

การวัดค่าโพลาไรซ์การเรืองแสงของสารละลายโรดามีน 6จี
ผสมกับอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์

FLUORESCENCE POLARIZATION MEASUREMENT OF
RHODAMINE 6G SOLUTION MIXED WITH ZnO
NANOPARTICLES

กิตติยาภรณ์ อุดำ
อิสริภาร์ชย์ กำทอง

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2561

FLUORESCENCE POLARIZATION MEASUREMENT OF
RHODAMINE 6G SOLUTION MIXED WITH ZnO
NANOPARTICLES

KITTIYAPORN AUKAM
ITSARIPHARAT KAMTHONG



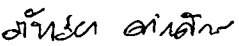
A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR
THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE (APPLIED PHYSICS)
DEPARTMENT OF PHYSICS FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2018

หัวข้อโครงการพิเศษ การวัดค่าโพลาไรซ์การเรืองแสงของสารละลายโรดามีน 6จี ผสมกับอนุภาคนาโนอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์
Fluorescence Polarization Measurement of Rhodamine 6G Solution Mixed with ZnO Nanoparticles

ชื่อนักศึกษา นางสาวกิตติยาภรณ์ อุคำ รหัสนักศึกษา 58051031
นางสาวอิสริภรณ์ ก่ำทอง รหัสนักศึกษา 58051102

ปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชา ฟิสิกส์
คณะ วิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)
ปีการศึกษา 2561
อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.ภัทริยา ดำรงค์ศักดิ์

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์) ปีการศึกษา 2561

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ดร.กมลปัทมา สุวรรณสุข ประธานกรรมการ	
รศ.ดร.กฤษกร โล่เจริญรัตน์ กรรมการ	
รศ.ดร.ภัทริยา ดำรงค์ศักดิ์ กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

หัวข้อโครงการพิเศษ	การวัดค่าโพลาริซการเรืองแสงของสารละลายโรดามีน 6จี ผสมกับอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์		
ชื่อนักศึกษา	นางสาวกิตติยาภรณ์ อุก่า	รหัสนักศึกษา	58051031
	นางสาวอิสริภารัชย์ กำทอง	รหัสนักศึกษา	58051102
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)		
ภาควิชา	ฟิสิกส์		
คณะ	วิทยาศาสตร์		
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)		
ปีการศึกษา	2561		
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.ภัทริยา ดำรงค์ศักดิ์		

บทคัดย่อ

โพลาริซการเรืองแสงเป็นพารามิเตอร์ที่ให้ข้อมูลเกี่ยวกับการการหมุนและอันตรกิริยาระหว่างโมเลกุลขนาดใหญ่ โครงการพิเศษนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาโพลาริซการเรืองแสงของสารละลายโรดามีน 6จี ผสมกับอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ในเอทานอล โดยใช้เลเซอร์ไดโอดสีเขียวที่มีความยาวคลื่น 520 นาโนเมตร เป็นแสงกระตุ้น ความเข้มข้นของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์อยู่ในช่วงตั้งแต่ 0.625 - 5 mg/mL และความเข้มข้นของสารละลายโรดามีน 6จี คงที่ที่ 10^{-5} โมลาร์ พบว่าเมื่อความเข้มข้นของอนุภาคซิงค์ออกไซด์ในเอทานอลเพิ่มขึ้น ค่าโพลาริซเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เกิดจากอันตรกิริยาระหว่าง Rh6G-ZnO ส่งผลให้โมเลกุลของโรดามีน 6จี หมุนช้าลง

คำสำคัญ ค่าโพลาริซการเรืองแสง โรดามีน 6จี อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์

Title	Fluorescence Polarization Measurement of Rhodamine 6G Solution Mixed with ZnO Nanoparticles
Students	Miss Kittiyaporn Aukam Student ID 58051031 Miss Itsaripharat Kamthong Student ID 58051102
Degree	Bachelor of Science (Applied Physics)
Department	Physics
Faculty	Science
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)
Academic Year	2018
Advisor	Assoc.Prof.Dr. Pattareeya Damrongsak

Abstract

Fluorescence polarization is a parameter that provide rich information on rotational dynamics and interactions between macromolecules. In this special project aimed to study the fluorescence polarization of Rhodamine 6G (Rh6G) mixed with zinc oxide (ZnO) in ethanol solutions. A green laser diode with a wavelength of 520 nm was used as excitation light. The ZnO concentration was varied from 0.625 – 5 mg/mL and the Rh6G concentration was fixed at 10^{-5} M. It was found that when the concentration of zinc oxide particles in ethanol increased, the polarization value increased. This could be understood as Rh6G-ZnO interactions resulted in the reduced rotation of Rh6G molecules.

Keyword: Fluorescence polarization, Rhodamine 6G, Zinc Oxide particles

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษเล่มนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เนื่องจากผู้จัดทำได้รับคำแนะนำจาก รศ.ดร.ภัทรียา ดำรงค์ดี อาจารย์ประจำสาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังและเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษนี้ที่ให้คำแนะนำ ให้คำปรึกษาอย่างใกล้ชิด และเสนอแนวทางแก้ปัญหาให้เป็นอย่างดี

ขอขอบคุณ ดร.กมลปัญญา สุวรรณสุข และ รศ.ดร.กฤษกร โฉมเจริญรัตน์ ที่เสียสละเวลามาเป็นคณะกรรมการคุมสอบ ทั้งยังให้คำแนะนำและข้อเสนอแนะในการทำโครงการพิเศษนี้ ขอขอบคุณ พี่ ๆ ห้องปฏิบัติการ 311 ที่คอยสอน ให้กำลังใจและให้คำปรึกษาอย่างดีเสมอมา จนโครงการพิเศษสำเร็จลุล่วงด้วยดี

สุดท้ายขอขอบคุณ บิดา มารดา และบุคคลในครอบครัวที่คอยให้ความช่วยเหลือในทุก ๆ ด้าน รวมทั้งให้กำลังใจและให้คำปรึกษาตลอดระยะเวลาในการทำโครงการพิเศษนี้

กิตติยาภรณ์ อุคำ
อิสริภาร์ชย์ กำทอง

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ขั้นตอนการวิจัยและการดำเนินงาน.....	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1.1 Fluorescence Polarization (FP).....	4
2.1.2 อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ (ZnO)	6
2.1.3 สเปกโทรสโกปีเบื้องต้น	7
2.1.3.1 หลักการวิเคราะห์สเปกโทรสโกปี	7
2.1.3.2 เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์แบบดูดกลืน	17
2.1.4 โรดามีน 6จี.....	20
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	21
2.2.1 ผลของอนุภาคนาโนทองคำที่มีผลต่อโพลารไรซ์การเรืองแสงและสเปกตรัมการเปล่งแสง ของสารละลายโรดามีน 6จี.....	21
บทที่ 3 วัสดุและวิธีการทดลอง.....	22
3.1 วัสดุและอุปกรณ์เครื่องมือ.....	22
3.1.1 วัสดุ.....	22

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.1.2 อุปกรณ์.....	23
3.2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	25
บทที่ 4 ผลและการอภิปรายผล.....	32
4.1 ผลการวัดสเปกตรัมการดูดกลืนแสงและการเปล่งแสงของสารละลายโรดามีน 6จี	32
4.2 ผลการวัดสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ในเอทานอล.....	34
4.3 ผลการศึกษาเงื่อนไขของเวลาที่ส่งผลให้ค่าโพลาริซการเรืองแสง (FP) มีค่ามากที่สุด.....	35
4.4 ผลการวัดค่าโพลาริซการเรืองแสง (FP) ของสารละลายโรดามีน 6จี (Rh6G) ผสมกับอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์.....	37
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	40
5.1 สรุปผล	40
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	41
เอกสารอ้างอิง	42
ภาคผนวก.....	43
ภาคผนวก ก.....	44
ภาคผนวก ข.....	49

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	3
2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการทะลุผ่านกับค่าการดูดกลืน.....	14
2.2 แหล่งกำเนิดแสงแบบต่อเนื่องที่นิยมใช้ในเทคนิคยูวี-วิสิเบิล.....	18
3.1 การเตรียมสารของสารละลายโรดามีน 6จี.....	26
3.2 การเตรียมของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ในเอทานอล.....	30

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 การเกิดโฟลาริซการเรืองแสง	4
2.2 การจัดเตรียมอุปกรณ์ทางแสงวัดโฟลาริซการเรืองแสง	5
2.3 ภาพจำลองโครงสร้างเวอร์ตไซด์ของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์และพิกัดเตตระฮีดรัลของซิงค์	7
2.4 การแกว่งกวัดของรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าในสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก	8
2.5 คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	8
2.6 สเปกตรัมรังสีแม่เหล็กไฟฟ้า	9
2.7 แผนภาพพลังงานของการดูดกลืนแสงโฟตอนและการเปล่งโฟตอนของอะตอมหรือโมเลกุล	10
2.8 สเปกโตรสโกปีแบบดูดกลืน	11
2.9 สเปกโตรสโกปีแบบ photoluminescence (fluorescence and phosphorescence)	12
2.10 แสงที่อาจจะเกิดขึ้นเมื่อแสงตกกระทบสารตัวอย่าง	13
2.11 ลักษณะการเบี่ยงเบนจากกฎของเบียร์	16
2.12 ส่วนประกอบหลักของเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์	18
2.13 โรดามีน 6จี	21
3.1 สเปกตรัมของหลอดทั้งสแตน	24
3.2 สเปกตรัมของเลเซอร์ฮีเลียม	24
3.3 การเตรียมสารละลายโรดามีน 6จี ความเข้มข้น 10^{-3} 10^{-4} 10^{-5} และ 10^{-6} M	26
3.4 การเตรียมระบบวัดสเปกตรัมการดูดกลืนแสง	27
3.5 การเตรียมระบบวัดสเปกตรัมการเรืองแสง	28
3.6 การเตรียมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ในเอทานอล	29
4.1 สเปกตรัมการดูดกลืนของสารละลายโรดามีน 6จี ความเข้มข้น 10^{-3} 10^{-4} 10^{-5} และ 10^{-6} M	32
4.2 สเปกตรัมการเรืองแสงของสารละลายโรดามีน 6จี ความเข้มข้น 10^{-3} 10^{-4} 10^{-5} และ 10^{-6} M	33
4.3 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ในเอทานอลความเข้มข้น 0.625 1.25 2.5 และ 5 mg/mL	34
4.4 สเปกตรัมการเรืองแสงของของสารละลายโรดามีน 6จี ความเข้มข้น 10^{-5} Molar ผสมกับอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ในเอทานอลความเข้มข้น 1.25 mg/mL	35
4.5 ค่าโฟลาริซการเรืองแสงที่เวลาต่างกัน	36
4.6 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของของสารละลายโรดามีน 6จี ความเข้มข้น 10^{-5} Molar ผสมกับอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ในเอทานอลความเข้มข้น 0.625 1.25 2.5 และ 5 mg/mL ตามลำดับ ...	37
4.7 สเปกตรัมการเรืองแสงของสารละลายโรดามีน 6จี ความเข้มข้น 10^{-5} Molar ผสมกับอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ในเอทานอลความเข้มข้น 0.625 1.25 2.5 และ 5 mg/mL ตามลำดับ	38
4.8 ค่าโฟลาริซการเรืองแสงของสารละลายโรดามีน 6จี ความเข้มข้น 10^{-5} Molar ผสมกับอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ในเอทานอลความเข้มข้น 0.625 1.25 2.5 และ 5 mg/mL ตามลำดับ	39

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

การวัดโพลารไรซ์การเรืองแสง (FP) เป็นเทคนิคสำหรับการวิเคราะห์ปฏิกิริยาโมเลกุลในระบบทางชีวภาพและสารเคมีที่มีประสิทธิภาพ เทคนิคนี้มีหลักการว่าองศาโพลารไรซ์ของโมเลกุลที่เกี่ยวกับการหมุนเกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงของ Brownian เมื่อโมเลกุลขนาดใหญ่ถูกกระตุ้นโดยแสงโพลารไรซ์ โมเลกุลจะหมุนช้าและปล่อยแสงโพลารไรซ์มากขึ้น ในทางกลับกันโมเลกุลที่มีขนาดเล็กจะหมุนเร็วขึ้นและเปล่งแสงโพลารไรซ์น้อยลงดังนั้นองศาขนาดเล็กของโพลารไรซ์แสดงให้เห็นว่าโมเลกุลของการเรืองแสงสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระในสารละลาย ในขณะที่องศาขนาดใหญ่ของโพลารไรซ์จะมีโมเลกุลที่ซับซ้อน การประยุกต์ใช้การวัดโพลารไรซ์การเรืองแสง (FP) ผลการทดลองอาจจะนำไปใช้ประโยชน์ในการตรวจจับเซลล์ระดับโมเลกุล การประยุกต์ใช้ในทางด้านแสงเป็นเครื่องมือวิจัยชีวฟิสิกส์ที่มีประโยชน์สำหรับศึกษากระบวนการต่าง ๆ เช่น การเคลื่อนที่ของไขมันในเยื่อหุ้มเซลล์ การมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างโปรตีนกับโปรตีนในระดับโมเลกุล เป็นต้น [1]

จากงานวิจัยของ รศ.ดร.กฤษกร โส้เจริญรัตน์และทีมวิจัย [2] ได้ศึกษาประสิทธิภาพและความเป็นไปได้ที่จะเอาอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์มาใช้ในการทดลองจับเซลล์มะเร็งเฉพาะส่วน คาดว่าความเป็นพิษของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์จะส่งผลต่อประสิทธิภาพในการทำลายเซลล์มะเร็งเฉพาะส่วนที่ผู้ป่วยต้องการบำบัดรักษาจริง ๆ ได้เป็นอย่างดี รวมทั้งทำการศึกษาผลความเข้มข้นของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ต่อการทำลายเซลล์มะเร็ง ตลอดจนจะทำการศึกษาผลกระทบของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ต่อเซลล์สิ่งมีชีวิตเนื่องจากอนุภาคนาโนมีคุณสมบัติที่เด่นเฉพาะตัวและมากมาย เช่น อนุภาคยังมีขนาดเล็กจะมีพื้นที่ผิวสัมผัสมาก มีความคงตัวทางเคมีที่สูง ทำให้มีการนำอนุภาคนาโนมาประยุกต์ใช้ในแขนงต่าง ๆ ได้แก่การใช้อนุภาคนาโนในการรักษาผู้ป่วยโดยใช้วิธีการทางชีวบำบัดหรืออนุภาคนาโนกลายเป็นทางเลือกอีกทางเลือกหนึ่งในการรักษาโรคมะเร็งโดยใช้เป็นตัวนำพาไปยังส่วนต่าง ๆ เป็นต้น ปัจจุบันนักวิจัยได้ให้ความสนใจต่ออนุภาคนาโนโดยเฉพาะอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่เป็นวัสดุในกลุ่มโลหะออกไซด์ที่มีคุณสมบัติเฉพาะทางเคมีและทางกายภาพ รวมทั้งยังมีประโยชน์ในทางชีววิทยาจึงทำให้มีการนำอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์มาใช้งานกันอย่างหลากหลายมากขึ้น เช่น ทางการแพทย์ อุตสาหกรรมยางเครื่องสำอางและอาหาร เป็นต้น คุณสมบัติทางกายภาพของซิงค์ออกไซด์ ได้แก่ ค่าแถบพลังงานที่อุณหภูมิห้องมีค่าประมาณ 3.37 อิเล็กตรอนโวลต์และค่าของพลังงานยึดเหนี่ยวประมาณ 60 เมกกะอิเล็กตรอนโวลต์ คุณสมบัติทางเพียโซอิเล็กทริกและโฟโตอิเล็กทริกที่ทำให้อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์มีสมบัติที่ดีในการดูดกลืนแสงและการถ่ายโอนพลังงานความร้อน ขณะเดียวกันก็มีผู้ทำการศึกษาหน้าที่ในทางชีววิทยาของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์เพื่อนำไปใช้ในการยับยั้งจุลินทรีย์ ยกตัวอย่างเช่น การนำเอาอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์มาใช้ในการยับยั้งเชื้อราและการนำอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ไปยับยั้งอีโอดีไลซึ่งเป็นแบคทีเรียแกรมลบไม่ให้เกิดการเจริญเติบโต การนำเอาอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ให้ผลดีมากกว่าโลหะออกไซด์ชนิดอื่น ๆ อย่างไรก็ตามอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ยังมีผลกระทบในทางอื่น ๆ มากมาย เช่น อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ส่งผลต่อเซลล์

ประสาทตันทำเนิดของมนุษย์ทำให้เกิดอาการไข้เนื่องจากไอรหะเหยของโลหะ ดั่งนั้นก่อนที่จะเลือกใช้อุณหภูมิโนจิงควรพิจารณาถึงผลกระทบระยะยาวต่อตัวผู้ใช้เองและสิ่งแวดล่ำมด้วย

จากข้อมูลข้างต้นทำให้ผู้วิจัยมีความสนใจจะศึกษาเกี่ยวกับเทคนิคการเกาะของสารละลายโรดามีน 6จี ผสมกับอนุภาคนาโนจิงค์ออกไซด์ ทำการจัดสร้างระบบเพื่อตรวจวัดค่าโพลารไรซ์การเรืองแสงและศึกษาค่าโพลารไรซ์การเรืองแสงของสารละลายโรดามีน 6จี ผสมกับอนุภาคนาโนจิงค์ออกไซด์ที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาและจัดสร้างระบบเพื่อตรวจวัดค่าโพลารไรซ์การเรืองแสง (FP)
2. เพื่อศึกษาสเปกตรัมการดูดกลืนแสงและการเปล่งแสงของสารละลายโรดามีน 6จี
3. เพื่อศึกษาสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของอนุภาคนาโนจิงค์ออกไซด์
4. เพื่อศึกษาเงื่อนไขของเวลาที่ส่งผลให้ค่าโพลารไรซ์การเรืองแสง (FP) มีค่ามากที่สุด
5. เพื่อศึกษาค่าโพลารไรซ์การเรืองแสง (FP) ของสารละลายโรดามีน 6จี ผสมกับอนุภาคนาโนจิงค์ออกไซด์

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. จัดสร้างระบบเพื่อตรวจวัดค่าโพลารไรซ์การเรืองแสง
2. ศึกษาค่าโพลารไรซ์การเรืองแสงของของสารละลายโรดามีน 6จี ผสมกับอนุภาคนาโนจิงค์ออกไซด์ โดยความเข้มข้นของสารละลายโรดามีน 6จี คงที่ที่ความเข้มข้น 10^{-5} โมลาร์และความเข้มข้นของอนุภาคนาโนจิงค์ออกไซด์ความเข้มข้นเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 0.625 1.25 2.5 และ 5 mg/mL

1.4 ขั้นตอนการวิจัยและการดำเนินงาน

ขั้นตอนที่ 1 เสนอหัวข้องานวิจัย

ขั้นตอนที่ 2 ศึกษาการทำงานของเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ ศึกษาการคำนวณความเข้มข้นของสารละลายและเตรียมสารละลายโรดามีน 6จี

ขั้นตอนที่ 3 ศึกษาหลักการทำงานของเครื่องวัดค่าโฟลาริสซ์การเรืองแสง

ขั้นตอนที่ 4 ทำการทดลอง

ขั้นตอนที่ 5 วิเคราะห์ผลการทดลองและสรุปผลการทดลองที่ได้จากการทดลอง

ขั้นตอนที่ 6 เรียบเรียงเนื้อหาและจัดทำรูปเล่ม

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

การดำเนินงาน	ระยะเวลา									
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.
ขั้นตอนที่ 1	■									
ขั้นตอนที่ 2	■									
ขั้นตอนที่ 3		■								
ขั้นตอนที่ 4			■	■	■	■	■			
ขั้นตอนที่ 5					■	■	■	■		
ขั้นตอนที่ 6						■	■	■	■	■

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้รับความรู้เกี่ยวกับหลักการทำงานและการใช้เครื่องสเปกโตรมิเตอร์
2. ได้ศึกษาและเข้าใจเครื่องวัดค่าโฟลาริสซ์การเรืองแสง (FP) ของสารละลายโรดามีน 6จี ผสมกับอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์
3. ได้ศึกษาสเปกตรัมการดูดกลืนและการเรืองแสงของสารละลายโรดามีน 6จี
4. ได้ศึกษาสเปกตรัมการดูดกลืนของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์

บทที่ 2

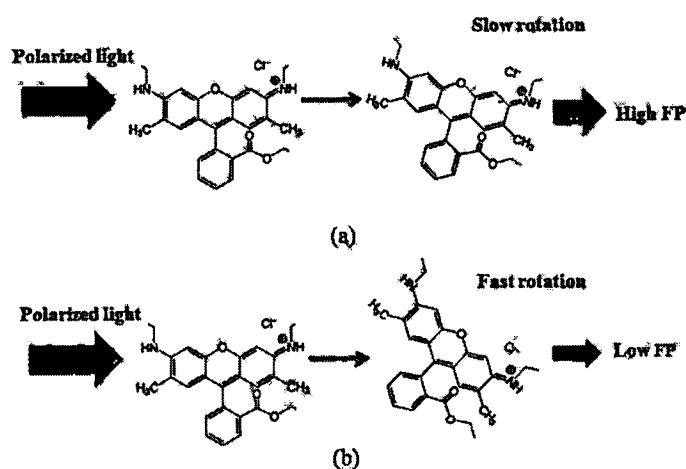
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาและจัดสร้างระบบเพื่อตรวจวัดค่าโพลาไรซ์การเรืองแสง (FP) ศึกษาสเปกตรัมการดูดกลืนแสงและการเปล่งแสงของสารละลายโรดามีน 6จี ทั้งยังศึกษาสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของอนุภาคซิงค์ออกไซด์ ศึกษาเงื่อนไขของเวลาที่ส่งผลให้ค่าโพลาไรซ์การเรืองแสง (FP) มีค่ามากที่สุดและศึกษาค่าโพลาไรซ์การเรืองแสง (FP) ของสารละลายโรดามีน 6จี ผสมกับอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ รายละเอียดของทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องจะแสดงดังต่อไปนี้

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 Fluorescence Polarization (FP) [1]

การวัดโพลาไรซ์การเรืองแสง (FP) เป็นเทคนิคที่มีประสิทธิภาพสำหรับการวิเคราะห์ปฏิกิริยาโมเลกุลในระบบทางชีวภาพและสารเคมี เทคนิคนี้เป็นหลักความจริงที่ว่ามุมโพลาไรเซชันของโมเลกุลเกี่ยวข้องกับการหมุนที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงของ Brownian ดังแสดงในรูปที่ 2.1 เมื่อโมเลกุลขนาดใหญ่ถูกกระตุ้นโดยแสงโพลาไรซ์จะหมุนช้า ๆ และปล่อยแสงโพลาไรซ์มากขึ้น ในทางกลับกันโมเลกุลที่มีขนาดเล็กจะหมุนเร็วขึ้นและเปล่งแสงโพลาไรซ์น้อยลงดังนั้นองศาขนาดเล็กของโพลาไรซ์แสดงให้เห็นว่าโมเลกุลการเรืองแสงสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระในสารละลาย ในขณะที่องศาขนาดใหญ่ของโพลาไรซ์จะมีโมเลกุลที่ซับซ้อน



รูปที่ 2.1 โพลาไรซ์การเรืองแสงสูง (a) และโพลาไรซ์เรืองแสงต่ำ (b) เป็นผลมาจากการหมุนช้าและการหมุนเร็วของโมเลกุลในระหว่างสถานะถูกกระตุ้น, ตามลำดับ

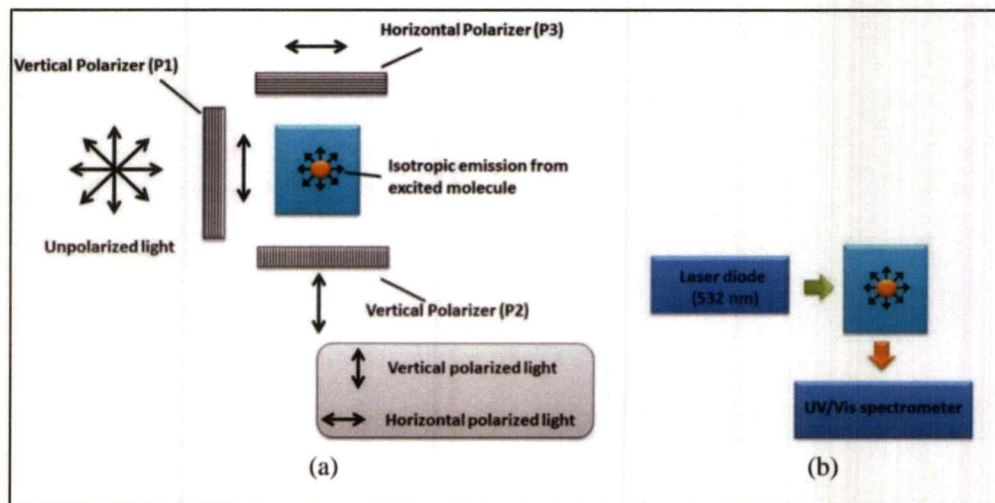
ในเชิงปริมาณ, การวัด FP มักจะดำเนินการดังแสดงในรูปที่ 2.2 (a) แสงสีเดียวผ่านตัวกรอง polarizing เพื่อกระตุ้นสารตัวอย่าง การวัดการเรืองแสงจะวัดได้ทั้งในแนวนอนและแนวตั้ง องศาของโพลาไรเซชันคำนวณได้จาก

$$FP = \frac{F_{\parallel} - F_{\perp}}{F_{\parallel} + F_{\perp}} \quad (2.1)$$

เมื่อ FP คือโพลาไรซ์เรืองแสง

F_{\parallel} คือความเข้มการเรืองแสงที่ขนานกับแผ่นการกระตุ้น

F_{\perp} คือความเข้มการเรืองแสงที่ตั้งฉากกับแผ่นการกระตุ้น



รูปที่ 2.2 การจัดเตรียมอุปกรณ์ทางแสงวัดโพลาไรซ์เรืองแสง (a) และการวัดการเปล่งแสง (b)

การทดลองหาค่าโพลาไรซ์การเรืองแสงจะต้องใช้เครื่องสเปกโตรมิเตอร์ 2 เครื่องและใช้เส้นใยแก้วนำแสง 2 เส้นคือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 200 ไมโครเมตรและ 600 ไมโครเมตร เนื่องจากใช้เครื่องสเปกโตรมิเตอร์ 2 เครื่อง ทำให้มีค่าความแตกต่างระหว่างสเปกโตรมิเตอร์ 2 เครื่อง ได้สมการดังนี้

$$FP = \frac{\int F_{\lambda, \parallel} d\lambda - \int C_{\lambda} F_{\lambda, \perp}}{\int F_{\lambda, \parallel} d\lambda + \int C_{\lambda} F_{\lambda, \perp}} \quad (2.2)$$

FP คือค่าโพลาไรซ์การเรืองแสง

$F_{\lambda,||}$ คือค่าการเรืองแสงของแผ่นโพลาไรซ์ฝั่งขนาน

$F_{\lambda,\perp}$ คือค่าการเรืองแสงของแผ่นโพลาไรซ์ฝั่งตั้งฉาก

C_λ คือแฟกเตอร์สำหรับปรับเทียบค่าที่ได้จากเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ หาได้จาก $C_\lambda = \frac{I_{S1}}{I_{S2}}$

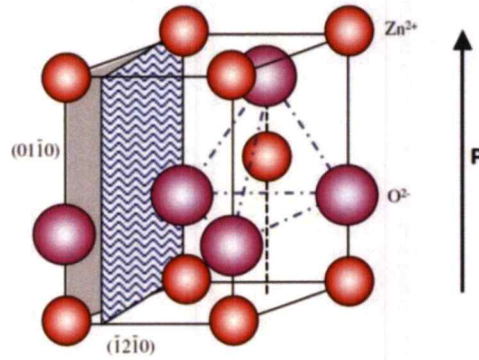
โดย I_{S1} คือค่าความเข้มแสงของสเปกโตรมิเตอร์เครื่องที่ 1 (S_1)

I_{S2} คือค่าความเข้มแสงของสเปกโตรมิเตอร์เครื่องที่ 2 (S_2)

เมื่อวัดค่าความเข้มแสงที่มาจากสารตัวอย่างเดียวกัน ค่าความเข้มแสงต้องมีค่าใกล้เคียงใกล้เคียงหรือเท่ากัน แต่เนื่องจากใช้เครื่องสเปกโตรมิเตอร์ 2 เครื่อง ทำให้ความเข้มแสงจากทั้งสองเครื่องไม่เท่ากัน ดังนั้นต้องทำให้ค่าความเข้มแสงเท่ากันโดยใช้ค่าความแตกต่างของสเปกโตรมิเตอร์ 2

2.1.2 อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ (ZnO) [3]

อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ (Zinc oxide) มีคุณสมบัติมากมาย สามารถใช้เติมสารเจือเพื่อปรับโครงสร้างระดับจุลภาคและโครงสร้างแถบพลังงานให้มีคุณสมบัติตามที่ต้องการ (ตั้งแต่ตัวนำไปจนถึงฉนวนไฟฟ้า) วัสดุมีค่าแถบพลังงานที่กว้างและมีความไวในการตรวจวัดสารเคมีต่าง ๆ อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์สามารถสังเคราะห์ให้มีโครงสร้างต่าง ๆ ในระดับนาโนเมตรได้อย่างง่ายจึงสามารถที่จะพัฒนาอุปกรณ์ใหม่ ๆ ที่มีคุณสมบัติและการใช้งานที่หลากหลายด้าน ถ้าจะกล่าวถึงโครงสร้างในระดับนาโนของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ตั้งแต่วิธีการสังเคราะห์ การขึ้นรูป และการนำไปใช้งานในด้านต่าง ๆ อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์เป็นสารกึ่งตัวนำมีค่าแถบพลังงาน 3.37 อิเล็กตรอนโวลต์ เหมาะกับการนำมาใช้ในงานอิเล็กทรอนิกส์ที่เกี่ยวข้องกับแสง (optoelectronics) ในช่วงความยาวคลื่นสั้น ๆ มีโครงสร้างเฮกซะโกนอลที่เรียกว่า เวอร์ตไซต์ (Wurtzite) เป็นโครงสร้างแบบไม่สมมาตรจึงเหมาะที่จะนำไปใช้งานในด้าน Piezoelectric และ Photoelectric นอกจากนี้อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ยังมีลักษณะจำเพาะที่สำคัญคือมีทั้งระนาบที่มีขั้วและระนาบที่ไม่มีขั้ว ระนาบที่มีขั้วจะอยู่ที่ฐานของผลึกเฮกซะโกนอลซิงค์ออกไซด์โดยระนาบที่เป็นขั้วบวกจะมีซิงค์ไอออนที่ปลาย (Zn^{2+} (0001)) และระนาบที่เป็นขั้วลบจะมีออกซิเจนที่ปลาย (O^{2-} (0001)) ทำให้อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์มีไดโพลและทำให้เกิดโพลาไรซ์ตัวเอง (spontaneous polarization) ตามแนวแกน c และเพื่อให้เกิดสมดุลโครงสร้างอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ยังมีระนาบที่ไม่มีขั้วและมีพลังงานต่ำกว่าระนาบที่มีขั้วเช่น {2110} และ {0110} การกระตุ้นพลังงานยึดเหนี่ยวของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์มีค่าสูงถึง 60 มิลลิโวลต์ ซึ่งเหมาะกับการนำไปประยุกต์ใช้เป็นวัสดุของเลเซอร์



