็น anode ถัดมาเป็นชั้นของสาร organic ชั้นแรกที่ทำด้วย aromatic diamine ถัดมาอีกนั้นเป็นชั้นของสาร organic ชั้นที่สองที่เป็น metal chelate complex ซึ่งทำหน้าที่ปล่อยแสงออกมา ชั้นสุดท้ายเป็น cathode ที่ทำจาก magnesium และ silver สรุปแล้วจอทั้งหมดมีอยู่ 4 ชั้น มีความหนาเพียง 500 นาโนเมตรเท่านั้น เมื่อผ่านไฟฟ้าขนาด 10 โวลต์เข้าไปที่หน้าจอ OLEDs รุ่นแรกนี้จะมีแสงสว่างที่คงทนอยู่ได้แค่ 100 candela ซึ่งเป็นความสว่าง 2 เท่าของจอ LCD พร้อม backlight แต่ข้อเสียคือความสว่างคงทนอยู่ได้แค่ 100 ชั่วโมงเท่านั้นแล้วจะค่อย ๆ หรือลงเหลือเพียงครึ่งเดียว นอกจากนั้นยังมีปัญหาในเรื่องการแสดงสีโดยเฉพาะสีน้ำเงิน มีผู้ผลิตหลายรายให้ความสนใจในการวิจัยและพัฒนาทำให้จอภาพ OLEDs ในปัจจุบันมีความแตกต่างไปจากรุ่นต้นแบบของ Kodak โดยจอ OLEDs ขณะนี้สามารถคงความสว่างได้ 10,000 ชั่วโมง ส่วนการแสดงผลของสีใน 1 พิกเซลของจอภาพ OLEDs ยังคงใช้หลักการผสม สีแดง, สีน้ำเงิน และสีเขียว เช่นเดียวกับภาพ CRT [4, 5]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1 โครงสร้างพื้นฐานของจอภาพ OLEDs [3]



รูปที่ 2.1 รายละเอียดของโครงสร้าง OLED (แบบที่มีสารอินทรีย์ประกอบ 2 ชั้น) [3]

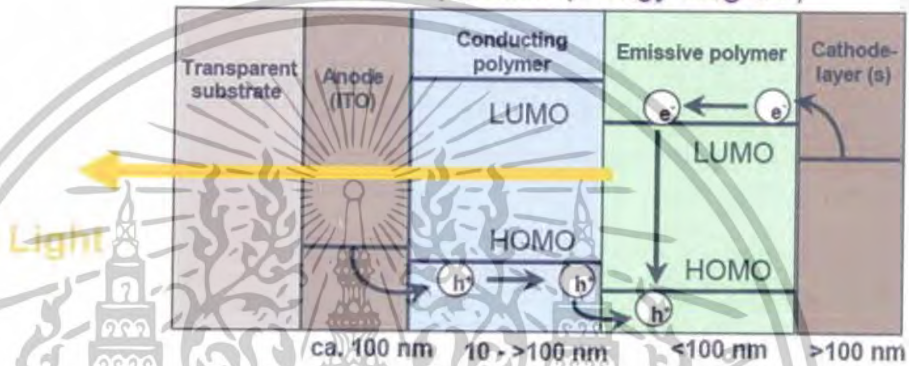
1. Substrate เป็นชั้นผิวหน้าของจอภาพ อาจทำจากกระจก, พอลิโพลีเอทิลีน หรือพลาสติกใส ซึ่งหากทำจากพอลิเอทิลีนหรือพลาสติกใสจะทำให้ได้จอภาพที่มีความยืดหยุ่นสูง
2. Anode (ขั้วบวก) ทำด้วยวัสดุโปร่งใส (Indium tin oxide; ITO) เป็นตัวทำหน้าที่ดึงกระแสอิเล็กตรอน
3. Cathode (ขั้วลบ) อาจทำด้วยวัสดุโปร่งใสหรือไม่ก็ได้ ขึ้นอยู่กับชนิดของ OLEDs เป็นตัวทำหน้าที่ปล่อยกระแสอิเล็กตรอน
4. Organic Layer ทำจากสารประกอบอินทรีย์หรือโพลิเมอร์ของสารอินทรีย์โดยถูกแบ่งออกเป็น 2 ชั้นย่อย ๆ ได้แก่
 - Conducting layer ทำจากโมเลกุลของสารอินทรีย์ที่เป็นสี ทำหน้าที่ส่งโฮล (Hole) ของอิเล็กตรอนจาก Anode
 - Emissive layer ทำจากโมเลกุลของสารอินทรีย์ที่เป็นสี ทำหน้าที่เคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนจาก cathode โดยชั้นนี้เป็นชั้นที่ทำให้เกิดการเปล่งแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 หลักการทำงานของจอภาพ OLEDs [4]

Organic light emitting diodes (OLEDs) มีหลักการทำงานดังนี้คือ เมื่อประจุไฟฟ้าวิ่งผ่าน OLEDs มีผลทำให้แอนโนดเป็นบวกและแคโทดเป็นลบ ดังนั้นประจุไฟฟ้าวิ่งจากแคโทดไปหาแอนโนด หลังจากนั้นแคโทดจะนำอิเล็กตรอนไปยัง emissive layer และแอนโนดก็จะดึงอิเล็กตรอนจาก conductive layer ทำให้ชั้น conductive layer เกิด electron hole เมื่อ emissive layer มีประจุไฟฟ้าเป็นลบและ conductive layer เกิด electron hole ที่มีประจุไฟฟ้าเป็นบวกมากขึ้นก็จะเกิดแรงดึงดูด electrostatic ทำให้ประจุไฟฟ้าลบและ electron hole รวมตัวกันซึ่งเกิดขึ้นในชั้น emissive layer

OLED device operation (energy diagram)



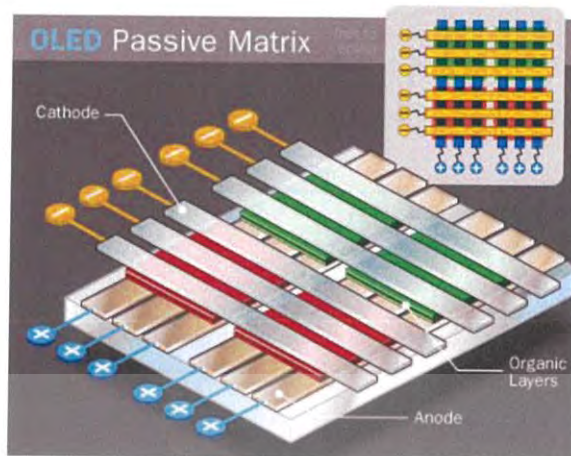
รูปที่ 2.2 หลักการทำงานของจอภาพ OLED [4]

สำหรับการให้สีแก่แสงนั้นจะขึ้นอยู่กับชนิดของโมเลกุลสารอินทรีย์ในชั้น emissive layer ซึ่งในการผลิตจอ full-color OLEDs จะใช้สารอินทรีย์ 3 ชนิด เพื่อให้ได้แม่สีของสารคือ น้ำเงิน, แดง และเขียว ส่วนความเข้มและความสว่างของแสงที่ได้ จะขึ้นอยู่กับกระแสไฟฟ้าที่ให้เข้าไปให้มากแสงก็จะสว่างมากขึ้นซึ่งโดยปกติจะใช้กระแสไฟฟ้าที่ประมาณ 3 ถึง 10 โวลต์ และด้วยความที่มาจากฟิล์มสารอินทรีย์ที่บางระดับนาโนเมตรนี้เอง เราจึงสามารถประกอบอุปกรณ์ OLEDs บนวัสดุที่พับงอได้ เช่น พลาสติกใส เกิดเป็นจอภาพแบบยืดหยุ่น (Flexible display) ได้ขึ้นมา

2.1.3 ประเภทของจอภาพ OLEDs [3]

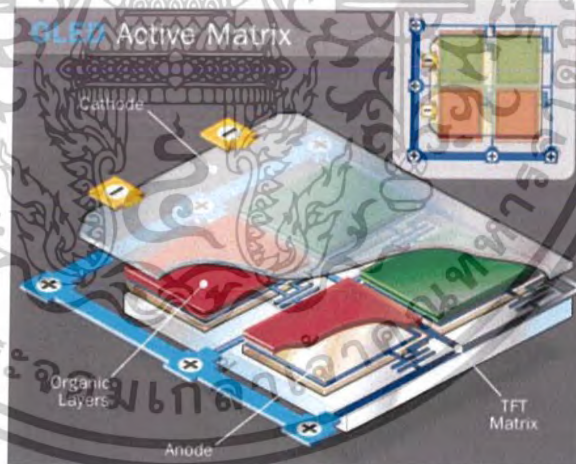
1. Passive matrix OLED (PMOLED) ในแต่ละชั้นจะมีลักษณะเป็นแถบแยกออกจากกัน โดยชั้นของ cathode และ anode จะวางในแนวขวางซึ่งกันและกันโดยเมื่อมีกระแสไหลผ่านในแต่ละช่องแคโทดและแอนโนดจะทำให้ฟิล์มเกิดการเปล่งแสงบริเวณที่ขั้วแคโทดและแอนโนดวางตัดกัน ดังนั้นการควบคุมการเปล่งแสงของ PMOLED จึงขึ้นอยู่กับทางเลือกช่องทางเดินของกระแส โดยข้อดีของ OLED ชนิดนี้คือสร้างได้ง่าย และต้องการกระแสจากวงจรภายนอก ส่งผลให้ต้องใช้พลังงานมากกว่า OLED ชนิดอื่น ๆ (แต่ยังคงประหยัดพลังงานมากกว่า LCD) ซึ่ง PMOLED เหมาะสำหรับทำจอภาพขนาดเล็กที่มีความกว้างประมาณ 2 ถึง 3 นิ้ว อย่างเช่น จอของโทรศัพท์หรืออุปกรณ์พกพาอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 Passive matrix OLED (PMOLED) [3]

2. Active matrix OLED (AMOLED) ในแต่ละชั้นจะต่อเนื่องกันทั้งชั้น แต่ในชั้นแอโนดจะมีลักษณะเป็นฟิล์มบางที่เป็นวงจรในตัวเองและควบคุมการเกิดภาพได้เอง โดย AMOLED จะใช้พลังงานน้อยกว่า PMOLED เนื่องจากลักษณะโครงสร้างที่เป็นแบบฟิล์มบางและยังสามารถขยายให้มีขนาดใหญ่ได้ด้วย จึงทำให้ AMOLED เหมาะสำหรับทำจอที่มีขนาดใหญ่ เช่น จอโทรทัศน์, จอคอมพิวเตอร์ หรือจอป้ายโฆษณาขนาดใหญ่



รูปที่ 2.4 Active matrix OLED (AMOLED) [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4 ข้อดีของ OLEDs [4, 20]

จอ LCD (Liquid crystal display) นิยมนำมาใช้บนจอทีวีขนาดใหญ่ ขณะที่จอ LED ทั่วไปมักนำมาใช้แสดงผลตัวเลขบนนาฬิกาดิจิตอลไปจนถึงอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และจอทีวีในปัจจุบัน แต่ทั้งนี้เทคโนโลยี OLEDs มีประสิทธิภาพที่ครอบคลุมมากกว่าเทคโนโลยี LCD และ LED ดังนี้

1. ชั้นพลาสติกชีวภาพของ OLEDs มีความบาง น้ำหนักเบากว่า และสามารถยืดหยุ่นได้มากกว่าชั้นผลึกแก้วทั้งใน LCD และ LED
2. เนื่องจากชั้นที่เปล่งแสงของ OLEDs เบากว่า ตัวฐานตั้งต้นของ OLEDs อาจใช้เป็นพลาสติกได้มากกว่าที่จะเป็นกระจกที่นิยมใช้กันใน LCD และ LED
3. OLEDs มีความสว่างมากกว่า LED เนื่องจากชั้นชีวภาพของ OLEDs บางกว่ามากเมื่อเทียบกับชั้นผลึกคริสตัลสังเคราะห์ของ LED ทำให้ชั้นตัวนำและเปล่งแสงของ OLEDs สามารถซ้อนกันหลายชั้นได้ นอกจากนี้ทั้ง LED และ LCD ต่างต้องใช้แก้วเป็นฐานรองรับ รวมถึงแก้วก็ดูดซับแสงไว้บางส่วนอีกด้วย ซึ่งในขณะนี้ OLEDs ไม่จำเป็นต้องใช้แก้วแล้ว
4. OLEDs ไม่ต้องใช้ไฟส่องด้านหลังเหมือน LCD โดย OLEDs สามารถสร้างแสงขึ้นได้ด้วยตนเอง และเนื่องจาก OLEDs ไม่จำเป็นต้องใช้ไฟส่องจากด้านหลังนี้ จึงทำให้ใช้พลังงานน้อยกว่า LCD มาก ซึ่งพลังงานส่วนใหญ่ของ LCD ใช้หมดไปกับไฟส่องสว่างด้านหลังนั่นเอง
5. OLEDs ผลิตขึ้นมาใช้งานได้ง่ายมาก และสามารถนำไปทำให้มีขนาดใหญ่ขึ้นโดยมีความปลอดภัยสูง เนื่องจากองค์ประกอบส่วนใหญ่ของ OLEDs เป็นพลาสติก จึงสามารถทำให้อยู่ในรูปแผ่นซีทบางขนาดใหญ่ได้ ขณะที่กรณีของคริสตัลเหลวจะทำได้ยากมาก
6. OLEDs ให้มุมมองการเห็นภาพกว้างได้มากเกือบ 180 องศา ซึ่ง LCD ให้มุมมองการเห็นภาพที่แคบกว่า เพราะเนื่องจาก LCD ทำงานได้ด้วยการป้องกันแสงด้านหลังลอดผ่าน ขณะที่ OLEDs สร้างแสงสว่างได้ด้วยตนเอง จึงทำให้ได้มุมมองการเห็นที่กว้างกว่า
7. ข้อดีอีกอย่างของ OLEDs คือเราสามารถออกแบบ energy gap หรือสีที่เปล่งออกมาได้โดยการทำวิศวกรรมโมเลกุล เช่น พอลิเมอร์ที่เป็นวัสดุเปล่งแสงสีเหลืองที่ชื่อว่า PPV (Poly paraphenylenevinylene) นั้นหากนำมาทำวิศวกรรมโมเลกุล โดยการใส่หมู่แทนที่ด้านข้างเข้าไป เกิดเป็น MEH-PPV ซึ่งมี energy gap ที่ลดลงทำให้สีเปลี่ยนมาเป็นส้ม-แดง

2.1.5 ข้อเสียของ OLEDs

1. กระบวนการผลิตในขณะนี้ยังต้องใช้ทุนที่ค่อนข้างสูง
2. สารอินทรีย์ที่ใช้ทำ OLEDs จะเสียหายได้ง่ายเมื่อโดนน้ำหรือออกซิเจน
3. พิล์มที่ให้กำเนิดสีน้ำเงินมีอายุการใช้งานสั้นเพียง 1,000 ชั่วโมง (แต่สำหรับสีแดงและเขียว มีอายุการใช้งานที่ยาวนานถึงประมาณ 10,000-40,000 ชั่วโมง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 สารประกอบอินทรีย์

2.2.1 ฟีนโธเอซีน (Phenothiazine)



รูปที่ 2.5 ฟีนโธเอซีน [6, 7, 21]

Phenothiazine (PTZ) เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีสูตรโมเลกุลคือ $C_{12}H_9NS$ มีมวลโมเลกุล 199.271 g/mol เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่อยู่ในกลุ่ม thiazine-class ของพวกสารประกอบเฮเทอโรไซคลิก (heterocyclic compounds) [6, 7]

Phenothiazine เป็นสารประกอบที่มีอิเล็กตรอนเป็นจำนวนมาก ซึ่งได้รับอิทธิพลมาจากอะตอมของซัลเฟอร์และไนโตรเจน จึงมีคุณสมบัติในการเปล่งแสงที่ดี นอกจากนี้โครงสร้างของ phenothiazine มีลักษณะที่ไม่แบนราบซึ่งแตกต่างจากโครงสร้างของ fluorene และ pyrene จึงทำให้สามารถป้องกันการซ้อนทับของโมเลกุลที่อาจส่งผลทำให้เกิดกระบวนการ excimer ได้

สมบัติทางกายภาพ [7]

1. สารมีสีเหลืองแกมเขียว
2. ลักษณะโครงสร้างมีรูปร่างคล้ายเพชร (Diamond-shape plates)
3. มีเสถียรภาพ ติดไฟได้ง่าย เข้ากันไม่ได้กับสารออกซิไดซ์ที่แรง, กรดแก่ อาจเปลี่ยนสีเมื่อสัมผัสกับแสง

สมบัติทางเคมี [6]

1. จุดหลอมเหลวอยู่ที่ $185\text{ }^{\circ}\text{C}$
2. จุดหลอมเหลวอยู่ที่ $371\text{ }^{\circ}\text{C}$
3. ไม่สามารถละลายได้ใน petroleum ether, chloroform และน้ำ แต่สามารถละลายได้ใน ether และกรดอะซิติกร้อน ทั้งนี้ยังสามารถถูกออกซิไดซ์ได้เมื่อสัมผัสกับแสงในอากาศ

การใช้ประโยชน์ [6]

1. Phenothiazine ได้ถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตสารเคมี โดยใช้เป็นตัวเพิ่มเสถียรภาพหรือตัวยับยั้ง และมีการนำมาใช้ในช่วงกลางศตวรรษที่ 20 ซึ่งใช้เป็นยาฆ่าแมลงและยาฆ่าพยาธิในอุตสาหกรรมปศุสัตว์
2. ในการผลิตโมโนเมอร์นั้นได้มีการใช้ phenothiazine เป็นตัวเพิ่มเสถียรภาพหรือตัวยับยั้งเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาและอายุของผลิตภัณฑ์ เช่น acryloyl chloride เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 ฟลูออรีน (Fluorene)



รูปที่ 2.6 ฟลูออรีน [8]

ฟลูออรีน (Fluorene) เป็นสารประกอบในกลุ่มของพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (Polycyclic aromatic hydrocarbon, PAH) มีสูตรโครงสร้างคือ $C_{13}H_{10}$ และมีมวลโมเลกุลเท่ากับ 166.22 g/mol เป็นสารที่ถูกสกัดมาจากน้ำมันถ่านหิน สามารถทำการสังเคราะห์ได้โดยปฏิกิริยาดีไฮโดรจีเนสของ Diphenylmethane โมเลกุลของ fluorene มีลักษณะเกือบเป็นระนาบ แม้ว่าในแต่ระวงเบนซีนที่อยู่ด้านข้างมีลักษณะเป็นระนาบร่วมกับคาร์บอนตัวที่ 9 ที่อยู่ตรงกลาง และ เป็นสารที่มีการเรืองแสงได้ดี [9]

ฟลูออรีนและอนุพันธ์เป็นสารอินทรีย์ที่ทำให้ได้วัสดุเรืองแสงสีน้ำเงิน โดยมีช่องว่างของระดับพลังงาน (energy gap) ที่กว้าง และมีประสิทธิภาพในการเรืองแสงเป็นอย่างดี แต่การทำวัสดุที่มีองค์ประกอบพื้นฐานเป็นฟลูออรีนนั้นยังมีข้อเสียบางอย่างอันเกิดจากธรรมชาติของสาร เช่น การเกิดปรากฏการณ์ red-shift จากการคายพลังงานของสาร

คุณสมบัติทางกายภาพ [8]

1. เป็นผลึกสีขาวขนาดเล็ก
2. มีกลิ่นหอมคล้ายแวนิลิน
3. ไม่สามารถละลายได้ในน้ำ
4. ละลายได้ใน chloroform, ether, benzene

คุณสมบัติทางเคมี [8]

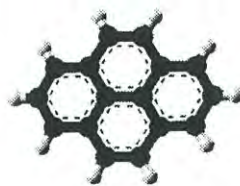
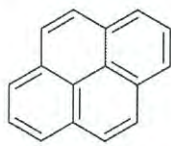
1. จุดเดือด 295 °C
2. จุดหลอมเหลว 116-117 °C
3. ความหนาแน่น 1.202 g/mL

การประยุกต์ใช้ [9]

