# คุณสมบัติทางแสงของอนุภาคนาโนทองคำเจือด้วยสีย้อม

# OPTICAL PROPERTIES OF DYE-DOPED Au NANOSTRUCTURES

นางสาวภรณ์ทิพวรรณ นุชโสภา
นางสาวรัชฎาพร รองโสภา
นางสาวลลิตา ฤทธิ์สอาด

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2558

# คุณสมบัติทางแสงของอนุภาคนาโนทองคำเจือด้วยสีย้อม
# OPTICAL PROPERTIES OF DYE-DOPED Au NANOSTRUCTURES

นางสาวภรณ์ทิพวรรณ นุชโสภา
นางสาวรัชฎาพร รองโสภา
นางสาวลลิตา ฤทธิ์สอาด

b.0026514
i.
TB00121

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต(ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# OPTICAL PROPERTIES OF DYE-DOPED Au NANOSTRUCTURES

PHONTHIPPHAWAN NUCHSOPA
RATCHADAPON RONGSOPA
LAHLITA RITSA-ARD

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE
(APPLIED PHYSICS)
DEPARTMENT OF PHYSICS, FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2015

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|---|---|
| **หัวข้อโครงงานพิเศษ** | คุณสมบัติทางแสงของอนุภาคนาโนทองคำเจือด้วยสีย้อม<br>Optical Properties of Dye-Doped Au Nanostructures |
| **ชื่อนักศึกษา** | นางสาวภรณ์ทิพวรรณ นุชโสภา รหัสนักศึกษา 55051574<br>นางสาวรัชฎาพร รองโสภา รหัสนักศึกษา 55051592<br>นางสาวลลิตา ฤทธิ์สอาด รหัสนักศึกษา 55051599 |
| **ปริญญา** | วิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์) |
| **ภาควิชา** | ฟิสิกส์ |
| **ปีการศึกษา** | 2558 |
| **อาจารย์ที่ปรึกษา** | ผศ.ดร.กฤษกร โล้เจริญรัตน์ |

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์) ประจำปีการศึกษา 2558

| คณะกรรมการสอบ | ลายมือชื่อ |
|---|---|
| ผศ.ดร.ภัทรียา ดำรงศักดิ์<br>ประธานกรรมการ | |
| ดร.อาภาภรณ์ สกุลการะเวก<br>กรรมการ | |
| ดร.พิศาล สุขวิสูตร<br>กรรมการ | |
| ผศ.ดร.กฤษกร โล้เจริญรัตน์<br>กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา | |

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**หัวข้อโครงงานพิเศษ** คุณสมบัติทางแสงของอนุภาคนาโนทองคำเจือด้วยสีย้อม
**ชื่อนักศึกษา** นางสาวภรณ์ทิพวรรณ นุชโสภา รหัสนักศึกษา 55051574
นางสาวรัชฎาพร รองโสภา รหัสนักศึกษา 55051592
นางสาวลลิตา ฤทธิ์สอาด รหัสนักศึกษา 55051599
**ปริญญา** วิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)
**ภาควิชา** ฟิสิกส์
**คณะ** วิทยาศาสตร์
**มหาวิทยาลัย** สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)
**ปีการศึกษา** 2558
**อาจารย์ที่ปรึกษา** ผศ.ดร.กฤษกร โล้เจริญรัตน์

## บทคัดย่อ

โครงงานพิเศษนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมบัติทางแสงของวัสดุทองร่วมกับสีย้อม Rhodamine 6G ในรูปของสารละลายและฟิล์มบาง โดยเตรียมสารละลาย Au และ R6G ที่ความเข้มข้นต่างๆ ในส่วนการเตรียมฟิล์มบางจะใช้แม่พิมพ์ที่ทำขึ้นเอง ซึ่งจะได้แผ่นฟิล์มบางที่มีความหนาประมาณ 1 มิลลิเมตร การศึกษาสมบัติทางแสงของสารตัวอย่างทั้งในรูปของสารละลายและฟิล์มบางจะวัดได้โดยเครื่อง UV-VIS spectrometer พบว่า สารละลาย Au ความเข้มข้น $2.1 \times 10^{3}$ M ต่อสารละลาย Rhodamine 6G ความเข้มข้น 1 M ให้ค่า Fluorescence Enhancement Ratio ที่สูงสุด จึงเป็นเงื่อนไขของความเข้มข้นที่เหมาะสมที่สุดของ Au ที่มีต่อ R6G ซึ่งเกิดขึ้นมาจากการถ่ายเทอิเล็กตรอนอิสระได้ดีที่สุดจาก Au ไปยังชั้นระดับพลังงานต่ำสุดที่ไม่มีอิเล็กตรอนอยู่ของ R6G

**คำสำคัญ** : ทองคำ, ฟลูออเรสเซนต์, สีย้อมR6G

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|---|---|
| **Title** | Optical Properties of Dye-Doped Au Nanostructures |
| **Students** | Miss Phonthipphawan Nuchsopa Student ID 55051574 |
| | Miss Ratchadapon Rongsopa Student ID 55051592 |
| | Miss Lahlita Ritsa-ard Student ID 55051599 |
| **Degree** | Bachelor of Science (Applied Physics) |
| **Department** | Physics |
| **Faculty** | Science |
| **University** | King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL) |
| **Academic Year** | 2015 |
| **Advisor** | Asst. Prof. Dr. Kitsakorn Locharoenrat |


## Abstract


This project aims to study the optical properties of Gold with Rhodamine 6G in the formations of a solutions and thin films. The Au and R6G solutions were mixed with different concentrations. For preparation of the thin films using our own home-made mold, we obtain the sample with thickness of about 1 millimeter. The optical properties of the samples in the formations of solutions and thin films were measured by a UV-VIS spectrometer. It is found that Au solution at concentration of $2.1 \times 10^{3}$ M and the solution of Rhodamine 6G at concentration of 1 M offers the optimized fluorescence enhancement. This dominance is attributed to the free electron transfer from Au to the lowest unoccupied molecular orbital of R6G


**Keywords** : Gold, Fluorescence, Rhodamine 6G

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# กิตติกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องมาจากความกรุณาและความร่วมมือของทุกๆท่าน ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.กฤษกร โล้เจริญรัตน์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานพิเศษ ที่ให้คำปรึกษาดูแลอย่างใกล้ชิด และให้ความช่วยเหลือแนะนำที่ดีในการปรับปรุงข้อบกพร่องในการทำโครงงานพิเศษ

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ภัทรียา กิตติเดชาชาญ ที่ให้ความอนุเคราะห์ห้องปฏิบัติการทดลองและอุปกรณ์ในการทดลองทั้งหมด

ขอขอบพระคุณ นางสาวณิชากร บูลพิภพอนันต์ ที่ให้ความความช่วยเหลือและคำแนะนำในการทดลอง

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ บิดา มารดา และบุคคลในครอบครัวที่ให้การศึกษา การอบรมเลี้ยงดู ช่วยเหลือในทุกๆด้าน รวมทั้งเพื่อนๆพี่น้อง ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ผู้จัดทำโครงงานขอขอบคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

นางสาวภรณ์ทิพวรรณ นุชโสภา
นางสาวรัชฎาพร รองโสภา
นางสาวลลิตา ฤทธิ์สอาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ


| | หน้า |
|---|---|
| บทคัดย่อภาษาไทย | ก |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ | ข |
| กิตติกรรมประกาศ | ค |
| สารบัญ | ง |
| สารบัญตาราง | ช |
| สารบัญรูป | ซ |
| คำย่อ/สัญลักษณ์ | ญ |
| **บทที่ 1 บทนำ** | |
| 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย | 2 |
| 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย | 2 |
| 1.4 วิธีการดำเนินงาน | 2 |
| 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ | 2 |
| **บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง** | |
| 2.1 ฟิล์มบางลูมิเนสเซนต์ | 3 |
| 2.1.1 สารเรืองแสง | 3 |
| 2.1.2 วัสดุตัวกลาง | 4 |
| 2.1.3 กลไกการเรืองแสงของสารเรืองแสง | 5 |
| 2.1.4 กลไกการดูดกลืนแสงของสารเรืองแสง | 7 |
| 2.1.5 กฎแห่งการดูดกลืนแสง | 8 |
| 2.1.6 สเปกโตรมิเตอร์ (Spectrometer) | 9 |
| 2.2 สมบัติพื้นฐานของทองคำ (Au) | 11 |
| 2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง | 13 |
| **บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย** | |
| 3.1 เครื่องมือและระบบการวัดที่เกี่ยวข้องงานวิจัย | 14 |
| 3.1.1 แหล่งกำเนิดแสงจากหลอดไฟทังสเตน | 14 |
| 3.1.2 เส้นใยแก้วนำแสง | 14 |
| 3.1.3 เครื่องสเปกโตรมิเตอร์ | 15 |
| 3.1.4 อุปกรณ์จับยึดใยแก้วนำแสง | 16 |
| 3.1.5 ไดโอดเปล่งแสง | 17 |
| 3.2 การเตรียมแม่พิมพ์ | 18 |
| 3.2.1 วัสดุและอุปกรณ์ | 18 |


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ(ต่อ)


หน้า

3.2.2 ขั้นตอนในการทำแม่พิมพ์ 18

3.3 การจัดเตรียม R6G และ R6G+Au ในรูปของสารละลายและฟิล์มบาง 19

3.3.1 วัสดุและอุปกรณ์ในการทดลอง 19

3.3.2 ขั้นตอนในการเตรียมสารละลาย R6G ที่มีความเข้มข้นต่างๆ 19

3.3.3 ขั้นตอนในการเตรียม R6G+Au ในรูปของสารละลายและฟิล์มบาง 19

3.3.4 ขั้นตอนในการเตรียม R6G ในรูปของสารละลายและฟิล์มบาง 20

3.4 การศึกษาสมบัติทางแสงของ R6G และ R6G+Au ในรูปของสารละลายและฟิล์มบาง 22

3.4.1 การวัดสเปกตรัมการดูดกลืนแสง 22

3.4.2 การวัดสเปกตรัมลูมิเนสเซนต์ 23

**บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล**

4.1 ผลการศึกษาสมบัติทางแสงของสารละลาย Au, R6G และ การเลือก LED 24

4.1.1 ผลการศึกษาสมบัติการดูดกลืนแสงของสารละลาย Au 24

4.1.2 ผลการศึกษาสมบัติการดูดกลืนแสงของสารละลาย R6G 25

4.1.3 ผลการศึกษาสมบัติการปลดปล่อยแสงลูมิเนสเซนต์ของสารละลาย R6G 26

4.1.4 ผลการศึกษาสมบัติการดูดกลืนแสงของสารละลาย Au และการปลดปล่อยแสงลูมิเนสเซนต์ของสารละลาย R6G 27

4.1.5 การเลือกการกระตุ้นแสงด้วย LED 28

4.2 ผลการศึกษาสมบัติการปลดปล่อยแสงลูมิเนสเซนต์ของ R6G+Au 29

4.2.1 ผลการศึกษาสมบัติการปลดปล่อยแสงลูมิเนสเซนต์ของ R6G+Au ในรูปของสารละลาย 30

4.2.2 ผลการศึกษาสมบัติการปลดปล่อยแสงลูมิเนสเซนต์ R6G+Au ในรูปของฟิล์มบาง 35

4.3 เปรียบเทียบการศึกษา Fluorescence Enhancement ของ R6G+Au ในรูปของสารละลายและฟิล์มบาง 40

4.3.1 การศึกษา Fluorescence Enhancement Ratio ของR6G+Au ในรูปของสารละลาย 40

4.3.2 การศึกษา Fluorescence Enhancement Ratio ของ R6G+Au ในรูปของฟิล์มบาง 42

4.3.3 เปรียบเทียบการศึกษา Fluorescence Enhancement Ratio ของ R6G+Au ในรูปของสารละลายและฟิล์มบาง 44


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ(ต่อ)

หน้า

**บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ**

5.1 สรุปผลการวิจัย 45

5.2 ข้อเสนอแนะงานวิจัย 45

**เอกสารอ้างอิง** 46

**ภาคผนวก** 47




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง


| ตารางที่ | หน้า |
|---|---|
| 1.1 แผนการดำเนินงานวิจัย | 2 |
| 2.1 ชนิดของลูมิเนสเซนต์ประเภทต่างๆ | 5 |
| 3.1A การเตรียมสารละลาย R6G+Auที่ความเข้มข้นต่างๆ | 20 |
| 3.1B การเตรียมฟิล์มบาง R6G+Au ที่ความเข้มข้นต่างๆ | 20 |
| 3.2A การเตรียมสารละลาย R6G ที่ความเข้มข้นต่างๆ | 21 |
| 3.2B การเตรียมฟิล์มบาง R6G ที่ความเข้มข้นต่างๆ | 21 |
| 4.1 แสดงความเข้มข้นของสารละลาย R6G และ สารละลาย R6G+Au ที่ความเข้มข้นค่าต่างๆ | 29 |
| 4.2 Maximum Fluorescence Intensity ของ R6G+Au ในรูปของสารละลาย | 41 |
| 4.3 Maximum Fluorescence Intensity ของ R6G+Au ในรูปของฟิล์มบาง | 43 |


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป


| รูปที่ | หน้า |
|---|---|
| 1.1 โครงสร้างแผ่นรวมแสงลูมิเนสเซนต์ | 1 |
| 2.1 แผนภาพแสดงการเกิดฟลูออเรสเซนต์และฟอสฟอเรสเซนต์ | 6 |
| 2.2 แผนภาพแสดงสเปกตรัมการดูดกลืนแสง | 7 |
| 2.3 กลไกการดูดกลืนแสงและสเปกตรัมการเปลี่ยนแปลงระดับ | 7 |
| 2.4 รูปแสดงปริมาณแสงที่ฉายผ่านมายังสสารและปริมาณแสงที่ถูกส่งผ่านออกมา | 8 |
| 2.5 องค์ประกอบของเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ | 10 |
| 2.6 Double beam spectrophotometer | 11 |
| 2.7 กระบวนการสั่นของพลาสมอน (plasmon oscillation) สำหรับอนุภาคทรงกลม | 12 |
| 2.8 การเปล่งแสงของอนุภาคนาโนทองคำที่มีลักษณะรูปร่างต่างๆ ตามความยาวคลื่นที่แตกต่างกัน | 12 |
| 3.1 เครื่องฉายแสงจากหลอดทังสเตน | 14 |
| 3.2 สายใยแก้วนำแสงสำหรับนำส่งแสงจากแหล่งกำเนิดแสงไปยังตัวอย่างที่ต้องการทดสอบ | 15 |
| 3.3 สายใยแก้วนำแสง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 200 ไมโครเมตร (ซ้าย) และ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 600 ไมโครเมตร (ขวา) | 15 |
| 3.4 เครื่องสเปกโตรมิเตอร์ | 16 |
| 3.5 อุปกรณ์จับยึดเส้นใยแก้วนำแสง | 16 |
| 3.6 อุปกรณ์จับยึดแผ่นฟิล์ม Au/PMMA และคิวเวท | 16 |
| 3.7 ไดโอดเปล่งแสง | 17 |
| 3.8 การเตรียมแม่พิมพ์ | 18 |
| 3.9 การติดตั้งอุปกรณ์ในการวัดค่าการดูดกลืนของสารตัวอย่าง | 22 |
| 3.10 การติดตั้งอุปกรณ์ในการวัดค่าสเปกตรัมลูมิเนสเซนต์แบบใช้ High power LED | 23 |
| 4.1 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารละลาย Au | 24 |
| 4.2 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารละลาย R6G ที่มีความเข้มข้น 1, 2, 4, 6 และ 8 uM | 25 |
| 4.3 สเปกตรัมการปลดปล่อยแสงของสารละลาย R6G ที่ความเข้มข้น 6uM | 26 |
| 4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างการดูดกลืนแสงของสารละลาย Au และการปลดปล่อยแสงของสารละลาย R6G | 27 |
| 4.5 สเปกตรัมของ LED สีเขียว | 28 |
| 4.6 สเปกตรัมการปลดปล่อยแสงในรูปของสารละลาย R6G+Au ที่มีความเข้มข้นต่างๆกัน | 30 |
| 4.7 สเปกตรัมการปลดปล่อยแสงในรูปของสารละลาย R6G ที่มีความเข้มข้นต่างๆกัน | 31 |
| 4.8 กราฟเปรียบเทียบสเปกตรัมการปลดปล่อยแสงในรูปของสารละลาย ระหว่าง R6G+Au และ R6G ของ Sample 1 | 32 |
| 4.9 กราฟเปรียบเทียบสเปกตรัมการปลดปล่อยแสงในรูปของสารละลาย ระหว่าง R6G+Au และ R6G ของ Sample | 32 |


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป(ต่อ)


| รูปที่ | หน้า |
|---|---|
| 4.10 กราฟเปรียบเทียบสเปกตรัมการปลดปล่อยแสงในรูปของสารละลาย ระหว่าง R6G+Au และ R6G ของ Sample 3 | 33 |
| 4.11 กราฟเปรียบเทียบสเปกตรัมการปลดปล่อยแสงในรูปของสารละลาย ระหว่าง R6G+Au และ R6G ของ Sample 4 | 33 |
| 4.12 กราฟเปรียบเทียบสเปกตรัมการปลดปล่อยแสงในรูปของสารละลาย ระหว่าง R6G+Au และ R6G ของ Sample 5 | 34 |
| 4.13 สเปกตรัมการปลดปล่อยแสงในรูปของฟิล์มบาง R6G+Au ที่มีความเข้มข้นต่างๆกัน | 35 |
| 4.14 สเปกตรัมการปลดปล่อยแสงในรูปของฟิล์มบาง R6G ที่มีความเข้มข้นต่างๆกัน | 36 |
| 4.15 กราฟเปรียบเทียบสเปกตรัมการปลดปล่อยแสงในรูปของฟิล์มบาง ระหว่าง R6G+Au และ R6G ของ Sample 1 | 37 |
| 4.16 กราฟเปรียบเทียบสเปกตรัมการปลดปล่อยแสงในรูปของฟิล์มบาง ระหว่าง R6G+Au และ R6G ของ Sample 2 | 37 |
| 4.17 กราฟเปรียบเทียบสเปกตรัมการปลดปล่อยแสงในรูปของฟิล์มบาง ระหว่าง R6G+Au และ R6G ของ Sample | 38 |
| 4.18 กราฟเปรียบเทียบสเปกตรัมการปลดปล่อยแสงในรูปของฟิล์มบาง ระหว่าง R6G+Au และ R6G ของ Sample 4 | 38 |
| 4.19 กราฟเปรียบเทียบสเปกตรัมการปลดปล่อยแสงในรูปของฟิล์มบาง ระหว่าง R6G+Au และ R6G ของ Sample 5 | 39 |
| 4.20 Fluorescence Enhancement Ratio สำหรับค่าการปลดปล่อยแสงของ R6G+Au ในรูปของสารละลาย | 40 |
| 4.21 Fluorescence Enhancement Ratio สำหรับค่าการปลดปล่อยแสงในรูปของฟิล์มบาง | 42 |
| 4.22 กราฟเทียบระหว่าง Fluorescence Enhancement Ratio สำหรับค่าการปลดปล่อยแสงของ R6G+Au ในรูปของสารละลายและฟิล์มบาง | 44 |


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# คำย่อและสัญลักษณ์

| คำย่อ/สัญลักษณ์ | คำอธิบาย |
|---|---|
| A | ค่าการดูดกลืนแสงของสาร ( Absorbance ) |
| Au | ทองคำ |
| DCM | สารทำละลาย Dichloromethane |
| $E_g$ | พลังงานของช่องว่างแถบพลังงาน ( Band gap energy ) |
| LED | Light emitting diodes |
| LSCs | อุปกรณ์รวมแสงลูมิเนสเซนต์ ( Luminescent Solar Concentrators ) |
| nm | นาโนเมตร |
| PMMA | พอลิเมทิลเมทาคริเลต ( Polymethyl Methacrylate ) |
| R6G | Rhodamine 6G |
| T | ค่าการส่งผ่าน ( Transmittance ) |
| UV | Ultra violet |
| VIS | Visible |
| $\lambda$ | ความยาวคลื่น |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# คำนำ

งานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของวิชาโครงงานพิเศษ เรื่องคุณสมบัติทางแสงของอนุภาคนาโนทองคำเจือด้วยสีย้อม เป็นการศึกษาสมบัติทางแสงของวัสดุทองร่วมกับสีย้อมในรูปของสารละลายและฟิล์มบาง ที่มีความเข้มข้นค่าต่างๆ ซึ่งในเนื้อหาของงานวิจัยได้อธิบายวิธีการเตรียมสารละลายและฟิล์มบางของอนุภาคนาโนทองคำ ซึ่งมีการใช้เครื่องมือ UV-VIS spectrometer ในการวัดคุณสมบัติทางแสง

สุดท้ายนี้ผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่างานวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจศึกษา หากมีข้อผิดพลาดประการใด ขออภัยไว้ ณ ที่นี้ด้วย และขอขอบคุณ ผศ.ดร.กฤษกร โล้เจริญรัตน์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานพิเศษ ที่ให้คำปรึกษาและคำแนะนำจนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

คณะผู้จัดทำ
1 มีนาคม 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1
# บทนำ

## 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

ในปัจจุบัน การพัฒนาปรับปรุงประสิทธิภาพของอุปกรณ์รวมแสงลูมิเนสเซนต์ (Luminescent Solar Concentrators : LSCs ) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ได้รับความสนใจจากนักวิจัยหลายกลุ่ม เนื่องจากมีข้อได้ เปรียบมากกว่าการใช้เลนส์หรือกระจกในการรวมแสงหลายประการ คือ สามารถใช้ประโยชน์จากแสงที่ตกกระทบได้ทั้งแสงตรง และแสงที่เกิดจากการกระเจิงจากชั้นบรรยากาศหรือก้อนเมฆ นอกจากนั้นอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้อุปกรณ์รวมแสงลูมิเนสเซนต์ยังต่ำกว่าเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้เลนส์ในการรวมแสง ทำให้ไม่ต้องอาศัยระบบหล่อเย็นในการลดอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์

อุปกรณ์รวมแสงลูมิเนสเซนต์ มีลักษณะเป็นแผ่นฟิล์มพอลิเมอร์โปร่งแสง ซึ่งภายในแผ่นหรือฟิล์มมีโมเลกุลของสารเรืองแสงกระจายอยู่ทั่วแผ่นและบริเวณด้านขอบของแผ่นประกบด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ ดังรูปที่ 1.1

รูปที่ 1.1 โครงสร้างแผ่นรวมแสงลูมิเนสเซนต์

เมื่อแสงตกกระทบบนผิวหน้าของแผ่นรวมแสง วัสดุลูมิเนสเซนต์ภายในแผ่นจะดูดกลืนแสงในย่านพลังงานที่เหมาะสมและคายพลังงานออกมาในรูปของแสงลูมิเนสเซนต์ โดยแสงลูมิเนสเซนต์จะถูกปลดปล่อยออกมาทุกทิศทางและแสงบางส่วนถูกดูดกลืนด้วยสารเรืองแสงที่อยู่ภายในแผ่น จะเคลื่อนที่อยู่ภายในแผ่นรวมแสง โดยอาศัยกลไกการสะท้อนกลับหมด (Total internal reflection) และเคลื่อนที่ไปยังเซลล์แสง อาทิตย์ที่ประกบติดอยู่บริเวณขอบของแผ่นรวมแสง ซึ่งเซลล์แสงอาทิตย์ทำการแปลงพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้าต่อไป

โครงงานพิเศษนี้เกี่ยวข้องกับการเตรียมสารเรืองแสงในรูปของสารละลายและฟิล์มร่วมกับทองนาโน โดยผู้วิจัยจะได้ทำการศึกษากระบวนการในการจัดเตรียมสารเรืองแสง รวมถึงทำการศึกษาสมบัติทางแสงของสารเรืองแสงที่จัดเตรียมได้ อาทิ การคายพลังงานในรูปของแสงลูมิเนสเซนต์ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อเตรียมวัสดุทองคำร่วมกับสีย้อม Rhodamine 6G ในรูปของสารละลายและฟิล์ม
2. เพื่อศึกษาสมบัติทางแสงของวัสดุทองร่วมกับสีย้อม Rhodamine 6G ในรูปของสารละลายและฟิล์ม

## 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ศึกษาทฤษฎีของวัสดุทอง (Au) ในระดับนาโน
2. จัดเตรียมสารละลายและฟิล์มจากวัสดุทอง (Au) ที่มีความเข้มข้นที่ค่าต่างๆ ร่วมกับสีย้อม
3. ศึกษาสมบัติทางแสงของวัสดุ (Au) ร่วมกับสีย้อมในรูปของสารละลายและฟิล์ม

## 1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

**ขั้นตอนที่ 1** ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับวัสดุนาโนและสีย้อมแสงลูมิเนสเซนต์
**ขั้นตอนที่ 2** สั่งซื้อวัสดุสำหรับจัดเตรียมสารละลายและฟิล์ม
**ขั้นตอนที่ 3** จัดเตรียมสารละลายและฟิล์มจาก R6G + Au
**ขั้นตอนที่ 4** ศึกษาสมบัติเชิงแสงของสารละลายและฟิล์มจาก R6G + Au
**ขั้นตอนที่ 5** จัดเตรียมเล่มโครงงานพิเศษ

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงานวิจัย

| การดำเนินงาน | ระยะเวลา ปีการศึกษา 2558 | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 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 | | | | | | | | | | |

## 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. มีความรู้ความเข้าใจในกระบวนการที่เหมาะสมในการจัดเตรียมสารละลายและฟิล์ม
2. มีความรู้ความเข้าใจในหลักการวัดสมบัติทางแสงของสารละลายและฟิล์ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 2
# ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะอธิบายเกี่ยวกับหลักการทำงานและทฤษฎีพื้นฐานของฟิล์มลูมิเนสเซนต์ และทองคำ

## 2.1 ฟิล์มลูมิเนสเซนต์

ส่วนประกอบของฟิล์มลูมิเนสเซนต์ ประกอบด้วย 2 ส่วน ดังนี้

### 2.1.1 สารเรืองแสง

สารเรืองแสงเป็นส่วนประกอบที่สำคัญในฟิล์มลูมิเนสเซนต์ เนื่องจากเป็นตัวที่ทำหน้าที่ในการเกิดกลไกการเรืองแสง หรืออีกนัยหนึ่งคือเป็นวัสดุสำคัญในการแปลงความยาวคลื่นหรือพลังงานของแสง สมบัติของสารเรืองแสงที่เหมาะสมต่อการนำมาใช้งานในรูปแบบของอุปกรณ์มีดังนี้

- มีความเสถียรเชิงแสง
- มีค่าสัมประสิทธิ์ในการดูดกลืนสูงเพื่อให้เกิดการดูดกลืนแสงได้ดี
- มีย่านการดูดกลืนแสงที่กว้างและสามารถปลดปล่อยแสงในย่านที่เหมาะสมกับเซลล์แสงอาทิตย์
- ไม่เกิดปรากฏการณ์ดูดกลืนซ้ำ
- ราคาถูกและไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม

ในปัจจุบันยังไม่มีสารอินทรีย์หรืออนินทรีย์ชนิดใดที่มีสมบัติครบถ้วนดังที่กล่าวมาข้างต้น แต่ในสารแต่ละชนิดจะมีข้อได้เปรียบและข้อบกพร่องที่แตกต่างกันออกไปตามแต่ละชนิดของสาร ซึ่งขอยกตัวอย่างสาร 2 ชนิดดังนี้

- สารเรืองแสงชนิดอนินทรีย์ (Inorganic dyes)

สารเรืองแสงชนิดอนินทรีย์มีข้อได้เปรียบกว่าสารเรืองแสงชนิดอื่นคือมีความทนทานต่อความร้อนได้สูง และในสารอนินทรีย์จำพวกสารจากธาตุ rare earth จะมีการเกิดปรากฏการณ์การดูดกลืนซ้ำขึ้นน้อย นอกจากนั้นสารอนินทรีย์ยังมีความเสถียรเชิงแสงสูง แต่มีข้อบกพร่องในเรื่องของประสิทธิภาพในการปลดปล่อยแสงลูมิเนสเซนต์ได้ค่อนข้างต่ำ และมีความสามารถดูดกลืนแสงได้ไม่ดีนัก ซึ่งแนวทางในการแก้ไขปัญหาเหล่านี้คือการใช้ความเข้มข้นของสารที่มากขึ้น แต่การแก้ปัญหาด้วยวิธีนี้จะทำให้โอกาสในการเกิดปัญหาการดูดกลืนซ้ำเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย ตัวอย่างสารเรืองแสงชนิดอนินทรีย์ เช่น Eosin B (EB), Fast Sulphon Black F (FSF) , Solochrome Black T (SBT) และ Rhodamine 6G