รูปที่ 2.3 ภาพจำลองโครงสร้างเวอริตไซต์ (wurtzite) ของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์และพิกัดเตตระฮีดรัลของซิงค์ไอออน,ออกไซด์ไอออน

2.1.3 สเปกโทรสโกปีเบื้องต้น [4]

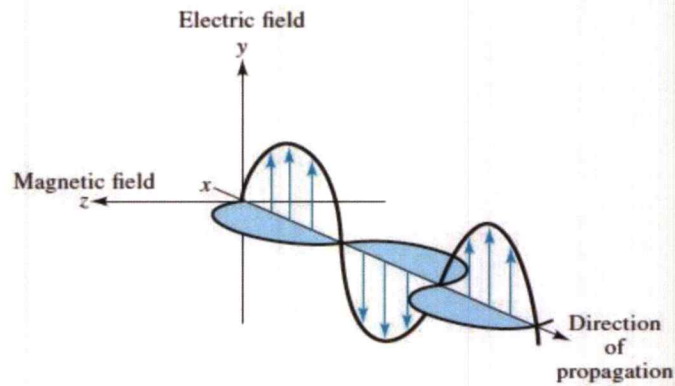
2.1.3.1 หลักการวิเคราะห์สเปกโทรสโกปี

การวิเคราะห์ทางเคมีด้วยวิธีสเปกโทรสโกปี (spectroscopic method) เป็นวิธีวิเคราะห์ที่อาศัยการเกิดอันตรกิริยา (interaction) ระหว่างรังสีแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic radiation) กับสสาร (matter) ปัจจุบันการวิเคราะห์โดยวิธีสเปกโทรสโกปีมีขอบเขตที่กว้างขวางมากขึ้น ซึ่งไม่ใช่เฉพาะทางด้านแสง (light) แต่ยังรวมถึงพลังงานรูปอื่น ๆ ด้วย โดยสเปกโทรสโกปีจะเกี่ยวข้องกับอันตรกิริยาอย่างใดอย่างหนึ่งของรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าหรือแสงที่ช่วงพลังงานแตกต่างกัน ดังนั้นจึงมีวิธีวิเคราะห์หลายวิธี โดยถ้าแบ่งตามการเกิดอันตรกิริยาระหว่างรังสีแม่เหล็กไฟฟ้ากับสสารจะแบ่งได้ 4 แบบคือ การดูดกลืน (absorption) การเปล่งแสง (emission) การเรืองแสง (fluorescence) และการกระเจิงแสง (scattering) ในอันตรกิริยาแต่ละแบบยังแบ่งเป็นเทคนิคการวิเคราะห์ได้อีกหลายเทคนิค

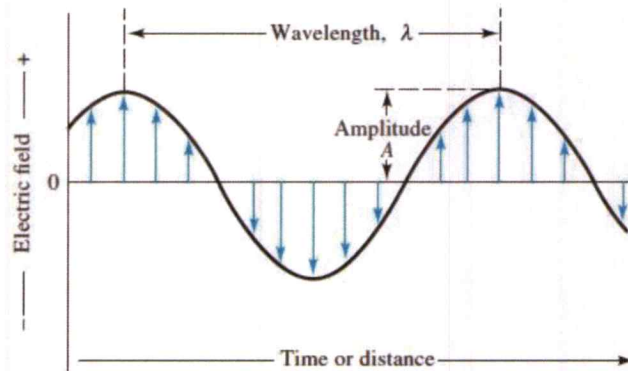
1. รังสีแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic radiation)

รังสีแม่เหล็กไฟฟ้าคือพลังงานรูปแบบหนึ่งที่แสดงสมบัติเป็นได้ทั้งคลื่นและอนุภาค โดยรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าสามารถทะลุผ่านตัวกลางด้วยความเร็วสูงมาก รังสีแม่เหล็กไฟฟ้าในย่านยูวี-วิสิเบิลและบางช่วงในย่าน IR เรียกว่า แสง (light) โดยที่แสงแสดงสมบัติเป็นคลื่น (wave) ชนิดหนึ่ง ประกอบด้วยสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (electric field) และสนามแม่เหล็ก (magnetic field) เคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียวกัน แต่อยู่ในระนาบตั้งฉากกัน ดังรูปที่ 2.4 สมบัติความเป็นคลื่นของแสง ประกอบด้วยความยาวคลื่น (wavelength) ความถี่ (frequency) ความเร็ว (velocity) และแอมพลิจูด (amplitude) แสงเคลื่อนที่ได้โดยไม่ต้องอาศัยตัวกลางใด ๆ แสงจึงสามารถเคลื่อนที่ผ่านสุญญากาศได้อย่างรวดเร็ว ความเร็วของแสงที่เคลื่อนที่ผ่านสุญญากาศเท่ากับ 2.997×10^8 m/s รังสีแม่เหล็กไฟฟ้าอธิบายในรูปของคลื่นที่เป็นการแกว่งกวัด (oscillation) ของรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าในสนามไฟฟ้า (electric field) และสนามแม่เหล็ก (magnetic field) จะตั้งฉากกันและกันและมีทิศทางเดียวกัน ดังรูปที่ 2.4 สนามไฟฟ้าของคลื่นความถี่เดียวแกว่งกวัดในพื้นที่และเวลา สนามไฟฟ้าแสดงเป็นเวกเตอร์ซึ่งความยาวเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มของสนามไฟฟ้า แกน x ในรูปที่ 2.5

เมื่อเวกเตอร์ไฟฟ้า (electric vector) อยู่ในแนวแกนเวลาหรือไม่ก็ระยะทางอยู่ในแนวแกนนอน (แกน x) ส่วนเวกเตอร์แม่เหล็ก (magnetic vector) จะอยู่ในแนวตั้งฉากกับเวกเตอร์ไฟฟ้าและตั้งฉากกับแกนเวลา โดยที่ขนาดของเวกเตอร์ทั้งสองมีค่าเท่ากัน



รูปที่ 2.4 การแกว่งกวัดของรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าในสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก [4]



รูปที่ 2.5 คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า [4]

แอมพลิจูด (amplitude, A) คือปริมาณเวกเตอร์ที่วัดจากจุดสูงสุดของคลื่นสนามไฟฟ้าหรือสนามแม่เหล็ก แอมพลิจูดจะเปลี่ยนแปลงตามเวลา

คาบ (period, p) คือเวลาในหน่วยวินาที เวลาที่ใช้ระหว่างจุดยอดของคลื่น

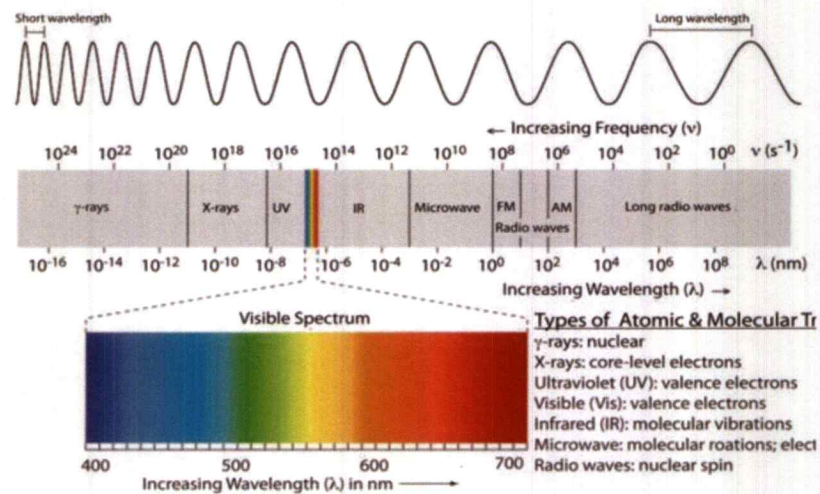
ความถี่ (frequency, f) คือจำนวนของคลื่นสมบูรณ์ที่มีการแกว่งกวัดต่อหน่วยเวลา (วินาที) หน่วยของความถี่เป็นเฮิรตซ์ (Hertz, Hz)

ความยาวคลื่น (wavelength, λ) คือระยะห่างระหว่างจุดยอด (จุดสูงสุดหรือจุดต่ำสุด) ของรังสีสองจุดที่ตรงกัน หน่วยวัดความยาวคลื่นที่ใช้กันคือนาโนเมตร

เลขคลื่น (wavenumber, k) คือจำนวนคลื่นในระยะทาง 1 cm หรือเขียนได้เป็นเศษหนึ่งส่วนความยาวคลื่น ($1/\lambda$) เลขคลื่นนิยมใช้กับรังสีอินฟราเรดเลขคลื่นมีหน่วยเป็น cm^{-1}

2. สเปกตรัมรังสีแม่เหล็กไฟฟ้า

การแบ่งรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นย่านความถี่ (frequency) หรือย่านความยาวคลื่น (wavelength) ที่แตกต่างกันเรียกว่า สเปกตรัมรังสีแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic spectrum) ดังรูปที่ 2.6 โดยขอบเขตของแต่ละย่านไม่ได้แยกออกจากกันอย่างสิ้นเชิงซึ่งมีบางส่วนที่ซ้อนเหลื่อมกัน สเปกตรัมรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าประกอบด้วยช่วงคลื่นที่มีความถี่ต่าง ๆ กัน นับตั้งแต่ช่วงคลื่นวิทยุ (radio) ที่มีความถี่ต่ำ (10^3 Hz) ซึ่งจะมีพลังงานน้อยสุดจนถึงรังสีแกมมา (gamma) ที่มีความถี่สูง ($>10^{19}$ Hz) ซึ่งที่มีพลังงานมากที่สุด



รูปที่ 2.6 สเปกตรัมรังสีแม่เหล็กไฟฟ้า [4]

สเปกตรัมรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าในย่านมองเห็น (visible region) เรียกว่า วิสิเบิลสเปกตรัม (visible spectrum) มีย่านความยาวคลื่นในช่วง 380 - 780 nm ซึ่งเป็นแสงขาว (white light) ตลอดช่วงความยาวคลื่น แต่ถ้าแสงถูกดูดกลืนในบางช่วงความยาวคลื่น แสงที่เรามองเห็นจะเป็นแสงสีผสม (complementary color)

3. อันตรกิริยาระหว่างโฟตอนกับสสาร

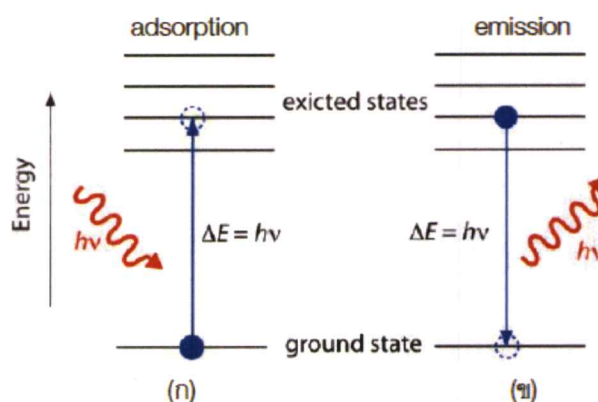
การเกิดอันตรกิริยาระหว่างรังสีแม่เหล็กไฟฟ้า (โฟตอน)กับสสารเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนระดับพลังงานของอนุภาค (อิเล็กตรอน) โดยเป็นการเปลี่ยนระดับพลังงานจากสถานะพื้น (ground state, E_0) ไปยังระดับพลังงานสูงกว่า เรียกว่า สถานะกระตุ้น (excited state, E_1) การเปลี่ยนระดับพลังงานของสสารเป็นผลอันเนื่องมาจากอันตรกิริยาระหว่างโฟตอนกับสสารไม่ว่าจะเป็นระดับอะตอม โมเลกุล หรือ ไอออน กล่าวคือโฟตอนของรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีพลังงานแตกต่างกันทำให้เกิดอันตรกิริยากับสสารได้แตกต่างกัน เราอาจแบ่งเทคนิคทางสเปกโทรสโกปีอย่างกว้างเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ

เทคนิคที่มีการถ่ายเทพลังงานระหว่างโฟตอนของรังสีแม่เหล็กไฟฟ้ากับสารและเทคนิคที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงสมบัติของรังสีแม่เหล็กไฟฟ้า

ประเภทของสเปกโทรสโกปี

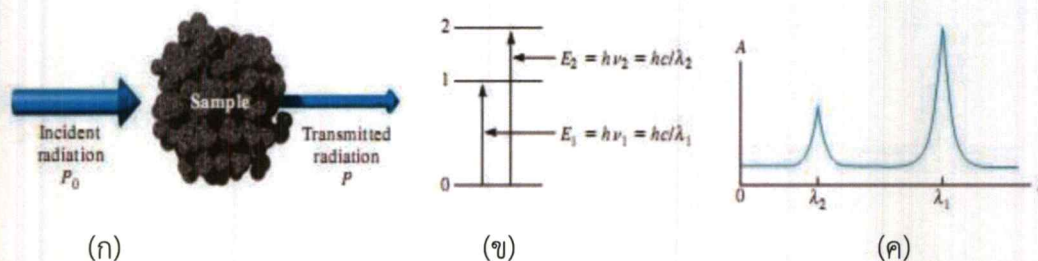
1.) สเปกโทรสโกปีแบบดูดกลืน

เทคนิคสเปกโทรสโกปีแบบดูดกลืน (absorption spectroscopy) เป็นการวัดพลังงานของรังสีแม่เหล็กไฟฟ้า เมื่ออะตอมหรือโมเลกุลจะดูดกลืนโฟตอน (พลังงาน) แล้วเกิดเปลี่ยนแปลงระดับพลังงาน (transition) จากสถานะพลังงานต่ำหรือที่เรียกว่าสถานะพื้น (ground state) ไปสู่สถานะพลังงานสูงหรือที่เรียกว่า สถานะกระตุ้น (excited state) ดังรูปที่ 2.7 (ก) โดยชนิดการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานขึ้นอยู่กับพลังงานของโฟตอน เมื่ออิเล็กตรอนดูดกลืนพลังงานโฟตอนของแสงย่านยูวี - วิสิเบิล การเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานจะเป็นการเลื่อนอิเล็กตรอนวงนอกสุดของอะตอมหรือโมเลกุลจากสถานะพื้นไปยังสถานะกระตุ้น (ภาพ ก) แต่ถ้ากรณีอะตอมหรือโมเลกุลนั้นดูดกลืนรังสีย่าน IR พันธะใดพันธะหนึ่งของโมเลกุลจะเกิดการเปลี่ยนแปลงพลังงานโดยการสั่น (vibration)



รูปที่ 2.7 แผนภาพพลังงานของ (ก) การดูดกลืนโฟตอน (ข) การเปล่งโฟตอนของอะตอม [4]

จากรูปที่ 2.7 (ก) แสดงแผนภาพการดูดกลืน (absorption) เมื่อพลังงานโฟตอน ($h\nu$) ชนกับอะตอมหรือโมเลกุล การดูดกลืนจะเกิดขึ้นได้เมื่อความแตกต่างของพลังงาน (ΔE) ระหว่างสถานะพื้นกับสถานะกระตุ้นเท่ากับพลังงานโฟตอน โดยอะตอมหรือโมเลกุลของสารที่สนใจจะถูกกระตุ้นด้วยแหล่งกำเนิดรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าจากภายนอก ดังรูปที่ 2.8 รังสีตกกระทบ (P_0) จะถูกดูดกลืนเมื่อมีการเลื่อนจากสถานะพื้นสู่สถานะกระตุ้นของสารที่สนใจ ในเทคนิคสเปกโทรสโกปีแบบดูดกลืน (absorption spectroscopy) เราจะวัดปริมาณของแสงที่ถูกดูดกลืนเป็นฟังก์ชันกับความยาวคลื่น การวัดการดูดกลืนสามารถให้ข้อมูลทั้งเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณของสารที่สนใจในตัวอย่างได้



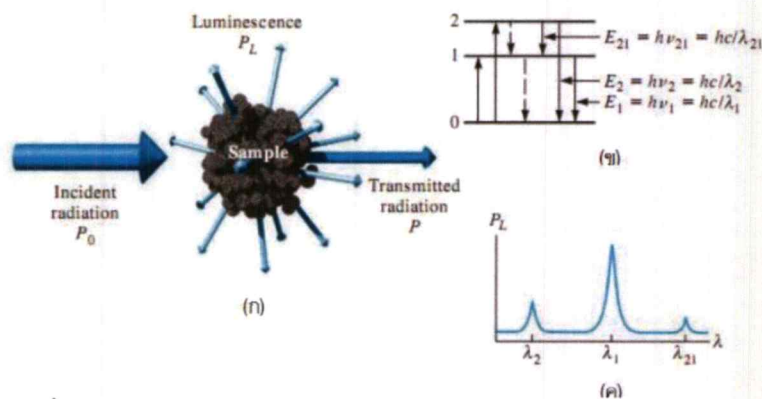
รูปที่ 2.8 สเปกโทรสโกปีแบบดูดกลืน (ก) กำลังรังสีตกกระทบ (P_0) ถูกดูดกลืนด้วยสารที่สนใจ (ข) แผนภาพพลังงานของการดูดกลืนโฟตอน และ (ค) ลักษณะสเปกตรัมดูดกลืน [4]

2.) สเปกโทรสโกปีแบบเปล่งแสง (emission spectroscopy)

เป็นการวัดพลังงานของรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าที่คายออกมา เมื่ออะตอมหรือโมเลกุลเกิดเปลี่ยนแปลงระดับพลังงาน (transition) จากสถานะกระตุ้นไปสู่สถานะพื้น ดังรูปที่ 2.9 (ข) แสดงภาพการเปล่งพลังงาน (emission) อะตอมหรือโมเลกุลในสถานะกระตุ้นจะปลดปล่อยโฟตอนออกมาแล้วกลับมาสู่สถานะพื้น การเปล่งพลังงานจะเกิดขึ้นได้เมื่อพลังงานโฟตอน ($h\nu$) เท่ากับความแตกต่างของพลังงานระหว่างสถานะพื้นกับสถานะกระตุ้นเช่นเดียวกัน

กระบวนการที่เกิดขึ้นในเทคนิคสเปกโทรสโกปีแบบเปล่งแสง (emission spectroscopy) เมื่ออะตอมหรือโมเลกุลของสารที่สนใจจะถูกกระตุ้นด้วยความร้อนหรือพลังงานไฟฟ้าหรือปฏิกิริยาเคมี เทคนิคสเปกโทรสโกปีแบบเปล่งแสงมีหลายชนิดขึ้นกับแหล่งพลังงานที่ทำให้อะตอมหรือโมเลกุลเลื่อนไปอยู่ที่สถานะกระตุ้น เช่น อะตอมหรือโมเลกุลที่เกิดอันตรกิริยากับโฟตอนของการแผ่รังสีแม่เหล็กไฟฟ้า ทำให้เกิดโมเลกุลลูมิเนสเซนซ์ (luminescence) เรียกว่าโฟโตลูมิเนสเซนซ์ (photoluminescence) โดยเทคนิคดังกล่าวแบ่งออกได้เป็นเทคนิคการวาวแสง (fluorescence) และการเรืองแสง (phosphorescence) โดยทั้งสองปรากฏการณ์นี้แตกต่างกันที่กระบวนการกลับมาสู่สถานะพื้นใหม่ แต่ถ้าอะตอมหรือโมเลกุลของสารนั้นใช้พลังงานที่ได้จากปฏิกิริยาเคมีเรียกว่า เคมีลูมิเนสเซนซ์ โดยเทคนิคเคมีลูมิเนสเซนซ์จะเกี่ยวข้องกับการกระตุ้นด้วยปฏิกิริยาเคมี ซึ่งทั้งสองเทคนิคนี้การวัดกำลังของรังสีที่เปล่งออกมาเมื่ออิเล็กตรอนของอะตอมหรือโมเลกุลของสารที่สนใจกลับสู่สถานะพื้นจะสามารถให้ข้อมูลเกี่ยวกับคุณสมบัติและความเข้มข้นของสารที่สนใจ ในทางปฏิบัติการวัดมักจะแสดงด้วยกราฟแบบสเปกตรัมที่เขียนระหว่างกำลังของรังสีที่เปล่งออกมากับความถี่หรือความยาวคลื่น การเกิดโฟโตลูมิเนสเซนซ์ (photoluminescence) แสดงดังรูปที่ 2.9 (ก) เทคนิคการวาวแสง (fluorescence) และการเรืองแสง (phosphorescence) เกิดจากการดูดกลืนรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าแล้วเกิดการกระจายพลังงานโดยการเปล่งแสง การดูดกลืนพลังงานทำให้สารที่สนใจถูกกระตุ้นไปยังสถานะกระตุ้นที่ 1 หรือ 2 พลังงานที่มากเกินไปจะสูญเสียโดยการเปล่งโฟตอน (แสดงดังเส้นทึบในรูปที่ 2.9 (ข)) หรือกระบวนการที่ไม่ได้เป็นรังสี (nonradiative process) แสดงดังเส้นประ การเปล่งแสงปรากฏได้ทุกทิศทาง ความยาวคลื่นที่เปล่งออกมาสัมพันธ์กับความแตกต่างระหว่างระดับพลังงาน ความแตกต่างของการเปล่งแสงของเทคนิคการวาวแสงและการเรืองแสงคือระยะเวลาในการเปล่งออกเมื่ออยู่ในสถานะกระตุ้น การวาวแสงจะเกิดขึ้นทันทีใน

ขณะที่การเรืองแสงจะเกิดขึ้นได้ช้ากว่าเนื่องจากการเปลี่ยนระดับพลังงานของอิเล็กตรอนในสถานะกระตุ้นไปที่ระดับพลังงานจนกว่าจะกลับสู่สถานะพื้น



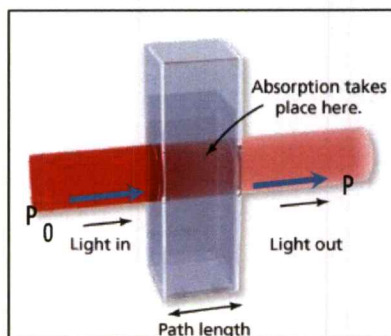
รูปที่ 2.9 สเปกโทรสโกปีแบบ photoluminescence (fluorescence และ phosphorescence) [4]

4. การดูดกลืนรังสีแม่เหล็กไฟฟ้า

เมื่อรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าในย่านยูวี-วิสิเบิล ที่มีความยาวคลื่นตั้งแต่ 200 - 800 nm ผ่านไปยังสสารที่สามารถดูดกลืนคลื่นแสงในช่วงดังกล่าวได้ จำนวนโฟตอนของรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าจะลดลงเนื่องจากสสารสามารถดูดกลืนโฟตอนบางส่วนไว้ การวัดจำนวนโฟตอนที่ลดลงเปรียบเทียบกับโฟตอนเริ่มต้นเรียกว่า ค่าการดูดกลืน (absorbance) เนื่องจากสสารไม่สามารถดูดกลืนรังสีได้ทุกช่วงความยาวคลื่น การวัดความสามารถในการดูดกลืนรังสีในแต่ละความยาวคลื่นจึงแตกต่างกัน เมื่อเขียนกราฟระหว่างค่าการดูดกลืนกับความยาวคลื่นเรียกว่าสเปกตรัมการดูดกลืน (absorption spectrum) ความสามารถในการดูดกลืนรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าของสสารที่มีความยาวคลื่นต่างกัน จะดูดกลืนได้ไม่เท่ากัน ค่าการดูดกลืนสูงสุดจะปรากฏที่ความยาวคลื่นของรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าความยาวคลื่นหนึ่งเรียกว่าความยาวคลื่นที่มีค่าการดูดกลืนสูงสุด (λ_{max})

กฎของการดูดกลืนแสง

เมื่อรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าตกกระทบวัตถุที่สามารถดูดกลืนโฟตอนได้ การวัดการดูดกลืนแสงจะพิจารณาเฉพาะแสงที่ตกกระทบ (incident light) แสงที่ถูกดูดกลืน (absorbed light) และแสงที่ทะลุผ่าน (transmitted light) โดยไม่ได้คำนึงผลของแสงรบกวน (stray light)



รูปที่ 2.10 แสงที่อาจเกิดขึ้นเมื่อแสงตกกระทบสารตัวอย่าง [4]

การทะลุผ่าน (transmittance, T) เป็นสัดส่วนปริมาณแสงที่ผ่านออกมา (P) ต่อปริมาณแสงที่ผ่านเข้าไปในตัวอย่าง (P_0) เขียนสมการได้ดังนี้

$$T = \frac{P}{P_0} \quad (2.3)$$

การทะลุผ่านนิยมเป็นร้อยละการทะลุผ่าน (transmittance percentage, %T)

$$\%T = \frac{P}{P_0} \times 100\% \quad (2.4)$$

ค่าการดูดกลืนแสงหรือเรียกว่า แอบซอร์เบอเรนซ์ (absorbance, A) ของสารละลายสัมพันธ์กับค่าการทะลุผ่าน ดังนี้

$$A = -\log T = -\log \frac{P}{P_0} = \log \frac{P_0}{P} \quad (2.5)$$

ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายเพิ่มขึ้นค่าการทะลุผ่านลดลง ค่าการดูดกลืนแสงสามารถคำนวณจาก %T ดังสมการ

$$\%T = 100 \left(\frac{P}{P_0} \right) \quad (2.6)$$

$$A = -\log T \quad (2.7)$$

$$= -\log \%T + \log 100 \quad (2.8)$$

$$= 2 - \log \%T \quad (2.9)$$

ดังนั้น ค่า T มีค่าอยู่ในช่วง 0-1 และ %T มีค่าตั้งแต่ 0-100 ส่วน A=0 เมื่อแสงที่ผ่านเข้าไปในตัวอย่างไม่ถูกดูดกลืนไว้และผ่านออกมา 100%, A=1 เมื่อแสงผ่านออกมาเพียง 10% และ A=2 ถ้าแสง ผ่านออกมาน้อยมากเพียง 1% สรุปได้ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการทะลุผ่านกับค่าการดูดกลืน

Transmittance (P/P ₀)	%T (log P/P ₀)	log %T	Absorbance (-log T)
1	100	2	0
0.1	10	1	1
0.01	1	0	2
0.001	0.1	-1	3

กฎของแลมเบิร์ต (Lambert's law)

ในปี ค.ศ.1760 แลมเบิร์ต (Johann Heinrich Lambert) นักคณิตศาสตร์ชาวฝรั่งเศสได้ตีพิมพ์หนังสือที่มีชื่อว่า Photometria ซึ่งได้กล่าวถึงการลดลงแบบเอ็กโพเนนเชียล (exponential) ของแสงเมื่อลำแสงนั้นผ่านตัวกลางที่ดูดกลืนแสงได้ซึ่งเป็นกฎที่เรียกว่า กฎการดูดกลืนของแลมเบิร์ต (Lambert's law of absorption) ซึ่งแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าที่ถูกดูดกลืนกับความหนาของตัวกลางที่แสงผ่าน (b) ดังนั้นเมื่อพิจารณาจากสมการ 2.10 โดยความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนกับความหนาของตัวกลางที่แสงผ่าน เป็นดังนี้

$$\log \frac{P_0}{P} = \frac{k'b}{2.303} \quad (2.10)$$

เมื่อ k' = ค่าคงที่สัดส่วนคงที่ (proportional constant)

$$\text{ดังนั้น} \quad A = k'b \quad (2.11)$$

สมการ (2.11) เรียกว่า “สมการแลมเบิร์ต” หรือ “กฎแลมเบิร์ต” สรุปได้ดังนี้ “เมื่อรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นเดียวผ่านตัวกลางเนื้อเดียว รังสีแม่เหล็กไฟฟ้าที่ถูกดูดกลืนจะลดลงแบบ exponential ตามความหนาของตัวกลางที่แสงผ่าน (path length, b)” หรืออาจกล่าวอย่างง่ายได้ว่า “ค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) เป็นสัดส่วนโดยตรงกับความหนาของตัวกลางที่แสงผ่าน”

กฎของเบียร์ (Beer's law)

ปี ค.ศ.1852 เบียร์ (August Beer) นักเคมีชาวเยอรมัน ได้ตีพิมพ์บทความเกี่ยวกับการดูดกลืนแสงสีแดงในสารละลายที่มีสีของเกลือต่าง ๆ โดยอาศัยแนวคิดจากกฎของ Bouguer และกฎการดูดกลืนของแลมเบิร์ต เบียร์ได้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของรังสีแม่เหล็กไฟฟ้ากับความเข้มข้นของ สารที่ดูดกลืนแสง สมการการคำนวณแสดงเช่นเดียวกับกฎของแลมเบิร์ต จะได้ดังนี้

$$\log \frac{P_0}{P} = \frac{k''b}{2.303} \quad (2.12)$$

$$A = k''c \quad (2.13)$$

เมื่อ k'' = ค่าคงที่

c = ความเข้มข้นของสารที่ดูดกลืนแสง (absorbing species)

สมการเรียกว่า “สมการเบียร์” หรือ “กฎของเบียร์” สรุปได้ดังนี้ “เมื่อรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นเดียวผ่านตัวกลางเนื้อเดียว รังสีแม่เหล็กไฟฟ้าที่ถูกดูดกลืนจะลดลงแบบ exponential ตามจำนวนของสารที่ดูดกลืนแสง (absorbing species)” หรืออาจกล่าวอย่างง่ายได้ว่า “ค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) เป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของสารที่ดูดกลืนแสง” เมื่อรวมกฎของเบียร์กับกฎของแลมเบิร์ต เรียกว่า “กฎของเบียร์และแลมเบิร์ต” (Beer and Lamberts' law) เมื่อผ่านแสงที่มีความยาวคลื่นเดียว (monochromatic light) เข้าไปในสารที่มีอนุภาคที่สามารถดูดกลืนแสง พลังงานแสงที่ถูกดูดกลืนจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นหรือปริมาณของสารที่ดูดกลืนแสงนั้น ๆ ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ดังนี้

$$A = \epsilon bc \quad (2.14)$$

เมื่อ A = ค่าการดูดกลืนแสง (absorbance)

ϵ = ค่า molar absorptivity ($\text{Lmol}^{-1}\text{cm}^{-1}$)

b = เป็นความหนาของตัวกลางที่แสงผ่าน (cm)

c = เป็นความเข้มข้นของสารดูดกลืน (mol/L)

สมการ (2.14) เรียกสั้นๆ ว่า “กฎของเบียร์” (Beer's law) สามารถใช้คำนวณค่าสภาพดูดกลืนเป็นโมลาร์ (molar absorptivity) ของสารที่สามารถดูดกลืนแสงได้ ในกรณีที่ทราบความเข้มข้นของสารนั้น ๆ หรือในทำนองกลับกันกฎของเบียร์สามารถใช้หาความเข้มข้นของสาร เมื่อทราบสภาพดูดกลืนเป็นโมลาร์ (ϵ) และความหนาของตัวกลาง (b)

โดยการดูดกลืนแสงของสารใด ๆ ตามกฎของเบียร์นั้นยึดหลักดังนี้

- 1) รังสีเป็นรังสีชนิดลำแสงขนานและความยาวคลื่นเดียว (parallel monochromatic radiation)

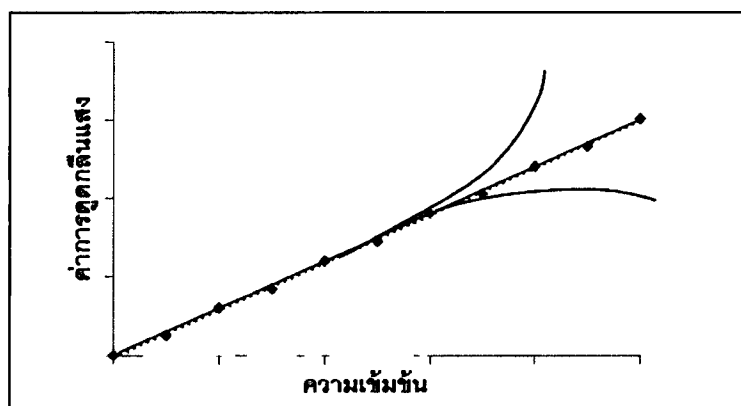
2) รังสีตั้งฉากกับพื้นผิว

3) สารละลายเป็นเนื้อเดียวกัน (homogeneous solution) และต้องไม่ทำให้เกิดการกระเจิงแสง