1. ฟลูออรีนเป็นสารตั้งต้นของสารอนุพันธ์ของฟลูออรีนอื่น ๆ กรดฟลูออรีน - 9 - คาร์บอกซิลิก เป็นสารตั้งต้นของการผลิตยา 2 - Aminofluorene เป็นต้น
2. พอลิเมอร์ Polyfluorene (คาร์บอนตัวที่ 7 ของหน่วยหนึ่งสร้างพันธะกับคาร์บอนตัวที่ 2 ของหน่วยถัดไป โดยแทนที่ไฮโดรเจนสองอะตอม) ใช้เป็นสื่อกระแสไฟฟ้าและสารเรืองแสงทางไฟฟ้า และได้รับการศึกษามากสำหรับใช้เป็น luminophore ในไดโอดเปล่งแสงแบบใช้สารอินทรีย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 ไพรีน (Pyrene)



รูปที่ 2.7 ไพรีน [10]

ไพรีน (Pyrene) เป็นสารประกอบอินทรีย์ในกลุ่มสารเคมีของพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (Polycyclic aromatic hydrocarbon, PAH) ในโครงสร้างจะประกอบด้วย วงเบนซีน (benzene ring) อยู่ร่วมกัน 4 วง มีสูตรโมเลกุล $C_{16}H_{10}$ และมีมวลโมเลกุล 202.26 g/mol pyrene ได้มาจากกระบวนการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของสารประกอบอินทรีย์ อาทิเช่น มาจากน้ำมันดิบ ถ่านหิน และ เต้าเผา และยังสามารถพบได้ในธรรมชาติตามสภาพแวดล้อม

คุณสมบัติทางกายภาพ [11]

1. ไพรีนเป็นของแข็งไม่มีสี และสารละลายมีฟลูออเรสเซนส์สีน้ำเงินเล็กน้อย
2. ลักษณะที่เป็นของแข็งและเป็นสารละลายนี้ สามารถให้ฟลูออเรสเซนส์ที่มีสีน้ำเงินเพียงเล็กน้อย

คุณสมบัติทางเคมี [12]

1. ความหนาแน่น 1.248 g/mL
2. จุดเดือด 404 °C
3. จุดหลอมเหลว 148 °C
4. ละลายในตัวทำละลาย chloroform, ether, ethanol, benzene

การประยุกต์ใช้ [13]

1. ไพรีนและอนุพันธ์นั้นได้มีการนำมาใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตสีย้อมเชิงพาณิชย์เช่น pyranine และ naphthalene - 1,4,5,8-tetracarboxylic acid
2. อนุพันธ์ของไพรีนเป็นโมเลกุลที่ใช้สำหรับเป็นโพรบเรืองแสงในกล้อง fluorescence spectroscopy ซึ่งให้ควอนตัมที่มากและมีอายุการใช้งานยาวนาน
3. การปล่อยสเปกตรัมมีความไวสูงต่อตัวทำละลายที่มีขั้ว ดังนั้นไพรีนถูกนำมาใช้เป็นโพรบเพื่อตรวจสอบสภาพแวดล้อมที่มีตัวทำละลาย การปล่อยสเปกตรัมจะมีความเข้มที่แตกต่างกันไปขึ้นกับการทำปฏิกิริยากับตัวทำละลายนั้น ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

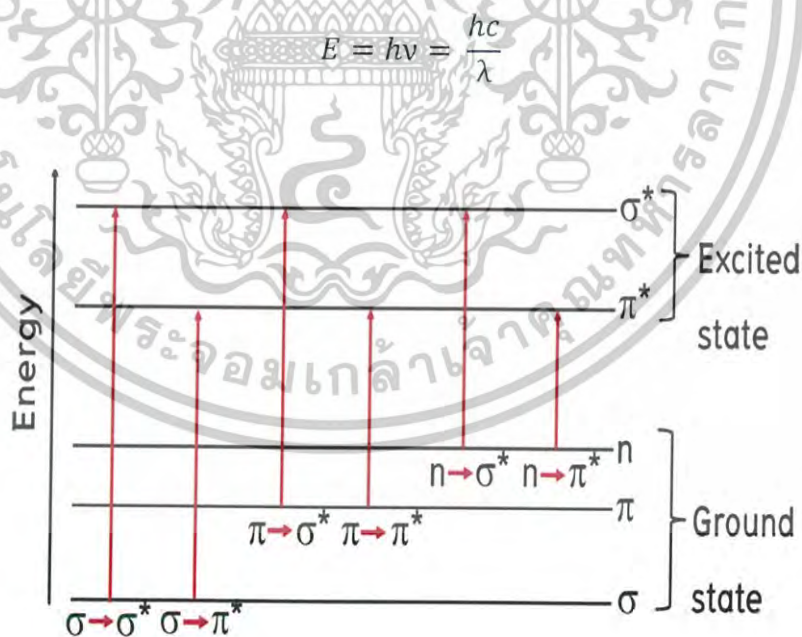
2.3 เทคนิคการวัด

ตรวจวัดสมบัติทางแสง (Optical properties) โดยใช้ 2 เทคนิคดังนี้

2.3.1 การวิเคราะห์โดยใช้ UV-Visible spectrophotometer

เป็นเทคนิคที่วิเคราะห์โดยใช้เครื่อง Ultraviolet-Visible spectrophotometer (UV-Vis) เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจหาปริมาณของสาร โดยอาศัยหลักการที่ว่า สารแต่ละชนิดจะสามารถดูดกลืนแสง (absorbance) ได้ในช่วงความยาวคลื่นที่แตกต่างกัน และปริมาณการดูดกลืนแสงจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารแต่ละชนิดตามกฎของเบียร์-แลมเบิร์ต (Beer-Lambert's law) โดยช่วงความยาวคลื่นที่ตรวจวัดได้ในเทคนิคนี้ คือ ช่วง Ultraviolet (UV) และช่วง Visible (Vis) โดยสารที่ใช้ในการวิเคราะห์จะเป็นจำพวกสารอินทรีย์ (Organic compound) ที่มีโครโมฟอร์ (Chromophore), สารอนินทรีย์ (Inorganic compound), สารประกอบเชิงซ้อน (Complex compound) และสารที่มีสีหรือสารไม่มีสีในรูปธาตุหรือโมเลกุล [14, 15]

ตามหลักการจากรูป 2.8 สารที่ต้องการวิเคราะห์จะดูดกลืนแสงช่วง UV-Vis เข้าไปจะทำให้อิเล็กตรอนถูกกระตุ้นขึ้นไปอยู่ในระดับชั้นพลังงานที่สูงกว่าเดิม โดยอิเล็กตรอนเหล่านี้จะเป็นอิเล็กตรอนวงนอกสุดที่หลุดออกได้ง่าย อันได้แก่ อิเล็กตรอนที่เกิดพันธะซิกมา, อิเล็กตรอนที่เกิดพันธะไพ และอิเล็กตรอนคูโดดเดี่ยว โดยอิเล็กตรอนที่ได้รับพลังงานจะไปอยู่ในออร์บิทัลที่มีระดับพลังงานสูงขึ้น อิเล็กตรอนวงนอกสุดที่ได้รับพลังงานจากรังสี UV-Vis จะเกิดการเปลี่ยนระดับชั้นพลังงานจากออร์บิทัลเชิงโมเลกุลที่มีพลังงานสูงสุดและมีอิเล็กตรอนบรรจุอยู่ไปสู่ออร์บิทัลที่ว่างและมีพลังงานต่ำสุด โดยพลังงานที่อิเล็กตรอนได้รับมีค่าเท่ากับ [15]



รูปที่ 2.8 การเปลี่ยนระดับพลังงานของอิเล็กตรอน เมื่อได้รับพลังงานในช่วง UV-visible [15]

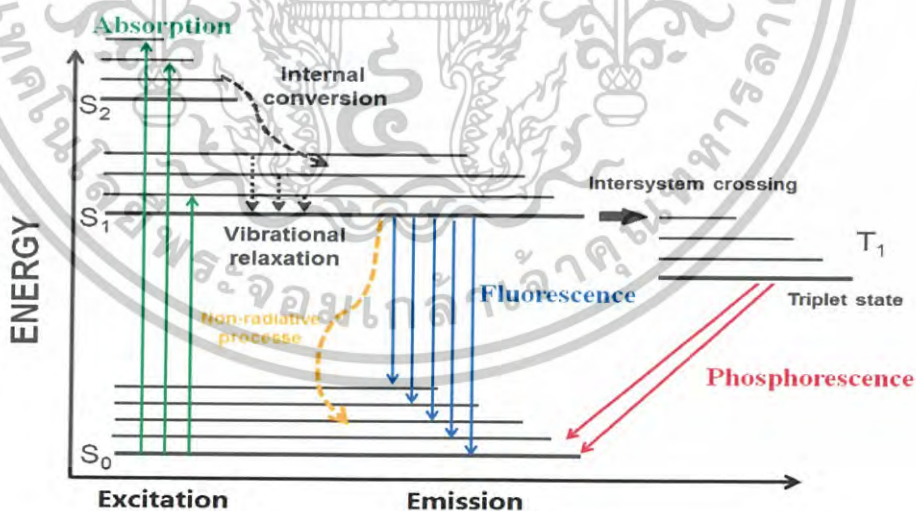
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 การวิเคราะห์โดยใช้ Spectrofluorometer [16]

เป็นเทคนิคที่วิเคราะห์โดยใช้เครื่อง Spectrofluorometer ในการวัดการคายแสงของสารที่ต้องการวิเคราะห์ โดยการวิเคราะห์ในเทคนิคนี้จะมีความจำเพาะเจาะจง (selectivity) มาก เนื่องจากสารประกอบฟลูออเรสเซนต์แต่ละชนิดจะมีการคายแสง (emission) ออกมาในลักษณะที่คงที่ของแต่ละความยาวคลื่นของแสง แต่จะมีสารที่รบกวนบางชนิดที่อาจจะสามารถคายแสงฟลูออเรสเซนต์ได้ แต่มักจะเป็นความยาวคลื่นอื่น ๆ ที่ไม่ตรงกับสารที่ต้องการวิเคราะห์ เทคนิคนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในทางด้านอุตสาหกรรม ด้านสิ่งแวดล้อม และด้านการแพทย์

จากรูป 2.9 ในสถานะพื้น (ground state, S_0) จะมีอิเล็กตรอนอยู่เป็นคู่ เมื่อได้รับพลังงานจากแสงความยาวคลื่นที่กระตุ้นเข้าไป จะส่งผลให้อิเล็กตรอนในโมเลกุลของสารที่ต้องการวิเคราะห์ถูกกระตุ้น ทำให้อิเล็กตรอนเดี่ยวมีพลังงานสูงขึ้น เกิดการเคลื่อนที่ขึ้นไปอยู่ในระดับชั้นพลังงาน singlet excited state (S_1) และ singlet excited state (S_2) ตามลำดับของชั้นพลังงาน ต่อจากนั้นอิเล็กตรอนที่อยู่ในระดับชั้นพลังงาน S_2 จะมีการเปลี่ยนระดับชั้นพลังงานมาที่ระดับชั้นพลังงาน S_1 เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า Internal conversion อิเล็กตรอนจากระดับชั้นพลังงาน S_1 จะกลับลงมาสู่สถานะพื้นและคายแสงฟลูออเรสเซนต์ที่มีความยาวคลื่นเท่ากับความยาวคลื่นที่ดูดกลืนเข้าไปเรียกว่า resonance fluorescence

แต่ในขณะที่อิเล็กตรอนของโมเลกุลกลับสู่สถานะพื้น จะมีการสูญเสียพลังงานไปบางส่วน เนื่องจากกรชน (Collision) และ การสั่น (Vibrational) ของอิเล็กตรอน การถ่ายเทพลังงานให้สารละลายจึงทำให้แสงที่คายออกมาเมื่อกลับสู่สถานะพื้นมีความยาวคลื่นแสงที่มากกว่าแสงที่ถูกดูดกลืนเข้าไป โดยแสงที่คายออกมามักจะเกิดขึ้นในช่วงเวลาสั้น ๆ 10^{-7} - 10^{-9} วินาที จะเรียกว่า fluorescence



รูปที่ 2.9 ปรากฏการณ์การคายแสงของ fluorescence และ phosphorescence [17]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าในกรณีที่สารเปล่งแสงบางชนิดที่อิเล็กตรอนถูกกระตุ้นเคลื่อนที่ไปอยู่ในชั้นระดับพลังงาน singlet excited state (S_1) ซึ่งมีพลังงานสูงใกล้เคียงกับชั้นระดับพลังงาน triplet excited state (T_1) จากนั้นจะมีการเปลี่ยนชั้นระดับพลังงานจาก singlet state (S_1) มาเป็น triplet state (T_1) จะเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า Intersystem crossing หลังจากมีการสูญเสียพลังงานบางส่วน อิเล็กตรอนจะกลับสู่สถานะพื้นพร้อมกับเปล่งแสงที่ความยาวคลื่นมากกว่าเดิม การเปลี่ยนชั้นระดับพลังงานจาก triplet state (T_1) ลงมาสู่สถานะพื้นใช้เวลามากกว่า 10^9 วินาที จึงทำให้มองเห็นแสงที่เปล่งออกมาเป็นเวลานานแม้ว่าจะหยุดส่องแสงการตกกระทบแล้วก็ตาม เรียกว่า phosphorescence [16]

2.4 ค่าประสิทธิภาพเชิงควอนตัมทางฟลูออเรสเซนซ์ (Fluorescence quantum yields) [18, 19]

Fluorescence quantum yield เป็นค่าประสิทธิภาพเชิงควอนตัมทางฟลูออเรสเซนซ์ของสารเคมีที่สามารถคายแสงออกมาได้ เมื่อมีการถูกกระตุ้นด้วยแสง สารเคมีประเภทนี้เรียกว่า fluorophore คุณสมบัติที่สำคัญของสาร fluorophore คือ ถ้าสารยังมีค่า quantum yield (Φ_f) มากขึ้นเท่าใดก็ส่งผลให้มีความเข้มแสงมากขึ้นเท่านั้น โดยเป็นอัตราส่วนของจำนวนโฟตอนที่ถูกคายออกมา (photons_{em}) ต่อจำนวนโฟตอนที่ถูกดูดกลืน (photons_{abs})

$$\Phi_f = \frac{\text{photons}_{em}}{\text{photons}_{abs}}$$

นอกจากนี้ quantum yield (Φ_f) สามารถอธิบายได้ด้วยอัตราสัมพัทธ์ของการแผ่รังสี (Radiative, K_r) และ ไม่มีการแผ่รังสี (Non-radiative, K_{nr}) ตามสมการ

$$\Phi_f = \frac{k_r}{k_r + \sum k_{nr}}$$

เมื่อ K_r และ K_{nr} จะสอดคล้องกับกระบวนการ การแผ่รังสีและไม่แผ่รังสี ตามลำดับ ซึ่งในสมการนี้ $\sum K_{nr}$ จะอธิบายถึงผลรวมของค่าคงที่สำหรับกระบวนการต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการคายแสง ในขณะที่ทำการหาค่า quantum yield จะต้องใช้เครื่องมือที่มีความซับซ้อน จากนั้นนำค่า quantum yield ที่ได้มาทำการเปรียบเทียบกับสารมาตรฐานอ้างอิงประเภท fluorophore ที่ทราบค่า quantum yield ที่แน่นอน เพื่อคำนวณหาค่า relative fluorescence quantum yield (Φ_f) ในการวัดหาค่า quantum yield จะมีความซับซ้อนเล็กน้อยเนื่องจากจะต้องคำนึงถึง ผลความเข้มข้นของสาร, การใช้ตัวทำละลายที่แตกต่างกันสำหรับสารมาตรฐานและสารตัวอย่างในบางกรณี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีที่ใช้ใหม่สำหรับการหาค่า relative fluorescence quantum yield (Φ_f) มี 2 วิธี

1. **Single point method** สามารถหาค่า quantum yield ได้จากการคำนวณโดยใช้ค่าความเข้มแสงที่คายแสงออกมาทั้งหมดจากหนึ่งตัวอย่าง และ ค่าความเข้มแสงของสารมาตรฐานอ้างอิงที่ความเข้มข้นเดียวกัน นำมาแทนในสมการ

$$\Phi_f = \Phi_f \frac{I}{I_R} \frac{OD_R}{OD} \frac{n^2}{n_R^2}$$

เมื่อ Φ_f คือ relative fluorescence quantum yield

I คือ ค่าความเข้มแสงของสารฟลูออเรสเซนต์ทั้งหมด

OD คือ ค่าการดูดกลืนแสง (optical density)

Subscript_R คือ สารมาตรฐานอ้างอิงที่สามารถเปล่งแสงได้และทราบค่า Quantum yield ที่แน่นอน

n คือ ค่าดัชนีหักเหของสารตัวทำละลาย

2. **Comparative method** เป็นวิธีที่สอดคล้องกับการใช้สารมาตรฐานอ้างอิงหลายชนิดที่ทราบค่า quantum yield ของการเปล่งแสง โดยวิธีนี้อาจใช้ระยะเวลามากขึ้นในการวิเคราะห์ แต่ให้ความแม่นยำที่ดี สามารถหาค่า quantum yield ได้จากการพล็อตระหว่างความเข้มแสงของสารฟลูออเรสเซนต์ และ ค่าการดูดกลืนแสง ของสารที่หลายช่วงความเข้มข้น นำมาแทนในสมการ

$$\Phi_f = \Phi_R \left(\frac{m}{m_R} \right) \left(\frac{n^2}{n_R^2} \right)$$

เมื่อ Φ_f คือ relative fluorescence quantum yield

m คือ ค่าความชัน (slope) ที่ได้จากการพล็อตของค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นที่ใช้กระตุ้น (excited) ของสารนั้น ๆ กับ ค่าพื้นที่ใต้กราฟของสารฟลูออเรสเซนต์นั้น ๆ

n คือ ค่าดัชนีหักเหของสารตัวทำละลาย

Subscript_R คือ สารมาตรฐานอ้างอิงที่สามารถเปล่งแสงได้และทราบค่า quantum yield ที่แน่นอน

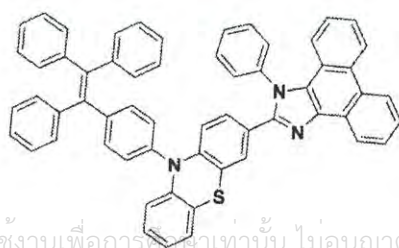
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.5.1 Sk Najmul Islam และคณะได้ทำการสังเคราะห์ fluorene และ thiophene ในรูปแบบ A-alt-B ชนิด π -conjugated polymers โดยสารทั้งสองนี้ได้รับการสังเคราะห์ผ่านปฏิกิริยา Suzuki coupling โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็น Pd(0) ซึ่งจะทำการแทนที่หมู่แอลคิลตำแหน่งที่ 3 ของ thiophene และการสังเคราะห์ที่ขึ้นของ cyan-emissive fluorene ในรูปแบบของ π -conjugated polymers จะถูกวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างโดย FTIR, multinuclear NMR เป็นต้น ซึ่งงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาทั้งสมบัติทางความร้อน, สมบัติทางเคมีไฟฟ้า, สมบัติทางแสง และสมบัติของอิเล็กโตรลูมิเนสเซนซ์ของโพลีเมอร์ โพลีเมอร์ที่ผู้วิจัยสังเคราะห์ขึ้นนี้สามารถเปล่งแสงได้เองตามธรรมชาติของสาร ถึงแม้จะอยู่ในสถานะที่เป็นของแข็งก็ตาม จึงเป็นที่น่าสนใจในการศึกษานำมาใช้เป็นวัสดุที่ใช้งานในไดโอดเปล่งแสงอินทรีย์ (OLEDs) [22]