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สารเรืองแสงชนิดอินทรีย์ ( Organic dyes) สารเรืองแสงชนิดอินทรีย์มีข้อได้เปรียบกว่าสารชนิดอื่น คือ มีสเปกตรัมการดูดกลืนแสงและสเปกตรัมแสงลูมิเนสเซนต์อยู่ในย่านความยาวคลื่นที่หลากหลาย และมีสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงที่สูง อีกทั้งในสารอินทรีย์หลายชนิดมีประสิทธิภาพในการปลดปล่อยแสงลูมิเนสเซนต์สูงเข้าใกล้หนึ่ง และในปัจจุบันยังได้มีการสังเคราะห์สารอินทรีย์ชนิดใหม่ขึ้นอย่างแพร่หลายเพื่อให้มีการดูดกลืนแสงที่ครอบคลุมหลายความยาวคลื่นและปลดปล่อยแสงลูมิเนสเซนต์ได้สูง แต่มีข้อบกพร่องในแง่ของความเสถียรเชิงแสงที่ค่อนข้างต่ำ นอกจากนั้นสารอินทรีย์หลายชนิดที่มีประสิทธิ์ภาพในการปลดปล่อยแสง ลูมิเนสเซนต์สูงจะปลดปล่อยแสงลูมิเนสเซนต์ที่มีความยาวคลื่นในช่วงของแสงสีเขียว-เหลือง ซึ่งถ้าพิจารณาเพื่อนำมาใช้ประโยชน์กับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนย่านแสงดังกล่าวจะไกลจากแถบ พลังงาน $E_g$ (1.12 eV) ของสารซิลิกอนอยู่มาก ตัวอย่างสารเรืองแสงชนิดอินทรีย์ เช่น สีย้อมอะโซ (azo dyes) และ สีย้อมแอมมิโน แอนทราคิวโนน (amino antraquinone)

**2.1.2 วัสดุตัวกลาง**

วัสดุตัวกลางในฟิล์มลูมิเนสเซนต์ ทำหน้าที่เป็นตัวกลางทางเดินแสงให้กับโฟตอนที่ถูกปลดปล่อยจากกลไกการเรืองแสง ลักษณะสมบัติของวัสดุตัวกลางที่ดี ดังนี้

- มีความโปร่งแสง
- มีความเสถียรในเชิงเคมี
- สามารถขึ้นรูปได้ง่าย
- มีแรงเชิงกลสูง
- ทนทานต่อสภาพอากาศในฤดูกาลต่างๆได้ดี
- มีความหนาแน่นต่ำ
- ราคาถูก
- ไม่มีความเป็นพิษ

จากสมบัติที่แสดงขั้นต้น พบว่ามีสารหลายชนิดที่คุณสมบัติเหมาะสม เช่น สารพอลิเมอร์โปร่งแสงจำพวกพอลิเมทิลเมทาคริเลต (Polymethyl Methacrylate : PMMA) เป็นต้น ซึ่งสาร PMMA เป็นวัสดุตัวกลางที่มีความนิยมมากที่สุด เนื่องจากมีความโดดเด่นในเรื่องของความเหนียว ทนความร้อน คงทนต่อการใช้งาน มีความเสถียรในเชิงเคมีที่สูง มีน้ำหนักเบา มีเสถียรภาพเชิงแสง มีราคาถูกและง่ายต่อการสังเคราะห์อีกด้วย ดังนั้นจึงมีความเหมาะสมในการนำมาเป็นวัสดุตัวกลางที่ทนทานต่อแสงอาทิตย์ได้ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Polymethyl Methacrylate (PMMA)**

PMMA รู้จักกันดีในชื่อว่าการค้าที่ว่า เพลคซิกกลาส(Plexiglass) ลูไซท์(Lucite) โพลีกลาส (Polyglass) PMMA มีลักษณะใส ไม่มีสี สามารถให้แสงส่องผ่านได้ถึง 92% มีความแข็งแกร่งและทนทานต่อดินฟ้าอากาศได้ดีกว่า Polystyrene สมบัติเชิงกล และความคงทนต่อความร้อนดีมาก ส่วนสมบัติการเป็นฉนวนไฟฟ้าดีปานกลาง เนื่องจากสมบัติเด่นของ PMMA คือ ความโปร่งใส และการนำไปย้อมสีได้ง่าย จึงถูกนำไปใช้เป็นส่วนประกอบของเครื่องใช้ไฟฟ้าและส่วนประกอบรถยนต์ เช่น ไฟเลี้ยว ไฟท้าย กระจกรถยนต์ หน้าปัดเข็มไมล์ ประโยชน์การใช้งานอื่นๆ เช่น ป้ายโฆษณา แว่นตา เลนส์ ใช้ทำกระจกแทนแก้ว หลังคาโปร่งแสง ก๊อกน้ำ เครื่องสุขภัณฑ์ เครื่องประดับ เป็นต้น

**2.1.3 กลไกการเรืองแสงของสารเรืองแสง**

แสงที่ดูดกลืนโดยโมเลกุลของสารเรืองแสงที่อยู่ภายในฟิล์มลูมิเนสเซนต์ถูกใช้เป็นแหล่งพลังงานในการกระตุ้นอิเล็กตรอนในอะตอมของโมเลกุลสารเรืองแสงอยู่ในระดับชั้นพลังงานที่สูงขึ้นหรืออยู่ในสถานะกระตุ้นและเพื่อให้เข้าสู่ความเสถียรของระบบ อิเล็กตรอนในสถานะดังกล่าวจะตกกลับมายังสถานะพื้น กระบวนการตกกลับลงมาของอิเล็กตรอนจากสถานะกระตุ้นมายังสถานะพื้นจะมีการปลดปล่อยแสงลูมิเนสเซนต์ (Luminescence) ออกมา แสงลูมิเนสเซนต์สามารถจำแนกได้หลายประเภทดังตารางที่ 2.1 ซึ่งแต่ละประเภทจะถูกแบ่งตามแหล่งพลังงานที่กระตุ้นโมเลกุลของสารเรืองแสงแล้วทำให้เกิดการปลดปล่อยแสงลูมิเนสเซนต์

ตารางที่ 2.1 ชนิดของลูมิเนสเซนต์ประเภทต่างๆ

| ชนิดของลูมิเนสเซนต์ | แหล่งพลังงานในการกระตุ้นโมเลกุล |
|---|---|
| Bioluminescence | Biological process |
| Cathodoluminescence | Cathode ray |
| Chemiluminescence | Chemical energy |
| Electroluminescence | Electric field |
| Photoluminescence | Photon |
| Thermoluminescence | Thermal |

สารเรืองแสงได้อาศัยหลักการในการปลดปล่อยแสงลูมิเนสเซนต์ประเภทโฟโตลูมิเนสเซนต์ ซึ่งมีแหล่งพลังงานในการกระตุ้นโมเลกุลสารเรืองแสงเป็นแสงอาทิตย์ที่มาตกกระทบบนผิวหน้าของฟิล์มลูมิเนสเซนต์ โดยโฟโตลูมิเนสเซนต์สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ ฟลูออเรสเซนต์และฟอสฟอเรสเซนต์ ซึ่งขึ้นอยู่กับ Lifetime และกลไกการเกิด

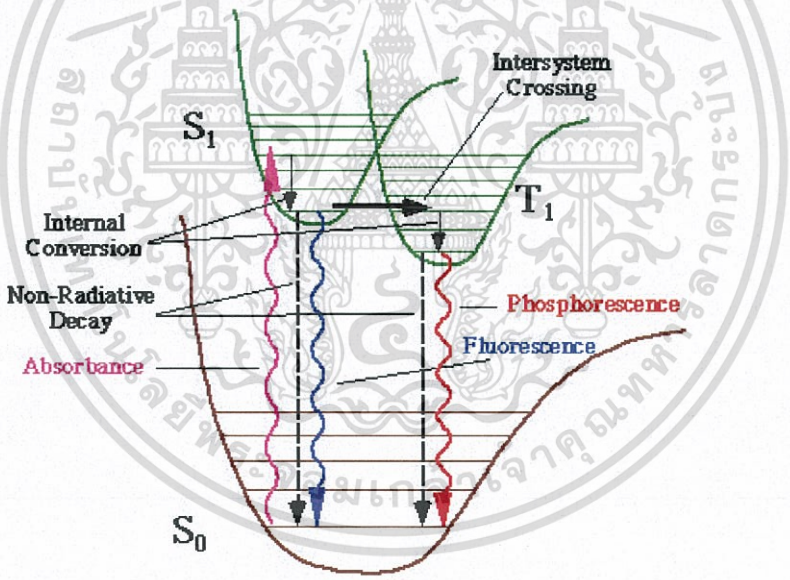
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ฟลูออเรสเซนต์ (Fluorescence)

เมื่ออิเล็กตรอนที่มีพลังงานสูงมากผ่านกระบวนการลดระดับพลังงานแบบไม่เกิดแสง จนกระทั่ง เมื่ออิเล็กตรอนในโมเลกุลลดระดับพลังงานมาถึงระดับพลังงานการสั่นต่ำสุดของสถานะเดี่ยวในสถานะกระตุ้นจะเกิดการลดระดับพลังงานไปยังสถานะพื้น ซึ่งการลดกระดับพลังงานไปยังสถานะพื้นนี้ จะเกิดการคายพลังงานออกมาในรูปของแสงทันที หลังจากการฉายแสง โดยมี Lifetime ประมาณ $10^{-8}$ – $10^{-9}$ วินาที เรียกกระบวนการคายพลังงานนี้ว่า “ฟลูออเรสเซนต์” ดังรูปที่ 2.1

- ฟอสฟอร์เรสเซนต์ (Phosphorescence)

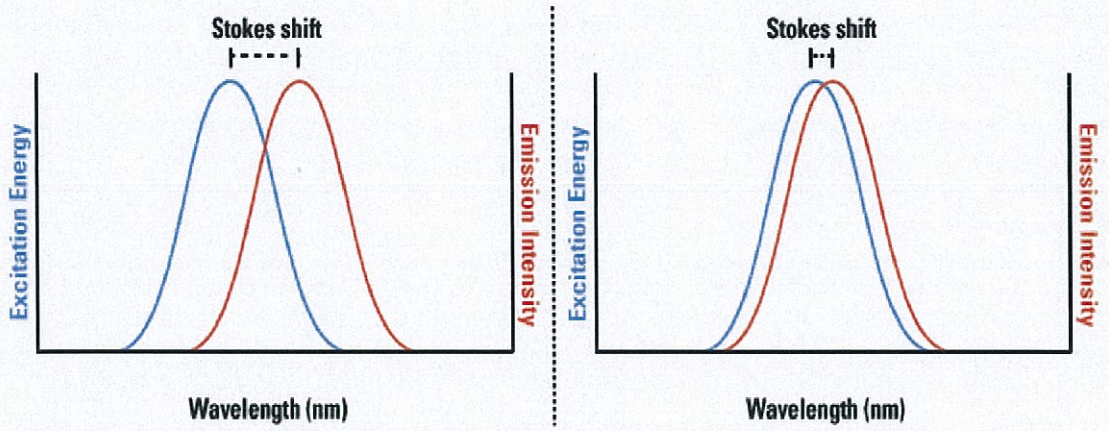
การคายพลังงานในกระบวนการนี้จะแตกต่างจากการคายพลังงานแบบฟลูออเรสเซนต์ เนื่องจากฟอสฟอร์เรสเซนต์เป็นการลดระดับพลังงานของอิเล็กตรอนในระดับพลังงานการสั่นต่ำที่สุดของสถานะสามของสถานะกระตุ้น และเกิดการลดระดับพลังงานไปยังสถานะพื้นนี้ จะทิ้งช่วงระยะหนึ่งก่อน จึงจะเกิดการคายพลังงานออกมาในรูปของแสง โดยมี Lifetime ประมาณ $10^{-4}$ – 20 วินาที เรียกกระบวนการคายพลังงานแสงแบบนี้เรียกว่า “ฟอสฟอร์เรสเซนต์” ดังรูปที่ 2.1




รูปที่ 2.1 แผนภาพแสดงการเกิดฟลูออเรสเซนต์และฟอสฟอเรสเซนต์ [1]

กระบวนการคายพลังงานแบบที่เกิดแสงทั้งสองชนิดจะปลดปล่อยพลังงานออกมาในย่านความยาวคลื่นที่ยาวกว่าความยาวคลื่นที่กระตุ้นโมเลกุล โดยการเลื่อนของสเปกตรัมแสงลูมิเนสเซนต์ถูกเรียกว่า “Stoke shift” ซึ่งมีนิยามว่าคือระยะห่างระหว่างจุดสูงสุดของสเปกตรัมการดูดกลืนแสงและสเปกตรัมแสงลูมิเนสเซนต์ ในการเกิดฟอสฟอร์เรสเซนต์ระยะห่างจากจุดสูงสุดของทั้งสองสเปกตรัมจะมากกว่าการเกิดฟลูออเรสเซนต์ เพราะว่าชั้นพลังงานของสถานะสามในสถานะกระตุ้นจะสูงกว่าสถานะเดี่ยวในสถานะกระตุ้น

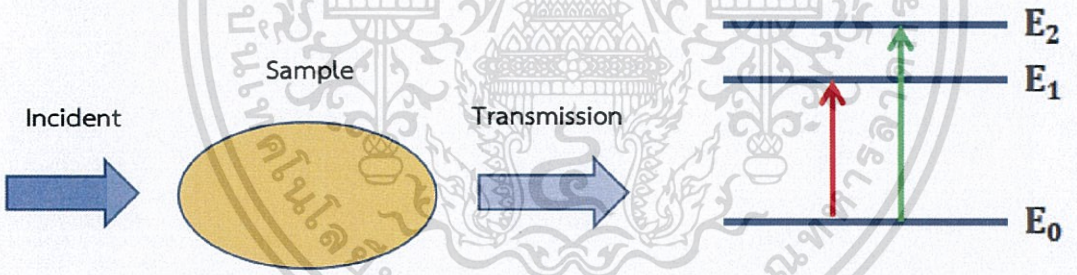
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 2.2 แผนภาพแสดงสเปกตรัมการดูดกลืนแสง [2]

### 2.1.4 กลไกการดูดกลืนแสงของสารเรืองแสง

กลไกการดูดกลืนแสง คือ กระบวนการที่พลังงานของแสงที่ถูกถ่ายเทไปยังอะตอม ไอออน หรือโมเลกุลที่อยู่ในตัวกลาง การดูดกลืนแสงของสารตัวอย่างใดๆ สามารถแยกพิจารณาได้เป็น 2 ลักษณะหลัก คือ ดูดกลืนในระดับอะตอมและดูดกลืนในโมเลกุล ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของสารที่แสงนั้นทำอันตรกิริยา




รูปที่ 2.3 กลไกการดูดกลืนแสงและสเปกตรัมการเปลี่ยนแปลงระดับ

- การดูดกลืนแสงหรือพลังงานที่ทำให้อนุภาคเหล่านี้เกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะจากสถานะปกติหรือสถานะพื้น (ground state) ไปยังสถานะที่มีระดับพลังงานสูงกว่าหรือสถานะกระตุ้น (excited state) เราเรียกกระบวนการที่เกิดขึ้นนี้ว่า การเปลี่ยนแปลงสถานะหรือการทรานสิชัน (transition)

- การเปลี่ยนระดับพลังงานของอนุภาคนี้จะต้องอาศัยพลังงานที่มีค่าเท่ากับหรือมากกว่าผลต่างของระดับพลังงานระหว่างสถานะพื้นและสถานะกระตุ้น ซึ่งค่าความถี่ (พลังงาน) น้อยสุดของโฟตอนที่สามารถทำให้เกิดการเปลี่ยนระดับพลังงานของอนุภาคที่มีค่าเท่ากับ

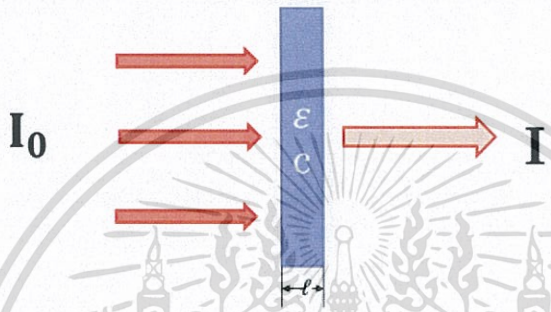
$$E_1 - E_0 = hv \tag{2.1}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเปลี่ยนระดับพลังงานของอนุภาคจากสถานะพื้นไปยังสถานะที่สูงกว่าจะเกิดขึ้นได้ 2 แบบ คือ ย้ายจากชั้น $E_0$ ไปยัง $E_1$ (ดูดกลืนแสงความยาวคลื่น $\lambda_2$) หรือ จาก $E_0$ ไปยัง $E_2$

### 2.1.5 กฎแห่งการดูดกลืนแสง

เมื่อฉายแสงผ่านตัวกลางใดๆจะเกิดอันตรกิริยาระหว่างแสงและอนุภาคตัวกลางที่แสงเคลื่อนที่ผ่าน การวิเคราะห์ว่าแสงถูกดูดกลืนภายในตัวกลางได้มากหรือน้อยเพียงใดนั้น สามารถกระทำได้โดยอาศัยกฎของ เบียร์-แลมเบิร์ต (Beer-Lambert's Law) ซึ่งเป็นกฎที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแสงที่ฉายผ่านมายังสสารและปริมาณแสงที่ถูกส่งผ่านออกมา




รูปที่ 2.4 รูปแสดงปริมาณแสงที่ฉายผ่านมายังสสารและปริมาณแสงที่ถูกส่งผ่านออกมา

เนื่องจากค่าการดูดกลืนจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นตามกฎของเบียร์-แลมเบิร์ต (Beer - Lambert law) ดังสมการ

$$A = c\ell\varepsilon \qquad (2.2)$$

เมื่อ A = ค่าการดูดกลืนแสงของสาร (absorbance)

l = ระยะทางที่แสงผ่านตัวอย่างหรือความกว้างของฟิล์มบาง (cm)

c = ความเข้มข้นของสาร(M)

$\varepsilon$ = สัมประสิทธิ์การดูดกลืนของสาร ($L\ mol^{-1}\ cm^{-1}$)

Absorbance (A) นิยามสมการได้เป็น

$$A = \log \frac{I_0}{I} = -\log T \qquad (2.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ค่าทรานสมิทแทนซ์ (Transmittance)**

นอกจากการพิจารณาค่าแอบซอฟแบนซ์ซึ่งในการวิเคราะห์ความสามารถในการดูดกลืนแสงของสสารใดๆแล้ว ปริมาณสำคัญอีกปริมาณที่มักจะถูกพิจารณาร่วมกันคือ ค่าทรานสมิทแทนซ์ (Transmittance) ซึ่งคือค่าที่บอกถึงความสามารถในการยอมให้แสงผ่านของสสาร

$$T = \frac{I}{I_0} \times 100\ \% \qquad (2.4)$$

เมื่อ $T$ = ค่าทรานสมิทแทนซ์ (Transmittance)

$I_0$ = ความเข้มแสงที่ฉายผ่านมายังฟิล์มบาง

$I$ = ความเข้มแสงที่ถูกส่งผ่านออกมาฟิล์มบาง

**2.1.6 สเปกโตรมิเตอร์ (Spectrometer)**

สเปกโตรมิเตอร์ คือเครื่องมือวัดเชิงแสงชนิดหนึ่งที่ใช้ในการตรวจวัดคุณสมบัติเฉพาะของแสงได้แก่ สเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยมากนำไปใช้ในกระบวนการวิเคราะห์สเปกโตรสโคปิกเพื่อระบุชนิดของสสาร ผลการวัดที่แตกต่างกันโดยส่วนใหญ่จะเกิดจากความเข้มของแสงที่แตกต่างกัน แต่บางทีก็อาจเกิดจากปรากฏการณ์โพลาไรซ์ก็ได้ ตัวแปรอิสระได้แก่ความยาวคลื่นของแสง มักระบุเป็นหน่วยย่อยของเมตร หรือบางครั้งก็ระบุเป็นสัดส่วนของพลังงานโฟตอน เช่น หมายเลขคลื่น หรืออิเล็กตรอนโวลต์ ซึ่งมักจะมีความสัมพันธ์กับความยาวคลื่นอยู่แล้ว เราใช้สเปกโตรมิเตอร์ในกระบวนการวิเคราะห์สเปกโตรสโคปี โดยสร้างเส้นสเปกตรัมขึ้น และตรวจวัดความยาวคลื่นกับความเข้ม สามารถวัดได้ตั้งแต่รังสีแกมมา รังสีเอ็กซ์ ไปจนถึงรังสีอินฟราเรด ถ้าย่านความถี่ของคลื่นที่สนใจตกอยู่ในย่านของสเปกตรัมที่ตามองเห็น มักเรียกการศึกษาเช่นนั้นว่า “spectrophotometry” [3]

ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่อง UV-VIS spectrophotometer ประกอบไปด้วย

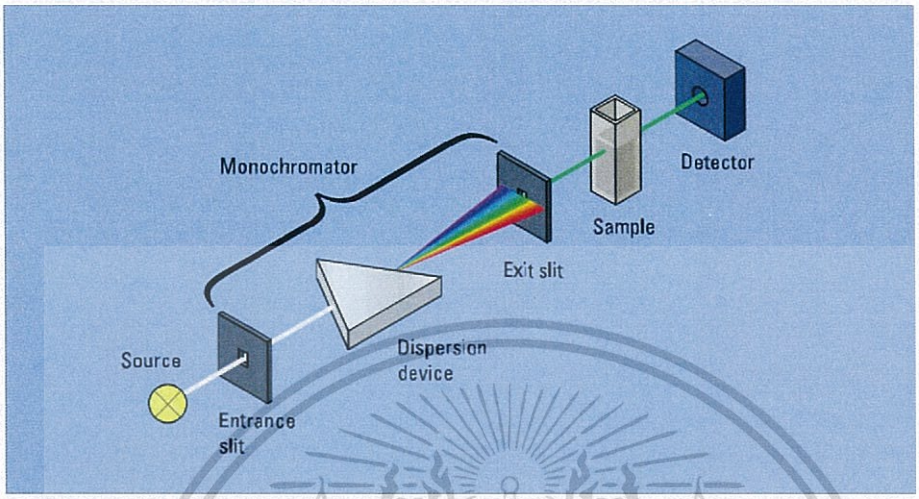
1. Light source แหล่งกำเนิดรังสีเป็นส่วนที่ให้รังสีในช่วงความยาวคลื่นที่ต้องการออกมาอย่างต่อเนื่องและคงที่ รวมทั้งมีความเข้มแสงที่มากพอ หลอดกำเนิดรังสีมีหลายชนิดตามความยาวคลื่นรังสีที่เปล่งออกมา เช่น ช่วง UV จะใช้หลอด H2 and D2 lamp ให้ความยาวคลื่นอยู่ในย่าน 160-380 nm และช่วง visible ใช้หลอด Tungsten/halogen ให้ความยาวคลื่นในช่วง 240-2,500 nm เป็นต้น

2. Monochromator เป็นส่วนที่ใช้ควบคุมแสงโดยจะทำให้แสงที่ออกมาจากต้นกำเนิดแสงซึ่งเป็นพอลิโครเมติก ให้เป็นแสงโมโนโครเมติก ซึ่งเป็นแถบแสงแคบๆ หรือมีความยาวคลื่นเดียวใช้ฟิลเตอร์ ปริซึม หรือเกรตติ้ง

3. Cell sample เซลล์ที่ใช้บรรจุสารละลายตัวอย่าง บางครั้งอาจเรียกว่า Cuvettes ที่ใช้กันทั่วไปได้แก่ เซลล์ที่ทำด้วยแก้วจะใช้ได้เฉพาะช่วง visible เพราะแก้วจะดูดกลืนรังสีในช่วงUVได้ และเซลล์ที่ทำด้วยซิลิกา และควอตซ์ ซึ่งใช้ได้ทั้งช่วง UV และ visible

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. Detector ทำหน้าที่ในการวัดความเข้มของรังสีที่ถูกดูดกลืนโดยการแปลงพลังงานคลื่นรังสีเป็นพลังงานไฟฟ้า เครื่องวัดรังสีมีหลายชนิดที่นิยม ได้แก่ Photomultiplier tube และเครื่องวัดแสงชนิดซิลิกอนไดโอด Silicon diode detector [4]



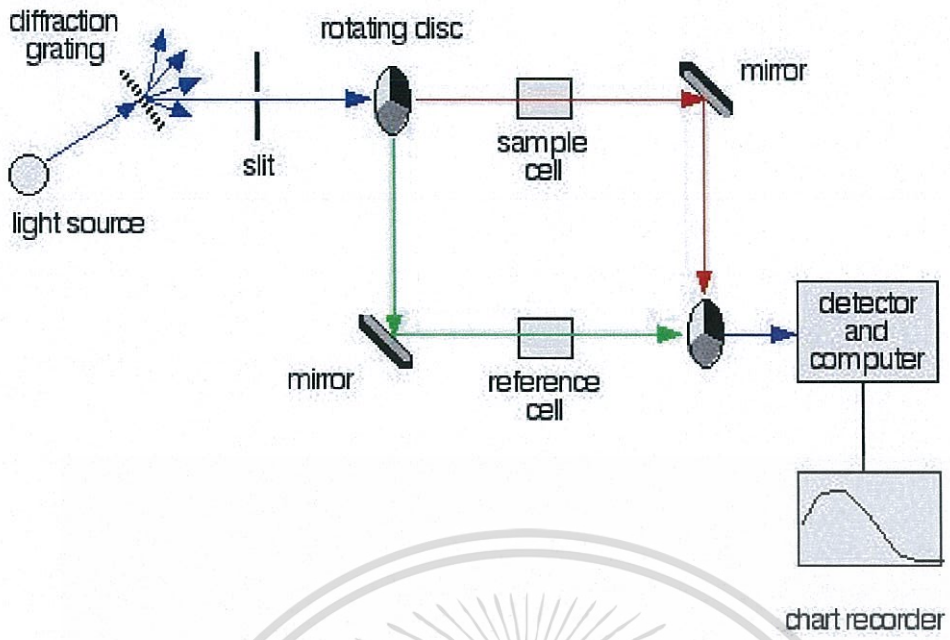

รูปที่ 2.5 องค์ประกอบของเครื่องสเปกโตรมิเตอร์

เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ใช้โดยทั่วไป แบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่

1. Single-Beam spectrophotometer เมื่อลำรังสีออกจากแหล่งกำเนิดรังสีจะผ่านเลนส์โมโนโครเมเตอร์ที่เป็นเกรตติ้ง ผ่านสารตัวอย่าง แล้วจึงเข้าสู่อุปกรณ์ตรวจรับสัญญาณ เนื่องจากสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ประเภทนี้ใช้ลำรังสีเพียงลำเดียวผ่านจากโมโนโครเมเตอร์ไปสู่สารละลายที่ต้องการวัด ลำรังสีนี้จะไปสู่อุปกรณ์ตรวจรับสัญญาณเลย การวัดแต่ละครั้งจึงต้องใช้เซลล์ 2 เซลล์ให้ลำรังสีผ่านสลับกัน

2. Double-Beam Spectrophotometer (รูปที่ 2.6) ลำรังสีจะผ่านโมโนโครเมเตอร์ 2 ครั้งด้วยกัน ทำให้ได้ลำรังสีความยาวคลื่นเดียวอย่างมีประสิทธิภาพและความละเอียดมากขึ้น เมื่อออกจาก Exit slit แล้ว ลำรังสีจะไปสู่อุปกรณ์ตัดลำรังสี (Beam chopper) ก็จะสะท้อนไปผ่านสารตัวอย่าง ในขณะเดียวกันลำรังสีจะผ่านไปผ่านสารอ้างอิง ด้วยวิธีนี้ ลำรังสีลำเดี่ยวที่ผ่านโมโนโครเมเตอร์จะถูกอุปกรณ์ตัดลำรังสีแยกออกเป็นลำรังสีสองลำที่มีความเข้มเท่ากันตลอดเวลา เมื่อลำรังสีทั้งสองนี้ไปตกกระทบ phototube ความแตกต่างของความเข้มจะกลายเป็นสัญญาณส่งต่อไปยังอุปกรณ์บันทึกสัญญาณต่อไปในการใช้สเปกโตรโฟโตมิเตอร์แบบลำรังสีคู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 2.6 Double beam spectrophotometer [5]