4) ใช้สารละลายที่มีความเข้มข้นที่เจือจาง (น้อยกว่า 0.01 mol/L)

ข้อจำกัดกฎของเบียร์ (Beer's law limitation)

จากกฎของเบียร์ ค่าการดูดกลืนจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความหนาของตัวกลางที่แสงผ่านและความเข้มข้นของสารละลาย แต่ด้วยส่วนใหญ่พบว่าความหนาของเซลล์จะมีค่าคงที่ ดังนั้นค่าการดูดกลืนจึงแปรผันโดยตรงกับความเข้มข้น แต่ในบางกรณีค่าการดูดกลืนที่วัดได้ไม่แปรผันโดยตรงกับตลอดช่วงของความเข้มข้น ซึ่งส่งผลให้กราฟมาตรฐานความเข้มข้นจะเบี่ยงเบนไปจากกฎของเบียร์ ดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 ลักษณะการเบี่ยงเบนจากกฎของเบียร์ [4]

การเบี่ยงเบนเกิดจากความสัมพันธ์ที่ไม่เป็นเส้นตรงอาจเป็นการเบี่ยงเบนในทางบวก (positive deviation) คือค่าการดูดกลืนให้แนวโน้มสูงกว่าปกติ ทำให้กราฟที่ได้โค้งขึ้นหรือเป็นการเบี่ยงเบนทางลบ (negative deviation) คือค่าการดูดกลืนมีแนวโน้มต่ำลง ทำให้กราฟโค้งลงสาเหตุการเบี่ยงเบนอาจจำแนกได้ 3 ประการคือ

1) การเบี่ยงเบนทางทฤษฎี (fundamental deviation) กฎของเบียร์มีข้อจำกัดที่ว่า การวัดจะต้องสำหรับสารที่สนใจมีความเข้มข้นต่ำ ๆ เท่านั้น ข้อจำกัดที่ทำให้เกิดการเบี่ยงเบนทางทฤษฎีเกิดขึ้นได้สองลักษณะคือ

- ที่ความเข้มข้นสูง อนุภาคของสารที่สนใจ (analyte) แต่ละตัวไม่ประพฤติตัวเป็นอิสระจากกัน ดังนั้นอันตรกิริยาระหว่างอนุภาคของสารที่สนใจ (analyte) อาจทำให้มีการเปลี่ยนแปลงความสามารถในการดูดกลืนแสงในการวิเคราะห์จึงต้องใช้สารละลายที่มีความเข้มข้นน้อยกว่า 0.01 mol/L

- ความสามารถในการดูดกลืนแสงของสารที่สนใจ (analyte) ขึ้นอยู่กับดัชนีหักเหของสารตัวอย่าง เนื่องจากดัชนีการหักเหของแสงเปลี่ยนแปลงตามความเข้มข้นของสารที่สนใจ

(analyte) ค่า a และ ϵ อาจเปลี่ยน สำหรับสารที่สนใจที่มีความเข้มข้นต่ำ ดัชนีหักเหจะค่อนข้างคงที่

2) การเบี่ยงเบนทางเคมี (chemical deviation) การเบี่ยงเบนทางเคมีเกิดจากสารที่ต้องการวิเคราะห์เกิดการสลายตัว การรวมตัวหรือทำปฏิกิริยากับตัวทำละลายแล้วกลายเป็นสารตัวอื่นที่ให้ absorption spectrum ต่างจากสารที่ต้องการจะวิเคราะห์ ทำให้ผลเบี่ยงเบนออกจากกฎของเบียร์ ยกตัวอย่างเช่น การรวมตัวกันของโมเลกุล ทำให้การดูดกลืนแสงต่อโมเลกุลเปลี่ยนแปลงไปด้วย อันเนื่องมาจากความเข้มข้นของสารที่เปลี่ยนไป

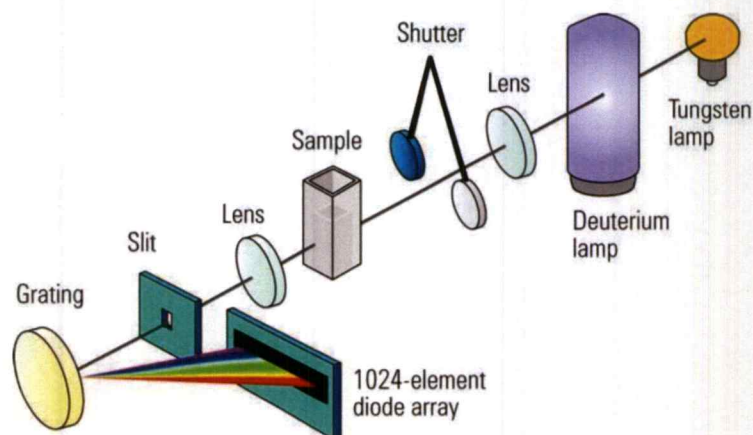
3) การเบี่ยงเบนจากเครื่องมือ (instrumental deviation)

- แสงตกกระทบสารตัวอย่างมีหลายความยาวคลื่น (polychromatic light) จากกฎของเบียร์อนุมานว่าความยาวคลื่นที่ผ่านสารละลายเป็นแสงที่มีเพียงความยาวคลื่นเดียว (monochromatic radiation) แต่ในทางปฏิบัติแล้วตัวแยกความยาวคลื่น (wavelength selector) ไม่อาจแยกความยาวคลื่นให้เป็นคลื่นเดียวได้ แม้ว่าจะเป็นโมโนโครมาเตอร์ที่ดีที่สุดยังมีความยาวคลื่นอื่นปนมาด้วย โดยแสงที่มีหลายความยาวคลื่นจะทำให้เกิดการเบี่ยงเบนทางลบเสมอ ผลกระทบนี้มีผลมากถ้าความยาวคลื่นอื่นที่ปนมา มีค่า molar absorptivity (ϵ) ของสารเปลี่ยนแปลงไปจากความยาวคลื่นที่เราเลือกมาก แต่ผลกระทบนี้อาจส่งผลน้อยมากถ้าค่า ϵ คงที่ การเลือกความยาวคลื่นในการวัดการดูดกลืนควรเลือกด้านบนของสเปกตรัมการดูดกลืน

- แสงรบกวาน (stray light) เนื่องจากความไม่สมบูรณ์ของตัวคัดแยกความยาวคลื่นแสง (wavelength selector) ที่ยอมให้แสงอื่นผ่านเข้าไปในเครื่องและไปตกกระทบบนตัววัดแสง (detector) โดยไม่ผ่านสารตัวอย่าง ผลของแสงรบกวานทำค่าการดูดกลืนลดลง โดยเฉพาะที่ความเข้มข้นสูงๆ ถ้าค่าการดูดกลืนมีค่ามากแสงที่ผ่านออกมาตกบนตัววัดแสงมีน้อย ดังนั้นแสงรบกวานจึงส่งผลได้มากขึ้นทำให้ได้กราฟที่ไม่เป็นเส้นตรง อิทธิพลของแสงรบกวานที่ส่งผลต่อความสัมพันธ์ตามกฎของเบียร์ ทำให้เบี่ยงเบนจากความเป็นเส้นตรงไป

2.1.3.2 เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์แบบดูดกลืน

เครื่องมือสำหรับวัดการดูดกลืนแสงของสารแบ่งตามชนิดของสารได้เป็นการดูดกลืนโดยโมเลกุลและโดยอะตอม ในบทนี้จะอธิบายเฉพาะเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์เรียกว่า เครื่องยูวี-วิสิเบิล ซึ่งเป็นเครื่องมือสำหรับวัดการดูดกลืนแสงของโมเลกุล สารในช่วงความยาวคลื่น 200 - 800 nm โดยทั่วไปเครื่องยูวี-วิสิเบิล มี 2 แบบตามลำแสงคือ แบบลำแสงเดี่ยว (single beam) และแบบลำแสงคู่ (double beam) ส่วนประกอบหลักของเครื่องยูวี-วิสิเบิล แสดงดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 ส่วนประกอบหลักของเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ [4]

เครื่องวัดการดูดกลืนแสงหรือที่เรียกว่าเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ โดยทั่วไปมีองค์ประกอบพื้นฐานที่เหมือนกันคือ แหล่งกำเนิดแสง (light source) แสงส่องเข้า (entrance slit) ช่องแสงออก (exit slit) ตัวแยกแสง (monochromator) ช่องใส่สารตัวอย่าง (sample holder) ตัววัดแสง (photo sensor) ภาคขยายสัญญาณ (amplifier) และภาคแสดงผล (read out)

1) แหล่งกำเนิดแสง

แหล่งกำเนิดแสง (light source) เป็นส่วนกำเนิดแสงที่ต้องมีความเข้มแสงคงที่ แหล่งกำเนิดแสงทางสเปกโทรสโกปีแบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือแหล่งกำเนิดแสงแบบต่อเนื่อง (continuous source) ซึ่งใช้กับเครื่องยูวี-วิสิเบิลและเครื่องการเรืองแสง แหล่งกำเนิดแสงแบบเส้น (line source) ซึ่งใช้กับเครื่องวัดการดูดกลืนแสงโดยอะตอม (atomic absorption) แหล่งกำเนิดแสงแบบต่อเนื่องจะเปล่งแสงที่มีการเปลี่ยนแปลงความเข้มของแสงอย่างช้า ๆ ตามฟังก์ชันของความยาวคลื่นแสงที่เปล่งออกมาจะมีช่วงกว้างของความยาวคลื่น แหล่งกำเนิดแสงแบบต่อเนื่องที่นิยมใช้ในเทคนิคยูวี-วิสิเบิลมีหลายชนิดตามความยาวของคลื่นแสงที่เปล่งออกมา ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 แหล่งกำเนิดแสงแบบต่อเนื่องที่นิยมใช้ในเทคนิคยูวี-วิสิเบิล

ชนิดแหล่งกำเนิดแสงแบบต่อเนื่อง	ช่วงความยาวคลื่น
H ₂ และ D ₂ lamp	160 – 380 nm
tungsten lamp	320 – 2,200 nm
tungsten/halogen lamp	240 – 2,500 nm

2) ตัวแยกแสง

ตัวแยกแสงหรือตัวทำรังสีเดี่ยว (monochromatic selector) เป็นอุปกรณ์ทำหน้าที่แยกแสงหลายสีหรือหลายความยาวคลื่นให้เป็นแสงสีเดียวที่มีความยาวคลื่นแสงช่วงแคบ ๆ (monochromatic radiation) โดยอาศัยการดูดกลืนการสะท้อนกลับหรือการหักเหของแสง ในเครื่องยูวี-วิสิเบิล จึงใช้ตัวแยกแสงเดี่ยว (monochromator) เพื่อทำการแยกแสงจากแหล่งกำเนิดแสงแบบต่อเนื่องให้เป็นช่วงความยาวคลื่นแคบ ๆ ที่ต้องการตัวแยกแสงเดี่ยวที่นิยมใช้ในเครื่อง ยูวี-วิสิเบิล มีอยู่ 3 ชนิดคือ ตัวกรองแสง (filter) ปริซึม (prism) และเกรตติง (grating)

เกรตติงมีอยู่ 2 แบบ คือแบบแสงส่องผ่าน (transmission) ซึ่งทำให้เกิดลำแสงสีเดียวโดยวิธีการเดียวกันปริซึมและแบบสะท้อนแสง (reflection) ซึ่งนิยมใช้มากในปัจจุบัน การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิมีผลกระทบน้อย การเกิดแสงสีเดียวไม่ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของสารที่ใช้ทำเกรตติง ระยะห่างระหว่างลำแสงสีเดียวที่เกิดขึ้นเท่ากันทำให้สะดวกต่อการออกแบบสร้างเครื่องมือ และความกว้างของลำแสงไม่เปลี่ยนแปลงตามความยาวคลื่นที่ใช้งานเกรตติงเป็นแผ่นโลหะที่มีร่องเล็ก ๆ ขนานกันจำนวน 600-2,000 ร่อง/มม. ความยาวคลื่นที่สะท้อนออกมาขึ้นอยู่กับมุมตกกระทบของรังสีและระยะห่างระหว่างร่องของเกรตติง ตามความสัมพันธ์ดังนี้

$$n\lambda = 2d\sin\theta \quad (2.15)$$

n = อันดับของแถบแสงที่เกิดขึ้น

θ = มุมตกกระทบ

d = ระยะห่างระหว่างร่องของเกรตติง

λ = ความยาวคลื่นแสงที่สะท้อนออกมา

3) ช่องแสงผ่าน

ช่องแสงผ่าน (slit) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ควบคุมปริมาณแสงที่เข้าสู่ตัวแยกแสงหรือแสงที่ออกจากตัวแยกแสง ช่องแสงผ่านประกอบด้วยโลหะขอบบาง 2 แผ่น วางขนานกันในระนาบเดียวกัน ระยะห่างระหว่างช่องแสงอาจคงที่หรือปรับเลื่อนได้ด้วยกลไกช่องแสงเข้า (entrance slit) เป็นช่องที่รับแสงจากแหล่งกำเนิดแสงส่องผ่านเลนส์ทำแสงขนาน (collimating lens) เพื่อให้ลำแสงเป็นลำแสงขนานก่อนตกกระทบตัวแยกแสง

ช่องแสงออก (exit slit) เป็นทางผ่านของแสงรังสีเดี่ยวไปสู่สารตัวอย่าง ความกว้างช่องแสงออก (slit width) ถ้ายิ่งมีค่าน้อยยิ่งเพิ่มกำลังแยกความยาวคลื่นแสงที่ต้องการออกจากความยาวคลื่นแสงอื่น

4) ช่องใส่ตัวอย่าง

ช่องใส่ตัวอย่าง (sample holder) เป็นหน้าต่างบรรจุสารละลายตัวอย่างที่ให้แสงความยาวคลื่นเดียวที่ผ่านจากตัวแยกแสงผ่านไปสัมผัสกับสารตัวอย่าง นิยมเรียกอุปกรณ์ที่ใส่ในช่องตัวอย่างว่า เซลล์ (cell) หรือคิวเวทท์ (cuvette) วัสดุที่ใช้ทำคิวเวทท์มีหลายชนิด เช่น แก้ว ควอทซ์ และพลาสติก การเลือกใช้คิวเวทท์ต้องพิจารณาปัจจัยของธรรมชาติของวัสดุที่จะมีผลต่อการดูดกลืนแสงด้วย

5) ตัววัดแสง

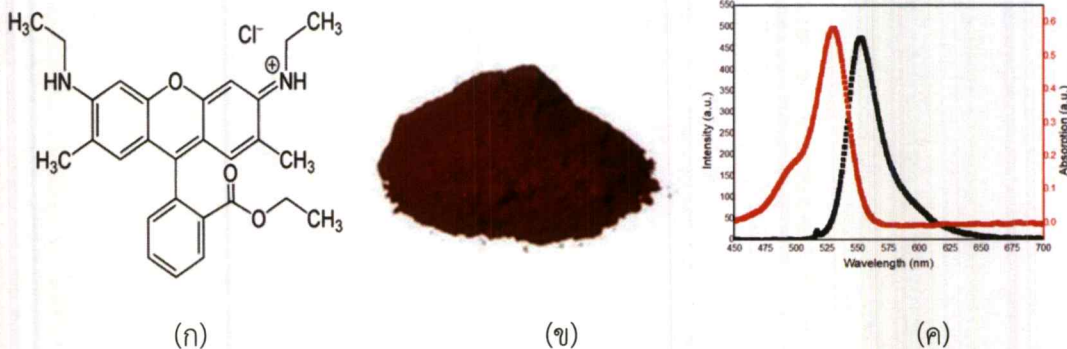
ตัววัดแสง (photo detector) เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนความเข้มของแสงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าแล้วส่งต่อไปยังภาคขยายสัญญาณและวงจรรีเลย์ทรอนิกส์เพื่อให้สามารถแสดงค่าออกมาในรูปการดูดกลืนแสง ตัววัดแสงแต่ละชนิดมีความแตกต่างกันในด้านช่วงความยาวคลื่นที่ตอบสนองอัตราในการตอบสนอง (speed of response) ความเป็นเส้นตรงของการตอบสนอง (linearity of response) และความไว (sensitivity) ตัววัดแสงมีอยู่หลายชนิดในอุปกรณ์สมัยใหม่ตัวแปลงสัญญาณ (transducer) ทำหน้าที่แปลงสัญญาณที่ไม่ใช่สัญญาณไฟฟ้า (ความเข้มแสง, pH, อุณหภูมิ) ให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าซึ่งสามารถขยายสัญญาณและสุดท้ายจะเปลี่ยนเป็นตัวเลขที่เป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณการวัดเริ่มต้นได้ ชนิดของตัวแปลงสัญญาณรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าเกี่ยวข้องกับโฟตอน เรียกว่าตัวแปลงสัญญาณหรือตัววัดโฟตอน (photon detector)

6) ภาคขยายสัญญาณและภาคแสดงผล

ภาคขยายสัญญาณ (amplifier) มีหน้าที่หลักในการขยายสัญญาณไฟฟ้าจากตัววัดแสงให้มีปริมาณมากพอที่จะอ่านค่าออกมาได้ โดยการรับทวนจากสัญญาณอื่น ๆ ให้น้อยที่สุด ภาคแสดงผล (read out device) มีหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าให้มาเป็นหน่วยวัดที่ต้องการ ตัวอย่างเช่นค่าการดูดกลืนแสง (A) ค่าเปอร์เซ็นต์แสงส่องผ่าน (%T) และค่าความเข้มข้น (concentration) เป็นต้น

2.1.4 โรดามีน 6จี [5]

โรดามีน 6จี มีสูตรทางเคมีว่า $C_{28}H_{31}N_2O_3Cl$ เป็นสีย้อมตระกูลโรดามีนให้สารเรืองแสงสูง มักจะใช้ตามรอยสีย้อมในน้ำเพื่อกำหนดอัตราและทิศทางของการไหลและการลำเลียงของน้ำ สีย้อมโรดามีนนั้นสามารถเรืองแสงได้และสามารถตรวจวัดได้ง่ายและไม่แพง มีโครงสร้างแสดงดังรูปที่ 2.13 (ก) ในสภาวะปกติเป็นของแข็งสีแดงเข้มดังรูปที่ 2.13 (ข) เมื่อนำมาละลายกับตัวทำละลาย เช่น น้ำ เอทานอล เมทานอล ไดคลอโรมีเทน จะได้สารละลายสีส้ม เมื่อถูกแสงกระตุ้นด้วยแสงยูวีจะเกิดการเปล่งแสงสีเขียวอมเหลือง โดยมีสเปกตรัมการดูดกลืนแสงประมาณ 450 - 550 นาโนเมตรและสเปกตรัมการเปล่งแสงประมาณ 530 - 650 นาโนเมตร ดังรูปที่ 2.13 (ค)



รูปที่ 2.13 โรดามีน 6จี (ก) โครงสร้างทางเคมี (ข) ผลึกของแข็ง (ค) สเปกตรัมการดูดกลืนและการเปล่งแสง

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 ผลของอนุภาคนาโนทองคำที่มีต่อโพลาริซาร์เรืองแสงและสเปกตรัมการเปล่งแสงของสารละลายโรดามีน 6จี

บทความนี้ศึกษาโพลาริซาร์เรืองแสงและสเปกตรัมการเปล่งแสงของสารละลายโรดามีนหกจีกับอนุภาคนาโนทองคำ พบว่าความเข้มแสงของการเปล่งแสงมีแนวโน้มต่ำลง เมื่อเติมอนุภาคนาโนทองคำลงในสารละลาย เนื่องจากการถ่ายโอนพลังงานจากโรดามีนหกจีไปยังอนุภาคนาโนทองคำ โพลาริซาร์เพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนความเข้มข้นของทองคำกับโรดามีนหกจีมากกว่า 124 และโพลาริซาร์ลดลงเมื่ออัตราส่วนประมาณ 1115 การเพิ่มขึ้นและการลดลงของค่าโพลาริซาร์เรืองแสงทำให้ช่วงชีวิตของการเรืองแสงจะลดน้อยลงและอุณหภูมิเกิดจากความร้อนของอนุภาคนาโนทองคำ ตามลำดับ

การวัดโพลาริซาร์เรืองแสง (FP) เป็นการวิเคราะห์ปฏิกิริยาโมเลกุลทางชีวภาพและทางเคมีที่มีประสิทธิภาพ เทคนิคนี้มีองค์ประกอบของโพลาริซาร์ของโมเลกุลเกี่ยวกับการหมุนที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของ Brownian เมื่อกระตุ้นด้วยแสงโพลาริซาร์โมเลกุลขนาดใหญ่จะหมุนช้าและปล่อยแสงโพลาริซาร์มากขึ้น ในทางกลับกันโมเลกุลที่มีขนาดเล็กจะหมุนเร็วและปล่อยแสงโพลาริซาร์น้อยลง ดังนั้นองค์ประกอบขนาดเล็กของโพลาริซาร์แสดงให้เห็นว่าโมเลกุลการเรืองแสงสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระในสารละลาย ในขณะที่องค์ประกอบขนาดใหญ่ของโพลาริซาร์จะมีโมเลกุลที่ซับซ้อน การวัดโพลาริซาร์เรืองแสงจะวัดได้ทั้งในแนวนอนและแนวตั้ง ในการศึกษาที่เราวัดสเปกตรัมแสงและโพลาริซาร์เรืองแสงของโรดามีนหกจี (Rh6G) กับอนุภาคนาโนโลหะทองคำ (Au MNPs)

สรุปผล เราศึกษาผลของอนุภาคนาโนทองคำที่มีต่อโพลาริซาร์เรืองแสง (FP) และสเปกตรัมการเปล่งแสงของสารละลาย Rh6G ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการเปล่งแสงจะถูกระงับเมื่ออนุภาคนาโนทองคำถูกใส่ลงในสารละลายเพราะการถ่ายโอนพลังงานแบบไม่แผ่รังสีจากโมเลกุลโรดามีน 6จี ไปยังอนุภาคนาโนทองคำ การเพิ่มและลดของค่าโพลาริซาร์เรืองแสงสังเกตจากความเข้มข้นของอนุภาคนาโนทองคำเพิ่มขึ้น การเปลี่ยนแปลงของค่าโพลาริซาร์เรืองแสงเป็นการเข้าใจว่าช่วงชีวิตการเรืองแสงจะสั้นลงและทำให้เกิดอุณหภูมิของอนุภาคนาโนทองคำ

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

เนื้อหาในบทนี้จะอธิบายถึงวัสดุและอุปกรณ์ รวมถึงกระบวนการในการเตรียมสารละลายของโรดามีน 6จี กับอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์และวิธีการทดลองหาค่าโพลาริซการเรืองแสง (FP) ของสารละลายโรดามีน 6จี ผสมกับอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 วัสดุและอุปกรณ์เครื่องมือ

3.1.1 วัสดุ

3.1.1.1 อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ (Zinc oxide , ZnO)

ชื่อสาร : Zinc Oxide ,dispersion

จัดจำหน่ายโดย : Sigma-Aldrich Pte Ltd

Lot #MKBN3534V

ลักษณะทางกายภาพ : ของเหลว

pH : 7 ± 0.1

ความเข้มข้น : $1.7 \text{ g/mL} \pm 0.1 \text{ g/mL}$

ขนาดของอนุภาค : $< 100 \text{ nm}$ (DLS)

ขนาดของอนุภาคเฉลี่ย : $\leq 35 \text{ nm}$ (APS)

3.1.1.2 โรดามีน 6จี

ชื่อสาร : Rhodamine 6G

ผลิตโดย : Sigma-Aldrich

ลักษณะทางกายภาพ : ของแข็ง

สี : แดงเข้ม

มวลโมเลกุล : 479.02 g/mol

1.1.1.3 เอทานอล

ชื่อสาร : Ethanol absolute

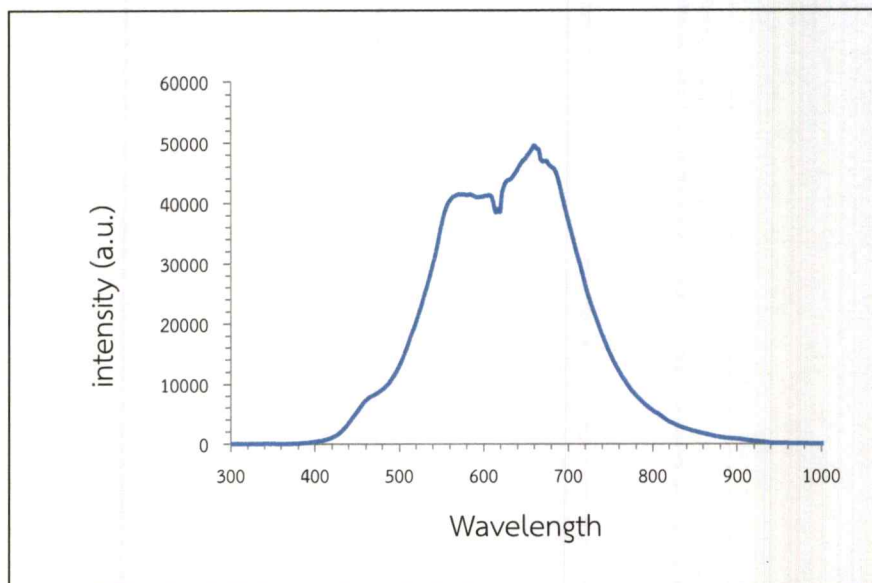
ผลิตโดย : VWR International S.A.S. 201 Rue Camot – F-94126
Fontenay – sous – Bois, FRANCE

ลักษณะทางกายภาพ : ของเหลว

3.1.2 อุปกรณ์

ในโครงการพิเศษนี้ได้จัดเตรียมอุปกรณ์เพื่อใช้สำหรับการทดลอง มีรายละเอียดดังนี้

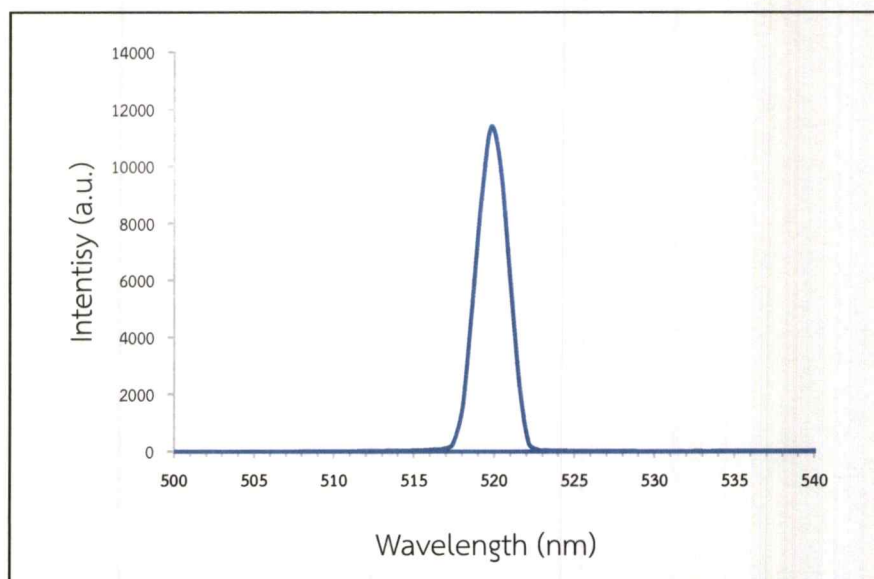
1. คิวเวทท์พลาสติก (Plastic Cuvette) สำหรับบรรจุสารละลายในการวัดสเปกตรัม มีขนาด 12x12x45 มิลลิเมตร ปริมาณ 2.5 มิลลิลิตร (บริษัท Brain)
2. ที่ยึดสารตัวอย่าง (Holder)
3. เครื่องสเปกโตรมิเตอร์ เครื่องวัดสเปกตรัมของแสงในช่วงความยาวคลื่นย่านต่าง ๆ
4. เส้นใยแก้วนำแสง การทดลองนี้ใช้เส้นใยแก้วนำแสงที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่างกัน มีหน้าที่ดังนี้
 - เส้นใยแก้วนำแสงที่ใช้เชื่อมต่อระหว่างที่ยึดสารตัวอย่างและเครื่องกำเนิดแสง มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร
 - เส้นใยแก้วนำแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 600 um ใช้เชื่อมต่อระหว่างสเปกโตรมิเตอร์และที่ยึดสารตัวอย่าง
 - เส้นใยแก้วนำแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 200 um ใช้เชื่อมต่อระหว่างที่ยึดสารตัวอย่างและสเปกโตรมิเตอร์
5. สาย USB ใช้สำหรับเชื่อมต่อระหว่างเครื่องสเปกโตรมิเตอร์และคอมพิวเตอร์
6. ระบบวัดค่าโพลาไรซ์การเรืองแสง (Fluorescence Polarization, FP)
7. หลอดทังสเตน ในการทดลองนี้ใช้เครื่องกำเนิดแสงจากหลอดทังสเตน (SCHOTT MEGALIGHT 100) ที่ให้แสงขาวในช่วงความยาวคลื่น 400 – 900 นาโนเมตร ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 สเปกตรัมของหลอดทั้งสแตน

8. เลเซอร์แสงสีเขียว

ในการทดลองนี้ใช้เลเซอร์แสงสีเขียว ซึ่งมีสเปกตรัมที่แคบที่สุดอยู่ที่ความยาวคลื่น 520 nm



รูปที่ 3.2 สเปกตรัมของเลเซอร์สีเขียว

3.2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

โครงการพิเศษนี้ได้แบ่งการทดลองออกเป็น 4 การทดลอง ดังนี้

- 1) การทดลองที่ 1 ทดลองวัดสเปกตรัมการดูดกลืนแสงและการเปล่งแสงของสารละลายโรดามีน 6จี
- 2) การทดลองที่ 2 ทดลองวัดสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ในเอทานอล
- 3) การทดลองที่ 3 การทดลองหาเวลาที่ส่งผลให้ค่าโพลาไรซ์การเรืองแสงมีค่ามากที่สุด
- 4) การทดลองที่ 4 ทดลองวัดค่าโพลาไรซ์การเรืองแสง (FP) ของสารละลายโรดามีน 6จี ผสมกับอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์

3.2.1 การทดลองที่ 1 วัดสเปกตรัมการดูดกลืนแสงและการเรืองแสงของสารละลายโรดามีน 6จี

วัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาสเปกตรัมการดูดกลืนแสงและการเปล่งแสงของสารละลายโรดามีน 6จี ที่ความเข้มข้น 10^{-3} 10^{-4} 10^{-5} และ 10^{-6} Molar

วิธีการทดลอง

1. การเตรียมสารละลายโรดามีน 6จี

-ชั่งสารโรดามีน 6จี (Rh6G) ปริมาณ 0.0047 g และนำมาทำละลายกับเอทานอล ปริมาตร 10 mL เพื่อเตรียมสารละลายตั้งต้นที่มีค่าความเข้มข้นที่ 10^{-3} M (การคำนวณค่าความเข้มข้นของสารละลายตั้งต้น อยู่ในภาคผนวก)

-เจือจางสารละลายตั้งต้นเพื่อเตรียมสารละลายโรดามีน 6จี (Rh6G) ให้ที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ ดังตารางที่ 3.1 โดยคำนวณหาปริมาตรของสารตั้งต้นที่ต้องเตรียมจาก สมการ