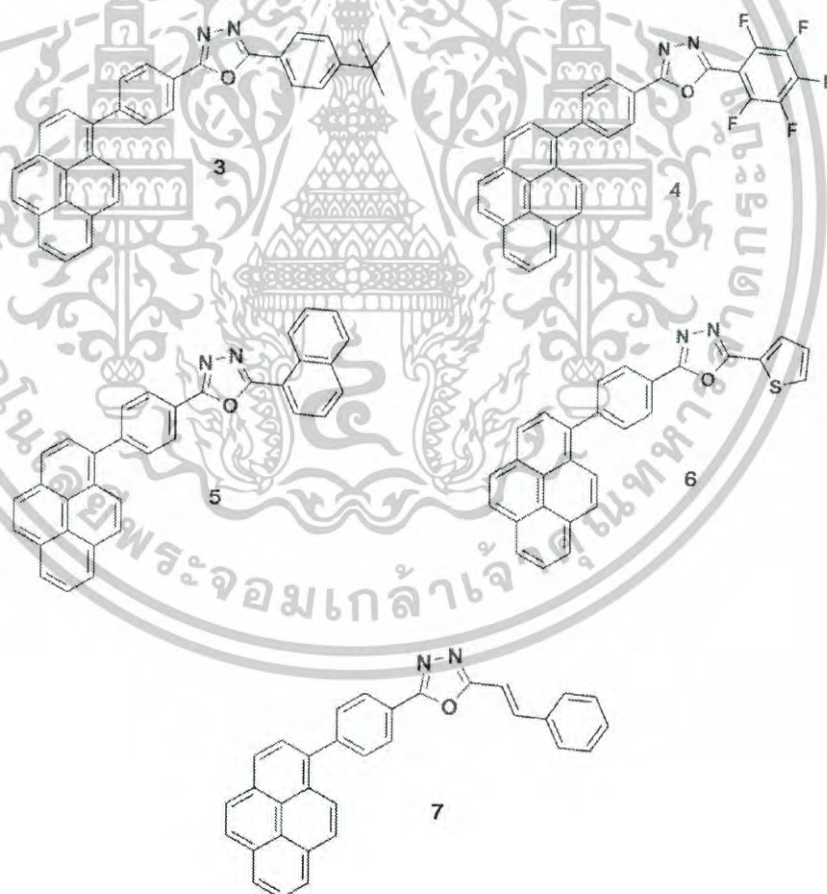


2.5.2 Jinjin Shi และคณะได้ทำการศึกษาไดโอดเปล่งแสงอินทรีย์ (OLEDs) ซึ่งเปล่งแสงสีน้ำเงินเข้มออกมาได้ประสิทธิภาพที่ค่อนข้างต่ำ ผู้วิจัยและคณะจึงได้ทำการออกแบบสารที่สามารถปล่อยแสงสีน้ำเงินคือ 3-(1-phenyl-1H-phenanthro[9,10-d]imidazol-2-yl)-10-(4-(1,2,2-triphenylvinyl) phenyl)-10H-phenothiazine (TPEPPI) 2 ออกมาเพื่อพัฒนาวัสดุให้มีคุณสมบัติในการเปล่งแสงสีน้ำเงินมากขึ้น แต่ตัว TPEPPI แทบจะไม่ปล่อยฟลูออเรสเซนซ์ออกมาในตัวทำละลาย tetrahydrofuran (THF) แต่เมื่อเพิ่มปริมาณตัวทำละลายเป็น 95% ทำให้ความเข้มแสง (Intensity) สามารถเพิ่มขึ้นจากเดิม 5.5 เท่า จากการวิจัยพบว่าอุปกรณ์ที่ได้รับการปรับแต่งแล้วสามารถแสดงประสิทธิภาพในการใช้งานได้เป็นอย่างดี จาก OLEDs รูปแบบเดิมที่สามารถเปล่งแสงสีน้ำเงินเข้มออกมาที่มีความยาวคลื่นประมาณ 460 nm แต่เมื่อได้รับการปรับแต่งขึ้นโดยใช้วัสดุ TPEPPI นี้แล้ว จึงสามารถแสดงการเปล่งแสงออกมาสูงสุดที่ 467 nm โดยจะให้ค่าประสิทธิภาพการส่องสว่างสูงสุดที่ 4.25 cd/A และค่าประสิทธิภาพเชิงควอนตัมภายนอกเป็น 2.36% [23]



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต่ออ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

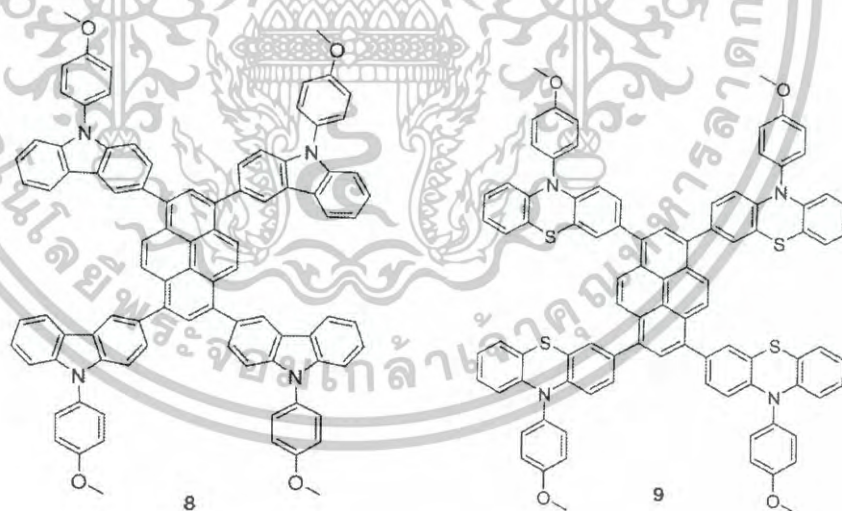
2.5.3 Mahesh S. Najare และคณะได้ทำการออกแบบการสังเคราะห์อนุพันธ์ไพรีนขึ้นมาใหม่คือ สาร 1,3,4-ozadiazole (3, 4, 5, 6, 7) ผ่านตัวเร่งปฏิกิริยาแพลเลเดียมโดยใช้ปฏิกิริยา Suzuki-Miyaura cross coupling ซึ่งโครงสร้างทางเคมีของสารถูกตรวจวัดโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์อันได้แก่ $^1\text{H NMR}$, $^{13}\text{C NMR}$, FT-IR และ GC-MS ขั้วทั้งสองของไพรีนนี้เป็นตัวให้อิเล็กตรอน (D) ส่วนตัว 1,3,4-ozadiazole เป็นตัวรับอิเล็กตรอน (A) ที่เชื่อมโยงกันผ่าน π conjugation และสมบัติทางแสงของอนุพันธ์ที่สังเคราะห์ขึ้นมาใหม่ได้ทำการศึกษาโดยใช้เทคนิค steady state spectroscopic โดยการศึกษาสมบัติเชิงแสงนี้ได้แสดงให้เห็นว่าสารประกอบสามารถเปล่งแสงฟลูออเรสเซนส์สีน้ำเงินเข้มได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งเมื่อทำการขยายภาพออกจะเห็นเป็นสีน้ำเงินแกมเขียว ในบริเวณเฟสของแข็งซึ่งให้ค่า quantum yields ที่สูง หลังจากนั้นทำการศึกษาสมบัติทางความร้อนและความเสถียรภาพทางสัณฐานวิทยาของอนุพันธ์โดยใช้เครื่อง DSC และ TGA นอกจากนี้ยังได้ทำการคำนวณทฤษฎีฟังก์ชันความหนาแน่น (DFT) เพื่อการประยุกต์ใช้ในออปโตอิเล็กทรอนิกส์ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าอนุพันธ์ไพรีนชนิดใหม่นี้สามารถใช้เป็นโมเลกุลขนาดเล็กสำหรับอุปกรณ์เปล่งแสงอินทรีย์ (OLEDs) และอุปกรณ์ออปโตอิเล็กทรอนิกส์ได้ [1]



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.4 DING Xue-Feng และคณะได้ทำการศึกษาค่า Fluorescent quantum yield ของสาร bis-MSB โดยส่วนใหญ่จะนิยมใช้เครื่องนับรังสีจากแสงวับแบบของเหลว (Liquid scintillator) ในการตรวจวัดเพื่อทำการศึกษาระบวนการดูดกลืนและการคายพลังงานของโฟตอน ซึ่งในกระบวนการคายพลังงานนั้นมีผลต่อการค่าการหลุดออกและค่าการกระจายตัวของอิเล็กตรอน ภายในเครื่องนับรังสีจากแสงวับแบบของเหลว ดังนั้นจึงต้องมีความเข้าใจในประสิทธิภาพของตัวเครื่องนี้เพื่อให้ได้ค่าความละเอียดของพลังงานที่ดีและเพื่อให้เกิดความแม่นยำในการตรวจวัด โดยในการศึกษานี้สาร bis-MSB ถูกเตรียมเป็นสารละลายที่มีความเข้มข้นที่แตกต่างกัน ใช้สำหรับการตรวจวัดค่าการดูดกลืนและการคายพลังงานในรูปแบบของฟลูออเรสเซนซ์เพื่อให้ครอบคลุมช่วงความยาวคลื่นที่ต้องการ และผู้วิจัยได้ใช้ harmane เป็นสารมาตรฐานอ้างอิงเพื่อใช้ในการหาค่า Fluorescent quantum yield อีกด้วย [24]

2.5.5 Jagadish K. Salunke และคณะได้สนใจศึกษาปฏิกิริยาการแทนที่ของโบรมีน โดยสาร 1,3,6,8-tetrabromo pyrene ถูกออกแบบขึ้นมาเพื่อใช้เป็นวัสดุอินทรีย์กึ่งตัวนำ โดยในงานวิจัย สาร 1,3,6,8-tetrabromo pyrene ถูกแทนที่ด้วย carbazole และอนุพันธ์ของ phenothiazine โดยใช้ปฏิกิริยา Suzuki coupling วัสดุที่สังเคราะห์ขึ้นมาใหม่ที่มีการแทนที่ด้วย carbazole (PY-CA) 8 และ phenothiazine (PY-PH) 9 นั้นถูกนำมาใช้เป็นชั้นเปล่งแสงที่ใช้งานในไดโอดเปล่งแสงอินทรีย์ (OLEDs) โดยประสิทธิภาพของอุปกรณ์ที่ประยุกต์ใช้สาร PY-CA จะให้แสงสว่างสูงสุดที่ประมาณ 2,500 cd/m² และประสิทธิภาพการใช้พลังงานอยู่ที่ 1.5 lm/W ในขณะที่ สาร PY-PH ให้แสงสว่างสูงสุดที่ประมาณ 2116 cd/m² และประสิทธิภาพการใช้พลังงาน 0.45 lm/W [25]



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.6 A. Saitoh และคณะได้ทำการศึกษาระบบ host-dopant ที่มีการเปล่งแสงสีน้ำเงิน ประสิทธิภาพสูง ซึ่งประกอบไปด้วย host ที่เป็นไพรีนเข้าคู่กับตัวฟลูออรีน (คือ DPYFL01) **10** และ diarylamino แทนที่ origo (fluorenylene)s (คือ BDT3FL) ซึ่งล้วนเป็นสารที่ถูกพัฒนาขึ้นมาใหม่ โดยวัสดุ DPYFL01 มีความสามารถในการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนค่อนข้างสูงมาก อยู่ที่ $1 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{Vs}$ และอุปกรณ์ที่นำวัสดุ DPYFL01 มาประยุกต์ใช้นั้นจะสามารถแสดงการปล่อยแสงสีน้ำเงิน ออกมา โดยมีประสิทธิภาพสูงอยู่ที่ 4.5 lm/W at 200 cd/m^2 นอกจากนี้การใช้ BDT3FL 20% ร่วมกับ DPYFL01 จะส่งผลให้เกิดการปลดปล่อยแสงสีน้ำเงินเช่นเดียวกัน และมีการเพิ่มประสิทธิภาพให้กับอุปกรณ์นั้นพร้อมกับการใช้ host C-H01เพิ่มเติมเข้ามา ทำให้ได้ประสิทธิภาพการใช้งานที่สูงขึ้น ค่าประสิทธิภาพเชิงควอนตัมภายนอก 3.9% ทั้งอายุการใช้งานของอุปกรณ์มีประมาณ 10,000 ชั่วโมง [26]



2.5.7 Mina Jung และคณะได้ทำสังเคราะห์และศึกษาผลจากการเติมหมู่แทนที่บริเวณ ด้านข้างของโครงสร้างไพรีน ซึ่งมีอนุพันธ์ทั้งหมด 3 ตัวที่เป็นหมู่ triphenylbenzene โดยเข้าแทนที่ที่ ตำแหน่ง 1, 6 ตำแหน่ง 4, 9 และตำแหน่ง 1, 8 ของไพรีน หลังจากทำการสังเคราะห์แล้วได้ดังนี้ 1,6-bis(5'-phenyl-[1,1':3',1''-terphenyl]-4-yl)pyrene (1,6-DTBP) **11**, 4,9-bis(5'-phenyl-[1,1':3',1''-terphenyl]-4-yl)pyrene (4,9-DTBP) **12** และ 1,8-bis(5'-phenyl-[1,1':3',1''-terphenyl]-4-yl)pyrene (1,8-DTBP) **13** โดยวัสดุที่สังเคราะห์ขึ้นทั้งสามนี้มีเสถียรภาพทางความร้อนที่ดีมาก ซึ่งค่า $T_g > 140 \text{ }^\circ\text{C}$ และ $T_d > 500 \text{ }^\circ\text{C}$ เนื่องจากโครงสร้างของ 1,8 DTBP ในสถานะที่เป็นฟิล์มนั้นทำให้ค่า photoluminescence quantum yield ดีมากขึ้น อีกทั้งวัสดุสังเคราะห์ทั้งสามนี้ถูกใช้เป็นตัว เปล่งแสงในอุปกรณ์ไดโอดเปล่งแสงอินทรีย์ (OLEDs) โดยสาร 1,8-DTBP สามารถแสดงประสิทธิภาพ การส่องสว่าง 6.89 cd/A ประสิทธิภาพการใช้พลังงานอยู่ 3.03 lm/W ค่าประสิทธิภาพเชิงควอนตัม ภายนอก 7.10% ที่ 10 mA/cm^2 นอกจากนี้ 4,9-DTBP แสดงการปล่อยสีน้ำเงินเข้ม ทำให้เหมาะสม สำหรับจอภาพ HD-TV [27]



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอญ่าให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

- 3.1.1 Harmane บริษัท Aldrich Chemistry
- 3.1.2 Harmine บริษัท Aldrich Chemistry
- 3.1.3 Chloroform บริษัท Carlo Erba reagent; RPE grade
- 3.1.4 Acetone บริษัท RCL Labscan; analytical grade
- 3.1.5 Methanol บริษัท RCL Labscan; analytical grade
- 3.1.6 Phenothiazine (PTZ)
- 3.1.7 10-methyl phenothiazine (Me-PTZ)
- 3.1.8 Fluorene
- 3.1.9 Pyrene
- 3.1.10 Fluorene-phenothiazine (F-PTZ)
- 3.1.11 Pyrene-phenothiazine (P-PTZ)

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

- 3.2.1 SHIMADZU UV-1800 UV Spectrophotometer
- 3.2.2 JASCO FP-6300 Fluorometer
- 3.2.3 บีกเกอร์ (Beaker)
- 3.2.4 จุกปิดเครื่องแก้ว (Stopper)
- 3.2.5 หลอดหยด (Dropper)
- 3.2.6 แท่งแก้วคนสาร (Stiring Rod)
- 3.2.7 ขวดวัดปริมาตร (Volumetric flask)
- 3.2.8 ปิเปต (Pipete)
- 3.2.9 ช้อนตักสารสแตนเลส (Stainless Spatula)
- 3.2.10 คิวเวตต์ (Cuvette)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 วิธีการดำเนินการทดลอง

3.3.1 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน

3.3.1.1 การเตรียมสารละลายมาตรฐานของ harmine

3.3.1.1.1 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน harmine ที่ความเข้มข้น 2.00×10^{-5} โมลาร์

1) ชั่งสารมาตรฐาน harmine 0.0026 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 25 มิลลิลิตร นำมาละลายด้วยทำละลาย methanol 5 มิลลิลิตร แล้วกวนสารให้ละลาย หลังจากนั้นถ่ายสารละลายใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร ฉีด methanol ล้างภายในบีกเกอร์ เพื่อให้สารละลายที่ติดอยู่ในบีกเกอร์ออกมา ทำการปรับปริมาตรด้วย methanol ให้ถึงขีดบอกริมาตร จะได้ความเข้มข้น 1.22×10^{-3} โมลาร์

2) ปิเปตสารละลายมาตรฐานของ harmine 1.22×10^{-3} โมลาร์ ปริมาตร 0.82 มิลลิลิตร ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วย methanol ให้ถึงขีดบอกริมาตร จะได้สารละลายมาตรฐานเข้มข้นของ harmine (Stock solution) 2.00×10^{-5} โมลาร์

3.3.1.1.2 การเตรียมสารละลายมาตรฐานของ harmine ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

ปิเปตสารละลายมาตรฐานเข้มข้นของ harmine (Stock solution) 2.00×10^{-5} โมลาร์ ปริมาตร 4, 5, 6, 7, 8 มิลลิลิตร ใส่ในแต่ละขวดวัดปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วย methanol ให้ถึงขีดบอกริมาตร จะได้ความเข้มข้น 8.00×10^{-6} , 1.00×10^{-5} , 1.20×10^{-5} , 1.40×10^{-5} และ 1.60×10^{-5} โมลาร์ ตามลำดับ

3.3.1.2 การเตรียมสารละลายมาตรฐานของ harmane

3.3.1.2.1 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน harmane ที่ความเข้มข้น 1.18×10^{-5} โมลาร์

1) ชั่งสารมาตรฐาน harmane 0.0036 กรัม โดยใช้วิธีการเตรียมสารละลายมาตรฐานเข้มข้นในข้อ 3.3.1.1 ข้อ 1) จะได้ความเข้มข้นเท่ากับ 1.97×10^{-3} โมลาร์

2) ปิเปตสารละลายมาตรฐานของ harmane 1.97×10^{-3} โมลาร์ ปริมาตร 0.3 มิลลิลิตร โดยใช้วิธีการเตรียมสารละลายมาตรฐานเข้มข้นในข้อ 3.3.1.1 ข้อ 2) จะได้ความเข้มข้นเท่ากับ 1.18×10^{-5} โมลาร์

3.3.1.2.2 การเตรียมสารละลายมาตรฐานของ harmane ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

ปิเปตสารละลายมาตรฐานเข้มข้นของ harmane (Stock solution) 1.18×10^{-5} โมลาร์ ปริมาตร 1, 4, 5 และ 8 มิลลิลิตร โดยใช้วิธีการเตรียมสารละลายมาตรฐานในข้อ 3.3.1.2 จะได้ความเข้มข้นเท่ากับ 1.18×10^{-6} , 4.72×10^{-6} , 5.90×10^{-6} และ 9.44×10^{-6} โมลาร์ ตามลำดับ

3.3.2 การเตรียมสารละลายของสารตัวอย่าง

3.3.2.1 การเตรียมสารละลายตัวอย่างของ phenothiazine (PTZ)

3.3.2.1.1 การเตรียมสารละลายตัวอย่าง PTZ ที่ความเข้มข้น 2.20×10^{-5} โมลาร์

1) ชั่งสารตัวอย่าง PTZ 0.0022 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 25 มิลลิลิตร นำมาละลายด้วยทำละลาย chloroform 5 มิลลิลิตร แล้วกวนสารให้ละลาย หลังจากนั้นถ่ายสารละลายใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร ฉีด chloroform ล้างภายในบีกเกอร์ เพื่อให้สารละลายที่ติดอยู่ในบีกเกอร์ออกมา ทำการปรับปริมาตรด้วย chloroform ให้ถึงขีดบอกริมาตร จะได้ความเข้มข้น 1.10×10^{-3} โมลาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ปิเปตสารละลายตัวอย่าง PTZ 1.10×10^{-3} โมลาร์ ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วย chloroform ให้ถึงขีดบอกปริมาตร จะได้สารละลายตัวอย่างเข้มข้นของ PTZ (Stock solution) 2.20×10^{-5} โมลาร์

3.3.2.1.2 การเตรียมสารละลายตัวอย่างของ PTZ ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

ปิเปตสารละลายตัวอย่างเข้มข้นของ PTZ (Stock solution) 2.20×10^{-5} โมลาร์ ปริมาตร 2, 4, 6 และ 8 มิลลิลิตร ใส่ในแต่ละขวดวัดปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วย chloroform ให้ถึงขีดบอกปริมาตร จะได้ความเข้มข้น 4.40×10^{-6} , 8.80×10^{-6} , 1.32×10^{-5} และ 1.76×10^{-5} โมลาร์ ตามลำดับ