ค่าช่องว่างแถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำมีความสัมพันธ์กับค่าความยาวคลื่น ($\lambda$) ตามสมการดังนี้

$$E_g = \frac{hc}{\lambda} \quad \text{หรือ} \quad E_g \text{ (in eV)} = \frac{1240}{\lambda \text{ (in nm)}} \tag{2.5}$$

เมื่อ $E_g$ = พลังงานของช่องว่างแถบพลังงาน (Band gap energy)

c = ความเร็วของแสง (Velocity of light)

h = ค่าคงที่ของแพงค์ (Plank constant)

$\lambda$ = ค่าความยาวคลื่นที่ปล่อยออกมา (Emitted wavelength)

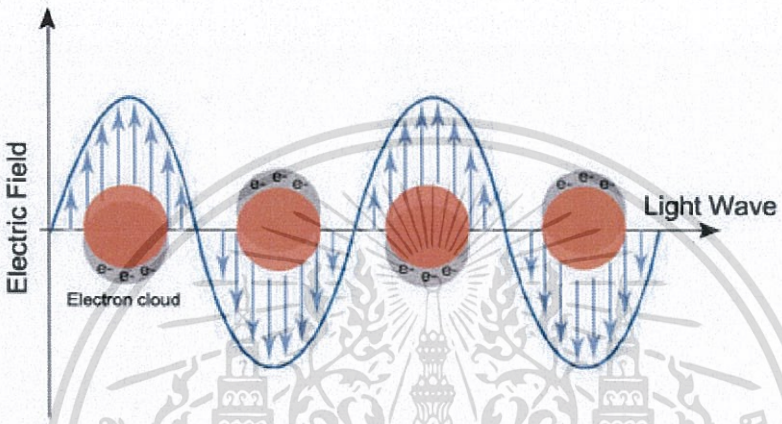
## 2.2 สมบัติพื้นฐานของทองคำ (Au)

ทองคำ(Au) มีลักษณะทั่วไป คือ มักเป็นสารแขวนลอยในตัวทำละลาย เช่น น้ำ หรือสารเคมีอื่นๆ มีสีต่างๆ เช่น แดง ม่วง ฟ้า เขียว เป็นต้น เป็นสารไม่ละลายน้ำ (water insoluble) และไม่ลุกติดไฟ (Non-flammable)

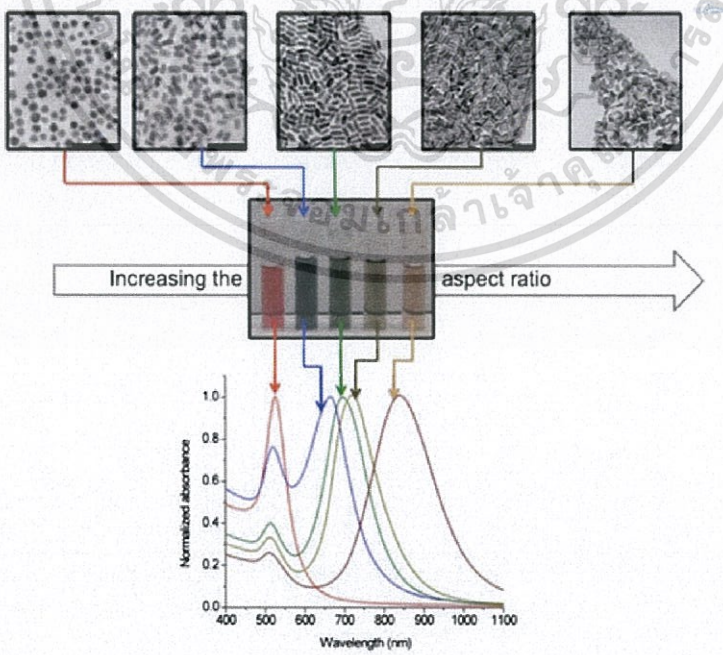
ทองคำ เป็นธาตุที่รู้จักกันโดยทั่วไป โดยมีลักษณะสมบัติที่เป็นธาตุเฉื่อย มักไม่ทำปฏิกิริยา เมื่อทองคำมีขนาดเล็กลงจนอยู่ในระดับนาโนที่มีขนาดตั้งแต่ 5 นาโนเมตรขึ้นไป จะยังคงมีลักษณะสมบัติเหมือนกันกับทองคำทั่วไป แต่เมื่อมีขนาดต่ำกว่า 5 นาโนเมตร จะมีลักษณะสมบัติที่แตกต่างจากทองคำ ได้แก่ สีของอนุภาคนาโนของทองคำจะมีสีหลากหลาย เช่น แดง ฟ้า เขียว หรือน้ำตาล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งไม่ได้ปรากฏเป็นสีทองเหมือนกับทองคำทั่วไป สีที่แตกต่างนี้เกิดจากการทำปฏิกิริยาของอิเล็กตรอนใน conduction band ของอนุภาคนาโนโลหะกับสนามไฟฟ้าที่มาจากแสงที่ตกกระทบ ซึ่งทำให้เกิดการแทรกสอดของอิเล็กตรอนใน conduction band เกิดขึ้น ซึ่งการแทรกสอดนี้เรียกว่า Localized Surface Plasmon Resonance (LSPR) ซึ่งเกิดภายใต้สเปคตรัมของแสง visible และแสงใกล้รังสีเหนือม่วง ดังรูปที่ 2.7 โดยการเปล่งแสงสีต่างๆ นี้จะขึ้นอยู่กับรูปร่างของอนุภาคนาโนของทองคำ เช่น ทองคำในรูปของแท่งนาโนจะสามารถดูดซับแสงได้ดีที่ความยาวคลื่น 800-1200 นาโนเมตร เป็นต้น การเปล่งแสงของอนุภาคนาโนทองคำที่มีรูปร่างแตกต่างกันแสดงในรูปที่ 2.8




รูปที่ 2.7 กระบวนการสั่นของพลาสมอน (plasmon oscillation) สำหรับอนุภาคทรงกลม [6]




รูปที่ 2.8 การเปล่งแสงของอนุภาคนาโนทองคำที่มีลักษณะรูปร่างต่างๆ ตามความยาวคลื่นที่แตกต่าง [7]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในปี ค.ศ. 2012 C. C. Vidyasagar และคณะ ได้ศึกษาการพัฒนาประสิทธิภาพของวัสดุนาโนซิงค์ออกไซด์ (ZnO) เพื่อใช้ในการพัฒนาประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยมีการสังเคราะห์ ZnO และ Cd-ZnO จากการทดลอง พบว่า โครงสร้างและองค์ประกอบทางเคมีของอนุภาคนาโนถูกนำมาวิเคราะห์โดยการศึกษาการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD) นอกจากนี้คุณสมบัติทางแสงและช่องว่างแถบพลังงานถูกศึกษาโดยสเปกตรัมการดูดกลืนแสงย่านอัลตร้าไวโอเลตถึงแสงย่านตามองเห็น แสดงให้เห็นว่า เมื่อมีการเจือด้วย Cd จะทำให้ช่องว่างแถบพลังงานลดลงด้วยการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิการอบ ซึ่งอยู่ในช่วง 3.38 – 3.26 eV จากนั้นทำการเตรียมฟิล์ม Cd-ZnO โดยมีการใช้สีย้อมที่แตกต่างกัน อาทิเช่น Eosin B (EB) , Fast Sulphon Black F (FSF) และ Solochrome Black T (SBT)

ในปี ค.ศ. 2014 S.Majumder และคณะ ได้มีการสังเคราะห์ Au-$TiO_2$ โดยวิธีการ sol-gel โดยทำการศึกษา Photoluminescence (PL) และ Photoconductivity (PC) ของ $TiO_2$ และ Au-$TiO_2$ จากการทดลอง พบว่า การเพิ่มประสิทธิภาพของการปลดปล่อย Photoluminescence ของ Au–$TiO_2$ เมื่อเทียบกับ $TiO_2$ นั้นมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นเนื่องมาจากผลของ Fluorescence resonance energy transfer และ Surface Plasmon resonance

ในปี ค.ศ. 2010 B.Karthikeyanm ได้มีการสังเคราะห์ Au-polyvinyl alcohol nanocompositeและrhodamine-6G doped Au-polyvinyl alcoholnanocompositepolymer films ซึ่งเตรียมที่อุณหภูมิห้อง จากการศึกษา Steady state fluorescence พบว่า อนุภาคนาโนระงับเรืองแสงของ rhodamine-6G โดย Fluoresence quenching ถูกวิเคราะห์จาก like Förster resonant energy transfer, nanometal surfaceenergy transfer and electron transfer to metallic conduction bands.นอกจากนี้ยังพบว่าการเปลี่ยนแปลงของอัตราการสลายตัวเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของอนุภาคนาโนทองคำ และยังขึ้นอยู่กับขนาดของอนุภาคนาโน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 3
# วิธีดำเนินการวิจัย

ในบทนี้จะอธิบายถึงเครื่องมือและระบบที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย รวมถึงกระบวนการในการจัดเตรียมสารเรืองแสงร่วมกับทองนาโน และการทดสอบสมบัติทางแสงของสารเรืองแสงที่จัดเตรียมขึ้น โดยมีเนื้อหาแบ่งออกเป็น 4 หัวข้อหลักดังนี้

1. เครื่องมือและระบบการวัดที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย
2. การเตรียมแม่พิมพ์
3. การจัดเตรียม R6G และ R6G+Au ในรูปของสารละลายและฟิล์ม
4. การศึกษาสมบัติทางแสงของ R6G และ R6G+Au ในรูปของสารละลายและฟิล์ม

## 3.1 เครื่องมือและระบบการวัดที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

### 3.1.1 แหล่งกำเนิดแสงจากหลอดไฟทังสเตน

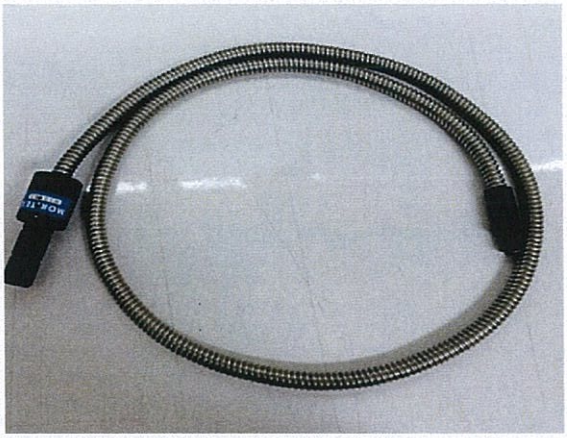
แหล่งกำเนิดแสงจากหลอดไฟทังสเตน (MEGALIGHT 100) ดังรูปที่ 3.1 ซึ่งสเปกตรัมแสงได้จากการวัดเป็นแสงในความยาวคลื่น 200-1100 นาโนเมตร

รูปที่ 3.1 เครื่องฉายแสงจากหลอดทังสเตน

### 3.1.2 เส้นใยแก้วนำแสง

- สายใยแก้วนำแสงสำหรับนำส่งแสงจากแหล่งกำเนิดแสงไปยังตัวอย่างที่ต้องการทดสอบ ซึ่งมีลักษณะดังรูปที่ 3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 สายใยแก้วนำแสงสำหรับนำส่งแสงจากแหล่งกำเนิดแสงไปยังตัวอย่างที่ต้องการทดสอบ

- สายใยแก้วนำแสง (Avantaes FC-UV200-2) ลักษณะดังรูปที่ 3.3 สายใยแก้วนำแสงทำหน้าที่ในการนำส่งแสงที่ผ่านสารตัวอย่างเข้าสู่เครื่องสเปกโตรมิเตอร์ สายใยแก้วนำแสงมีขนาดความยาว 2 เมตร และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 200 ไมโครเมตร และ 600 ไมโครเมตร โดยใช้ในการทดลองที่เกี่ยวข้องกับการวัดสมบัติเชิงแสงสายใยแก้วนำแสง

รูปที่ 3.3 สายใยแก้วนำแสง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 200 ไมโครเมตร (ซ้าย)
และ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 600 ไมโครเมตร (ขวา)

### 3.1.3 เครื่องสเปกโตรมิเตอร์

เครื่องสเปกโตรมิเตอร์ (UV/VIS Spectrometer Avantesavaspec-EDU) เป็นเครื่องที่ใช้ในการตรวจวัดปริมาณแสงและค่า intensity ที่อยู่ในช่วง Ultra violet (UV) และ Visible (VIS) ความยาวคลื่นที่วัดได้ประมาณ 200-1100 นาโนเมตร โดยในการทดลองที่เกี่ยวกับการวัดสมบัติเชิงแสงควรใช้สเปกโตรมิเตอร์เดิมทุกครั้ง ลักษณะดังรูป 3.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.4 เครื่องสเปกโตรมิเตอร์

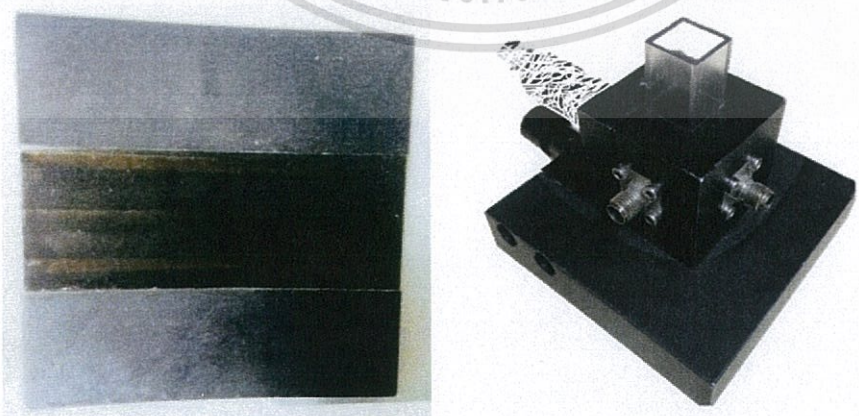
**3.1.4 อุปกรณ์จับยึดใยแก้วนำแสง**

อุปกรณ์จับยึด ทำหน้าที่ในการจับยึดสายใยแก้วนำแสงทั้งเส้น

- อุปกรณ์จับยึดสายใยแก้วนำแสง มีลักษณะดังรูปที่ 3.5

รูปที่ 3.5 อุปกรณ์จับยึดเส้นใยแก้วนำแสง

- อุปกรณ์จับยึดแผ่นฟิล์ม Au/PMMA และคิวเวท มีลักษณะดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 อุปกรณ์จับยึดแผ่นฟิล์ม Au/PMMA และคิวเวท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.5 ไดโอดเปล่งแสง

ไดโอดเปล่งแสงจะถูกยึดติดกับอุปกรณ์ระบายความร้อน โดยที่ความเข้มแสงสูงสุดอยู่ที่ความยาวคลื่น 527 นาโนเมตร (แสงสีเขียว) ซึ่งจะใช้ไดโอดเปล่งแสงสำหรับในการกระตุ้นสารเรืองแสง

รูปที่ 3.7 ไดโอดเปล่งแสง

**การเชื่อมต่อสายใยแก้วนำแสง เพื่อศึกษาสมบัติทางแสงในรูปของสารละลายและฟิล์ม**

- การศึกษาสเปกตรัมการดูดกลืนแสง สายใยแก้วนำแสงที่เชื่อมต่อกับเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ จะถูกวางให้ตรงกับแหล่งกำเนิดแสง
- การศึกษาสเปกตรัมการปลดปล่อยแสง สายใยแก้วนำแสงที่เชื่อมต่อกับเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ จะถูกวางทำมุม 90 องศากับแหล่งกำเนิดแสง (กรณีสารละลาย) และ จะถูกวางทำมุมองศาที่เหมาะสมกับแหล่งกำเนิดแสง (กรณีฟิล์ม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

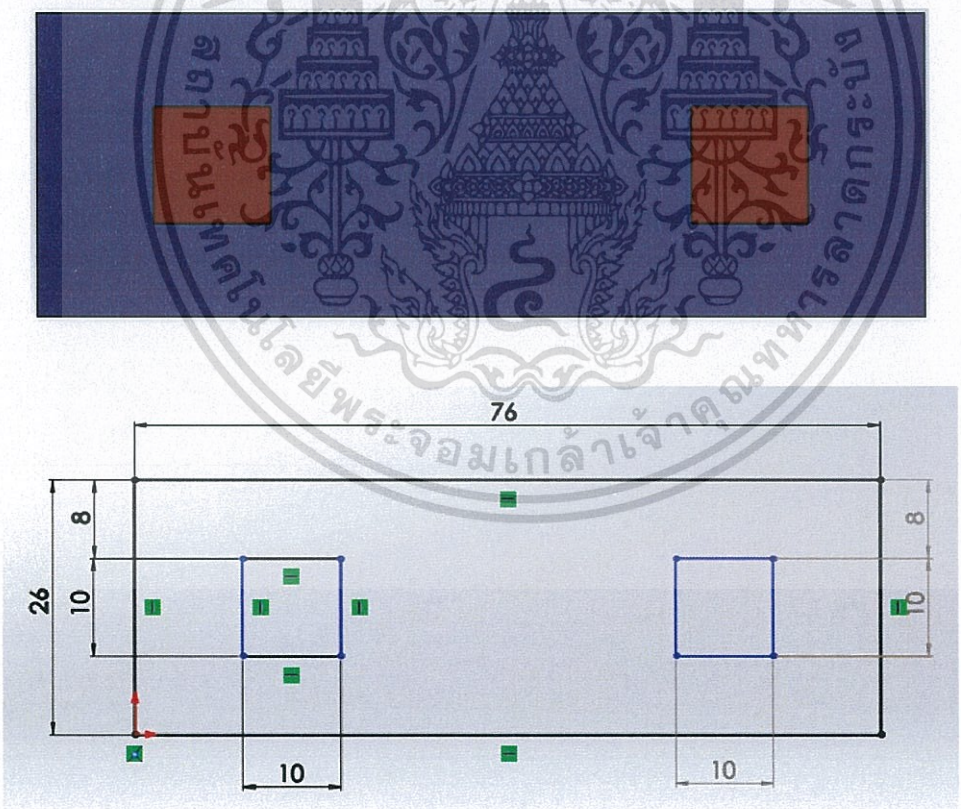
## 3.2 การเตรียมแม่พิมพ์

### 3.2.1 วัสดุและอุปกรณ์

1. กระจกสไลด์
2. เทปกาว
3. ไม้บรรทัด
4. คัตเตอร์

### 3.2.2 ขั้นตอนในการทำแม่พิมพ์

1. นำเทปกาวมาแปะลงบนกระจกสไลด์ 5 ครั้ง จนได้ความหนาเทปกาวประมาณ 1 มิลลิเมตร
2. ทำการวัดช่องขนาด ยาว 1 เซนติเมตร และกว้าง 1 เซนติเมตร จำนวน 2 ช่อง/สไลด์
3. นำคัตเตอร์มากรีดเทปกาวออกตามขนาดที่วัดไว้
4. จะได้แม่พิมพ์ที่จะนำมาใช้ในการทดลอง




รูปที่ 3.8 การเตรียมแม่พิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 3.3 การจัดเตรียม R6G และ R6G+Au ในรูปของสารละลายและฟิล์ม

### 3.3.1 วัสดุและอุปกรณ์ในการทดลอง

1. สารวัสดุทอง (Au) เส้นผ่านศูนย์กลาง 25 nm ความยาว 83 nm
2. สารทำละลาย Dichloromethane (DCM)
3. สาร Polymethyl Methacylate (PMMA)
4. สาร Rhodamine 6G
5. อะซิโตน
6. เอทานอล
7. บล็อกชิ้นงาน
8. คิวเวท
9. เครื่องเขย่าสาร
10. ขวดแก้วและฝาปิด

### 3.3.2 ขั้นตอนในการเตรียมสารละลาย R6G ที่มีความเข้มข้นต่างๆ

1. เตรียมสารละลาย R6G ความเข้มข้น $10^{-3}$ M ปริมาตร 10 ml ( Stock Solution )
2. เตรียมสารละลาย R6G โดยการเจือจางที่ความเข้มข้นต่างๆกัน คือ 1 uM, 2 uM, 4 uM, 6 uM และ 8 uM ปริมาตร 10 ml จากข้อ 1
3. นำสารละลาย R6G ความเข้มข้นต่างๆ ปริมาตร 1 ml มาวัดค่าการดูดกลืน และการเปล่งแสง

### 3.3.3 ขั้นตอนในการเตรียม R6G+Au ในรูปของสารละลายและฟิล์ม

1. เตรียมสารละลาย R6G ความเข้มข้น $10^{-3}$ M ปริมาตร 10 ml ( Stock Solution )
2. เตรียมสารละลาย R6G ความเข้มข้น 6 uM ปริมาตร 10 ml จากข้อ 1
3. นำสารละลาย R6G ความเข้มข้น 6 uM ปริมาตร 1 ml มาวัดค่าการดูดกลืน และการเปล่งแสง
4. นำสารละลาย Au ความเข้มข้น 0.09 M ปริมาตร 1 ml มาวัดค่าการดูดกลืน และการเปล่งแสง
5. นำสารละลาย Au ผสมกับสารละลาย R6G ที่ความเข้มข้นค่าต่างๆ ดังตารางที่ 3.1A
6. นำสารละลายที่ได้จากข้อ 5 ใส่ลงในคิวเวท และนำมาวัดค่าการดูดกลืนและการเปล่งแสง
7. นำสารละลายจากข้อ 6 เทลงในขวด ซึ่งมี PMMA 0.4 g ทุกขวด ดังตารางที่ 3.1B
8. นำสารที่เตรียมไว้ในข้อ 7 มาเขย่าแล้วเทลงในบล็อกชิ้นงาน จะได้ฟิล์มออกมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1A การเตรียมสารละลาย R6G+Au ที่ความเข้มข้นต่างๆ

| ขวดที่ | R6G 6uM (ml) | Au 0.09 M (ml) | DCM (ml) |
|---|---|---|---|
| 1 | 0.5 | 0.5 | 1 |
| 2 | 0.75 | 0.25 | 1 |
| 3 | 0.875 | 0.125 | 1 |
| 4 | 0.9375 | 0.0625 | 1 |
| 5 | 0.96875 | 0.03125 | 1 |

ตารางที่ 3.1B การเตรียมฟิล์ม R6G+Au ที่ความเข้มข้นต่างๆ

| ขวดที่ | R6G 6uM (ml) | Au 0.09 M (ml) | DCM (ml) | PMMA (g) |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 0.5 | 0.5 | 1 | 0.4 |
| 2 | 0.75 | 0.25 | 1 | 0.4 |
| 3 | 0.875 | 0.125 | 1 | 0.4 |
| 4 | 0.9375 | 0.0625 | 1 | 0.4 |
| 5 | 0.96875 | 0.03125 | 1 | 0.4 |

**3.3.4 ขั้นตอนในการเตรียม R6G ในรูปของสารละลายและฟิล์ม**

1. เตรียมสารละลาย R6G ความเข้มข้น $10^{-3}$ M ปริมาตร 10 ml ( Stock Solution )
2. เตรียมสารละลาย R6G ความเข้มข้น 6 uM ปริมาตร 10 ml จากข้อ 1
3. นำสารละลาย R6G ความเข้มข้น 6 uM ปริมาตร 1 ml มาวัดค่าการดูดกลืนและการเปล่งแสง
4. ผสมสารละลาย R6G ที่ความเข้มข้นค่าต่างๆ ดังตารางที่ 3.2A
5. นำสารละลายที่ได้จากข้อ 4 ใส่ลงในคิวเวท และนำมาวัดค่าการดูดกลืนและการเปล่งแสง
6. นำสารละลายจากข้อ 5 เทลงในขวด ซึ่งมี PMMA 0.4 g ทุกขวด ดังตารางที่ 3.2B
7. นำสารที่เตรียมไว้ในข้อ 6 มาเขย่าแล้วเทลงในบล็อกชิ้นงาน จะได้ฟิล์มออกมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2A การเตรียมสารละลาย R6G ที่ความเข้มข้นต่างๆ

| ขวดที่ | R6G 6uM (ml) | DCM (ml) | DCM (ml) |
|---|---|---|---|
| 1 | 0.5 | 0.5 | 1 |
| 2 | 0.75 | 0.25 | 1 |
| 3 | 0.875 | 0.125 | 1 |
| 4 | 0.9375 | 0.0625 | 1 |
| 5 | 0.96875 | 0.03125 | 1 |

ตารางที่ 3.2B การเตรียมฟิล์ม R6G ที่ความเข้มข้นต่างๆ

| ขวดที่ | R6G 6uM (ml) | DCM (ml) | DCM (ml) | PMMA (g) |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 0.5 | 0.5 | 1 | 0.4 |
| 2 | 0.75 | 0.25 | 1 | 0.4 |
| 3 | 0.875 | 0.125 | 1 | 0.4 |
| 4 | 0.9375 | 0.0625 | 1 | 0.4 |
| 5 | 0.96875 | 0.03125 | 1 | 0.4 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 3.4 การศึกษาสมบัติทางแสงของ R6G และ R6G+Au ในรูปของสารละลายและฟิล์ม

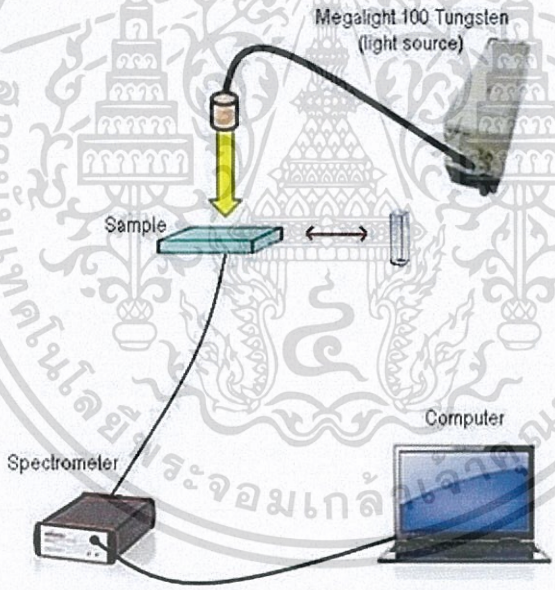
### 3.4.1 การวัดสเปกตรัมการดูดกลืนแสง

#### 3.4.1.1 วัสดุและอุปกรณ์ในการทดลอง

1. เครื่องสเปกโตรมิเตอร์
2. สายใยแก้วนำแสง (ใช้ทั้ง 600 ไมโครเมตร และ 200 ไมโครเมตร)
3. เครื่องฉายแสงจากหลอดทังสเตน
4. อุปกรณ์จับยึดเส้นใยแก้วนำแสง
5. อุปกรณ์จับยึดแผ่นฟิล์ม Au/PMMA และคิวเวท

#### 3.4.1.2 ขั้นตอนในการทดลอง

1. ติดตั้งอุปกรณ์ดังรูป 3.9




รูปที่ 3.9 การติดตั้งอุปกรณ์ในการวัดค่าการดูดกลืนของสารตัวอย่าง

2. เปิดโปรแกรม Avasoft รุ่น 7.4
3. ทำการวัด background ของเครื่องสเปกโตรมิเตอร์
4. ทำการวัดค่าการดูดกลืนของตัวอย่าง ตามตารางที่ 3.1 และ 3.2
   ใช้ DCM เป็นตัวเทียบอ้างอิง เมื่อวัดในรูปของสารละลาย
   ใช้ ฟิล์ม PMMA เป็นตัวเทียบอ้างอิง เมื่อวัดในรูปของฟิล์ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