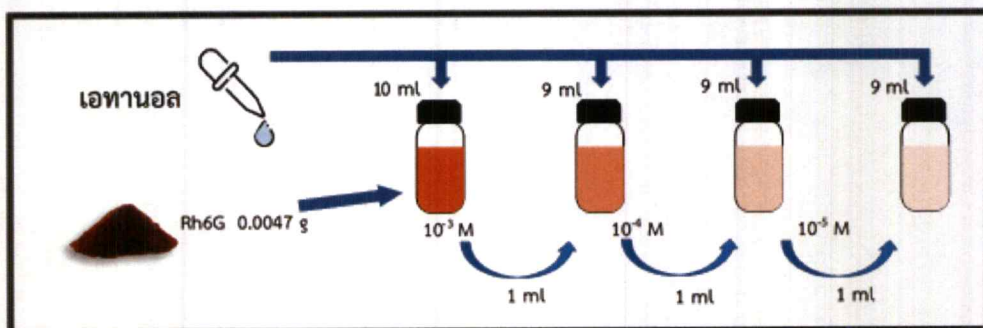
$$C_1V_1 = C_2V_2 \quad (3.1)$$

C_1 คือ ความเข้มข้นสารละลายตั้งต้น

C_2 คือ ความเข้มข้นสารละลายที่ต้องการ

V_1 คือ ปริมาตรของสารละลายตั้งต้น

V_2 คือ ปริมาตรของสารละลายที่ต้องการ



รูปที่ 3.3 การเตรียมสารละลายโรดามีน 6จี ที่ความเข้มข้น 10^{-3} , 10^{-4} , 10^{-5} และ 10^{-6} Molar

ตารางที่ 3.1 ตารางการเตรียมสารของสารละลายโรดามีน 6จี

ความเข้มข้นของสารละลาย Rh6G ที่กำหนด (M)	สัดส่วนของ Rh6G และเอทานอล ที่ใช้เตรียมสารละลายที่ กำหนด	
	ปริมาณของ Rh6G	ปริมาณของตัวทำละลาย (mL)
10^{-4}	1mL @ 10^{-3} M	9
10^{-5}	1mL @ 10^{-4} M	9
10^{-6}	1mL @ 10^{-5} M	9

2. การจัดเตรียมระบบวัดสเปกตรัมการดูดกลืนและการเรืองแสง

2.1 การเตรียมระบบการวัดสเปกตรัมการดูดกลืนแสง มีอุปกรณ์ดังนี้

1. แหล่งกำเนิดแสงหลอดทังสเตน (รุ่น MEGALIGHT 100 จากบริษัท SCHOTT) ให้แสงขาว ในช่วงความยาวคลื่น 400 – 900 นาโนเมตร

2. เส้นใยแก้วนำแสง ใช้เชื่อมต่อระหว่างที่ยึดสารตัวอย่างและเครื่องกำเนิดแสง มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร

3. คิวเวทพลาสติก ใช้สำหรับบรรจุสารละลายในการวัดสเปกตรัม

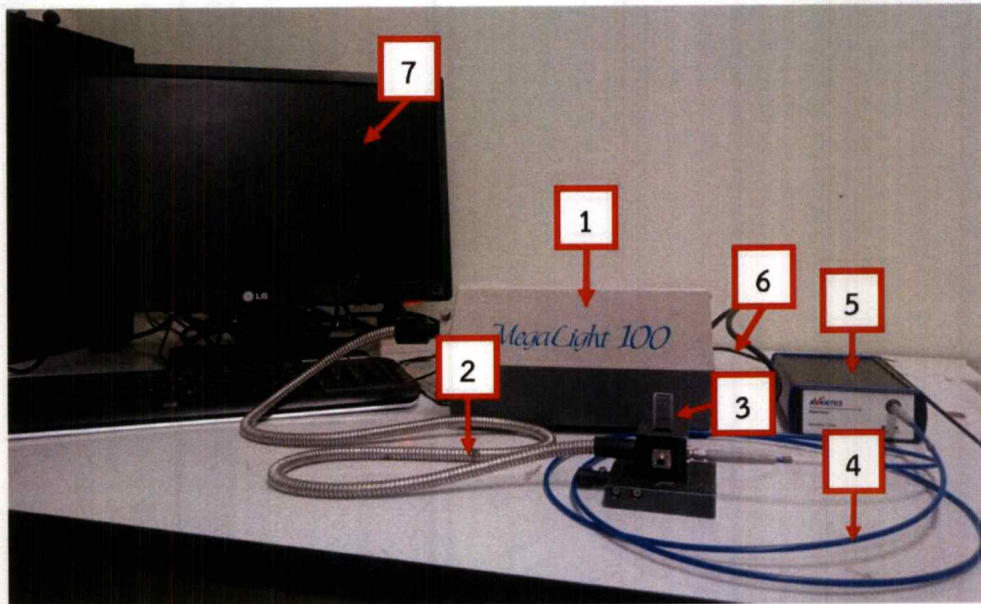
4. เส้นใยแก้วนำแสง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 600 um ใช้สำหรับนำแสงจากสารตัวอย่างไปยังเครื่องสเปกโตรมิเตอร์

5. เครื่องสเปกโตรมิเตอร์ (Avantes Avaspec-2048) ใช้สำหรับวัดสเปกตรัมแสง

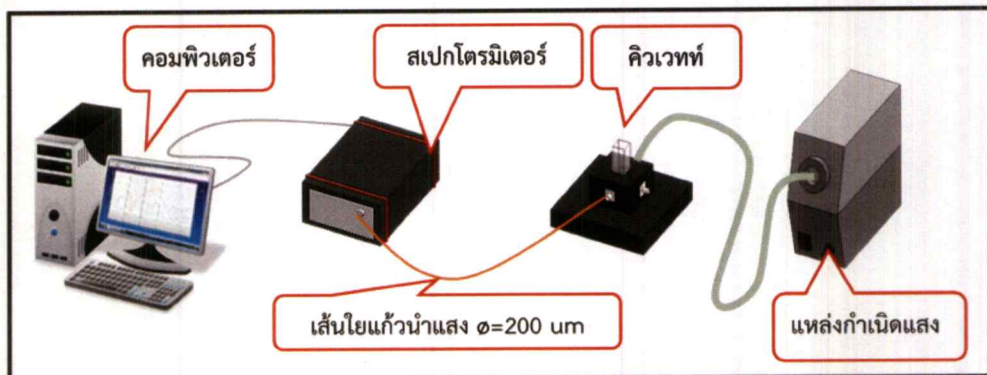
6. สาย USB ใช้สำหรับนำข้อมูลที่ได้จากวัดไปยังคอมพิวเตอร์

7. เครื่องคอมพิวเตอร์ แสดงผลค่าการดูดกลืนแสงด้วยโปรแกรม Avasoft 8

จัดอุปกรณ์ ตามแผนภาพรูปที่ 3.4



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.4 การเตรียมระบบวัดสเปกตรัมการดุดกลืนแสงของสารละลาย (ก) ภาพจริงของการวัดสเปกตรัมการดุดกลืน (ข) ไดอะแกรมการวัดสเปกตรัมการดุดกลืน

2.2 การเตรียมระบบการวัดสเปกตรัมการเรืองแสง มีอุปกรณ์ดังนี้

1. เลเซอร์แสงสีเขียวย ใช้เป็นตัวกระตุ้นสารตัวอย่าง

2. แผ่นโพลาริซที่ 1 ทำให้แสงจากแหล่งกำเนิดแสงเป็นแสงโพลาริซในแนวตั้ง

3. คิวเวทท์พลาสติก สำหรับบรรจุสารตัวอย่างที่ใช้ในการวัดสเปกตรัม

4. แผ่นโพลาริซที่ 2 ใช้สำหรับปรับให้แผ่นโพลาริซ 2 ตั้งฉากกับแผ่นโพลาริซที่ 1 เพื่อให้ความเข้มแสงออกมาน้อยที่สุด

5. แผ่นโพลาริซที่ 3 ใช้สำหรับปรับให้แผ่นโพลาริซ 3 ขนานกับแผ่นโพลาริซที่ 1 เพื่อให้ความเข้มแสงออกมามากที่สุด

6. เส้นใยแก้วนำแสง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 200 um ใช้สำหรับนำแสงโพลาริซจากแผ่นโพลาริซที่ 2 ไปยังเครื่องสเปกโตรมิเตอร์หมายเลข 8

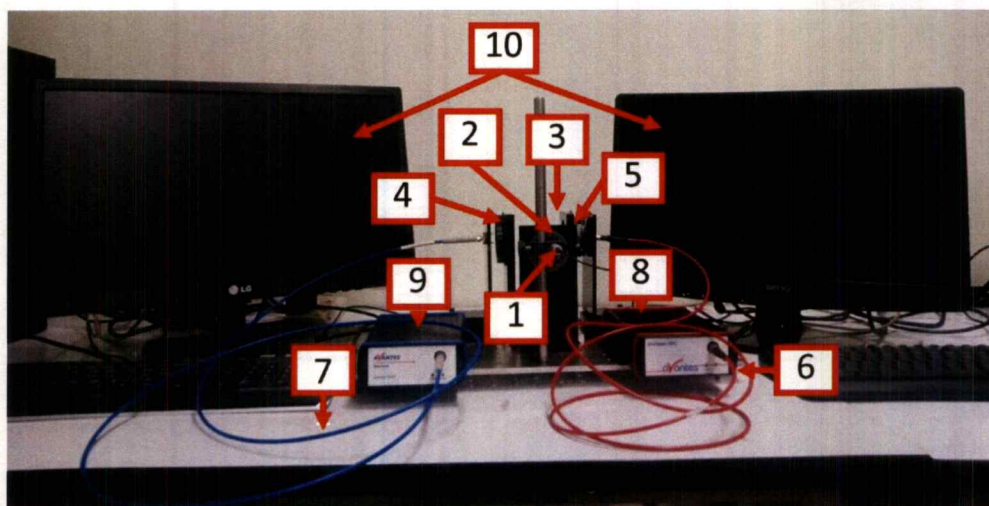
7. เส้นใยแก้วนำแสง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางกลาง 600 um ใช้สำหรับนำแสงโพลารไรซ์จากแผ่นโพลารไรซ์ที่ 3 ไปยังเครื่องสเปกโตรมิเตอร์หมายเลข 9

8. เครื่องวัดสเปกโตรมิเตอร์ Avantes Avaspec-EDU ทำหน้าที่วัดสเปกตรัมของแสงที่มีความเข้มแสงมากที่สุด

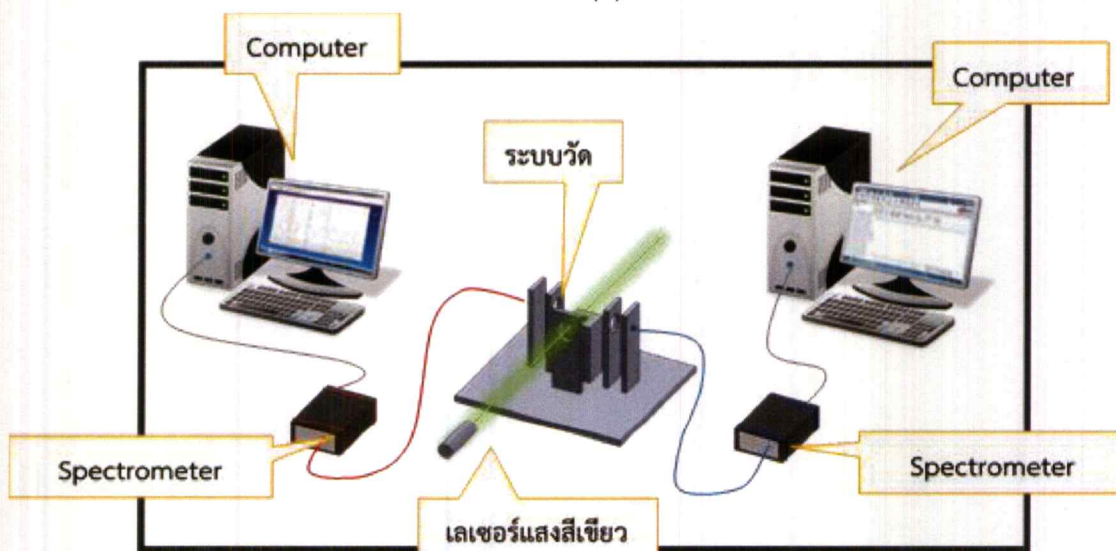
9. เครื่องสเปกโตรมิเตอร์ รุ่น Avantes Avaspec-2048 ทำหน้าที่วัดสเปกตรัมของแสงที่มีความเข้มแสงน้อยที่สุด

10. เครื่องคอมพิวเตอร์ แสดงผลที่ได้จากการวัดสเปกตรัม

จัดอุปกรณ์ ตามแผนภาพดังรูปที่ 3.5



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.5 การเตรียมระบบวัดสเปกตรัมการเรืองแสง (ก) ภาพจริงที่ใช้ในการทดลองวัดสเปกตรัมการเรืองแสง (ข) ไดอะแกรมการวัดสเปกตรัมการเรืองแสง

3. วิธีการวัดสเปกตรัมการดูดกลืนและการเรืองแสง

1. การวัดสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารละลายโรดามีน 6จี

- นำสารตัวอย่างในตารางที่ 3.1 ใส่ในคิวเวทท์พลาสติก จากนั้นนำไปวางไว้ที่แท่นยัดสารตัวอย่างในรูปที่ 3.4 ทำการวัดสเปกตรัมการดูดกลืน

2. การวัดสเปกตรัมการเรืองแสงของสารละลายโรดามีน 6จี

- นำสารตัวอย่างในตารางที่ 3.1 ใส่ในคิวเวทท์พลาสติก จากนั้นนำไปวางไว้ที่แท่นยัดสารตัวอย่างในรูปที่ 3.5 ทำการวัดสเปกตรัมการเรืองแสง

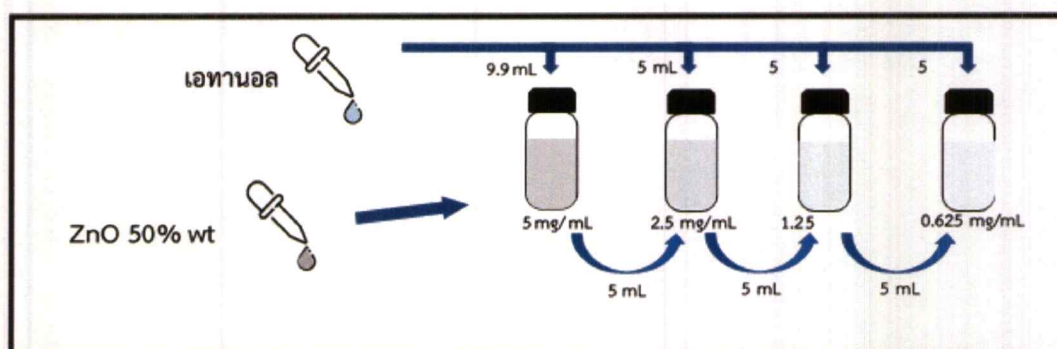
3.2.2 การทดลองที่ 2 การทดลองวัดสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์

วัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ในเอทานอลที่มีความเข้มข้น 0.625 1.25 2.5 และ 5 mg/mL

วิธีการทดลอง

1. การเตรียมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ในเอทานอล

- ดูดอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ (ZnO) ปริมาตร 0.1 mL และนำมาผสมกับเอทานอลปริมาตร 9.9 mL เพื่อเตรียมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ในเอทานอลตั้งต้นที่มีค่าความเข้มข้นที่ 5 mg/mL (การคำนวณค่าความเข้มข้นของสารละลายตั้งต้น อยู่ในภาคผนวก)
- เจือจางสารตั้งต้นเพื่อเตรียมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ในเอทานอล (ZnO) ที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ ดังตารางที่ 3.2 โดยคำนวณหาปริมาตรของสารตั้งต้นที่ต้องเตรียมจากสมการเดียวกับการเตรียมสารละลายโรดามีน 6จี (Rh6G) (ในหัวข้อที่ 3.2.1.1)



รูปที่ 3.6 การเตรียมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ในเอทานอล

ตารางที่ 3.2 การเตรียมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ในเอทานอล

ความเข้มข้นของ ZnO ในเอทานอลที่กำหนด (mg/mL)	อัตราส่วนของ ZnO และเอทานอลที่ใช้เตรียมสารที่กำหนด	
	ปริมาตรของ ZnO	ปริมาตรของตัวทำละลาย (mL)
2.5	5mL @5 mg/mL	5
1.25	5mL @2.5 mg/mL	5
0.625	5mL @1.25 mg/mL	5

2. วิธีการวัดสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ในเอทานอล

- นำสารตัวอย่างในตารางที่ 3.2 ใส่ในคิวเวทท์พลาสติก จากนั้นนำคิวเวทท์ไปวางบนแท่นยึดสารตัวอย่างดังรูปที่ 3.4 ทำการวัดสเปกตรัมการดูดกลืนแสง

3.2.3 การทดลองที่ 3 ศึกษาเงื่อนไขของเวลาที่ส่งผลให้ค่าโพลาไรซ์การเรืองแสง (FP) มีค่ามากที่สุด

วัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาเงื่อนไขของเวลาที่ส่งผลให้ค่าโพลาไรซ์การเรืองแสง (FP) มีค่ามากที่สุด โดยใช้ความเข้มข้นของสารละลายโรดามีน 6จี 10^{-5} M และความเข้มข้นของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ในเอทานอล 1.25 mg/mL

วิธีการทดลอง

1. การเตรียมสารตัวอย่าง

- เตรียมสารละลายโรดามีน 6จี ความเข้มข้น 10^{-5} Molar โดยใช้วิธีการเตรียมสารจากการทดลอง 3.2.1 หัวข้อ 1 และเตรียมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ในเอทานอล ความเข้มข้น 1.25 mg/mL โดยใช้วิธีการเตรียมสารจากการทดลอง 3.2.2 หัวข้อ 1

- ดูดสารละลายโรดามีน 6จี ความเข้มข้น 10^{-5} Molar ปริมาณ 1 mL ใส่ลงในคิวเวทท์และดูดอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ในเอทานอลความเข้มข้น 1.25 mg/mL ปริมาณ 1 mL ใส่ผสมลงในคิวเวทท์อันเดียวกัน

2. วัดสเปกตรัมการเรืองแสงของสารตัวอย่าง

- จัดเตรียมระบบการวัดสเปกตรัมการเรืองแสงดังรูปที่ 3.5 นำสารตัวอย่างในคิวเวทท์ใส่ลงในยึดสารตัวอย่างบนเครื่องวัดโพลาไรซ์การเรืองแสงและทำการวัดสเปกตรัมการเรืองแสงทันทีที่กำหนดให้เป็นเวลาเริ่มต้น ตั้งสารตัวอย่างทิ้งไว้ ทำการวัดค่าทุก ๆ 1 ชั่วโมงจนครบ 4 ชั่วโมง จากนั้นนำค่าที่ได้ ไปวิเคราะห์หาค่า FP (ในหัวข้อถัดไป)

3. การวิเคราะห์ค่า Florescence Polarization (FP)

- นำไปคำนวณตามสมการที่ 2.2

3.2.4 การทดลองที่ 4 การทดลองหาค่าโพลาริธการเรืองแสง (FP) ของสารละลายโรดามีน 6จี ผสมกับอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์

วัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาค่าโพลาริธการเรืองแสง (FP) ของสารละลายโรดามีน 6จี ผสมกับอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ ที่ความเข้มข้นของโรดามีน 6จี 10^{-5} M และความเข้มข้นของอนุภาคซิงค์ออกไซด์ในเอทานอล 0.625 1.25 2.5 และ 5 mg/mL

วิธีการทดลอง

1. การเตรียมสารตัวอย่าง

- เตรียมสารละลายโรดามีน 6จี ความเข้มข้น 10^{-5} M โดยใช้วิธีการเตรียมสารจากหัวข้อ 3.2.1 และเตรียมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ในเอทานอล ความเข้มข้น 0.625 1.25 2.5 และ 5 mg/mL โดยใช้วิธีการเตรียมสารจากหัวข้อ 3.2.2
- ดูดสารละลายโรดามีน 6จี ความเข้มข้น 10^{-5} M ใส่ลงในคิวเวทท์อันที่ 1 2 3 4 ตามลำดับอย่างละ 1 mL จากนั้นดูดอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ในเอทานอลความเข้มข้น 0.625 1.25 2.5 และ 5 mg/mL อย่างละ 1 mL ใส่ผสมลงในคิวเวทท์อันที่ 1 2 3 4 ตามลำดับ จากนั้นวางทิ้งไว้เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

2. วิธีการวัดสเปกตรัมการดูดกลืนแสงและการเรืองแสง

2.1 การวัดสเปกตรัมการดูดกลืนแสง

- นำสารตัวอย่างที่จัดเตรียมไว้ในคิวเวทท์ไปวางบนแท่งยึดสารตัวอย่าง ดังรูปที่ 3.10 ทำการวัดสเปกตรัมการดูดกลืนแสง จากนั้นเปลี่ยนคิวเวทท์ที่มีความเข้มข้นอื่นเรื่อย ๆ จนครบ

2.2 การวัดสเปกตรัมการเรืองแสง

- นำสารตัวอย่างที่จัดเตรียมไว้ในคิวเวทท์ไปวางบนแท่งยึดสารตัวอย่างที่ละอัน ดังรูปที่ 3.11 ทำการวัดสเปกตรัมการเรืองแสง จากนั้นเปลี่ยนคิวเวทท์ที่มีความเข้มข้นอื่นเรื่อย ๆ จนครบทุกอัน ทำการคำนวณค่าโพลาริธการเรืองแสงตามข้อ 3.2.3 หัวข้อ 3

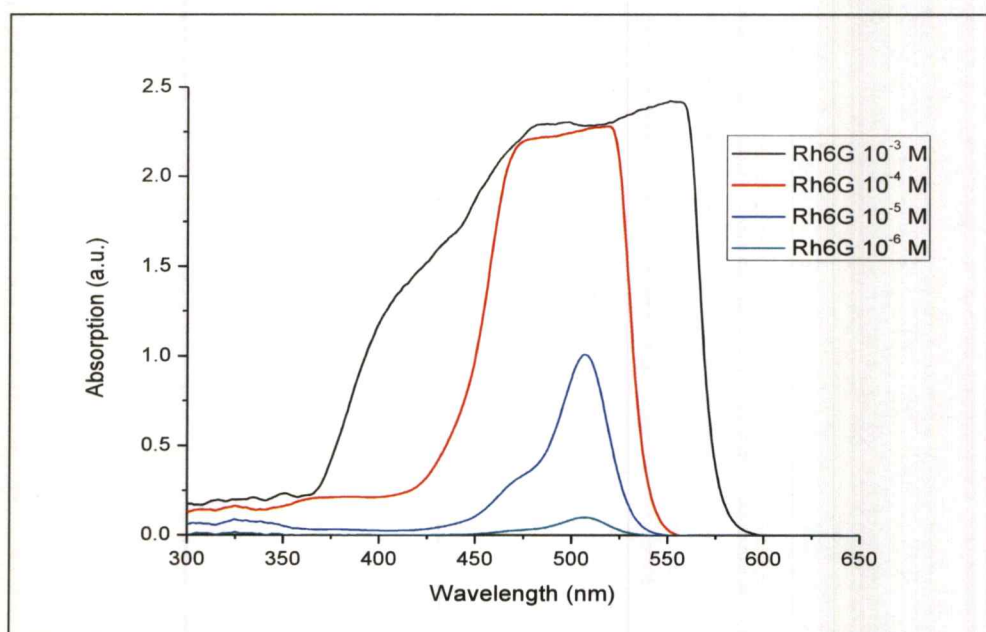
บทที่ 4

ผลและการอภิปรายผล

เนื้อหาในบทนี้จะเกี่ยวข้องกับผลการวัดสเปกตรัมการดูดกลืนแสงและการเปล่งแสงของสารละลายโรดามีน 6จี ผลการวัดสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์และศึกษาเงื่อนไขของเวลาที่ส่งผลให้ค่าโพลาไรซ์การเรืองแสง (FP) มีค่ามากที่สุด รวมถึงผลการวัดค่าโพลาไรซ์การเรืองแสง (FP) ของสารละลายโรดามีน 6จี ผสมกับอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์

4.1 ผลการวัดสเปกตรัมการดูดกลืนแสงและการเปล่งแสงของสารละลายโรดามีน 6จี

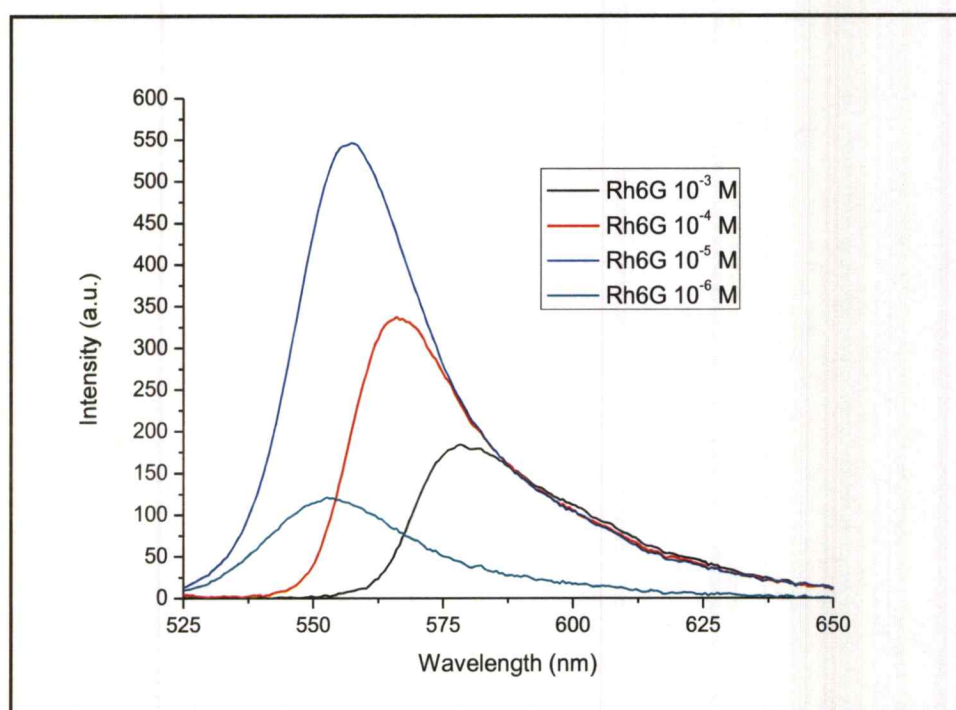
จากการทดลองที่ 1 (หัวข้อ 3.2.1) ได้ทำการวัดสเปกตรัมการดูดกลืนแสงและการเรืองแสงของสารละลายโรดามีน 6จี ที่ความเข้มข้น 10^{-3} 10^{-4} 10^{-5} และ 10^{-6} โมลาร์ แสดงดังรูปที่ 4.1 และ 4.2 ตามลำดับ



รูปที่ 4.1 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารละลายโรดามีน 6จี

ที่ความเข้มข้น 10^{-3} 10^{-4} 10^{-5} และ 10^{-6} โมลาร์

ผลการทดลองจากรูปที่ 4.1 พบว่าค่าการดูดกลืนแสงมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มมากขึ้น สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารละลายโรดามีน 6จี มีความยาวคลื่นประมาณ 400-600 นาโนเมตร แต่ที่ความเข้มข้น 10^{-3} - 10^{-4} โมลาร์ ค่าการดูดกลืนแสงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยและพีคของสเปกตรัมเป็นพีคหัวตัด ทั้งนี้มีสาเหตุจากแสงที่ผ่านเข้ามาไม่สามารถเดินทางผ่านออกมาจากสารละลายได้ เนื่องจากถูกดูดกลืนโดยโมเลกุลที่มีความหนาแน่นสูง เรียกว่า inner filter effect [5] ส่วนสารละลายโรดามีน 6จี ที่ความเข้มข้น 10^{-5} โมลาร์ มีการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 430 - 540 นาโนเมตร มีพีคสูงสุดที่ความยาวคลื่น 510 นาโนเมตรและสารละลายโรดามีน 6จี ที่ความเข้มข้น 10^{-6} โมลาร์ มีการดูดกลืนในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 460 - 530 นาโนเมตร พีคสูงสุดที่ความยาวคลื่น 510 นาโนเมตร แต่พีคสูงสุดมีค่าน้อย



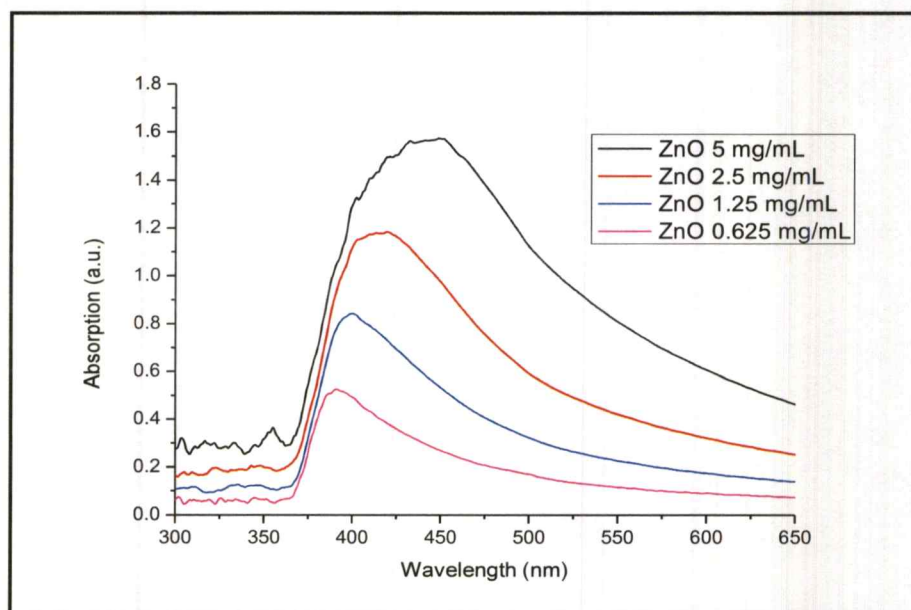
รูปที่ 4.2 สเปกตรัมการเปล่งแสงของสารละลายโรดามีน 6จี ที่ความเข้มข้น 10^{-3} 10^{-4} 10^{-5} และ 10^{-6} โมลาร์

จากรูปที่ 4.2 พบว่าสเปกตรัมการเปล่งแสงของสารละลายโรดามีน 6จี ที่ความเข้มข้น 10^{-3} โมลาร์ มีการเปล่งแสงในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 530 - 650 นาโนเมตร พีคสูงสุดที่ความยาวคลื่น 578 นาโนเมตรและสารละลายโรดามีน 6จี ความเข้มข้น 10^{-4} โมลาร์ มีการเปล่งแสงในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 540 - 650 นาโนเมตร พีคสูงสุดที่ความยาวคลื่น 568 นาโนเมตร สารละลายโรดามีน 6จี ที่ความเข้มข้น 10^{-5} โมลาร์ มีการเปล่งแสงในช่วงความยาวคลื่น 530 - 650 นาโนเมตร มีพีคสูงสุดที่ความยาวคลื่น 558 นาโนเมตรและสารละลายโรดามีน 6จี ที่ความเข้มข้น 10^{-6} โมลาร์ มีการเปล่งแสงในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 530 - 630 นาโนเมตร พีคสูงสุดที่ความยาวคลื่น 554 นาโน