3.3.2.2 การเตรียมสารละลายตัวอย่างของ 10-methyl phenothiazine

3.3.2.2.1 การเตรียมสารละลายตัวอย่าง 10-methyl phenothiazine ที่ความเข้มข้น 2.01×10^{-5} โมลาร์

1) ชั่งสารตัวอย่าง 10-methyl phenothiazine 0.0024 กรัม โดยใช้วิธีการเตรียมสารละลายตัวอย่างเข้มข้นในข้อ 3.3.2.1.1 ข้อ 1) จะได้ความเข้มข้น 1.12×10^{-3} โมลาร์

2) ปิเปตสารละลายตัวอย่าง 10-methyl phenothiazine 1.12×10^{-3} โมลาร์ ปริมาตร 0.9 มิลลิลิตร โดยใช้วิธีการเตรียมสารละลายตัวอย่างเข้มข้นในข้อ 3.3.2.1.1 ข้อ 2) จะได้สารละลายตัวอย่างเข้มข้นของ 10-methyl phenothiazine (Stock solution) 2.01×10^{-5} โมลาร์

3.3.2.2.2 การเตรียมสารละลายตัวอย่างของ 10-methyl phenothiazine ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

ปิเปตสารละลายตัวอย่างเข้มข้นของ 10-methyl phenothiazine (Stock solution) 2.01×10^{-5} โมลาร์ ปริมาตร 1, 5, 6, 7 และ 8 มิลลิลิตร โดยใช้วิธีการเตรียมสารละลายตัวอย่างในข้อ 3.3.2.1.2 จะได้ความเข้มข้น 2.01×10^{-6} , 1.00×10^{-5} , 1.20×10^{-5} , 1.40×10^{-5} และ 1.60×10^{-5} โมลาร์ ตามลำดับ

3.3.2.3 การเตรียมสารละลายตัวอย่างของ fluorene

3.3.2.3.1 การเตรียมสารละลายตัวอย่าง fluorene ที่ความเข้มข้น 3.84×10^{-5} โมลาร์

1) ชั่งสารตัวอย่าง fluorene 0.0020 กรัม โดยใช้วิธีการเตรียมสารละลายตัวอย่างเข้มข้นในข้อ 3.3.2.1.1 ข้อ 1) จะได้ความเข้มข้น 1.20×10^{-3} โมลาร์

2) ปิเปตสารละลายตัวอย่างของ fluorene 1.20×10^{-3} โมลาร์ ปริมาตร 1.6 มิลลิลิตร โดยใช้วิธีการเตรียมสารละลายตัวอย่างเข้มข้นในข้อ 3.3.2.1.1 ข้อ 2) จะได้สารละลายตัวอย่างเข้มข้นของ fluorene (Stock solution) 3.84×10^{-5} โมลาร์

3.3.2.3.2 การเตรียมสารละลายตัวอย่างของ fluorene ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

ปิเปตสารละลายตัวอย่างเข้มข้นของ fluorene (Stock solution) 3.84×10^{-5} โมลาร์ ปริมาตร 4, 5, 6, 7 และ 8 มิลลิลิตร โดยใช้วิธีการเตรียมสารละลายตัวอย่างในข้อ 3.3.2.1.2 จะได้ความเข้มข้น 1.53×10^{-5} , 1.92×10^{-5} , 2.30×10^{-5} , 2.68×10^{-5} และ 3.07×10^{-5} โมลาร์ ตามลำดับ

3.3.2.4 การเตรียมสารละลายตัวอย่างของ pyrene

3.3.2.4.1 การเตรียมสารละลายตัวอย่าง pyrene ที่ความเข้มข้น 9.18×10^{-6} โมลาร์

1) ชั่งสารตัวอย่าง pyrene 0.0031 กรัม โดยใช้วิธีการเตรียมสารละลายตัวอย่างเข้มข้นในข้อ 3.3.2.1.1 ข้อ 1) จะได้ความเข้มข้น 1.53×10^{-3} โมลาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่ควรนำออกนอกระบบของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ หากมีการนำออกไปใช้

2) ปิเปตสารละลายตัวอย่างของ pyrene 1.53×10^{-3} โมลาร์ ปริมาตร 0.3 มิลลิลิตร โดยใช้วิธีการเตรียมสารละลายตัวอย่างเข้มข้นในข้อ 3.3.2.1.1 ข้อ 2) จะได้สารละลายตัวอย่างเข้มข้นของ pyrene (Stock solution) 9.18×10^{-6} โมลาร์

3.3.2.4.2 การเตรียมสารละลายตัวอย่างของ pyrene ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

ปิเปตสารละลายตัวอย่างเข้มข้นของ pyrene 1.53×10^{-3} โมลาร์ ปริมาตร 4, 5, 6, 7 และ 8 มิลลิลิตร โดยใช้วิธีการเตรียมสารละลายตัวอย่างในข้อ 3.3.2.1.2 จะได้ความเข้มข้น 3.67×10^{-6} , 4.59×10^{-6} , 5.50×10^{-6} , 6.42×10^{-6} และ 7.34×10^{-6} โมลาร์ ตามลำดับ

3.3.2.5 การเตรียมสารละลายตัวอย่างของ fluorene-phenothiazine (F-PTZ)

3.3.2.5.1 การเตรียมสารละลายตัวอย่าง F-PTZ ที่ความเข้มข้น 2.16×10^{-5} โมลาร์

1) ชั่งสารตัวอย่าง F-PTZ 0.0044 กรัม โดยใช้วิธีการเตรียมสารละลายตัวอย่างเข้มข้นในข้อ 3.3.2.1.1 ข้อ 1) จะได้ความเข้มข้น 1.08×10^{-3} โมลาร์

2) ปิเปตสารละลายตัวอย่างของ F-PTZ 1.08×10^{-3} โมลาร์ ปริมาตร 1 มิลลิลิตร โดยใช้วิธีการเตรียมสารละลายตัวอย่างเข้มข้นในข้อ 3.3.2.1.1 ข้อ 2) จะได้สารละลายตัวอย่างเข้มข้นของ F-PTZ (Stock solution) 2.16×10^{-5} โมลาร์

3.3.2.5.2 การเตรียมสารละลายตัวอย่างของ F-PTZ ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

ปิเปตสารละลายตัวอย่างเข้มข้นของ F-PTZ (Stock solution) 2.16×10^{-5} โมลาร์ ปริมาตร 1, 2, 3, 4 และ 6 มิลลิลิตร โดยใช้วิธีการเตรียมสารละลายตัวอย่างในข้อ 3.3.2.1.2 จะได้ความเข้มข้น 2.16×10^{-6} , 4.32×10^{-6} , 6.48×10^{-6} , 8.64×10^{-6} และ 1.29×10^{-5} โมลาร์ ตามลำดับ

3.3.2.6 การเตรียมสารละลายตัวอย่างของ pyrene-phenothiazine (P-PTZ)

3.3.2.6.1 การเตรียมสารละลายตัวอย่าง P-PTZ ที่ความเข้มข้น 9.94×10^{-6} โมลาร์

1) ชั่งสารตัวอย่าง P-PTZ 0.0047 กรัม โดยใช้วิธีการเตรียมสารละลายตัวอย่างเข้มข้นในข้อ 3.3.2.1.1 ข้อ 1) จะได้ความเข้มข้น 1.13×10^{-3} โมลาร์

2) ปิเปตสารละลายตัวอย่างของ P-PTZ 1.13×10^{-3} โมลาร์ ปริมาตร 0.44 มิลลิลิตร โดยใช้วิธีการเตรียมสารละลายตัวอย่างเข้มข้นในข้อ 3.3.2.1.1 ข้อ 2) จะได้สารละลายตัวอย่างเข้มข้นของ P-PTZ (Stock solution) 9.94×10^{-6} โมลาร์

3.3.2.6.2 การเตรียมสารละลายตัวอย่างของ P-PTZ ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

ปิเปตสารละลายตัวอย่างเข้มข้นของ P-PTZ (Stock solution) 9.94×10^{-6} โมลาร์ ปริมาตร 1, 2, 3, 4 และ 5 มิลลิลิตร โดยใช้วิธีการเตรียมสารละลายตัวอย่างในข้อ 3.3.2.1.2 จะได้ความเข้มข้น 9.94×10^{-7} , 1.98×10^{-6} , 2.98×10^{-6} , 3.97×10^{-6} และ 4.97×10^{-6} โมลาร์ ตามลำดับ

* หมายเหตุ จะต้องเตรียมสารละลายอย่างน้อย 5 ความเข้มข้น ซึ่งจะต้องมีค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) ไม่เกิน 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3 การทดสอบการดูดกลืนแสงของสารด้วยเครื่อง UV-Visible spectrophotometer

3.3.3.1 การทดสอบการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐาน

นำ harmine (Stock solution) และ harmine ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ที่เตรียมไว้ในข้อ 3.3.1.1.1 และ 3.3.1.1.2 ตามลำดับ, harmane (Stock solution) และ harmane ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ที่เตรียมไว้ในข้อ 3.3.1.2.1 และ 3.3.1.2.2 ตามลำดับ นำไปตรวจวัดด้วยเครื่อง UV-Visible spectrophotometer โดยใช้ methanol เป็นแบล็ก จากนั้นบันทึกค่าการดูดกลืนแสง

3.3.3.2 การทดสอบการดูดกลืนแสงของสารตัวอย่าง

นำ PTZ (Stock solution) และ PTZ ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ที่เตรียมไว้ในข้อ 3.3.2.1.1 และ 3.3.2.1.2 ตามลำดับ, 10-methyl phenothiazine (Stock solution) และ 10-methyl phenothiazine ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ที่เตรียมไว้ในข้อ 3.3.2.2.1 และ 3.3.2.2.2 ตามลำดับ, fluorene (Stock solution) และ fluorene ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ที่เตรียมไว้ในข้อ 3.3.2.3.1 และ 3.3.2.3.2 ตามลำดับ, pyrene (Stock solution) และ pyrene ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ที่เตรียมไว้ในข้อ 3.3.2.4.1 และ 3.3.2.4.2 ตามลำดับ, F-PTZ (Stock solution) และ F-PTZ ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ที่เตรียมไว้ในข้อ 3.3.2.5.1 และ 3.3.2.5.2 ตามลำดับ, P-PTZ (Stock solution) และ P-PTZ ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ที่เตรียมไว้ในข้อ 3.3.2.6.1 และ 3.3.2.6.2 ตามลำดับ นำไปตรวจวัดด้วยเครื่อง UV-Visible spectrophotometer โดยใช้ chloroform เป็นแบล็ก จากนั้นบันทึกค่าการดูดกลืนแสง

3.3.4 การทดสอบการคายแสงของสารด้วยเครื่อง Spectrofluorometer

3.3.4.1 การทดสอบการคายแสงของสารละลายมาตรฐาน

โดย Harmine จะทำการกระตุ้น (excited) ที่ความยาวคลื่น 301 นาโนเมตร, harmane จะทำการ กระตุ้นที่ความยาวคลื่น 288 นาโนเมตร นำไปตรวจวัดด้วยเครื่อง Spectrofluorometer โดยใช้ methanol เป็นแบล็ก

3.3.4.2 การทดสอบการคายแสงของสารตัวอย่าง

โดย PTZ จะทำการกระตุ้นที่ความยาวคลื่น 316 นาโนเมตร, 10-methyl phenothiazine จะทำการกระตุ้นที่ความยาวคลื่น 311 นาโนเมตร, fluorene จะทำการกระตุ้นที่ความยาวคลื่น 266 นาโนเมตร, pyrene จะทำการกระตุ้นที่ความยาวคลื่น 338 นาโนเมตร, F-PTZ จะทำการกระตุ้นที่ความยาวคลื่น 316 นาโนเมตร, P-PTZ จะทำการกระตุ้นที่ความยาวคลื่น 345 นาโนเมตร นำไปตรวจวัดด้วยเครื่อง spectrofluorometer โดยใช้ chloroform เป็นแบล็ก บันทึกการคายแสง

3.3.5 การคำนวณหาค่า Relative fluorescence quantum yield (Φ_f)

1) นำกราฟของสารแต่ละชนิด ที่มีช่วงความเข้มข้นต่าง ๆ ไปคำนวณหาค่าพื้นที่ใต้กราฟของฟลูออเรสเซนส์ (Area of Fluorescence)

2) นำค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นที่ใช้กระตุ้น (excited) ของสารตัวนั้น ๆ ในช่วงความเข้มข้นต่าง ๆ ปลอดภัย กับ ค่าพื้นที่ใต้กราฟของฟลูออเรสเซนส์ ที่คำนวณได้ ซึ่งจะได้ สมการเส้นตรง ที่มีค่า ความชัน (slope)

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี หากมีการนำเอกสารนี้ไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) คำนวณหาค่า relative fluorescence quantum yield (Φ_f) ของสารตัวอย่างแต่ละชนิดที่ได้จากสมการ ดังนี้

$$\Phi_f = \Phi_R \left(\frac{m}{m_R} \right) \left(\frac{n^2}{n_R^2} \right)$$

เมื่อ Φ_f คือ relative fluorescence quantum yield ของสารตัวอย่าง

Φ_R คือ relative fluorescence quantum yield ของ สารมาตรฐานในการทดลองมี สารมาตรฐาน 2 ชนิด คือ Harmine = 0.45, harmane = 0.83

m คือ ค่าความชัน (slope) ที่ได้จากการพลอตค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นที่ใช้ กระตุ้น (excited) ของสารตัวอย่างนั้น ๆ กับ ค่าพื้นที่ใต้กราฟของฟลูออเรสเซนซ์ ของสารตัวอย่าง

m_R คือ ค่าความชัน (slope) ที่ได้จากการพลอตค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นที่ใช้ กระตุ้น (excited) ของสารตัวอย่างนั้น ๆ กับ ค่าพื้นที่ใต้กราฟของฟลูออเรสเซนซ์ ของสารมาตรฐาน

n^2 คือ ค่าดัชนีหักเหสารตัวทำละลายของสารตัวอย่าง (chloroform เท่ากับ 2.0854)

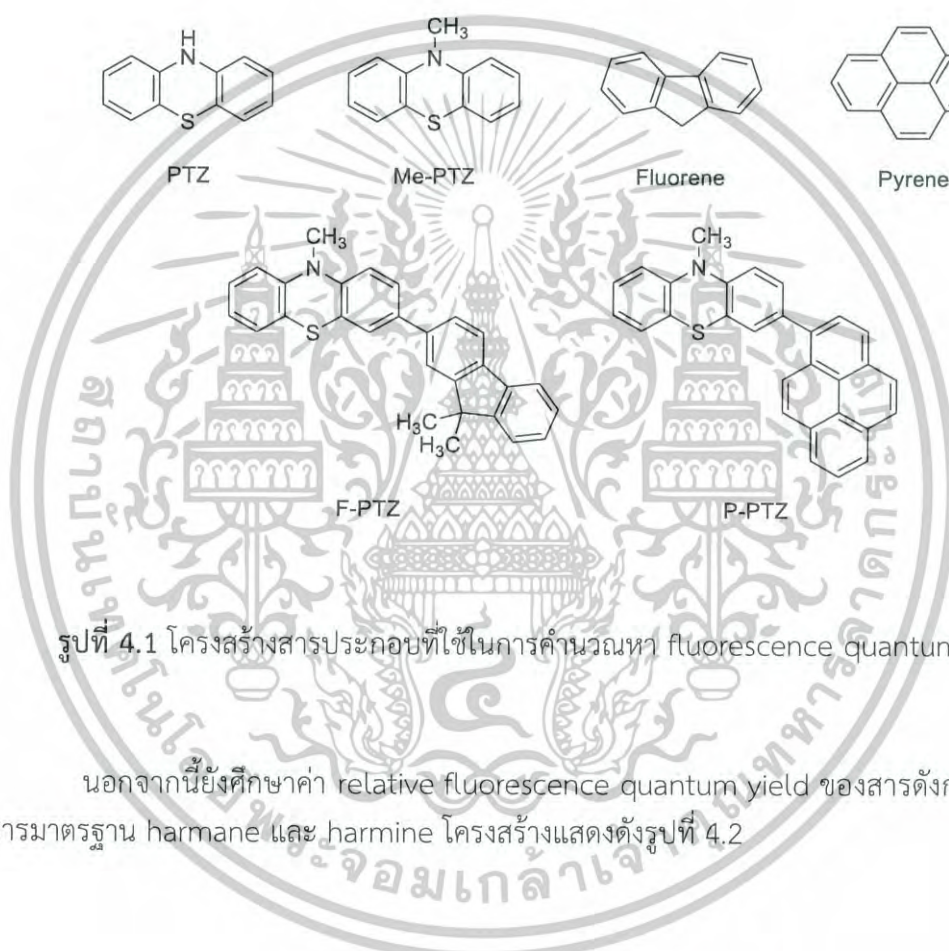
n_R^2 คือ ค่าดัชนีหักเหสารตัวทำละลายของสารมาตรฐาน (methanol เท่ากับ 1.7726)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

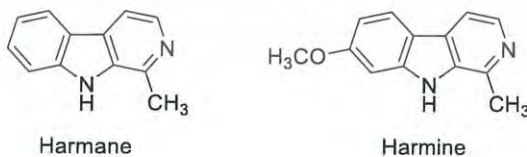
ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการศึกษาคุณสมบัติของการดูดกลืนแสงและการคายแสงของ phenothiazine (PTZ) รวมทั้ง fluorene และ pyrene และอนุพันธ์ได้แก่ 10-methyl phenothiazine (Me-PTZ), fluorine-phenothiazine (F-PTZ) และ pyrene-phenothiazine (P-PTZ) โดยโครงสร้างทางเคมีของสารดังกล่าวแสดงดังรูป 4.1



รูปที่ 4.1 โครงสร้างสารประกอบที่ใช้ในการคำนวณหา fluorescence quantum yield

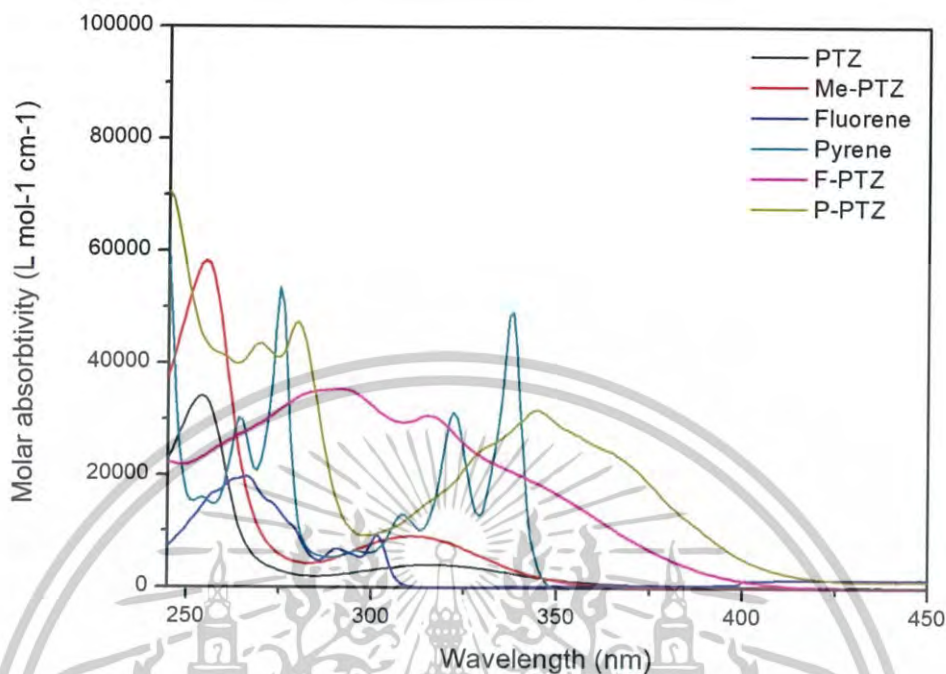
นอกจากนี้ยังศึกษาค่า relative fluorescence quantum yield ของสารดังกล่าวเทียบกับสารมาตรฐาน harmane และ harmine โครงสร้างแสดงดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 โครงสร้างของ harmane และ harmine