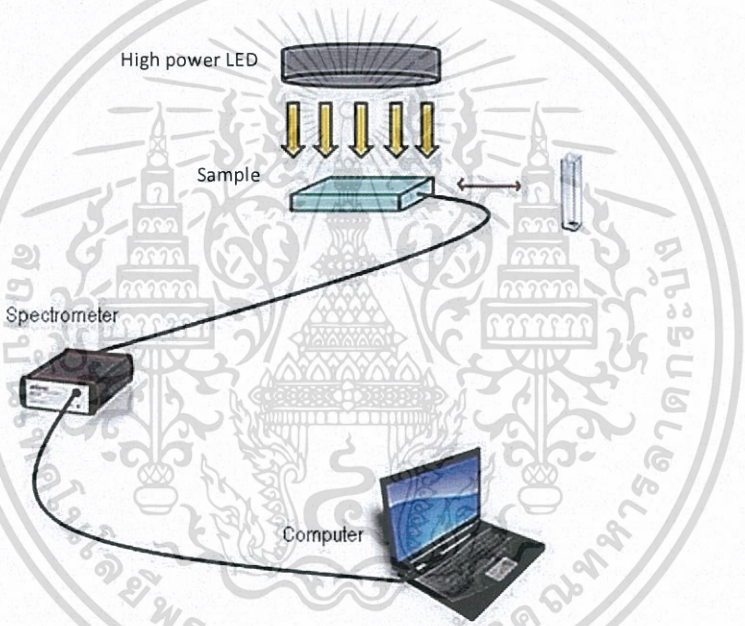
### 3.4.2 การวัดสเปกตรัมลูมิเนสเซนต์

#### 3.4.2.1 วัสดุและอุปกรณ์ในการทดลอง

1. เครื่องสเปกโตรมิเตอร์
2. สายใยแก้วนำแสง (ใช้ทั้ง 600 ไมโครเมตร และ 200 ไมโครเมตร)
3. High power LED
4. อุปกรณ์จับยึดเส้นใยแก้วนำแสง
5. อุปกรณ์จับยึดแผ่นฟิล์ม Au/PMMA และคิวเวท

#### 3.4.2.2 ขั้นตอนในการทดลอง

1. ติดตั้งอุปกรณ์ดังรูปที่ 3.10




รูปที่ 3.10 การติดตั้งอุปกรณ์ในการวัดค่าสเปกตรัมลูมิเนสเซนต์แบบใช้ High power LED

2. เปิดโปรแกรม Avasoft รุ่น 7.4
3. ทำการวัด background ของเครื่องสเปกโตรมิเตอร์
4. ทำการวัดค่าสเปกตรัมลูมิเนสเซนต์ของตัวอย่าง ตามตารางที่ 3.1 และ 3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

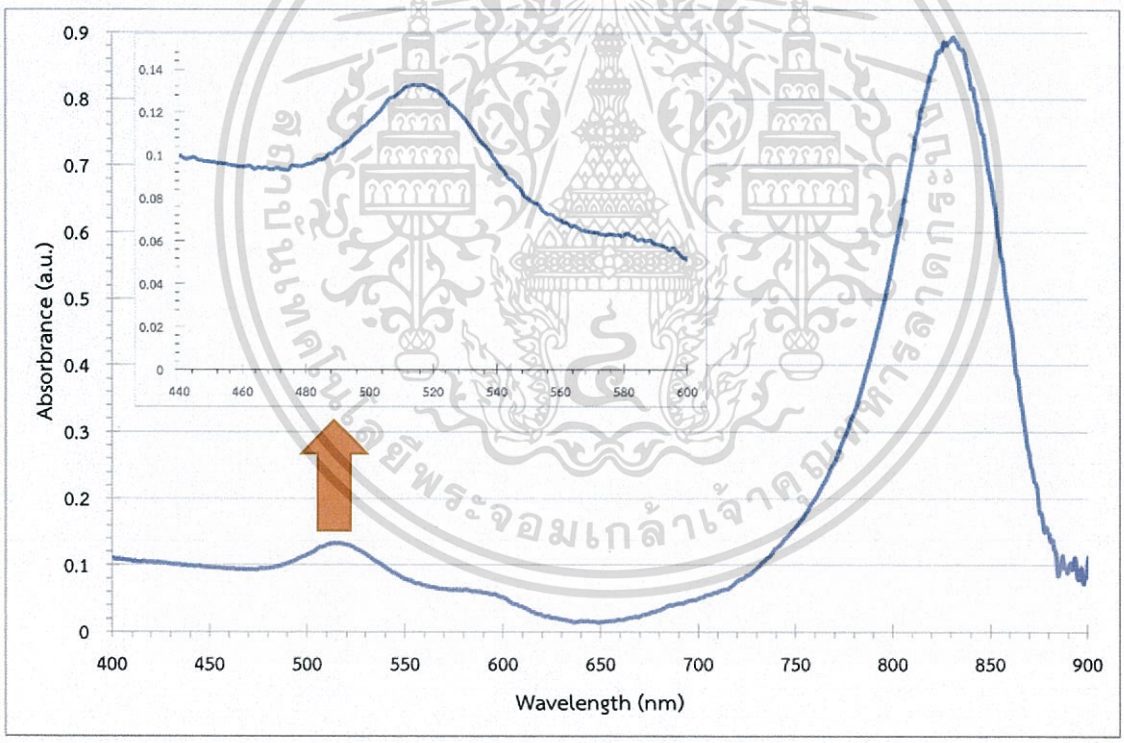
# บทที่ 4

# ผลการวิจัยและอภิปรายผล

## 4.1 ผลการศึกษาสมบัติทางแสงของสารละลาย Au, R6G และ การเลือก LED

### 4.1.1 ผลการศึกษาสมบัติการดูดกลืนแสงของสารละลาย Au

จากการศึกษาสมบัติการดูดกลืนแสงของสารละลาย Au ที่มีความเข้มข้น 0.09 M ปริมาตร 1 ml ก่อนการเจือจาง ด้วยเครื่อง UV-VIS spectrometer ได้สเปกตรัมการดูดกลืนแสง ดังรูปที่ 4.1 ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า สารละลาย Au มีพีคการดูดกลืนแสงอยู่ที่ความยาวคลื่นประมาณ 520 nm ซึ่งอยู่ในย่านแสงวิสิเบิล

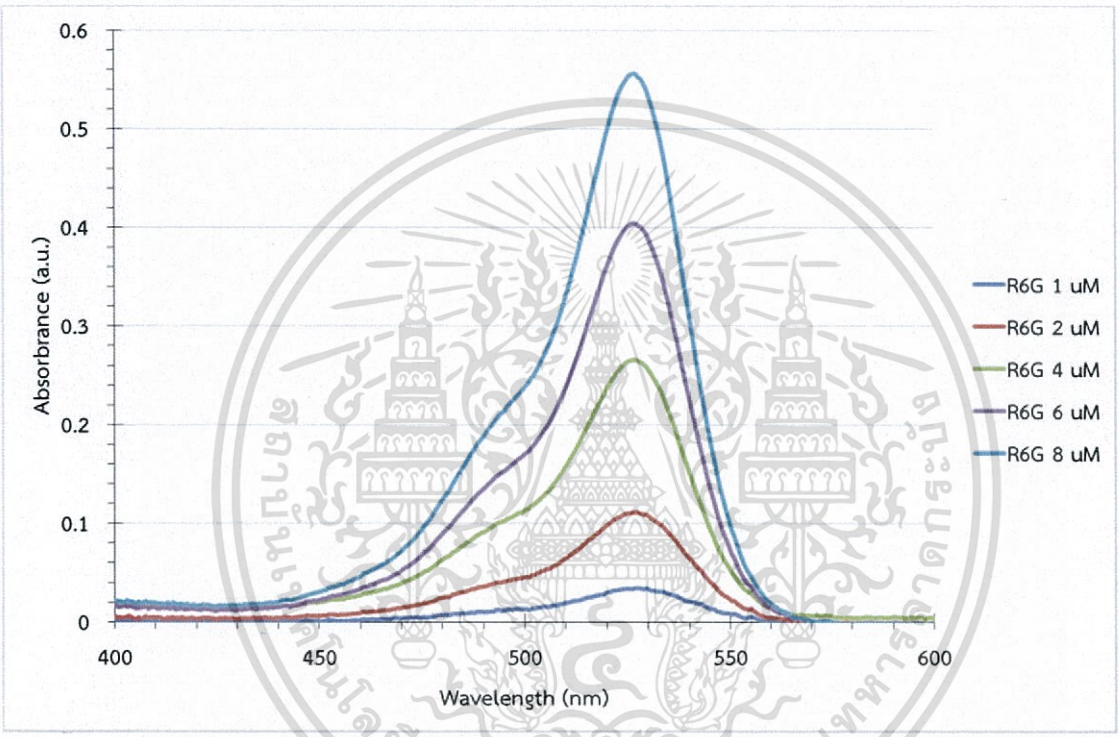



รูปที่ 4.1 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารละลาย Au

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.1.2 ผลการศึกษาสมบัติการดูดกลืนแสงของสารละลาย R6G

จากการศึกษาสมบัติการดูดกลืนแสงของสารละลาย R6G โดยการเจือจางที่ความเข้มข้นต่างๆกัน คือ 1 uM, 2 uM, 4 uM, 6 uM และ 8 uM ได้สเปกตรัมการดูดกลืนแสง ดังรูปที่ 4.2 จากกราฟจะเห็นได้ว่า สารละลาย R6G ที่ความเข้มข้น 6 uM มีค่าการดูดกลืนแสงประมาณ 0.4 ที่ความยาวคลื่น 520 nm ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าการดูดกลืนแสงของ Au เนื่องจากไม่ต้องการที่จะให้ผลของตัวสีย้อมไปบดบังอิทธิพลของ Au ต่อการเปล่งแสงของตัวสีย้อมเอง

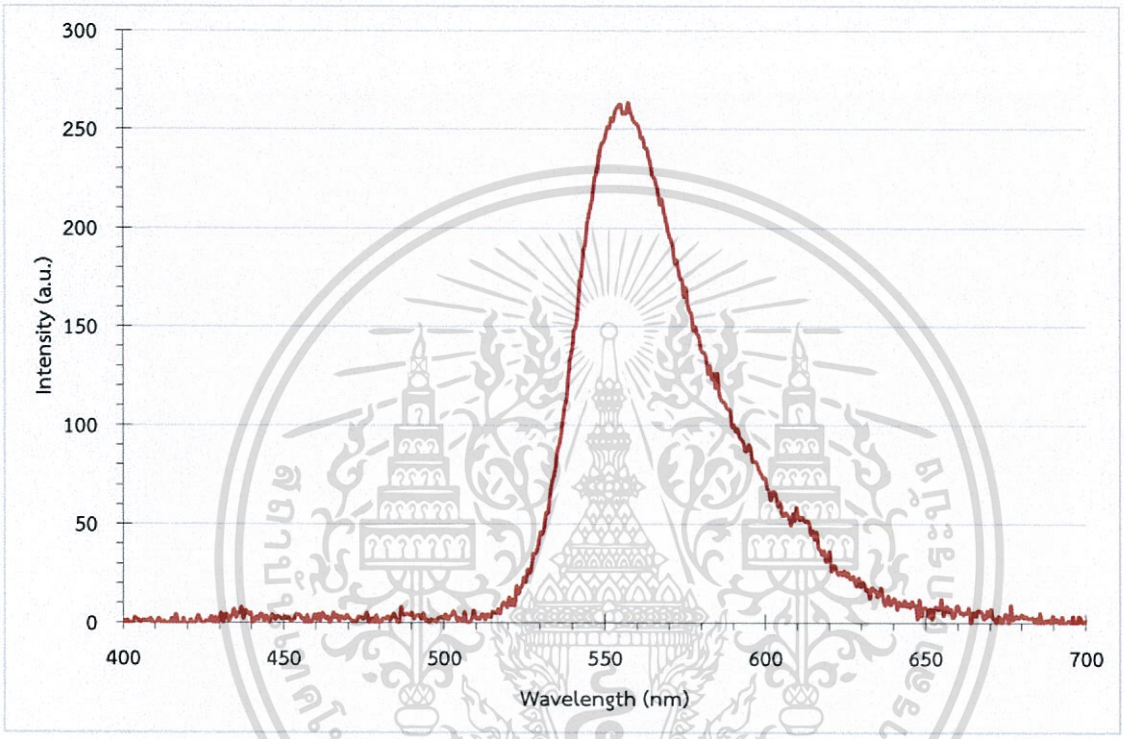



รูปที่ 4.2 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารละลาย R6G ที่มีความเข้มข้น 1, 2, 4, 6 และ 8 uM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.1.3 ผลการศึกษาสมบัติการปลดปล่อยแสงลูมิเนสเซนต์ของสารละลาย R6G

จากการศึกษาการปลดปล่อยแสงลูมิเนสเซนต์ของสารละลาย R6G ที่ความเข้มข้น 6 uM ดังรูปที่ 4.3 จะเห็นได้ว่า สารละลาย R6G ที่ความเข้มข้น 6 uM มีค่าการปลดปล่อยแสงที่ความยาวคลื่น 557 nm ซึ่งอยู่ในย่านแสงวิสิเบิล

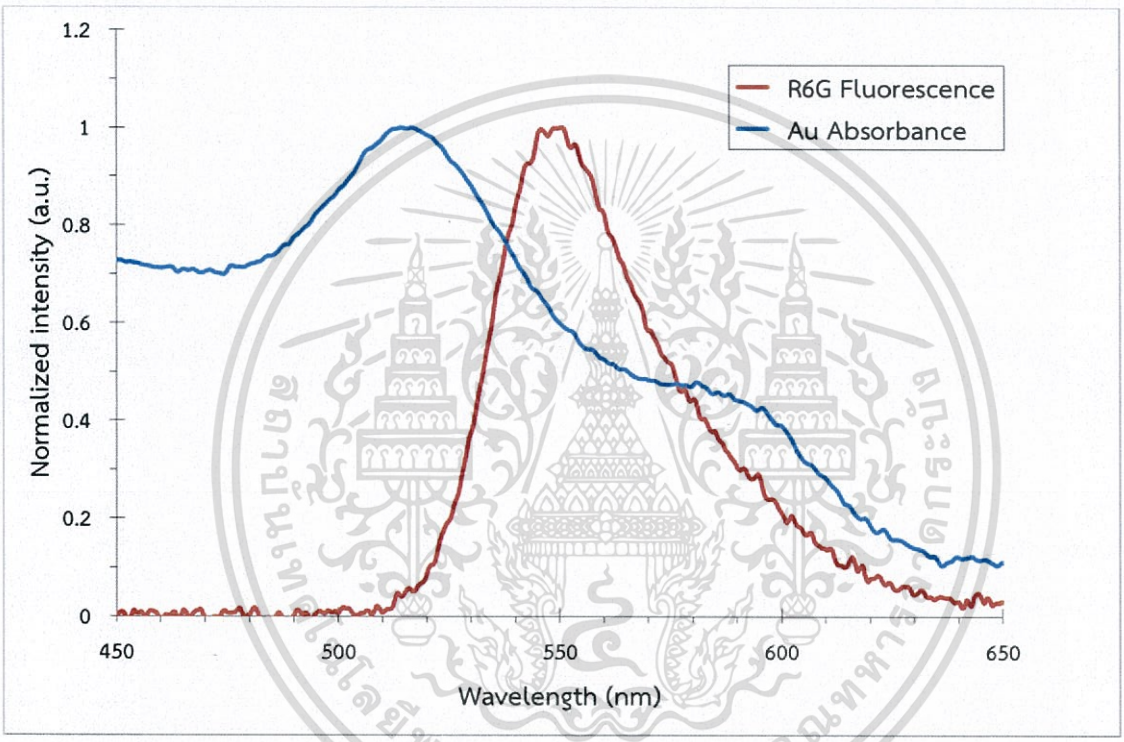



รูปที่ 4.3 สเปกตรัมการปลดปล่อยแสงของสารละลาย R6G ที่ความเข้มข้น 6uM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.1.4 ผลการศึกษาสมบัติการดูดกลืนแสงของสารละลาย Au และการปลดปล่อยแสงลูมิเนสเซนต์ของสารละลาย R6G

จากความสัมพันธ์ของสมบัติการดูดกลืนแสงของ Au จากรูปที่ 4.1 และการปลดปล่อยแสงลูมิเนสเซนต์ของ R6G จากรูปที่ 4.3 จะได้ผลดังรูปที่ 4.4 จากกราฟจะเห็นได้ว่า ผลการดูดกลืนแสงของ Au อยู่ที่ความยาวคลื่นประมาณ 520 nm ให้พื้นที่ทับซ้อนกับการปลดปล่อยแสงของ R6G ที่ความยาวคลื่น 557 nm ซึ่งมีการเลื่อนไปทางความยาวคลื่นที่สูงขึ้น

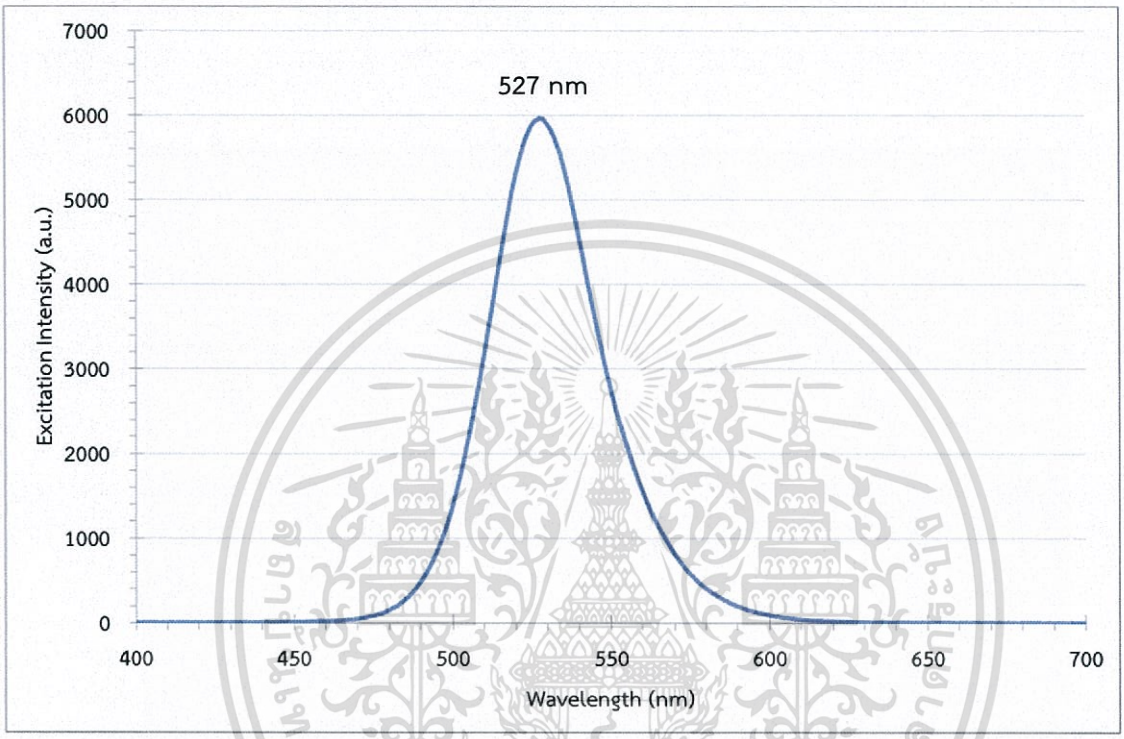



รูปที่ 4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างการดูดกลืนแสงของสารละลาย Au และการปลดปล่อยแสงของสารละลาย R6G

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.1.5 การเลือกการกระตุ้นแสงด้วย LED

จากการเลือกการกระตุ้นสารตัวอย่างด้วย LED ได้ผลดังรูปที่ 4.5 จะเห็นได้ว่า LED สีเขียวให้ค่าความยาวคลื่นที่ 527 nm ซึ่งเหมาะสมในการนำไปใช้เป็นแหล่งกำเนิดแสงให้กับ Au




รูปที่ 4.5 สเปกตรัมของ LED สีเขียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2 ผลการศึกษาสมบัติการปลดปล่อยแสงลูมิเนสเซนต์ของ R6G+Au

จากการทดลองได้เตรียมสารละลาย R6G และ สารละลาย R6G+Au ที่มีความเข้มข้นค่าต่างๆกันดังแสดงในตารางที่ 4.1 กระตุ้นสารตัวอย่างด้วย LED สีเขียว และทำการวัดสเปกตรัมการปลดปล่อยแสงของสารละลาย จะได้ผลการทดลอง R6G+Au แสดงดังรูปที่ 4.6 และ R6G แสดงดังรูปที่ 4.7 ตามลำดับ

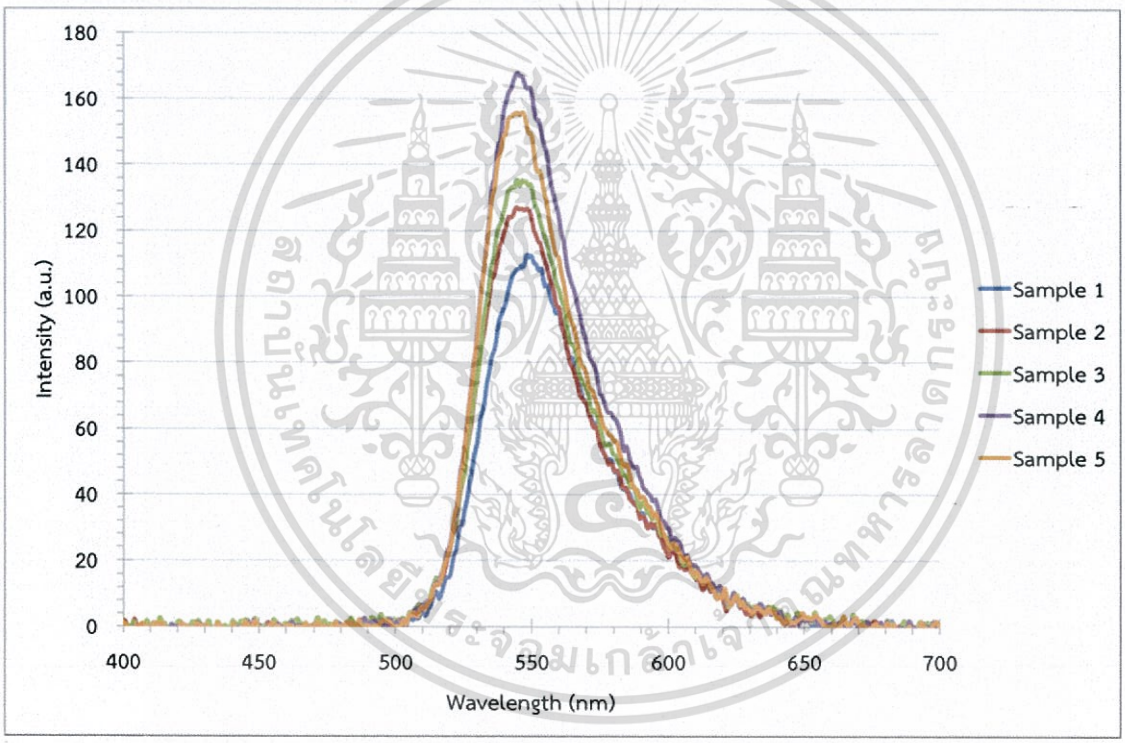
ตารางที่ 4.1 แสดงความเข้มข้นของสารละลาย R6G และสารละลาย R6G+Au ที่ความเข้มข้นค่าต่างๆ

| Sample | สารละลาย R6G (uM) | สารละลาย R6G+Au | |
|---|---|---|---|
| | | R6G (uM) | Au (mM) |
| 1 | 1.50 | 1.50 | 22.50 |
| 2 | 2.25 | 2.25 | 11.25 |
| 3 | 2.62 | 2.62 | 5.62 |
| 4 | 2.81 | 2.81 | 2.81 |
| 5 | 2.90 | 2.90 | 1.40 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.2.1 ผลการศึกษาสมบัติการปลดปล่อยแสงลูมิเนสเซนต์ของ R6G+Au ในรูปของสารละลาย

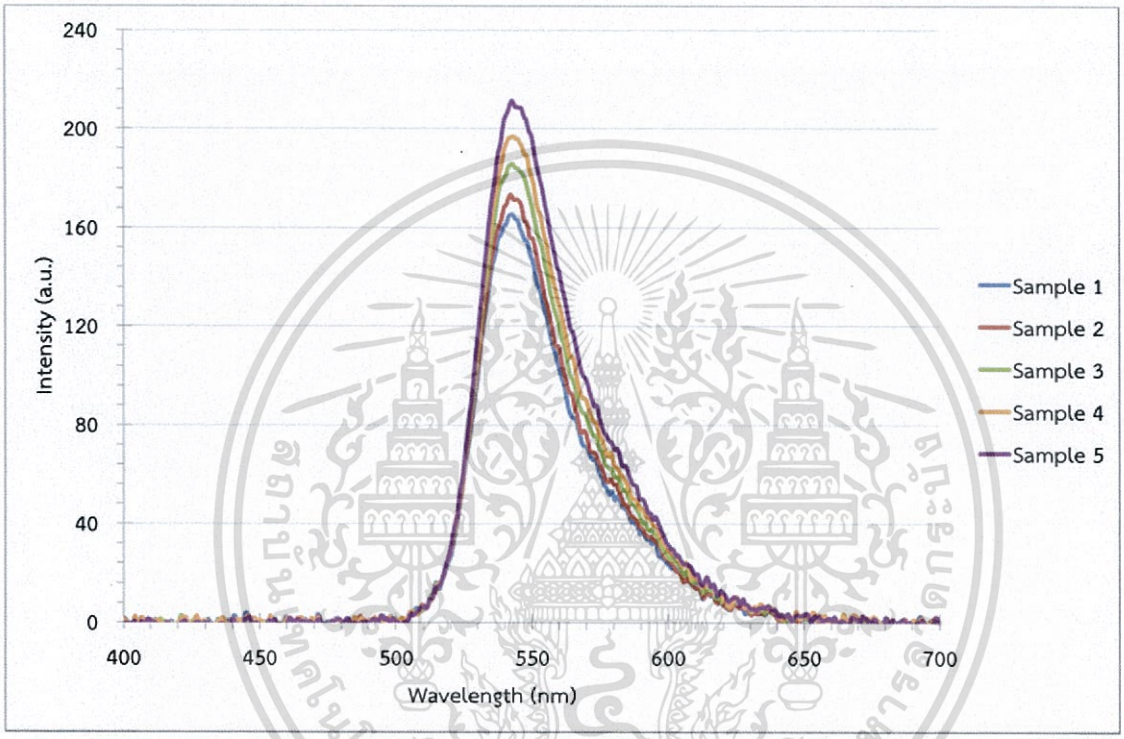
จากการทดลองในหัวข้อ 3.3.3 ตารางที่ 3.1A การศึกษาสมบัติการปลดปล่อยแสงลูมิเนสเซนต์ในรูปของสารละลาย ที่ถูกจัดเตรียมขึ้นจาก R6G+Au ที่มีความเข้มข้นต่างๆกัน ด้วยเครื่อง UV-VIS spectrometer ได้สเปกตรัมการปลดปล่อยแสง R6G+Au ดังรูปที่ 4.6 จากกราฟจะเห็นได้ว่า สารละลาย R6G+Au ที่จัดเตรียมจะเปล่งแสงได้มากขึ้น เมื่อความเข้มข้นของ Au มีค่าสูงขึ้น สารละลาย R6G+Au เปล่งแสงในย่านความยาวคลื่น 450-650 nm และมีพีคการเปล่งแสงสูงสุด ที่ความยาวคลื่น 545 nm




รูปที่ 4.6 สเปกตรัมการปลดปล่อยแสงในรูปของสารละลาย R6G+Au ที่มีความเข้มข้นต่างๆกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