เมตร เห็นได้ว่าสเปกตรัมการเปล่งแสงจะเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นในช่วง $10^{-6} - 10^{-5}$ โมลาร์ เนื่องจากการเปล่งแสงจะเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของสารละลาย ทั้งนี้การเปล่งแสงยังเพิ่มขึ้นตามค่าการดูดกลืนแสงที่เพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของสารละลายด้วยและสเปกตรัมการเปล่งแสงจะลดลงในช่วงความเข้มข้น $10^{-4} - 10^{-3}$ โมลาร์ เพราะแสงที่ถูกปลดปล่อยจากโมเลกุลหนึ่งถูกดูดกลืนซ้ำโดยโมเลกุลข้างเคียงหรือเรียกว่าเกิดกลไกการดูดกลืนซ้ำสูงหรืออาจเกิดจากการสูญเสียพลังงานในรูปแบบอื่นเนื่องจากโมเลกุลทำอันตรกิริยากันเอง [6]

4.2 ผลการวัดสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ในเอทานอล

จากการทดลองที่ 2 (หัวข้อ 3.2.2) การทดลองหาค่าการดูดกลืนแสงของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ในเอทานอล เพื่อศึกษาสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ ที่ความเข้มข้น 0.625 1.25 2.5 และ 5 mg/mL แสดงดังรูปที่ 4.3

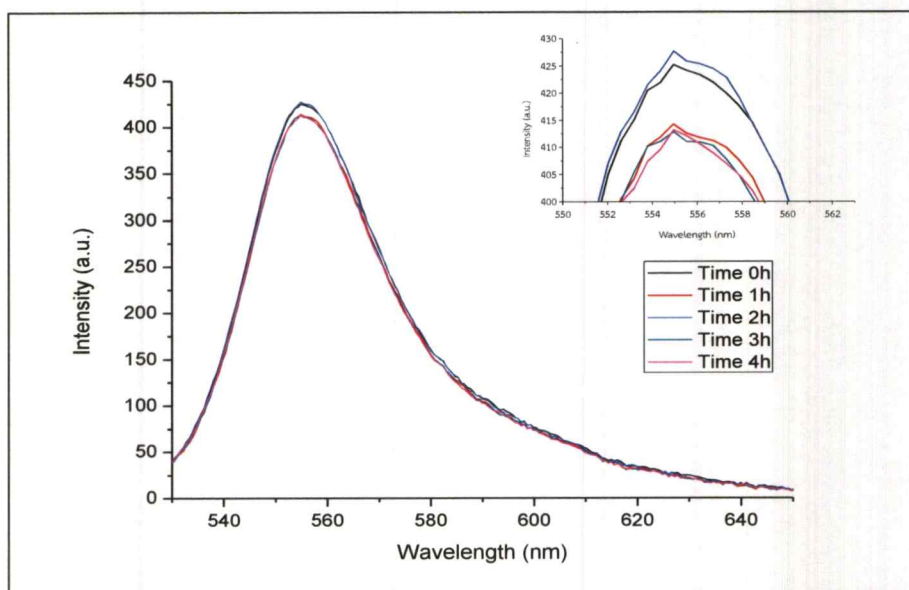


รูปที่ 4.3 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ในเอทานอลที่ความเข้มข้น 0.625 1.25 2.5 และ 5 mg/mL

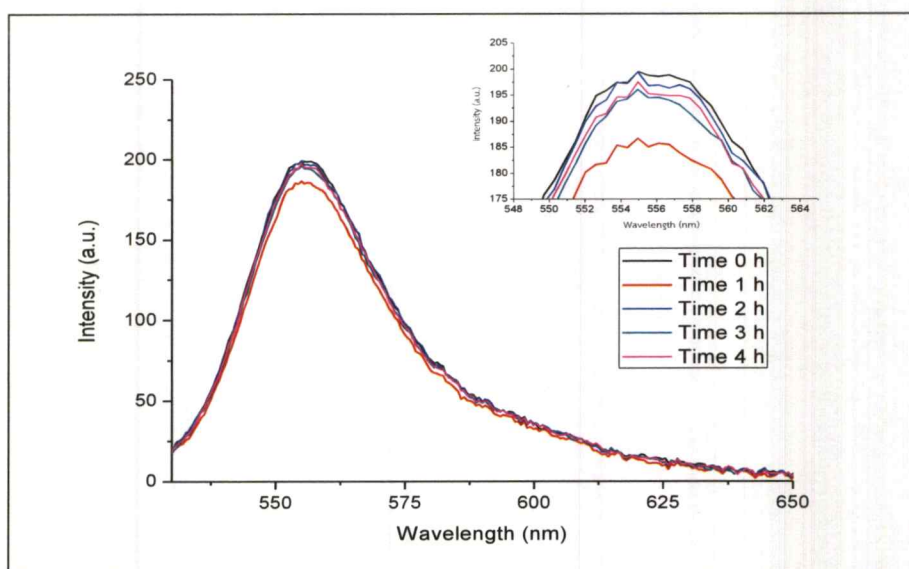
จากรูปที่ 4.3 พบว่าสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ในเอทานอลมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มมากขึ้น มีการดูดกลืนแสงอยู่ที่ประมาณ 350 - 650 นาโนเมตร ที่ความเข้มข้น 0.625 1.25 2.5 และ 5 mg/mL มีพีคการดูดกลืนสูงสุดที่ 394 400 414 และ 449 นาโนเมตร ตามลำดับ ซึ่งสเปกตรัมมีการ Red shift เกิดขึ้น เนื่องจากมีแสงที่ถูกปลดปล่อยจากโมเลกุลหนึ่งถูกดูดกลืนซ้ำโดยโมเลกุลข้างเคียงหรือเรียกว่าเกิดกลไกการดูดกลืนซ้ำสูง [6]

4.3 ผลการศึกษาเงื่อนไขของเวลาที่ส่งผลให้ค่าโพลาไรซ์การเรืองแสง (FP) มีค่ามากที่สุด

จากการทดลองที่ 3 (หัวข้อ 3.2.3) การศึกษาเงื่อนไขหาเวลาที่ส่งผลให้ค่าโพลาไรซ์การเรืองแสงมีค่ามากที่สุด โดยใช้สารละลายโรดามิน 6จี ที่ความเข้มข้น 10^{-5} Molar และอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ในเอทานอลที่ความเข้มข้น 1.25 mg/mL ได้ผลดังรูปที่ 4.4 และ 4.5

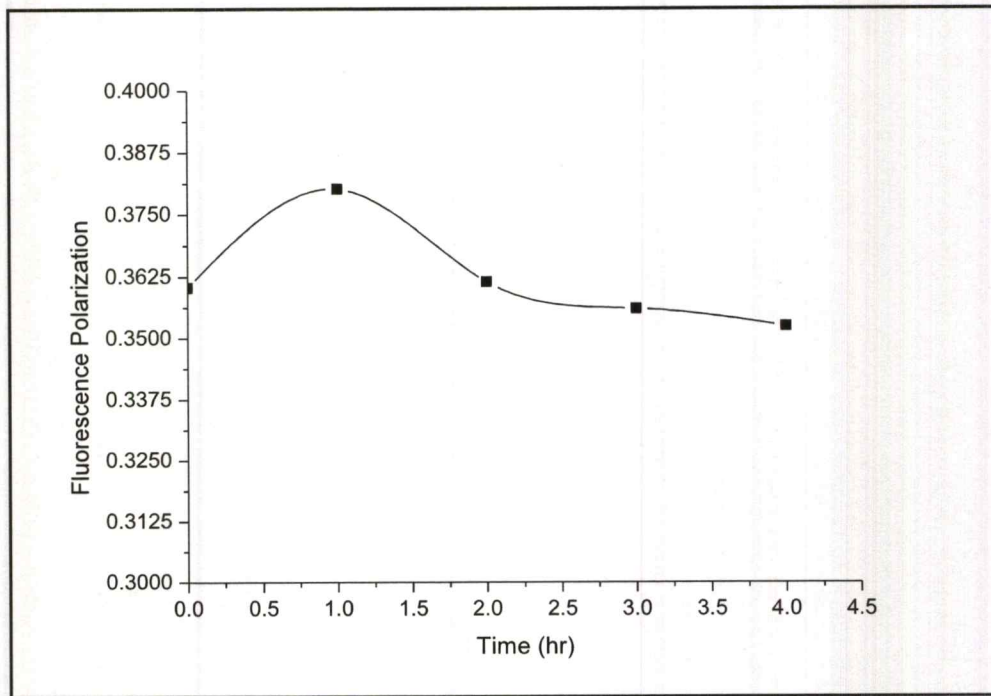


(ก)



(ข)

รูปที่ 4.4 สเปกตรัมการเรืองแสง (ก) แผ่นโพลาไรซ์แบบขนาน (ข) แผ่นโพลาไรซ์แบบตั้งฉาก โดยสารละลายโรดามิน 6จี ที่ความเข้มข้น 10^{-5} Molar ผสมกับอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ในเอทานอลที่ความเข้มข้น 1.25 mg/mL ที่เวลาเริ่มต้นและที่เวลา 1 2 3 และ 4 ชั่วโมง

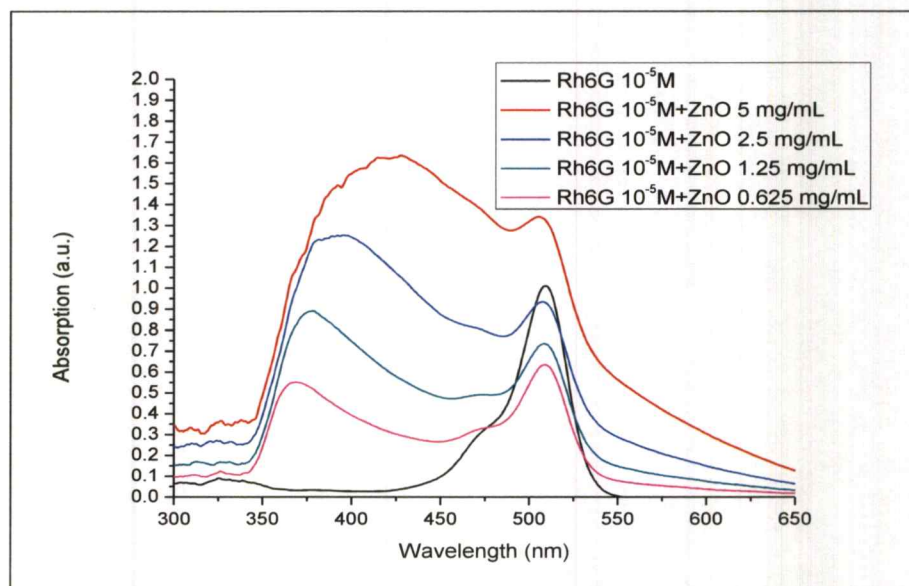


รูปที่ 4.5 ค่าโพลาไรซ์การเรืองแสง (FP) ที่เวลาเริ่มต้นและเวลา 1 2 3 และ 4 ชั่วโมง

การทดลองหาเวลาที่ส่งผลให้ค่าโพลาไรซ์การเรืองแสงมีค่ามากที่สุด การทดลองต้องวัดสเปกตรัมการเรืองแสงทั้งแบบแผ่นโพลาไรซ์แบบขนานกันและแบบตั้งฉากกัน ที่เวลาเริ่มต้น จนเวลา 1 2 3 และ 4 ชั่วโมง ดังรูปที่ 4.4 (ก) และ (ข) ตามลำดับ ได้ค่าโพลาไรซ์การเรืองแสงกับเวลาแสดงในรูปที่ 4.5 ที่เวลาเริ่มต้นที่ยังไม่ตั้งสารตัวอย่างทิ้งไว้มีค่าโพลาไรซ์การเรืองแสงอยู่ที่ 0.360 เมื่อตั้งสารตัวอย่างทิ้งไว้ พบว่าค่าโพลาไรซ์การเรืองแสงเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงเวลา 1 ชั่วโมง มีค่าโพลาไรซ์สูงสุด 0.380 การที่ค่าโพลาไรซ์การเรืองแสงเพิ่มขึ้นเกิดจากสารละลายโรดามิน 6จี และอนุภาคซิงค์ออกไซด์ในเอทานอลเกิดการเกาะกันทำให้โพลาไรซ์การเรืองแสงเพิ่มขึ้นจนถึงเวลา 1 ชั่วโมง หลังจากผ่านเวลา 1 ชั่วโมง สารละลายที่ตั้งทิ้งไว้มีค่าโพลาไรซ์การเรืองแสงลดลงเรื่อย ๆ จนถึงเวลา 2 ชั่วโมง มีค่าโพลาไรซ์การเรืองแสงอยู่ที่ 0.361 ค่าโพลาไรซ์ลดลงเรื่อย ๆ เนื่องจากเกิดการตกตะกอนของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ในเอทานอล เมื่อเวลา 3 ชั่วโมง ค่าโพลาไรซ์การเรืองแสงลดลงเหลือ 0.3560 และที่เวลา 4 ชั่วโมง ค่าโพลาไรซ์การเรืองแสงลดเหลือ 0.352 หลังจากเวลาผ่านไป 2 ชั่วโมง ค่าโพลาไรซ์การเรืองแสงจะลดลงเล็กน้อย เพราะอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ในเอทานอลตกตะกอนจนหมด ทำให้ค่าโพลาไรซ์การเรืองแสงเปลี่ยนแปลงน้อย

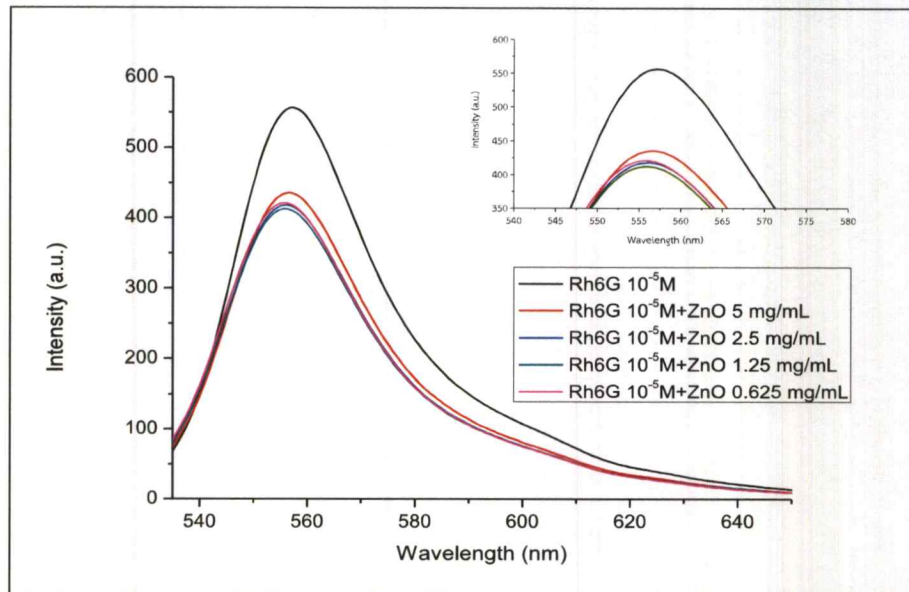
4.4 ผลการวัดค่าโพลาไรซ์การเรืองแสง (FP) ของสารละลายโรดามีน 6จี ผสมกับอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์

จากการทดลองที่ 4 (หัวข้อ 3.2.4) หาค่าโพลาไรซ์การเรืองแสง (FP) ของสารละลายโรดามีน 6จี ผสมกับอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ โดยกำหนดให้ความเข้มข้นของสารละลายโรดามีน 6จี คงที่ที่ 10^{-5} Molar และความเข้มข้นของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ในเอทานอลตั้งแต่ 0.625 1.25 2.5 และ 5 mg/mL ผลการทดลองดังรูปที่ 4.6 4.7 และ 4.8

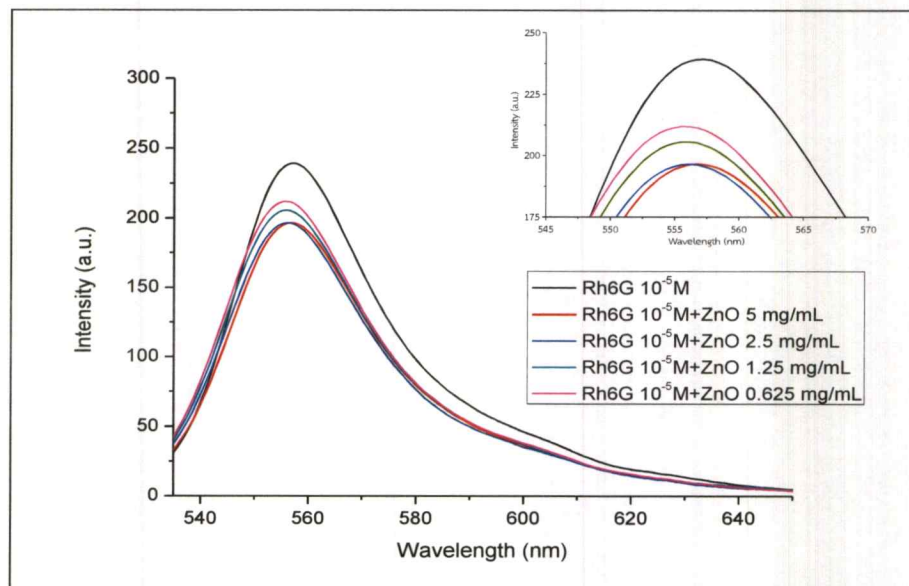


รูปที่ 4.6 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารละลายโรดามีน 6จี ที่ความเข้มข้น 10^{-5} Molar กับสารละลายซิงค์ออกไซด์ที่ความเข้มข้น 0.625 1.25 2.5 และ 5 mg/mL

จากรูปที่ 4.6 พบว่าสเปกตรัมการดูดกลืนแสงเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มขึ้น ที่ความเข้มข้นของสารละลายโรดามีน 6จี 10^{-5} Molar มีการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 430 - 540 nm พีคสูงสุด 0.98 ที่ความยาวคลื่น 510 นาโนเมตร เมื่อสารละลายโรดามีน 6จี ผสมกับอนุภาคซิงค์ออกไซด์ที่ความเข้มข้น 0.625 1.25 2.5 และ 5 mg/mL มีความยาวคลื่นการดูดกลืนประมาณ 350 - 650 นาโนเมตรและเกิดสเปกตรัมการเรืองแสงสองพีค คือพีคของสารละลายโรดามีน 6จี และอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ในเอทานอล ซึ่งพีคสูงสุดของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ในเอทานอลคือ 0.55 0.88 1.24 และ 1.6 นาโนเมตร ตามลำดับ และพีคสูงสุดของสารละลายโรดามีน 6จี คือ 0.62 0.71 0.92 และ 1.32 นาโนเมตร ตามลำดับ

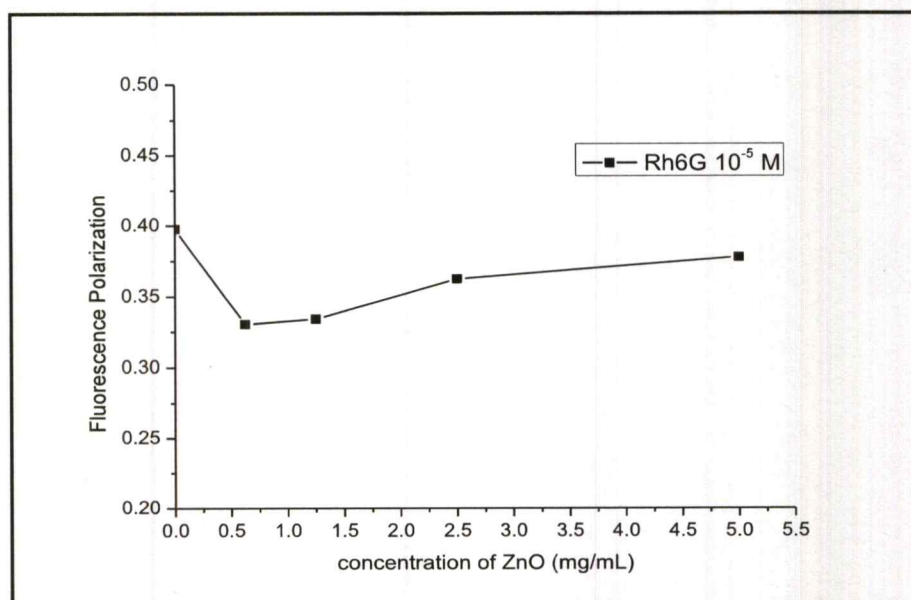


(ก)



(ข)

รูปที่ 4.7 สเปกตรัมการเรืองแสงของสารละลายโรดามีน 6จี ที่ความเข้มข้น 10^{-5} โมลาร์กับสารละลายซิงค์ออกไซด์ที่ความเข้มข้น 0.625 1.25 2.5 และ 5 mg/mL ก) แผ่นโพลาริซ์แบบขนาน ข) แผ่นโพลาริซ์แบบตั้งฉาก



รูปที่ 4.8 ค่าโพลาไรซ์การเรืองแสงที่ความเข้มข้นของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ในเอทานอลเป็น 0.625 1.25 2.5 และ 5 mg/mL โดยสารละลายโรดามีน 6จี ที่ความเข้มข้น 10^{-5} M

การวัดค่าโพลาไรซ์การเรืองแสง (FP) ของสารละลายโรดามีน 6จี ผสมกับอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์จะต้องวัดการเรืองแสงทั้งแบบแผ่นโพลาไรซ์ขนานกันและตั้งฉากกัน ซึ่งแสดงในรูปที่ 4.7 (ก) และ (ข) ตามลำดับ โดยกำหนดให้ความเข้มข้นของสารละลายโรดามีน 6จี คงที่ที่ 10^{-5} Molar และ ความเข้มข้นของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ในเอทานอลมีการเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 0.625 1.25 2.5 และ 5 mg/mL ได้ผลดังรูปที่ 4.8 พบว่าโพลาไรซ์การเรืองแสงที่มีแต่สารละลายโรดามีน 6จี มีค่าโพลาไรซ์การเรืองแสงเริ่มต้นที่ 0.397486 เมื่อนำสารละลายโรดามีน 6จี ผสมกับอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ในเอทานอลที่ความเข้มข้น 0.625 1.25 2.5 และ 5 mg/mL มีค่าโพลาไรซ์การเรืองแสง 0.330 0.333 0.362 และ 0.377 ตามลำดับ สรุปได้ว่าความเข้มข้นของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ในเอทานอลเพิ่มขึ้น ค่าโพลาไรซ์การเรืองแสงจะเพิ่มมากขึ้นตาม เนื่องจากปฏิกิริยาระหว่าง Rh6G-ZnO ส่งผลให้โมเลกุลของโรดามีน 6จี หมุนช้าลง

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

โครงการพิเศษเรื่องการศึกษาค่าโพลาริซการเรืองแสง (FP) ของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ เมื่อถูกเคลือบด้วยโมเลกุลของสีย้อมโรดามีน 6จี มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสเปกตรัมการดูดกลืนแสงและการเปล่งแสงของสารละลายโรดามีน 6จี ศึกษาสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของอนุภาคซิงค์ออกไซด์และศึกษาเงื่อนไขของเวลาที่ส่งผลให้ค่าโพลาริซการเรืองแสง (FP) มีค่ามากที่สุด รวมทั้งศึกษาค่าโพลาริซการเรืองแสง (FP) สารละลายโรดามีน 6จี ผสมกับอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์

การทดลองหาสเปกตรัมการดูดกลืนแสงและการเปล่งแสงของสารละลายโรดามีน 6จี ใช้ความเข้มข้นของสารละลายโรดามีน 6จี ที่ความเข้มข้น 10^{-3} 10^{-4} 10^{-5} และ 10^{-6} โมลาร์ การศึกษาสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ ที่ความเข้มข้น 0.625 1.25 2.5 และ 5 mg/mL และการศึกษาเงื่อนไขของเวลาที่ส่งผลให้ค่าโพลาริซการเรืองแสงมากที่สุด โดยใช้สารละลายโรดามีน 6จี ที่ความเข้มข้น 10^{-5} M ผสมกับอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ในเอทานอลที่ความเข้มข้น 1.25 mg/mL จากนั้นทำการทดลองหาค่าโพลาริซการเรืองแสงของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ เมื่อถูกเคลือบด้วยโมเลกุลของสีย้อมโรดามีน 6จี โดยกำหนดให้ความเข้มข้นของสารละลายโรดามีน 6จี คงที่ที่ 10^{-5} Molar และความเข้มข้นของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ในเอทานอลมีการเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 0.625 1.25 2.5 และ 5 mg/mL

การศึกษาสเปกตรัมการดูดกลืนแสงและการเปล่งแสงของสารละลายโรดามีน 6จี พบว่าความยาวคลื่นการดูดกลืนแสงประมาณ 400 - 600 nm ที่ความเข้มข้นสูง ๆ ค่าการดูดกลืนแสงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยและพีคของสเปกตรัมเป็นพีคหัวตัด ทั้งนี้มีสาเหตุจากแสงที่ผ่านเข้ามาไม่สามารถเดินทางผ่านออกมาจากสารละลายได้ เนื่องจากถูกดูดกลืนโดยโมเลกุลที่มีความหนาแน่นสูง ส่วนสเปกตรัมการเปล่งแสงจะเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นในช่วง 10^{-6} - 10^{-5} โมลาร์ เนื่องจากการดูดแสงจะเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของสารละลาย ทั้งนี้การเปล่งแสงยังเพิ่มขึ้นตามค่าการดูดกลืนแสงที่เพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของสารละลายด้วยและสเปกตรัมการเปล่งแสงจะลดลงในช่วงความเข้มข้น 10^{-4} - 10^{-3} โมลาร์ เพราะแสงที่ถูกปลดปล่อยจากโมเลกุลหนึ่งถูกดูดกลืนซ้ำโดยโมเลกุลข้างเคียงหรือเรียกว่าเกิดกลไกการดูดกลืนซ้ำสูงหรืออาจเกิดจากการสูญเสียพลังงานในรูปแบบอื่นเนื่องจากโมเลกุลทำอันตรกิริยากันเอง

การศึกษาสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ พบว่าสเปกตรัมการดูดกลืนแสงเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้น ที่ความเข้มข้น 0.625 1.25 2.5 และ 5 mg/mL มีพีคสูงสุดที่ความ

ยาวคลื่น 394 400 414 และ 449 นาโนเมตร ตามลำดับ สังเกตว่าความยาวคลื่นเพิ่มขึ้นหรือเรียกว่า Red shift

การศึกษาเงื่อนไขของเวลาที่ส่งผลให้ค่าโพลาไรซ์การเรืองแสงมากที่สุด โดยใช้สารละลายโรดามีน 6จี ที่ความเข้มข้น 10^{-5} M ผสมกับอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ในเอทานอลที่ความเข้มข้น 1.25 mg/mL จากการทดลองพบว่า เวลาที่ทำให้ค่าโพลาไรซ์มากที่สุดอยู่ที่ 1 ชั่วโมง จากนั้นค่าโพลาไรซ์การเรืองแสงจะลดลงเรื่อย ๆ เนื่องจากเกิดการตกตะกอนของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ในเอทานอล

การศึกษาค่าโพลาไรซ์การเรืองแสงของสารละลายโรดามีน 6จี ผสมกับอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ โดยกำหนดให้ความเข้มข้นของสารละลายโรดามีน 6จี คงที่ที่ 10^{-5} Molar และความเข้มข้นของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ในเอทานอลมีการเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 0.625 1.25 2.5 และ 5 mg/mL พบว่าค่าโพลาไรซ์การเรืองแสงจะเพิ่มมากขึ้นจาก 0.330 0.333 0.362 และ 0.377 ตามลำดับ เนื่องจากปฏิกิริยาระหว่าง Rh6G-ZnO ส่งผลให้โมเลกุลของโรดามีน 6จี หมุนช้าลง

5.2 ข้อเสนอแนะ

โครงการพิเศษนี้ศึกษาค่าโพลาไรซ์การเรืองแสงของสารละลายโรดามีน 6จี ผสมกับอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ ผู้ทดลองได้พบปัญหาในการทดลองต่าง ๆ ดังนี้

1. อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ในเอทานอล เมื่อวางทิ้งไว้จะเกิดการตกตะกอน ทำให้ค่าโพลาไรซ์การเรืองแสงผิดพลาดได้
2. มีแผ่นโพลาไรซ์ 1 อัน จากระบบวัดที่จัดทำขึ้นเอง เมื่อทำการปรับแผ่นโพลาไรซ์ให้ความเข้มแสงเปลี่ยนแปลง แต่เนื่องจากแผ่นโพลาไรซ์มีปัญหาทำให้ค่าความเข้มแสงเปลี่ยนแปลงน้อยมาก ดังนั้นควรเปลี่ยนแผ่นโพลาไรซ์ใหม่
3. ผู้ทดลองทำการทดลองที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งแต่ละวันอุณหภูมิของห้องไม่เท่ากัน ดังนั้นควรมีอุณหภูมิห้องที่คงที่

เอกสารอ้างอิง

- [1] ภัทธิยา ดำรงค์ศักดิ์. 2561. “Effect of gold nanoparticles on Fluorescence polarization and emission spectra of Rhodamine 6G Solution.” วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชา ฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [2] กฤษกร โล้เจริญรัตน์. 2557. “การประเมินประสิทธิภาพของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์เพื่อใช้ในการทำลายมะเร็งในเซลล์เพาะเลี้ยงมะเร็ง.” วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชา ฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [3] ศุภมาส ด้านวิทยากุล. 2556. ซิงค์ออกไซด์วัสดุอนุภาคประสมค์. [Online]. เข้าถึงได้จาก : https://www2.mtec.or.th/th/e-magazine/admin/upload/286_13-22. (วันที่ค้นข้อมูล : 17 กุมภาพันธ์ 2562).
- [4] วรวิทย์. 2562. วิธีสเปกโทรสโกปีเบื้องต้น (Principle of Spectroscopic Methods). [Online]. เข้าถึงได้จาก : <https://web.rmutp.ac.th/woravith/upload/AnalChem/spectroscopy>. (วันที่ค้นข้อมูล : 17 กุมภาพันธ์ 2562).
- [5] ชูชาติ อารีจิตตานุสรณ์. 2544. เครื่องวัดแสงฟลูออเรสเซนซ์ (FLUOROMETER). [Online]. เข้าถึงได้จาก : <https://home.kku.ac.th/chuare/12/fluorometer>. (วันที่ค้นข้อมูล : 17 กุมภาพันธ์ 2562).
- [6] ณิชากร บูลพิภพอนันต์. 2550. “การศึกษาออปติคอลสเปกโทรสโคปีจากสีย้อมไวแสงร่วมกับโลหะในระดับอนุภาคนาโน.” วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชา ฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

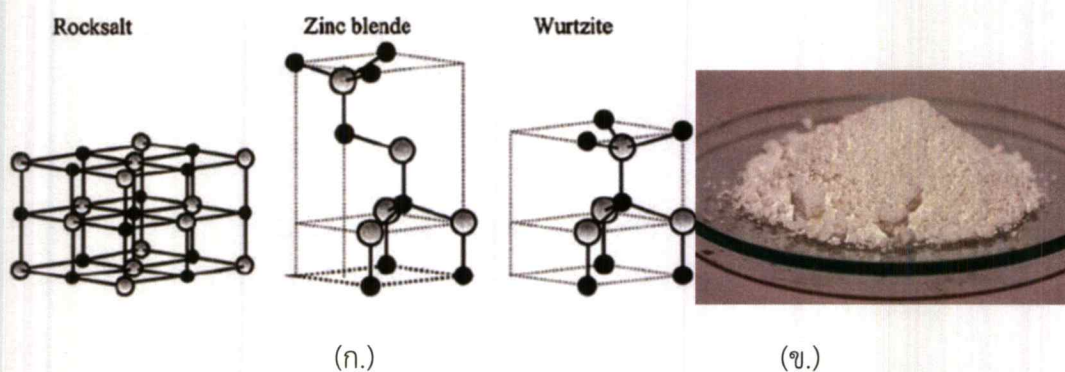
ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