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1 สมบัติการดูดกลืนแสงของสารประกอบโดยใช้เทคนิค UV-Vis spectrophotometry



รูปที่ 4.3 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของ PTZ, Me-PTZ, fluorene, pyrene, F-PTZ และ P-PTZ

จากการวัดค่าการดูดกลืนแสง UV-Vis ของสารประกอบตั้งต้น PTZ, Me-PTZ, fluorene, pyrene, F-PTZ และ P-PTZ โดยใช้ chloroform เป็นตัวทำละลายที่ความเข้มข้น 2.20×10^{-5} โมลาร์, 2.01×10^{-5} โมลาร์, 3.07×10^{-5} โมลาร์, 9.18×10^{-6} โมลาร์, 2.16×10^{-5} โมลาร์ และ 7.95×10^{-6} โมลาร์ ตามลำดับ ปรากฏสเปกตรัมดังรูปที่ 4.3 จะพบว่าสารประกอบทั้งหมดมีค่าการดูดกลืนแสงอยู่ในช่วง 245-450 nm เป็นผลมาจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนจาก $n-\pi^*$ และ $\pi-\pi^*$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลสมบัติทางแสงของ PTZ, Me-PTZ, fluorene, pyrene, F-PTZ และ P-PTZ

Compound	$\lambda_{\text{abs}}^{\text{a}}/\text{nm}$	$\lambda_{\text{em}}^{\text{b}}/\text{nm}$	$\lambda_{\text{onset}}^{\text{abs,Sol}}$	$E_{\text{g}}^{\text{opt d}}$	Quantum yield	
	(log ϵ)	(log ϵ)	[nm] ^c	[eV]	Φ^{e}	Φ^{f}
PTZ	255 (4.53)	524	366	3.39	0.07	0.03
	316 (3.61)					
Me-PTZ	256 (4.76)	449	350	3.54	0.02	0.008
	311 (3.96)					
fluorene	266 (4.30)	314	307	4.04	0.07	0.03
	291 (3.84)					
	302 (3.96)					
pyrene	265 (4.47)	375, 386, 395	343	3.61	0.17	0.08
	275 (4.73)					
	309 (4.11)					
	323 (4.48)					
	338 (4.69)					
F-PTZ	294 (4.55)	400, 467	392	3.16	0.74	0.34
	316 (4.49)					
P-PTZ	270 (4.64)	419, 509	402	3.09	2.17	0.99
	281 (4.67)					
	345 (4.50)					

^a ความยาวคลื่นของการดูดกลืนแสงที่มี Chloroform เป็นตัวทำละลาย

^b ความยาวคลื่นของการคายแสงที่มี Chloroform เป็นตัวทำละลาย

^c สเปกตรัมแสดงการดูดกลืนแสงที่มี Chloroform เป็นตัวทำละลาย

^d ช่องว่างพลังงานแสง (Optical band gap) ที่คำนวณจากค่า onset ของการดูดกลืนแสง

^e Fluorescence quantum yield ของสารประกอบตัวอย่างโดยใช้ harmene เป็นสารมาตรฐาน ($\Phi_{\text{Harmene}} = 0.83$)

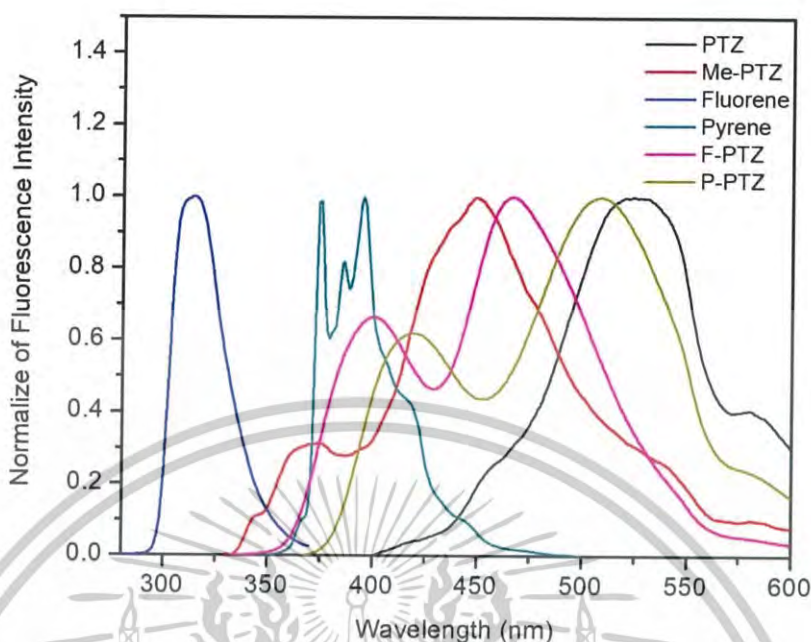
^f Fluorescence quantum yield ของสารประกอบตัวอย่างโดยใช้ harmine เป็นสารมาตรฐาน ($\Phi_{\text{Harmine}} = 0.45$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากข้อมูลตารางที่ 4.1 พบสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของ PTZ (เส้นสีดำ) ที่ความยาวคลื่น 255 nm ($33881.8 \text{ L mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$) และ 316 nm ($4045.45 \text{ L mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$) สเปกตรัมของ Me-PTZ (เส้นสีแดง) ที่ความยาวคลื่น 256 nm ($57855.7 \text{ L mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$) และ 311 nm ($9134.3 \text{ L mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$) สเปกตรัมของ fluorene (เส้นสีน้ำเงิน) ที่ความยาวคลื่น 256 nm ($19772 \text{ L mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$), 291 nm ($6840 \text{ L mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$) และ 302 nm ($9155 \text{ L mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$) เมื่อเทียบกับเส้นสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของ F-PTZ (เส้นสีชมพู) ที่ความยาวคลื่น 294 nm ($35129.6 \text{ L mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$) และ 316 nm ($30629.6 \text{ L mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$) จากการคำนวณพบว่าค่า energy gap ของ PTZ, Me-PTZ, fluorene และ F-PTZ มีค่าเท่ากับ 3.39, 3.54, 4.04 และ 3.16 eV ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.1 ต่อมาเป็นการเปรียบเทียบเส้นสเปกตรัมของ pyrene (เส้นสีฟ้า) ที่มีความยาวคลื่น 265 nm ($29782 \text{ L mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$), 275 nm ($53485.8 \text{ L mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$), 309 nm ($12875.8 \text{ L mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$), 323 nm ($30185 \text{ L mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$) และ 338 nm ($49106.8 \text{ L mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$) และเส้นสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของ P-PTZ (เส้นสีเขียว) ที่มีความยาวคลื่น 270 nm ($43522 \text{ L mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$), 281 nm ($46289 \text{ L mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$) และ 345 nm ($31698 \text{ L mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$) จากการคำนวณพบว่าค่า energy gap ของ pyrene และ P-PTZ มีค่าเท่ากับ 3.61 และ 3.09 eV ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.1 เช่นเดียวกัน จะเห็นได้ว่าสารผลิตภัณฑ์ทั้ง F-PTZ ที่เกิดจากการเข้าคู่กันของ Me-PTZ กับ fluorene และ P-PTZ ที่เกิดจากการเข้าคู่กันของ Me-PTZ กับ pyrene มีค่า energy gap ต่ำลง เมื่อเทียบกับสารตั้งต้น สอดคล้องตามหลักทฤษฎีคือเมื่อมีจำนวนพันธะที่คอนจูเกตกันเพิ่มมากขึ้น จะทำให้โมเลกุลดูดกลืนรังสีที่มีความยาวคลื่นเพิ่มมากขึ้นจึงทำให้เกิดปรากฏการณ์ red shift

4.2 สมบัติการคายแสงของสารประกอบโดยใช้เทคนิค fluorescence spectrophotometry

การตรวจวัดด้วย fluorescence spectrophotometry ของสารตั้งต้น PTZ, Me-PTZ, fluorene, pyrene และของสารผลิตภัณฑ์ F-PTZ กับ P-PTZ โดยใช้ chloroform เป็นตัวทำละลาย ที่ความเข้มข้นเดียวกับที่ใช้ตรวจวัดด้วยเครื่อง UV-Vis โดยทำการกระตุ้นในช่วงความยาวคลื่น 260-350 nm และปรากฏการคายแสงในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 300-600 ซึ่งเป็นช่วงของแสงสีน้ำเงินถึงแสงสีเขียวแกมน้ำเงิน

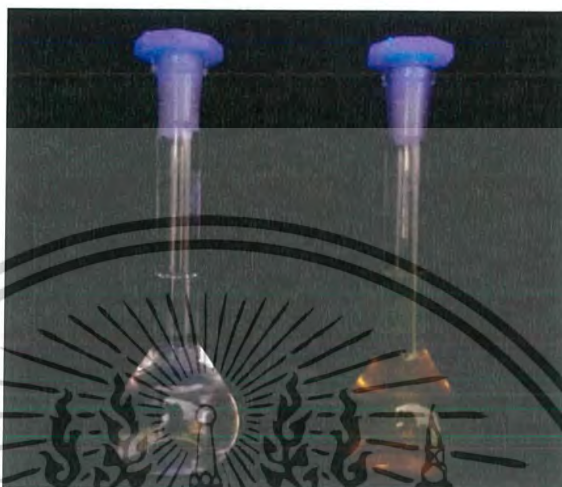


รูปที่ 4.4 สเปกตรัมการคายแสงของ PTZ, Me-PTZ, fluorene, pyrene, F-PTZ และ P-PTZ

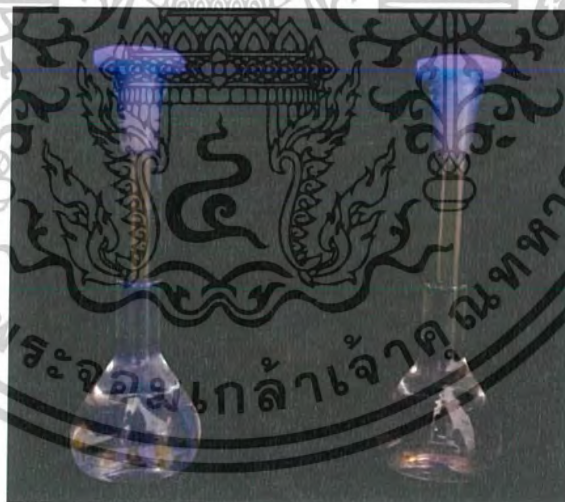
จากรูปที่ 4.4 ได้ทำการกระตุ้น PTZ (เส้นสีดำ) ที่ความยาวคลื่น 316 nm พบสเปกตรัมการคายแสงที่ความยาวคลื่น 449 nm และมีค่าความเข้มของการคายแสงเท่ากับ 7.26 สาร Me-PTZ (เส้นสีแดง) ทำการกระตุ้นที่ความยาวคลื่น 311 nm พบสเปกตรัมการคายแสงที่ความยาวคลื่น 449 nm และมีค่าความเข้มของการคายแสงเท่ากับ 6.55 สาร fluorene (เส้นสีน้ำเงิน) ทำการกระตุ้นที่ความยาวคลื่น 266 nm พบสเปกตรัมการคายแสงที่ความยาวคลื่น 314 nm และมีค่าความเข้มของการคายแสงเท่ากับ 483.84 ในส่วนของสารผลิตภัณฑ์ F-PTZ (เส้นสีชมพู) ได้ทำการกระตุ้นที่ความยาวคลื่น 316 nm พบสเปกตรัมการคายแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น 467 nm และมีค่าความเข้มของการคายแสงเท่ากับ 666.56 สาร pyrene (เส้นสีฟ้า) ได้ทำการกระตุ้นที่ความยาวคลื่น 338 nm พบสเปกตรัมการคายแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น 395 nm และมีค่าความเข้มของการคายแสงเท่ากับ 394.43 สารผลิตภัณฑ์ P-PTZ (เส้นสีเขียว) ได้ทำการกระตุ้นที่ความยาวคลื่น 345 nm พบสเปกตรัมการคายแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น 509 nm และมีค่าความเข้มของการคายแสงเท่ากับ 818.79 จากการคำนวณพบว่าค่า relative fluorescence quantum yield ของสาร PTZ, Me-PTZ, fluorene, pyrene, F-PTZ และ P-PTZ แสดงดังตารางที่ 4.1 ผลการทดลองดังกล่าวพบว่า PTZ กับ Me-PTZ มีค่า quantum yield ที่ต่ำมาก ส่วน fluorene และ pyrene มีค่า quantum yield ที่สูงขึ้น แต่ก็ยังไม่สูงนัก แต่เมื่อนำสารทั้งสองตัวนี้มารวมกับ Me-PTZ จะเกิดเป็นสารผลิตภัณฑ์คือ F-PTZ และ P-PTZ พบว่ามีความสามารถในการคายแสงที่เพิ่มมากขึ้น และเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพให้ fluorescence quantum yield สูงขึ้นด้วย นั่นแสดงให้เห็นว่าการรวมกันนี้จะทำให้โมเลกุลเลือกที่จะคายพลังงานในรูปของแสงมากกว่าที่จะคายพลังงานออกมาในรูปแบบอื่น เช่น การคายความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้พบว่าการคายแสงของสารผลิตภัณฑ์จะคายแสงในช่วงความยาวคลื่นมากกว่าเมื่อเทียบกับสารตั้งต้น ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของพันธะคู่ที่คอนจูเกตกัน จึงเกิดปรากฏการณ์ที่เรียกว่า red shift และสังเกตได้ว่าการลดลงของ energy gap จะทำให้พลังงานลดลง จึงมีค่าการคายแสงที่ความยาวคลื่นสูงขึ้น ส่งผลให้เฉดสีเปลี่ยนแปลงไปจากสารตั้งต้นดังรูป



รูปที่ 4.5 การเรืองแสงของสารตั้งต้น Me-PTZ (ซ้าย) และ PTZ (ขวา)



รูปที่ 4.6 การเรืองแสงของสารตั้งต้น pyrene (ซ้าย) และ fluorene (ขวา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 การเรืองแสงของสารผลิตภัณฑ์ P-PTZ (ซ้าย) และ F-PTZ (ขวา)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการทดสอบสมบัติเชิงแสงของสารประกอบ phenothiazine (PTZ), 10-methyl phenothiazine (Me-PTZ), fluorene, pyrene, fluorene-phenothiazine (F-PTZ) และ pyrene-phenothiazine (P-PTZ) โดยจะทำการทดสอบสมบัติการดูดกลืนแสงเพื่อศึกษาลักษณะการดูดกลืนแสงและ energy gap ด้วย UV-Visible absorption spectroscopy พบว่ามีการดูดกลืนแสงอยู่ในช่วงความยาวคลื่น 245-450 nm ซึ่งแสดงถึงสถานะการเปลี่ยนแปลงของอิเล็กตรอนจาก $n-\pi^*$ และ $\pi-\pi^*$ ตามลำดับ และจากการคำนวณ energy gap พบว่าสารผลิตภัณฑ์ F-PTZ (2.16×10^{-5} โมลาร์) และ P-PTZ (7.95×10^{-6} โมลาร์) มี energy gap ที่แคบลงเมื่อเทียบกับสารตั้งต้น โดยเป็นผลมาจากการเพิ่มขึ้นของคอนจูเกชันในสารตั้งกล่าว และสำหรับการศึกษาสมบัติการคายแสงของสารตั้งกล่าวด้วยเทคนิค fluorescence spectroscopy พบว่าสารผลิตภัณฑ์ F-PTZ และ P-PTZ มีความสามารถในการคายแสงที่สูงขึ้นเมื่อเทียบกับสารตั้งต้น โดยมีค่าความเข้มของการคายแสง (intensity) เท่ากับ 666.55 ที่ความยาวคลื่น 467 nm และ 818.79 ที่ความยาวคลื่น 509 nm ตามลำดับ นอกจากนี้สารผลิตภัณฑ์ F-PTZ มีค่า relative fluorescence quantum yield เท่ากับ 0.73 และ 0.34 ส่วนสารผลิตภัณฑ์ P-PTZ มีค่า quantum yield เท่ากับ 2.17 และ 0.99 ซึ่งสูงขึ้นเมื่อเทียบกับสารตั้งต้น จากการคายแสงของสาร F-PTZ และ P-PTZ เมื่อเทียบกับสารตั้งต้นจะเกิดการ shift ไปทางด้านที่มีความยาวคลื่นที่สูงกว่า โดยปรากฏอยู่ในช่วงแสงสีน้ำเงินแกมเขียวถึงสีเขียวแกมน้ำเงิน ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของ π conjugation ซึ่งสอดคล้องกับการลดลงของ energy gap