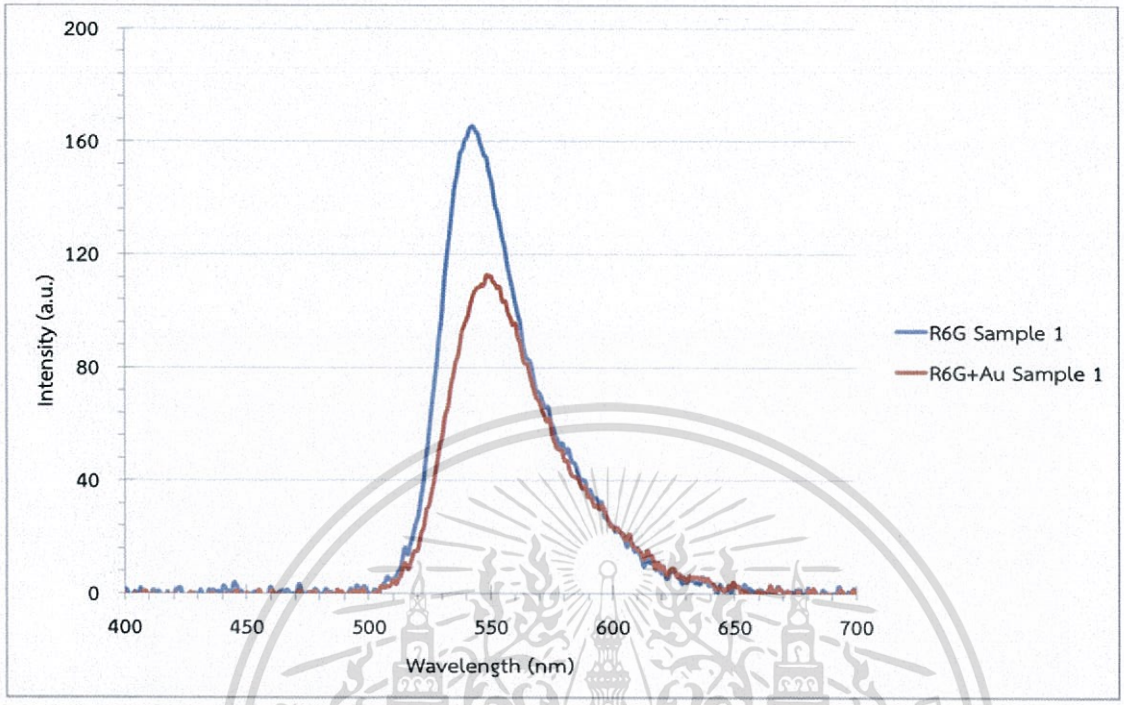
จากการทดลองในหัวข้อ 3.3.4 ตารางที่ 3.2A การศึกษาสมบัติการปลดปล่อยแสงลูมิเนสเซนต์ในรูปของสารละลาย ที่ถูกจัดเตรียมขึ้นจาก R6G ที่มีความเข้มข้นต่างๆกัน ได้สเปกตรัมการปลดปล่อยแสง ดังรูปที่ 4.7 จากกราฟจะเห็นได้ว่า สารละลาย R6G ที่จัดเตรียมจะเปล่งแสงได้มากขึ้น เมื่อความเข้มข้นของสารมีค่าสูงขึ้น สารละลาย R6G เปล่งแสงในย่านความยาวคลื่น 450-650 nm และมีพีคการปลดปล่อยแสงสูงสุด ที่ความยาวคลื่น 545 nm



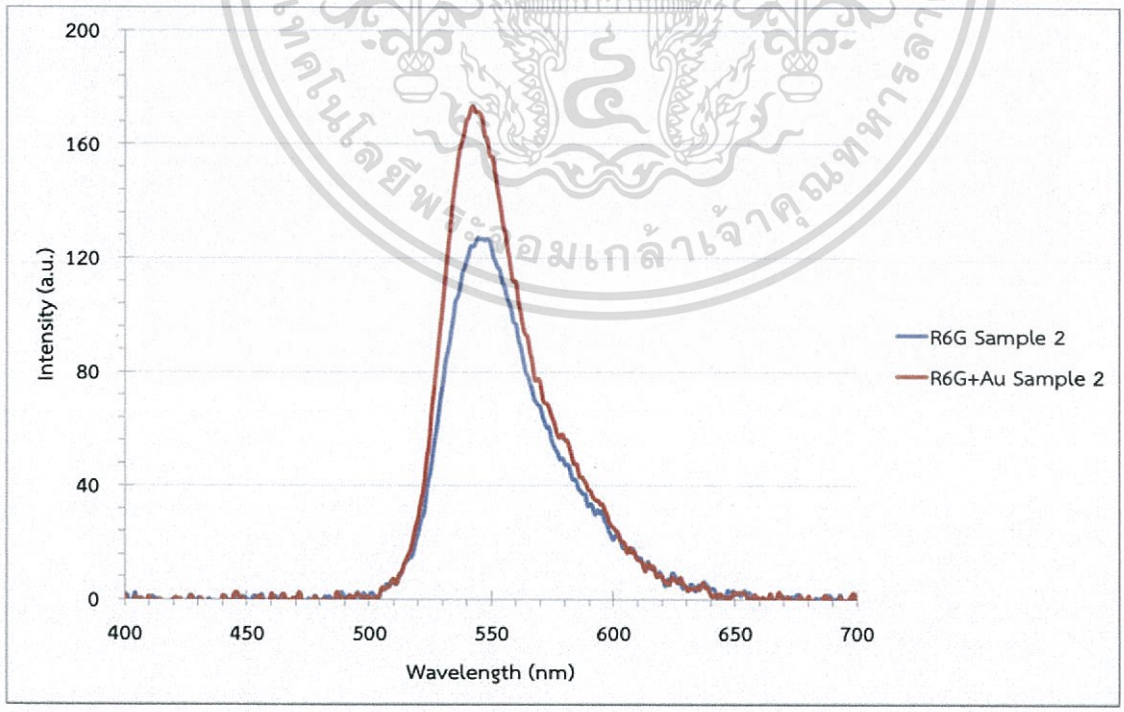

รูปที่ 4.7 สเปกตรัมการปลดปล่อยแสงในรูปของสารละลาย R6G ที่มีความเข้มข้นต่างๆกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลของความเข้มข้นต่างๆ กันของสารละลาย Au ที่มีต่อค่าการเปล่งแสงฟลูออเรสเซนต์ของสารละลาย R6G แสดงดังรูปที่ 4.8 - 4.12 ตามลำดับ

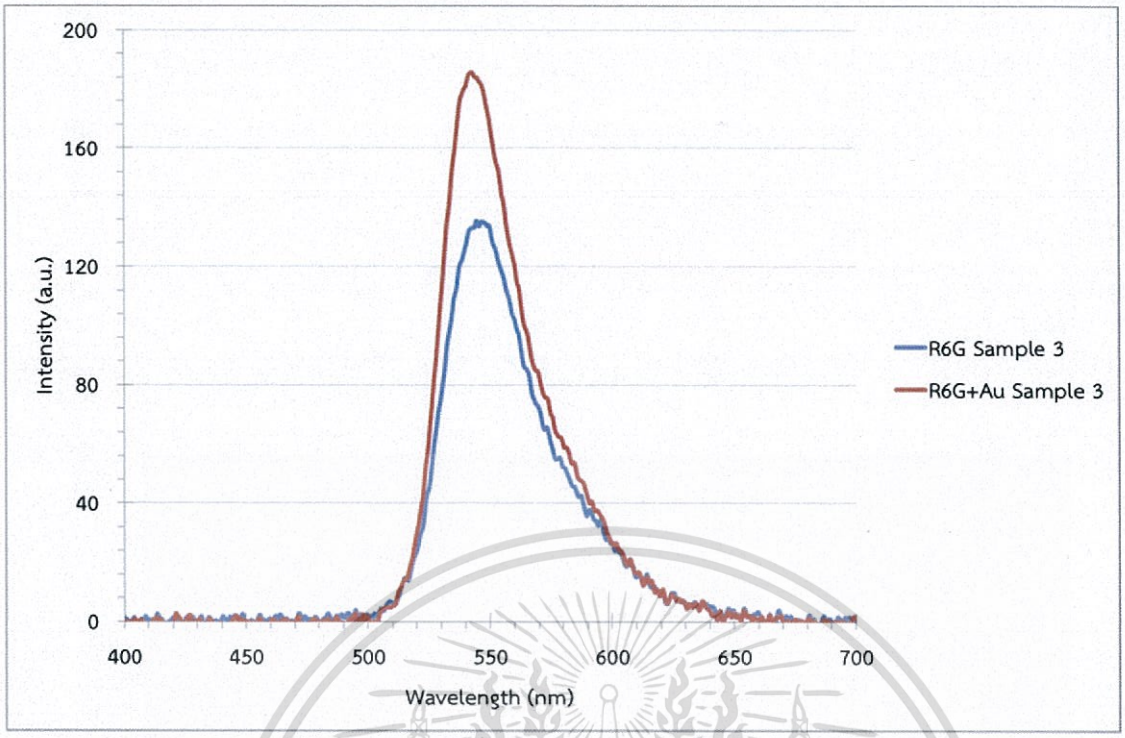



รูปที่ 4.8 กราฟเปรียบเทียบสเปกตรัมการปลดปล่อยแสงในรูปของสารละลายระหว่าง R6G+Au และ R6G ของ Sample 1

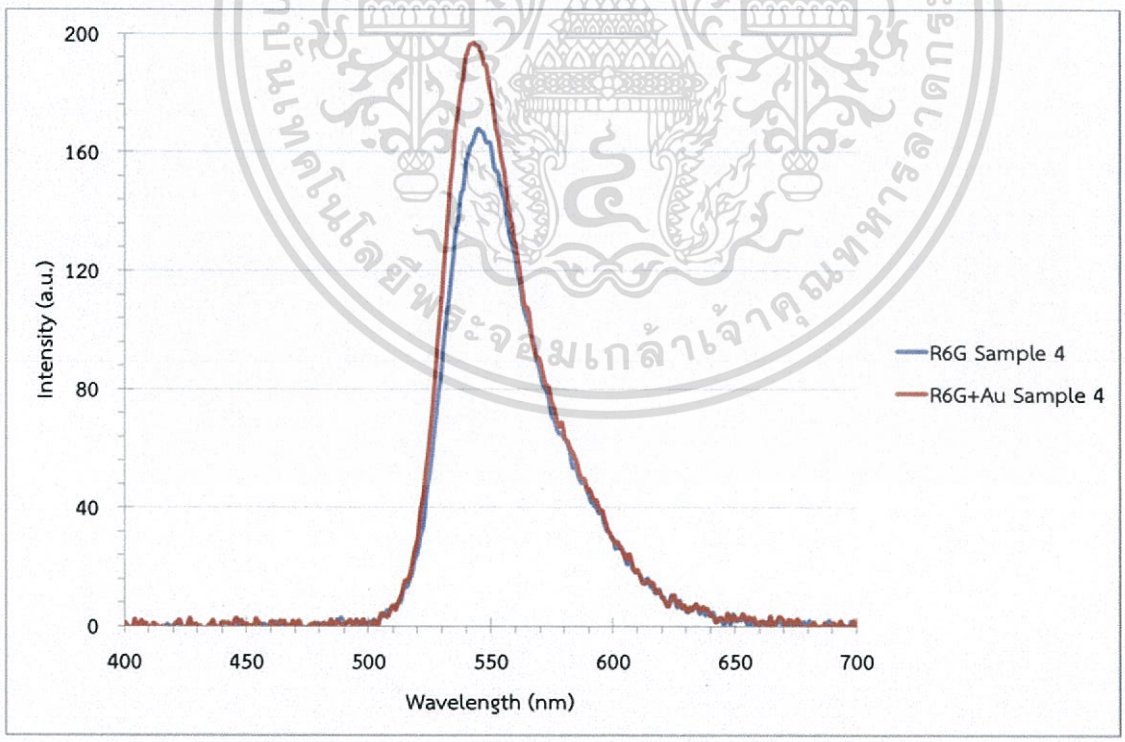



รูปที่ 4.9 กราฟเปรียบเทียบสเปกตรัมการปลดปล่อยแสงในรูปของสารละลายระหว่าง R6G+Au และ R6G ของ Sample 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

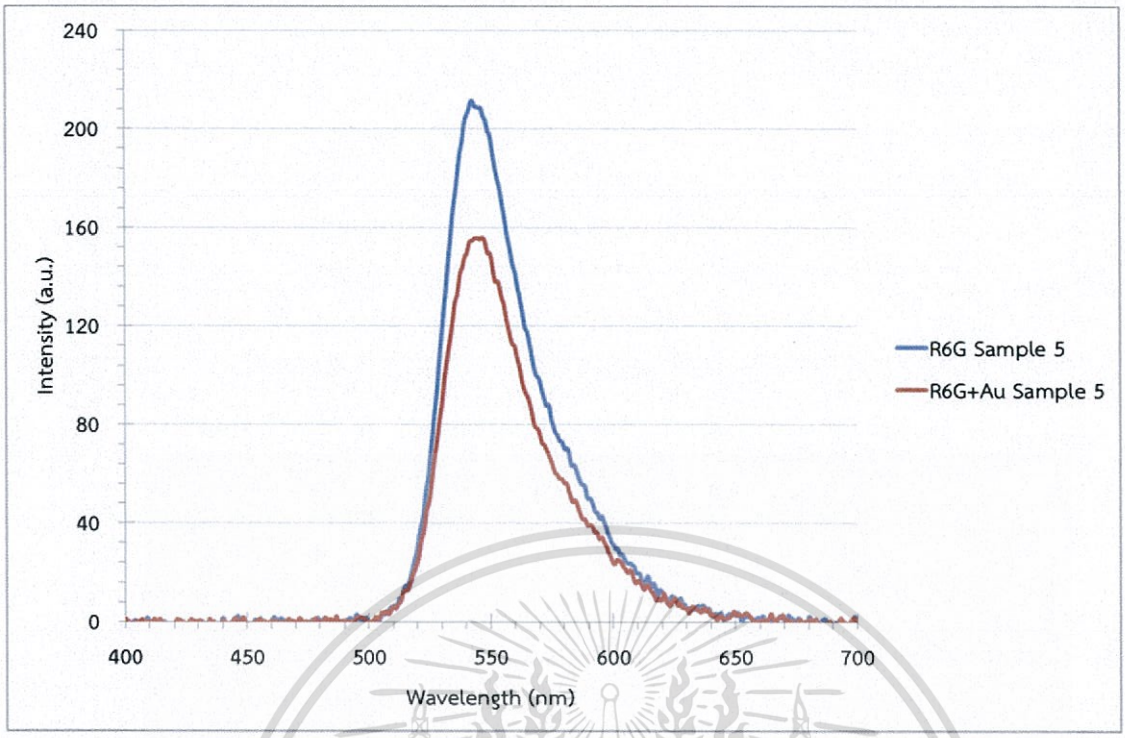



รูปที่ 4.10 กราฟเปรียบเทียบสเปกตรัมการปลดปล่อยแสงในรูปของสารละลายระหว่าง R6G+Au และ R6G ของ Sample 3




รูปที่ 4.11 กราฟเปรียบเทียบสเปกตรัมการปลดปล่อยแสงในรูปของสารละลายระหว่าง R6G+Au และ R6G ของ Sample 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

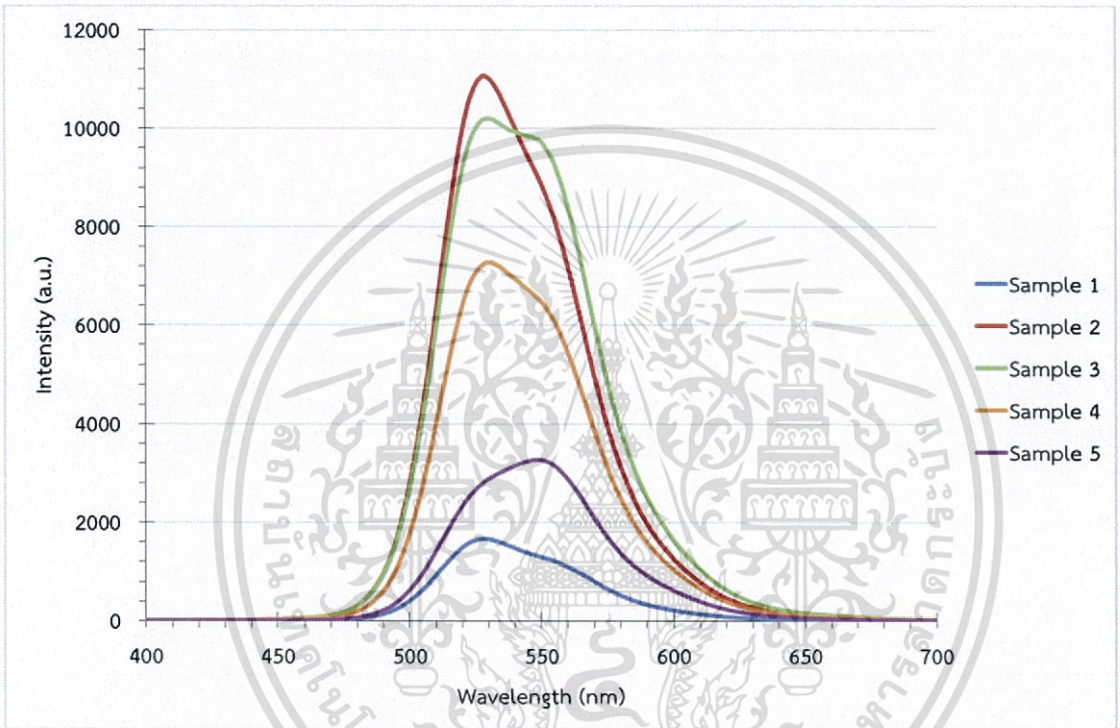



รูปที่ 4.12 กราฟเปรียบเทียบสเปกตรัมการปลดปล่อยแสงในรูปของสารละลายระหว่าง R6G+Au และ R6G ของ Sample 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.2.2 ผลการศึกษาสมบัติการปลดปล่อยแสงลูมิเนสเซนต์ R6G+Au ในรูปของฟิล์ม

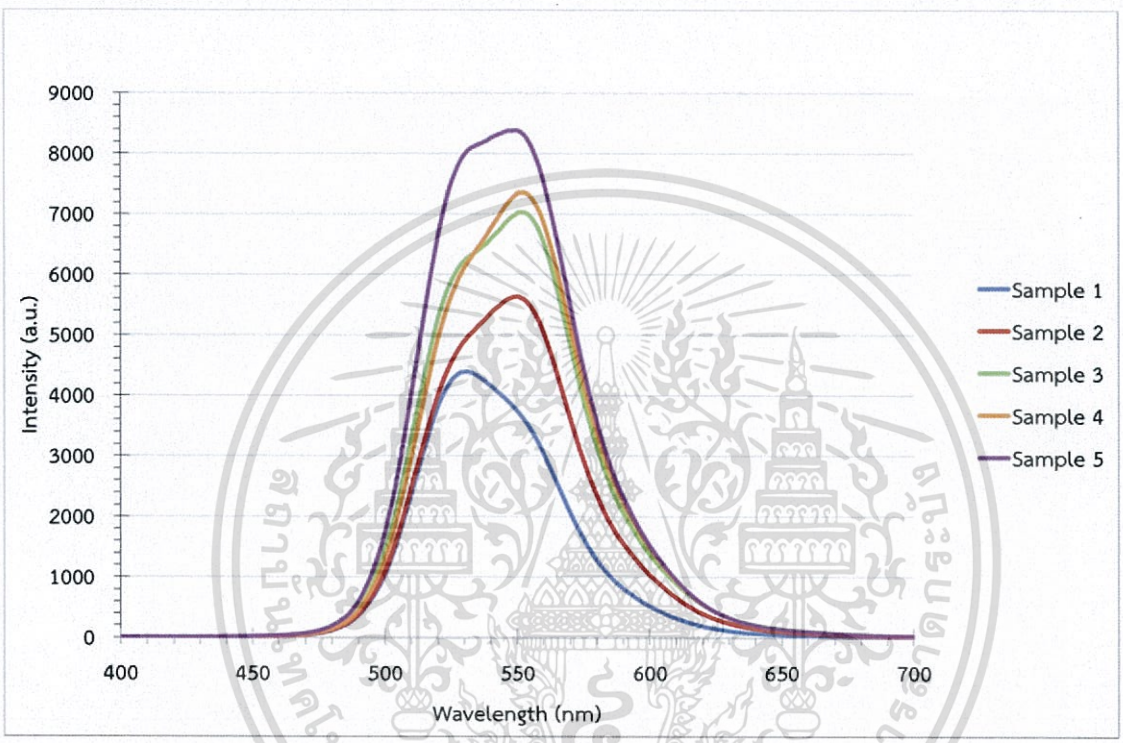
จากการทดลองในหัวข้อ 3.3.3 ตารางที่ 3.1B การศึกษาสมบัติการปลดปล่อยแสงลูมิเนสเซนต์ในรูปของฟิล์ม ที่ถูกจัดเตรียมขึ้นจาก R6G+Au ที่มีความเข้มข้นต่างๆกัน ได้สเปกตรัมการปลดปล่อยแสง R6G+Au ดังรูปที่ 4.13 จากกราฟจะเห็นได้ว่า แผ่นฟิล์ม R6G+Au เปล่งแสงในย่านความยาวคลื่น 450-650 nm และมีพีคการเปล่งแสงสูงสุด ที่ความยาวคลื่น 545 nm




รูปที่ 4.13 สเปกตรัมการปลดปล่อยแสงในรูปของฟิล์ม R6G+Au ที่มีความเข้มข้นต่างๆกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

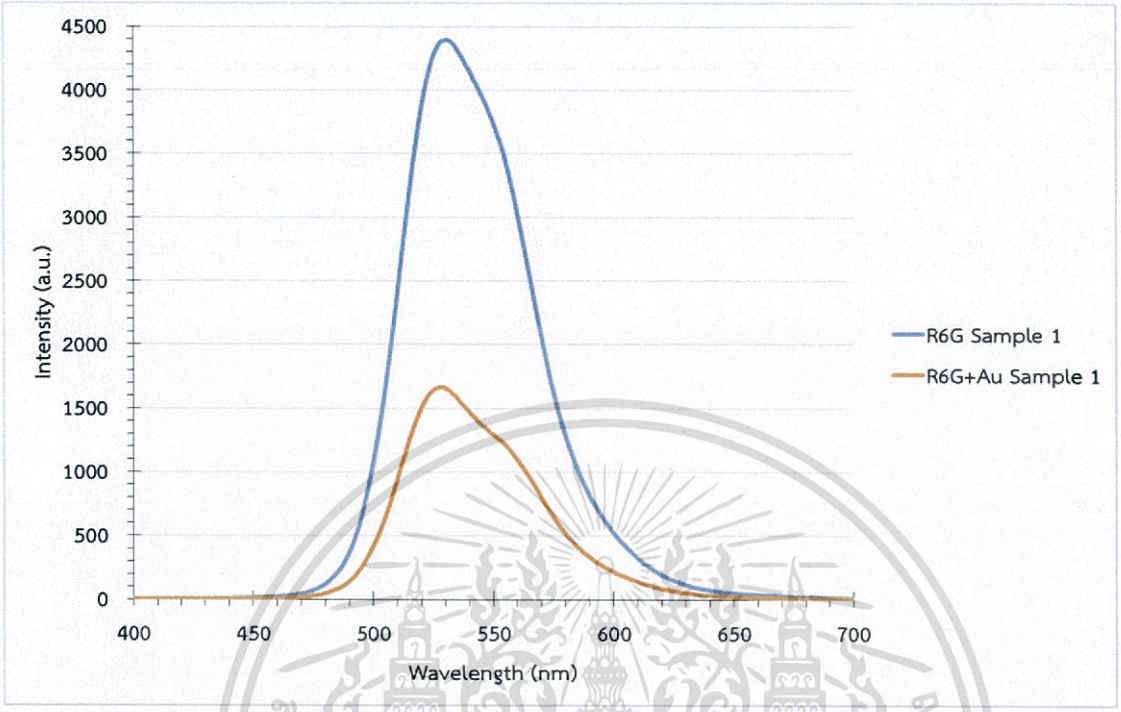
จากการทดลองในหัวข้อ 3.3.4 ตารางที่ 3.2B การศึกษาสมบัติการปลดปล่อยแสงลูมิเนสเซนต์ในรูปของฟิล์ม ที่ถูกจัดเตรียมขึ้นจาก R6G ที่มีความเข้มข้นต่างๆกัน ได้สเปกตรัมการปลดปล่อยแสง ดังรูปที่ 4.14 จากกราฟจะเห็นได้ว่า ฟิล์ม R6G ที่จัดเตรียมจะเปล่งแสงได้มากขึ้น เมื่อความเข้มข้นของสารมีค่าสูงขึ้น ในย่านความยาวคลื่น 450-650 nm และมีพีคการปลดปล่อยแสงสูงสุด ที่ความยาวคลื่น 550 nm นอกจากนี้เรายังสังเกตพีคเล็กๆที่ความยาวคลื่นประมาณ 520 nm เป็นผลเนื่องมาจากแหล่งกำเนิดแสงจาก LED



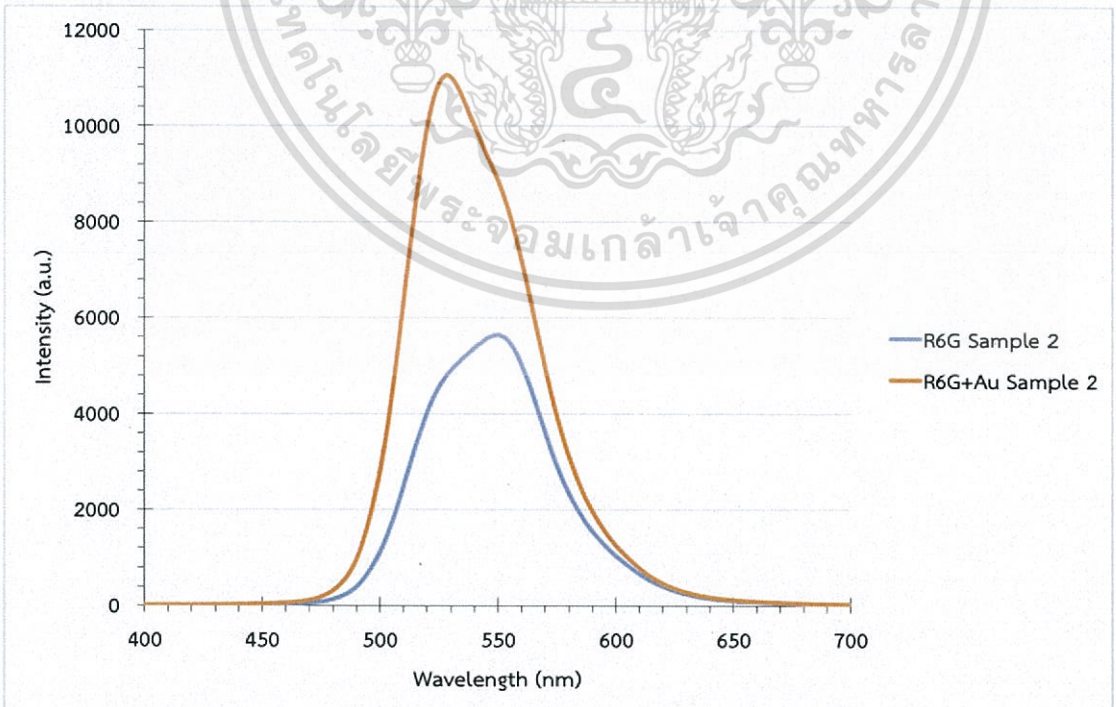

รูปที่ 4.14 สเปกตรัมการปลดปล่อยแสงในรูปของฟิล์ม R6G ที่มีความเข้มข้นต่างๆกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลของความเข้มข้นต่างๆ กันของสารละลาย Au ที่มีต่อค่าการเปล่งแสงฟลูออเรสเซนต์ของสารละลาย R6G แสดงดังรูปที่ 4.15 - 4.19 ตามลำดับ

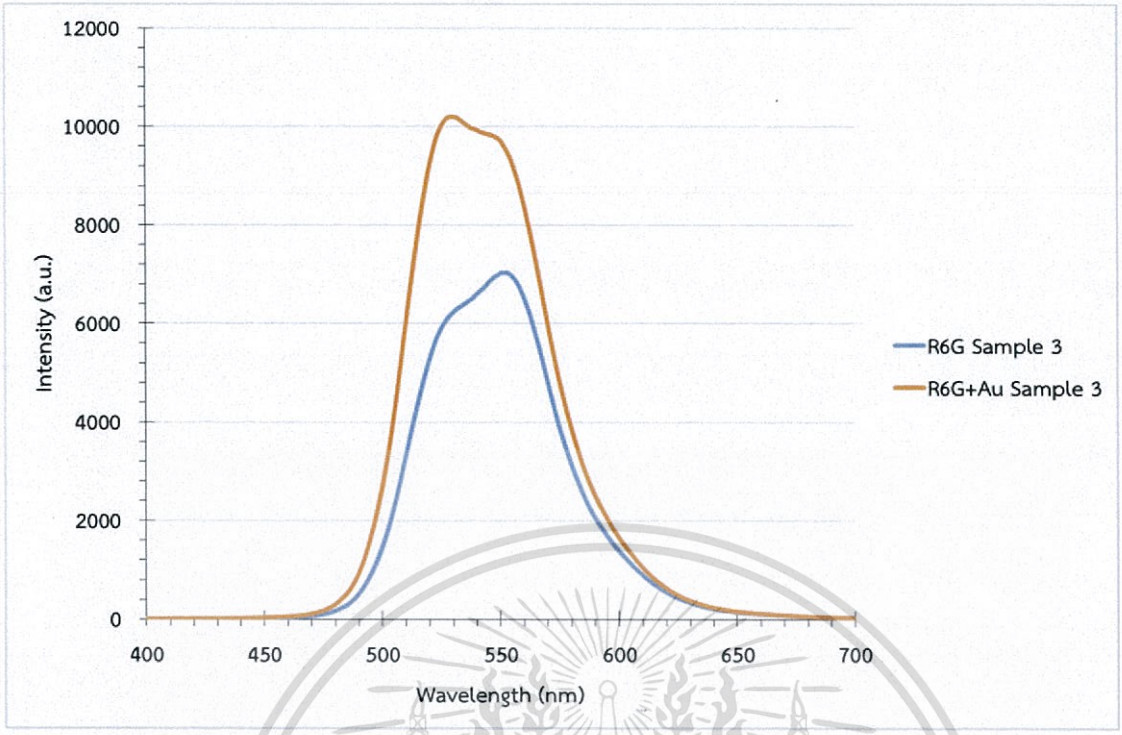



รูปที่ 4.15 กราฟเปรียบเทียบสเปกตรัมการปลดปล่อยแสงในรูปของฟิล์มระหว่าง R6G+Au และ R6G ของ Sample 1