1. คุณสมบัติสารที่ใช้

1.1 ซิงค์ ออกไซด์ (Zinc oxide , ZnO)

ซิงค์ออกไซด์ เป็นสารอนินทรีย์กึ่งตัวนำ ที่มีโครงสร้าง 3 แบบ คือ โครงสร้างแบบเฮกซะโกนอลเวอริไซด์ (Hexagonal wurtzite) หรือโครงสร้างแบบคิวบิกซิงค์เบลน (Cubic Zinc Blende) หรือโครงสร้างแบบร็อกซอลต์ (Cubic Rocksalt)

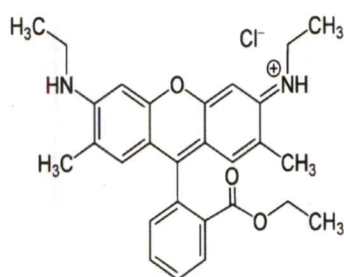


รูป ก.1 ซิงค์ออกไซด์ (ก.) โครงสร้างทางเคมีของสารอนินทรีย์ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) (ข.) ผลิตซิงค์ออกไซด์

คุณสมบัติ

สูตรทางเคมี	ZnO
มวลโมเลกุล	81.38 g / mol
ลักษณะทางกายภาพ	ผลึกสีขาว ไม่มีกลิ่น
ความหนาแน่น	5.606 g / cm ³
จุดหลอมเหลว	1975 องศาเซลเซียส
การละลายน้ำ	ไม่ละลายน้ำ
ดัชนีหักเหแสง	2.0041 หรือระหว่าง 1.95 – 2.10
ช่วงว่างพลังงาน	3.37 eV ณ อุณหภูมิห้อง

1.2 โรดามีน 6จี (Rhodamine 6G)



ก. สูตรโครงสร้างทางเคมีของสารโรดามีน 6จี ข. ผลึกโรดามีน 6จี

รูปโรดามีน 6จี

คุณสมบัติ

สูตรทางเคมี	$C_{28}H_{31}N_2O_3Cl$
มวลโมเลกุล	479.02 g / mol
ลักษณะทางกายภาพ	ผลึกของแข็งสีแดงอมน้ำตาล
ความหนาแน่น	1.26 g / cm ³
ชื่ออื่น ๆ	Basic Red 1, 989-38-8, Rhodamine 6GDN

2. การคำนวณการเตรียมสาร Rh6G

2.1 การเตรียมสารละลายสีย้อม Rh6G

2.1.1 การคำนวณปริมาณสาร Rh6G เพื่อเตรียมสารละลาย Rh6G ตั้งต้น ที่ความเข้มข้น 10^{-3} M ปริมาตร 10 ml เมื่อ Rh6G มีมวลโมเลกุลเท่ากับ 479.02 g/mol

$$\text{คำนวณได้จากสมการ } \frac{nv}{1000} = \frac{g}{MW}$$

เมื่อ n คือ ความเข้มข้น ; $n = 10^{-3}$ M

v คือ ปริมาตร ; $v = 10$ ml

g คือ ปริมาณของสาร ; $g = ?$

MW คือ มวลโมเลกุลของสาร ; $MW = 479.02$
g/mol

- ปริมาณ Rh6G ความเข้มข้น 10^{-3} M ที่ต้องจัดเตรียม หาได้จาก

$$g = \frac{10^{-3} \times 10 \times 479.02}{1000}$$

$$= 0.0047 \text{ g}$$

ดังนั้น ต้องชั่งสาร Rh6G ปริมาณ 0.0047 กรัม เพื่อจัดเตรียม Rh6G ที่ความเข้มข้น 10^{-3} M

2.1.2 การคำนวณหาปริมาตรของสารละลาย โดยวิธีเจือจางจากสารละลายตั้งต้น หาได้จาก

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

เมื่อ C_1 คือ ความเข้มข้นสารละลายตั้งต้น

C_2 คือ ความเข้มข้นสารละลายที่ต้องการ

V_1 คือ ปริมาตรของสารละลายตั้งต้น

V_2 คือ ปริมาตรของสารละลายที่ต้องการ

2.2 วิธีการคำนวณการเตรียมสารละลาย Rh6G โดยการเจือจาง

- หาปริมาตรของสารละลาย Rh6G ความเข้มข้น 10^{-4} M โดยการเจือจางสารละลาย Rh6G ความเข้มข้น 10^{-3} M ($C_1 = 10^{-3}$ M, $C_2 = 10^{-4}$ M, $V_2 = 10$ mL)

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

$$V_1 = (10^{-4})(10) / (10^{-3})$$

$$V_1 = 1 \text{ mL}$$

ดังนั้นจึงจัดเตรียมสารละลาย Rh6G ที่ความเข้มข้น 10^{-4} M ได้โดยนำสารละลาย Rh6G ที่ความเข้มข้น 10^{-3} M ปริมาตร 1 mL เจือจางกับสารละลายเอทานอล ปริมาตร 9 mL

- หาปริมาตรของสารละลาย Rh6G ความเข้มข้น 10^{-5} M โดยการเจือจางสารละลาย Rh6G ความเข้มข้น 10^{-4} M ($C_1 = 10^{-4}$ M, $C_2 = 10^{-5}$ M, $V_2 = 10$ mL)

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

$$V_1 = (10^{-5})(10) / (10^{-4})$$

$$V_1 = 1 \text{ mL}$$

ดังนั้นจึงจัดเตรียมสารละลาย Rh6G ที่ความเข้มข้น 10^{-5} M ได้โดยนำสารละลาย Rh6G ที่ความเข้มข้น 10^{-4} M ปริมาตร 1 mL เจือจางกับสารละลายเอทานอล ปริมาตร 9 mL

- หาปริมาตรของสารละลาย Rh6G ความเข้มข้น 10^{-6} M โดยการเจือจางสารละลาย Rh6G ความเข้มข้น 10^{-5} M ($C_1 = 10^{-5}$ M, $C_2 = 10^{-6}$ M, $V_2 = 10$ mL)

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

$$V_1 = (10^{-6})(10) / (10^{-5})$$

$$V_1 = 1 \text{ mL}$$

ดังนั้นจึงจัดเตรียมสารละลาย Rh6G ที่ความเข้มข้น 10^{-6} M ได้โดยนำสารละลาย Rh6G ที่ความเข้มข้น 10^{-5} M ปริมาตร 1 mL เจือจางกับสารละลายเอทานอล ปริมาตร 9 mL

2.3 การเตรียมสารละลาย ZnO ตั้งต้นในการทดลอง

ทำการเตรียมสารละลาย ZnO ตั้งต้น โดยการเทียบบัญญัติไตรยางศ์

โดยสารละลาย ZnO ขวด มีความเข้มข้น 50% wt. = 50 g / 100 ml

$$\begin{array}{rclcl} \text{ถ้า} & 100 \text{ ml} & = & 50 \text{ g} & \\ & 1 \text{ ml} & = & \frac{50 \times 1}{100} & = 0.5 \text{ g} \end{array}$$

งานวิจัยต้องการสารตั้งต้น ที่ความเข้มข้น 5 mg/mL หรือ 0.05 g /ml

$$\text{ถ้า} \quad 0.5 \text{ g} \quad = \quad 1 \text{ mL}$$

$$0.05 \text{ g} = \frac{1 \times 0.05}{0.5} = 0.1 \text{ mL}$$

ดังนั้น ดูดสารละลายตั้งต้น มา 0.1 mL และเจือจางกับเอทานอล 9.9 mL จะได้สารละลาย ZnO ตั้งต้นในการทำการทดลองที่มีความเข้มข้น 5mg/mL

2.4 วิธีการคำนวณการเตรียมสารละลาย ZnO โดยการเจือจาง

- หาปริมาตรของสารละลาย ZnO ตั้งต้น ที่ความเข้มข้น 5 mg/mL
- หาปริมาตรของสารละลาย ZnO ความเข้มข้น 2.5 mg/mL โดยการเจือจางสารละลาย ZnO ความเข้มข้น 5 mg/mL ($C_1 = 5 \text{ mg/mL}$, $C_2 = 2.5 \text{ mg/mL}$, $V_2 = 10 \text{ mL}$)

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

$$V_1 = \frac{(2.5)(10)}{5}$$

$$V_1 = 5 \text{ mL}$$

ดังนั้นจึงจัดเตรียมสารละลาย ZnO ที่ความเข้มข้น 2.5 mg/ml ได้โดยนำสารละลาย ZnO ที่ความเข้มข้น 5 mg/ml ปริมาตร 5 mL เจือจางกับสารละลายเอทานอล ปริมาตร 5 mL

- หาปริมาตรของสารละลาย ZnO ความเข้มข้น 1.25 mg/ml โดยการเจือจางสารละลาย ZnO ความเข้มข้น 2.5 mg/ml ($C_1 = 2.5 \text{ mg/mL}$, $C_2 = 1.25 \text{ mg/mL}$, $V_2 = 10 \text{ mL}$)

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

$$V_1 = \frac{(1.25)(10)}{2.5}$$

$$V_1 = 5 \text{ mL}$$

ดังนั้นจึงจัดเตรียมสารละลาย ZnO ที่ความเข้มข้น 1.25 mg/ml ได้โดยนำสารละลาย ZnO ที่ความเข้มข้น 2.5 mg/ml ปริมาตร 5 mL เจือจางกับสารละลายเอทานอล ปริมาตร 5 mL

- หาปริมาตรของสารละลาย ZnO ความเข้มข้น 0.625 mg/ml โดยการเจือจางสารละลาย ZnO ความเข้มข้น 1.25 mg/ml ($C_1 = 1.25 \text{ mg/mL}$, $C_2 = 0.625 \text{ mg/mL}$, $V_2 = 10 \text{ mL}$)

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

$$V_1 = \frac{(0.625)(10)}{1.25}$$

$$V_1 = 5 \text{ mL}$$

ดังนั้นจึงจัดเตรียมสารละลาย ZnO ที่ความเข้มข้น 0.625 mg/ml ได้โดยนำสารละลาย ZnO ที่ความเข้มข้น 1.25 mg/mL ปริมาตร 5 mL เจือจางกับสารละลายเอทานอล ปริมาตร 5 mL

ภาคผนวก ข

3. คู่มือการใช้โปรแกรม

3.1 โปรแกรม Avasoft 7.4 USB2 ใช้กับเครื่องสเปกโตรมิเตอร์รุ่น AvaSpec-EDU



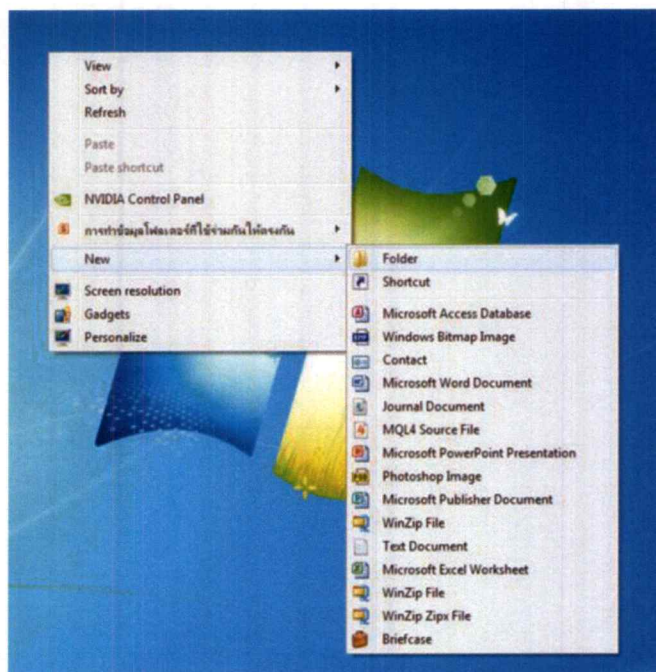
รูป ก.1 ไอคอนโปรแกรม



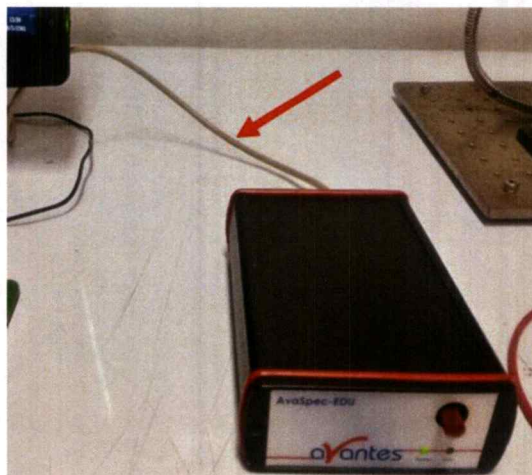
รูป ก.2 สเปกโตรมิเตอร์รุ่นที่ใช้กับโปรแกรม

3.1.1 การตั้งค่าโปรแกรม Avasoft 7.4

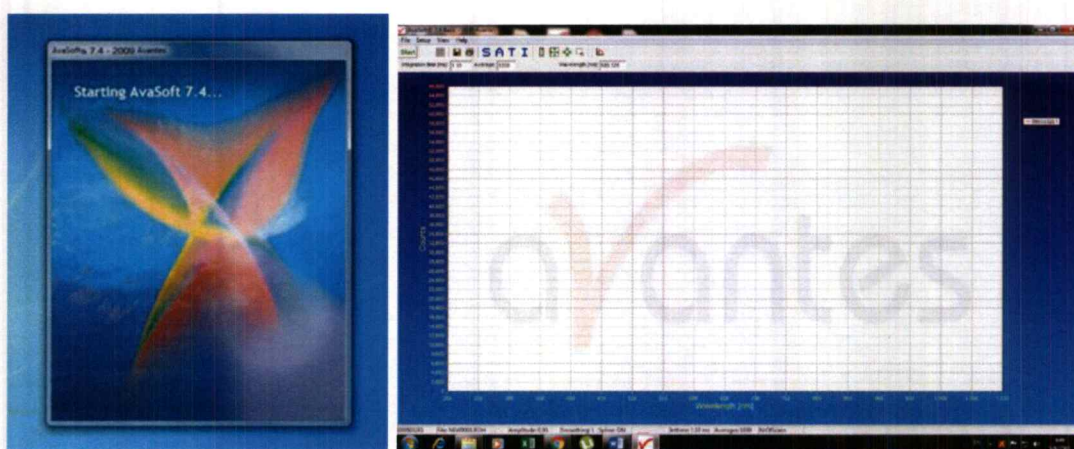
1. สร้าง Folder ที่ต้องการเก็บข้อมูล และเปลี่ยนชื่อ Folder ตามต้องการ



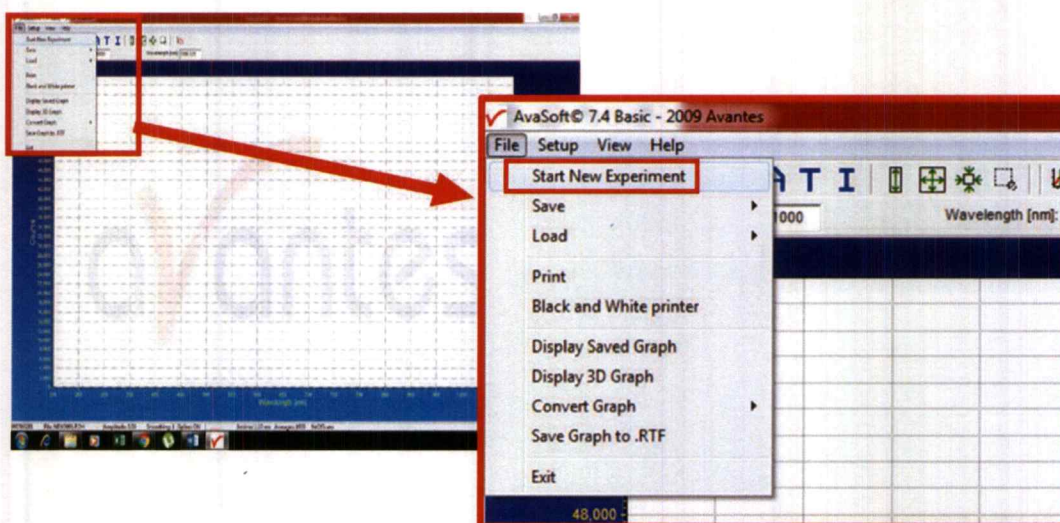
2. ต่อสาย USB จากเครื่องสเปกโตรมิเตอร์เข้ากับคอมพิวเตอร์ โดยสาย USB จะต่อทางด้านหลังของเครื่องสเปกโตรมิเตอร์



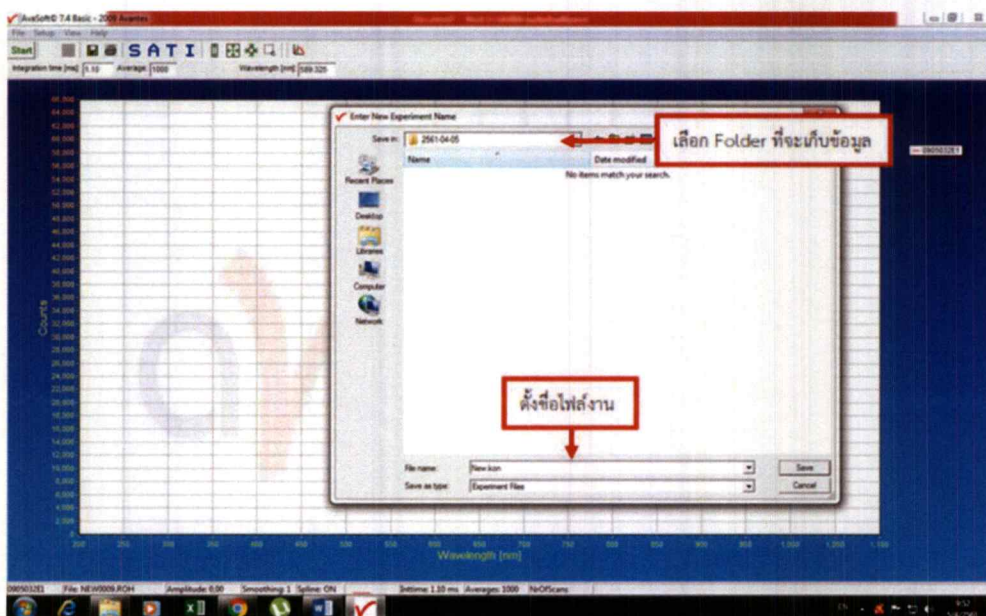
3.เปิดโปรแกรม AvaSoft 7.4



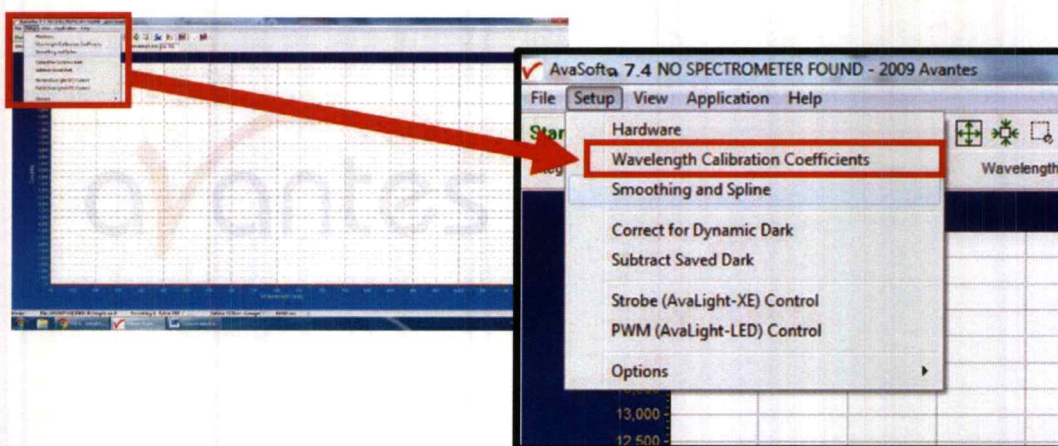
4.ตั้งค่าเครื่องก่อนโดยการคลิก file > Start New Experiment



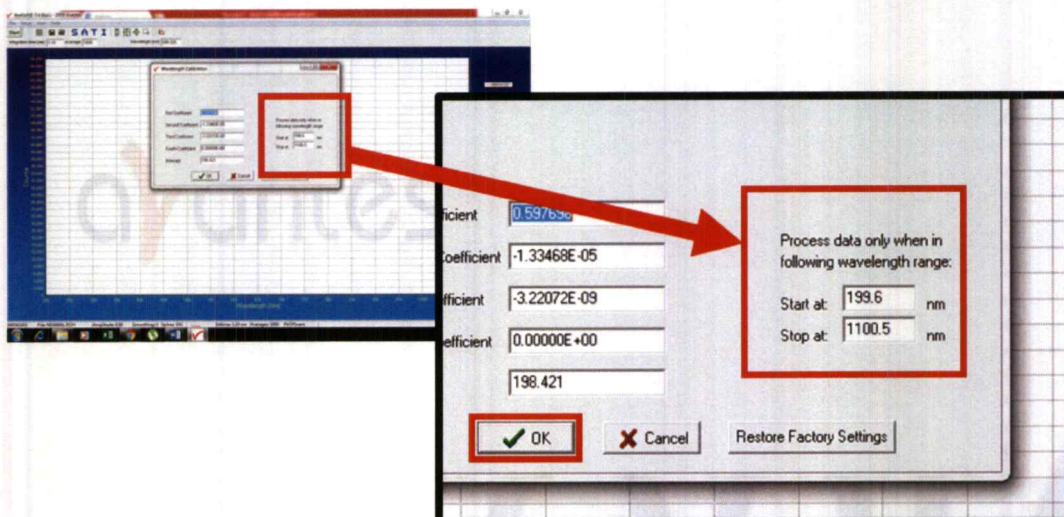
5.เลือก Folder ที่สร้างไว้ในข้อที่ 1 > ตั้งชื่อ File งาน > กด Save



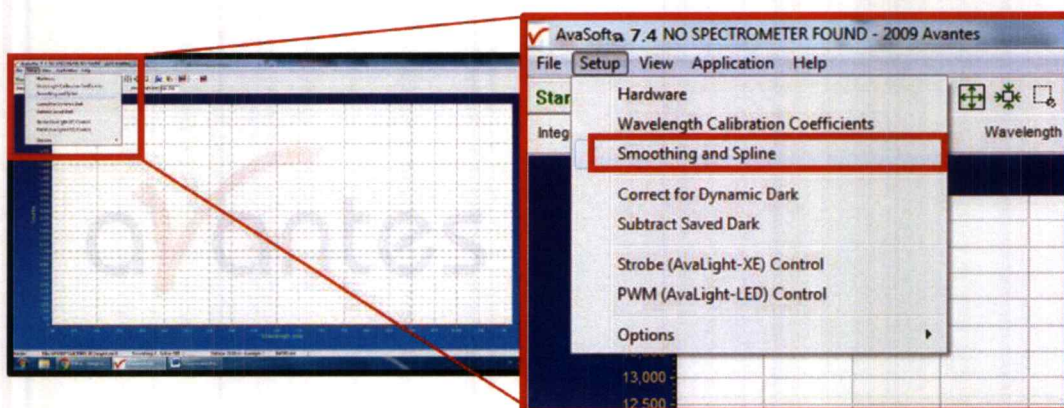
6.กด Setup > Wavelength Calibration Coefficients



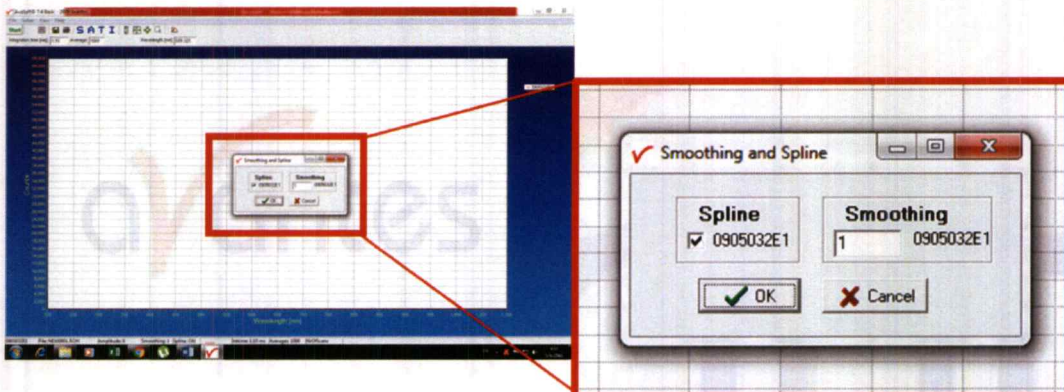
7. ตั้งช่วงวัดประมาณ 200-1100 nm > กด OK



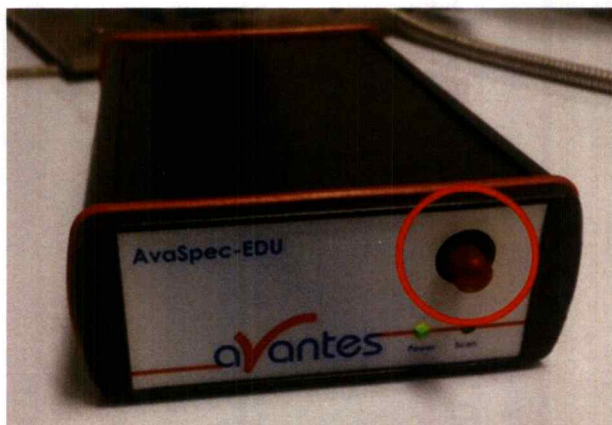
8. กด Setup > Smoothing and Spline



9. ตั้งค่าดังรูป > กด OK

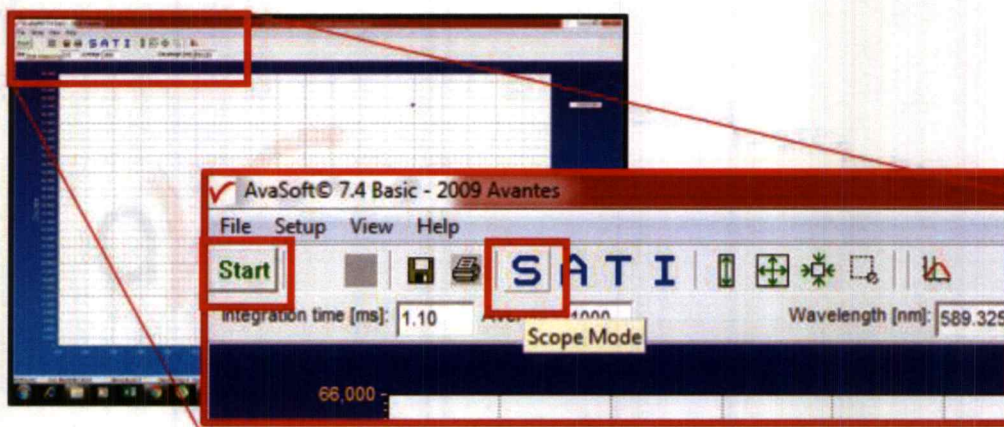


10. ในขณะที่เครื่องปิดรับแสงอยู่ให้เราทำการวัด Dark ในขั้นตอนต่อไป

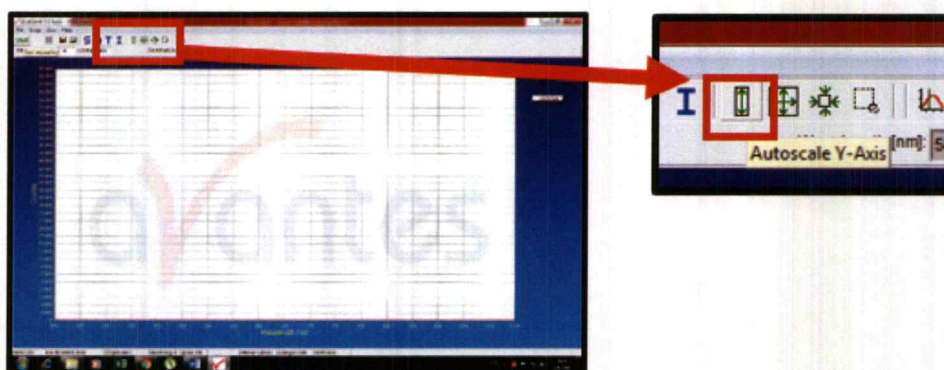


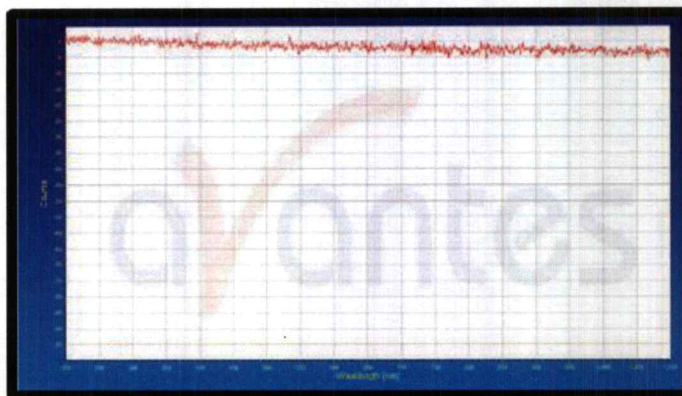
3.1.2. การวัด Dark

1. กด Start > กดปุ่ม S (Scope Mode)



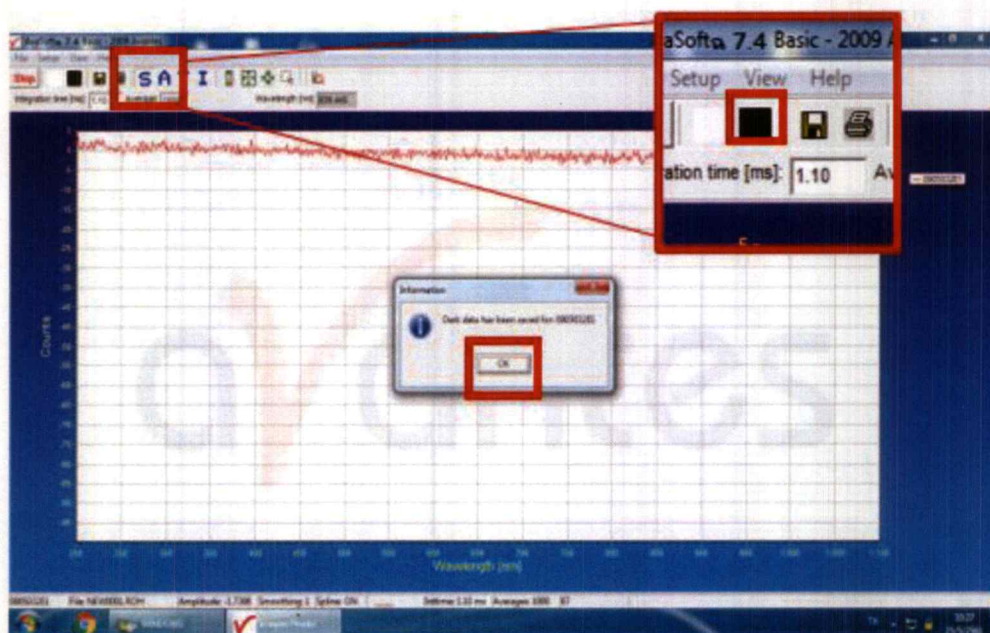
2. กดปุ่ม Autoscale Y-Axis จะขึ้นเส้นกราฟสีแดงมีความเป็นเส้นตรงเนื่องจากไม่มีสเปกตรัมแสง