5.2 ข้อเสนอแนะ

ศึกษาการปรับปรุงโครงสร้างของ F-PTZ และ P-PTZ โดยการเพิ่มส่วนของ fluorene และ pyrene อีก 1 หน่วยตามลำดับ เพื่อให้มีประสิทธิภาพในการคายแสงที่ดียิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] S. Najare, K. Patil, A. Nadaf, M. Shivaraj, R. Inamdar, M. Khazi. 2019. "Synthesis, characterization and photophysical properties of a new class of pyrene substituted 1, 3, 4-oxadiazole derivatives" *Optical Material*. 88: 256-265.
- [2] S. Krit. 2012. "Synthesis of photoactive compounds for ion-sensing and organic light emitting diodes application" Graduate School Silpakorn University. 4-10.
- [3] นิรนาม. 2556. **ทำความรู้จัก OLED เทคโนโลยีจอภาพแห่งอนาคต** [Online]. Available: <https://men.kapook.com/view54324.html>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 10 กุมภาพันธ์ 2562.
- [4] อีรเกียรติ์ เกิดเจริญ. 2006. **Organic Light Emitting Devices (OLED)** [Online]. Available: http://www.electron.rmutphysics.com/news/index.php?option=com_content&task=view&id=2090&Itemid=3. เข้าถึงเมื่อวันที่ 11 กุมภาพันธ์ 2562.
- [5] นิรนาม. **ประวัติความเป็นมาของจอภาพ OLED**. [Online]. Available: <https://sites.google.com/site/punicasbook/cxphaph/prawati-khwam-pen-ma> เข้าถึงเมื่อวันที่ 11 กุมภาพันธ์ 2562
- [6] Wikipedia. 2019. **Phenothiazine**. [Online]. Available: <https://en.wikipedia.org/wiki/Phenothiazine>. เข้าถึงวันที่ 13 กุมภาพันธ์ 2562.
- [7] Chemical book. 2017. **Phenothiazine**. [Online]. Available: https://www.chemicalbook.com/ChemicalProductProperty_EN_CB2272320.htm เข้าถึงวันที่ 13 กุมภาพันธ์ 2562.
- [8] Wikipedia. 2019. **Fluorene**. [Online]. Available: <https://en.wikipedia.org/wiki/Fluorene> เข้าถึง วันที่ 13 กุมภาพันธ์ 2562.
- [9] Wikipedia. 2556. **ฟลูออรีน (ฟิเอเอช)**. [Online]. Available: [https://th.wikipedia.org/wiki/ฟลูออรีน_\(ฟิเอเอช\)](https://th.wikipedia.org/wiki/ฟลูออรีน_(ฟิเอเอช)) เข้าถึงวันที่ 13 กุมภาพันธ์ 2562.
- [10] Wikipedia. 2019. **Pyrene**. [Online]. Available: <https://en.wikipedia.org/wiki/Pyrene> เข้าถึงวันที่ 13 กุมภาพันธ์ 2562.
- [11] US EPA ARCHIVE DOCUMENT. **Pyrene**. [Online]. Available: <https://archive.epa.gov/epawaste/hazard/wastemin/web/pdf/pyrene.pdf> เข้าถึงวันที่ 13 กุมภาพันธ์ 2562.
- [12] Lookchem. **What is Pyrene**. [Online]. Available: <http://product.lookchem.com/item/163/What-is-Pyrene.htm> เข้าถึงวันที่ 13 กุมภาพันธ์ 2562.
- [13] Chemical Book. 2017. **Pyrene**. [Online]. Available: https://www.chemicalbook.com/ChemicalProductProperty_EN_CB4853011.htm เข้าถึงวันที่ 13 กุมภาพันธ์ 2562.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [14] Glasswarechemical. 2009. **หลักการ UV-VIS Spectrophotometer**. [Online]. Available:[http://glasswarechemical.com/scientific%20instrument/%E0%B8%AB%E0%B8%A5%E0%B8%B1%E0%B8%81%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A3-uv-vis spectrophotometer/](http://glasswarechemical.com/scientific%20instrument/%E0%B8%AB%E0%B8%A5%E0%B8%B1%E0%B8%81%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A3-uv-vis%20spectrophotometer/) เข้าถึงวันที่ 14 กุมภาพันธ์ 2562.
- [15] นิรนาม. **Physical chemistry 2**. [Online]. Available: http://www.appliedchem.mju.ac.th/government/25590629090647_appliedchem/Doc_25590811162922_592341.pdf เข้าถึงวันที่ 14 กุมภาพันธ์ 2562.
- [16] รศ.ชูชาติ อารีย์จิตรานุสรณ์. เครื่องมือวิทยาศาสตร์. “เครื่องวัดแสงฟลูออเรสเซนซ์ (Fluorometer)” หน้า 299-300.
- [17] Institute de Biologie Structurale. 2019. **Photophysics of fluorescent proteins**. [Online]. Available: <http://www.ibs.fr/research/research-groups/dynamics-and-kinetics-of-molecular-processes-group-m-weik/pixel/photophysics-of-fluorescent/> เข้าถึงวันที่ 14 กุมภาพันธ์ 2562.
- [18] W. Allen. 2010. “Measurement of Fluorescence Quantum Yields” Thermo scientific.
- [19] P. Yevgen, T. Ewald. 2008. **Measurement of Fluorescence Quantum Yields on ISS instrumentation Using Vincl**. [Online]. Available: http://www.iss.com/resources/pdf/technotes/Measurement_Fluorescence_Quantum_Yields.pdf เข้าถึงวันที่ 15 กุมภาพันธ์ 2562.
- [20] ศรีนัย หงสกุล. 2557. นิตยสารด้านไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์มาตรฐานสากล ฉบับแรกและฉบับเดียวของประเทศไทย “MMElectronics” Vol.8 No.60.
- [21] Wikimedia. 2018. Category:Phenothiazine. [Online]. Available: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Phenothiazine-McDowell-3D-balls.png> เข้าถึงวันที่ 12 เมษายน 2562.
- [22] I. Sk Najmul, G. Narendar, G. Dipanjan, K. Ray, K. Patra. 2019. “Highly emissive fluorene and thiophene based π -conjugated A-alt-B copolymers: Synthesis, characterization and electroluminescence properties” *Journal of Luminescence*. 208: 509-518.
- [23] S. Jinjin, X. Lei, L. Xianhao, D. Qi, L. Weizhen, S. Qikun, X. Shanfeng, Y. Wenjun. 2019. “Tetraphenylethylene-substituted phenothiazine-based AIEgens for nondoped deep-blue organic light-emitting diodes with negligible efficiency roll-off” *Dyes and Pigments*. 161: 97-103.
- [24] D. Xue-Feng, W. Liang-Jian, X. Zhou, D. Ya-Yun, Y. Xing-Chen, Z. Li, L. Meng-Chao, C. Hao, C. Jun. 2015. “Measurement of the fluorescence quantum yield of bis-MSB” *Chinese Physics C* Vol. 39, No.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [25] J. K. Salunke, F. L. Wong, K. Feron, S. Manzhos, M. Fai Lo, D. Shinde, A. Patil, C. S. Lee, V. A. Roy, P. Sonar, P. P. Wadgaonkar. 2016. "Phenothiazine and carbazole substituted pyrene based electroluminescent organic semiconductors for OLED devices" *Journal of Materials Chemistry C*. 4:1009-1018.
- [26] A. Saitoh, N. Yamada, M. Yashima, K. Okinaka, A. Senoo, K. Ueno. 2004. "Novel Fluorene-Based Blue Emitters for High Performance OLEDs" No.150-153.
- [27] M. Jung, J. Lee, H. Jung, S. Kang, A. Wakamiya, J. Park. 2018. "Highly efficient pyrene blue emitters for OLEDs based on substitution position effect" *Dyes and Pigments*. 158:42-49.
- [28] Jobin Yvon. *A Table of Standard Materials and Their Literature Quantum Yield Values* [Online]. Available: <https://www.chem.uci.edu/~dmitryf/manuals/Fundamentals/Quantum%20yield%20determination.pdf> เข้าถึงวันที่ 24 เมษายน 2562.
- [29] Mikhail Polyanskiy. 2008-2019. *Reflective index database* [Online]. Available: <https://refractiveindex.info/?shelf=organic&book=methanol&page=El-Kashef> เข้าถึงวันที่ 24 เมษายน 2562.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

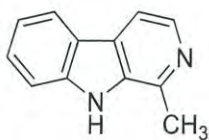


ภาคผนวก

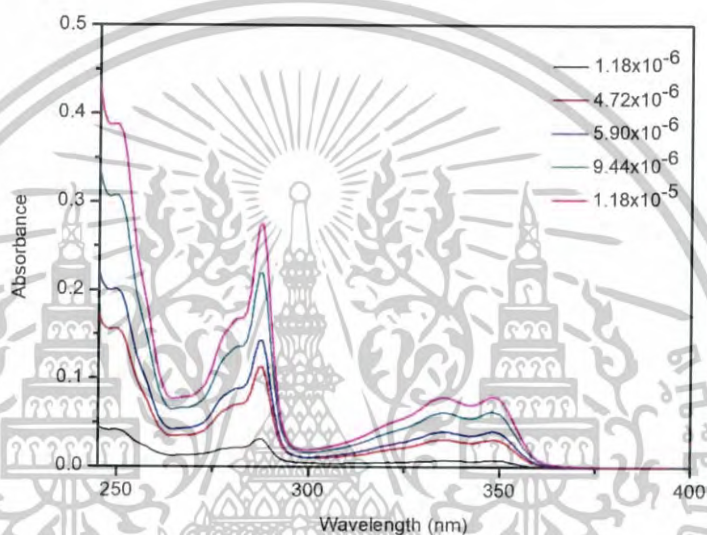
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

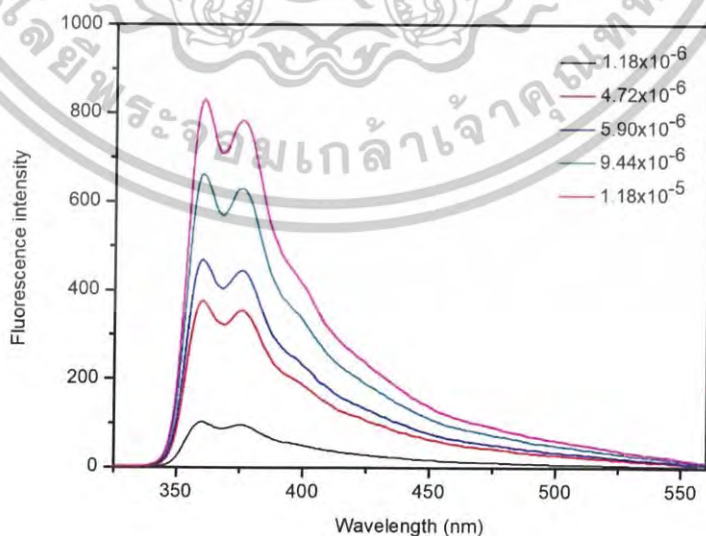
(1) การศึกษาสมบัติทางแสงของสารมาตรฐาน harmane



Harmane



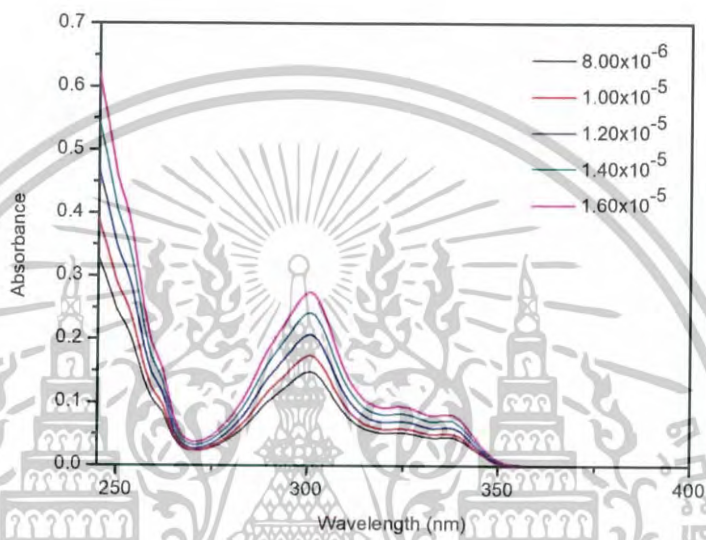
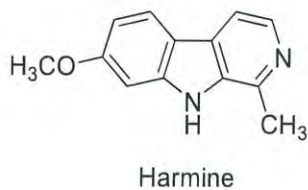
(ก) การดูดกลืนแสง UV-Vis ของ harmane ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ในหน่วยโมลาร์ (M)



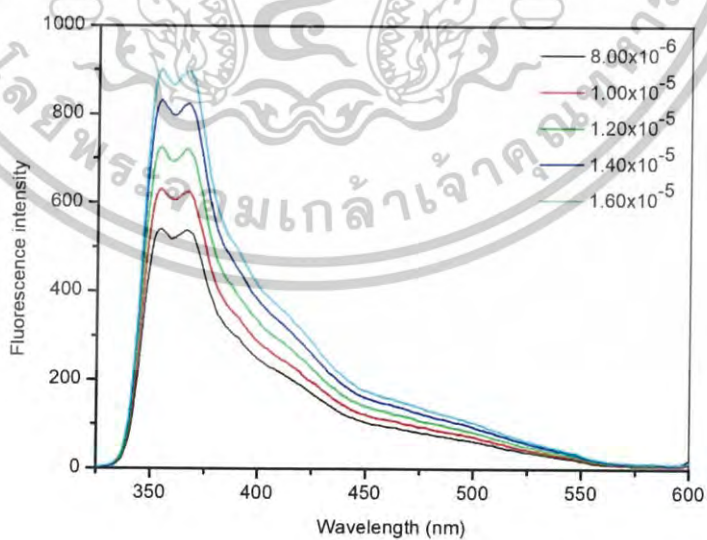
(ข) การคายแสง fluorescence ของ harmane ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ในหน่วยโมลาร์ (M)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านธุรกิจ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(2) การศึกษาสมบัติทางแสงของสารมาตรฐาน harmine



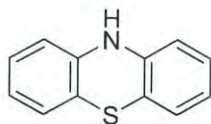
(ค) การดูดกลืนแสง UV-Vis ของ harmine ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ในหน่วยโมลาร์ (M)



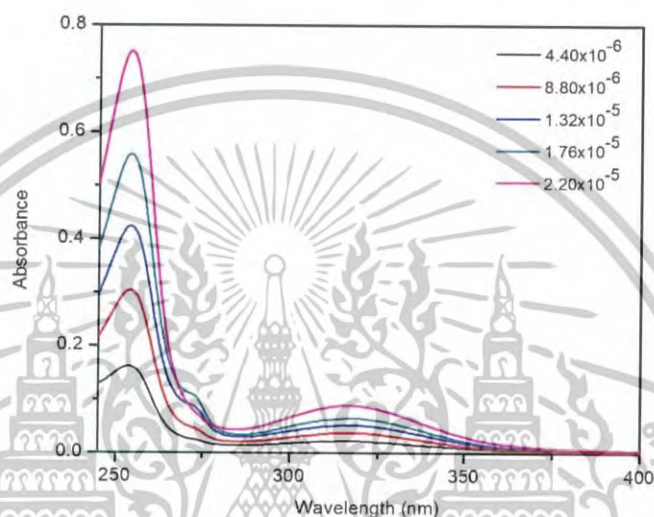
(ง) การคายแสง fluorescence ของ harmine ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ในหน่วยโมลาร์ (M)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

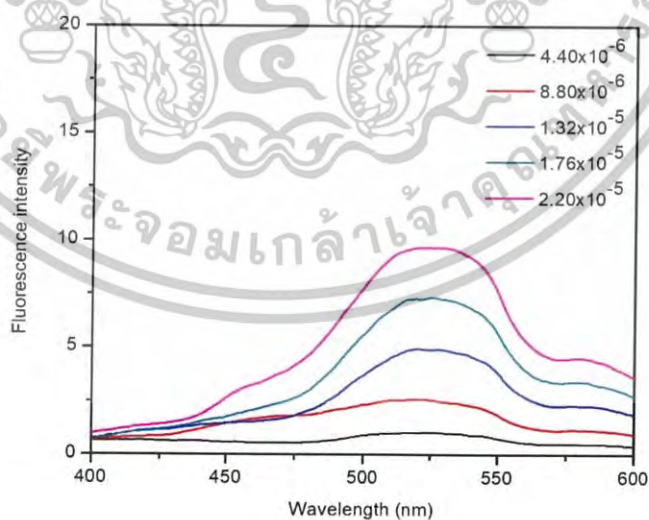
(3) การคำนวณค่า fluorescence quantum yield ของ phenothiazine (PTZ)



PTZ

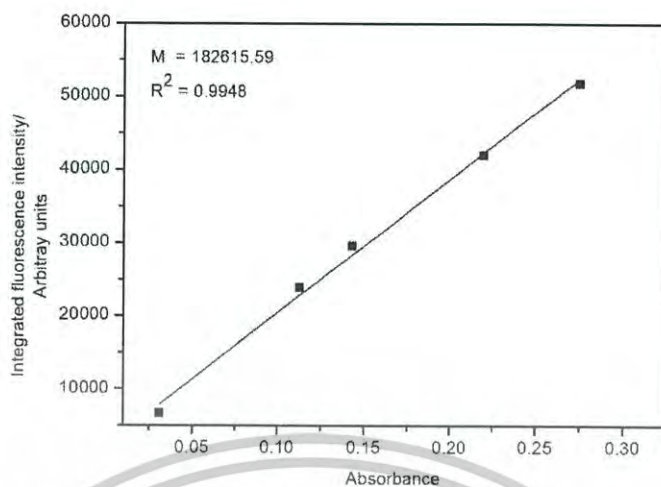


(ก) การดูดกลืนแสง UV-Vis ของ PTZ ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ในหน่วยโมลาร์ (M)

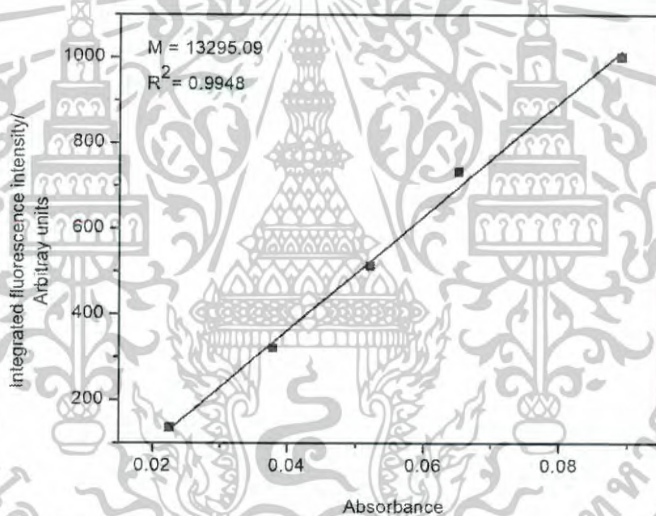


(ข) การคายแสง fluorescence ของ PTZ ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ในหน่วยโมลาร์ (M)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ค) กราฟสมการเส้นตรงของ harmane



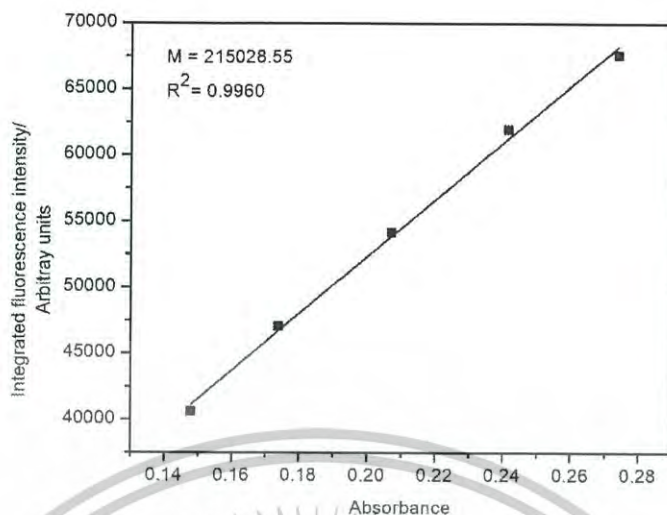
(ง) กราฟสมการเส้นตรงของ PTZ

$$\Phi_{PTZ} = \Phi_{Harmane} \left(\frac{m_{PTZ}}{m_{Harmane}} \right) \left(\frac{n_{PTZ}^2}{n_{Harmane}^2} \right)$$

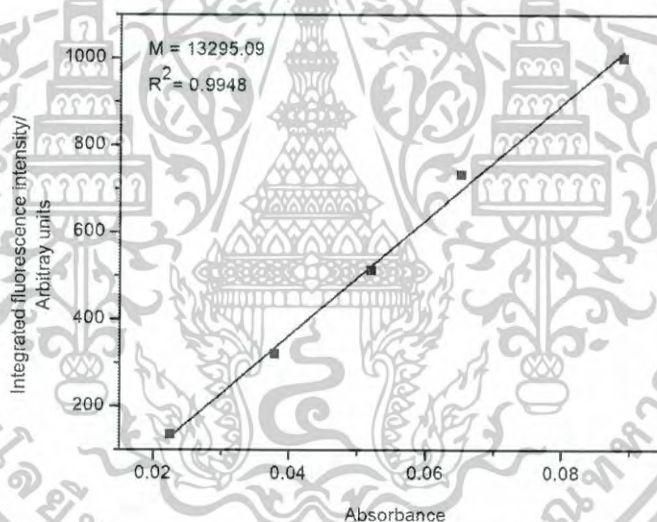
$$\Phi_{PTZ} = 0.83 \left(\frac{13295.09}{182615.59} \right) \left(\frac{1.4441^2}{1.3314^2} \right)$$

$$\Phi_{PTZ} = 0.07$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ค) กราฟสมการเส้นตรงของ harmine



(ง) กราฟสมการเส้นตรงของ PTZ

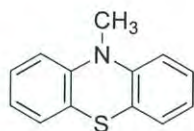
$$\Phi_{PTZ} = \Phi_{Harmine} \left(\frac{m_{PTZ}}{m_{Harmine}} \right) \left(\frac{n_{PTZ}^2}{n_{Harmine}^2} \right)$$

$$\Phi_{PTZ} = 0.45 \left(\frac{13295.09}{215028.55} \right) \left(\frac{1.4441^2}{1.3314^2} \right)$$

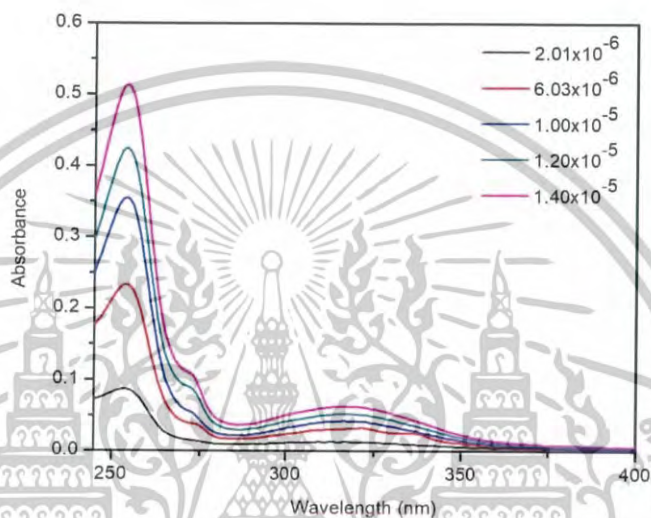
$$\Phi_{PTZ} = 0.03$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