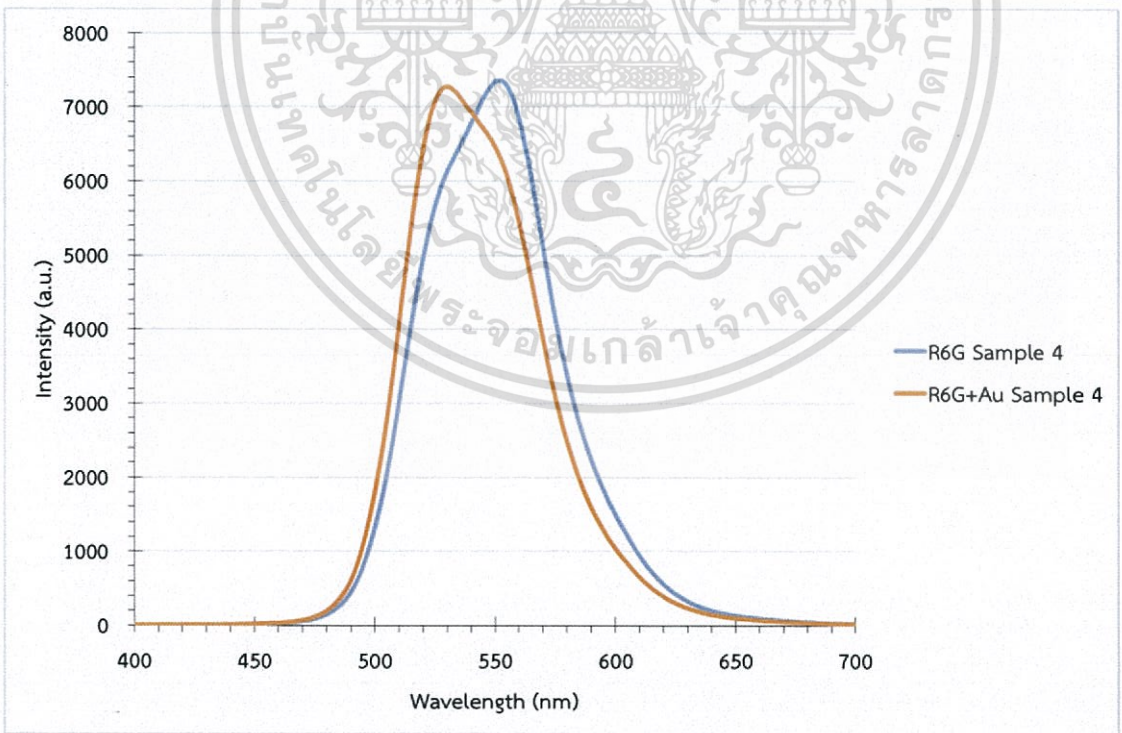



รูปที่ 4.16 กราฟเปรียบเทียบสเปกตรัมการปลดปล่อยแสงในรูปของฟิล์มระหว่าง R6G+Au และ R6G ของ Sample 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

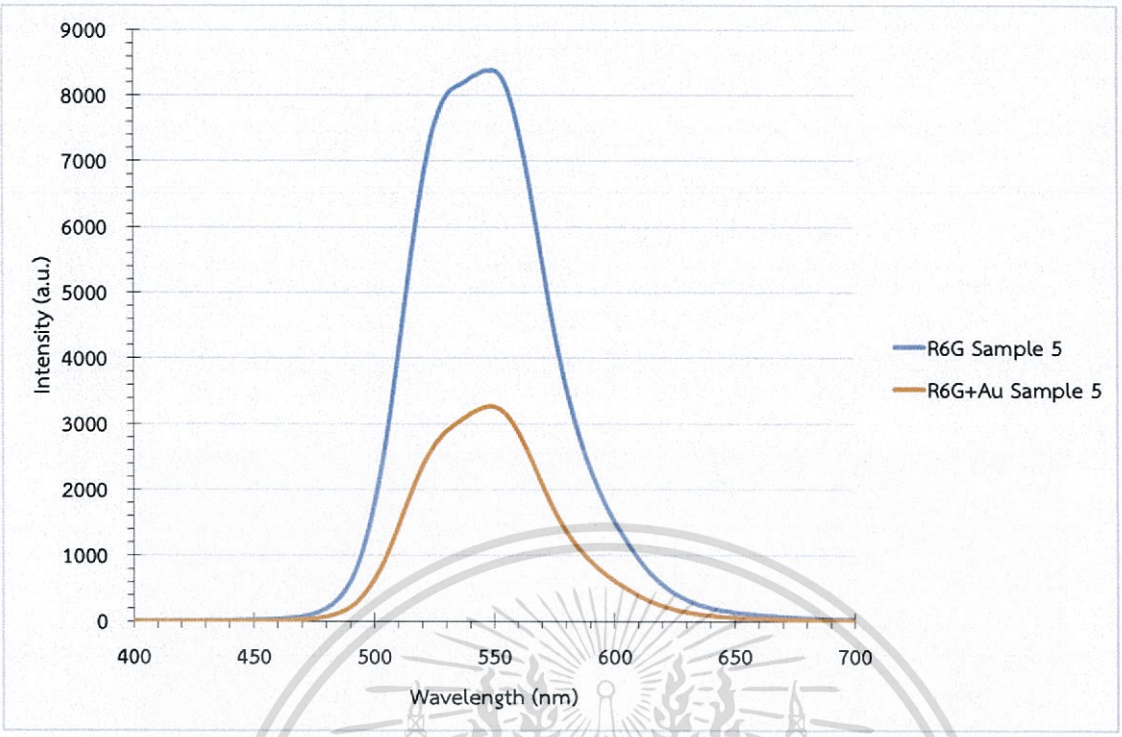



รูปที่ 4.17 กราฟเปรียบเทียบสเปกตรัมการปลดปล่อยแสงในรูปของฟิล์มระหว่าง R6G+Au และ R6G ของ Sample 3




รูปที่ 4.18 กราฟเปรียบเทียบสเปกตรัมการปลดปล่อยแสงในรูปของฟิล์มระหว่าง R6G+Au และ R6G ของ Sample 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 4.19 กราฟเปรียบเทียบสเปกตรัมการปลดปล่อยแสงในรูปของฟิล์มระหว่าง R6G+Au และ R6G ของ Sample 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

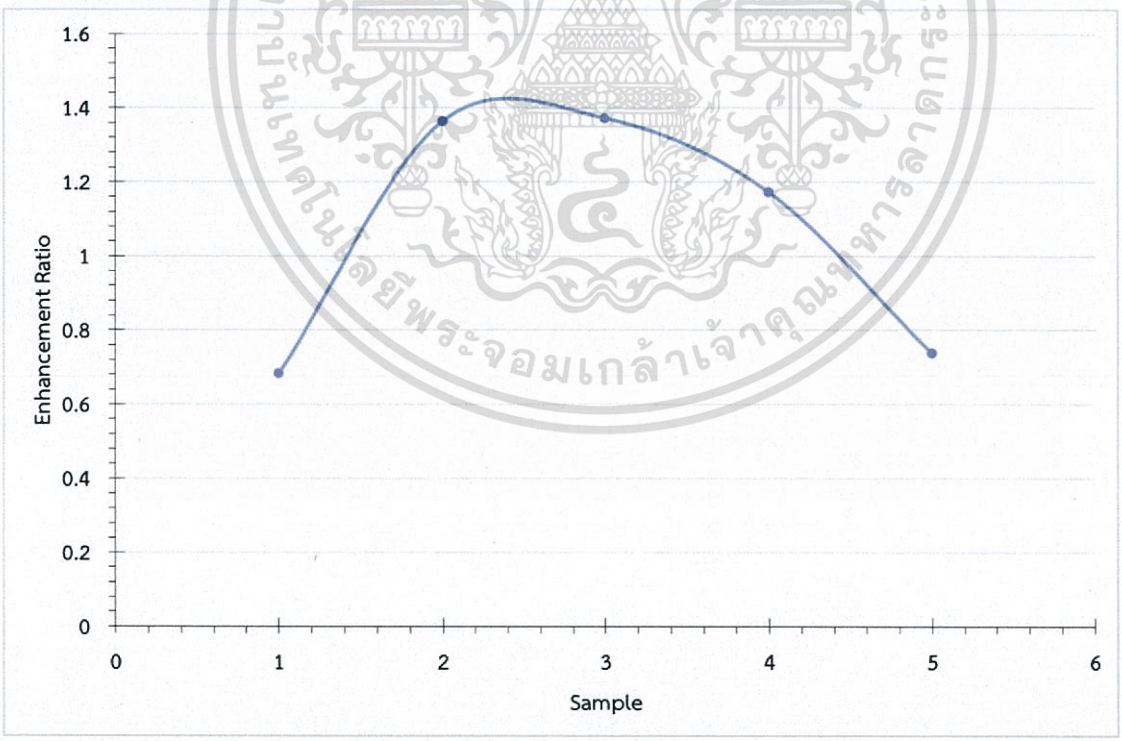
## 4.3 เปรียบเทียบการศึกษา Fluorescence Enhancement ของ R6G+Au ในรูปของสารละลายและฟิล์ม

ค่า Fluorescence Enhancement Ratio ระหว่างสารละลาย R6G และสารละลาย R6G+Au ทำการคำนวณโดยอาศัยสมการ

$$\text{Fluorescence Enhancement Ratio} = \frac{\text{Fluorescence Peak R6G+Au}}{\text{Fluorescence Peak R6G}} \qquad (4.1)$$

### 4.3.1 การศึกษา Fluorescence Enhancement Ratio ของ R6G+Au ในรูปของสารละลาย

จากการศึกษา Fluorescence Enhancement Ratio ที่ได้จากการปลดปล่อยแสงของ R6G+Au ในรูปของสารละลายที่มีความเข้มข้นต่างๆ โดยการนำค่าการปลดปล่อยแสงสูงสุดของ R6G+Au (Sample) มาเทียบเป็นอัตราส่วนกับ R6G (Reference) จากตารางที่ 4.2 จะได้ประสิทธิภาพการเพิ่มขึ้นของการปลดปล่อยแสงฟลูออเรสเซนต์ ดังรูป 4.20 พบว่า Sample 2 และ 3 จะมีค่า Enhancement Ratio ที่สูงสุด




รูปที่ 4.20 Fluorescence Enhancement Ratio สำหรับค่าการปลดปล่อยแสงของ R6G+Au ในรูปของสารละลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

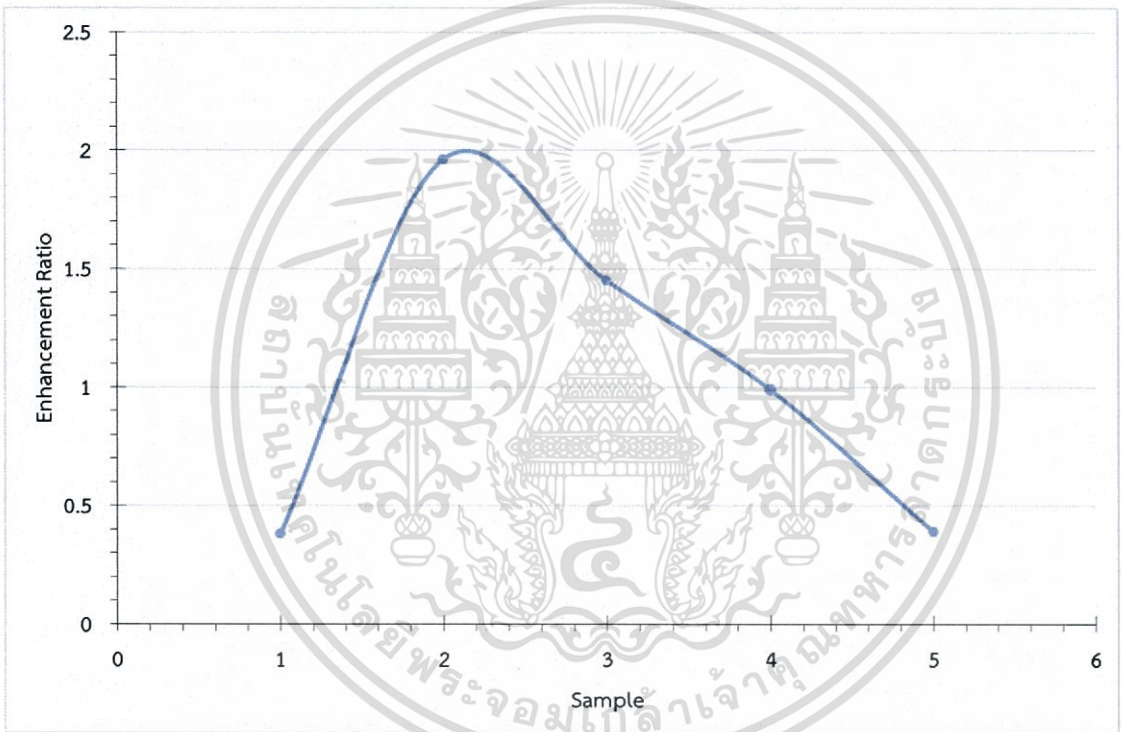
ตารางที่ 4.2 Maximum Fluorescence Intensity ของ R6G+Au ในรูปของสารละลาย

| Sample | Molar Ratio (Au : R6G) | Maximum Fluorescence Intensity | | |
|---|---|---|---|---|
| | | R6G | R6G+AU | R6G+AU / R6G |
| 1 | $15.0 \times 10^{3} : 1$ | 165.41 | 112.76 | 0.681700018 |
| 2 | $5.0 \times 10^{3} : 1$ | 127.11 | 173.38 | 1.364015420 |
| 3 | $2.1 \times 10^{3} : 1$ | 135.40 | 185.77 | 1.372008863 |
| 4 | $1.0 \times 10^{3} : 1$ | 167.87 | 196.88 | 1.172812295 |
| 5 | $0.4 \times 10^{3} : 1$ | 211.40 | 155.90 | 0.737464522 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3.2 การศึกษา Fluorescence Enhancement Ratio ของ R6G+Au ในรูปของฟิล์ม

จากการศึกษา Fluorescence Enhancement Ratio ที่ได้จากการปลดปล่อยแสงของ R6G+Au ในรูปของฟิล์มที่มีความเข้มข้นต่างๆ โดยการนำค่าการปลดปล่อยแสงสูงสุดของ R6G+Au (Sample) มาเทียบเป็นอัตราส่วนกับ R6G (Reference) จากตารางที่ 4.3 จะได้ประสิทธิภาพการเพิ่มขึ้นของการปลดปล่อยแสงลูมิเนสเซนต์ ดังรูป 4.21 พบว่า Sample 2 จะมีค่า Enhancement Ratio สูงสุด




รูปที่ 4.21 Fluorescence Enhancement Ratio สำหรับค่าการปลดปล่อยแสงในรูปของฟิล์ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

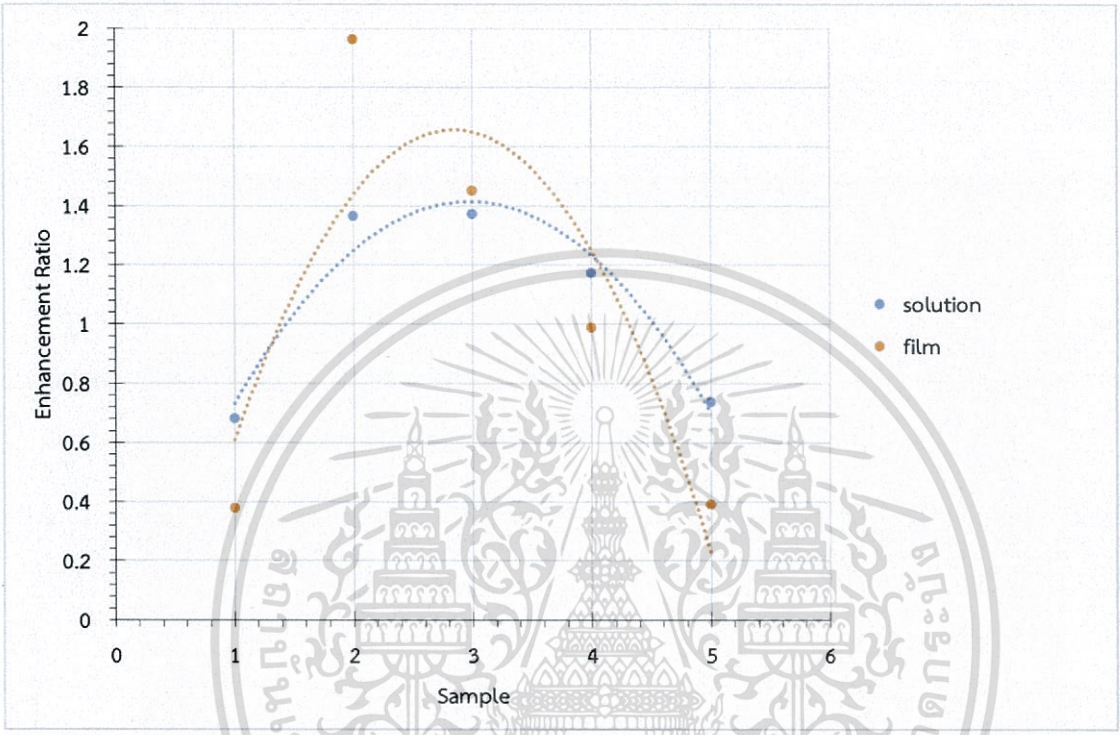
ตารางที่ 4.3 Maximum Fluorescence Intensity ของ R6G+Au ในรูปของฟิล์ม

| Sample | Molar Ratio (Au : R6G) | Maximum Fluorescence Intensity | | |
|---|---|---|---|---|
| | | R6G | R6G+AU | R6G+AU / R6G |
| 1 | $15.0 \times 10^{3} : 1$ | 4396.60 | 1667.30 | 0.379224856 |
| 2 | $5.0 \times 10^{3} : 1$ | 5642.60 | 11072.00 | 1.962216000 |
| 3 | $2.1 \times 10^{3} : 1$ | 7033.90 | 10200.00 | 1.450120133 |
| 4 | $1.0 \times 10^{3} : 1$ | 7358.80 | 7273.80 | 0.988449204 |
| 5 | $0.4 \times 10^{3} : 1$ | 8388.10 | 3273.40 | 0.390243321 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3.3 เปรียบเทียบการศึกษา Fluorescence Enhancement Ratio ของ R6G+Au ในรูปของสารละลายและฟิล์ม

Fluorescence Enhancement Ratio ของ R6G+Au ในรูปของสารละลาย จากรูปที่ 4.20 และในรูปของฟิล์ม จากรูปที่ 4.21 นำมาเปรียบเทียบได้ดังรูป 4.22




รูปที่ 4.22 กราฟเทียบระหว่าง Fluorescence Enhancement Ratio สำหรับค่าการปลดปล่อยแสงของ R6G+Auในรูปของสารละลายและฟิล์ม

พบว่า Sample 3 ทั้งสารละลายและฟิล์มน่าจะให้ค่า Fluorescence Enhancement Ratio ที่สูงสุด นั่นหมายความว่า เป็นเงื่อนไขของความเข้มข้นที่เหมาะสมที่สุดของ Au ที่มีต่อ R6G ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากมีการถ่ายเทอิเล็กตรอนอิสระได้ดีที่สุดจาก Au ไปยังชั้นระดับพลังงานต่ำสุดที่ไม่มีอิเล็กตรอนอยู่ (Lowest Unoccupied Molecular Orbital : LUMO) ของ R6G ส่วนการลดลงของความเข้มข้นของ Au นั้นแทบจะไม่มีผลกระทบต่อการปลดปล่อยแสงฟลูออเรสเซนต์ นั่นหมายความว่า ฟลูออเรสเซนต์ที่เกิดขึ้นนั้นน่าจะเกิดจากฟลูออเรสเซนต์จากสีย้อมเพียงอย่างเดียว อย่างไรก็ตามการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของ Au นั้นอาจจะทำให้เกิดการปลดปล่อยแสงฟลูออเรสเซนต์ลดลง ทั้งนี้ก็เนื่องมาจากการที่อะตอมของ Au มีโอกาสที่จะเข้ามาชนกันมากขึ้น ซึ่งจะส่งผลต่อเสถียรภาพในการถ่ายเทอิเล็กตรอนจาก Au ไปยัง R6G ให้เป็นไปได้น้อยลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 5

# สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

## 5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาสมบัติทางแสงของอนุภาคนาโนทองคำเจือด้วยสีย้อม โดยจัดเตรียมสารเรืองแสงจาก Au และ R6G ในรูปของสารละลายและฟิล์มผ่านแม่พิมพ์ ผู้วิจัยได้ทำการศึกษากระบวนการในการจัดเตรียมสารเรืองแสง รวมถึงทำการศึกษาสมบัติทางแสงของสารเรืองแสงที่เตรียมได้ คือ การดูดกลืนแสง การคายพลังงานในรูปของแสงลูมิเนสเซนต์และการศึกษา Fluorescence Enhancement Ratio ซึ่งการศึกษาทั้งหมดในงานวิจัยนี้สามารถสรุปได้ดังนี้ Au ให้ผลการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นประมาณ 520 nm โดยให้พื้นที่ทับซ้อนกับการปลดปล่อยแสงของ R6G ที่ความยาวคลื่น 557 nm ส่วนการเลือกการกระตุ้นแสงต่อสารตัวอย่าง เราจะใช้ LED สีเขียว ที่ให้ค่าความยาวคลื่นที่ 527 nm ในส่วนของการศึกษา Fluorescence Enhancement Ratio ที่ได้จากการปลดปล่อยแสงของ R6G+Au ในรูปของสารละลายและฟิล์ม ที่มีความเข้มข้นต่างๆ พบว่า Sample 3 ทั้งสารละลายและฟิล์มให้ค่า Enhancement Ratio ที่สูงสุด นั่นหมายความว่า เป็นเงื่อนไขของความเข้มข้นที่เหมาะสมที่สุดของ Au ที่มีต่อ R6G อันเป็นผลเนื่องมาจากมีการถ่ายเทอิเล็กตรอนอิสระได้ดีที่สุดจาก Au ไปยังชั้นระดับพลังงานต่ำสุดที่ไม่มีอิเล็กตรอนอยู่ (Lowest Unoccupied Molecular Orbital : LUMO)

## 5.2 ข้อเสนอแนะงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาสมบัติทางแสงของอนุภาคนาโนทองคำเจือด้วยสีย้อม โดยจัดเตรียมสารเรืองแสงจาก Au และ R6G ซึ่งเมื่อผู้ทำการวิจัยได้ทำการทดลองก็พบปัญหาในงานวิจัยนี้ด้านต่างๆ ดังนี้

1. สารละลาย Au มีปริมาณที่จำกัด และมีราคาค่อนข้างสูง จึงไม่สามารถที่จะทดลองใช้สารในปริมาณที่มีความเข้มข้นสูงๆได้ และไม่สามารถทำได้บ่อยหลายๆครั้ง
2. การจัดตั้งอุปกรณ์ในแต่ละครั้ง และการวัดสมบัติทางแสง ไม่สามารถอยู่ในตำแหน่งเดิมได้ จึงก่อให้เกิดความคลาดเคลื่อนของผลวิจัยได้
3. ในการเตรียมฟิล์ม ควรจะใช้วิธีการอื่นๆ เพื่อทำให้แผ่นฟิล์มมีความบางและเรียบเนียน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# เอกสารอ้างอิง


[1] **Fluorescence**. [Online]. Available : http://www.umich.edu/~protein

[2] **Stokes shift**. [Online]. Available : http://www.piercenet.com/method/fluorescent-probes

[3] **Spectroscopy.** [Online]. Available: http://th.wikipedia.org/wiki/สเปกโทรมิเตอร์

[4] **องค์ประกอบสำคัญของ Spectrometer**. [Online]. Available : http://www.mfu.ac.th/center/stic/index.php/component/k2/item/140-uv-visible-spectrophotometer.html

[5] Jim Clark. 2006. **Spectrometer**. [Online]. Available : http://www.chemguide.co.uk/analysis/uvvisible/spectrometer.html

[6] **Gold Nanoparticle.** [Online]. Available : http://www.cytodiagnostics.com/store/pc/Gold-Nanoparticle-Properties-d2.htm

[7] **อนุภาคนาโนทองคำ.** [Online]. Available : http://web.eng.nu.ac.th/eng2012/ceri/nanodatabase/info2.php?cat_id=9&p_id=258

[8] C. C. Vidyasagar, Y. Arthoba Naik*, R. Viswanatha, T. G. Venkatesh. 2012. **Optical Properties of Dye-Sensitized Films Based on Cd-ZnO Nanoparticles.** [Online]. Available : http://urpjournals.com/tocjnls/51_12v2i4_2.pdf

[9] S. Majumder[a, b, 1], S.K. Jana[b, *, 1], K. Bagani[b], B. Satpati[b], S. Kumar[a], S. Banerjee[b]. 2012. Fluorescence resonance energy transfer and surface Plasmon resonance induced enhanced photoluminescence and photoconductivity property of Au–$TiO_2$ metal–semiconductor nanocomposite. [Online]. Available : http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092534671400593X

[10] ชไมพร แน่นนันท์, ณภัทร คติมุนีธร และณัฏฐพร คำเสน. 2557. **"สมบัติทางแสงของสารเรืองแสงที่ผสมกับอนุภาคโลหะที่มีขนาดเล็กระดับนาโน"** โครงงานพิเศษวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**วิธีการคำนวณ**

**1. การจัดเตรียมสารละลาย R6G ที่มีความเข้มข้นต่างๆ**

**1.1 วิธีการคำนวณปริมาณสาร R6G เพื่อเตรียมสารละลาย R6G ที่มีความเข้มข้น $10^{-3}$ M ปริมาตร 50 ml**

เมื่อ R6G มีมวลโมเลกุล 479.01 g/mol

คำนวณได้จากสูตร $\frac{g}{MW} = \frac{N_1V_1}{1000}$

เมื่อ g คือ ปริมาณสาร R6G ที่ต้องการ (หน่วย g)

MW คือ มวลโมเลกุลของ R6G (หน่วย g/mol)

$N_1$ คือ ความเข้มข้น (หน่วย M)

$V_1$ คือ ปริมาตร (หน่วย ml)

ดังนั้น ปริมาณ R6G ที่ต้องชั่ง $\frac{g}{479.01} = \frac{10^{-3}\times 50}{1000}$

$g = 0.0239$ g

ดังนั้น สามารถเตรียมสารละลาย R6G ที่ความเข้มข้น $10^{-3}$ M ปริมาตร 50 ml โดยการชั่งสาร R6G มา 0.0239 g ละลายด้วย DCM 50 ml

**1.2 วิธีการเตรียมสารละลาย R6G ที่ความเข้มข้นต่างๆ โดยการเจือจาง**

คำนวณได้จากสูตร $C_1V_1 = C_2V_2$

เมื่อ $C_1$ คือ ความเข้มข้นของสารละลาย R6G เริ่มต้น (หน่วย M)

$V_1$ คือ ปริมาตรของสารละลาย R6G เริ่มต้น (หน่วย ml)