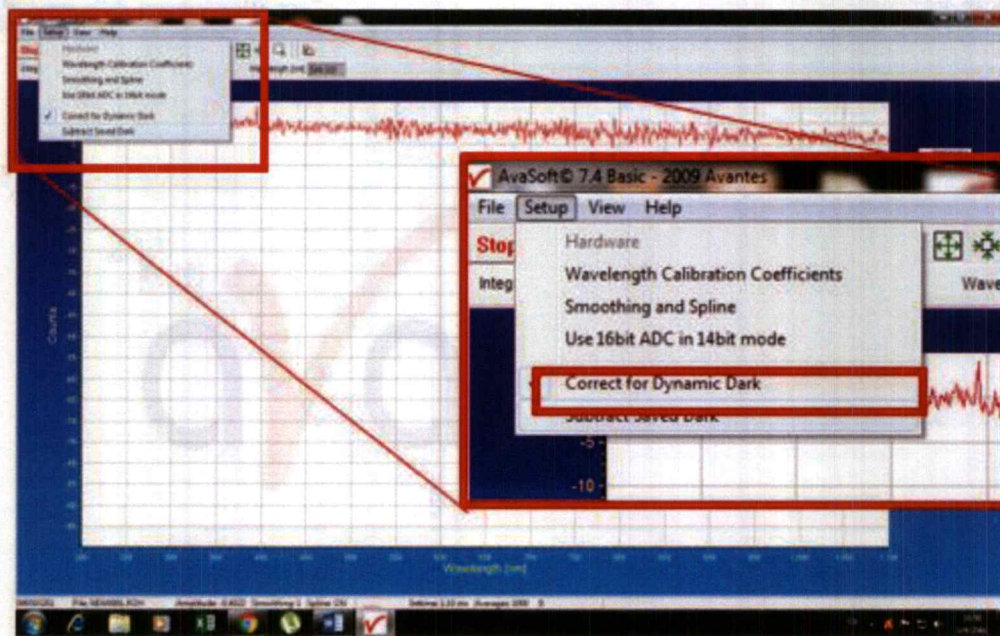


กราฟที่ได้ >>

3. กด Save Dark (สีเหลี่ยมสีดำ) > กดปุ่ม OK



4. คลิก Setup > Subtract Saved Dark



3.1.3 ขั้นตอนการวัดค่า

3.1.3.1. การวัดสเปกตรัมแสงทั่วไป

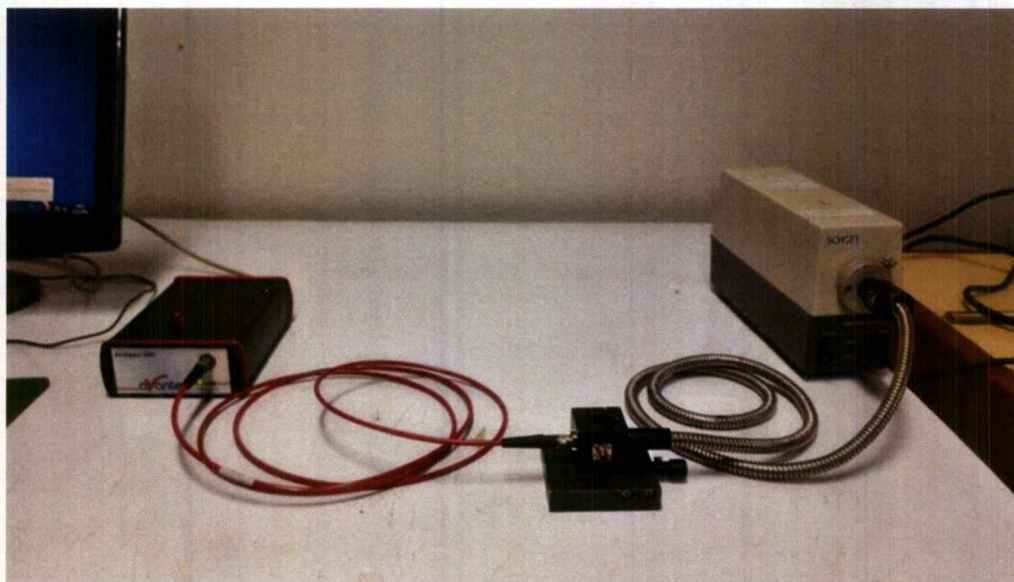
คือต้องการวัดความยาวคลื่นแสงหรือวัดการเปล่งแสงต้องทำการวัดด้วยโหมด S

1. ต่อสายไฟเบอร์เข้ากับรูรับแสงของเครื่องสเปกโตรมิเตอร์

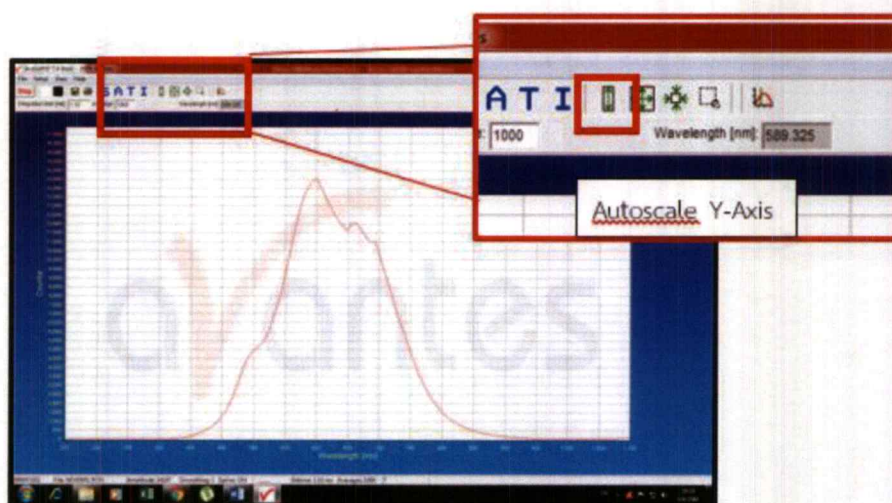
โปรตระมิตระวังในการต่อสายไฟเบอร์



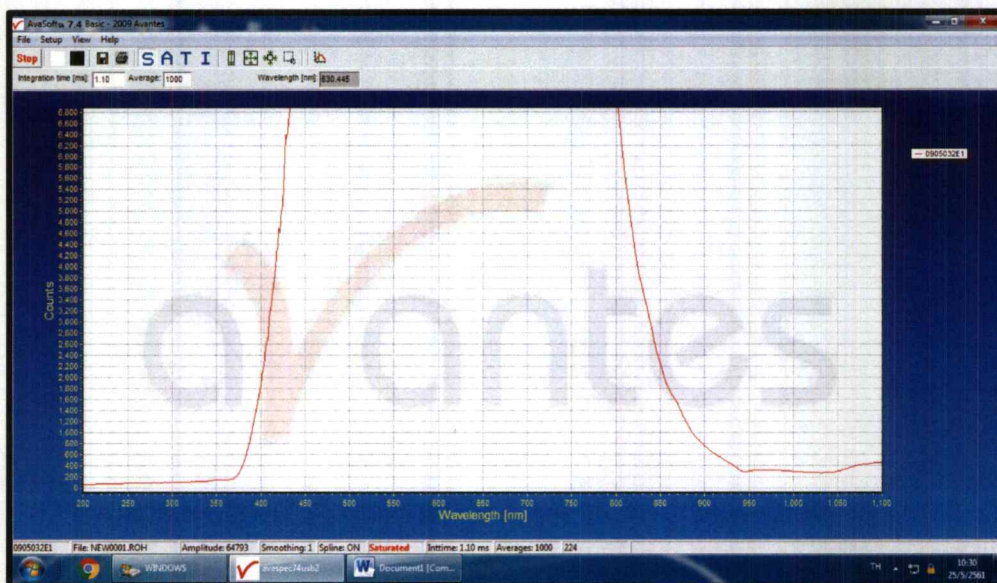
2. สายไฟเบอร์อีกด้านหนึ่งต่อเข้ากับแสงที่เราต้องการวัด (ตัวอย่างการวัดสเปกตรัมแสงของหลอดทั้งสแตน) โปรตระมิตระวังในการต่อสายไฟเบอร์



3. จะได้สเปกตรัมแสงตามรูป แกน X คือความยาวคลื่น (nm) แกน Y คือค่าความเข้ม (a.u.)
 *** ถ้าไม่ขึ้นดังรูปให้กด Autoscale Y-Axis

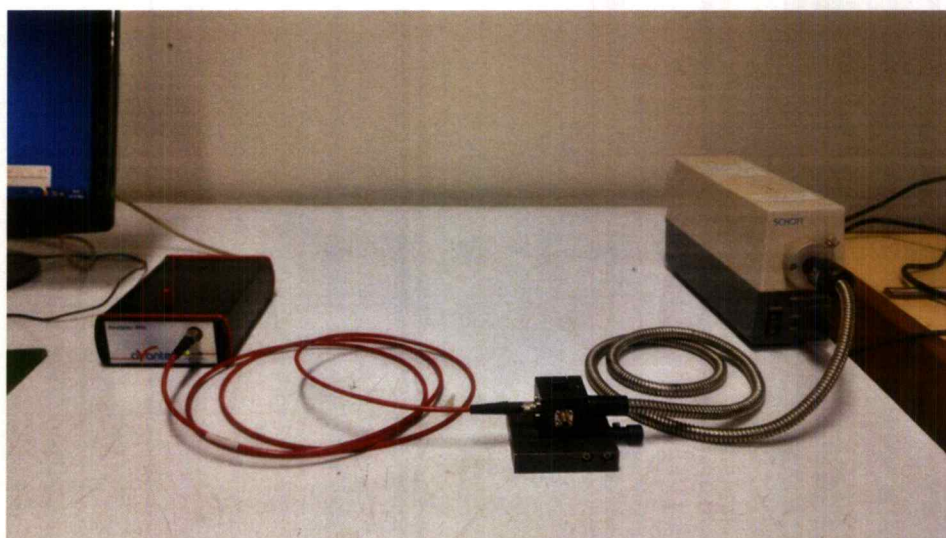


4. ห้ามให้แสงมีความเข้มมากเกินไปจะทำให้เกิดการ **Saturated** จะทำให้เครื่องฟังได้แก้ไขโดยการปรับความเข้มแสงลดน้อยลงหรือให้ระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดแสงกับสายไฟเบอร์ที่ต่อกับเครื่องสเปกโตรมิเตอร์มีระยะห่างกันมากขึ้น

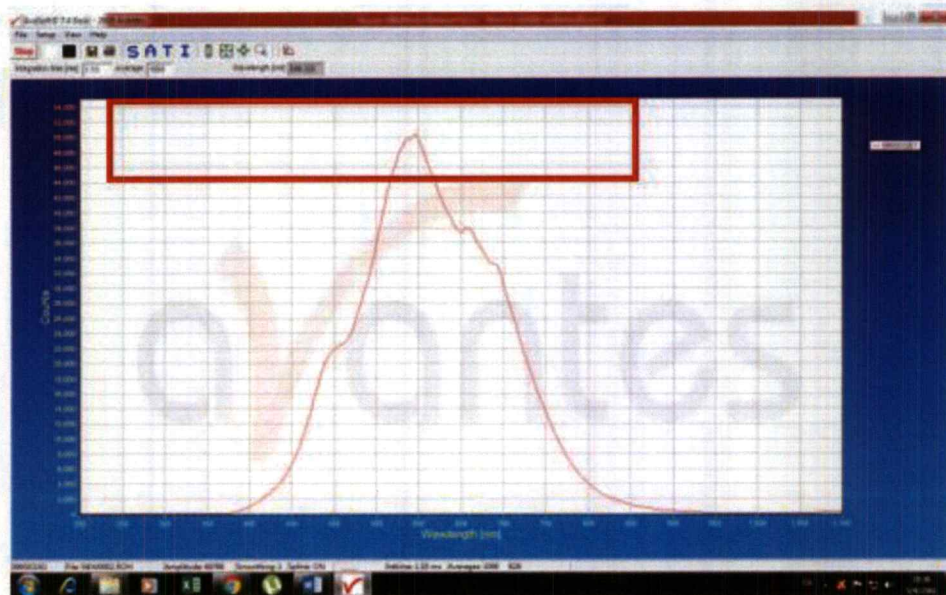


3.1.2.2 การวัดการดูดกลืน ตั้งค่าเครื่องปกติตามหัวข้อ 3.1.1 ในข้อ 1- 9

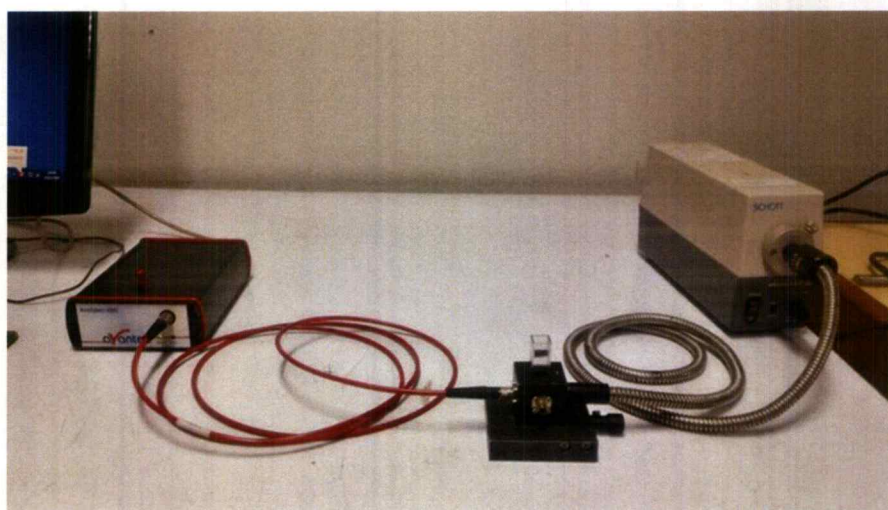
1. จัดอุปกรณ์ให้เหมาะสมกับการวัดแสงขาวสำหรับการวัดการดูดกลืนแสงของสารละลาย



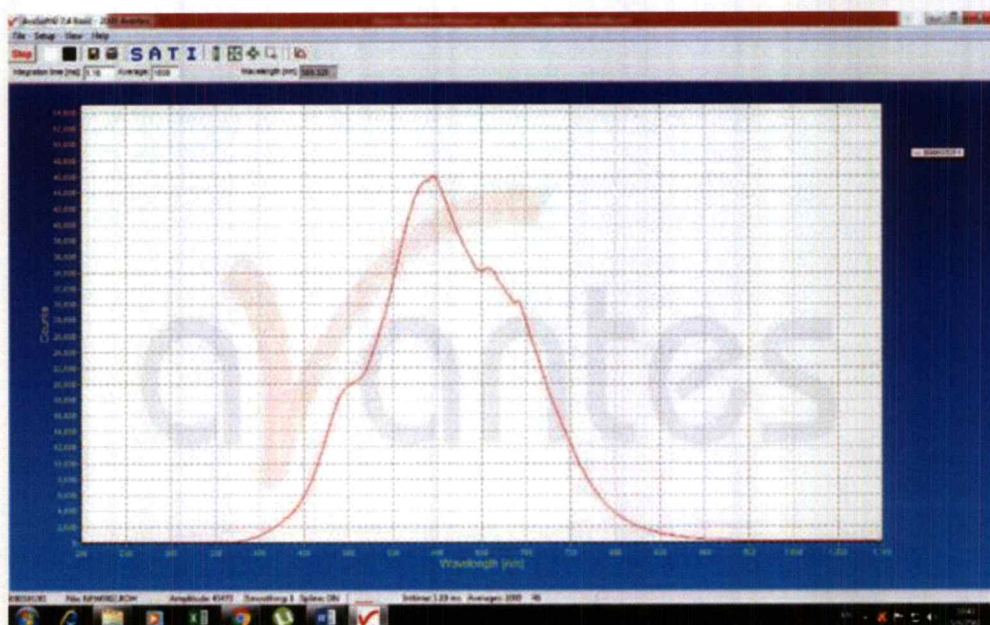
2. กดปุ่ม Start > ทำการวัดแสงขาว กดปุ่ม S (Scope Mode)
แสงขาวในการทดลองคือหลอดไฟทั้งสแตน ปรับให้มีความเข้มสูงสุดประมาณ 50000 (ดูที่แกน Y) ระวังอย่าให้แสงมีความเข้มมากเกินไปจนเกิดการ **Saturated** ที่กล่าวไว้ในข้อที่ 10.4



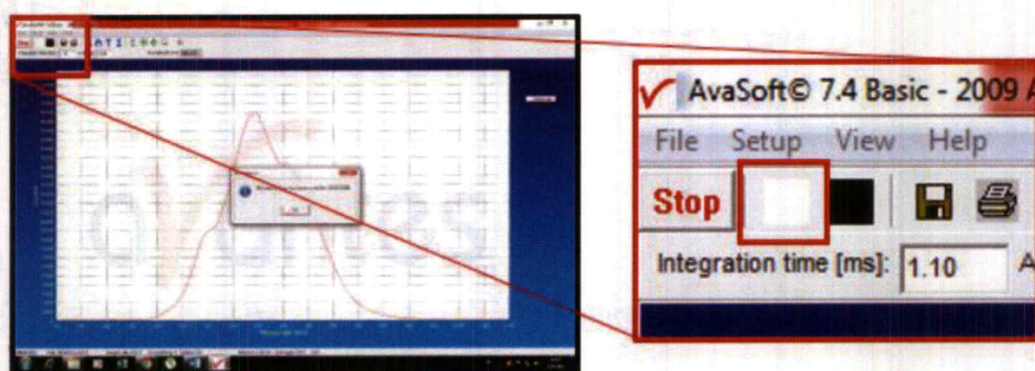
4. นำเอทานอลมาวัด blank



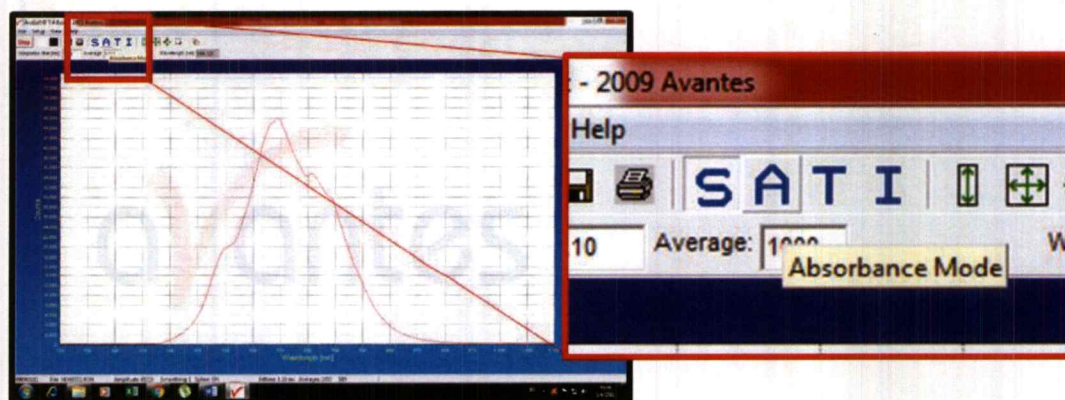
สังเกตได้ว่าเมื่อวัด blank ความเข้มของสเปกตรัมจะเปลี่ยนไป



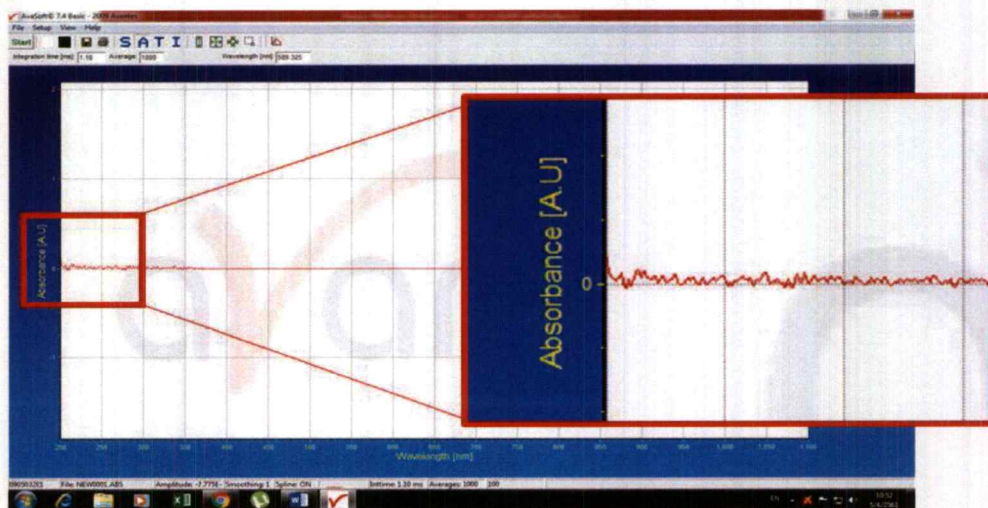
5. คลิก Save Reference (รูปสี่เหลี่ยมสีขาว) คลิก OK



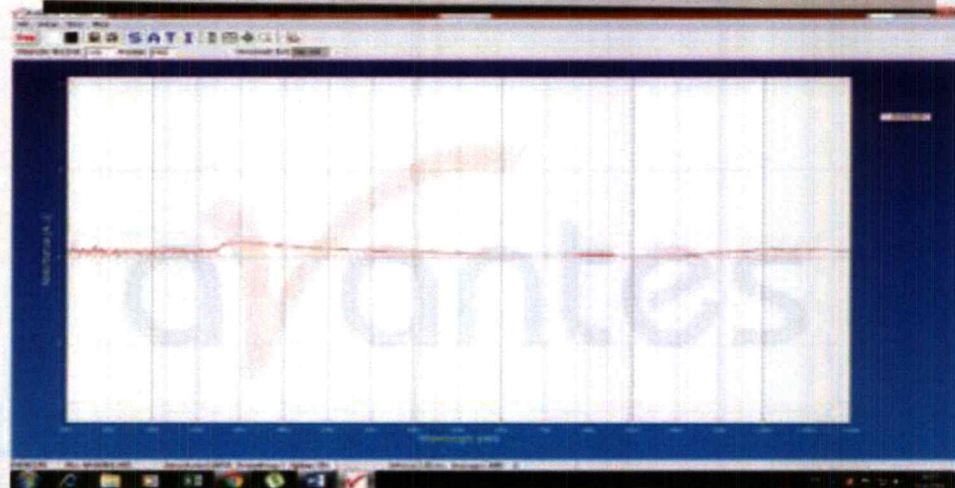
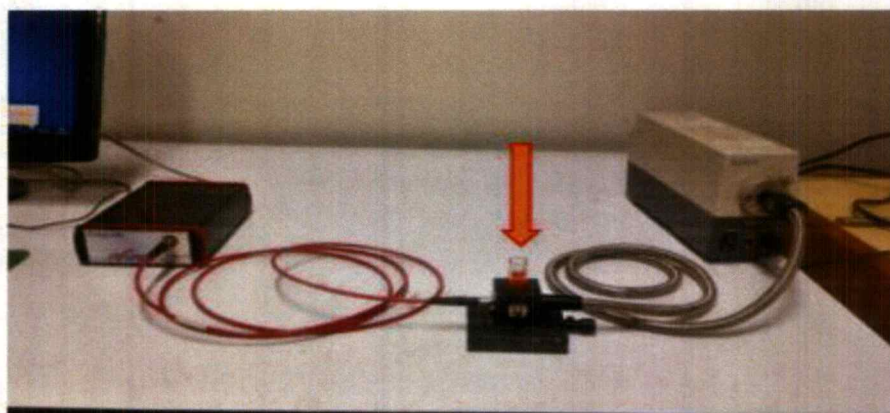
6. คลิกโหมด A (Absorbance Mode)



7. จะได้สเปกตรัมที่มีค่าความเข้มเป็น 0

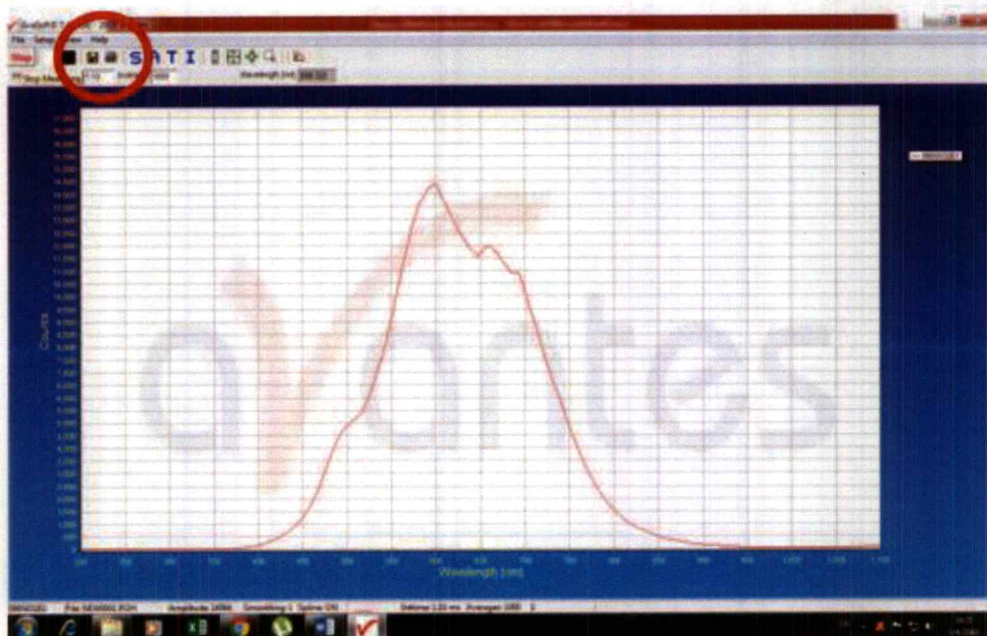


8. นำตัวอย่างที่เราต้องการวัดไปวัดได้เลย โดยใส่แทน blank จากนั้นสเปกตรัมจะเพิ่มขึ้นมา

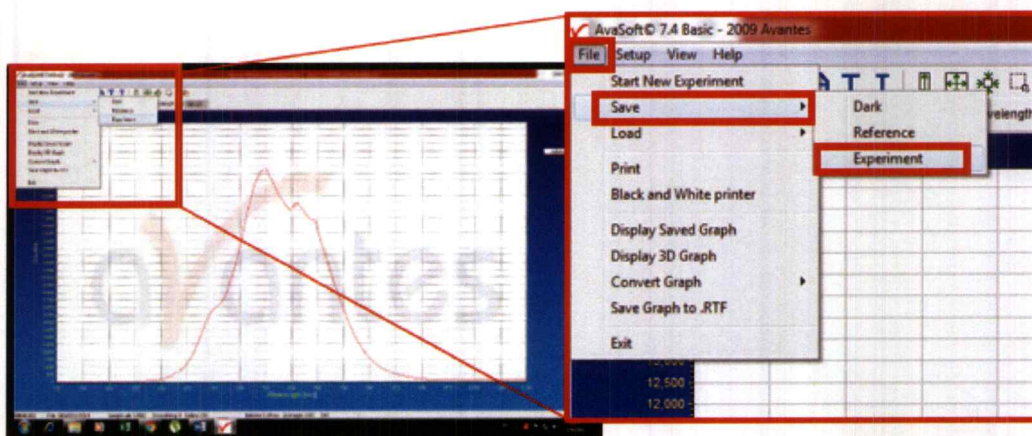


3.1.3. การ Save งาน

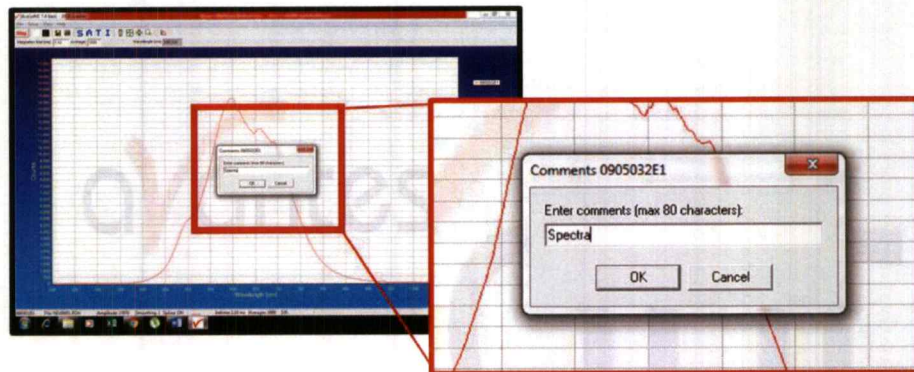
1. กด Stop



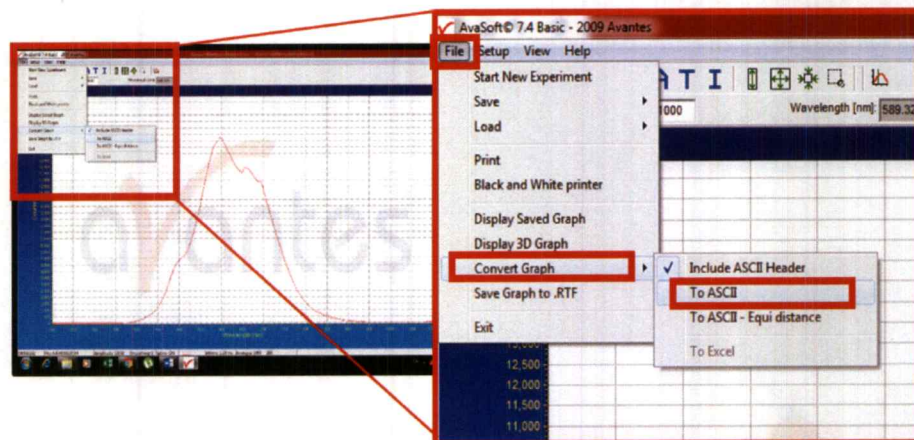
2. กด File > Save > Experiment



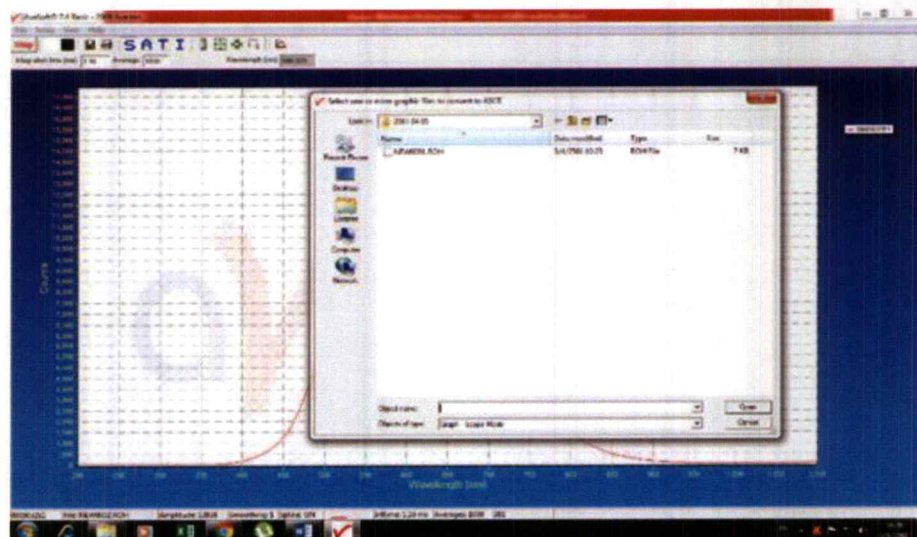
3. จะให้เราใส่ชื่อกราฟที่เราวัดได้ เช่น Spectra จากนั้น คลิก OK
 *** ไม่ใช่ชื่อ File