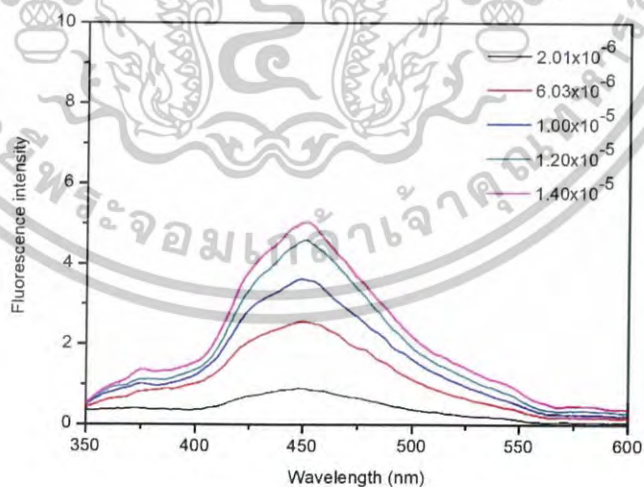
(4) การคำนวณค่า fluorescence quantum yield ของ 10-methyl phenothiazine



Me-PTZ

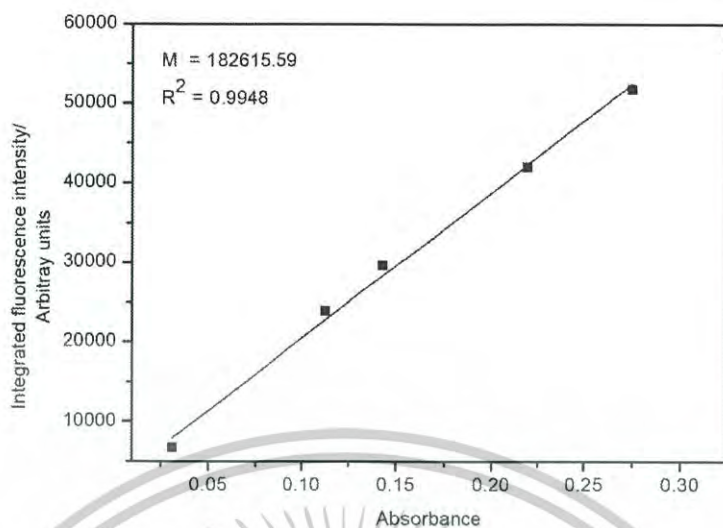


(ก) การดูดกลืนแสง UV-Vis ของ Me-PTZ ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ในหน่วยโมลาร์ (M)

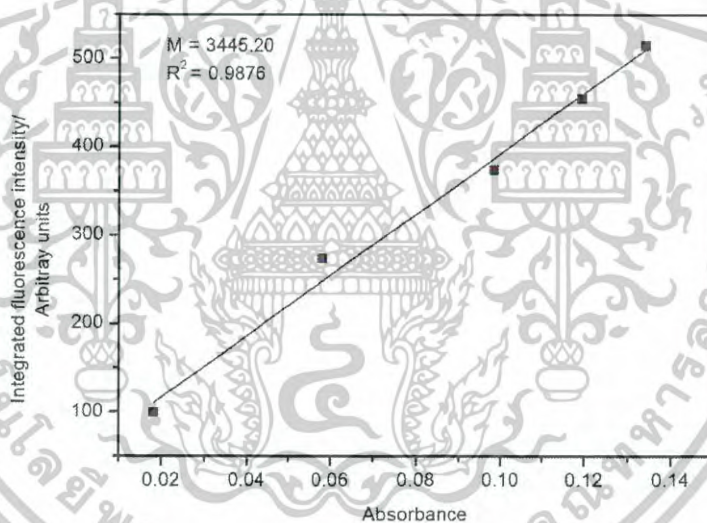


(ข) การคายแสง fluorescence ของ Me-PTZ ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ในหน่วยโมลาร์ (M)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ค) กราฟสมการเส้นตรงของ harmane



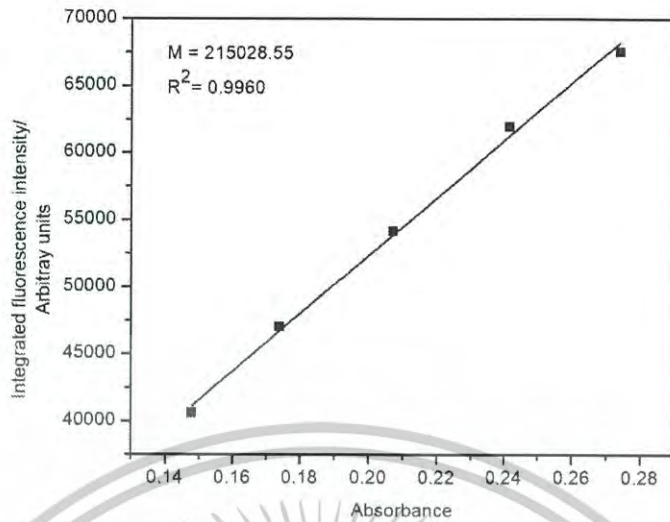
(ง) กราฟสมการเส้นตรงของ Me-PTZ

$$\Phi_{Me-PTZ} = \Phi_{Harmane} \left(\frac{m_{Me-PTZ}}{m_{Harmane}} \right) \left(\frac{n_{Me-PTZ}^2}{n_{Harmane}^2} \right)$$

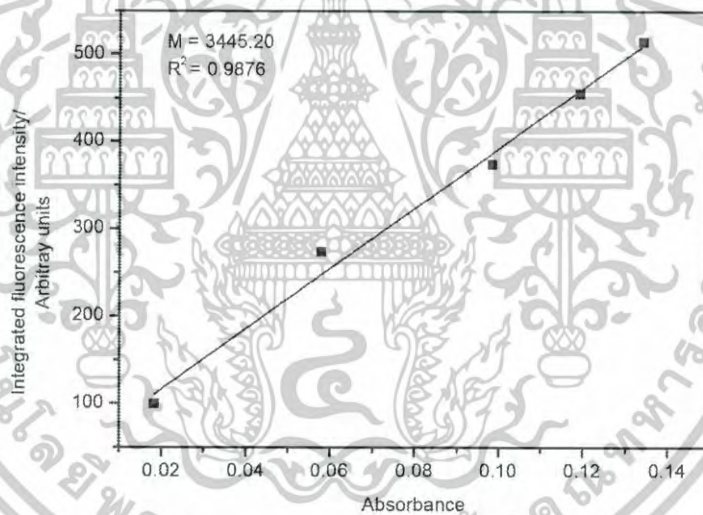
$$\Phi_{Me-PTZ} = 0.83 \left(\frac{3445.2}{182615.59} \right) \left(\frac{1.4441^2}{1.3314^2} \right)$$

$$\Phi_{Me-PTZ} = 0.02$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ค) กราฟสมการเส้นตรงของ harmine



(ง) กราฟสมการเส้นตรงของ Me-PTZ

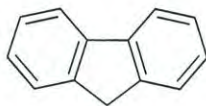
$$\Phi_{Me-PTZ} = \Phi_{Harmine} \left(\frac{m_{Me-PTZ}}{m_{Harmine}} \right) \left(\frac{n_{Me-PTZ}^2}{n_{Harmine}^2} \right)$$

$$\Phi_{Me-PTZ} = 0.45 \left(\frac{3445.2}{215028.55} \right) \left(\frac{1.4441^2}{1.3314^2} \right)$$

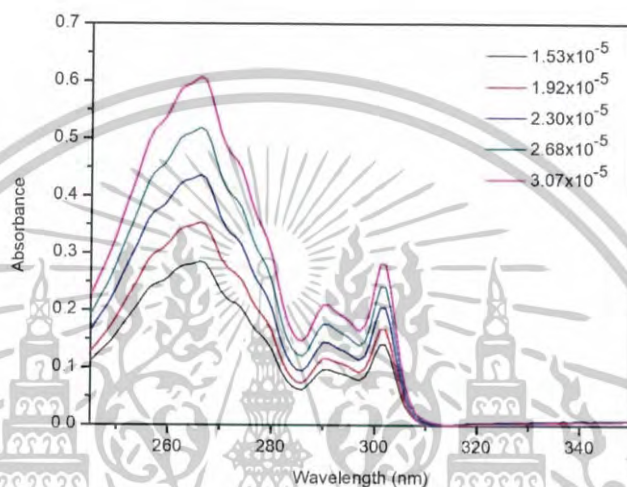
$$\Phi_{Me-PTZ} = 0.008$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

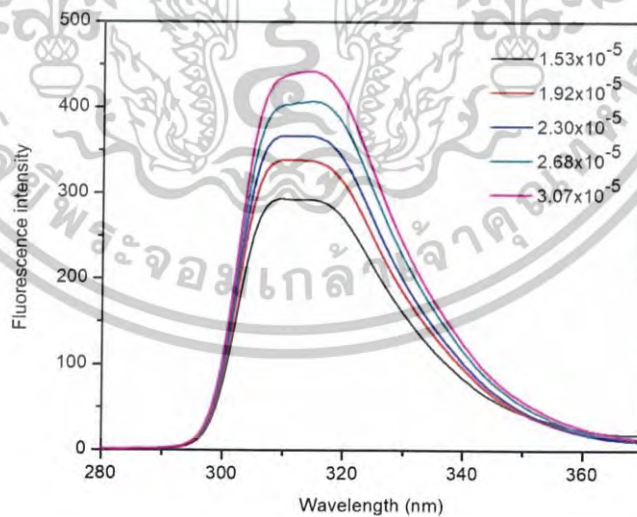
(5) การคำนวณค่า fluorescence quantum yield ของ fluorene



Fluorene

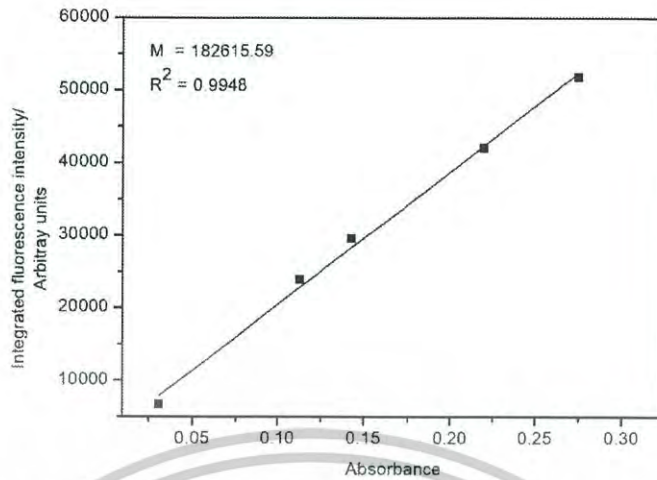


(ก) การดูดกลืนแสง UV-Vis ของ fluorene ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ในหน่วยโมลาร์ (M)

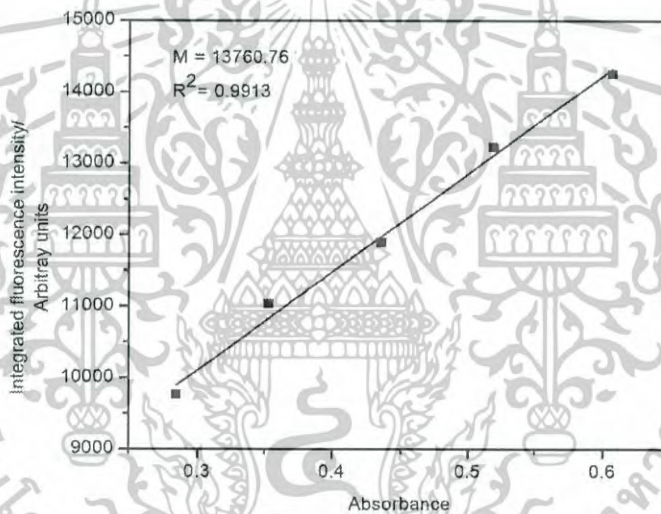


(ข) การคายแสง fluorescence ของ fluorene ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ในหน่วยโมลาร์ (M)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ค) กราฟสมการเส้นตรงของ harmane



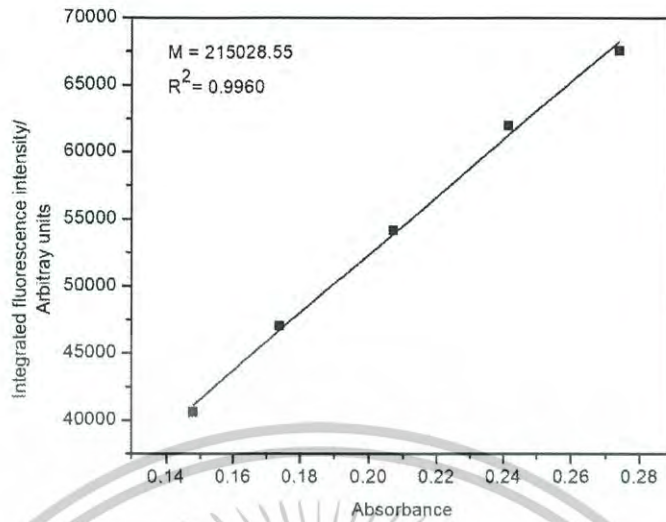
(ง) กราฟสมการเส้นตรงของ fluorene

$$\Phi_{Fluorene} = \Phi_{Harmane} \left(\frac{m_{Fluorene}}{m_{Harmane}} \right) \left(\frac{n_{Fluorene}^2}{n_{Harmane}^2} \right)$$

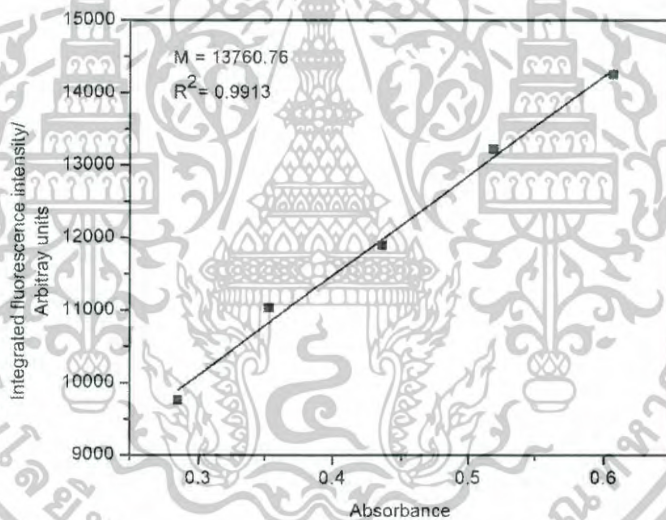
$$\Phi_{Fluorene} = 0.83 \left(\frac{13760.76}{182615.59} \right) \left(\frac{1.4441^2}{1.3314^2} \right)$$

$$\Phi_{Fluorene} = 0.07$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ค) กราฟสมการเส้นตรงของ harmine



(ง) กราฟสมการเส้นตรงของ fluorene

$$\Phi_{Fluorene} = \Phi_{Harmine} \left(\frac{m_{Fluorene}}{m_{Harmine}} \right) \left(\frac{n_{Fluorene}^2}{n_{Harmine}^2} \right)$$

$$\Phi_{Fluorene} = 0.45 \left(\frac{13760.76}{215028.55} \right) \left(\frac{1.4441^2}{1.3314^2} \right)$$

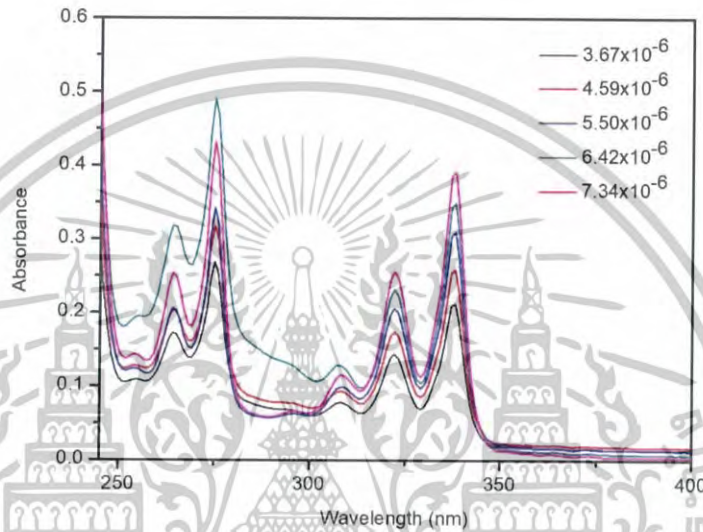
$$\Phi_{Fluorene} = 0.03$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

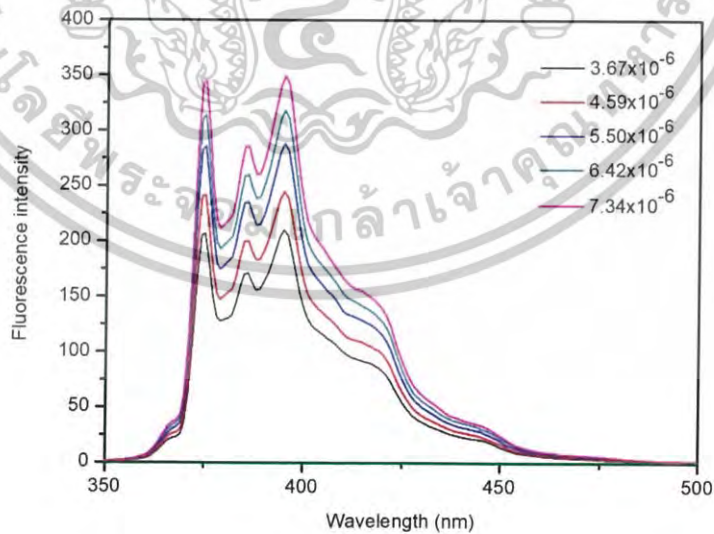
(6) การคำนวณค่า fluorescence quantum yield ของ pyrene



Pyrene

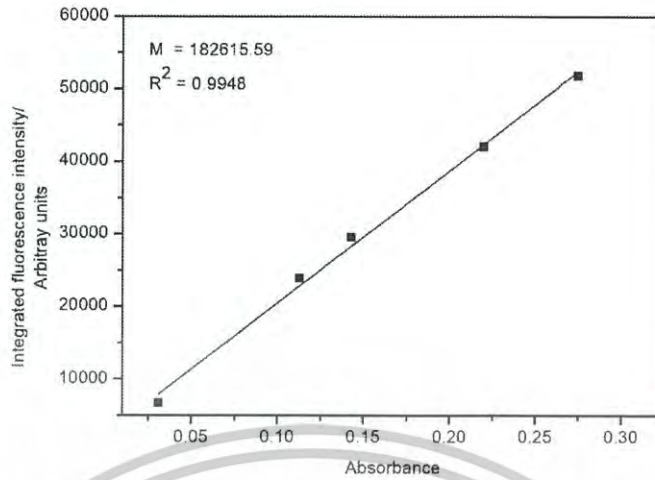


(ก) การดูดกลืนแสง UV-Vis ของ pyrene ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ในหน่วยโมลาร์ (M)

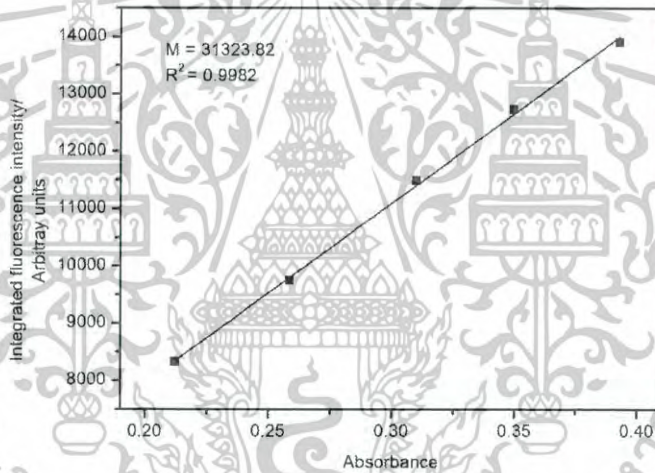


(ข) การคายแสง fluorescence ของ pyrene ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ในหน่วยโมลาร์ (M)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ค) กราฟสมการเส้นตรงของ harmane