$C_2$ คือ ความเข้มข้นของสารละลาย R6G สุดท้าย (หน่วย M)

$V_2$ คือ ปริมาตรของสารละลาย R6G สุดท้าย (หน่วย ml)

1) การเตรียมสารละลาย R6G ที่ความเข้มข้น $10^{-6}$ M ปริมาตร 10 ml

คำนวณได้จากสูตร $C_1V_1 = C_2V_2$

ดังนั้น $(10^{-3})(V_1) = (10^{-6})(10)$

$$V_1 = \frac{(10^{-6})(10)}{(10^{-3})}$$

$V_1 = 0.01$ ml

ดังนั้น นำสารละลาย R6G ที่ความเข้มข้น $10^{-3}$ M ปริมาตร 0.01 ml เติม DCM 9.99 ml จะได้สารละลาย R6G ที่ความเข้มข้น $10^{-6}$ M ปริมาตร 10 ml

2) การเตรียมสารละลาย R6G ที่ความเข้มข้น $2\times10^{-6}$ M ปริมาตร 10 ml

คำนวณได้จากสูตร $C_1V_1 = C_2V_2$

ดังนั้น $(10^{-3})(V_1) = (2\times 10^{-6})(10)$

$$V_1 = \frac{(2\times10^{-6})(10)}{(10^{-3})}$$

$V_1 = 0.02$ ml

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น นำสารละลาย R6G ที่ความเข้มข้น $10^{-3}$ M ปริมาตร 0.02 ml เติม DCM 9.98 ml จะได้สารละลาย R6G ที่ความเข้มข้น $2x10^{-6}$ M ปริมาตร 10 ml

3) การเตรียมสารละลาย R6G ที่ความเข้มข้น $4x10^{-6}$ M ปริมาตร 10 ml

คำนวณได้จากสูตร $C_1V_1 = C_2V_2$

ดังนั้น $(10^{-3})(V_1) = (4x\ 10^{-6})(10)$

$$V_1 = \frac{(4x10^{-6})(10)}{(10^{-3})}$$

$V_1 = 0.04$ ml

ดังนั้น นำสารละลาย R6G ที่ความเข้มข้น $10^{-3}$ M ปริมาตร 0.04 ml เติม DCM 9.96 ml จะได้สารละลาย R6G ที่ความเข้มข้น $4x10^{-6}$ M ปริมาตร 10 ml

4) การเตรียมสารละลาย R6G ที่ความเข้มข้น $6x10^{-6}$ M ปริมาตร 10 ml

คำนวณได้จากสูตร $C_1V_1 = C_2V_2$

ดังนั้น $(10^{-3})(V_1) = (6x\ 10^{-6})(10)$

$$V_1 = \frac{(6x10^{-6})(10)}{(10^{-3})}$$

$V_1 = 0.06$ ml

ดังนั้น นำสารละลาย R6G ที่ความเข้มข้น $10^{-3}$ M ปริมาตร 0.06 ml เติม DCM 9.94 ml จะได้สารละลาย R6G ที่ความเข้มข้น $6x10^{-6}$ M ปริมาตร 10 ml

5) การเตรียมสารละลาย R6G ที่ความเข้มข้น $8x10^{-6}$ M ปริมาตร 10 ml

คำนวณได้จากสูตร $C_1V_1 = C_2V_2$

ดังนั้น $(10^{-3})(V_1) = (8x\ 10^{-6})(10)$

$$V_1 = \frac{(8x10^{-6})(10)}{(10^{-3})}$$

$V_1 = 0.08$ ml

ดังนั้น นำสารละลาย R6G ที่ความเข้มข้น $10^{-3}$ M ปริมาตร 0.08 ml เติม DCM 9.92 ml จะได้สารละลาย R6G ที่ความเข้มข้น $8x10^{-6}$ M ปริมาตร 10 ml

**1.3 วิธีการคำนวณความเข้มข้นของสารละลาย R6G ที่ทำการเจือจางทั้งหมด 5 ครั้ง**

คำนวณได้จากสูตร $C_1V_1 = C_2V_2$

เมื่อ $C_1$ คือ ความเข้มข้นของสารละลาย R6G เริ่มต้น (หน่วย M)

$V_1$ คือ ปริมาตรของสารละลาย R6G เริ่มต้น (หน่วย ml)

$C_2$ คือ ความเข้มข้นของสารละลาย R6G สุดท้าย (หน่วย M)

$V_2$ คือ ปริมาตรของสารละลาย R6G สุดท้าย (หน่วย ml)

1) เมื่อนำสารละลาย R6G ที่ความเข้มข้น $6x10^{-6}$ M ปริมาตร 0.5 ml ผสมกับ DCM 1.5 ml

คำนวณได้จากสูตร $C_1V_1 = C_2V_2$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น $(6x10^{-6})(0.5) = (C_2)(2)$

$$C_2 = \frac{(6x10^{-6})(0.5)}{(2)}$$

$$C_2 = 1.5 \text{ uM}$$

ดังนั้น เมื่อนำสารละลาย R6G ที่ความเข้มข้น $6x10^{-6}$ M ปริมาตร 0.5 ml เติม DCM 1.5 ml จะได้สารละลาย R6G ที่มีความเข้มข้น 1.5 uM

2) เมื่อนำสารละลาย R6G ที่ความเข้มข้น $6x10^{-6}$ M ปริมาตร 0.75 ml ผสมกับ DCM 1.25 ml

คำนวณได้จากสูตร $C_1V_1 = C_2V_2$

ดังนั้น $(6x10^{-6})(0.75) = (C_2)(2)$

$$C_2 = \frac{(6x10^{-6})(0.75)}{(2)}$$

$$C_2 = 2.25 \text{ uM}$$

ดังนั้น เมื่อนำสารละลาย R6G ที่ความเข้มข้น $6x10^{-6}$ M ปริมาตร 0.75 ml เติม DCM 1.25 ml จะได้สารละลาย R6G ที่มีความเข้มข้น 2.25 uM

3) เมื่อนำสารละลาย R6G ที่ความเข้มข้น $6x10^{-6}$ M ปริมาตร 0.875 ml ผสมกับ DCM 1.125 ml

คำนวณได้จากสูตร $C_1V_1 = C_2V_2$

ดังนั้น $(6x10^{-6})(0.875) = (C_2)(2)$

$$C_2 = \frac{(6x10^{-6})(0.875)}{(2)}$$

$$C_2 = 2.625 \text{ uM}$$

ดังนั้น เมื่อนำสารละลาย R6G ที่ความเข้มข้น $6x10^{-6}$ M ปริมาตร 0.875 ml เติม DCM 1.125 ml จะได้สารละลาย R6G ที่มีความเข้มข้น 2.625 uM

4) เมื่อนำสารละลาย R6G ที่ความเข้มข้น $6x10^{-6}$ M ปริมาตร 0.9375 ml ผสมกับ DCM 1.0625 ml

คำนวณได้จากสูตร $C_1V_1 = C_2V_2$

ดังนั้น $(6x10^{-6})(0.9375) = (C_2)(2)$

$$C_2 = \frac{(6x10^{-6})(0.9375)}{(2)}$$

$$C_2 = 2.8125 \text{ uM}$$

ดังนั้น เมื่อนำสารละลาย R6G ที่ความเข้มข้น $6x10^{-6}$ M ปริมาตร 0.9375 ml เติม DCM 1.0625 ml จะได้สารละลาย R6G ที่มีความเข้มข้น 2.8125 uM

5) เมื่อนำสารละลาย R6G ที่ความเข้มข้น $6x10^{-6}$ M ปริมาตร 0.96875 ml ผสมกับ DCM 1.03125 ml

คำนวณได้จากสูตร $C_1V_1 = C_2V_2$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น $(6x10^{-6})(0.96875) = (C_2)(2)$

$$C_2 = \frac{(6x10^{-6})(0.96875)}{(2)}$$

$$C_2 = 2.90625 \text{ uM}$$

ดังนั้น เมื่อนำสารละลาย R6G ที่ความเข้มข้น $6x10^{-6}$ M ปริมาตร 0.96875 ml เติม DCM 1.03125 ml จะได้สารละลาย R6G ที่มีความเข้มข้น 2.90625 uM

**1.4 วิธีการคำนวณความเข้มข้นของสารละลาย R6G เมื่อผสมกับ Au ทำการเจือจางทั้งหมด 5 ครั้ง**

คำนวณได้จากสูตร $C_1V_1 = C_2V_2$

เมื่อ $C_1$ คือ ความเข้มข้นของสารละลาย R6G เริ่มต้น (หน่วย M)

$V_1$ คือ ปริมาตรของสารละลาย R6G เริ่มต้น (หน่วย ml)

$C_2$ คือ ความเข้มข้นของสารละลาย R6G สุดท้าย (หน่วย M)

$V_2$ คือ ปริมาตรของสารละลาย R6G สุดท้าย (หน่วย ml)

1) เมื่อนำสารละลาย R6G ที่ความเข้มข้น $6x10^{-6}$ M ปริมาตร 0.5 ml ผสมกับ สารละลาย Au ที่ความเข้มข้น 0.09 M ปริมาตร 0.5 ml และ DCM 1 ml

คำนวณได้จากสูตร $C_1V_1 = C_2V_2$

ดังนั้น $(6x10^{-6})(0.5) = (C_2)(2)$

$$C_2 = \frac{(6x10^{-6})(0.5)}{(2)}$$

$$C_2 = 1.5 \text{ uM}$$

ดังนั้น เมื่อนำสารละลาย R6G ที่ความเข้มข้น $6x10^{-6}$ M ปริมาตร 0.5 ml ผสมกับ สารละลาย Au ที่ความเข้มข้น 0.09 M ปริมาตร 0.5 ml และ DCM 1ml จะได้สารละลาย R6G ที่มีความเข้มข้น 1.5 uM

2) เมื่อนำสารละลาย R6G ที่ความเข้มข้น $6x10^{-6}$ M ปริมาตร 0.75 ml ผสมกับ สารละลาย Au ที่ความเข้มข้น 0.09 M ปริมาตร 0.25 ml และ DCM 1ml

คำนวณได้จากสูตร $C_1V_1 = C_2V_2$

ดังนั้น $(6x10^{-6})(0.75) = (C_2)(2)$

$$C_2 = \frac{(6x10^{-6})(0.75)}{(2)}$$

$$C_2 = 2.25 \text{ uM}$$

ดังนั้น เมื่อนำสารละลาย R6G ที่ความเข้มข้น $6x10^{-6}$ M ปริมาตร 0.75 ml ผสมกับ สารละลาย Au ที่ความเข้มข้น 0.09 M ปริมาตร 0.25 ml และ DCM 1ml จะได้สารละลาย R6G ที่มีความเข้มข้น 2.25 uM

3) เมื่อนำสารละลาย R6G ที่ความเข้มข้น $6x10^{-6}$ M ปริมาตร 0.875 ml ผสมกับ สารละลาย Au ที่ความเข้มข้น 0.09 M ปริมาตร 0.125 ml และ DCM 1 ml

คำนวณได้จากสูตร $C_1V_1 = C_2V_2$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น $(6x10^{-6})(0.875) = (C_2)(2)$

$$C_2 = \frac{(6x10^{-6})(0.875)}{(2)}$$

$$C_2 = 2.625 \text{ uM}$$

ดังนั้น เมื่อนำสารละลาย R6G ที่ความเข้มข้น $6x10^{-6}$ M ปริมาตร 0.875 ml ผสมกับสารละลาย Au ที่ความเข้มข้น 0.09 M ปริมาตร 0.125 ml และ DCM 1 ml จะได้สารละลาย R6G ที่มีความเข้มข้น 2.625 uM

4) เมื่อนำสารละลาย R6G ที่ความเข้มข้น $6x10^{-6}$ M ปริมาตร 0.9375 ml ผสมกับสารละลาย Au ที่ความเข้มข้น 0.09 M ปริมาตร 0.625 ml และ DCM 1 ml

คำนวณได้จากสูตร $C_1V_1 = C_2V_2$

ดังนั้น $(6x10^{-6})(0.9375) = (C_2)(2)$

$$C_2 = \frac{(6x10^{-6})(0.9375)}{(2)}$$

$$C_2 = 2.8125 \text{ uM}$$

ดังนั้น เมื่อนำสารละลาย R6G ที่ความเข้มข้น $6x10^{-6}$ M ปริมาตร 0.9375 ml ผสมกับสารละลาย Au ที่ความเข้มข้น 0.09 M ปริมาตร 0.625 ml และ DCM 1 ml จะได้สารละลาย R6G ที่มีความเข้มข้น 2.8125 uM

5) เมื่อนำสารละลาย R6G ที่ความเข้มข้น $6x10^{-6}$ M ปริมาตร 0.96875 ml ผสมกับสารละลาย Au ที่ความเข้มข้น 0.09 M ปริมาตร 0.03125 ml และ DCM 1 ml

คำนวณได้จากสูตร $C_1V_1 = C_2V_2$

ดังนั้น $(6x10^{-6})(0.96875) = (C_2)(2)$

$$C_2 = \frac{(6x10^{-6})(0.96875)}{(2)}$$

$$C_2 = 2.90625 \text{ uM}$$

ดังนั้น เมื่อนำสารละลาย R6G ที่ความเข้มข้น $6x10^{-6}$ M ปริมาตร 0.96875 ml ผสมกับสารละลาย Au ที่ความเข้มข้น 0.09 M ปริมาตร 0.03125 ml และ DCM 1 ml จะได้สารละลาย R6G ที่มีความเข้มข้น 2.90625 uM

**1.5 วิธีการคำนวณความเข้มข้นของสารละลาย Au ที่ทำการเจือจางทั้งหมด 5 ครั้ง**

คำนวณได้จากสูตร $C_1V_1 = C_2V_2$

เมื่อ $C_1$ คือ ความเข้มข้นของสารละลาย Au เริ่มต้น (หน่วย M)

$V_1$ คือ ปริมาตรของสารละลาย Au เริ่มต้น (หน่วย ml)

$C_2$ คือ ความเข้มข้นของสารละลาย Au สุดท้าย (หน่วย M)

$V_2$ คือ ปริมาตรของสารละลาย Au สุดท้าย (หน่วย ml)

1) เมื่อนำสารละลาย Au ที่ความเข้มข้น 0.09 M ปริมาตร 0.5 ml ผสมกับ สารละลาย R6G ที่ความเข้มข้น $6x10^{-6}$ M ปริมาตร 0.5 ml และ DCM 1 ml

คำนวณได้จากสูตร $C_1V_1 = C_2V_2$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น $(0.09)(0.5) = (C_2)(2)$

$$C_2 = \frac{(0.09)(0.5)}{(2)}$$

$C_2 = 22.5$ mM

ดังนั้น เมื่อนำสารละลาย Au ที่ความเข้มข้น 0.09 M ปริมาตร 0.5 ml ผสมกับ สารละลาย R6G ที่ความเข้มข้น $6x10^{-6}$ M ปริมาตร 0.5 ml และ DCM 1 ml จะได้สารละลาย Au ที่มีความเข้มข้น 22.5 mM

2) เมื่อนำสารละลาย Au ที่ความเข้มข้น 0.09 M ปริมาตร 0.25 ml ผสมกับ สารละลาย R6G ที่ความเข้มข้น $6x10^{-6}$ M ปริมาตร 0.75 ml และ DCM 1 ml

คำนวณได้จากสูตร $C_1V_1 = C_2V_2$

ดังนั้น $(0.09)(0.25) = (C_2)(2)$

$$C_2 = \frac{(0.09)(0.25)}{(2)}$$

$C_2 = 11.25$ mM

ดังนั้น เมื่อนำสารละลาย Au ที่ความเข้มข้น 0.09 M ปริมาตร 0.25 ml ผสมกับ สารละลาย R6G ที่ความเข้มข้น $6x10^{-6}$ M ปริมาตร 0.75 ml และ DCM 1 ml จะได้สารละลาย Au ที่มีความเข้มข้น 11.25 mM

3) เมื่อนำสารละลาย Au ที่ความเข้มข้น 0.09 M ปริมาตร 0.125 ml ผสมกับ สารละลาย R6G ที่ความเข้มข้น $6x10^{-6}$ M ปริมาตร 0.875 ml และ DCM 1 ml

คำนวณได้จากสูตร $C_1V_1 = C_2V_2$

ดังนั้น $(0.09)(0.125) = (C_2)(2)$

$$C_2 = \frac{(0.09)(0.125)}{(2)}$$

$C_2 = 5.625$ mM

ดังนั้น เมื่อนำสารละลาย Au ที่ความเข้มข้น 0.09 M ปริมาตร 0.125 ml ผสมกับ สารละลาย R6G ที่ความเข้มข้น $6x10^{-6}$ M ปริมาตร 0.875 ml และ DCM 1 ml จะได้สารละลาย Au ที่มีความเข้มข้น 5.625 mM

4) เมื่อนำสารละลาย Au ที่ความเข้มข้น 0.09 M ปริมาตร 0.0625 ml ผสมกับ สารละลาย R6G ที่ความเข้มข้น $6x10^{-6}$ M ปริมาตร 0.9375 ml และ DCM 1 ml

คำนวณได้จากสูตร $C_1V_1 = C_2V_2$

ดังนั้น $(0.09)(0.0625) = (C_2)(2)$

$$C_2 = \frac{(0.09)(0.0625)}{(2)}$$

$C_2 = 2.8125$ mM

ดังนั้น เมื่อนำสารละลาย Au ที่ความเข้มข้น 0.09 M ปริมาตร 0.0625 ml ผสมกับ สารละลาย R6G ที่ความเข้มข้น $6x10^{-6}$ M ปริมาตร 0.9375 ml และ DCM 1 ml จะได้สารละลาย Au ที่มีความเข้มข้น 2.8125 mM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) เมื่อนำสารละลาย Au ที่ความเข้มข้น 0.09 M ปริมาตร 0.03125 ml ผสมกับ สารละลาย R6G ที่ความเข้มข้น $6x10^{-6}$ M ปริมาตร 0.96875 ml และ DCM 1 ml

คำนวณได้จากสูตร $C_1V_1 = C_2V_2$

ดังนั้น $(0.09)(0.03125) = (C_2)(2)$

$$C_2 = \frac{(0.09)(0.03125)}{(2)}$$

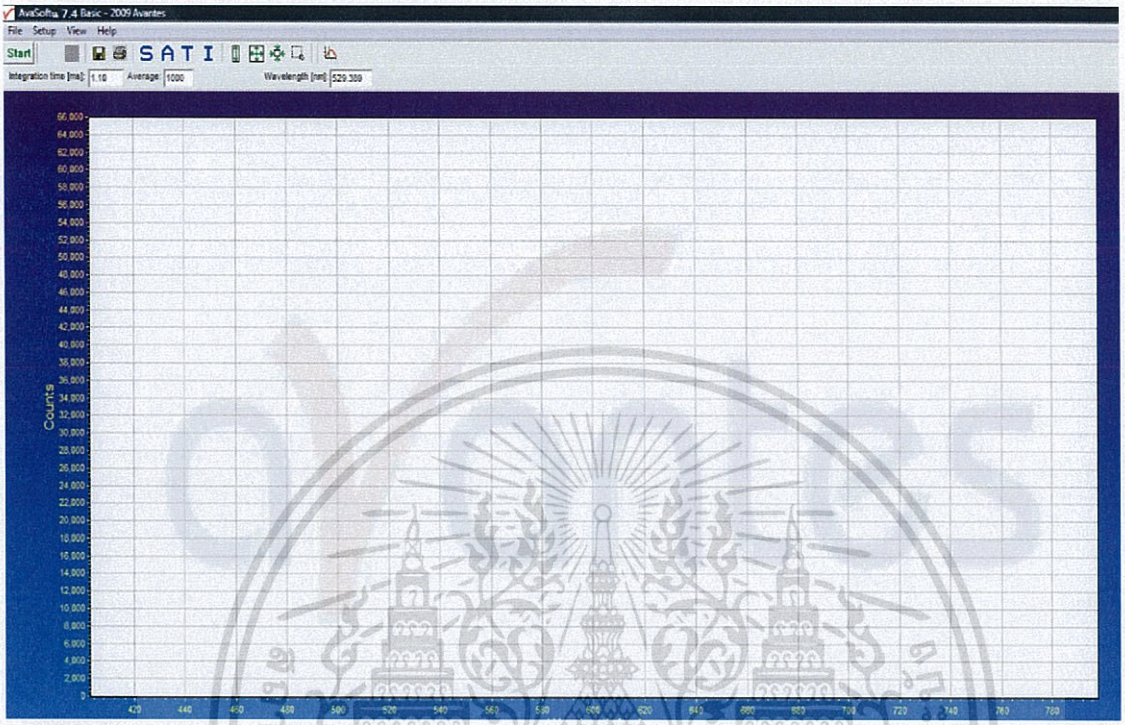
$$C_2 = 1.40625 \text{ mM}$$

ดังนั้น เมื่อนำสารละลาย Au ที่ความเข้มข้น 0.09 M ปริมาตร 0.03125 ml ผสมกับ สารละลาย R6G ที่ความเข้มข้น $6x10^{-6}$ M ปริมาตร 0.96875 ml และ DCM 1 ml จะได้สารละลาย Au ที่มีความเข้มข้น 1.40625 mM

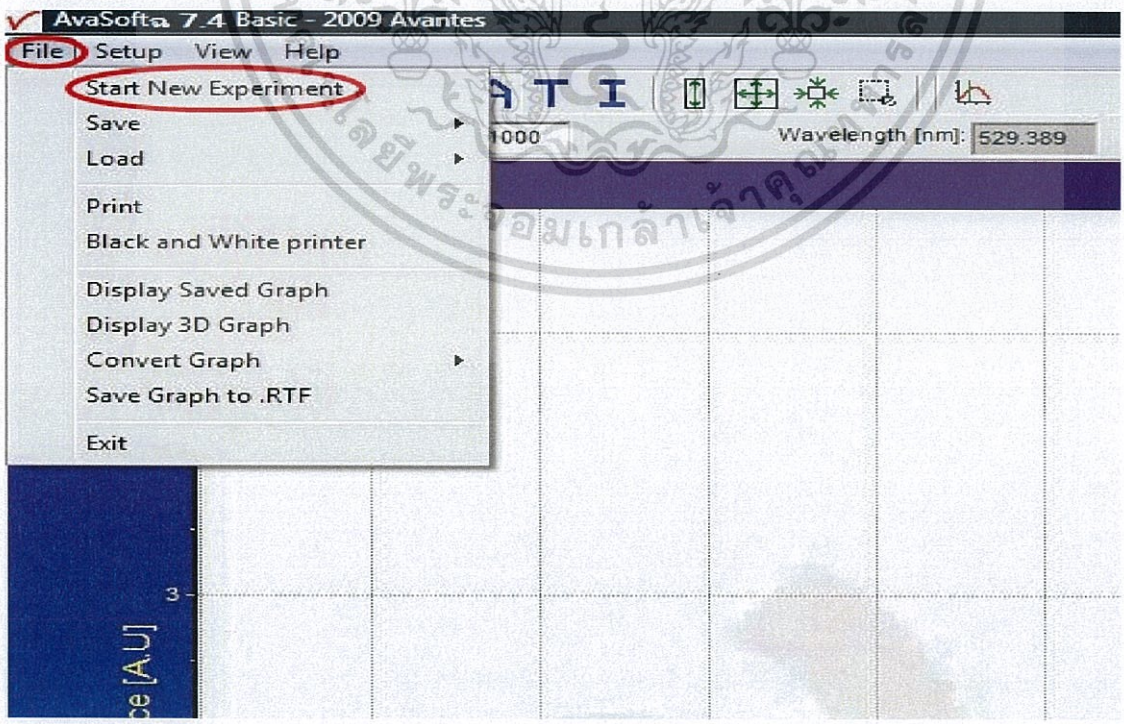
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# วิธีการใช้โปรแกรม Avasoft 7.4.0 Basic

1. เปิดโปรแกรม Avasoft 7.4.0 Basic

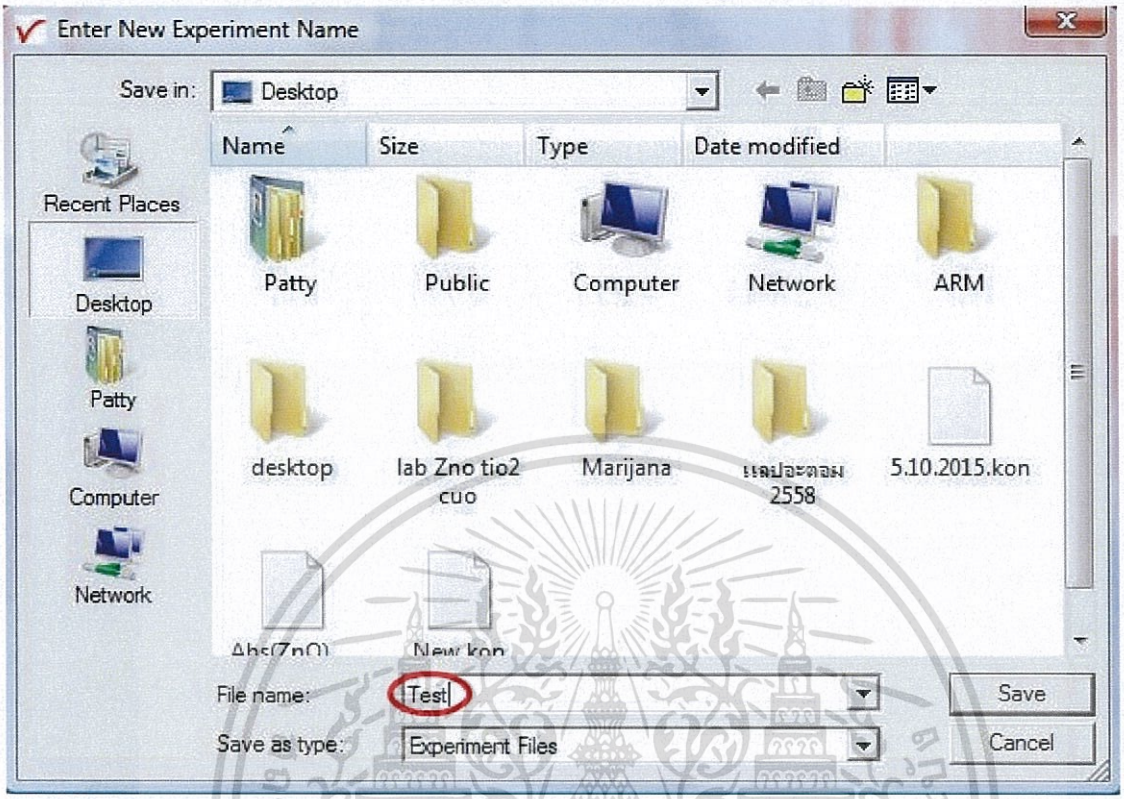



2. คลิกที่ file เลือก Start New Experiment เพื่อทำการตั้งชื่อไฟล์งาน




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

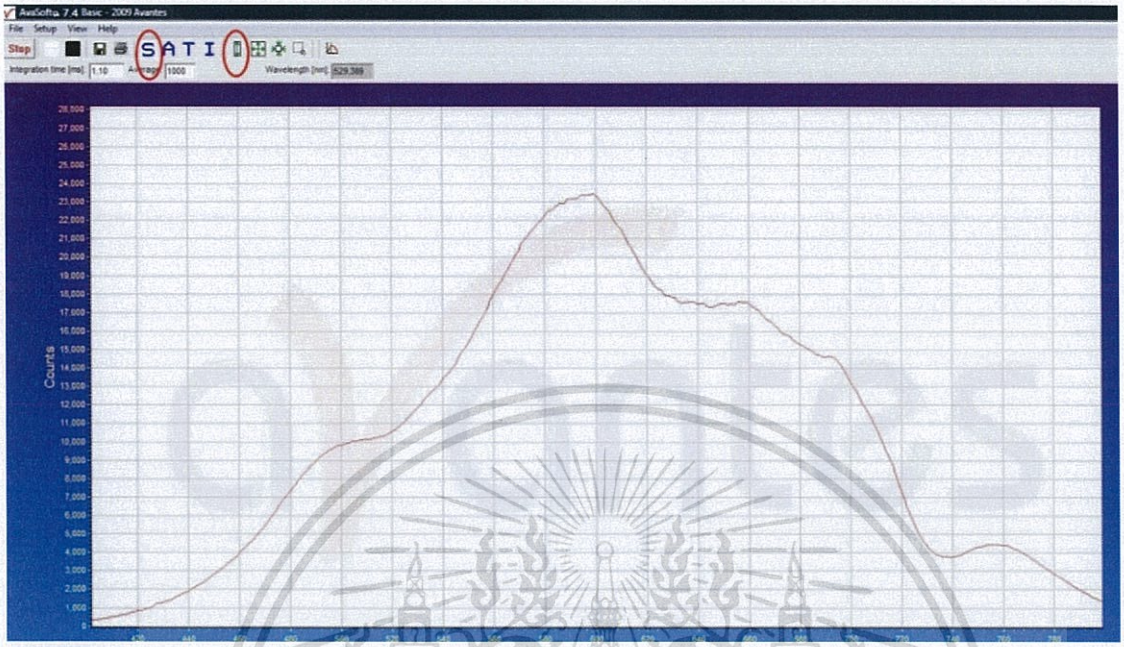
3. ให้สร้าง Folder ใหม่ เพื่อเก็บไฟล์งานของเรา และตั้งชื่อไฟล์ที่ต้องการให้โปรแกรมบันทึกผล