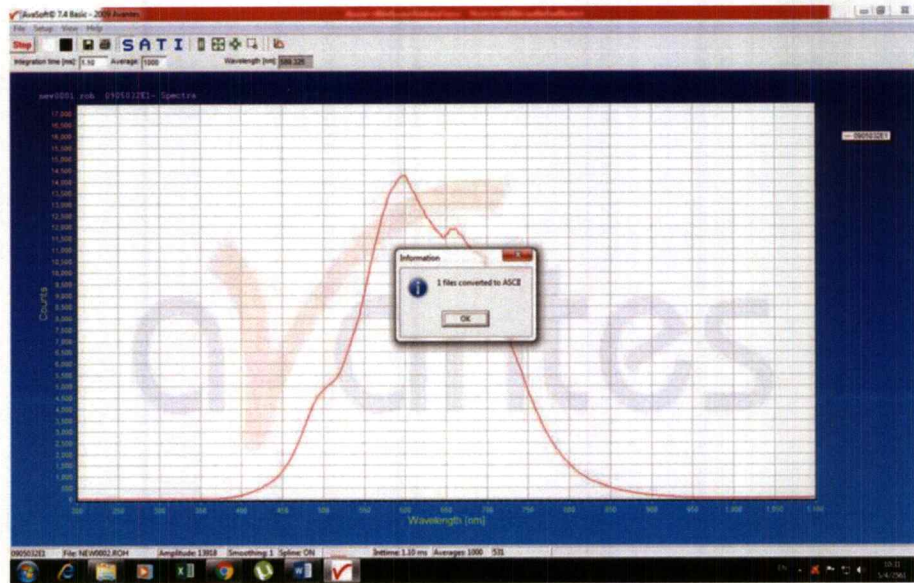
4. คลิก File > Convert Graph > To ASCII



5. จากนั้นให้เลือก Folder และชื่องานที่เราตั้งไว้ จากนั้นกดปุ่ม Open

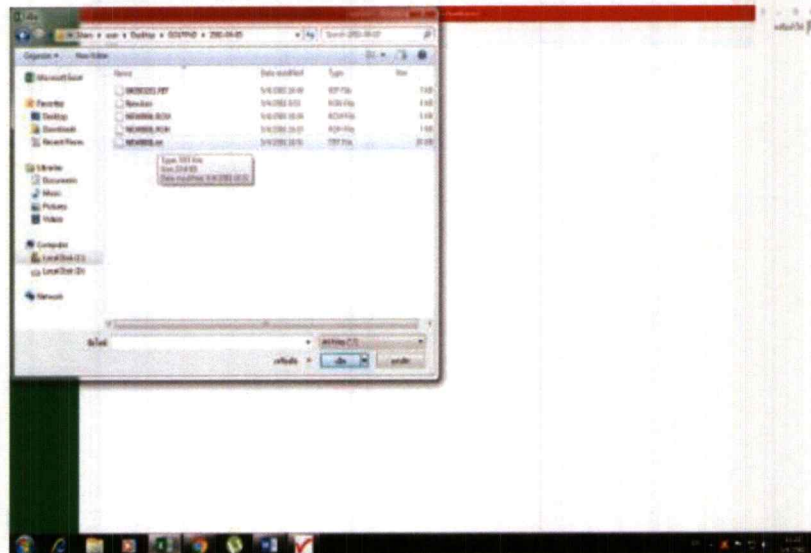


6. กดปุ่ม OK

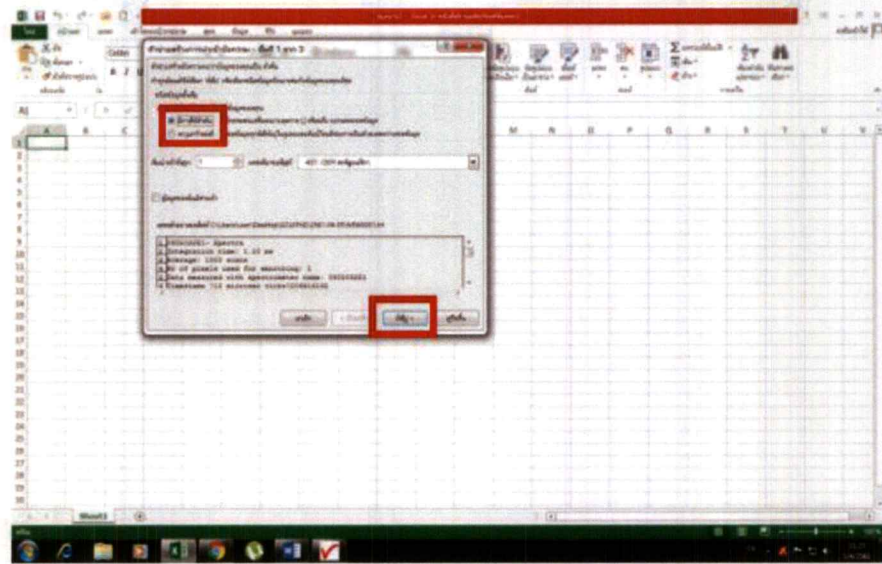


3.1.4 การเปิดไฟล์งานใน Excel

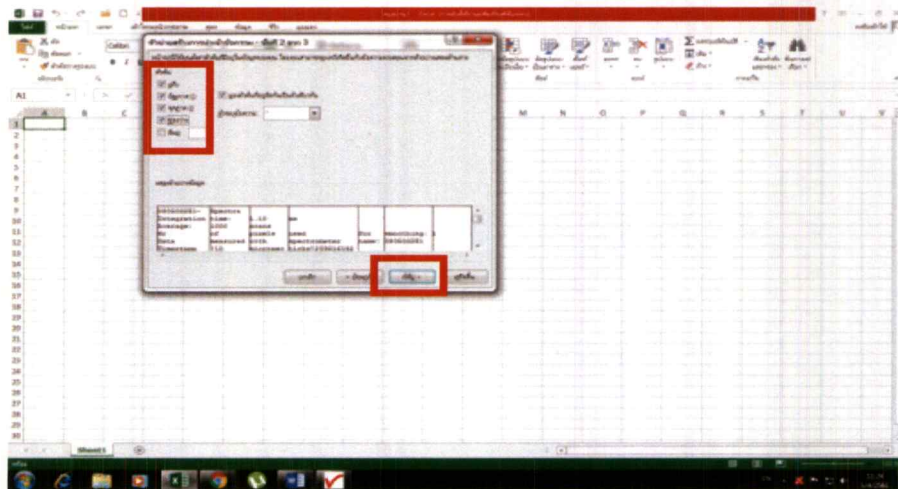
1. เปิดโปรแกรม Excel จากนั้นกด file > Open จากนั้นเลือก Folder ที่เราเซฟงานไว้ตั้งแต่ตอนแรก (ข้อ1) เลือก All files จากนั้นเลือกไฟล์ที่เราเซฟไว้ ส่วนใหญ่ไฟล์จะเป็น .trt



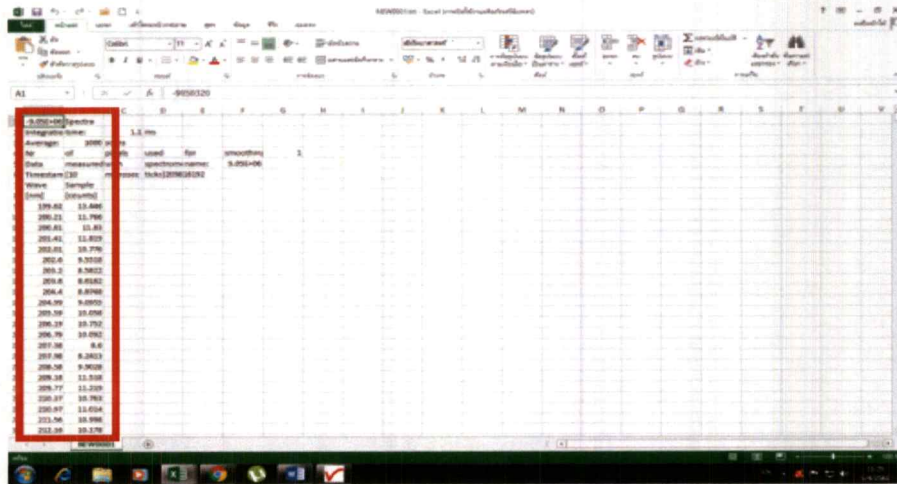
2. พอเปิดไฟล์มาจะขึ้นดังรูป ให้เราเลือก มีการตั้งค่าเริ่มต้น (เลือกอันบนอันเดียว) กดถัดไป



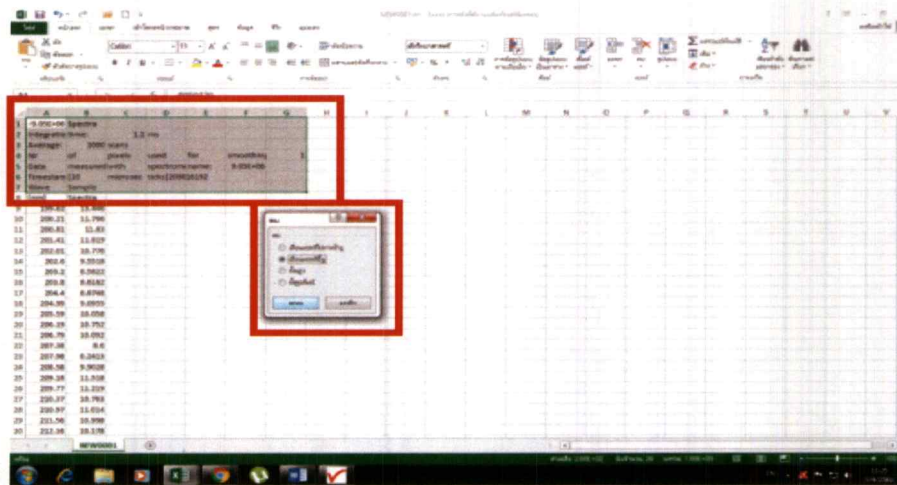
3. เลือกข้อมูลดังรูปภาพ จะเลือก 4 อันบน จากนั้นกดเสร็จสิ้นหรือ finish



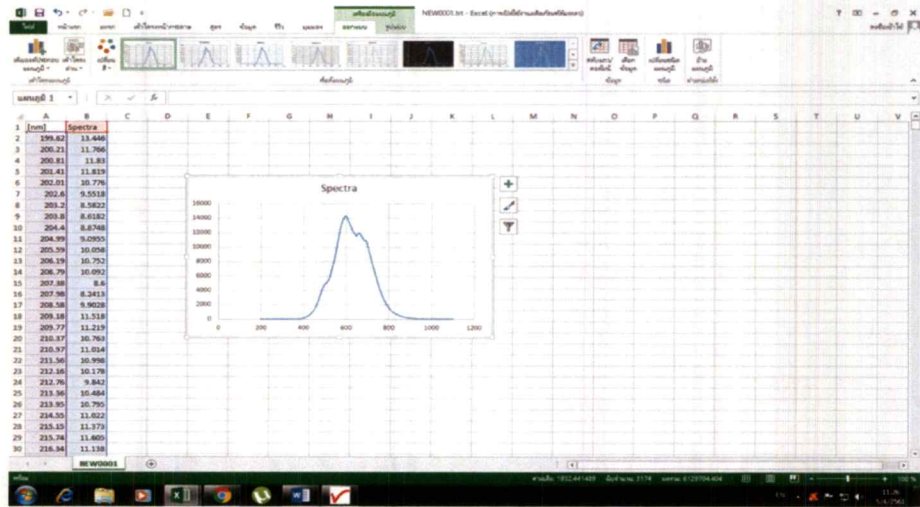
2. การวัดสเปกตรัมแสงจะมี 2 คอลัมน์ ช่อง A คือค่าความยาวคลื่น ช่อง B คือ ความเข้มแสง



3. ลบข้อความตัวอักษรที่เราไม่ได้ใช้ออก โดยการคลุมทั้งหมด แล้วคลิกเมาท์ข้างขวา เลือก ลบ เลือกเลื่อนเซลล์ขึ้น เลือกตกลง



6. จะได้คอลัม 2 คอลัม ก็พล็อตกราฟตามปกติ จัดแต่งแกนกราฟให้เกิดความเหมาะสม

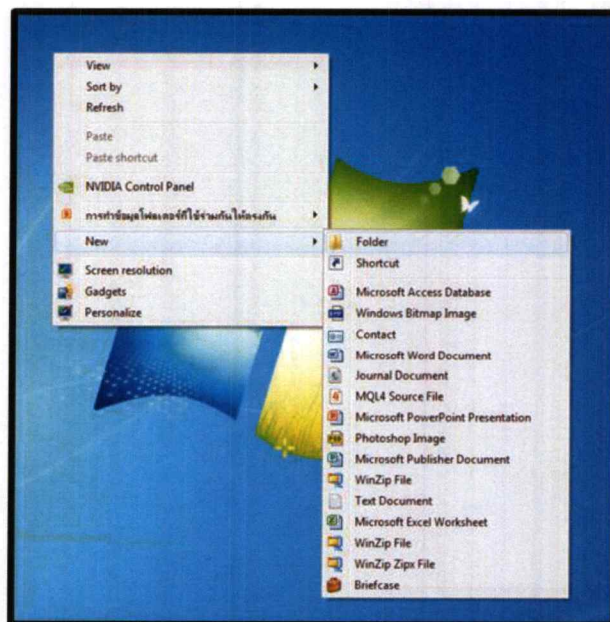


1.2 โปรแกรม Avasoft 8



3.2.1 ขั้นตอนการตั้งค่าโปรแกรม Avasoft 8

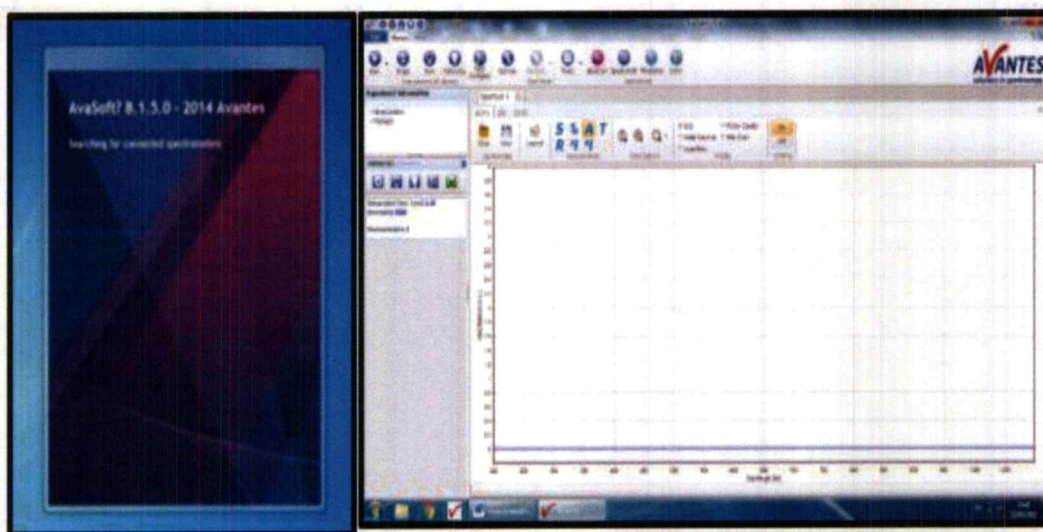
1.สร้าง Folder ที่ต้องการเก็บข้อมูล และเปลี่ยนชื่อ Folder ตามต้องการ



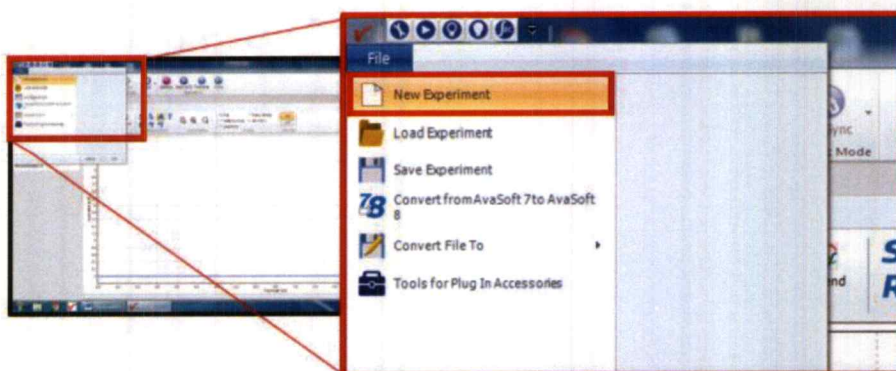
2.ต่อสาย USB จากเครื่องสเปกโตรมิเตอร์เข้ากับคอมพิวเตอร์ โดยสาย USB จะต่อทางด้านหลังของเครื่องสเปกโตรมิเตอร์



3.เปิดโปรแกรม Avasoft 8

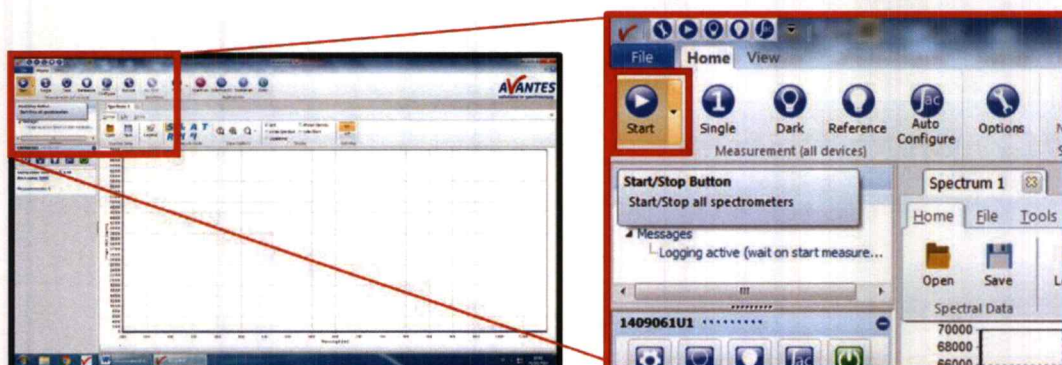


3.กด File > New Experiment > ตั้งชื่อ File งานที่ต้องการ > save

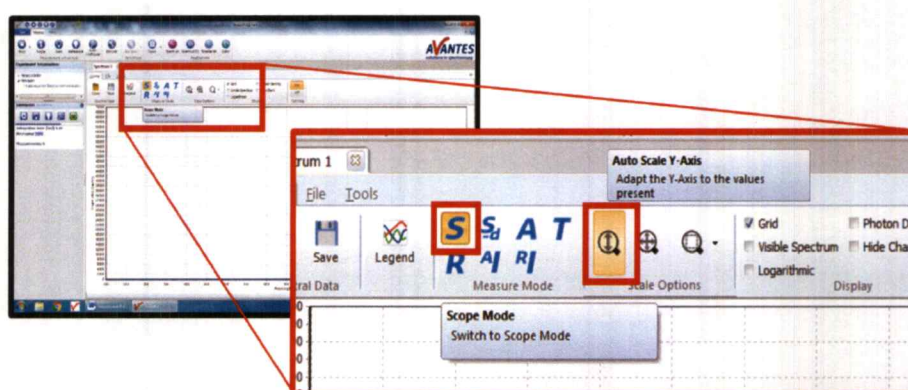


3.2.2. การวัด Dark

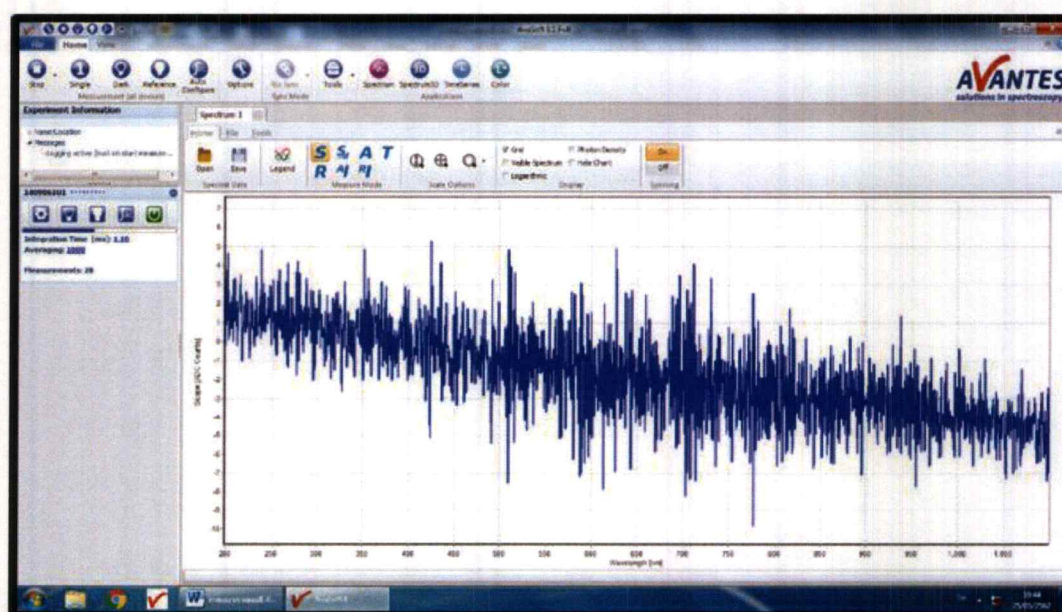
1. กดปุ่ม Start



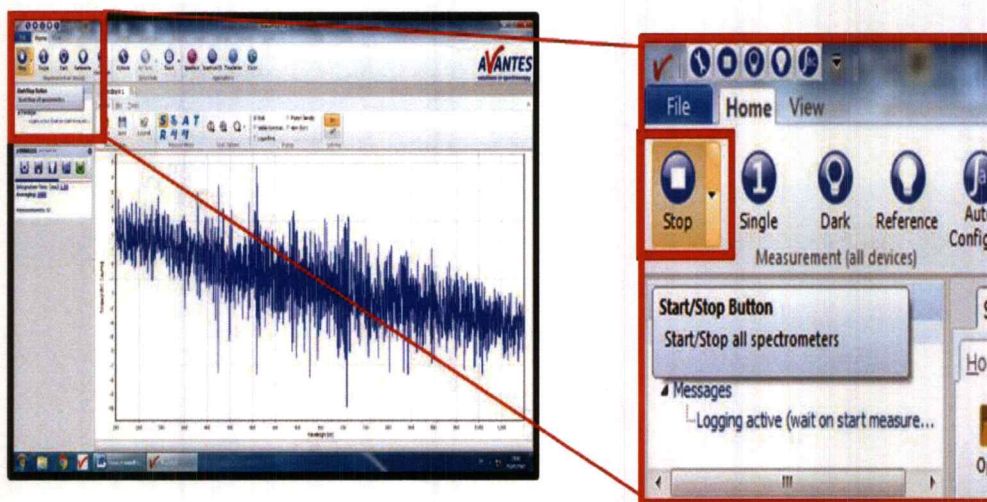
2. กดปุ่ม S (Scope Mode) > กดปุ่ม Auto Scale Y-Axis



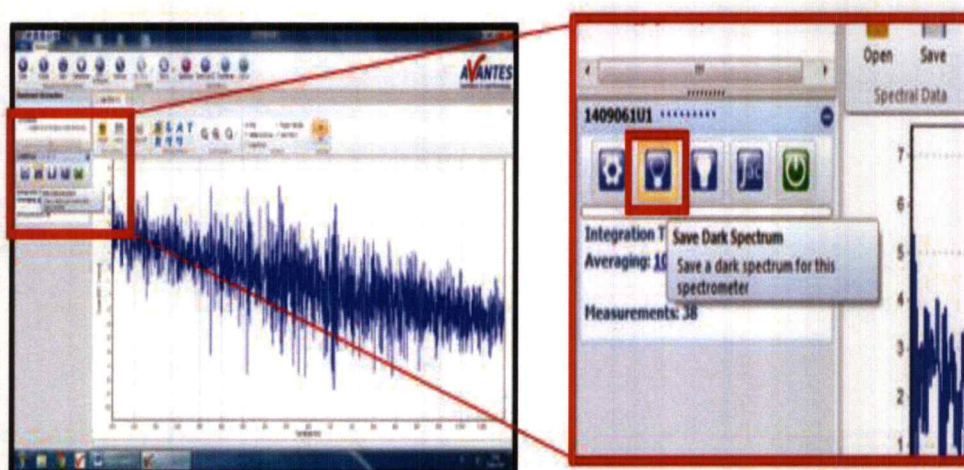
จะได้กราฟของการวัด Dark ดังรูป



3. กดปุ่ม Stop



4. กดปุ่มหลอดไฟสีน้ำเงิน (Save Dark Spectrum) เพื่อ Save ค่า Dark **ค่าที่ Save จะอยู่ใน Folder ที่สร้างในขั้นตอนที่ 1.

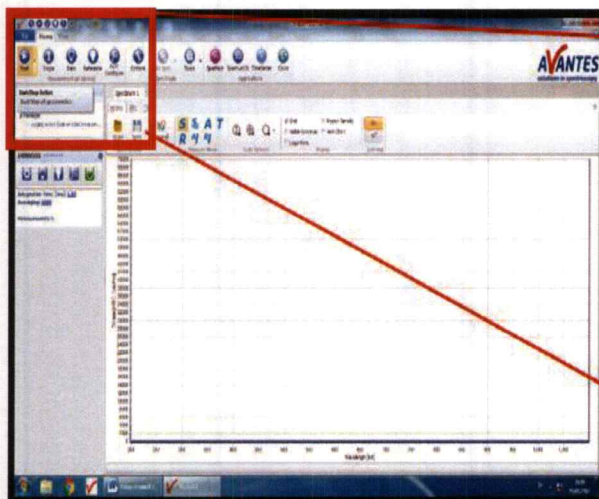


3.2.3 ขั้นตอนการวัดค่า Fluorescence โดย Avasoft 8

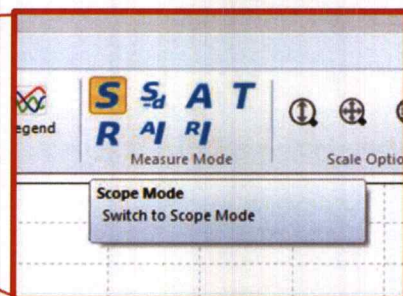
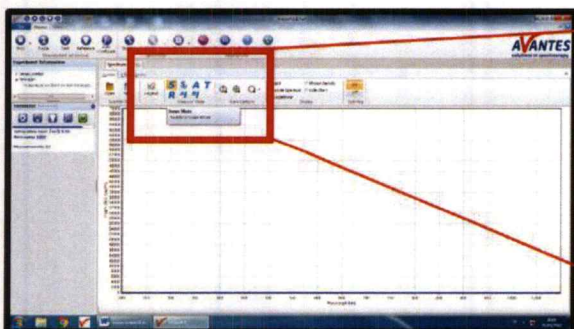
1. ถอดปลอกสีดำที่ปิดรูรับแสงออก และนำสายไฟเบอร์มาต่อเข้ากับรูรับแสงของเครื่องสเปกโตรมิเตอร์**โปรดระมัดระวังในการต่อสายไฟเบอร์



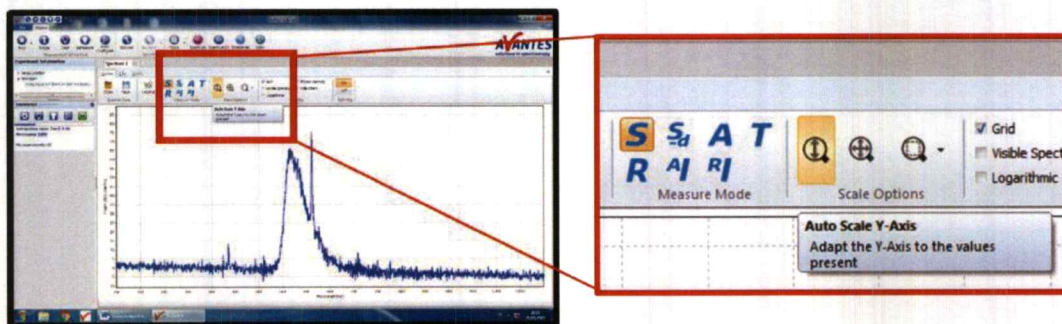
2. กดปุ่ม Start



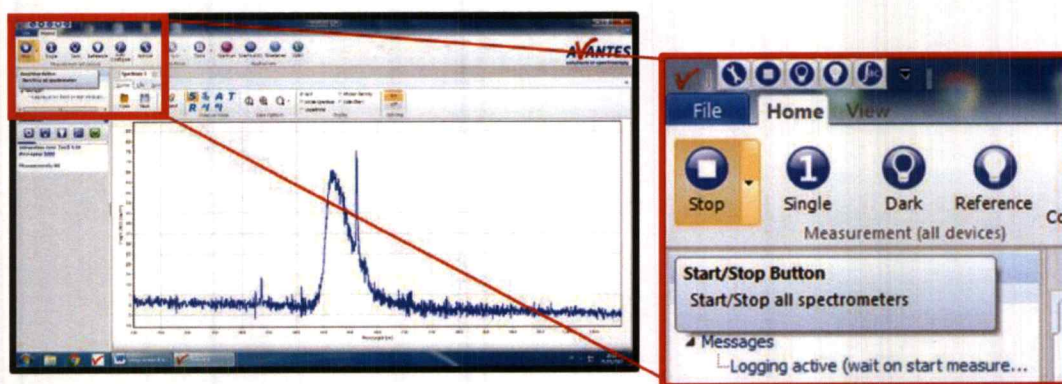
3. กดปุ่ม S (Scope Mode)



4. กดปุ่ม Auto Scale Y-Axis

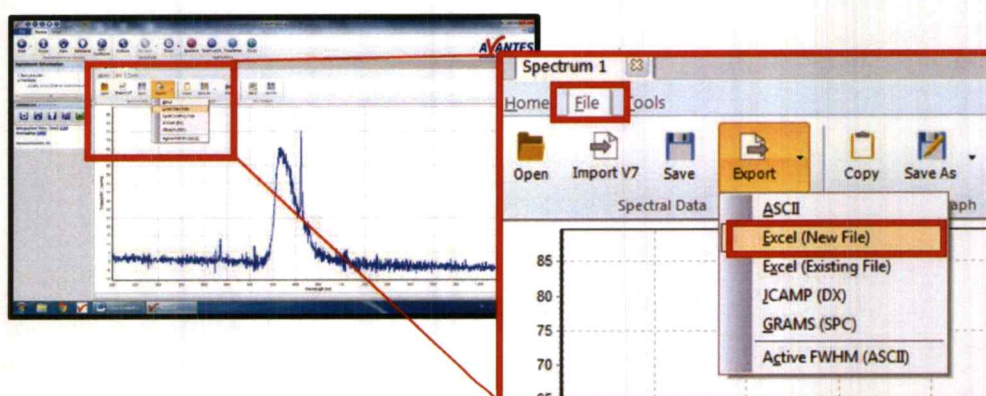


5. กดปุ่ม Stop



3.2.4 ขั้นตอนการ Save ค่าที่วัดได้จาก Avasoft 8

1. กดปุ่ม File > Export > Excel (New File)



2. จะได้ไฟล์งานเป็นไฟล์ของ Excel สามารถนำค่าไปแปลงเป็นกราฟหรือวิเคราะห์ค่าด้วย Excel