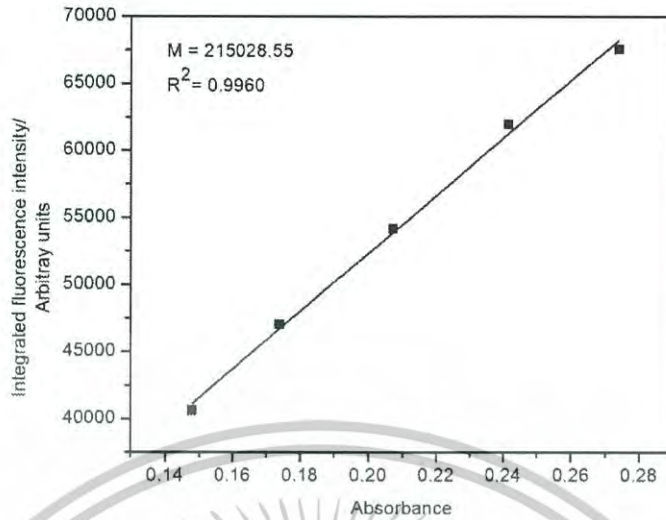
(ง) กราฟสมการเส้นตรงของ pyrene

$$\Phi_{Pyrene} = \Phi_{Harmane} \left(\frac{m_{Pyrene}}{m_{Harmane}} \right) \left(\frac{n_{Pyrene}^2}{n_{Harmane}^2} \right)$$

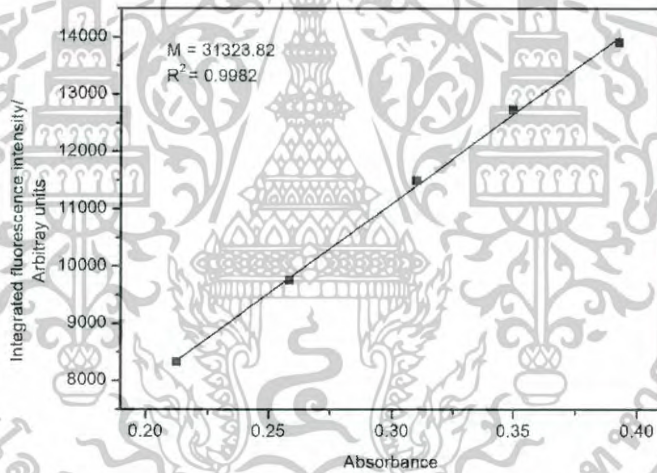
$$\Phi_{Pyrene} = 0.83 \left(\frac{31323.82}{182615.59} \right) \left(\frac{1.4441^2}{1.3314^2} \right)$$

$$\Phi_{Pyrene} = 0.17$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ค) กราฟสมการเส้นตรงของ harmine



(ง) กราฟสมการเส้นตรงของ pyrene

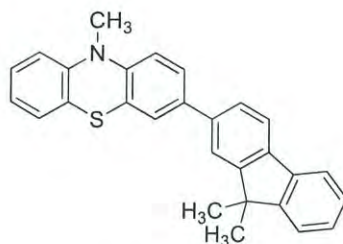
$$\Phi_{Pyrene} = \Phi_{Harmine} \left(\frac{m_{Pyrene}}{m_{Harmine}} \right) \left(\frac{n_{Pyrene}^2}{n_{Harmine}^2} \right)$$

$$\Phi_{Pyrene} = 0.45 \left(\frac{31323.82}{215028.55} \right) \left(\frac{1.4441^2}{1.3314^2} \right)$$

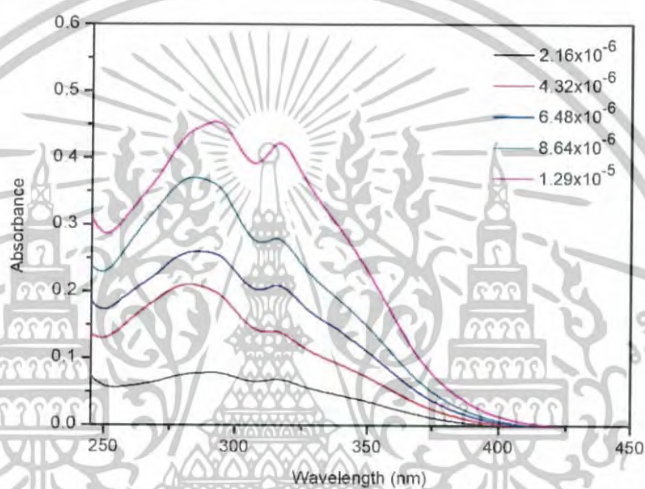
$$\Phi_{Pyrene} = 0.07$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

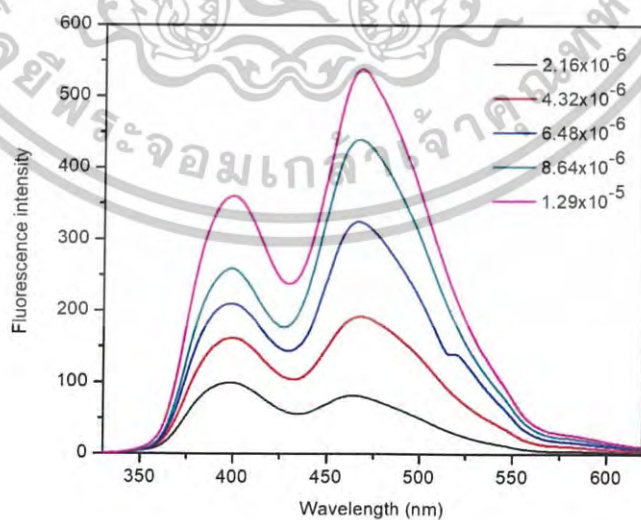
(7) การคำนวณค่า fluorescence quantum yield ของ fluorene-phenothiazine (F-PTZ)



F-PTZ



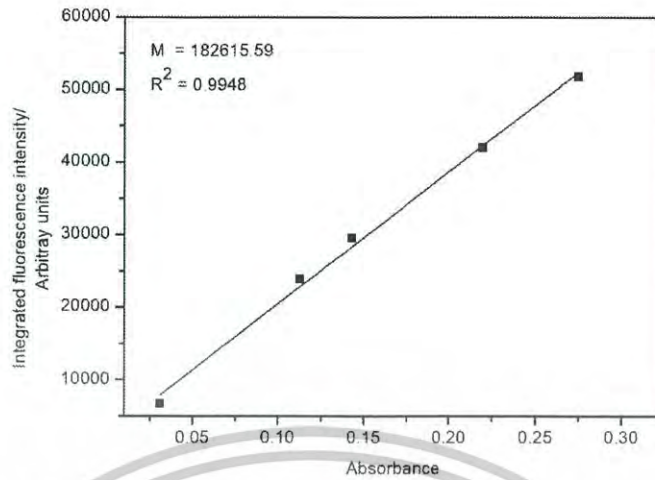
(ก) การดูดกลืนแสง UV-Vis ของ F-PTZ ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ในหน่วยโมลาร์ (M)



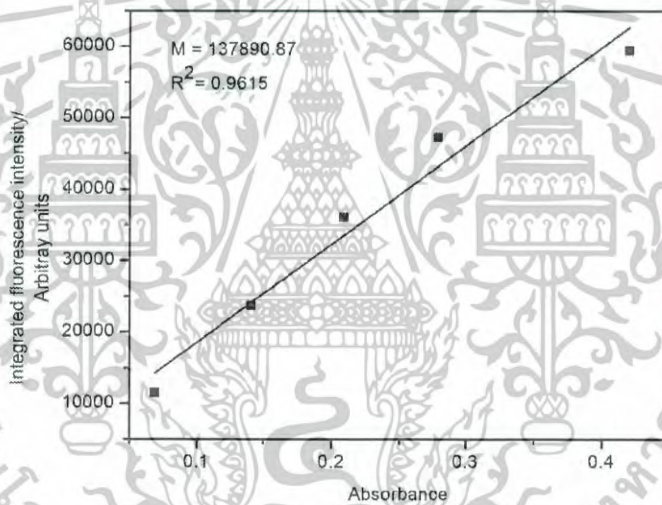
(ข) การคายแสง fluorescence ของ F-PTZ ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ในหน่วยโมลาร์ (M)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือการแจ้งในหอสมุดประชาชน และอยู่ในความคุ้มครองของลิขสิทธิ์ การคัดลอกหรือการนำข้อมูลไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากหอสมุดประชาชนจะถือว่าผิดกฎหมาย

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ค) กราฟสมการเส้นตรงของ harmane



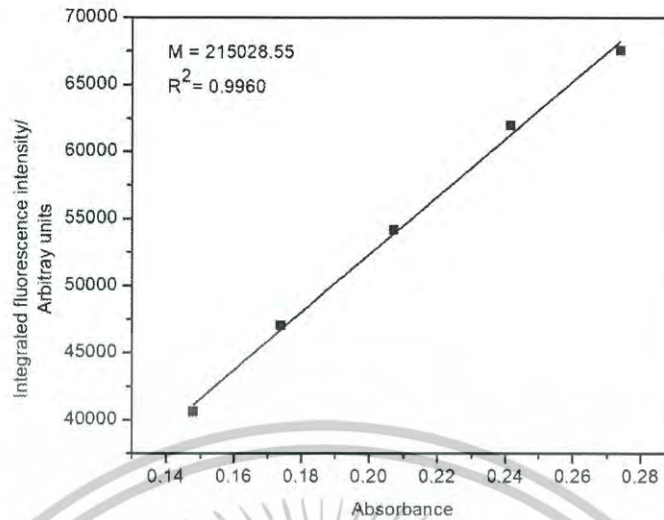
(ง) กราฟสมการเส้นตรงของ F-PTZ

$$\Phi_{F-PTZ} = \Phi_{Harmane} \left(\frac{m_{F-PTZ}}{m_{Harmane}} \right) \left(\frac{n_{F-PTZ}^2}{n_{Harmane}^2} \right)$$

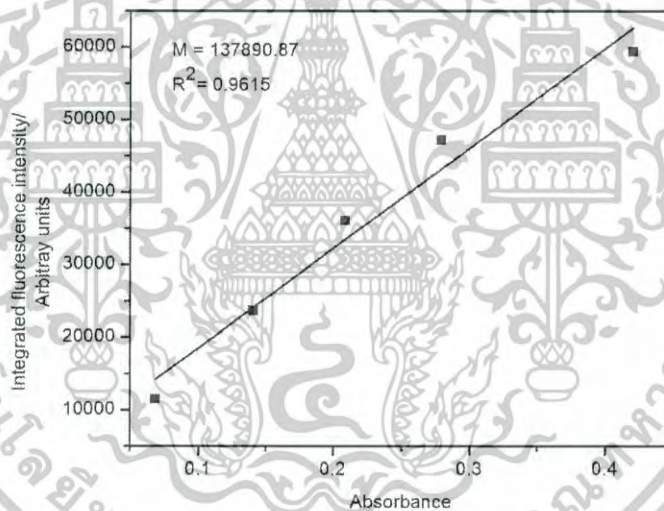
$$\Phi_{F-PTZ} = 0.83 \left(\frac{137890.87}{182615.59} \right) \left(\frac{1.4441^2}{1.3314^2} \right)$$

$$\Phi_{F-PTZ} = 0.73$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ค) กราฟสมการเส้นตรงของ harmine



(ง) กราฟสมการเส้นตรงของ F-PTZ

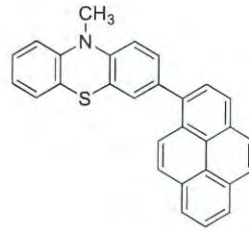
$$\Phi_{F-PTZ} = \Phi_{Harmine} \left(\frac{m_{F-PTZ}}{m_{Harmine}} \right) \left(\frac{n_{F-PTZ}^2}{n_{Harmine}^2} \right)$$

$$\Phi_{F-PTZ} = 0.45 \left(\frac{137890.87}{215028.55} \right) \left(\frac{1.4441^2}{1.3314^2} \right)$$

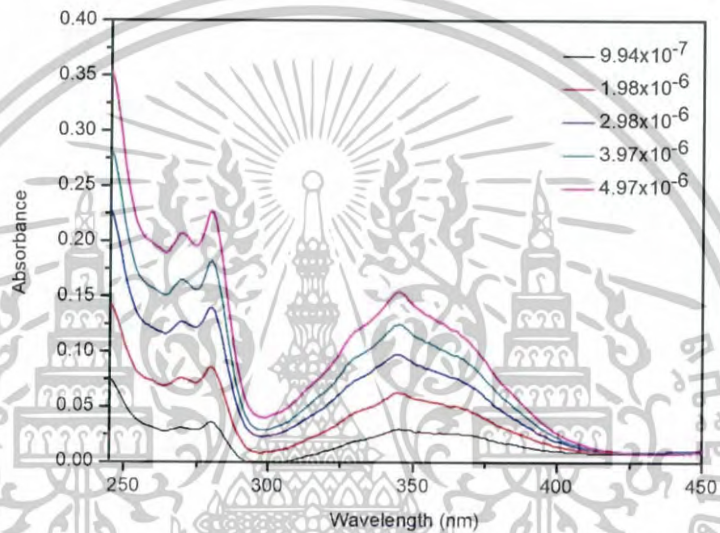
$$\Phi_{F-PTZ} = 0.33$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

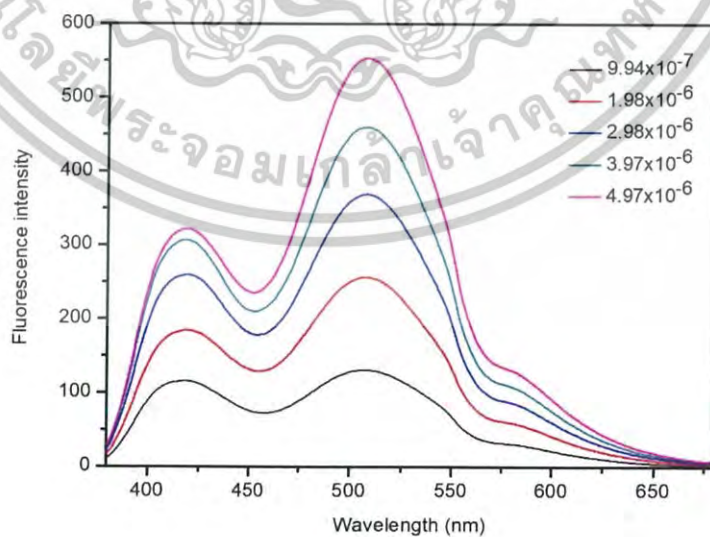
(8) การคำนวณค่า fluorescence quantum yield ของ pyrene-phenothiazine (P-PTZ)



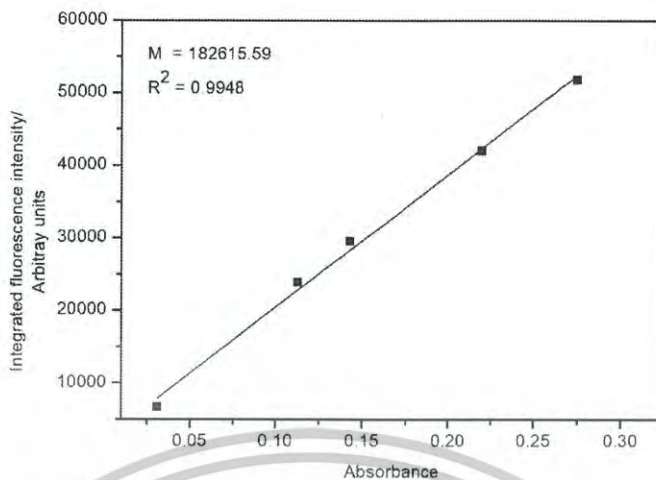
P-PTZ



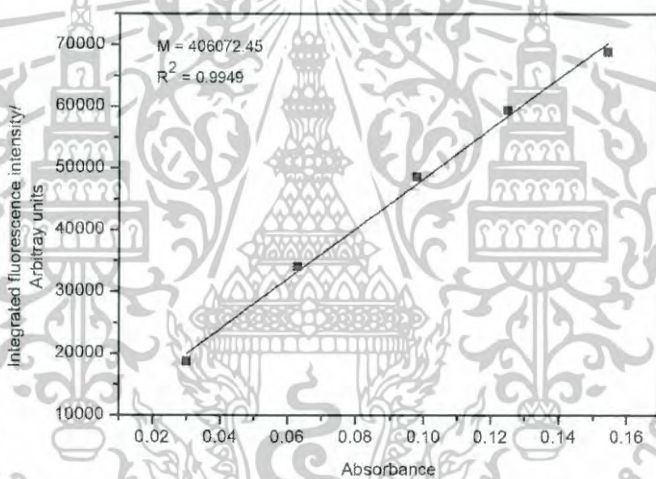
(ก) การดูดกลืนแสง UV-Vis ของ P-PTZ ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ในหน่วยโมลาร์ (M)



เอกสารนี้เป็นเอกสาร (ข) การคายแสง fluorescence ของ P-PTZ ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ในหน่วยโมลาร์ (M) การคำนวณค่า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ค) กราฟสมการเส้นตรงของ harmane



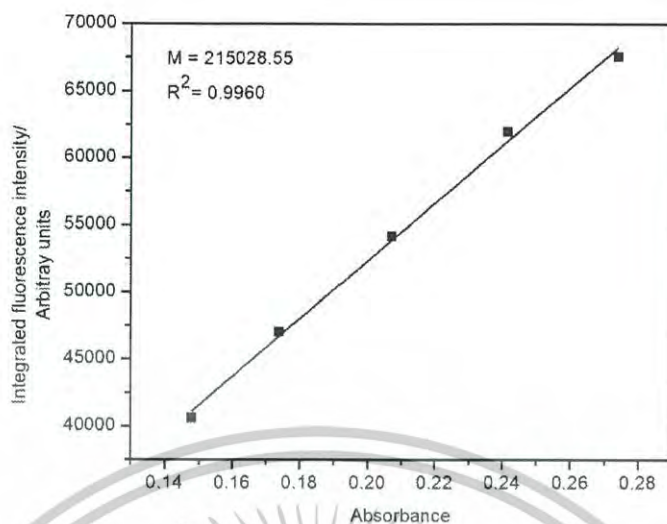
(ง) กราฟสมการเส้นตรงของ P-PTZ

$$\Phi_{P-PTZ} = \Phi_{Harmane} \left(\frac{m_{P-PTZ}}{m_{Harmane}} \right) \left(\frac{n_{P-PTZ}^2}{n_{Harmane}^2} \right)$$

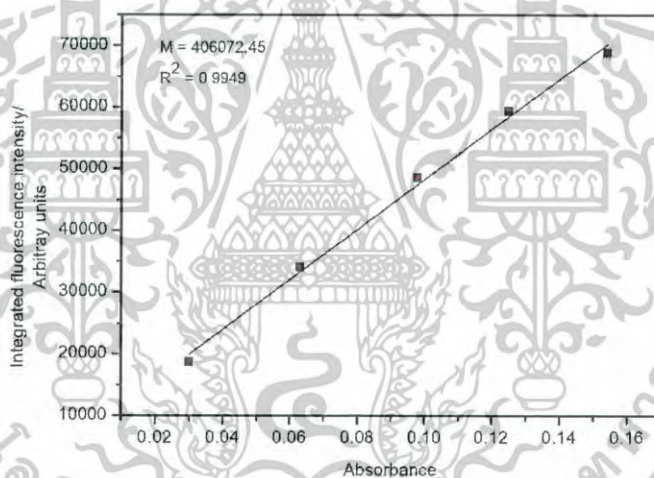
$$\Phi_{P-PTZ} = 0.83 \left(\frac{406072.5}{182615.59} \right) \left(\frac{1.4441^2}{1.3314^2} \right)$$

$$\Phi_{P-PTZ} = 2.17$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ค) กราฟสมการเส้นตรงของ harmine



(ง) กราฟสมการเส้นตรงของ P-PTZ

$$\Phi_{P-PTZ} = \Phi_{Harmine} \left(\frac{m_{P-PTZ}}{m_{Harmine}} \right) \left(\frac{n_{P-PTZ}^2}{n_{Harmine}^2} \right)$$

$$\Phi_{P-PTZ} = 0.45 \left(\frac{406072.5}{215028.55} \right) \left(\frac{1.4441^2}{1.3314^2} \right)$$

$$\Phi_{P-PTZ} = 0.99$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้