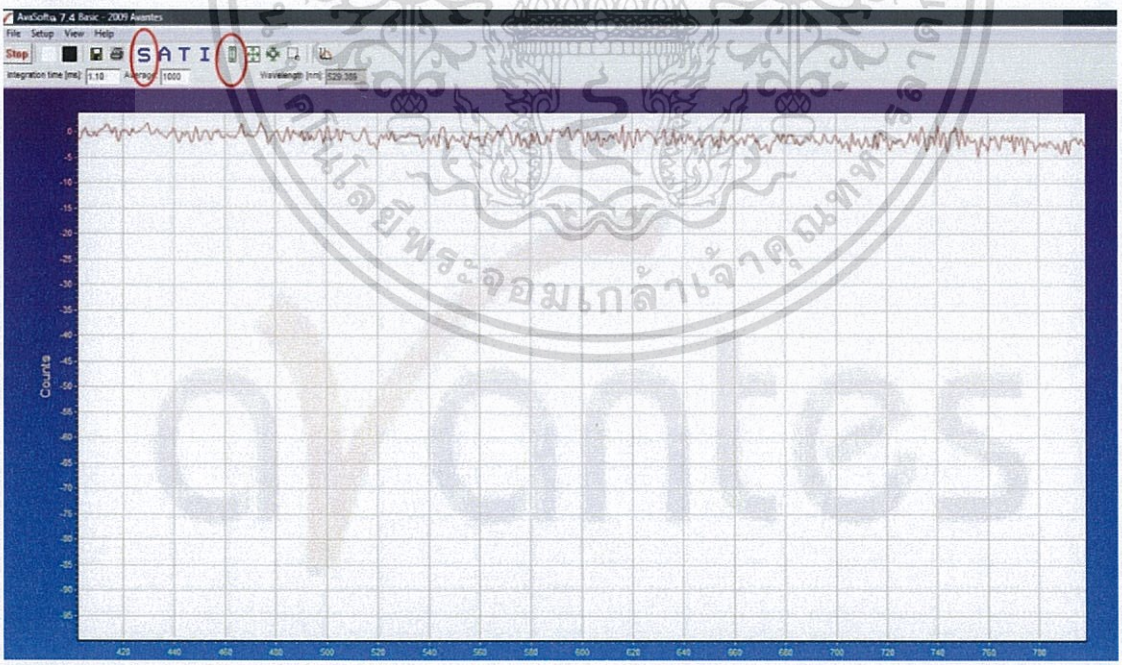

4. คลิก Start ที่โปรแกรม Avasoft 7.4.0 Basic

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. คลิก S (scope mode) และ Auto scale เพื่อปรับความเข้มแสงของหลอด tungsten ที่เป็นแหล่งกำเนิดแสง จนได้ความเข้มข้น 50,000 counts

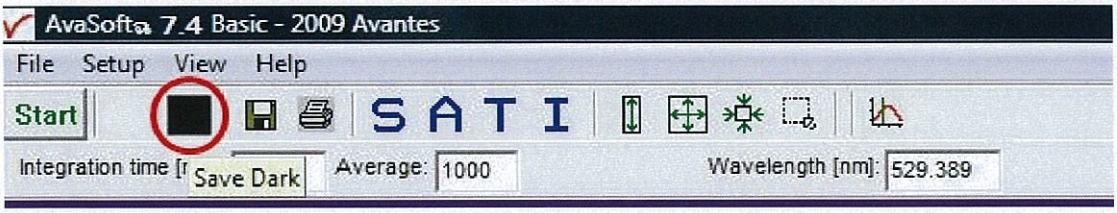



6. ปิดทางเดินของแสงที่เข้าเครื่อง UV-Vis Spectrometer (ถอดสาย Optic fiber ออกแล้วปิดฝาจุกแดง) พร้อมกับเช็คว่าไม่มีแสงเข่าไปในตัวเครื่อง โดยคลิก S (scope mode) และ Auto scale




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

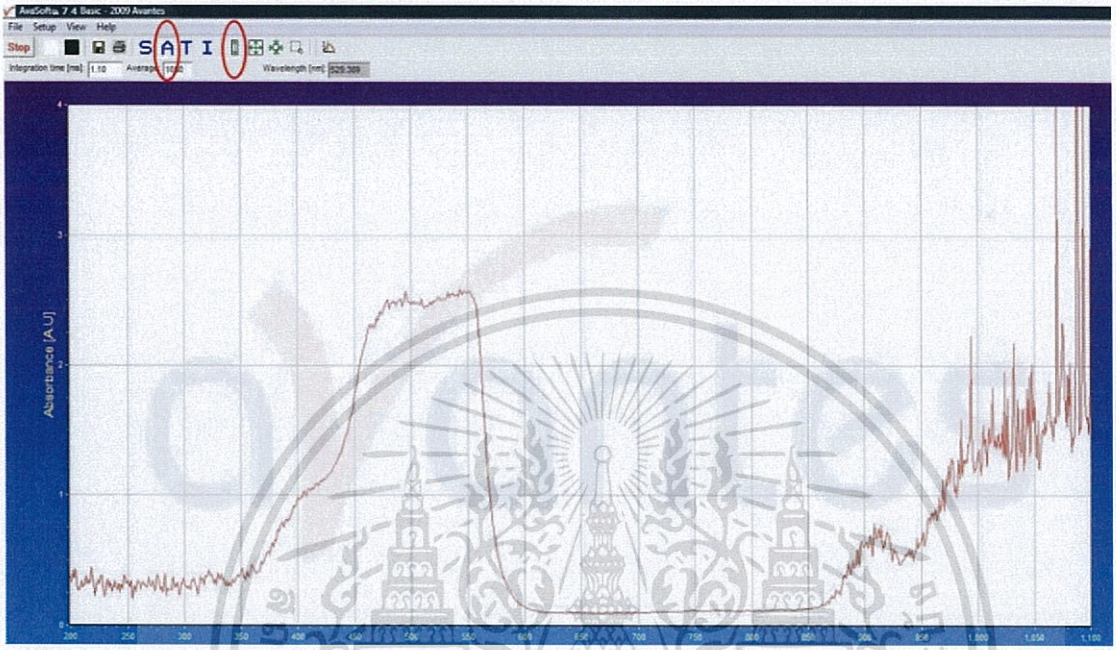
7. ทำการวัด Dark mode โดยคลิกที่ปุ่มสี่เหลี่ยมสีดำ และทำการ save สัญญาณ จากนั้นต่อสาย Optic fiber เข้าที่เดิม



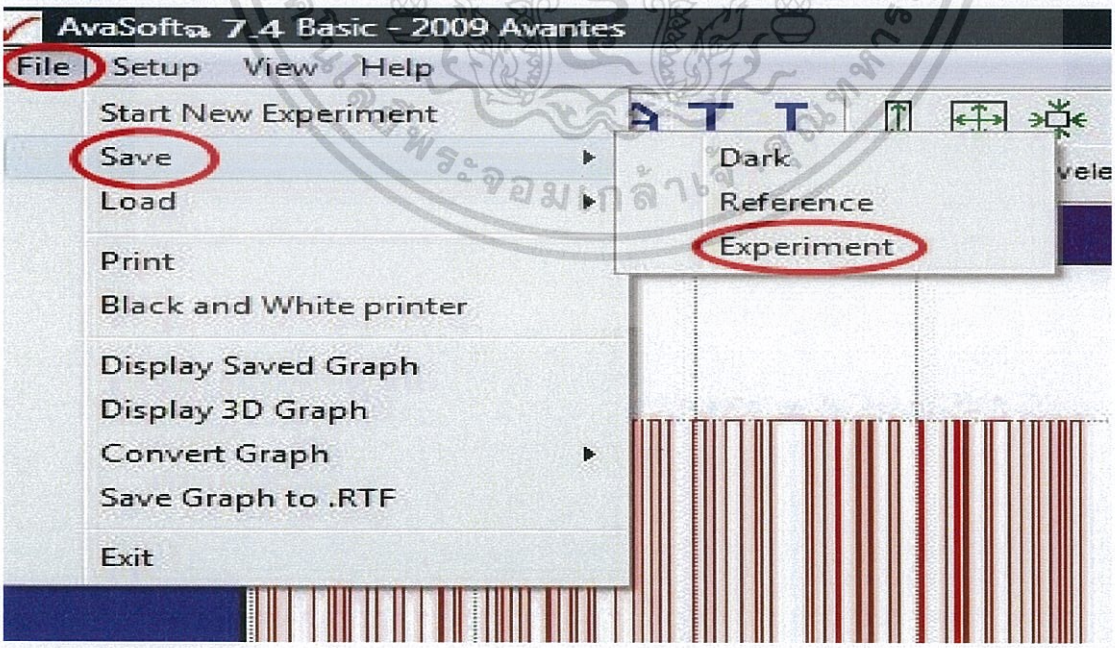

8. ในการวัด Absorbance spectrum ให้ทำการใส่ reference sample ในแท่นวาง sample วัด White mode โดยคลิกที่ปุ่มสี่เหลี่ยมสีขาวและทำการ save สัญญาณ หน้าจอแสดงผลควรจะปรากฏสเปกตรัมแสงของแหล่งกำเนิดที่ผ่าน reference sample ออกมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. นำ sample ที่ต้องการวัดใส่แทนที่ reference sample เพื่อทำการวัดค่า Absorbance โดยคลิกปุ่มเอตัวใหญ่ A และคลิก Auto scale หน้าจอแสดงผลจะปรากฏสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของวัสดุที่ถูกทดสอบ เมื่อได้กราฟที่ต้องการแล้ว คลิก Stop เพื่อหยุดเส้นกราฟนั้นไว้ และหากต้องการวัดครั้งต่อไป คลิก Start



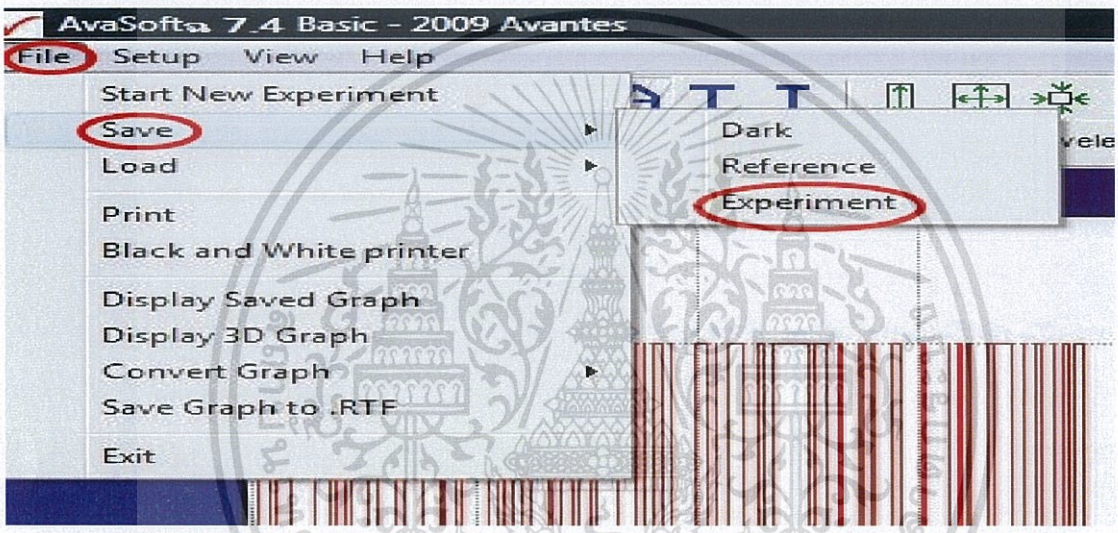

10. จากนั้นคลิก File>Save> Experiment เพื่อทำการบันทึกข้อมูลการวัดค่าการดูดกลืนแสง แล้วตั้งชื่อให้สอดคล้องกับสารละลาย ซึ่งไฟล์ที่ได้จะเป็น .ABS



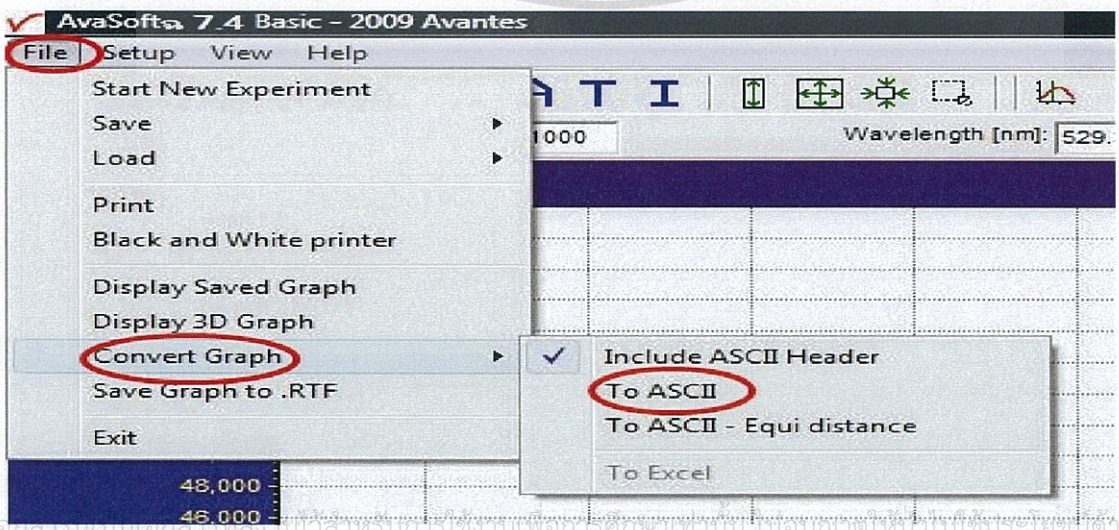

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11. ในกรณีที่ต้องการวัดสัญญาณ Fluorescence ของ sample ให้จัดสายใยแก้วที่ตรวจวัดสัญญาณทำมุม 90 องศากับแสงตกกระทบ แล้วนำ Sample ที่ต้องการทดสอบมาวัดค่าสัญญาณ set โปรแกรมการวัดใน Scope mode โดยคลิก S (scope mode) และ Auto scale

12. จากนั้นคลิก File>Save> Experiment เพื่อทำการบันทึกข้อมูลการวัดค่าการปลดปล่อยแสง แล้วตั้งชื่อให้สอดคล้องกับสารละลาย ซึ่งไฟล์ที่ได้จะเป็น .ROH

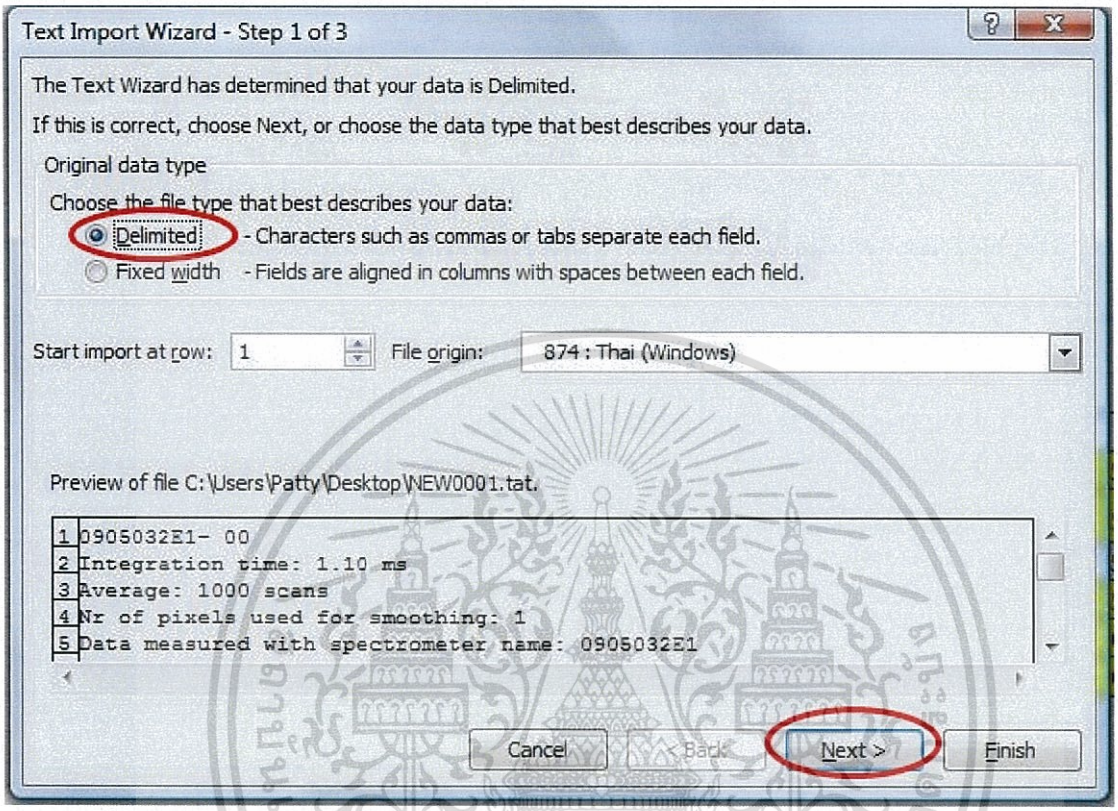



13. ทำการ Convert file ที่ save แล้วให้อยู่ใน ASCII format เพื่อจะนำไปเปิดด้วยโปรแกรม Excel โดยเลือก File => ASCII เลือกไฟล์ที่ต้องการ convert ในที่นี้คือไฟล์ที่มีนามสกุล .ABS หรือนามสกุล .ROH ขึ้นกับว่าไฟล์ถูก save มาในโหมด A หรือ โหมด S เมื่อ convert แล้วจะได้ไฟล์ชื่อ Test0001.tat (ถ้า convert .ABS) หรือ Test0001.trt (ถ้า convert .ROH) เพิ่มขึ้นมาใน folder

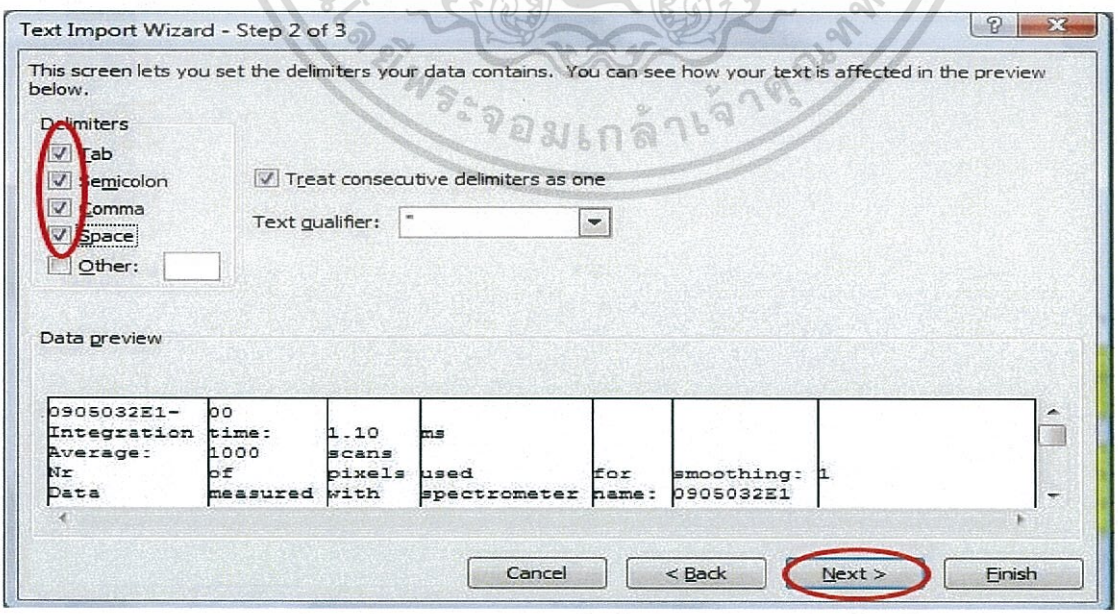



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

14. เปิดโปรแกรม Excel และเลือกไฟล์ที่มีนามสกุล .tat หรือ .trt ที่โปรแกรมสร้างขึ้นมาใหม่ จะปรากฏหน้าต่างดังรูป ให้เลือก Delimited และ กด Next

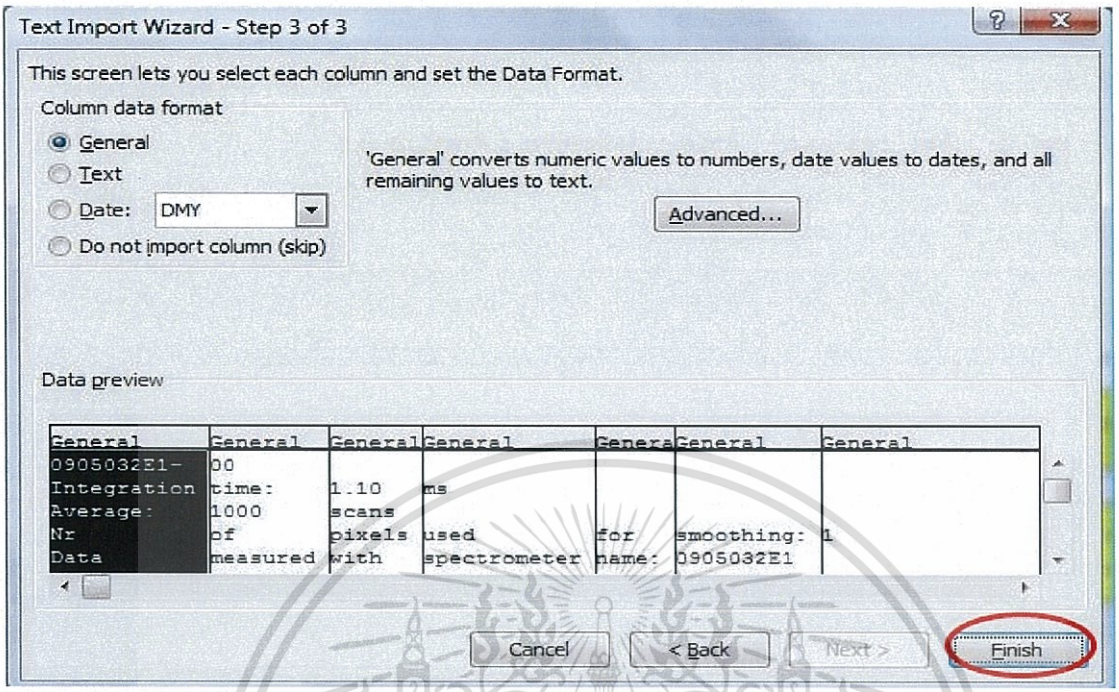



15. ในหน้าต่างที่ปรากฏถัดมา ให้ทำการคลิกเป็นเครื่องหมายถูกตามภาพ และกดปุ่ม Next




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

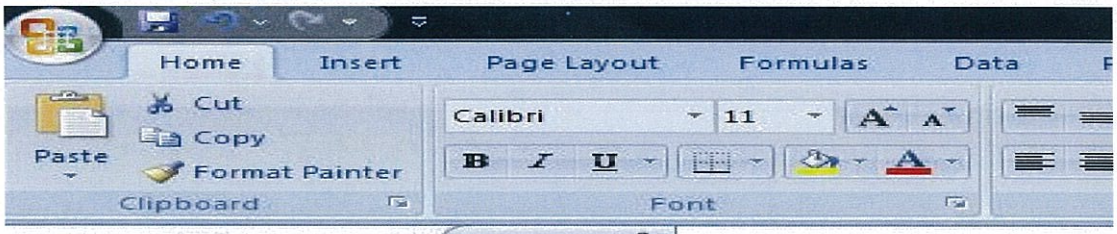
16. เมื่อปรากฏหน้าต่างใหม่ ให้กดปุ่ม Finish




สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

17. นำข้อมูลที่ได้มาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Wavelength กับ Absorbance




| | A | B | C | D | E |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | -9.05E+06 | 0 | | | |
| 2 | Integration | time: | 1.1 | ms | |
| 3 | Average: | 1000 | scans | | |
| 4 | Nr | of | pixels | used | for |
| 5 | Data | measured | with | spectrome | name: |
| 6 | Wavelength | Dark | Ref | Sample | Absorbance |
| 7 | [nm] | [counts] | [counts] | [counts] | [A.U.] |
| 8 | 198.42 | -1.276 | 13.888 | 5.086 | 0.3772 |
| 9 | 199.02 | 0.8522 | 17.601 | 7.3175 | 0.4134 |
| 10 | 199.62 | 2.3212 | 20.036 | 9.334 | 0.4025 |
| 11 | 200.21 | 3.2048 | 19.092 | 10.124 | 0.361 |
| 12 | 200.81 | 3.696 | 17.75 | 9.802 | 0.362 |
| 13 | 201.41 | 2.7965 | 18.081 | 8.4315 | 0.4334 |
| 14 | 202.01 | 0.7605 | 17.563 | 6.339 | 0.4788 |
| 15 | 202.6 | 0.4498 | 16.541 | 6.3007 | 0.4394 |
| 16 | 203.2 | 0.939 | 15.513 | 7.4973 | 0.3468 |
| 17 | 203.8 | 0.6745 | 14.852 | 7.63 | 0.3093 |
| 18 | 204.4 | 0.8652 | 15.936 | 7.8352 | 0.3349 |
| 19 | 204.99 | 1.5365 | 16.455 | 8.4233 | 0.3357 |
| 20 | 205.59 | 1.6478 | 15.629 | 8.5308 | 0.3078 |
| 21 | 206.19 | 1.3542 | 15.568 | 8.249 | 0.3142 |
| 22 | 206.79 | 1.7062 | 16.181 | 8.223 | 0.3466 |
| 23 | 207.38 | 1.6263 | 16.035 | 8.4895 | 0.3221 |
| 24 | 207.98 | 0.5642 | 16.157 | 8.3695 | 0.3005 |
| 25 | 208.58 | 0.509 | 17.666 | 7.63 | 0.3819 |
| 26 | 209.18 | 0.7255 | 18.527 | 7.3932 | 0.4265 |
| 27 | 209.77 | 1.013 | 18.062 | 7.8 | 0.4 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| รูปที่ | ชื่อไฟล์ |
|---|---|
| 4.1 | รูปที่ 4.1 |
| 4.2 | รูปที่ 4.2 |
| 4.3 | รูปที่ 4.3 |
| 4.4 | รูปที่ 4.4 |
| 4.5 | รูปที่ 4.5 |
| 4.6 | รูปที่ 4.6 |
| 4.7 | รูปที่ 4.7 |
| 4.8 | รูปที่ 4.8-4.12 |
| 4.9 | รูปที่ 4.8-4.12 |
| 4.10 | รูปที่ 4.8-4.12 |
| 4.11 | รูปที่ 4.8-4.12 |
| 4.12 | รูปที่ 4.8-4.12 |
| 4.13 | รูปที่ 4.13 |
| 4.14 | รูปที่ 4.14 |
| 4.15 | รูปที่ 4.15-4.19 |
| 4.16 | รูปที่ 4.15-4.19 |
| 4.17 | รูปที่ 4.15-4.19 |
| 4.18 | รูปที่ 4.15-4.19 |
| 4.19 | รูปที่ 4.15-4.19 |
| 4.20 | รูปที่ 4.20 |
| 4.21 | รูปที่ 4.21 |
| 4.22 | รูปที่ 4.22 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง